

Società Italiana degli Storici  
della Fisica e dell'Astronomia

**Atti del XLIII Convegno annuale**  
*Proceedings of the 43<sup>rd</sup> Annual Conference*

**Padova, 5-8 settembre 2023**

*a cura di / edited by*  
**Marco Di Mauro, Luigi Romano, Valeria Zanini**

*con introduzione di / introduced by*  
**Salvatore Esposito**

Federico II University Press



fedOA Press







Università degli Studi di Napoli Federico II

SISFA Studies in the History of Physics and Astronomy

2







Società Italiana degli Storici  
della Fisica e dell'Astronomia

**Atti del XLIII Convegno annuale**  
*Proceedings of the 43<sup>rd</sup> Annual Conference*

**Padova, 5-8 settembre 2023**

*a cura di / edited by*  
**Marco Di Mauro, Luigi Romano, Valeria Zanini**

*con introduzione di / introduced by*  
*Salvatore Esposito*

Federico II University Press



fedOA Press

Atti del XLIII Convegno annuale : Padova, 5-8 settembre 2023 = Proceedings of the 43<sup>rd</sup> Annual Conference / Società italiana degli storici della fisica e dell'astronomia ; a cura di = edited by Marco Di Mauro, Luigi Romano, Valeria Zanini ; con introduzione di = introduced by Salvatore Esposito. – Napoli : Federico II University Press, 2024; 492 p. : ill. ; 24 cm. – (SISFA Studies in the History of Physics and Astronomy ; 2).

Accesso alla versione elettronica: [www.fedoabooks.unina.it](http://www.fedoabooks.unina.it)

ISBN: 978-88-6887-256-4

DOI: 10.6093/978-88-6887-256-4

*Comitato Scientifico:*

Luisa Bonolis (Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin), Salvatore Esposito (Università degli Studi di Napoli Federico II), Lucio Fregonese (Università degli Studi di Pavia), Ivana Gambaro (Università degli Studi di Genova), Roberto Lalli (Politecnico di Torino; Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin), Adele La Rana (Università degli Studi di Macerata), Flavia Marcacci (Pontificia Università Lateranense, Roma), Matteo Valleriani (Technische Universität, Berlin), Valeria Zanini (INAF, Osservatorio Astronomico di Padova).

In copertina e p. v / *On the cover and p. v:*

Ritratti di *Galileo Galilei, Nicolò Copernico e Isaac Newton* di / *Portraits of Galileo Galilei, Nicolaus Copernicus and Isaac Newton* by Giacomo Ciesà (1733-1822). © Museo La Specola, INAF-Osservatorio Astronomico di Padova (Padova, I).

Copertina e rielaborazione progetto grafico: Valeria Zanini

© 2024 FedOAPress - Federico II University Press  
Università degli Studi di Napoli Federico II  
Centro di Ateneo per le Biblioteche “Roberto Pettorino”  
Piazza Bellini 59-60 - 80138 Napoli, Italy  
<http://www.fedoapress.unina.it/>  
Published in Italy  
Prima edizione: settembre 2024

Gli E-Book di FedOAPress sono pubblicati con licenza Creative Commons Attribution 4.0 International



## 43<sup>rd</sup> National Congress of the Italian Society for the History of Physics and Astronomy

The meeting is one of a well-established series that SISFA has been organizing on a yearly basis since its foundation. It aims at promoting the research activities in the history of physics and astronomy in Italy, carried out not only by academic historians but also by independent scholars and school teachers willing to explore the role of the history of physics and astronomy in the present-day teaching of the disciplines. At the same time, the meeting provides an opportunity to strengthen the collaborations and establish new links among the members of SISFA and the members of other scholarly societies, as well as researchers working in the same and in related fields.

### **Scientific and Organizing Committee**

Salvatore Esposito, Università di Napoli “Federico II”

Ivana Gambaro, Università degli Studi di Genova

Mauro Gargano, INAF-Osservatorio Astronomico di Capodimonte, Napoli

Roberto Lalli, DIMEAS, Politecnico di Torino

Adele La Rana, Università di Macerata

Flavia Marcacci, Pontificia Università Lateranense

Fanny Marcon, CAM, Università di Padova

Giulio Peruzzi, Dipartimento di Fisica e Astronomia “Galileo Galilei”, Università di Padova

Sofia Talas, CAM, Università di Padova

Valeria Zanini, INAF-Osservatorio Astronomico di Padova

Caterina Boccato, INAF-Osservatorio Astronomico di Padova

Sabrina Carraro, INAF-Osservatorio Astronomico di Padova

Stefano Ciroi, Dipartimento di Fisica e Astronomia “Galileo Galilei”, Università di Padova

Federico Di Giacomo, INAF-Osservatorio Astronomico di Padova

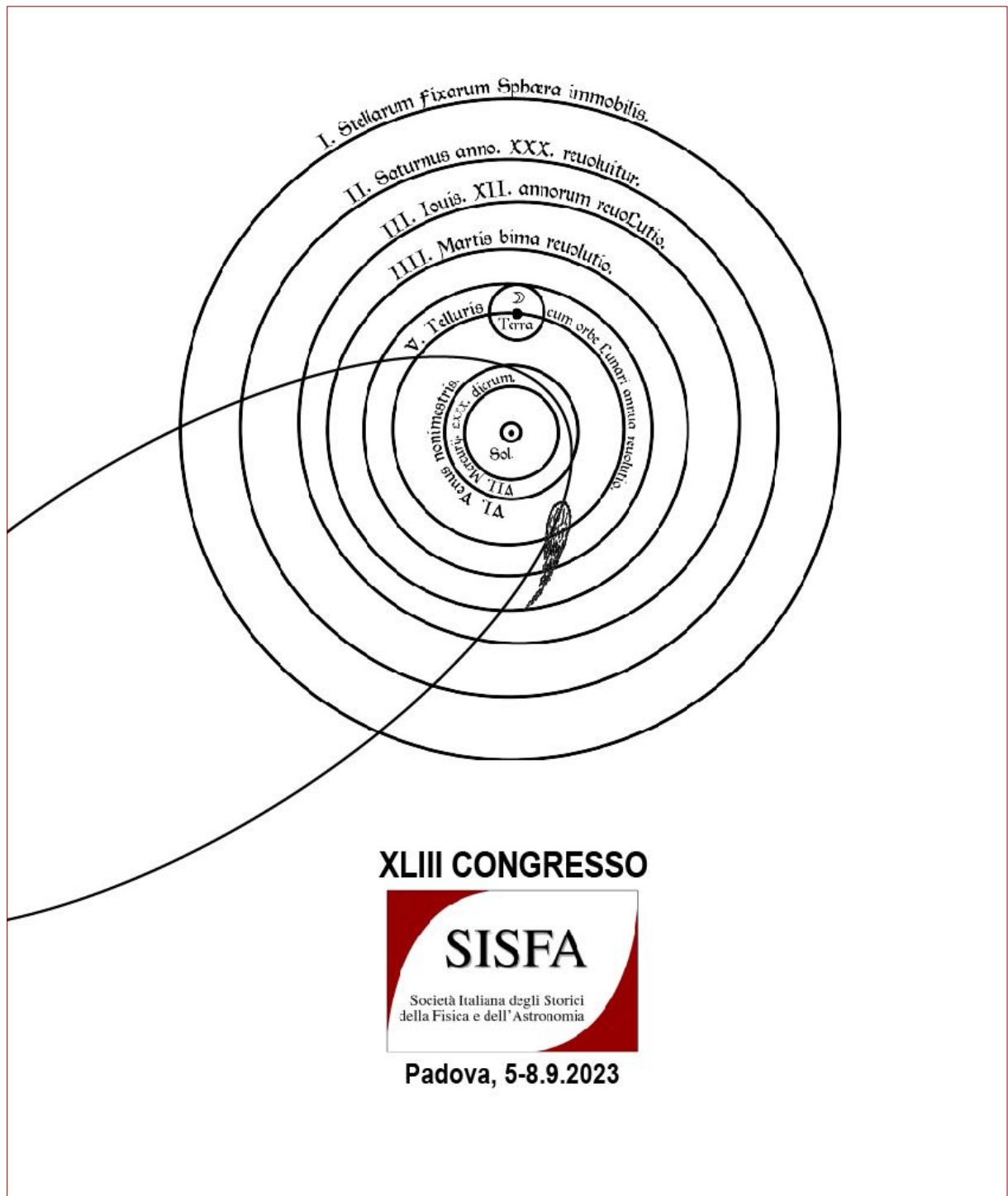
Marco Dima, INAF-Osservatorio Astronomico di Padova

Serena Pastore, INAF-Osservatorio Astronomico di Padova

Massimo Turatto, INAF-Osservatorio Astronomico di Padova

Simone Zaggia, INAF-Osservatorio Astronomico di Padova

**Informatic collaboration: Istituto Nazionale di Astrofisica**



## XLIII CONGRESSO



Padova, 5-8.9.2023



## Table of Contents\*

<b>Introduzione</b>	
Salvatore Esposito.....	xiii
<b>Programme.....</b>	xv
 <b>COPERNICUS' CHANGEOVER FROM THE OLD TO THE NEW COSMOS</b>	
<b>Celio Calcagnini on the Motion of the Earth at the Dawn of Modern Astronomy</b>	
Pietro Daniel Omodeo, Alberto Bardi.....	3
<b>La dinamica di diffusione del sapere astronomico e l'agenda di ricerca come contesto della pubblicazione del <i>De revolutionibus</i> di Copernico (1543)</b>	
Matteo Valleriani, Maryam Zamani, Hassan El-Hajj.....	11
<b>Il calendario gregoriano ideato da Luigi Lilio. Niccolò Copernico e le errate affermazioni di Galileo Galilei</b>	
Francesco Vizza.....	19
<b>Between Copernicus, Kepler and Galileo. A Memory of Owen Jay Gingerich (1930-2023)</b>	
Giancarlo Truffa.....	29
<b>Nicolò Copernico, testimonial del sistema eliocentrico all'Osservatorio Astronomico di Padova</b>	
Valeria Zanini, Lucia Zarantonello.....	37
<b>An Information Analysis of the 'Physical Object' Concept in Copernican Revolution</b>	
Enrico Gasco.....	45
<b>Copernicus' Contribution to the Copernican Revolution</b>	
Lucio Russo (abstract).....	53
<b>A Dynamical Interpretation of Hipparchus' Diagrams</b>	
Alessandro Amabile (abstract).....	54
<b>Copernicus and Vespucci between East and West</b>	
Harald Gropp (abstract).....	55

---

\* It should be noted that the titles of the contributions are given in English or in Italian depending on the language of the contribution itself / Si precisa che i titoli dei contributi sono in italiano o in inglese a seconda che il contributo stesso sia in italiano o in inglese

**1623-2023: THE ASSAYER AND THE BIRTH OF MODERN SCIENCE**

<b>What Means that the Book of Nature is Written in Mathematical Characters?</b> Paolo Bussotti.....	<b>59</b>
<b>Galileo’s “Optical Theory” of Comets and Transients</b> Matteo Cosci.....	<b>65</b>
<b>Lavori virtuali e principio conservativo nel <i>Mechanicorum Liber</i> di Guidobaldo del Monte</b> Davide Pietrini.....	<b>73</b>
<b>Was Galileo Accurate in Recording Moon’s Images in <i>Sidereus Nuncius</i>?</b> Pasquale Tucci.....	<b>81</b>
<b>Music in Holland: Consonances According to Simon Stevin</b> Danilo Capecchi, Giulia Capecchi.....	<b>91</b>
<b><i>The Assayer</i> Assayed</b> John Heilbron (abstract) .....	<b>99</b>
<b>Galileo «Makeshift Theologian»? A few Remarks on Augustine and Galileo’s Biblical Exegesis</b> Stefano Gattei (abstract) .....	<b>100</b>
<b>The Origin of Galileo’s New Science in a Challenging Problem</b> Jochen Büttner (abstract) .....	<b>101</b>
<b>Atoms of Fire: Galileo’s Unachieved Theory of Heat and the Early Beginnings of Thermometry (c. 1603-1638)</b> Stefano Salvia (abstract) .....	<b>102</b>

**GIULIANO ROMANO: ONE HUNDRED YEARS AFTER HIS BIRTH AND TEN YEARS AFTER HIS DEATH**

<b>Le più importanti ricerche astronomiche di Giuliano Romano a Padova</b> Gabriele Umbriaco.....	<b>105</b>
<b>Giuliano Romano e l’archeostronomia</b> Elio Antonello.....	<b>117</b>
<b>Ricordando il prof. Giuliano Romano</b> Enio Vanzin.....	<b>123</b>
<b>Gli “Incontri con la Natura” Giuliano Romano e don Paolo Chiavacci</b> Laura Bertollo.....	<b>131</b>

**SISFA PRIZE**

<b><i>Silentium Universi</i>. Storia del SETI e del Paradosso di Fermi</b> Lorenzo De Piccoli.....	<b>137</b>
<b>Unveiling the Size of the Universe: The first Accurate Measurement of the Earth-Sun Distance by Giovanni Domenico Cassini</b> Elisabetta Rossi.....	<b>141</b>

**HISTORY OF PHYSICS AND ASTRONOMY IN THE 18<sup>th</sup> AND 19<sup>th</sup> CENTURIES**

<b>La girandola di Poleni: un progetto destinato a scomparire</b> Benedetta Campanile.....	<b>151</b>
<b>Analisi della corrispondenza tra Jacopo Belgrado e Giovanni Poleni</b> Francesca Damiani.....	<b>159</b>
<b>L'elettricità naturale nelle ricerche di Giuseppe Maria Giovene</b> Lucia De Frenza.....	<b>167</b>
<b>From the Earth to the Sun: the Quest for the Astronomical Unit by Means of the 1761 and 1769 Venus Transits</b> Luisa Loviseti.....	<b>177</b>
<b>Celestino Galiani e il potenziamento dell'astronomia a Napoli: un'indagine preliminare sulla sua corrispondenza</b> Mauro Gargano.....	<b>185</b>
<b>L'opera dell'abate Giuseppe Conti nel Regno delle due Sicilie</b> Rosanna Del Monte, Azzurra Auteri.....	<b>195</b>
<b>Enrico Federico Jest: A Skilled Scientific Instrument Maker during the First Half of the 19<sup>th</sup> Century</b> Roberto Mantovani, Elena E. G. R. La Guidara.....	<b>203</b>
<b>Giuseppe Bianchi astronomo, fisico e matematico della Restaurazione nello Stato Estense</b> Elena Corradini.....	<b>213</b>
<b>Innovazioni ed invenzioni della famiglia Nobel negli ultimi anni del XIX secolo fino ai primi del XX</b> Laura Franchini.....	<b>221</b>
<b>The Unpublished Physical and Astronomical Notes of the Accademia del Cimento</b> Elisabetta Rossi.....	<b>229</b>
<b>Personalities and Places of Physics and Astronomy in Padua from Galileo to the 20<sup>th</sup> Century</b> Giulio Peruzzi (abstract) .....	<b>237</b>
<b>An Imperial Total Solar Eclipse: 8<sup>th</sup> July 1842</b> Simone Zaggia (abstract) .....	<b>238</b>
<b>Temistocle Calzecchi Onesti Lab in Fermo and the Maggiori Sisters</b> Oronzo Mauro (abstract) .....	<b>239</b>

**HISTORY OF PHYSICS AND ASTRONOMY IN THE 20<sup>th</sup> CENTURY**

<b>Cosmology at a Crossroad: The 1958 Solvay Congress</b> Helge Kragh.....	<b>243</b>
<b>Maurizio Buscalioni: The First Director of Caracas Astronomical Observatory</b> David Verrilli, Rafael Martín-Landrove.....	<b>255</b>
<b>Physics for Medicine at the Milan Institute of Complementary Physics</b> Leonardo Gariboldi.....	<b>263</b>

<b>Whitehead’s Relational Interpretation of Special Relativity</b>	
Enrico R.A.C. Giannetto.....	271
<b>Exchange Interactions between Europe and Japan in the 1930s: Tomonaga, Yukawa and the Birth of Nuclear Theory</b>	
Marco Di Mauro, Salvatore Esposito, Adele Naddeo.....	279
<b>1930-1937: The First <math>\beta</math>-ray and Neutrino Theories</b>	
Francesco Vissani.....	287
<b>An Essay in Counterpoint: Wheeler, Schwinger, and ‘Conflicts in Physics’</b>	
Stefano Furlan.....	295
<b>At Home in a Super-Copernican Cosmos: The Genesis of John Wheeler’s Participatory Universe</b>	
Stefano Furlan, Daniele Puleio.....	305
<b>INTEGRAL Observatory: Rescue at All Costs</b>	
Olga Dubrovina.....	313
<b>Physics for neuroscience: the story of Hodgkin and Huxley before any interpretation</b>	
Michał Oleksowicz.....	321
<b>Bruno Rossi and the Art of Jumping on the Sputnik Bandwagon</b>	
Luisa Bonolis (abstract) .....	329
<b>Italian Physics in the International Organization of Science: The Case of IUPAP</b>	
Roberto Lalli (abstract) .....	330
<b>Free-Energy Calculations in Soft and Hard Matter: From Hamiltonian Thermodynamic Integration to Early Applications of Umbrella Sampling</b>	
Daniele Macuglia (abstract) .....	331
<b>Celestial Micro-mechanics 1916-17: Einstein vs. Schwarzschild, Sommerfeld, Epstein</b>	
Alexander Afriat (abstract) .....	332
<b>Bernardo Dessau. Physicist, Scientist, Teacher</b>	
Giovanni Carlotti (abstract) .....	333
<b>Fermi’s Early Work on Quantum Mechanics</b>	
Paolo Rossi (abstract) .....	334
<b>HISTORY AND EPISTEMOLOGY OF PHYSICS</b>	
<b>Logical Interpretation of 1894 Pierre Curie’s Paper about Symmetries in Theoretical Physics</b>	
Antonino Drago.....	337
<b>The Rise of Multi-messenger Astrophysics and the Pro-social Function of Models</b>	
Luca Guzzardi (abstract) .....	347
<b>Scientific Phenomenological Realism and the Physics of Unobservables: Einstein, Husserl, and Neelamkavil</b>	
Ruth Castillo, Raphael Neelamkavil (abstract) .....	348

## MUSEUMS, ARCHIVES, AND SCIENTIFIC COLLECTIONS OF PHYSICS AND ASTRONOMY IN ITALY AND ABROAD

<b>Il Bureau des longitudes (1795-1932), un'accademia di scienze astronomiche aperta all'internazionale</b>	
Martina Schiavon.....	351
<b>Un percorso geo-storico: tracce della misurazione del tempo nei luoghi di Padova</b>	
Luigi Marcon.....	363
<b>Quando la stampa 3D e la computer grafica incontrano il patrimonio storico</b>	
Marco Dima.....	371
<b>Le prime osservazioni astronomiche in fotografia e le immagini conservate nell'archivio Inaf-Osservatorio Astronomico di Roma. Studio preliminare a supporto del restauro conservativo</b>	
Tiziana Macaluso.....	379
<b>La costruzione di specole per gli osservatori astronomici nel Novecento: le realizzazioni A. Bombelli</b>	
Lorenzo Savio, Tanja Marzi, Daniela Bosia, Virginia Bombelli.....	387
<b>Scientific Instruments and the Neglect of Teaching in the History of Physics</b>	
Roland Wittje (abstract) .....	395
<b>The Copernican and Astronomical Museum of the INAF-Astronomical Observatory of Rome: Heritage and Research</b>	
Giangiacomo Gandolgi <i>et al.</i> (abstract) .....	396
<b>DIALOGUE BETWEEN HISTORY, TEACHING AND DISSEMINATION IN PHYSICS AND ASTRONOMY</b>	
<b>After the Abbé Nollet, the Teaching of Physics in “Lycées” in France</b>	
Françoise Khantine-Langlois.....	399
<b>L'eredità scientifica di via Panisperna. Storia, esperienze e prospettive del Museo Enrico Fermi</b>	
Miriam Focaccia, Marco Garbini.....	409
<b>“LOOK UP!” A Virtual Exhibition about the Historical Astronomical Atlases</b>	
Federico Di Giacomo.....	419
<b>Old Quantum Physics for Cultural Education</b>	
Marco Giliberti, Luisa Lovisetti.....	427
<b>Macchine e meccanismi in fisica e in matematica</b>	
Giancarlo Artiano, Emilio Balzano.....	435
<b>On the Grimaldi Phenomenon</b>	
Salvatore Ganci.....	441
<b>Esperimenti di Galileo con Arduino</b>	
Matteo Torre.....	447

---

<b>Immagini di Scienza. Reinventare la scienza in un mondo in continua evoluzione</b>	
Erika Bercigli.....	455
<b>C. Bonfanti's Book Collection</b>	
Giuliano Klun.....	461
<b>The role of History of Science in enhancing Physics and Chemistry Education</b>	
María-Gabriela Lorenzo, Teresa Quintero, Andrea Soledad Farré.....	469
<b>Bologna Bottles Revisited with Unexpected Links to War Events</b>	
Marco Taddia (abstract) .....	481
<b>Real-world Phenomena as Useful Tools in Physics Teaching</b>	
Roberto De Luca (abstract) .....	482
<b>Gravitation: A Project for Secondary School Students using History of Physics and Museum Instruments</b>	
Paola Bagno (abstract) .....	483
<b><i>Come può essere utile la storia alla didattica della fisica e dell'astronomia?</i></b>	
Tavola rotonda.....	485



## Introduzione

La celebrazione dei 400 anni dalla pubblicazione de *Il Saggiatore* di Galilei e dei 550 anni dalla nascita di Copernico ha portato in maniera quasi “naturale” ad organizzare il XLIII Congresso nazionale della Società nella città di Padova, itinerando tra il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell’Università patavina, intitolato allo scienziato pisano, e l’Osservatorio Astronomico, oggi una delle principali strutture di ricerca dell’Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), che ben ha raccolto nei secoli lo spirito copernicano. La memoria di questi grandi uomini del passato, e soprattutto della loro opera, che ha prodotto un cambiamento epocale nella storia della scienza, è stata ben onorata da altrettanto illustri ospiti, storici dei nostri tempi, a partire da John Heilbron e Jochen Büttner. Il vivace interesse per i temi, nonché la presenza e la guida di sì tanto insigni studiosi stranieri e dei nostrani Pietro Daniel Omodeo e Matteo Valleriani, ha poi molto favorito la presentazione di diversi contributi che hanno grandemente arricchito la discussione scientifica e lo scambio storico-culturale, come ci si può facilmente rendere conto dalle pagine di questo volume.

Nella storia della fisica e dell’astronomia, però, Padova può vantare anche la presenza di altri importanti scienziati del passato, come ha ben illustrato Giulio Peruzzi, e la commemorazione di Giuliano Romano a cent’anni dalla nascita e a dieci dalla morte, guidata da Gabriele Umbriaco ed Elio Antonello, ha fatto “toccare con mano” questa realtà. Il congresso si è poi concentrato in particolare sulle figure di Giovanni Poleni (e la fisica del XVIII secolo) e Bruno Rossi (e la fisica moderna del XX secolo). Il ricordo dell’opera di Poleni è stato maggiormente apprezzato dai partecipanti durante uno degli eventi speciali del Congresso, che ha riguardato la visita al Museo dell’Università a lui intitolato, magistralmente condotta dal suo Conservatore, Sofia Talas, che ha guidato i partecipanti in un viaggio nel tempo che, partendo dal Gabinetto di Fisica avviato nel 1739 da Poleni, ha condotto fino alle ultime ricerche nel campo della fisica. Valeria Zanini ha invece accompagnato i partecipanti in un altro viaggio, altrettanto emozionante, attraverso mille anni di storia e oltre 250 anni di astronomia, effettuato al Museo *La Specola* dell’INAF-Osservatorio Astronomico di Padova, che conserva ancora gli ambienti e gli strumenti degli astronomi padovani fino alla metà del XX secolo.

Il ruolo dei Musei, degli Archivi e delle collezioni scientifiche di fisica e astronomia, sia in Italia che nel resto del Mondo, è poi stato ulteriormente dibattuto in una tradizionale sessione dedicata, che ha visto, tra i diversi interessanti contributi, quello del Presidente della Scientific Instrument Commission (SIC), Roland Wittje, nonché quello di Martina Schiavon sul *Bureau des longitudes*. Altrettanto tradizionale nei congressi SISFA da molti anni è l’approfondimento del dialogo tra storia, didattica e divulgazione scientifica in fisica e in astronomia, che è stato oggetto di attenzione di diversi contributi, a partire da quelli coinvolgenti di Françoise Khantine-Langlois e Miriam Focaccia. Esso è stato poi particolarmente dibattuto in una speciale Tavola Rotonda sul tema *Come può essere utile la storia alla didattica della fisica e dell’astronomia?* guidata da Marisa Michelini, e introdotta dall’intervento di due ospiti argentini, Maria-Gabriela Lorenzo e Ignacio Idoyaga.

Il ricco Convegno padovano, però, non ha trascurato la primaria interazione tra i soci SISFA e, in generale, tra gli studiosi italiani di storia della fisica e dell’astronomia, i cui lavori particolari emergono nelle numerose comunicazioni che da sempre sono l’anima dei congressi SISFA, e che l’attento lettore potrà ben trovare nelle pagine che seguono. Non meno significativi sono i lavori dei giovani ricercatori, che pure trovano spazio adeguato all’interno della nostra Società, iniziando da quello segnalato dal consolidato Premio di Laurea SISFA, che sempre più rivela la ricchezza e la qualità degli studi portati avanti dai giovani studiosi italiani.

Tutto questo lavoro, però, non avrebbe potuto vedere la luce senza il contributo fondamentale, tecnico e scientifico, del Comitato locale che, insieme a tanti volontari, soci e partecipanti, ha

determinato ancora una volta la migliore riuscita del Convegno. Il ringraziamento più sentito dell'intera Società, e in particolare del Consiglio Direttivo e mio personale, va dunque a loro, unitamente a quello per i curatori del presente volume – Marco Di Mauro, Luigi Romano e Valeria Zanini – che hanno svolto con la loro migliore abnegazione l'ingrato ma essenziale compito di tramandare ai posteri lo spirito del congresso padovano.

Purtroppo, però, i lettori non potranno godere della lettura dell'emozionante contributo di John Heilbron, che a pochi giorni dal termine del nostro Congresso è venuto a mancare, proprio in questa stessa città che secoli or sono aveva ospitato l'autore di tanti suoi illuminanti studi. Il suo ultimo contributo su Galilei può tuttavia essere ascoltato e visto direttamente sul canale YouTube della nostra Società, che pure ospita – insieme a tutti gli altri – il contributo di uno degli amici SISFA di vecchia data, il chimico Marco Taddia, che pure ci ha lasciati lo scorso anno.

Le pagine che seguono offrono, nondimeno, un prezioso ed esauriente spaccato degli studi attuali di storia della fisica e dell'astronomia. Buona lettura, dunque!

Salvatore Esposito  
Presidente SISFA



**43<sup>rd</sup> National Congress of the  
Italian Society for the History of Physics and Astronomy  
Padova, September 5-8, 2023**

**Programme**

**Tuesday, 5<sup>th</sup> September 2023**

*(DFA-University of Padova, Via Paolotti, 9 - Padua)*

WELCOME AND INTRODUCTION

09:15 **Salvatore Esposito**

Session **THE ASSAYER AND THE BIRTH OF MODERN SCIENCE: PART 1**

*Chairperson: Ivana Gambaro*

09:45 **John Heilbron** (Keynote talk) - *The Assayer Assayed*

10:30 **Jochen Büttner** (invited talk) - *The origin of Galileo's New Science in a challenging problem*

11:00 *COFFEE BREAK*

11:25 **Paolo Bussotti** - *What means that the book of nature is written in mathematical characters?*

11:45 **Matteo Cosci** - *Galileo's Reception and Rework of the "Optical Theory" of Comets*

12:05 **Stefano Gattei** - *Galileo «makeshift theologian»? A few remarks on Augustine and Galileo's biblical exegesis*

12:25 **Pasquale Tucci** - *Was Galileo accurate in recording Moon's images in Sydereus Nuncius?*

Session **SISFA PRIZE 2023**

*Chairperson: Salvatore Esposito*

12:45 **Lorenzo De Piccoli** - *Silentium Universi. Storia del SETI e del Paradosso di Fermi*

13:15 *LUNCH BREAK*

Session **COPERNICUS' CHANGEOVER FROM THE OLD TO THE NEW COSMOS: PART 1**

*Chairperson: Mauro Gargano*

14:30 **Pietro Daniel Omodeo** (invited talk) - *Celio Calcagnini's Philosophical Defense of the Motion of the Earth (ca. 1518)*

- 15:00 **Lucio Russo** (invited talk) – *Copernicus’ contribution to the Copernican Revolution*  
 15:30 **Giancarlo Truffa** - *Between Copernicus, Kepler and Galileo. A memory of Owen Gingerich (1930-2023)*  
 15:50 **Harald Gropp** - *Copernicus and Vespucci between East and West*  
 16:10 *COFFEE BREAK*

Session FROM POLENI TO B. ROSSI, AND BEYOND: OPENING REMARKS  
 Chairperson: **Pasquale Tucci**

- 16:30 **Giulio Peruzzi** (invited talk) - *Personalities and places of physics and astronomy in Padua from Galileo to the 20th century*  
 17:10 **Enrico Giannetto** – *Whitehead’s relational formulation of relativity*  
 17:30 **Elena La Guidara** - *Enrico Federico Jest: a skilled scientific instrument maker in Turin during the first half of the 19th century.*  
 18:00 VISIT TO MUSEO “POLENI”

### Wednesday, 6<sup>th</sup> September 2023

(INAF-Astronomical Observatory of Padova, Vicolo dell’Osservatorio, 5 - Padua)

Session COPERNICUS’ CHANGEOVER FROM THE OLD TO THE NEW COSMOS: PART 2  
 Chairperson: **Flavia Marcacci**

- 09:15 **Matteo Valleriani** (invited talk) - *When the time was ripe to publish Copernicus: a view of the European intellectual context of the first half of the 16th century*  
 09:45 **Alessandro Amabile** - *A dynamical interpretation of Hipparchus’ diagrams*  
 10:05 **Valeria Zanini** - *Nicolaus Copernicus, a testimonial of the heliocentric system at the Astronomical Observatory of Padua*  
 10:25 **Francesco Vizza** - *The Gregorian calendar formulated by Luigi Lilio and the supposed influence of Copernicus*  
 10:45 **Enrico Gasco**- *An information analysis of the ‘Celestial Object’ concept in Copernican Revolution*

Session FROM POLENI TO B. ROSSI, AND BEYOND: 20<sup>TH</sup> CENTURY: PART 1  
 Chairperson: **Enrico Giannetto**

- 09:45 **Giovanni Carlotti** - *Bernardo Dessau. Physicist, scientist, teacher*  
 10:05 **David Verrilli Hernandez-** *Maurizio Buscalioni: The first director of the Caracas observatory*  
 10:25 **Alexander Afriat-** *Celestial micro-mechanics 1916-17: Einstein vs. Schwarzschild, Sommerfeld, Epstein*  
 10:45 **Daniele Macuglia-** *Free-energy calculations in soft and hard matter: From Hamiltonian thermodynamic integration to early applications of umbrella sampling*  
 11:05 *COFFEE BREAK*

Session THE ASSAYER AND THE BIRTH OF MODERN SCIENCE: PART 2  
 Chairperson: **Simone Zaggia**

- 11:25 **Stefano Salvia** - *Atoms of Fire: Galileo’s Unachieved Theory of Heat and the Early Beginnings of Thermometry (c. 1603-1638)*

11:45 **Davide Pietrini** - *Signs of the principle of virtual work and of the “principle of conservation” in the Mechanicorum Liber by Guidobaldo del Monte*

12:05 **Danilo Capecchi** - *Music in Holland: Consonances According to Simon Stevin*

Session FROM POLENI TO B. ROSSI, AND BEYOND: 18<sup>TH</sup> -19<sup>TH</sup> CENTURIES: PART 1

Chairperson: **Simone Zaggia**

12:25 **Luisa Loviseti**- *From the Earth to the Sun: the quest for the Astronomical Unit by means of the 1761 and 1769 Venus transits*

12:45 **Francesca Damiani** - *Analysis of a correspondence between Giovanni Poleni and Jacopo Belgrado*

Session FROM POLENI TO B. ROSSI, AND BEYOND: HISTORY AND EPISTEMOLOGY OF PHYSICS

Chairperson: **Adele La Rana**

11:25 **Antonino Drago** - *Logical Interpretation of Pierre Curie’s Paper on Symmetries (1894)*

11:45 **Ruth Castillo** - *Scientific Phenomenological Realism and the Physics of Unobservables: Einstein, Husserl, and Neelamkavil*

Session FROM POLENI TO B. ROSSI, AND BEYOND: 20<sup>TH</sup> CENTURY: PART 2

Chairperson: **Adele La Rana**

12:05 **Leonardo Gariboldi**- *Physics for Medicine at the Milan Institute of Complementary Physics*

12:25 **Roberto Lalli** - *Italian physics in the international organization of science: The case of IUPAP*

12:45 **Stefano Furlan** - *An Essay in Counterpoint: Wheeler, Schwinger, and ‘Conflicts in Physics’*

13:05 *LUNCH BREAK*

Session COMMEMORATION OF GIULIANO ROMANO (1923-2013)

Chairperson: **Prof. Em. Cesare Barbieri**

14:15 Institutional remarks and remembrance of the nephew

14:35 **Gabriele Umbriaco** (invited talk) - *Giuliano Romano's Exceptional Astronomical Research at Padua*

15:05 **Elio Antonello** (invited talk) - *Giuliano Romano and the archaeoastronomy*

15:35 **Enio Vanzin** - *In Memory of Prof. Giuliano Romano*

15:55 **Laura Bertollo** - *The “Meetings with Nature” Giuliano Romano and Don Paolo Chiavacci*

16:15 *COFFEE BREAK*

Session FROM POLENI TO B. ROSSI, AND BEYOND: 18<sup>TH</sup> -19<sup>TH</sup> CENTURIES: PART 2

Chairperson: **Leonardo Gariboldi**

16:35 **Benedetta Campanile** - *Giovanni Poleni's “pinwheel” calculator: a project destined to disappear*

16:55 **Lucia De Frenza** - *Natural electricism in Giuseppe Maria Giovene’s researches*

17:15 **Elena Corradini** - *Giuseppe Bianchi astronomer of the Restoration in the Estense State*

17:35 **Mauro Gargano** - *Celestino Galiani and the strengthening of astronomy in Naples: a preliminary investigation of his correspondence*

17:55 **Rosanna Del Monte** - *The work of Abbot Giuseppe Conti in the Kingdom of the Two Sicilies.*

18:15 **Marco Giliberti** - *Old quantum physics for cultural education*

Session FROM POLENI TO B. ROSSI, AND BEYOND: 20<sup>TH</sup> CENTURY: PART 3

Chairperson: **Roberto Lalli**

16:35 **Paolo Rossi** – *Fermi's Early Work on Quantum Mechanics*

16:55 **Francesco Vissani** - *First steps towards understanding neutrinos. A tribute to Enrico Fermi on the 90th anniversary of the  $\beta$  decay model*

117:15 **Marco Di Mauro** - *Exchange interactions between Europe and Japan in the 1930s: Tomonaga, Yukawa and the birth of nuclear theory*

17:35 **Luisa Bonolis** - *Bruno Rossi and the art of jumping on the Sputnik bandwagon*

17:55 **Olga Dubrovina** - *Observatory INTEGRAL in the geopolitical perspective*

18:15 **Giancarlo Artiano** - *Physics and mathematics using and designing machines and mechanisms*

18:35 **Daniele Puleio** - *At Home in a Super-Copernican Cosmos: The Genesis of John Wheeler's Participatory Universe*

19:00 VISIT TO MUSEO “LA SPECOLA”

### **Thursday, 7<sup>th</sup> September 2023**

(INAF-Astronomical Observatory of Padova, Vicolo dell'Osservatorio, 5 - Padua)

Session DIALOGUE BETWEEN HISTORY, TEACHING AND DISSEMINATION: PART 1

Chairperson: **Sofia Talas**

09:15 **Françoise Khantine-Langlois** (invited talk) - *After the Abbé Nollet, the teaching of physics in “Lycées” in France*

09:45 **Miriam Focaccia and Marco Garbin** (invited talk) - *The scientific legacy of via Panisperna. History, experiences, and perspectives of the Enrico Fermi Museum*

10:15 **Salvatore Ganci** - *On the Grimaldi Phenomenon*

10:35 **Erika Bercigli** - *Science Images. Reinventing science within an ever-changing world*

10:55 **Marco Taddia** - *Bologna Bottles revisited with unexpected links to war events*

11:05 COFFEE BREAK

11:35 Federico Di Giacomo – *“LOOK UP!” A virtual exhibition about the historical astronomical atlases*

Session FROM POLENI TO B. ROSSI, AND BEYOND: 18<sup>TH</sup> -19<sup>TH</sup> CENTURIES: PART 3

Chairperson: **Danilo Capecchi**

10:15 **Simone Zaggia** - *An imperial total solar eclipse: 8th July 1842*

10:35 **Oronzo Mauro** - *Temistocle Calzecchi Onesti Lab in Fermo and the Maggiori Sisters*

10:55 **Laura Franchini** - *Innovations and inventions from the Nobel family in the late nineteenth and early twentieth centuries*

Session MUSEUMS, ARCHIVES, AND SCIENTIFIC COLLECTIONS: PART 1

Chairperson: **Roberto Mantovani**

11:55 **Roland Wittje** (invited talk) - *Scientific instruments and the neglect of teaching in the history of physics*



- 12:25 **Giangiaco Gandolfi** - *The Copernican and Astronomical Museum of the INAF-Astronomical Observatory of Rome: Heritage and Research*  
 12:45 **Tanja Marzi** - *The construction of domes for Italian astronomical observatories in the 20th century: the case of A. Bombelli realizations*

13:05 *LUNCH BREAK*

Session DIALOGUE BETWEEN HISTORY, TEACHING AND DISSEMINATION: PART 2  
 Chairperson: **Marisa Michelini**

- 14:05 **María-Gabriela Lorenzo and Ignacio Idoyaga** - *The Role of History of Science in Enhancing Physics and Chemistry Education*  
 14:35 **Round Table** - *Come può essere utile la storia alla didattica della fisica e dell'astronomia?*

16:35 *COFFEE BREAK*

17:00 SISFA GENERAL ASSEMBLY

20:30 *SOCIAL DINNER*

### **Wednesday, 8<sup>th</sup> September 2023**

*(DFA-University of Padova, Via Paolotti, 9 - Padua)*

Session MUSEUMS, ARCHIVES, AND SCIENTIFIC COLLECTIONS: PART 2  
 Chairperson: **Fanny Marcon**

- 09:15 **Martina Schiavon** (invited talk) - *The Bureau des longitudes (1795-1932), an academy of astronomical sciences internationally open*  
 09:45 **Luigi Marcon** - *A geo-historical itinerary: evidence of the time measurement in Padua*  
 10:05 **Marco Dima** - *If 3D printing and CG graphics meet the historical heritage...*  
 10:25 **Tiziana Macaluso** - *The first astronomical observations through the photographs collected in Inaf-Oar archive. Study to support conservative recovery*  
 10:45 **Luca Guzzardi** - *The rise of multi-messenger astrophysics and the pro-social function of models*  
 11:05 *COFFEE BREAK AND VISIT TO MUSEO "BERNARDI"*

Session DIALOGUE BETWEEN HISTORY, TEACHING AND DISSEMINATION: PART 3  
 Chairperson: **Matteo Leone**

- 11:30 **Roberto De Luca** (invited talk) - *Real-world phenomena as useful tools in physics teaching*  
 12:00 **Paola Bagno** - *Gravitation: a project for secondary school students using history of Physics and museum instruments*  
 12:20 **Matteo Torre** – *Galileo's experiments with Arduino*  
 12:40 **Giuliano Klun** - *C. Bonfanti's book collection*

FINAL REMARKS AND ACKNOWLEDGMENTS

13:00 **Salvatore Esposito**



COPERNICUS' CHANGEOVER  
FROM THE OLD TO THE NEW COSMOS



# Celio Calcagnini on the Motion of the Earth at the Dawn of Modern Astronomy

Pietro Daniel Omodeo<sup>1</sup>, Alberto Bardi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Università Ca' Foscari di Venezia, Dipartimento di Filosofia e Beni Culturali, pietrodaniel.omodeo@unive.it

<sup>2</sup> Tsinghua University of Beijing, School of Humanities, Department of the History of Science, alberto.bardi@live.com

*Abstract:* Around 1518, the Ferrara humanist Celio Calcagnini (1479-1541) wrote an original defense of Earth's motion, *Quod caelum stet, terra moveatur vel de perenni motu terrae* (The Heavens Stand, the Earth Moves, or the Perennial Motion of the Earth). It was a short but complex philosophical treatise, written in a sophisticated style, on a topic of undoubted interest to the history of cosmology. It is one of the earliest documents attesting to the Renaissance circulation of geokinetic conceptions, in the very years when the revolutionary ideas of Copernicus started to circulate and the *De revolutionibus orbium coelestium* was taking shape. Yet, Calcagnini's text has not received adequate consideration in the history of science, apart from a few exceptions. This communication is devoted to this lesser-known intellectual figure. It stems from a collaboration between the authors aimed to offer the first modern translation of *Quod caelum stet*. We will discuss the cultural context from which Calcagnini's defense of terrestrial motion emerged. It especially relied on natural and epistemological considerations within the framework of an eclectic humanistic philosophy, influenced by skepticism and Platonism. Calcagnini discussed at length the limits of our cognitive faculties and argued for the need that reason moves beyond immediate sensible appearance. He then argued for the plausibility of the Earth's motion against common sense, on the basis of a series of natural arguments.<sup>1</sup>

*Keywords:* Calcagnini, Copernicus, Early Modern Astronomy, History of Cosmology, Humanism

## 1. Introduction

The celebrations of the 550th anniversary of Nicolaus Copernicus and the annual meeting of the Italian Society of the Historians of Physics and Astronomy at Padua University and at INAF-Astronomical Observatory of Padua in September 2023 offered us two occasions to reassess the circulation of geokinetic conceptions in the Renaissance. We chose to focus on the philosophical defense of terrestrial motion by the Ferrara humanist Celio Calcagnini (1479-1541). We believe that his *Quod caelum stet, terra moveatur vel de perenni motu terrae* (That the Heavens Stand Still, the Earth is Moved or: On the Perennial Motion of the Earth) deserves more consideration than in the past. Its significance is enhanced by its connection with the 'astronomical revolution' of his time. It was written around 1518 and first published in 1544 (Bardi & Omodeo 2024). We brought this writing to the attention of the historians of astronomy again, and presented and improve our own Italian translation of Calcagnini's *Quod caelum stet* which will soon appear in the journal *Physis*.

---

<sup>1</sup> We would like to acknowledge the project *Cosmography of Historical Waterscapes*, which received funding from Tsinghua University, Beijing and made the collaboration on this paper possible (Tsinghua University Initiative Scientific Research Program, Grant no. 20233080008). We are also thankful to the Department of History of Science of Tsinghua University, School of Humanities, and the Department of Philosophy and Cultural Heritage of Ca' Foscari University of Venice.

The Copernican relevance of Calcagnini's work did not escape the early admirers of Copernicus. The man of letters Cesare Marsili (1592-1633), for one, mentioned him in a letter to Galileo Galilei (1564-1642) from Bologna (22 April 1625):

I wish I had the great eloquence of the poet Mimnermus (the 'Copernican'), who, as Celio Calcagnini remarks in his *Discourse on the Motion of the Earth*, imagined in his poems that the Sun rests on a bed and, in such a manner, is transported from one place to another. He thus hinted at the stability of its motion in the midst of the heavens. [If I had Mimnermus's eloquence] I could aptly thank you, my Sir Galileo; but let us grant the silent affection instead of imaginative poetry, and let us believe rather in mathematical sincerity, as it is the wholehearted thanksgiving, that I here unskillfully submit to Your Excellency, of the honor I received from Lord Prince Cesi in enlisting me among the Lincei (Letter by Cesare Marsili to Galileo Galilei, Bologna, 22 April 1625, in *Le Opere*, p. 268).

Indeed, in his essay on the motion of the Earth, Calcagnini indicated Mimnermus as a literary source on terrestrial motion.

Another seventeenth-century erudite person, the Oxford librarian Robert Burton (1577-1640), in his *Anatomy of Melancholy* (1621), went so far as to present Copernicus as a sort of conventionalist who only embraced the motion of the Earth as a convenient hypothesis, and to present Calcagnini as one of the defenders of terrestrial motion as a physical reality:

[The paradox of the Earth's motion] is revived since by Copernicus, not as a truth, but a supposition, as he himself confesseth in the Preface to Pope Nicholas [sic!], but now maintained in good earnest by Calcagninus, Telesius, Kepler, Rotman, Gilbert, Digges, Galileo, Campanella, and especially by Lansbergius (Burton 1972, p. 52)

Among Copernicus scholars of the late nineteenth century, the idea of a close connection between Calcagnini and Copernicus was well-established, although the channels of the transmission of astronomical ideas between the two intellectuals was unclear. Franciscus Hipler generically considered the Italian humanist to be an imitator of Copernicus, whereas Ludwik Antoni Birkenmajer stressed their common belonging to a network of European literati, which comprised diplomats and mathematicians (Hipler 1879; Birkenmajer 1900, pp. 480-491). André Goddu's recent translation of Birkenmajer's *Mikolaj Kopernik* (1900) – on the occasion of the current anniversary – makes this Polish classic of Copernican Studies accessible to a broader international readership. It comprises an interesting chapter on Calcagnini, which brings forward the hypothesis that the Ferrara humanist was first introduced to the new astronomy in Cracow, in 1518, when he attended the wedding between the king of Poland Stanislaw and Bona Sforza, together with many Italian aristocrats, ecclesiastics and intellectuals (Birkenmajer 1900 and 2023).

In recent years, the Copernicus-Calcagnini connection has been mostly obliterated. A remarkable exception is an article by Michel-Pierre Lerner which, however, entails an exaggeration concerning the impact of Calcagnini's geokinetic defence. Lerner even deemed that Calcagnini's ~~his fame to have~~ overshadowed Copernicus's, arguing that Martin Luther's criticism of the subversion of astronomy in his table talk of 4th June 1539 targeted Calcagnini instead of Copernicus, with the infamous words "Der Narr will die ganze Kunst Astronomie umkehren" (Lerner 2009). A more balanced account of the Ferrara context as the relevant background against which the link between the two Renaissance intellectuals took place – as the place where Copernicus received his university title in canon law (1503) and Calcagnini was born and flourished – is a recent book by Marian Chachaj on Copernicus's student years. Among other aspects, Chachaj discusses the background of a possible exchange between them (Chachaj 2023).



## 2. Calcagnini's Brief Prosopographic Information

Born in Ferrara in 1479, Calcagnini was a learned humanist and jurist (Russo 2003, pp. 85-88). Around 1509, he was entrusted with the chair of Latin and ancient Greek at the university of his hometown, the same institution where Copernicus had graduated in canon law in 1503 under the mentorship of Filippo Bardella († 1510) and Calcagnini's godfather, Antonio Leuti († 1516) (Chachaj 2023, p. 216). Calcagnini obtained his doctorate in civil and canon law from the same university in 1514. In 1510, he became a canon at the Ferrara Cathedral. He also served as secretary to Cardinal Ippolito d'Este, a patron of philosophers, astronomers, and poets. Calcagnini cultivated the letters and established strong ties to prominent authors of his time, including his student Giambattista Giraldi Cinzio (1504-1573), and Ludovico Ariosto (1474-1533), who paid homage to him in *Orlando Furioso* (Canto 42, octave 90).

In 1517, Calcagnini accompanied Ippolito d'Este to Hungary in the Diocese of Eger, where he devoted himself to studying astronomy alongside the German humanist and astronomer Jacob Ziegler (ca. 1470-1549) (Omodeo 2014a). During these years, he worked on a paraphrase of Aristotle's *Meteorology*. It is possible that he first heard about Copernicus's planetary theory in 1518 in Krakow (Biskup, 1973, 63-64, n. 91). It is also likely that he became acquainted with Copernicus's draft on the heliocentric thesis (now known as *Commentariolus*) which circulated among Polish scholars, particularly in Krakow (Omodeo 2014b, pp. 209-213; Bardi 2023).

According to Franco Bacchelli's accurate reconstruction, one can assume that Calcagnini wrote his defense of the Earth's motion around 1518/19 (Bacchelli 2017, pp. 23-24 and Marchetti 1973, p. 496), although it was only posthumously published in his *Opera aliquot* (Basel 1544). *Quod caelum stet, Terra moveatur* was dedicated to a friend, the Ferrarese diplomat Bonaventura Pistofilo (1465/70-1533), as is evidenced by a brief dedication that accompanies the text (Calcagnini 1544, p. 387).<sup>2</sup> Both had attended the University of Ferrara and shared their admiration for Erasmus of Rotterdam (1466/69-1536). A period of intense interaction with Pistofilo was the biennium 1518-1519, especially during Calcagnini's return from Hungary, when he needed the ducal secretary's support to regain ecclesiastical benefits lost during his absence (Bacchelli, 2017, p. 24). Pistofilo gave Calcagnini a copy of Erasmus's *De libero arbitrio* (On Free Will), the renowned polemical writing against Martin Luther's theses *De servo arbitrio*. Calcagnini contributed to the theological-political controversy with the essay *De libero animi motu sententia veterum philosophorum* (The Free Motion of the Soul According to the Ancient Philosophers, 1525), dedicated to Pistofilo. The publication of Calcagnini's work drew Erasmus's attention, leading to their correspondence.

## 3. *Quod caelum stet, Terra moveatur*: A Neglected Source of Geokinetic Cosmology in Copernicus's Age

The 'geokinetic principle' is explicitly stated by Calcagnini in *Quod caelum stet* as follows:

[Hiketas and Archimedes] believe that the heavens, the Sun, the Moon, the stars, and the rest of the higher things, are stationary, and that nothing in the world moves except for the Earth, which, as it turns and twists around its axis at maximum speed, itself accomplishes everything that, if the Earth were stationary, would involve the motion of the heavens. (Calcagnini 1544, p. 394).

The contents of *Opera aliquot*, the work that comprises the first edition of *Quod caelum stet*, are extremely variegated. They reflect the most varied interests of a cultural diplomat and erudite humanist. The title *Opera aliquot* suggests that it includes only a selection of his writings. Yet, it is a voluminous publication, the contents of which are so disparaged as to comprise courtly poems and

<sup>2</sup> If the presumed date of writing *Quod caelum stet* were incorrect, the *terminus ante quem* is 1533, the year of Pistofilo's death. See also: Quaranta (2015).

orations, diplomatic speeches, a military report on the conflict between Ferrara and Venice of 1509, advice on navigation and the cultivation of citrus fruits. It also comprises summaries of philosophical works, among them, Aristotle's *Ethics* book one, *Politics*, and *De sensu*. The influence of Renaissance Platonism is witnessed by discussions on *Egyptiaca* and erotic magic. Calcagnini also authored short treatises on moral philosophy, on topics such as "de patientia", "de concordia", "de calumnia", and "de salute ac recta valetudine". A very brief *Apologus super inscitia* is part of the collection, as well. Moreover, he wrote an essay, on imitation, *De imitatione*, which is dedicated to his pupil Giambattista Giraldi Cinzio. The interest in poetry and theory is complemented by that in knowledge theory (*De verborum et rerum significatione*) and rhetoric (*Compendium rhetoricae*). Theology is dealt with in the anti-Lutheran *De libero animi motu sententia veterorum philosophorum* and in a tract on the Eucharist (*In sacramentum Eucharistiae sermo*). Moreover, Calcagnini addressed pedagogical issues in "opuscula" such as *Quod studia sunt moderanda* and *Encomion artium liberalium*. 'Scientific interests' especially emerge from his discussion of the measure of months (*De mensibus*) and the paraphrase of Aristotle's *Meteorologica*, in which he addressed, among other issues, earthquakes (*De terrae motu*). Thus, Calcagnini's defense of terrestrial motion should be seen as part of a vast cultural program that is well accorded to the speculative and literary treatment of this issue, rather than strictly mathematical or physical.

### 3.1 Calcagnini's Philosophical Perspective

Concerning Calcagnini's philosophical perspective on terrestrial motion, the beginning of his essay on the topic gestures towards skepticism as the necessary starting point.

Have you not heard that in the ancient Academy it was thought, concerning things and the entire nature, that nothing can be understood or comprehended with certainty? Such a doctrine is mere insipience or at least something like insipience (Calcagnini 1544, p. 388).

This is no destructive skepsis but rather a cognitive consideration that aims at wiping out arguments derived from the senses. Indeed, terrestrial motion, just like the mathematical truths, is not graspable through the senses but is rather supported through rational and intellectual means. For Calcagnini, philosophers – the natural scientists, as it were – should move beyond the senses, which are misleading in many ways: the Earth moves, not according to sensible perception, but according to reason.

Some might ask me what such a long speech is aimed at: to make it clear to you that you should not trust your eyes to the point of accepting as convincing and established what they tell you. I told you that this celestial sphere, which you believe to be revolving on itself at unspeakable speed, and this Sun and those stars, which you think to be involved in a single circular motion, are not only stationary, and enjoy perpetual stillness embedded in their spheres, but also, in truth, this Earth, which you believe to be fixed and motionless (so your sight deceives you) does not stand still or at rest by the weight of its matter, as most believe (Calcagnini 1544, p. 388).

Calcagnini ascribes a moral value (not only a cognitive significance) to the acknowledgment of the limits of our senses. He expresses this idea by making resort to some classical references, among them, Plato's *Gorgias*, according to which "Malum maximum hominibus opinio falsa" (i.e., "The worst evil for humans is a false opinion") (Ficino, *Argumentum*, in Plato 1663, p. 235). Moreover, he introduces a literary tropos that was going to become a standard reference of Copernican kinematic relativism from Copernicus to Digges, Bruno, Origanus and Laplace (to mention only a few important names): the metaphor of the Earth as a ship. Calcagnini expresses this concept through a line derived

from Vergil's *Eneid* III 72: "Provehimur portu terraeque urbesque recedunt," that is, "We turn away from the harbor, and the land and the cities turn away" (Omodeo 2014b, Ch. 5).

### 3.2 *Terrestrial Motions and Their Causes According to Calcagnini*

The motion that Calcagnini discusses in detail is the daily rotation. The attribution of this rotation to the Earth instead of to the fixed stars is expressed in very clear terms as an inversion of perspective in relation to geostatic accounts. Just like Copernicus, Calcagnini sought for classical authorities who could back his thesis:

[Hiketas and Archimedes] believe that the heavens, the Sun, the Moon, the stars, and the rest of the higher things, are stationary, and that nothing in the world moves except for the Earth, which, as it turns and twists around its axis at maximum speed, itself accomplishes everything that, if the Earth were stationary, would involve the motion of the heavens. (Calcagnini 1544, p. 394).

A closer look at *Quod caelum stet* reveals that Calcagnini also considered other possible motions of the Earth. First, he argued that a sort of libration of its axis produces a variation of inclination, determining the varying declination of celestial bodies during the year. Moreover, he hinted at the trepidation of Islamic origin and key aspects of planetary theory. Did he also consider the annual revolution? In order to address these questions, we can consider some passages, in particular those referred to the Sun and planetary theory. Relative to the Sun, one can read on its excellence and immobility:

Often, as I contemplate the perennial nature of celestial things, I am amazed by the greatness and brightness of the 'eternal light,' to which nothing less befits than motion, and of all kinds of motion that which is called circular. As it descends from itself and returns to itself, it seems not suitable, since no other contains more contrary elements and (more than any other thing) is divided within itself (Calcagnini 1544, p. 392).

Thus, motion does not look proper to the Sun. Calcagnini writes that its varying distance and the succession of seasons depend on the Earth:

From this [the Sun] nourishment is given to animate beings, from this the years and seasons follow one another. Certainly not because it [the Sun] sometimes departs [*abscedat*] from us and then turns back [*revertatur*] (which is common opinion) but because we sometimes approach it and sometimes turn away from it. And really it cannot be considered sufficiently acceptable that what for nothing needs us should desire and be conditioned by our desire; on the contrary, what without it can neither be nourished nor formed nor propagated, would cease and neglect to provide for its own needs (Calcagnini 1544, p. 389).

This clearly looks like an opening to a heliocentric hypothesis, as seasons were traditionally connected with the monthly and seasonal variation of the position of the Sun in the zodiac signs. In a Copernican perspective this shifting position – and seasons – depend on the terrestrial motion. Is Calcagnini implying such a theory, too? Regrettably, he is rather elliptic concerning planetary theory, as one can evidence through the following quotation:

And what shall I say about the trepidation of the eighth sphere, what shall I say about the motion of the various epicycles and deferents? Although all this – as Proclus said – was introduced καθ' ὑπόθεσιν (as a hypothesis) by recent authors, nevertheless they were accepted and approved with great consensus of mathematicians by those who found no other way to prove the various

aspects of the universe and what of them they call τὰ φαινόμενα. Why is it that what is inherent in the Earth they nevertheless attributed to the heavens, with supreme conflict of mind? (Calcagnini 1544, p. 393).

Calcagnini embraced a sort of (Pythagorean) discretion, similar to the one professed by Copernicus in the manuscript of *De revolutionibus*, in which he quoted a letter by Lysias and Hipparchus on the secrecy of the mathematical mysteries of the Pythagoreans. Nonetheless, Calcagnini declared ready to engage a thorough discussion of further details with supporters of the terrestrial immobility:

If [the supporters of terrestrial immobility regarding the eighth sphere and planetary theory] will privately present to me some explanation regarding these topics, then I promise that I will do the same in good faith – even by taking an oath (Calcagnini 1544, p. 393).

We believe that the above quotations and these words of challenge are enough to establish Calcagnini's openness to a more articulated theory of terrestrial motion – perhaps the one he had come across to during his visit to Poland, in Krakow, where Copernicus's theses were already known.

*Quod caelum stet* also lists a series of arguments and reasons for terrestrial motion, which we here summarize as follows:

- a. Self-preservation of the imperfect/corruptible bodies: Calcagnini gives a teleological explanation of motion as a self-preserving tendency. As such, it can be compared to natural phenomena such as the motion of sunflowers, which always strive to receive the solar light. He also resorts to the magnet metaphor. The Earth is attracted by the Sun just as the iron is attracted by a magnet.
- b. Excellence/imperfection argument: the excellence of the heavens and the Sun is connected with stability and immobility. By contrast terrestrial imperfection is well suited to motion.
- c. Vital principle relative to an animal-like Earth: Calcagnini sees the Earth as a living being, a big animal which is endowed with tendencies and motion.
- d. So-called 'Achilles' argument: the velocity of the Earth's rotation is less rapid and less astonishing than that of the fixed stars within 24 hours.
- e. Background argument: motion should be ascribed to the container (i.e., the fixed stars) rather than to the contained thing (the Earth);
- f. Sea tides: this phenomenon is the causal effect of terrestrial motion;
- g. Mythology: Calcagnini makes use of literary commonplaces and quotes classical sources in support of terrestrial motion. Together with Hesiod he speaks of a flying Earth or a winged Earth. He also quotes Mimnermus to argue that the Sun sleeps (hence, the Earth runs in its stead).

Most of these arguments and metaphors were to become commonplaces in the Copernican debates of the sixteenth century. Although their circulation cannot be considered a direct reception of Calcagnini, nonetheless it is remarkable that *Quod caelum stet* offers a broad collection of ideas, images, and reasons for terrestrial motion at a very early stage of the establishment of a new cosmological vision with the Earth in motion.

#### 4. Concluding remarks

To sum up, Calcagnini's text on terrestrial motion proves an interesting document of early-modern scientific culture as it is revealing of important connections between astronomy, philosophy and humanistic literacy in general. *Quod coelum stet* offers an overview of important commonplaces

relative to terrestrial motion, which would become widespread in the wake of Copernicus's work, such as the ship metaphor referred to the moving Earth, the so-called 'Achilles argument,' the planetary-magnet metaphor, the sea-tides argument. Calcagnini's humanistic literacy shows striking similarities relative to Copernicus's. They must have common sources, shared among a sixteenth-century network of scholars who discussed the possibility of the motion of the Earth and shared general cosmological concerns. Moreover, Calcagnini's erudite inquiry into ancient predecessors contributed to the establishment of geokinetic authorities, such as Hicetas, Timaeus, Plato. His first geokinetic use of the line of *Aeneid* (III, 72), "Provehimur portu terraeque urbesque recedunt," can perhaps be taken as a marker of the cultural impact of Calcagnini's Academic-humanistic defense of terrestrial motion in the years of the elaboration of Copernicus's planetary theory and the earliest discussions thereupon. Among his sources, Plato's *Timaeus* was particularly relevant, as it provided an authoritative basis for the defense of terrestrial motion within a broader philosophical vision of the world. Calcagnini's reading of the *Timaeus* is close to that of his contemporary Copernicus. Possibly they influenced each other but, since we have only contextual elements in favor of this thesis, we should limit ourselves to stress the relevance of their kindred humanistic readings to the astronomical culture of the early sixteenth century, which considered the ancients as contemporary dialogical counterparts. Calcagnini's mixing of Platonic rationalism with skeptical attitudes should be further connected with his humanistic eclecticism. His elegant style was a display of erudition. Also, it favored a dialectic approach, closer to living forms of dialogue and reasoning, rather than mathematical deduction. His text constitutes a reservoir of images, references, arguments, not in the form of a conclusive argument but as an open-ended project.

## Bibliography

- Bacchelli, F. (2017). "Il *Quod coelum stet, Terra moveatur vel de perenni motu Terrae commentatio* di Celio Calcagnini" *Schifanoia: notizie dell'istituto di studi rinascimentali di Ferrara*, 52/53, pp. 21-33.
- Bardi, A. & Omodeo, P.D. (2024). "Il *Quod caelum stet, Terra moveatur* (ca. 1518) di Celio Calcagnini: contesto scientifico e traduzione", *Physis*, 59(1), pp. 1-56.
- Bardi, A. (2023). "Copernicus and Axiomatics" in Sriraman, B. (ed.) *Handbook of the History and Philosophy of Mathematical Practice*. Cham: Springer, pp. 1-18.
- Birkenmajer, L. A. (2023). *Nicolaus Copernicus: Part One. Studies on Copernicus's Work and Biographical Materials*. Translated from Polish by Goddu A. Toruń: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.
- Birkenmajer, L.A. (1900). "Solpha i Calcagnini," in Birkenmajer, L.A (ed.), *Mikołaj Kopernik*. Krakow: w drukarni Uniwersytetu Jagellońskiego, pp. 480-491.
- Biskup, M. (1973). *Regesta copernicana (Calendar of Copernicus' Papers)*, Wrocław: Ossolineum, The Polish Academy of Science Press.
- Burton, R. (1972). *The Anatomy of Melancholy* (Oxford 1621). Edited by Holbrook J., London-Toronto: Dent.
- Calcagnini, C. (1544). *Opera Aliquot*. Basle: Froben.
- Chachaj, M. (2023). *Nicolaus Copernicus Student Times: Cracow, Bologna, Rome, Padua, and Ferrara (1491-1503)*. Toruń: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.
- Craig, M. (2011). *Renaissance Meteorology: Pomponazzi to Descartes*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- Hipler, F. (1879). *Celio Calcagnini und seine Schrift über die Erdbewegung*. Münster: [s.n.]
- Le Opere di Galileo Galilei. Ristampa della edizione nazionale* (1935), vol. 13. Firenze: G. Barbèra.

- Lerner, M.P. (2009). “‘Der Narr will die gantze kunst Astronomiae umkehren’: sur un célèbre Propos de table de Luther,” in Granada M.A. & Mehl E. (ed.) *Nouveau ciel nouvelle terre: La révolution copernicienne dans l’Allemagne de la Réforme (1530-1630)*. Paris: Les belles lettres, pp. 41-65.
- Marchetti, V. et al. (1973). “Calcagnini, Celio”, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 16. Roma: Istituto dell’Enciclopedia Italiana (*ad vocem*).
- Omodeo, P.D. (2014a). “Erasmian Philology and Mathematical Astronomy: Jakob Ziegler and the Humanist Recovery of Pliny’s Natural History”, *Journal of Interdisciplinary History of Ideas*, 6(2), pp. 1-23.
- Omodeo, P.D. (2014b). *Copernicus in the Cultural Debates of the Renaissance: Reception, Legacy, Transformation*. Leiden: Brill.
- Plato (1663). *Omnia divini Platonis opera traslatione Marsilii Ficini*. Lugduni: Apud Antonium Vincentium.
- Quaranta, C. (2015). “Pistofilo, Bonaventura”, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 84. Roma: Istituto dell’Enciclopedia Italiana (*ad vocem*).
- Russo, L. (2003). *Flussi e riflussi. Indagine sull’origine di una teoria scientifica*. Milano: Feltrinelli.

# La dinamica di diffusione del sapere astronomico e l'agenda di ricerca come contesto della pubblicazione del *De revolutionibus* di Copernico (1543)

Matteo Valleriani<sup>1</sup>, Maryam Zamani<sup>2</sup>, Hassan El-Hajj<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Max Planck Institute for the History of Science, Technische Universität Berlin, Tel Aviv University, BIFOLD, valleriani@mpiwg-berlin.mpg.de

<sup>2</sup> Max Planck Institute for the History of Science, zamani.marya@gmail.com

<sup>3</sup> Max Planck Institute for the History of Science, BIFOLD, hhajj@mpiwg-berlin.mpg.de

*Abstract:* The research project “The Sphere: Knowledge System Evolution and the Shared Scientific Identity of Europe” delves into the epistemological processes of homogenization of scientific knowledge across late medieval and 17<sup>th</sup>-century Europe. Focusing on widespread astronomical knowledge taught in universities, this study examines the dynamics surrounding Copernicus’ revolutionary ideas. It analyzes 359 textbooks printed from 1472 to 1650, revealing a significant shift after 1531 in the dissemination of scientific works beyond local markets. This change coincided with Wittenberg’s intellectual dominance, led by figures like Rheticus and influenced by Melanchthon’s agenda merging humanities and exact sciences. Despite Copernicus’ publication in 1543, his ideas faced neglect due to divergent intellectual priorities. The study elucidates that Copernicus’ work did not align with the prevalent academic emphasis at the time, leading to its prolonged disregard, highlighting the intertwined evolution of knowledge domains and their impact on scientific reception and dissemination.

*Keywords:* Astronomy, Sacrobosco, Copernicus, Spread of Knowledge

## 1. Introduzione

Nell’ambito del progetto di ricerca “The sphere. Knowledge System Evolution and the Shared Scientific Identity of Europe”,<sup>1</sup> si intendono ricostruire i processi epistemologici che hanno condotto ad un’omogeneizzazione del sapere scientifico in Europa tra il tardo medioevo e il XVII secolo. La ricerca è condotta in riferimento al sapere astronomico “diffuso” e cioè a quel sapere di base che veniva insegnato nelle università e che perciò rappresenta anche la pietra di paragone per comprendere se e come nuove concezioni, come ad esempio quella di Copernico, venivano accettate o meno (Cole 1983).

La ricerca approfondisce tipici temi di economia del sapere come processi di diffusione ed accumulazione del sapere scientifico e nel presente lavoro vengono presentati i risultati di ricerche volte a comprendere le caratteristiche di tali dinamiche durante il periodo che circonda l’importante anno 1543, e cioè l’anno di pubblicazione del *De revolutionibus orbium coelestis*.

È noto che la teoria copernicana raggiunse un livello di consenso generalizzato solo molto tempo dopo la pubblicazione del testo fondamentale e non senza un percorso travagliato. Le ricostruzioni storiche rivolte a questo tema si sono tuttavia generalmente concentrate sulle ricerche astronomiche di spicco di quegli anni, tralasciando invece il contesto generale, nel quale queste ricerche avvenivano.

---

<sup>1</sup> Per un’introduzione generale agli scopi scientifici del progetto, si veda: El-Hajj *et al.* (2022). Per la presentazione web del progetto: <https://sphaera.mpiwg-berlin.mpg.de>

In questo lavoro vengono dimostrati a) che il momento della pubblicazione del testo di Copernico avvenne in una fase in cui la dinamica di diffusione del sapere astronomico di base mostrava un impressionante cambio di passo aumentandone significativamente la velocità e la sua capacità di trasformazione e b) che però l'agenda scientifica alla base di tale cambiamento era dettata da scopi completamente diversi da quelli che la teoria copernicana avrebbe potuto raggiungere o supportare.

I risultati presentati in questo lavoro, perciò, possono essere visti come una spiegazione della mancata o scarsa ricezione del lavoro di Copernico.

## 2. Fonti e dati

Viene analizzata una collezione di libri di testo a stampa utilizzati per l'insegnamento dell'astronomia durante il primo corso di studi. Come disciplina, l'astronomia faceva parte del quadrivio ed era perciò materia di insegnamento obbligatoria per tutti coloro che raggiungevano gli studi universitari (Valleriani 2022). I volumi sono stati raccolti in base al fatto che contengono un testo scientifico particolare e cioè il *Tractatus de sphaera* di Johannes de Sacrobosco (ca. 1195-1256). Questo testo, compilato per gli studenti dell'università di Parigi durante la seconda metà del XIII secolo, divenne nel giro di un secolo un testo standard utilizzato in quasi tutte le università europee fino alla metà del XVII secolo (Valleriani 2017).

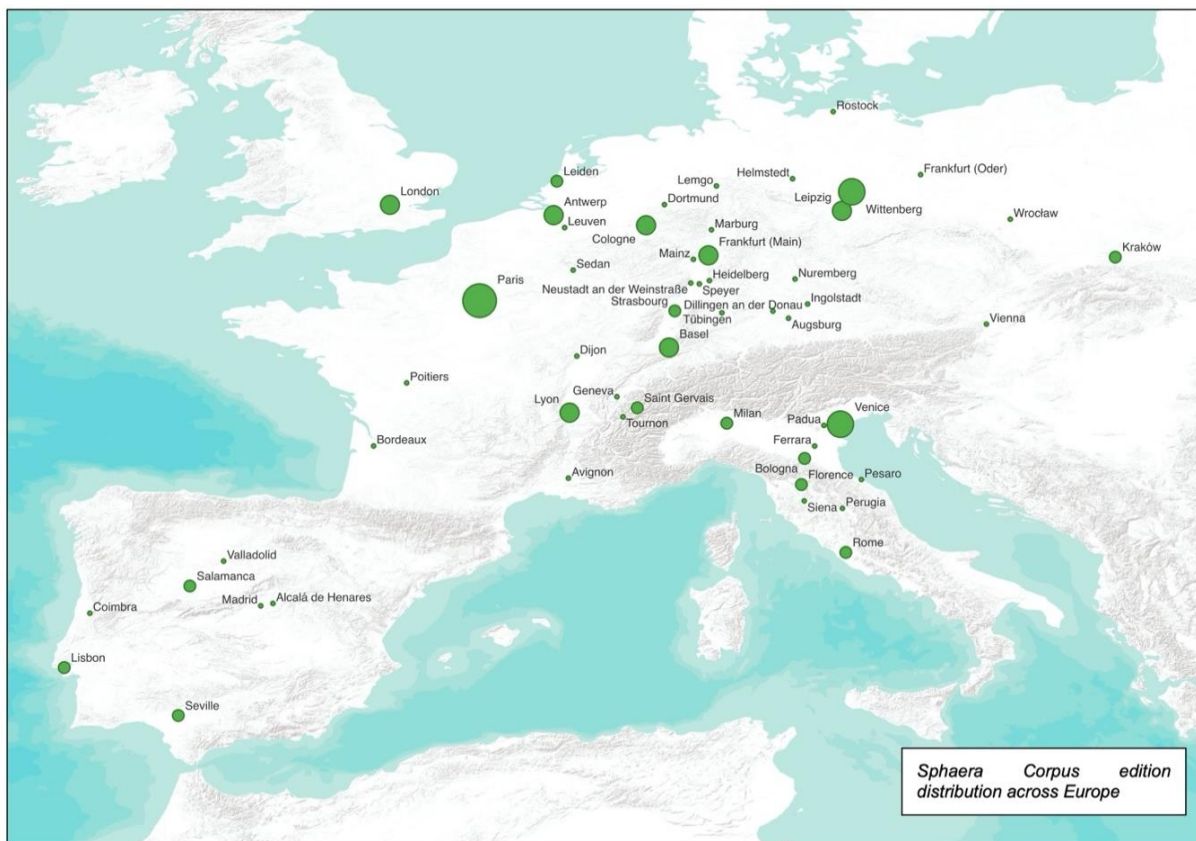
Il *Tractatus* è un'introduzione alla cosmologia geocentrica che solo nell'ultimo breve capitolo approccia temi di astronomia matematica come ad esempio la teorica dei pianeti e le eclissi. Nella sua versione originale, il testo fornisce una visione globale degli elementi costitutivi della *machina mundi*, dei loro movimenti, di alcune misure, quali ad esempio la lunghezza dell'equatore terrestre, ma non fornisce alcun precetto concernente calcoli astronomici.

Tutti i libri di testo analizzati contengono, in una forma o un'altra, il *Tractatus* di Sacrobosco. Ma non solo. I libri di testo scientifici rinascimentali sono generalmente volumi che contengono più di un singolo lavoro scientifico. Questi possono essere testi di altri autori, spesso pertinenti temi specifici trattati nel *Tractatus*, oppure si tratta di commenti al *Tractatus*. Il commento scientifico rinascimentale è un tipico prodotto della ricerca scientifica del tempo e forniva un'ampia libertà di manovra al commentatore. I commenti scientifici della collezione di fonti toccano perciò i temi più disparati: dall'approfondimento dell'apparato matematico, all'astrologia, la medicina o la religione. La composizione del libro di testo così come la scelta di un particolare libro di testo per la lezione risultavano spesso da un dialogo tra il lettore di matematica all'università e uno o più stampatori locali (Pantin e Renouard 1986; Pantin 2022, 2006).

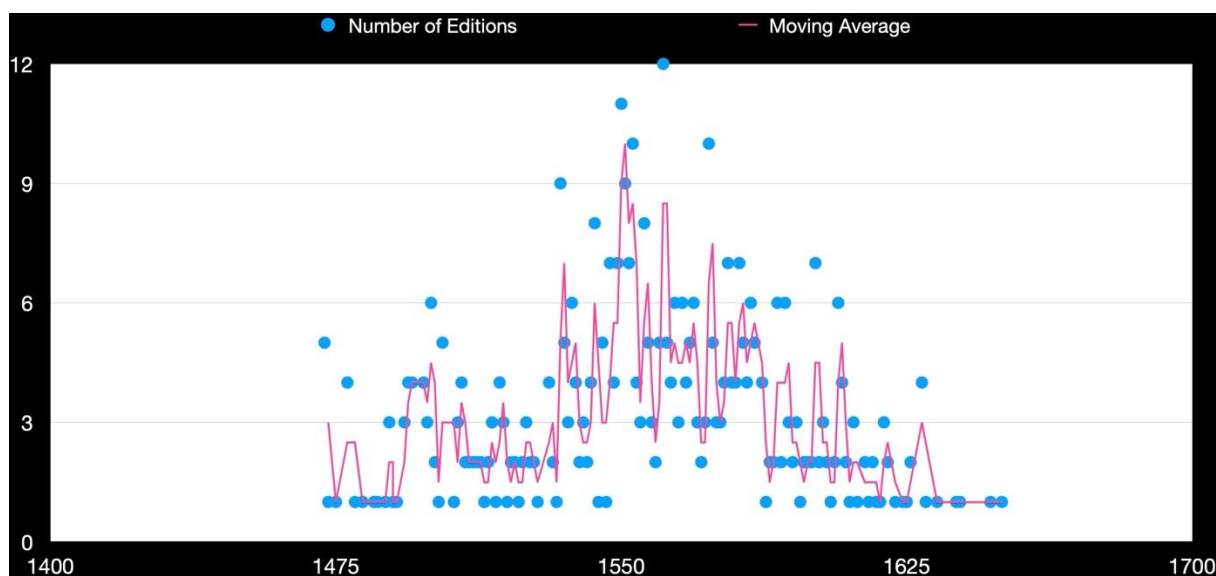
La collezione risultante è composta da 359 diversi libri di testo stampati tra il 1472 e il 1650 mentre i luoghi di stampa ricoprono gran parte del continente europeo (Fig. 1 e 2).

Dopo un accurato controllo e una sistematica raccolta dei metadati bibliografici, i libri di testo sono stati scomposti in modo da ottenere una lista completa dei singoli lavori scientifici contenuti in tutti i testi della loro collezione. I singoli lavori sono stati poi organizzati tassonomicamente in "testo originale o di riferimento", "commento", "traduzione" e "adattamento". In questo modo è stato possibile ricostruire quante volte e in quali volumi ogni singolo lavoro scientifico è stato ripubblicato. Considerando sia testi scientifici che paratesti, sono stati identificati ca. 500 testi, la metà dei quali è stata pubblicata una volta sola e l'altra metà un numero di volte che varia da 2 a 89, per un totale di circa 1900 re-occorrenze (Valleriani 2020).

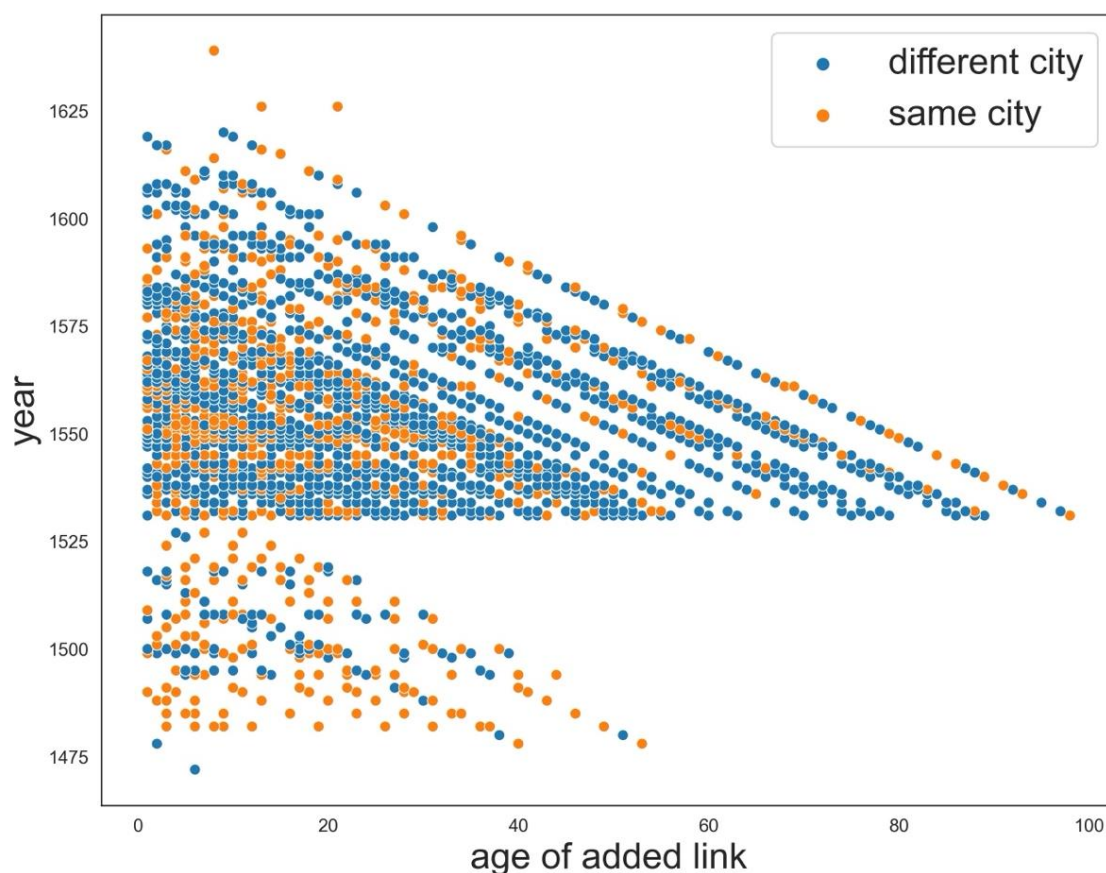




**Fig. 1.** Distribuzione geografica dei luoghi di pubblicazione dei libri di testo universitari utilizzati per le lezioni introduttive all’astronomia in Europa tra il 1472 e il 1650.



**Fig. 2.** Distribuzione temporale degli anni di pubblicazione dei libri di testo universitari utilizzati per le lezioni introduttive all’astronomia in Europa tra il 1472 e il 1650.



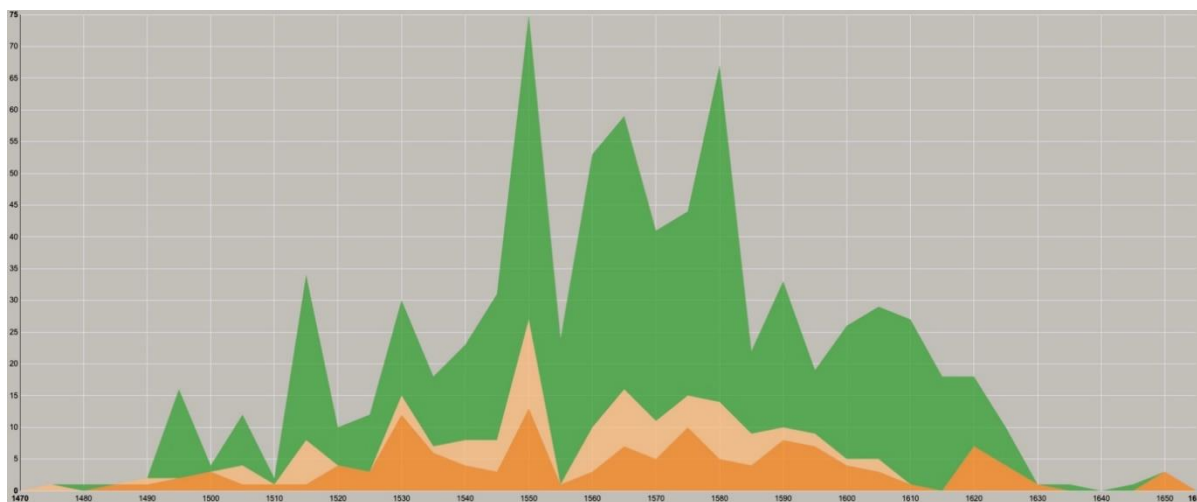
**Fig. 3.** Plot delle ri-occorrenze dei testi scientifici pubblicati come parti di libro di testo universitari usati per l'introduzione all'astronomia in Europa tra il 1472 e il 1650. Il plot mostra che dopo il 1531 la dinamica di ri-pubblicazione si espande spazialmente, avvenendo le ri-occorrenze in città diverse molto più sovente che nel periodo precedente e, allo stesso tempo, si arricchisce in termini quantitativi, in quanto il numero di ri-occorrenze aumenta di molto.

### 3. Dinamica di diffusione

Attraverso un processo di ricomposizione dei dati in forma di network è stato possibile eliminare quei dati che non si trovavano in connessione con nessun altro dato e, soprattutto, individuare quelle regioni del network che sono più popolate e dense. Riducendo perciò il network ai soli componenti maggiori, è stato possibile ricostruire in dettaglio la dinamica geo-temporale di ripubblicazione dei lavori scientifici attraverso l'integrazione con i metadati dei libri di testi universitari che contengono i singoli lavori scientifici (Zamani *et al.* 2020; Zamani *et al.* 2023; Valleriani *et al.* 2019).

Utilizzando la semplice differenziazione tra pubblicazioni avvenute nello stesso luogo e quelle avvenute in luoghi diversi, si nota immediatamente una cesura e una grande differenza tra il fenomeno di diffusione prima e dopo il 1531 (Fig. 3). Mentre durante il periodo precedente al 1531, ri-occorrenze di lavori scientifici avvenivano quasi esclusivamente su base locale, dopo il 1531, tale diffusione ha luogo su un'area geografica che evidentemente si sta espandendo. Questo effetto è solo parzialmente da imputare all'aumento del numero di libri di testo immessi sul mercato accademico in quanto il picco di produzione viene raggiunto solamente verso il 1560 (Fig. 2). Evidentemente è la dimensione dei libri di testo che sta cambiando parallelamente e cioè in modo tale da contenere un maggior numero di lavori scientifici.

Non è stata ancora individuata tuttavia una spiegazione plausibile per la cesura che avvenne nel 1531. Altri studi hanno dimostrato che le attività e gli interessi commerciali degli stampatori a livello transregionale influenzarono profondamente il contenuto dei libri di testo universitari ed è dunque possibile che il tasso di ri-occorrenza non locale sia dovuto alla costruzione e ampliamento di network commerciali tra questi operatori economici (Valleriani e Ottone 2022a; Valleriani *et al.* 2022). L'analisi geo-temporale della dinamica di diffusione suggerisce di controllare i testi pubblicati dopo il 1531. Seguendo la tassonomia descritta sopra, si evince che il numero di testi originali e di riferimento (ad esempio per successivi lavori di commento) inizia ad aumentare alcuni anni più tardi e, anche se non linearmente, raggiunge un picco nel 1540 (Fig. 4). A questo occorre aggiungere l'osservazione che il numero generale di ri-occorrenze aumenta in modo sovra-proporzionale se correlato al numero di testi originali. In altri termini, si può giungere ad una prima conclusione affermando che, nel 1543, non solo era in corso un aumento della velocità di diffusione del sapere astronomico di base ma anche che questo sapere stava attraversando un significativo processo di trasformazione in seguito alla pubblicazione di un numero di testi originali decisamente più alto, in proporzione, di quello del periodo precedente.



**Fig. 4.** Plot della dinamica delle ri-occorrenze di testi originali. La striscia in basso denota i testi che sono stati pubblicati una volta sola. La striscia centrale la prima pubblicazione di testi che poi sono stati ri-pubblicati almeno una volta e almeno un anno più tardi. La striscia più in alto denota la dinamica di ri-pubblicazione di testi pubblicati in precedenza.

#### 4. Temporalità storica e Wittenberg

La conclusione appena raggiunta è possibile solo a condizione di poter assumere un punto d'osservazione esterno, quale quello dello storico che ha tutti i dati a disposizione per ricostruire il fenomeno o il processo da investigare dall'inizio alla fine. Tuttavia, una tale analisi temporale non è completa se non si aggiunge anche la temporalità come percepita dagli stessi attori storici. Spostare il punto d'osservazione dall'esterno all'interno del processo, implica andare alla ricerca di cause e spiegazioni e conseguenze del processo stesso individuando inoltre una possibile spiegazione delle decisioni degli attori storici nella loro stessa percezione del tempo e della dinamica. Ci si può chiedere dunque se la pubblicazione di Copernico nel 1543 non fosse dovuta anche al fatto che ci si trovava in un periodo della storia dell'astronomia che era caratterizzato dalla diffusione di innovazioni. Per rispondere a questa domanda, tuttavia, occorre prima dimostrare che gli attori coinvolti – in questo caso Georg J. Rheticus (1514-1574) – avessero in effetti percepito i cambiamenti che stavano avvenendo a partire dal 1531.

L'opera di Copernico fu infatti pubblicata dallo stampatore Petreius di Norimberga (ca. 1497-1550) e grazie al lavoro svolto da Rheticus, suo amico e famoso lettore presso l'università di Wittenberg e molto vicino a Philipp Melanchthon (1497-1560). In altre ricerche è stato dimostrato come la data del 1531 coincida con l'inizio di un periodo di dominio intellettuale della produzione accademica della città protestante di Wittenberg sull'intero continente europeo (Zamani *et al.* 2020; Valleriani *et al.* 2019). In particolare, è stato dimostrato come, a partire da questa data, i contenuti dei libri di testo per l'introduzione all'astronomia abbiano iniziato ad omogenizzarsi su tutto il continente e che tale omogenizzazione sia avvenuta attraverso un processo di imitazione e copia dei nuovi libri di testo concepiti per l'insegnamento a Wittenberg. Attraverso l'ordine impartito dai padri protestanti agli stampatori limitrofi e soprattutto quelli di Lipsia di traslocare nella città di Wittenberg, la piccola città si fornì di capacità intellettuali e materiali per diventare un centro di emanazione del sapere di base. I testi prodotti dai lettori e scienziati operanti a Wittenberg iniziarono ad essere stampati in tutta Europa in numero crescente, spesso passando attraverso una prima ristampa nelle città di Venezia o Parigi, allora i due maggiori centri europei di produzione di libri e quindi in grado di gestire sia il mercato locale che quello transnazionale (Nuovo 2013). Questo processo era abilmente analizzato da pensatori e autorità istituzionali del calibro di Philipp Melanchthon. Le sue prefazioni ai libri di testo rientrano tra i lavori scientifici pubblicati più volte durante il XVI secolo su tutto il territorio europeo e indipendentemente dalla confessione religiosa. Fu Melanchthon, nel 1537, ad assicurare la nomina di Rheticus a professore di astronomia e matematica all'università di Wittenberg. Non c'è dunque ombra di dubbio che non solo Melanchthon ma anche tutti quelli che appartenevano al suo circolo fossero ben coscienti del ruolo egemone che i loro prodotti scientifici rivolti all'insegnamento stavano svolgendo, anche perché questo stava accadendo proprio attraverso l'accelerazione della dinamica di diffusione del sapere descritta sopra.

Studi successivi, infine, hanno mostrato che i protagonisti di tale dinamica di innovazione, diffusione e omogeneizzazione erano principalmente gli stampatori (Valleriani e Ottone 2022b). E in effetti fu proprio Petreius a chiedere al suo amico Rheticus, nel 1538, di viaggiare alla volta di Copernico per provare a convincerlo a mettere a disposizione il manoscritto del suo lavoro per poi poterlo pubblicare.

Il 1543 dunque risulta essere un contesto temporale ottimale per i protagonisti di questa pubblicazione in quanto attori attivi e spettatori di un'accelerazione di tutti i fattori di produzione e diffusione di sapere scientifico. In termini storiografici, l'esistenza del lavoro di Copernico non è sufficiente a spiegarne la sua pubblicazione. Per questo occorre analizzare come percepivano la dinamica gli attori stessi e questa non poteva che invitarli a tentare queste iniziative editoriali. Il momento era quello giusto.

Posta in questi termini, tuttavia, ci si deve aspettare che anche altri tipi di innovazioni e iniziative furono tentate. E se l'attenzione è rivolta a Rheticus, infatti, si scopre che nello stesso 1543 pubblicò, anche se in forma anonima, un altro testo che ebbe una diffusione enorme in tutta Europa e risultò molto più influente di quello di Copernico per quel che riguarda la formazione di base (Valleriani, Federau & Nicolaeva 2022). Questo testo, intitolato *De ortu poetico*, va visto come un'espansione e un approfondimento di uno dei soggetti trattati nel *Tractatus* di Sacrobosco, e precisamente nel terzo capitolo, una sezione del quale spesso recava lo stesso titolo. La funzione di questo testo era quella di spiegare come analizzare specifici riferimenti agli astri celesti che si trovano nella letteratura classica greca e latina (da qui l'aggettivo *poeticu*) (Pantin 2021). "De ortu" (dall'est) si riferisce all'apparizione o scomparsa delle prime stelle al calare o sorgere del sole. Attraverso l'identificazione di queste stelle è poi possibile risalire a quale giorno dell'anno questa osservazione è stata compiuta. Nelle opere classiche questo metodo veniva spesso utilizzato e quando vengono descritti particolari eventi, vengono anche descritte per esempio le prime stelle che sono apparse in quel giorno al calar del sole. Si tratta perciò di un metodo di datazione universale e indipendente dal calendario effettivamente usato da una società e cultura.

Nel *Tractatus* questo tema viene elucidato brevemente e accompagnato da una piccola serie di esempi di calcoli basati su versi tratti dalla letteratura classica latina. Il testo di Rheticus amplia

significativamente l'apparato matematico-astronomico e ancora di più il numero di esempi forniti, spaziando anche nella letteratura classica greca.

La ragione per la compilazione e pubblicazione di questo testo va cercata nell'agenda culturale di Melanchthon e il suo circolo, la quale si era posta la priorità di ricompilare le cosiddette *chronicae* (Westman 1975). Il *De ortu poetico* di Rheticus apparve per la prima volta in un libro di testo che conteneva, oltre all'obbligatorio *Tractatus*, anche una prefazione di Melanchthon attraverso la quale spiegava agli studenti che uno dei motivi principali per studiare astronomia era quello di ricostruire la storia; senza l'astronomia il passato del genere umano sarebbe risultato in un caos (Reich & Knobloch 2004).

Melanchthon stesso lavorò seguendo questa agenda di ricerca molto intensamente, ad esempio attraverso i suoi monumentali commenti ad opere classiche greche. Rheticus dunque si incaricò di fornire il sapere matematico ed astronomico per compiere questa missione.

#### 4. Conclusione

Se il numero di ri-occorrenze, la loro rapidità e intensità, così come l'incremento delle distanze vengono presi come parametri non solo di successo delle innovazioni, ma anche di grado di influenza dell'agenda intellettuale dalle quale tali pubblicazioni risultavano, allora si può concludere che il programma principale degli scienziati e lettori di Wittenberg, i cui lavori, va ricordato, venivano presi a modello in tutta Europa, era rivolto a porre l'accento alla combinazione tra quelle che oggi vengono definite scienze umane e scienze esatte, e precisamente tra discipline storiche e astronomia.

È questo il contesto che può aiutare a comprendere come mai il testo di Copernico sia stato completamente ignorato per moltissimo tempo, se si fa eccezione di alcuni specialisti che miravano alla riforma del calendario. Cento anni dopo la pubblicazione di Copernico, questo nome era citato solo in un paio di edizioni di testi universitari e la trattazione del sistema eliocentrico, anche solo in forma di ipotesi, era completamente assente. In conclusione, si può formulare l'ipotesi che il testo di Copernico non sia stato rifiutato ma semplicemente ignorato in quanto non confacente con le priorità intellettuali del tempo.

#### Ringraziamenti

Gli autori ringraziano la Prof. Flavia Marcacci e il SOC del XLIII Congresso SISFA per aver offerto la possibilità di presentare questo lavoro al meeting annuale di Padova 2023.

#### Bibliografia

- Cole, S. (1983). "The hierarchy of the sciences?", *American Journal of Sociology*, 89(1), pp. 111-139.
- El-Hajj, H. et al. (2022). "An ever-expanding humanities knowledge graph: The «Sphaera» Corpus at the intersection of humanities, data management, and Machine Learning", *Datenbank-Spektrum: Zeitschrift für Datenbanktechnologien und Information Retrieval*. doi:10.1007/s13222-022-00414-1.
- Nuovo, A. (2013). *The book trade in the Italian Renaissance*. Leiden: Brill.
- Pantin, I. (2006). "Teaching mathematics and astronomy in France: The Collège Royal (1550-1650)", *Science & Education*, 15, pp. 189-207.
- Pantin, I. (2021). "Lire le ciel dans les poèmes anciens. Le «De ortu poetico» et la pédagogie de Melanchthon", in Champetier de Ribes, M., Dembruk, S., Fliege, D. & Oberliessen V. (eds.) «*Une honnête curiosité de s'enquérir de toutes choses*» *Mélanges en l'honneur d'Olivier Millet*. Genève: Droz, pp. 373-384.
- Pantin, I. (2022). "Mathematical books in Paris (1531-1563): the development of editorial policies in a competitive international market", in Valleriani, M. & Ottone, A. (eds.) *Publishing Sacrobosco's*

- «*De sphaera*» in *early modern Europe. Modes of material and scientific exchange*. Cham: Springer, pp. 289-335.
- Pantin, I. & Renouard, P. (eds.) (1986). *Imprimeurs et libraires parisiens du XVIe siècle: Cavellat - Marnef et Cavellat*. Paris: Bibliothèque nationale.
- Reich, K. & Knobloch, E. (2004). “Melanchthons Vorreden zu Sacroboscus «Sphaera» (1531) und zum «Computus ecclesiasticus»”, *Beiträge zur Astronomiegeschichte*, 7, pp. 13-44.
- Valleriani, M. (2017). “The tracts on The Sphere. Knowledge restructured over a network”, in Valleriani, M. (ed.) *Structures of practical knowledge*. Dordrecht: Springer, pp. 421-473.
- Valleriani, M. (2020). “Prolegomena to the study of early modern commentators on Johannes de Sacrobosco’s «Tractatus de sphaera»”, in Valleriani, M. (ed.) «*De sphaera*» of Johannes de Sacrobosco in the early modern period: The authors of the commentaries. Cham: Springer Nature, pp. 1-23. doi: 10.1007/978-3-030-30833-9\_1.
- Valleriani, M. (2022). “From the «quadrivium» to modern science”, *HoST - Journal of History of Science and Technology*, 16(1), pp. 121-132. doi:10.2478/host-2022-0007.
- Valleriani, M., Federau, B. & Nicolaeva, O. (2022). “The hidden praeceptor: How Georg Rheticus taught geocentric cosmology to Europe”, *Perspectives in Science*, 30(3), pp. 407-436. doi: 10.1162/posc\_a\_00421.
- Valleriani, M. et al. (2019). “The emergence of epistemic communities in the «Sphaera» Corpus: mechanisms of knowledge evolution”, *Journal of Historical Network Research*, 3, pp. 50-91. doi: 10.25517/jhnr.v3i1.63.
- Valleriani, M. & Ottone, A. (2022). “Printers, publishers, and sellers: Actors in the process of consolidation of epistemic communities in the early modern academic world”, in Valleriani, M. & Ottone, A. (eds.) *Publishing Sacrobosco’s «De sphaera» in early modern Europe. Modes of material and scientific exchange*. Cham: Springer Nature, pp. 1-24. doi:10.1007/978-3-030-86600-6\_1.
- Valleriani, M. & Ottone, A. (eds.) (2022b). *Publishing Sacrobosco’s «De sphaera» in early modern Europe. Modes of material and scientific exchange*. Cham: Springer. doi: 10.1007/978-3-030-86600-6.
- Valleriani, M. et al. (2022). “The network of early modern printers and its impact on the evolution of scientific knowledge: automatic detection of awareness relations”, *Histories*, 2(4), pp. 466-503. doi: 10.3390/histories2040033.
- Westman, R.S. (1975). *The Melanchthon Circle, Rheticus, and the Wittenberg Interpretation of the Copernican Theory*. Cambridge, Mass.: Society for Comparative Study of Society and History.
- Zamani, M. et al. (2023). “A mathematical model for the process of accumulation of scientific knowledge in the early modern period”, *Humanities and Social Science Communications*, 10, 533. doi: 10.1057/s41599-023-01947-w.
- Zamani, M. et al. (2020). “Evolution and transformation of early modern cosmological knowledge: a network study”, *Scientific Reports – Nature*, 10, 19822. doi:10.1038/s41598-020-76916-3.

# Il calendario gregoriano ideato da Luigi Lilio. Niccolò Copernico e le errate affermazioni di Galileo Galilei

Francesco Vizza<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Istituto di Chimica dei Composti Organometallici, CNR Firenze, francesco.vizza@iccom.cnr.it

*Abstract:* During the 16th century, the disagreement between the dates of the Julian calendar, which had been in use since 46 BC, and the vernal equinox necessitated a correction to the computational rules used to regulate the flow of time. Luigi Lilio, using imprecise astronomical data contained in “The Alfonsine Tables”, was able to elaborate a calendar that has stood the test of time: the Gregorian calendar. In a famous letter written by Galileo Galilei to the Grand Duchess of Tuscany Cristina of Lorraine, he states that Copernicus had been summoned to Rome from far away Germany in order to participate in the reform work. Galileo Galilei, to protect himself from controversy with Church regarding his discovery of the heliocentric system, states: “with the new Copernicus’s doctrine not only has the calendar been regulated”. This misstatement, over the centuries, has contributed to generating confusion. In this article it is discussed that Copernicus’ calculations were not used by Luigi Lilio for the reform.

*Keywords:* Gregorian calendar, vernal equinox, Lilio, Copernicus, Galileo

## 1. Gregorio XIII e Luigi Lilio

Il calendario gregoriano attualmente adoperato da tutta l’umanità è stato formulato dal medico e astronomo Luigi Lilio (Aloysius Lilius in latino, Luigi Giglio in italiano, Lilio in italiano latinizzato). Tuttavia, l’opera non è legata al suo nome, ma al Papa che lo promulgò nel 1582: il bolognese Ugo Boncompagni, al secolo Gregorio XIII, pontefice dal 1572 al 1585. Figura di rilievo nella storia della Chiesa, Gregorio XIII fu un papa attivissimo. Docente di Giurisprudenza a Bologna si trasferì a Roma nel 1539 dove intraprese la carriera ecclesiastica. Ebbe un figlio da una serva di suo fratello al fine di assicurare una successione ai suoi beni. Come papa dell’epoca tridentina mantenne un controllo diretto sulla gestione della Chiesa e fronteggiò un quadro internazionale di grande complessità politica e religiosa. Sotto il suo pontificato si consumò la triste notte di San Bartolomeo, durante la quale nel 1572, nella sola Parigi, furono trucidati più di seimila protestanti. Appresa la notizia, Papa Gregorio XIII fece cantare un solenne *Te Deum* e per il lieto evento fece coniare una moneta commemorativa che riporta la sua effigie su un lato e sull’altro un angelo vendicatore, che con la spada stermina gli eretici. Gregorio diede un importante impulso all’evangelizzazione dei molti popoli non cristiani; creò importanti seminari e istituzioni di formazione di grande importanza, come il Collegio Romano oggi noto come Pontificia Università Gregoriana. Tuttavia, non è ricordato per queste iniziative ma per la riforma del calendario che prende il suo nome.

Luigi Lilio, l’ideatore della riforma nasce nel 1510 a Psycron, oggi Cirò (Capoano & Vizza 2017, p. 111). Dopo aver compiuto gli studi di medicina a Napoli, si trasferisce a Roma ed è accertato che vent’anni dopo era lettore di medicina a Perugia. Non sappiamo dove e quando morì, ma sicuramente prima del 1576. Medico, dunque. Ma anche edotto di matematica e di astronomia, come del resto era normale che avvenisse per l’istruzione universitaria dell’epoca. Il massimo livello del sapere competeva alla Teologia e, a un gradino inferiore, alla Giurisprudenza; tutti i rimanenti studi rientravano nel più generale indirizzo delle Arti. Tra le altre discipline che l’aspirante medico doveva



studiare c'erano l'astronomia e l'astrologia per via degli influssi che gli astri potevano avere sulle malattie.

## 2. La riforma

Nella seconda metà del Cinquecento l'equinozio di primavera, segnato il 21 marzo nel calendario giuliano in vigore dal 46 a.C., in realtà si era verificato circa dieci giorni prima. L'evidenza della non sincronizzazione del calendario con i cicli delle stagioni che preoccupava molto la Chiesa, impose la necessità di correggere le regole adottate per registrare lo scorrere del tempo. Può non essere ovvio come questo problema debba riguardare la religione cristiana. In effetti, l'interesse astronomico della Chiesa discende dall'aver connesso la celebrazione della Pasqua alle fasi lunari e all'equinozio di primavera. Era stato deciso che la Pasqua di resurrezione doveva essere celebrata la domenica seguente alla XIV *luna paschalis*, ossia il primo plenilunio dopo l'equinozio di primavera. Se l'equinozio di primavera era segnato in maniera sbagliata nel calendario, anche le date di celebrazione della Pasqua erano sbagliate. Il non saper proporre un metodo esatto per la determinazione della data della Pasqua, rischiava di compromettere ulteriormente l'autorità della Chiesa cattolica in quel periodo storico molto difficile, scosso dallo scisma dei Protestanti e dei Calvinisti. Si doveva trovare un metodo indiscutibile, di validità perenne e di facile comprensione anche per chi non avesse specifiche competenze scientifiche.

Le difficoltà astronomiche da risolvere riguardavano essenzialmente la misura esatta della durata dell'anno solare e dell'anno lunare. Si trattava di sincronizzare il tempo civile con gli indicatori celesti, mantenendo un vincolo inamovibile: la data dell'equinozio di primavera, convenzionalmente fissata in modo perenne il 21 marzo.

Nel corso dei secoli diversi pontefici, non pochi concili e molti dotti personaggi versati nelle discipline matematiche e astronomiche avevano tentato invano di trovare una soluzione.

Tolomeo, astronomo di Alessandria d'Egitto, già nel II secolo d.C. evidenziò degli errori del calendario giuliano e lo stesso Ruggero Bacon nel 1267 aveva fatto osservare al papa Clemente IV un errore di 9 giorni per l'equinozio di primavera. Ma prima di lui, nel 700, Beda il Venerabile aveva scoperto degli errori nel calendario giuliano e ancora la stessa cosa fecero notare Campano da Novara e il monaco inglese Giovanni di Sacrobosco. Il problema della non rispondenza del calendario giuliano con i cicli delle stagioni era noto persino a Dante Alighieri che lo ricorda nel XXVII Canto del Paradiso (142-143): "Ma prima che gennaio tutto si sverni per la centesima ch'è là giù negletta". Clemente VI nel 1344 e dieci anni dopo il suo successore Innocenzo VI affidarono l'incarico di riforma del calendario a eminenti astronomi dell'epoca e nel Concilio di Costanza e di Basilea, nella prima metà del XV secolo, vennero istituite delle vere commissioni di riforma. Il problema venne dibattuto dai più autorevoli astronomi e matematici e nel 1436 il cardinale Nicolò Cusano scrisse su quest'argomento il suo *De reparatione calendarii*. Nel 1476 il pontefice Sisto IV, volendo porre in esecuzione la riforma, chiamò presso di sé Giovanni di Koenigsberg detto il Regiomontano, grande astronomo e umanista, che morì, probabilmente assassinato, subito dopo il suo arrivo a Roma. Finalmente, al tempo del Concilio Lateranense, con Leone X, molti si adoperarono per risolvere la desiderata riforma. Tra questi, emerse come figura di spicco l'astronomo tedesco Paolo di Middelburg. La sua principale opera *Paulina, sive de recta Paschae celebratione et de die passionis domini nostri Jesu Christi*, scritta nel 1513 fu alla base dei lavori della commissione istituita da Leone X, da lui stesso presieduta. Non si arrivò a nessuna conclusione. Mentre attraverso i secoli scorreva placidamente il calendario giuliano, la data dell'equinozio di primavera si allontanava lentamente rispetto alla misura reale dell'anno tropico.

Subito dopo il suo insediamento papa Gregorio XIII si adoperò per riformare il calendario su indicazioni del Concilio di Trento. Nominò una Commissione Pontificia costituita da astronomi,



giuristi e teologi a cui affidò il mandato di valutare e approvare un progetto di riforma. Facevano parte della Commissione Guglielmo Sirleto che la presiedeva, Vincenzo Lauro, Cristoforo Clavio, Pedro Chacon, Ignazio Nehemet, Antonio Lilio fratello di Luigi Lilio, Leonardo Abel interprete di lingue orientali, Serafino Olivier e Ignazio Danti. Fra i rappresentanti della Commissione non figura Luigi Lilio perché non più in vita. Tutti, tranne Antonio Lilio, appartenevano al clero.

La proposta di riforma elaborata da Lilio arrivò alla Commissione e venne giudicata la più efficiente ed anche la più facile da applicare. Però non fu lui a presentarla, ma il fratello Antonio, membro della Commissione stessa, l'unico laico che fu chiamato a farne parte. Per accompagnare il progetto di riforma la Commissione pensò inizialmente di scrivere un libro che spiegasse il nuovo calendario con una descrizione dettagliata e affidò il compito di prepararlo ad Antonio Lilio ma, per affrettare i tempi, si decise di redigere un sommario del libro manoscritto di Lilio e di affidarne il compito allo spagnolo Pedro Chacòn (Biblioteca Apostolica Vaticana sda). In realtà, poiché la commissione aveva collegialmente deciso in favore del progetto di Lilio, il *Compendium* fu considerato un'opera scritta da più persone ed il suo autore non venne mai citato nel testo, anche se il lavoro è comunemente riportato come *Lilius Compendium* dai contemporanei di Lilio.

L'opera, il cui titolo per esteso è *Compendium novae rationis restituendi kalendarium*, non presenta frontespizio ed è composto da 12 fogli in quarto non numerate (*Compendium Novae Rationis* 1577). Il *Compendium* riporta i punti essenziali del manoscritto di Lilio, Chacòn non descrive la maniera in cui Lilio ha scritto e definito il suo metodo di riforma né chiarisce i miglioramenti apportati dalla Commissione. Il *Compendium* venne stampato a Roma nel 1577 nell'officina tipografica gestita dagli eredi di Antonio Blasio "*Impressores camerales*", a cura di Guglielmo Sirleto cardinale di S. Lorenzo in Panisperna. Numerose copie furono inviate ai Sovrani Cattolici (non esistono tracce del *Compendium* spedito ad altri principi cristiani non cattolici) e alle Università e Accademie più rinomate con l'invito ad esaminarlo, correggerlo o approvarlo. Così è scritto nelle prime pagine:

Nonostante nel sacro Concilio di Trento la correzione del Breviario e del Messale fosse stata riservata al pontefice romano, e fel. ric. Pio V nonostante si fosse preoccupato che ciò fosse portato a termine con la più grande diligenza possibile negli anni precedenti e nonostante lo avesse pubblicato, tuttavia, quel lavoro non sembrò completo e terminato in tutte le sue parti se non si fosse aggiunta anche la riforma dell'anno e del Calendario ecclesiastico. Dunque mentre Gregorio XIII con tutto l'animo e la mente si applicò a quell'attività, gli fu portato il libro scritto da Luigi Lilio, che sembrava proporre una via e un modo di portare a termine quella cosa né scomodo né difficile. Ma poiché quella correzione del Calendario comporta molte e grandi difficoltà e ormai da lungo tempo è richiesta con insistenza da tutti gli uomini buoni, spesso considerata e molto incitata da matematici dottissimi, tuttavia ancora non si è potuta assolutamente risolvere e portare a termine, al prudentissimo pontefice sembrò opportuno che si dovessero consultare riguardo a quella cosa tutti gli uomini più esperti di questa scienza affinché la cosa, che è comune a tutti, fosse condotta a termine anche col parere comune di tutti (*Compendium Novae Rationis* 1577, fol. 2).

Gli esperti in matematica ed astronomia esaminarono il *Compendium* e inviarono i loro commenti alle rispettive Università e Sovrani. Questi ultimi li rispedirono al papa insieme alle loro dichiarazioni. I rapporti furono poi affidati al cardinale Sirleto (Schmid 1882, pp. 393-405; Biblioteca Apostolica Vaticana sdb). Furono 42 gli autori che esaminarono il *Compendium* e ne espressero il parere in 51 rapporti, quasi tutti positivi (Steinmetz 2011, pp.122-128). Forte di questo risultato Gregorio XIII il 24 febbraio 1582 con la bolla *Inter gravissimas pastoralis officii nostri curas* promulgò il nuovo calendario (Cocquelines 1747). La ragione addotta dalla Chiesa, a sostegno delle proposte di Lilio è esposta nella suddetta Bolla che recita:

Per ciò che esige una corretta riforma del calendario, essa fu da tempo tentata dai nostri predecessori; ma non si è potuto finora portarla al termine, perché i progetti di riforma del calendario, che gli esperti dei moti celesti hanno proposto, per le grandi e inestricabili difficoltà che questa riforma ha sempre presentato, non erano validi in perpetuo né lasciavano intatti, cosa che bisogna curare più di tutto, gli antichi riti ecclesiastici. E mentre noi stessi, forti dell'autorità che a noi, benché indegni, è stata data da Dio, ci occupavamo di questa preoccupazione, dal caro figlio Antonio Lilio, dottore di scienza e medicina, ci è stato dato il libro che il suo defunto fratello Luigi aveva scritto, in cui, per mezzo del ciclo dell'epatta da lui inventato, e in relazione diretta col numero d'oro, e adattato alla durata di qualunque anno solare, ha mostrato che tutti i difetti del calendario possono essere corretti con un rapporto costante valido per tutti i secoli, in modo che il calendario non sia soggetto a nessun altro cambiamento nel futuro (Cocquelines 1747).

In generale, la semplicissima regola delle intercalazioni degli anni bisestili proposta da Lilio e poi adottata nel 1582 è la seguente: (a) un anno comune contiene 365 giorni, 366 giorni l'anno bisestile. Il giorno in più viene aggiunto alla fine di febbraio; (b) ogni anno dell'era cristiana dopo il 1582 se è divisibile per 4 è un anno bisestile; (c) gli anni centenari, che nel calendario giuliano erano tutti bisestili, sono bisestili solo se divisibili per 400.

Ne consegue che il 1600 è anno bisestile, ma non lo sono gli anni 1700, 1800 e 1900; Il 2000 è anno bisestile. Invece di 100 giorni aggiuntivi ogni 400 anni secondo il calendario giuliano, vengono aggiunti 97 giorni in 400 anni che portano la lunghezza media dell'anno a  $365 \frac{97}{400}$  giorni. In quanto allo spostamento dell'equinozio di primavera dovuto al calendario giuliano, Lilio per recuperare i giorni perduti e per ricondurre in maniera stabile l'equinozio di primavera alla data del 21 marzo, propose di eliminare dal calendario 10 giorni; questa correzione poteva essere apportata fin dall'inizio dell'adozione del nuovo calendario o gradualmente nel periodo compreso tra il 1584 e il 1620. Entrambe le soluzioni sono riportate nel *Compendium*. La durata dell'anno tropico medio presa in considerazione da Lilio è quella contenuta nelle *Tavole Alfonsine* di 365,24254630 (365g 5h 49m 12s). A tale proposito nel rapporto che il 13 marzo del 1580 la Commissione della riforma del calendario invia a Gregorio XIII si legge:

Infatti, l'anno di Alfonso tra massimo e minimo deve essere preso come se fosse medio, che certamente è fatto di 365 giorni 5 ore 49 minuti ecc., così che secondo il corso di quest'anno l'equinozio preceda la propria sede nel calendario di un giorno intero quasi in 134 anni cioè 3 giorni in quasi 400 anni (Biblioteca Apostolica Vaticana sdc).

Nel *Compendium* troviamo la tabella, riportata in figura 1, con due colonne di numeri di anni. Gli anni bisestili sono contraddistinti dalla lettera B.

La colonna a destra riporta l'intercalazione degli anni bisestili centenari divisibili per 400 fino all'anno 5000, nel caso fossero stati eliminati 10 giorni consecutivi nel 1582. Gli anni bisestili dei secoli centenari sono: 1600, 2000, 2400, 2800, 3200, 3600, 4000, 4400 e 4800. Questa ipotesi è stata accettata e costituisce l'assetto degli anni centenari bisestili del calendario gregoriano.

La colonna a sinistra riporta la tabella delle equazioni delle epatte nel caso fossero stati eliminati 10 giorni in 40 anni tra il 1584 e il 1620; dopo quest'ultima data sarebbe andata in vigore la normale intercalazione degli anni secolari divisibili per 400 fino all'anno 4300. Seconda questa ipotesi il primo anno bisestile secolare dopo il 1500 (che lo era già stato secondo la regola del calendario giuliano) sarebbe stato il 2000 e a seguire il 2400, 2800, ecc. (vedi figura 1). Questa ipotesi è stata scartata perché sarebbe stato necessario aggiungere delle tabelle aggiuntive per risistemare le lettere domenicali importanti per la determinazione della data della Pasqua. Le lettere che si trovano nella figura 1 indicano quale valore della tabella espansa delle epatte doveva essere inserita per individuare

l'anno del ciclo diciannovenale legato alla Pasqua. Per maggiore comprensione da parte del lettore si rimanda al testo di Mezzi & Vizza (2010, pp. 113-156).

Ambedue le soluzioni prospettate si basano sull'anno alfonsino adottato da Lilio per la sua proposta.

## 10 C O M P E N D I V M

xx,mutationem fieri sursum versus, & epactarum numerum augeri, cum ea centesimo intercalari anno contingit. Contra vero deorsum versus, & epactarum numerum minui, cum dies, qui centesimo anno intercalandus fuit, non intercalatur; Cum autem nihil vertenti anno aut lunari detrahatur, aut in eo centesimo detrahatur, in quo lunaris annus æquatione indigebat, in eadem litera & epacta persisti. Eas tabulas hic subiecimus; necnon & alias quas temporum huius libri auctor appellat, in quibus expositæ sunt epactæ, quæ singulis annis indicent nouilunia.

Anni Christi			Anni Christi	
Tabula æquationis Epactarum si decem intercalationes in quadraginta annis fuerint intermissæ.	N	1	N	1
	P	325	P	325
	a	600 B	a	600 B
	b	900 B	b	900 B
	c	1200 B	c	1200 B
	d	1500 B	d	1500 B
	e	1584	E	1582
	b	1588	E	1600 B
	a	1592	D	1700
	P	1596	D	1800
	N	1600	C	1900
	M	1604	C	2000 B
	H	1608	C	2100
	G	1612	B	2200
	F	1616	A	2300
	E	1620	A	2400 B
	D	1700	A	2500
	D	1800	u	2600
	C	1900	t	2700
	C	2000 B	u	2800 B
	C	2100	t	2900
	B	2200	s	3000
	A	2300	s	3100
	A	2400 B	s	3200 B
	A	2500	r	3300
	u	2600	r	3400
	t	2700	q	3500
	u	2800 B	q	3600 B
	t	2900	q	3700
	s	3000	p	3800
s	3100	n	3900	
s	3200 B	p	4000 B	
r	3300	n	4100	
r	3400	m	4200	
q	3500	m	4300	
q	3600 B	m	4400 B	
q	3700	l	4500	
p	3800	l	4600	
n	3900	k	4700	
p	4000 B	k	4800 B	
n	4100	i	4900	
m	4200	i	5000	
m	4300			

Vfus harum tabularum hic est. Ad propositum annum ex vulgari tabula aureus numerus primo querendus, deinde in tabella æquationis e regione numeri eius anni, aut proxime minoris, quæ litera notata sit videndum, similisque litera & aureus numerus in tabula Epactarum quærenda, nam e regione vtriusque, Epactæ reperientur numeri, aut signa, quæ toto eo anno in Calendario ostendent nouilunia.

Exempli id appositione illustrabitur. Volo scire qui numerus, aut quod signum ex his, quæ in cyclo Epactarum collocata sunt, indicet, nouilunia anno 1720. Ergo omnium primum ex vulgari tabula reperio eius anni aureum numerum esse xi. quem in superiori linea tabulæ Epactarum expansæ, qua aureus numerus descriptus est, noto. Dehinc eundem annum, in tabella æquationis quæro, quem quia expressum non inuenio, proxime minorem, hoc est 1700. sumo; cui litera D, maiuscula adiacet: similem igitur literam, in prima linea eiusdem tabulæ Epactarum quæro, eaque inuenta, e regione eius dextrorsum progredior, donec linea numeri xi. iam antea notati, occurrat: videoque in communi angulo numerum 21. scriptum. Is igitur vbicunque in cyclo Epactarum eo anno reperietur, ostendet nouæ lunæ diem.

*Sequuntur tabella temporum pro Epactarum vsu.*

Fig. 1. Tavola tratta da *Compendium* contenuto nel testo di Clavius 1603.

### 3. Lettera di Galileo Galilei e supposta influenza di Copernico

Alcuni storici dell'astronomia (O'Connell 1975, pp. 189-202; Casanovas 1996) e al loro seguito diversi divulgatori scientifici, sostengono che la riforma del calendario è stata portata a termine grazie ai calcoli di Copernico. La fonte di questa errata affermazione è da ricercare nella lettera di Galileo Galilei del 1615 a Cristina di Lorena, Granduchessa di Toscana. Scrive Galileo a proposito di Copernico e del calendario:

[...] uomo non solamente cattolico, ma sacerdote, canonico, e tanto stimato, che trattandosi nel concilio Lateranense sotto Leon X della emendazion del calendario ecclesiastico, egli fu chiamato a Roma, fin dall'ultime parti di Germania, per questa riforma, la quale alhora rimase imperfetta solo perché non si haveva ancora esatta cognizion della giusta misura dell'anno, e del mese lunare: onde a lui fu dato 'l carico dal vescovo Sempronense, alhora soprintendente a questa impresa, di cercar con replicati studii e fatiche di venir in maggior lume e certezza di essi movimenti celesti; ond' egli, con fatiche veramente atlantiche, e col suo mirabile ingegno, rimessosi a tale studio, si avanzò tanto in queste scienze, e a tal esattezza ridusse la notizia de i periodi de i movimenti celesti, che si guadagnò il titolo di sommo astronomo; e conforme alla sua dottrina non solamente si è poi regolato il calendario, ma si fabricorono le tavole di tutti i movimenti de i pianeti: e avendo egli ridotta tal dottrina in sei libri, la pubblicò al mondo [...] (Galilei 1615, p. 312).

Galileo, che cercava di ottenere il favore della Granduchessa, scrive questa lettera in realtà diretta alla curia romana e ai teologi della Congregazione del Sant'Uffizio (in particolare a Bellarmino), ai quali era già arrivata la segnalazione dei domenicani di Firenze sulle nuove tesi e interpretazioni delle Sacre Scritture.

È noto che al tempo del Concilio Lateranense, Leone X istituì una commissione per la riforma con a capo Paolo di Middelburg. Copernico però, a differenza di quanto sostiene Galileo, non partecipò direttamente ai lavori recandosi a Roma ma, come risulta dalla lista di corrispondenza scritta da Paolo di Middelburg allegata al rapporto conclusivo che inviò a Leone X, dette il suo parere per iscritto. Non è noto il contenuto della lettera di Copernico che possiamo intuire contenesse le sue conoscenze e considerazioni sull'effettiva durata dell'anno tropico. Infatti, nella dedica a Paolo III del *De revolutionibus* Copernico scrive:

Non molto tempo addietro, sotto Leone X, quando si dibatteva nel Concilio Lateranense la questione di emendare il calendario ecclesiastico, essa rimase allora indecisa solo per la ragione che le grandezze degli anni e dei mesi e dei movimenti del Sole e della Luna non erano ancora considerati sufficientemente misurati: e da quel tempo attesi a osservare ciò più accuratamente spronato dal chiarissimo vescovo di Fossombrone, Paolo, che presiedeva a tali questioni (Copernico, Nuremberg 1543, fol. 4v).

Edward Rosen riporta che la lettera di Galileo Galilei contiene cinque gravi errori. Uno di questi è il calendario basato sui calcoli di Copernico (Rosen 1958). In effetti, documenti ufficiali della Chiesa, coevi alla riforma, smentiscono l'affermazione di Galileo:

[...] conforme alla sua dottrina non solamente si è poi regolato il calendario gregoriano (Galilei 1615, p. 312).

Nella bolla papale *inter gravissimas* Gregorio XIII afferma che l'autore della riforma è Luigi Lilio. Lo stesso concetto è ripetuto nel *Compendium*. Come segno di riconoscenza per l'operato di Lilio, Gregorio XIII concede i diritti alla stampa del calendario per 10 anni ad Antonio Lilio e ai suoi eredi. Nel bassorilievo del monumento dedicato a Gregorio XIII, situato nella basilica di San Pietro a Roma,

Antonio Lilio, genuflesso, porge al pontefice il libro del nuovo calendario di suo fratello Luigi. Nella Relazione della Commissione è riportato l'anno alfonsino medio scelto da Luigi Lilio per l'assetto degli anni bisestili. Eppure, nonostante queste inconfutabili evidenze, Galileo chiama in causa Copernico. Si potrebbe ragionevolmente pensare che lo abbia fatto mosso dal tentativo di alleggerire la sua posizione, legando strettamente Copernico alla Chiesa cattolica romana che aveva, a suo parere, già accettato i calcoli e la "dottrina di Copernico".

Copernico era convinto che l'anno tropico fosse variabile per effetto della irregolarità degli equinozi. Per questo motivo distingueva un anno lungo di 365g 5h 55m 37,7s e un anno corto di 365g 5h 42m 55,1s (O'Connel 1975). L'anno lungo si verifica quando la precessione verso est è lenta e il Sole nel suo movimento verso ovest impiega più tempo per ritornare all'equinozio (Swerdlow 1986, p. 112). Nell'anno corto, invece, la precessione è più veloce e il Sole impiega meno tempo a ritornare agli equinozi. Il *Compendium* prevede come alternativa all'assetto degli anni bisestili riportati nella Fig. 1, una intercalazione degli anni bisestili basata sull'anno tropico variabile di Copernico (vedi Fig. 2). Copernico entra dunque in gioco direttamente nel *Compendium*. Forse potrebbe essere questa la ragione che ha spinto alcuni storici della scienza ad ingigantire il ruolo di Copernico nell'intera vicenda, senza tuttavia soffermarsi ad un'attenta analisi delle tabelle riportate.

Restituito itaque uerno equinoctio  
in eum locum, ex quo deciderat, atq;  
hoc Epactarum Cyclo, qui ad quam-  
cunque anni quantitatem accommo-  
dari potest, kalendario apposito, in-  
tercalationisq; ratione quā diximus,  
& eius Cycli æquatione adhibita,  
ita in posterum anni atque menses cō-  
gruent cum solis ac lunæ ratione, ut  
nulla deinde uarietas, aut dissensio  
possit existere: quod si quando acci-  
derit, eadem hac uia bellissime in  
suum statū docet posse restitui. Atq;  
hæc quidem ille auctor.

Quod si alicui Alfonsi calculi in-  
certiores esse uidebuntur quam ut il-  
lis fidendum putet, potiusque recen-  
tioribus adhærendum existimet, is  
profecto intelliget eam esse huius ar-  
tificiosi Cycli tabulæque Epactarum  
a Lilio excogitatæ dispositionem ac  
digestionem, ut nullo negotio siue  
Copernici, siue cuiusuis alterius cal-  
culis possit aptari, si tabella æquatio-  
nis ex illis confecta, pro ea quam ad  
marginem scripsimus, substituatur: ue-  
luti hæc, quam exempli gratia à Co-  
pernici

Ani Xpi	Ani Xpi
1584	1582
1588	1600 B
1592	1700 B
1596	1800
1600	1900 B
1604	2000
1608	2100 B
1612	2200
1616	2300
1620	2400
1700	2500
1800	2600
1900	2700
2000	2800
2100	2900
2200	3000 B
2300	3100
2400	3200 B
2500	3300
2600	3400 B
2700	3500
2800	3600 B
2900	3700
3000 B	3800
3100	3900
3200 B	4000
3300	4100
3400 B	4200
3500	4300
3600 B	4400
3700	4500
3800	4600
3900	4700 B
4000	4800
4100	4900 B
4200	5000
4300	
4400	
4500	
4600	
4700 B	
4800	
4900 B	
5000	

C

Fig. 2. Assetto degli anni bisestili centenari secondo l'anno variabile di Copernico (*Compendium Novae Rationis* 1577).

La colonna a destra della tabella riportata in Fig. 2 prevede come ipotesi l'eliminazione di 10 giorni consecutivi nel 1582. Quando l'anno è lungo, gli anni 1600, 1700, 1900 e 2100 sono bisestili perché necessitano più intercalazioni. Poi segue l'anno corto: tra il 2200 e il 2900 non è prevista nessuna intercalazione. Quando ritorna l'anno lungo, il 3000, 3200, 3400 e 3600 sono bisestili, e così via. Il ciclo impiega 1717 anni egiziani o 1716 anni giuliani. La colonna a sinistra prevede come ipotesi l'eliminazione di dieci giorni tra il 1584 e il 1620, con relativi anni bisestili secondo l'anno variabile di Copernico. Queste ipotesi non furono prese in considerazione dai padri riformatori perché l'anno variabile di Copernico era astronomicamente incerto, e non tanto per le obiezioni della Commissione alla teoria eliocentrica copernicana. Ora sappiamo che la teoria dell'anno variabile non è corretta e se fosse stata adottata avrebbe causato nel corso del tempo vistosi errori nel calendario.

Nel *Compendium* si legge ancora:

E se a qualcuno i calcoli alfonsini sembreranno più vaghi di quanto ritiene si debba aver fiducia, e piuttosto ritenga che si debba aderire a quelli più nuovi, egli senza dubbio capirà che quello è l'ordinamento e la ripartizione di questo ingegnoso ciclo e tavola delle epatte escogitata da Lilio, che può essere facilmente adattato ai calcoli di Copernico o di chiunque altro, se solo una piccola tabella di correzione dell'equazione verrà inserita, al posto di quella che abbiamo scritto a margine, come questa che per esempio non molto lontana dal calcolo di Copernico abbiamo aggiunto (*Compendium Novae Rationis* 1577, fol. 18v).

Dunque, il calendario può essere adattato a qualsiasi forma di intercalazione, cioè a qualsiasi variazione dell'anno tropico senza alterare il ciclo delle epatte.

Non è noto se l'ipotesi dell'anno variabile di Copernico era stata prevista da Lilio o se sia stata inserita da Chacòn nel *Compendium* su suggerimento della Commissione. Purtroppo, il manoscritto di Lilio che potrebbe dare una risposta non è stato mai stampato ed è scomparso senza lasciare traccia. I calcoli di Copernico furono però presi in seria considerazione dai padri riformatori perché rappresentavano "l'astronomia più aggiornata di quel periodo" (Swerdlow 1986, pp. 109-118).

#### 4. Ciclo delle Epatte e data della Pasqua

Risolto il problema del calendario civile con il nuovo assetto degli anni bisestili, bisognava correggere l'altro errore del calendario giuliano che consisteva nella retrodatazione dei noviluni. È la parte più complicata e interessante della riforma, considerata a rigore insolubile nel corso dei secoli. Scopo fondamentale dei riformatori era infatti che, nello stabilire l'epoca della Pasqua, non venisse tradita la regola che voleva la ricorrenza della Pasqua cristiana nella prima domenica dopo il plenilunio che seguiva l'equinozio di primavera.

Lilio pensò di rivedere il ciclo Metonico allora utilizzato e mediante due equazioni accordò il ciclo solare con il ciclo lunare. Elaborò allo scopo una tabella di validità ultra-millenaria, la Tavola Espansa delle Epatte (il periodo dell'epatta è di 5.700.000 anni), avvalendosi di un originale "ciclo delle epatte". Se si conosce l'età della luna, ossia l'epatta, il primo gennaio di un qualsiasi anno, si possono facilmente determinare i cicli lunari nel calendario civile e dunque la *XIV luna paschalis* da cui dipende la Pasqua.

Il ciclo delle epatte presuppone che ogni 312,5 anni, o otto volte in 2500 anni, l'epatta deve essere aumentata di un giorno per correggere l'errore contenuto nel ciclo Metonico di 19 anni (Mezzi & Vizza 2010, pp. 130-134). Come si può osservare dalla Tab. 1, si arriva al valore della correzione ogni 312,5 anni solo se il mese sinodico è quello contenuto nelle *Tavole Pruteniche* di 29d 12h 44m 3,18s e non uno di quelli riportati nel *De revolutionibus*, nelle *Tavole Alfonsine* o nell'*Almagesto* (Calvius 1588, pp. 84-85; Clavius 1603, pp. 102-104.).



**Tabella 1:** mese sinodico e correzione dell'epatta.

Calendario	Durata del mese sinodico	Aumento di un giorno all'epatta
Tavole Pruteniche	29d 12h 44m 3,18s	$\approx 312 + 1/2a$
De revolutionibus	29d 12h 44m 3,16s	$\approx 312 + 1/4a$
Tavole Alfonsine	29d 12h 44m 3,04s	$\approx 310 + 2/3a$
Almagesto	29d 12h 44m 3,33s	$\approx 314 + 2/3a$

La correzione dell'epatta prevista da Lilio basandosi sul mese sinodico alfonsino prevedeva l'aggiunta di un giorno all'epatta ogni 310,58 giorni, o 8 giorni in 2485 anni. La correzione è stata leggermente modificata da Cristoforo Clavio in base al mese sinodico delle *Tavole Pruteniche* che aumenta l'epatta di un giorno ogni 312,5 anni o otto volte in 2500 anni. Con il nuovo computo Clavio corregge il computo di Lilio che conteneva l'errore di un giorno ogni 49600 anni circa.

Concludendo, possiamo affermare che la “dottrina” di Copernico non è servita a Lilio per la riforma del calendario, ma il mese sinodico di Copernico, corretto nelle *Tavole Pruteniche*, “ha contribuito a correggere, anche se marginalmente, il calendario ecclesiastico” (Philipp & Nothaft 2018, p. 295).

### Ringraziamenti

Si ringraziano Andrea Marchionni e Jonathan Filippi per il continuo confronto ed interessanti spunti sull'argomento. Si ringrazia anche Nothaft C. Philipp E. per aver fornito utile materiale bibliografico.

### Bibliografia

- Capoano, G. & Vizza, F. (2017). *Luigi Lilio. Il dominio del tempo* (a cura di S. Borvitz). Padova: BeccoGiallo Editore.
- Casanovas, J. (1996). “Copernicus and the Gregorian Calendar Reform”, in Pepe, L. (ed.) *Copernico e la questione copernicana in Italia dal XVI al XIX secolo*. Firenze: Olschki, pp. 97-108.
- Clavius, C. (1588). *Novi calendarii Romani apologia, adversus Michaellem Maestlinum*. Rome: Sanctius.
- Clavius, C. (1603), *Romani calendarii a Gregorio XIII. P.M. restituti explicatio S.D.N. Clementis VIII. P.M. iussu edita*. Roma: Zannetti.
- Clavius, C. (1603). *Romani calendarij a Gregorio XIII. P.M. restituti explicatio*. Roma: Apud Aloysium Zannettum.
- Cocquelines, C. (1747). *Bullarium privilegiorum ac diplomatum Romanorum Pontificum amplissima collectio, cui accessere Pontificum omnium Vitae, Notae et Indices opportuni, opera et studio Caroli Cocquelines, Tomus Quartus, Pars Quarta: Ab anno X Gregorii XIII usque ad annum III Sixti V, scilicet ab anno 1581 ad 1588*. Romae: Typis et sumptibus Hieronymi Mainardi.
- Compendium Novae Rationis Restituendi Kalendarium* (1577). Romae: Apud haeredes Antonij Bladij impressores camerales.
- Galilei, G. (1615). “Lettera a Madama Cristina di Lorena. Granduchessa di Toscana”, in *Le opere di Galileo Galilei, Edizione Nazionale*, a cura di Favaro A. (1890-1909). Firenze: Barbera; ristampa 1962-1964, vol. V, pp. 309-348.

- Mezzi, E. & Vizza, F. (2010). *Luigi Lilio Medico, Astronomo e Matematico di Cirò*. Reggio Calabria: Laruffa Editore.
- O'Connell, D.J.K. (1975). "Copernicus and Calendar Reform", in Gingerich, O. & Dobrzycki, J. (eds.) *Colloquia Copernicana III* [Studia Copernicana 13]. Wrocław: Wydawnictwo Polskiej Akademij Nauk, pp. 189-202.
- Nothaft, C.P.E. (2018). *Scandalous Error*. Oxford: Oxford Press.
- Rosen, E. (1958). "Galileo's Misstatements about Copernicus", *Isis*, 49(3), pp. 319-330. doi: 10.1086/348675
- Schmid, J. (1882). "Zur Geschichte der Gregorianischen Kalenderreform", *Historisches Jahrbuch*, III, pp. 388-415.
- Steinmetz, D. (2011). *Gregorianische Kalendanderreform von 1582*. Oftersheim: Verlag Dirk Steinmetz.
- Swerdlow, N. (1986). "The length of the year in the original proposal for the Gregorian Calendar", *Journal of the history of Astronomy*, xvii, pp. 109-118.

### Fonti d'archivio

- Biblioteca Apostolica Vaticana (sda). *DigiVatLib*, Cod. Vat. Lat. 6194, 67r.
- Biblioteca Apostolica Vaticana (sdb). *DigiVatLib*, Cod. Vat. Lat. 6193, 354.
- Biblioteca Apostolica Vaticana (sdc). *DigiVatLib*, Cod. Vat. Lat. 3685, 1-10.



# Between Copernicus, Kepler and Galileo. A Memory of Owen Jay Gingerich (1930-2023)

Giancarlo Truffa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Independent scholar, member of SISFA, truffag@gmail.com

*Abstract:* Owen Gingerich, passed away on May 28, 2023, has been one of the most important historians of astronomy between the twentieth and the twenty-first centuries. Teacher of history of astronomy at the Harvard University (1967-2000) contributed with fundamental studies from the astronomy of ancient Greece to the birth of astrophysics. His most important work was the search and study of the copies of the first (1543) and second (1566) editions of the *De revolutionibus* of Copernicus. A job that led him to personally visit hundreds of libraries and collections of rare books around the world. I will describe his main contributions and teachings through his texts and personal memories mainly about his relationship with Italy, on the copies of the *De revolutionibus* described in his works, and on the copies he was not able to include in an update of the “Census” never published but which deserve new studies.

*Keywords:* Astronomy, Biography

## 1. Introduction

Owen Gingerich, as one of the obituaries dedicated to him remarks, was a “walking astronomy encyclopedia” and a prolific writer of books, invited conference papers, and articles for professional journals. His many contributions to the history of astronomy and more in general to the history of science have been very important. His skill and competencies as an astronomer and an expert of rare books, his knowledge of the global history, his curiosity, and his generosity to support new entrants in the field have been recognized all over the globe. Like other scholars, I had experienced the generosity with which Gingerich shared his private notes and his expertise. Both in his publications and private network, Gingerich actively stimulated new approaches to the history of early modern astronomy. Through his biography, his publications and mainly his researches on Copernicus and the *De Revolutionibus*, we will see his importance in the progress of the history of astronomy.

## 2. Biography<sup>1</sup>

Gingerich was born on the 24th of March 1930 in Washington, Iowa, to a Mennonite family. The Mennonites are a group of Anabaptist Christian church communities tracing their roots to the Radical Reformation in the Europe of XVI century. The Mennonites are a pacifist group. They believed in adult baptism, which means they were despised both by the Catholics and the Protestants.

His father was a schoolteacher, and his mother was too, for a short while. During his youth, the father was teacher in high school while he was working on his PhD in social American history writing about the Mennonites in Iowa. When Gingerich was 9, his father made the first telescope which Gingerich used in his life, a telescope good enough to see Saturn’s rings. Between 1941 and 1947, the family moved to Kansas, where the father got another job and Gingerich attended the schools.

---

<sup>1</sup> The main source of this summary of Gingerich’s life is the interview of Owen Gingerich by Alan Macfarlane, dated August 31, 2008, the transcription of which has been published in Turin & Macfarlane (2022, pp. 25-61). Video recording of the interview is available: <https://www.sms.cam.ac.uk/media/1117240> (Accessed: 7 December 2023).

In 1946 the father was appointed supervisor for the United Nations Relief and Rehabilitation Administration (UNRRA) which was going to be sending shiploads full of horses to Poland, and Gingerich participated as a cowboy. The following year, the father moved to teach at Goshen College in Indiana and Gingerich was enrolled there even if he had not completed the high school.

During a visit to Yerkes Observatory as a member of the Astronomical League (American amateurs' association), Gingerich discovered that an amateur astronomer had been hired as a summer employee just to look after the public. Since he was already a member of the American Association of Variable Star Observers (AAVSO), which had its headquarters at Harvard College Observatory, he had the connection with Harvard, and he wrote a letter to them saying: "Is there a possibility of a summer job?" I got a reply from Harlow Shapley, who was probably the most famous astronomer in America at that time."

So Gingerich spent the summer as an assistant to Harlow Shapley at the Harvard College Observatory (HCO). The following year, instead, Gingerich spent the summer as a collaborator with *Sky and Telescope* also based at the HCO. This collaboration will be continued for more than fifty years.

In 1950, Gingerich received a Degree in Chemistry from Goshen College but then, following a suggestion of his teacher to decide based on his feeling, he applied to Harvard University for graduate school in astronomy with the idea to become a science writer.

At Harvard sometimes he was teaching assistant to prof. I. Bernard Cohen, the professor of history of science and famous expert of Newton. In 1953 Gingerich completed his master at Harvard University and in the following year he married Miriam Sensenig, his partner for all the life.

The Korean War had been ongoing since 1950 and Gingerich was called to arms. As a Mennonite, he was a pacifist and refused to participate in the War. He risked being arrested but he was able to find an alternative, and he moved with his family to Beirut (Lebanon) to teach physics and astronomy at the American University between 1954 and 1957. In 1958 Gingerich returned to Harvard to work on his PhD in astrophysics entitled "The Study of Non-Gray Stellar Atmospheres", under the supervision of Chuck Whitney and Cecilia Payne-Gaposchkin, which he completed in 1961. From that period on, he always lived in Cambridge, Massachusetts.

From 1967 to 2000 Gingerich has been professor of astronomy and, from 1970, of history of science at Harvard University. In the same 1970, he began to collaborate with the new founded *Journal for the History of Astronomy*<sup>2</sup> and he was reviews editor for more than thirty years. After his retirement in 2000, he was nominated emeritus at Harvard University and senior astronomer emeritus at the Smithsonian Astrophysical Observatory.

Along his academic career, he has been active in several institutions: he has been chairman of the US National Committee of the International Astronomical Union, a councilor of the American Astronomical Society (AAS) and he helped organize its Historical Astronomy Division (HAD).

He has also received many awards: the Polish government's Order of Merit in 1981, the HAD's Doggett Prize for his contributions to the history of astronomy in 2000, the AAS awarded him their 2004 Education Prize, the Prix Jules Janssen 2006 of the French Astronomical Society, the 2009 Trotter Price of the Dept. of Engineering, A&M University, Texas.

The asteroid 2658 Gingerich was named in his honour in 1985.

In 2006 he has been Head of the IAU commission in charge to debate whether Pluto was a planet or not, and even though the conclusion of the commission was favourable to maintain Pluto as a planet, the IAU General Assembly voted to consider it a minor planet.

Gingerich has also been known as an expert and collector of rare astronomical books but less known is that he was a collector of sea snail shells of the genus *Fusinus*.

In the last few years, he suffered of a progressive worsening of health conditions and, after a period in a hospice, he died on May 28, 2023, in a hospital in Belmont, Massachusetts.

---

<sup>2</sup> It was the first journal dedicated to the history of astronomy. It still remains a reference in the field and by 2023, it had reached its LIV volume.

### 3. Gingerich's publications<sup>3</sup>

Gingerich began very early to write on astronomy. His first publications were in the journals of the high school he frequented and the Goshen College. The first “official” paper was published in a Mennonite journal for young people: “Building a Telescope”, *The Youth's Christian Companion*, in 1949, followed by two other papers in another Mennonite Journal: “Telescopes and stars”, *Mennonite*, 1949, 63(34), pp. 15-16 and “How to build a telescope”, *Mennonite*, 1950, 65, pp. 486-87.

In 1951 he published his first contribution on *Sky and Telescope*: “Eclipse experiences”, 1951, 10(12), pp. 287-288 and already in 1953, he published the first paper on an historical topic: “Messier and his catalogue”. *Sky and Telescope*, 12(8) pp. 255-258; 12(9) pp. 288-291. On *Sky and Telescope*, Gingerich will publish around two hundred contributions in fifty years including articles, reviews and short notices on astrophysics, observations, and history of astronomy. Several papers have been reprinted in the anthology *The Great Copernicus Chase and other adventures in astronomical history*, Sky Publishing and Cambridge University Press, Cambridge 1992.

Gingerich's first academic publications were on the topic of his PhD thesis: “A Computer Program for Nongray Stellar Atmospheres”, *The Astronomical Journal*, 1961, 66, p. 285. Abstract; “Studies in non-grey stellar atmospheres. I. A basic computer program”, *Astrophysical Journal*, 1963, 138, pp. 576-586; “Model atmospheres for late-type stars” (with D. Latham, J. Linsky, and S. Kumar), in Hack, M. (ed.) *Colloquium on Late-Type Stars*, Osservatorio Astronomico di Trieste, Trieste, 1967, pp. 291-312; “The Harvard-Smithsonian Reference Atmosphere” (with R. Noyes, W. Kalkofen, and Y. Cuny), *Solar Physics*, 1971, 18, pp. 347-365.

Gingerich has been one of the first scholars to use computers for simulations of physical phenomena but his interest in the history of astronomy took him to extend the usage of computers to the computation of planetary positions in the past<sup>4</sup> and verification of ancient astronomical tables.<sup>5</sup> He was initially interested in the works of Kepler, but later he covered the history of astronomy from ancient times to contemporary astrophysics.

His most important contributions were on the great astronomers of the scientific revolution: Copernicus, Tycho Brahe, Galileo Galilei and Johannes Kepler. Many of his studies up to 1993 have been included in an anthology published in that year: *The Eye of Heaven: Ptolemy, Copernicus, Kepler*. American Institute of Physics, New York.

Other topics he covered were Egyptian astronomy, astrolabes, paper instruments, ephemerides, the history of observatories and of observational practices, and the contributions of less known astronomers like Erasmus Reinhold, Paul Wittich, and Giovanni Antonio Magini.

He was also involved in controversies on historical questions, one about the validity of the observations and the star catalogue in Ptolemy's *Almagest* and another on the copy of Galilei's *Sidereus Nuncius* that appeared on the antiquarian market and was later demonstrated to be a fake.

Gingerich considered himself also an “amateur theologian”. The role of theologian derives by his Christian faith of Mennonite confession. The motto of the Mennonite college he attended was “Culture for Service” and he was heavily involved in discussions of the interplay between science and Christianity, believing that one did not contradict the other. Gingerich considered himself an anti-Creationism Christian, believing in “intelligent design” by a Creator rather than “Intelligent Design”

<sup>3</sup> Gingerich personally compiled a bibliography of his publications updated to 2011. It can be downloaded from the website of the *Journal for the History of Astronomy*: [https://journals.sagepub.com/doi/suppl/10.1177/00218286231195409/suppl\\_file/sj-pdf-1-jha-10.117700218286231195409.pdf](https://journals.sagepub.com/doi/suppl/10.1177/00218286231195409/suppl_file/sj-pdf-1-jha-10.117700218286231195409.pdf) (Accessed: 7 december 2023), but searching Gingerich's publications in the *SAO/NASA Astrophysics Data System* <https://ui.adsabs.harvard.edu/> the result is a list of c.600 publications!

<sup>4</sup> (1963) *Solar and Planetary Longitudes from -2500 to +2000* (with W. Stahlman), 1963; (1965), “Lunar visibilities in ancient Babylon”, *Isis*, 56, p. 69.

<sup>5</sup> (1964) “The computer versus Kepler”, *American Scientist*, 52, pp. 218-226; (1968) “Les positions des planetes au moyen age: Application du calcul electronique aux tables alphonisines” (with E. Poulle), *Comptes Rendus de l'Academie des Inscriptions et Belles Lettres*, 111(4), pp. 531-48.

(capitalized), which he saw as more of an undesirable political anti-evolution movement. He wrote: “There is a God as a designer, who happens to be using the evolutionary process to achieve larger goals – which are, as far as we human beings can see, [the development of] self-consciousness and conscience” (Gingerich 2006).

His last publication was again dedicated to his preferred subject, Nicolaus Copernicus. It was a contribution included in the catalogue of an exhibition at the National Gallery in London dedicated to the famous portrait of Copernicus made by the Polish artist Jan Matejko in the nineteenth century.<sup>6</sup>

#### 4. The Census of Copernicus’ *De Revolutionibus*

His most important contribution, which kept him busy for more than thirty years, was the research of the existing copies of *De revolutionibus orbium coelestium libri sex* of Nicholaus Copernicus, the capital book for the history of science. He thus remembered the reasons that made him begin this research:

I went on a sabbatical leave in 1970 to Cambridge, England, and on a holiday, we took the children up to Edinburgh. On the way, I stopped in Leeds with another professor, Jerry Ravets, who was also on the international committee to plan the Copernican celebrations [for 1973]. We talked about Arthur Koestler’s book *The Sleepwalkers* which was a bit of a put down for Copernicus saying that it was the book that nobody read ... Two days later we were up in Edinburgh and I went to the Royal Observatory to look at their fabulous book collection. And I took a look at their first edition of Copernicus. I was amazed to realize that it was annotated thoroughly, from beginning to end, in the margins of the book. Now if this book had so few readers, it seemed preposterous that the very next copy I happened to look at would be so thoroughly well read. [...] This gave me an idea, I thought, maybe I should look at some more copies (Turin & Macfarlane 2022, p. 49).

One thing led to another, and it became, not just a simple research project, but it became an obsession to try to see as many as possible. It took me 30 years before I was able finally to publish the census of some 600 copies of the first and second edition of this book, giving the provenances and ownerships of each of the copies to the extent that one can figure it out, plus information about what if any annotations were in it. And the annotations proved to be pretty interesting. The most interesting thing was this intense connectivity between copies, that if you got a book that seemed to be heavily annotated, you were almost certain to find another one with almost identical annotations in it because students copy their teachers’ notes (Turin & Macfarlane 2022, p. 50).

The copy of *De revolutionibus* that Gingerich saw in Edinburgh, which he later discovered was annotated by Erasmus Reinhold, became the catalyst that inaugurated his obsession to survey every surviving copy of the first edition, printed by Johannes Petreius in Nuremberg in 1543, and the second edition, printed by Heinrich Petri in Basel in 1566 of Copernicus’ book. That quest led him to travel hundreds of thousands of miles, from Aarhus to Beijing, from Coimbra to Dublin, from Melbourne to Moscow, from St. Gallen to San Diego. Finally, in 2002, after thirty years and around 600 copies seen, he published his inventory with the main results of his scrutiny: *An annotated census of Copernicus’ De Revolutionibus (Nuremberg, 1543 and Basel, 1566)*<sup>7</sup> (hereafter *Census*; Gingerich 2002).

The inventory includes for each copy:

- a. Type of bookbinding and dating (approximated).
- b. Size of the pages in millimeters.

<sup>6</sup> Gingerich, O., “Nicolaus Copernicus: the man who invented the solar system”, in Riopelle, Szczerki & Gingerich (2021), pp. 10-19.

<sup>7</sup> The hardback edition is out of print, but an e-book can be purchased: <https://doi.org/10.1163/9789004502611>.

- c. Any indication of provenance: inscriptions, labels, stamps with their position on the book.
- d. If any annotation is present.
- e. If the book has been censured following the instructions of the Catholic Church, dated 1620. The text has been deleted at the end of the introduction and in folios 6, 7, 9, 10 and 122 (Gingerich 2002, app. III, pp. 367-368).

Gingerich was able to describe 277 copies of the first edition and 324 copies of the second edition, of which he possibly inspected 95% directly.

He summarized the major findings of his project in these terms:

the pattern of multiple copies of the most important annotations, demonstrating the existence of a silent network that connected sixteenth-century astronomers; the fact that most astronomers in that century indeed owned and generally annotated the book, while rejecting as real the heliocentric cosmology itself (Gingerich 2002, Preface, p. VII).

Two years later, in 2004, Gingerich published *The book nobody read: chasing the revolutions of Nicolaus Copernicus* (Gingerich 2004), a companion book to the *Census* in which, with his highly entertaining and anecdotal style, he summarized the most important results obtained in the history of early modern astronomy, but he also discussed his approach to the research and told many anecdotes happened along these thirty years. This book is a masterpiece that had great success, with translations into 14 languages.

But the research was not finished. Already in *The book nobody read* and in the short note Gingerich published in 2006 – “Supplement to the Copernicus Census”, *Journal for the History of Astronomy*, 37, p. 232 – he announced his intention to publish an update or a second edition of the *Census*. But due to other projects and then to the age he reached, he never did it.

The need for a supplement to the *Census* was and is clear. Already in 2006, Gingerich mentioned knowing of 4 new copies of the first edition and 18 of the second edition of *De revolutionibus*. Personally, I verified and sent him the pictures of a first edition preserved in Mondovì (CN), heavily annotated in the first three books.

Limiting the analysis to the copies of *De revolutionibus* existing in Italy, 21 copies of the first edition and 47 copies of the second edition were described in the *Census*. In *The book nobody read* one more copy of the second edition was mentioned. In 2006, Neil Harris, full professor of archival and bibliography in the University of Udine, added 3 copies of the first edition and 2 copies of the second edition in the review of both Gingerich’s books for the journal *The Library* (Harris 2006). My personal research in catalogues of libraries available online, direct contacts, reports of auctions and journalistic news resulted in 1 copy stolen of the first edition, 11 new copies and 4 “disappeared” of the second edition but other copies could be preserved in unexplored libraries, could have been sold and changed the owner or have been stolen.

Speaking with other colleagues in the recent meetings dedicated to the anniversary of Copernicus, I verified the will to organize an international cooperation to proceed with the *Census* of the *De Revolutionibus*, to continue and not interrupt the work begun and masterfully accomplished by Owen Gingerich.



**Fig. 1.** Owen Gingerich in his office at Harvard University. On the left and in front: the cases where he preserved his rare books

## Conclusions

I think the best conclusion is to leave the word to Gingerich himself. In the interview by Alan Macfarlane at the question:

You would like to be considered primarily as a historian of science or as an astronomer;

he answered:

I suppose as a historian of science, but, basically, I was interested in knowing how science works. And by doing science, you get some insights, but the history of science gives you a broader perspective and sometimes it's easier to tease out the meanings of what happened a hundred, two, three, four hundred years ago. I have devoted a lot of time to thinking particularly about Renaissance astronomy and exactly what the relation between observations and theory and scientific proof versus scientific persuasion and that gives me also a foundation for thinking about the broader questions of where truth lies in religion versus where truth lies in science and so on. I suppose as a historian of science, my contribution would lie in the work, particularly what I've done in making the census of Copernicus's book. But I hope I've got further insights into how Kepler was thinking, how Galileo was mapping the moon and so on (Turin & Macfarlane 2022, p. 54).

**Bibliography**

- Gingerich, O. (2002). *An Annotated Census of Copernicus' De revolutionibus*. Leiden, The Netherlands: Brill.
- Gingerich, O. (2004). *The book nobody read: chasing the revolutions of Nicolaus Copernicus*. New York: Walker & Co. Translated in Italian as: *Alla ricerca del libro perduto. La storia dimenticata del trattato che cambiò il corso della scienza*. Milano: Rizzoli.
- Gingerich, O. (2006). *God's Universe*. Cambridge, Massachusetts: Belnap Press.
- Riopelle C., Szczerki A. & Gingerich O. (eds) (2021). *Conversations with God. Jan Matejko's Copernicus*. London: National Gallery Comp. Limited.
- Granada, M.A. (2023). "Owen Gingerich (1930-2023): astronomer, historian, metaphysician", *Galilæana*, 20(2), pp. 199-216.
- Harris, N. (2006). "De Revolutionibus in Bibliography: Analysing the Copernican Census", *The Library: The Transactions of the Bibliographical Society*, 7(3), pp. 320-329.
- Kremer, R.L. & Evans, J. (2023). "Owen Gingerich, 1930-2023", *Journal for the History of Astronomy*, 54(3), pp. 353-359 - with additional material available online.
- Turin, M. & Macfarlane, A. (2022). *Science and Religion. Edwin Salpeter, Owen Gingerich and John Polkinghorne. In conversation with Mark Turin and Alan Macfarlane*. Edited by R. Bêteille. Oxford, New York: Routledge.





# Nicolò Copernico, testimonial del sistema eliocentrico all'Osservatorio Astronomico di Padova

Valeria Zanini<sup>1</sup>, Lucia Zarantonello<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INAF-Osservatorio Astronomico di Padova, [valeria.zanini@inaf.it](mailto:valeria.zanini@inaf.it)

<sup>2</sup> Liceo Statale “A. Veronese” di Montebelluna (TV), [lucia.arancia@gmail.com](mailto:lucia.arancia@gmail.com)

*Abstract:* Nicolaus Copernicis unanimously acknowledged as the father of modern astronomy. Giuseppe Toaldo (1719-1797), the first director of the Astronomical Observatory of Padua, credited him as a testimonial of the new science, immortalizing him with a full-length, life-size portrait in the pictorial cycle that decorates the Paduan Observatory. This series of frescoes recounted the progress of astronomical knowledge from antiquity to the eighteenth century. It had to transmit educational and historical-scientific notions to a broad public, especially regarding the transition from the geocentric to the heliocentric view of the cosmos. The pictures were carried out by the Vicenza painter Giacomo Ciesa (1733-1822) between 1767 and 1777. The portraits largely refer to the chalcography made by Gerard Hoet (1648-1733) and Joseph Mulder (1658-1742) and inserted before the frontispiece of the *Astronomica Institutio* by the Dutch Joannis Luyts (1655-1721), published in 1692. This communication intends to illustrate both the Copernicus portrait and the large heliocentric fresco that dominates the east wall of the Meridian room, with its iconographic details.

*Keywords:* Copernicus, Astronomical Observatory of Padua, Heliocentric System

## 1. Introduzione

Alla sommità della Specola di Padova, nella sala denominata ‘delle Figure’, troneggia un affresco dedicato a Copernico; questo e le effigi di altri sette celebri scienziati della storia costituiscono il ciclo pittorico voluto da Giuseppe Toaldo (1719-1797), primo direttore dell'Osservatorio patavino, per raccontare il progresso delle conoscenze astronomiche dall'antichità fino al XVIII secolo. In particolare, gli affreschi raccontavano, e raccontano tutt'oggi, come si era compiuto il passaggio dalla concezione geocentrica a quella eliocentrica del cosmo e come la scienza si fosse radicalmente trasformata tra il XVI e il XVIII secolo. Essi dovevano dialogare non solo con gli addetti ai lavori che frequentavano l'Osservatorio quotidianamente, ma soprattutto con il pubblico non specialista che occasionalmente fosse venuto in Specola.

Il ciclo di affreschi, realizzato nella sala che era destinata alle osservazioni a 360° della volta celeste, comprende, oltre alla figura di Copernico, anche quelle di Tolomeo, Tycho Brahe, Galileo, Keplero, Newton, Geminiano Montanari e Giovanni Poleni. I dipinti furono realizzati dal pittore vicentino Giacomo Ciesa (1733-1822) tra il 1772 e il 1773, ossia negli anni in cui la Specola veniva edificata sull'antica torre medievale del castello cittadino, su commissione dello stesso Toaldo.<sup>1</sup> Ogni personaggio rappresenta un momento storico specifico nell'evoluzione dell'astronomia e tutti assieme essi descrivono lo sviluppo delle conoscenze astronomiche attraverso il tempo. Il ruolo di ciascuno di loro è enfatizzato non solo dalla collocazione all'interno del ciclo, che segue un ordine temporale, ma anche dalla scena mitologica che fu dipinta al di sopra del ritratto stesso, per sottolinearne, in modo simbolico, alcune caratteristiche peculiari. In questo contributo ci si limiterà ad analizzare l'affresco che raffigura

---

<sup>1</sup> Sulla costruzione della Specola e gli affreschi si rimanda a: Zanini (2023).

Copernico e, giocoforza, quello immediatamente precedente, ossia Tolomeo, dal momento che i dettagli iconografici utilizzati nei due ritratti, così come le rispettive scene mitologiche, sono strettamente correlati tra loro.

## 2. La scelta iconografica di Toaldo e Ciesa

Le figure di Tolomeo e Copernico, come peraltro quelle di Tycho e Galileo che li seguono nel ciclo, sono indubbiamente tratte dalla calcografia di Joseph Mulder (1658-1742) e Gerard Hoet (1648-1733) riprodotta nell'antiporta del libro *Astronomica institutio* di Luyts (1692). In questa incisione (Fig. 1) compaiono infatti due gruppi di astronomi: sulla destra vi sono i tre teorizzatori dei principali sistemi cosmologici, ossia Claudio Tolomeo (II sec. d.C.), Nicolò Copernico (1473-1543) e Tycho Brahe (1546-1601), che tengono in mano i loro modellini del Cosmo; sulla sinistra, invece, compaiono due astronomi 'osservativi', ovvero Galileo Galilei (1564-1642) e Johannes Hevelius (1611-1687), raffigurati con i loro cannocchiali. Seduto nel mezzo c'è Ipparco (II sec. a.C.), che sembra quasi incrociare la sua sfera armillare con il *perspicillum* di Galilei, come se i due strumenti fossero delle spade. L'olandese Jan Luyts (1655-1721), docente dell'Università di Utrecht, era infatti un matematico e astronomo ancora ancorato alla filosofia aristotelica, tant'è che nella sua opera, pur sviluppata al tramonto del XVI secolo, non accolse la nuova teoria eliocentrica che stava acquisendo sempre maggiori indizi a suo supporto, ma propose come vero sistema cosmologico esplicativo del mondo quello ticonico. L'interesse per questa incisione, che fu scelta come modello per i dipinti padovani, non risiede dunque nel contenuto scientifico dell'opera del Luyts, ma proprio nell'aspetto iconografico relativo ai personaggi.



Fig. 1. J. Luyts, *Astronomica institutio* (1692), antiporta (imm. Wikimedia Commons).

### 2.1 Tolomeo

Come già fecero Mulder e Hoet, anche Giacomo Ciesa rappresentò Tolomeo con le sembianze di un saggio arabo, con il tipico turbante in testa, che regge in una mano il modellino del sistema geocentrico e nell'altra l'*Almagesto*. Una tale iconografia non è tra le più diffuse nelle raffigurazioni di questo astronomo, al tempo, visto che in genere, soprattutto nel Quattrocento e nel Cinquecento, egli era rappresentato come un saggio barbuto che teneva in mano una sfera armillare o qualche altro strumento osservativo, agghindato con un alto copricapo a corona. Lo si vede ad esempio nel dipinto del 1476 di Giusto di Gand (conservato al Louvre) e che in origine decorava lo Studiolo del duca Federico da Montefeltro nel suo Palazzo Ducale di Urbino; oppure nell'illustrazione contenuta nell'opera enciclopedica *Margarita Philosophica* di Gregor Reisch, che riscosse un grande successo a cavallo tra XV e XVI secolo (Fig. 2). In quest'epoca Tolomeo era infatti stato erroneamente ritenuto discendente della stirpe dei Tolomei imperatori d'Egitto e quindi, per traslazione, era stato definito il "Principe"

dell'astrologia, dell'astronomia e della geografia. Le vere origini di Tolomeo erano ancora oggetto di dibattito a metà Seicento, tanto che nel suo *Almagestum Novum* Giambattista Riccioli (1598-1671) scrisse: “è controverso se il principe degli astronomi, dei geografi e degli astrologi fosse del lignaggio reale dei Tolomei e Alessandrino” (Riccioli 1651, p. XLIII).



**Fig. 2, sinistra:** ritratto a figura intera di Tolomeo conservato nella sala ‘delle Figure’ dell’Osservatorio padovano (©INAF-OAPd); **centro:** Giusto di Gand, *Tolomeo*, 1476 (imm. Wikimedia Commons); **destra:** raffigurazione di Tolomeo riprodotta in G. Reisch, *Margarita Philosophica*, 1503 (imm. Wikimedia Commons).

D’altro canto, pur essendo Tolomeo pienamente figlio della cultura ellenistica, la sua opera arrivò nell’occidente tardo-medievale e rinascimentale tramite gli Arabi, e questo creò non poca confusione in merito ai suoi natali. Pur tenendo conto di tutto ciò, la scelta operata da Lyuts e confermata da Ciesa di rappresentarlo solo con il turbante ma senza la corona, rimane singolare. Sembra che in qualche modo lo si sia voluto ‘detronizzare’ da quel ruolo di ‘principe dell’astronomia’ che gli era stato riconosciuto fino ad allora. Il titolo d’altronde era ormai del tutto anacronistico nel Settecento, dato il superamento non solo delle teorie astronomiche contenute nell’*Almagesto*, ma di tutta l’opera tolemaica in generale. Tuttavia il turbante restava un simbolo di cultura e di potere, valori che venivano riconosciuti alla cultura islamica per aver svolto una funzione di sintesi tra classicismo e modernità; rappresentare quindi l’astronomo alessandrino con questo copricapo, se da un lato lo detronizzava dal ruolo regale, dall’altro gli restituiva quello più consono di un intellettuale antico, un saggio uomo di scienza del suo tempo e del suo luogo. Nel ciclo pittorico del Ciesa, quindi, non si mira a dare una rappresentazione realistica, ma piuttosto si vuol sottolineare l’influenza avuta da Tolomeo in quanto ‘precursore’, il gigante sulle cui spalle si appoggiano gli intellettuali che lo seguono (Zarantonello 2017). Anche la scelta di lasciare tra le sue mani il modellino geocentrico, e non la più comune sfera armillare, si innesta in questo nuovo ruolo che gli si attribuisce. D’altra parte, quest’oggetto è in continuità con gli oggetti che tengono in mano i personaggi successivi, ossia Copernico e Brahe: ciascuno di loro, infatti, mostra al visitatore il proprio modello cosmologico del Mondo.



Il legame tra questi astronomi, e in particolare quello tra Tolomeo e Copernico, è rafforzato dalle rappresentazioni mitologiche raffigurate sopra alle figure intere. Tolomeo, infatti, è associato ad Atlante che sorregge la volta celeste. Nella tradizione mitologica dell'epoca, fondata sulle *Metamorfosi* di Ovidio, Atlante, la cima più alta dell'omonima catena montuosa della Mauritania, era originariamente il re di quella regione ed era stato trasformato nell'alta montagna da Perseo, tramite la testa di Medusa, perché non gli aveva offerto ospitalità. Atlante, Rex Atlas, era considerato il primo uomo al mondo ad essersi occupato di astronomia e astrologia e a lui, secondo quanto riferisce Riccioli nel suo *Almagestum Novum*, si faceva risalire l'invenzione della sfera celeste (Riccioli 1651, p. XXXI). La particolarità in questo caso si trova nel fatto che Atlante non viene rappresentato nell'atto dinamico di sorreggere la volta, ma nell'immagine statica dell'alta montagna in cui fu trasformato. Anche qui, quindi, si ritrova un'iconografia che rimanda a qualcosa di mitologico, ma passato: il mito di Atlante viene rappresentato nella sua fine, non nel suo svolgersi, eppure come qualcosa di granitico, solido, a cui per centinaia di anni gli altri hanno potuto appoggiarsi o volgere gli occhi.

Sia la figura intera sia la rappresentazione mitologica rimandano quindi alla grandezza, ma anche al superamento del personaggio raffigurato. In particolare, Tolomeo risulta superato dall'opera di Copernico, che è il personaggio successivo del ciclo pittorico.

## 2.2 Copernico

Nell'affresco settecentesco realizzato dal Ciesa nella sala 'delle Figure' Copernico reggere in mano il suo modellino del Cosmo, che ora è un cosmo eliocentrico: nel centro è infatti riconoscibile il Sole e in alto il cerchio dell'orbita lunare attorno alla Terra. In questo dipinto l'astronomo polacco indossa la veste da canonico agostiniano. L'abito dovrebbe, per rispetto alla realtà ecclesiastica, essere nero, invece esso ha i toni del blu (Fig. 3).

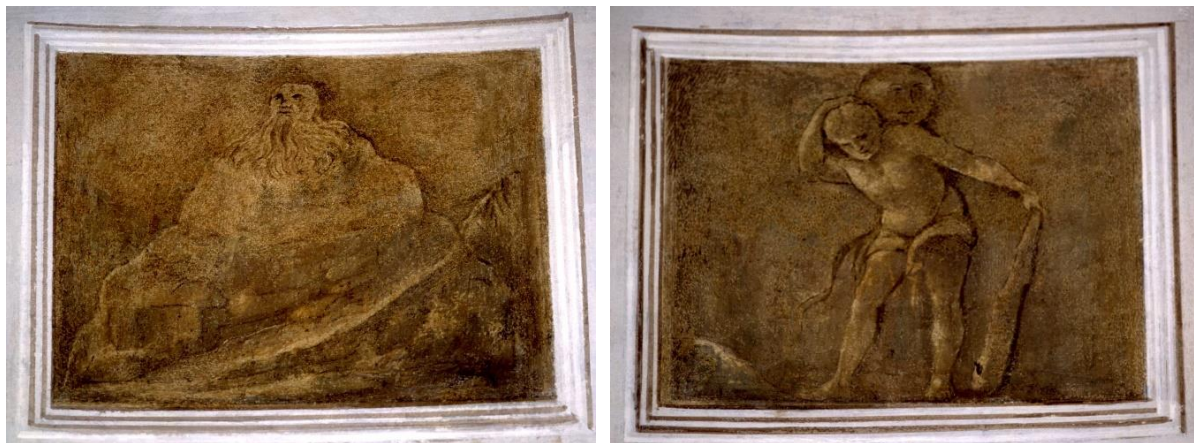
Sin dal Medioevo il blu aveva acquisito un colore simbolico, legato alla sfera del sacro, tanto che sostituì il rosso reale nel mantello della Vergine Maria; diversamente il nero, colore del lutto e della penitenza, nel Rinascimento in tutta Europa divenne il segno dell'eleganza composta e austera. Il nero quindi si associava ai nobili, mentre i religiosi venivano rappresentati con abiti aventi i toni del blu. La differenza rispetto alle reali tonache agostiniane si vede anche nella bordatura in pelliccia del collo e delle maniche, scelta che era già stata fatta anche nella calcografia dell'*Astronomica Institutio* di Luyts. Anche posizione, modellino copernicano e viso sono perfettamente identici a quelle del Luyts; unica differenza è la presenza della cintura, che non c'è nell'incisione, probabilmente per una maggiore attinenza alla realtà e all'iconografia dell'ordine di cui Copernico era canonico. Le bordature di pelliccia assumono invece un valore simbolico; esse erano tipicamente segno di prestigio, potere e alte cariche. Potrebbe dunque essere un riferimento sia alla sua attività come canonico membro del Capitolo di Warmia, amministratore delle terre di Allen e diplomatico per conto dello zio vescovo, sia ai suoi meriti come studioso (Zarantonello 2017).

Interessante è anche la scelta dello sfondo che accompagna il ritratto di Copernico: una colonna classica drappeggiata di rosso. Il drappo rosso è un segno di importanza e di potere, quindi è un



**Fig. 3.** Ritratto a figura intera di Copernico, conservato nella sala 'delle Figure' (©INAF-OAPd).

riconoscimento fondamentale che viene fatto al personaggio all'interno del ciclo pittorico, dato che è l'unico a cui questo simbolo viene associato. La colonna è un richiamo invece ai filosofi classici dell'antica Grecia, sull'autorità dei quali Copernico fonda la sua formazione e tra i quali cerca l'ispirazione che lo porterà a formulare il nuovo modello cosmologico.



**Fig. 4, sinistra:** la scena mitologica riprodotta sopra Tolomeo, che raffigura il monte Atlante (©INAF-OAPd); **destra:** la scena mitologica riprodotta sopra Copernico, che raffigura invece Ercole nell'atto di sorreggere il Cielo (©INAF-OAPd).

Se lo sfondo si stacca da quello di Tolomeo (in quel caso la vegetazione lussureggiante costituiva, come il turbante, un richiamo al mitico oriente), il riquadro mitologico sovrastante si collega invece a quello del predecessore. Esso rappresenta, infatti, Ercole nell'atto di reggere il Cielo dopo averlo preso da Atlante (Fig. 4). Nella mitologia classica Ercole (Eracle per i greci) è il semidio, figlio di Giove (Zeus per i greci) e della donna mortale Alcmena, dotato di una forza sovrumana, costretto a compiere le leggendarie dodici fatiche per espiare la colpa dell'efferata uccisione dei figli e della moglie Megara, compiuta a causa della follia scatenatagli da Giunone (Era per i greci), moglie di Giove, da sempre gelosa del tradimento del marito. Una delle ultime fatiche che egli dovette affrontare consisteva nel sottrarre le mele d'oro che crescevano su di un albero magico all'interno del giardino delle Esperidi, custodito da un drago immortale, e che erano state regalate da Gea, la madre Terra, ad Era come dono di nozze. Il giardino si trovava proprio nei pressi del Monte Atlante. Ercole, su suggerimento di Prometeo, che era il titano fratello di Atlante, convinse il gigante a rubare i pomi delle Esperidi al posto suo, offrendosi di prendere per qualche tempo il suo posto nel sostenere la volta celeste. Il peso di quest'ultima, dei suoi misteri, delle domande e delle risposte passava così da uno all'altro.

Ercole diventa dunque la nuova colonna portante del Cielo, concetto che è sottolineato anche dalla clava su cui l'eroe poggia, un dettaglio iconografico che compare costantemente anche nella cartografia stellare Sei e Settecentesca (Fig. 5). Così Copernico è la colonna portante della scienza, colui che dà il cambio alla figura mitologica dei tempi più remoti, ossia Atlante. Nella leggenda, Ercole riesce a farsi ridare il cambio da Atlante solamente ingannandolo; nella realtà scientifica, i veri frutti del sistema copernicano rimarranno nei fatti inapplicati ancora per molti anni, fino all'arrivo di Galileo, Keplero e Newton. In un certo senso, la volta celeste ritorna ancora da Ercole (Copernico) ad Atlante (Tolomeo) per molto altro tempo, nonostante la frattura nel vecchio mito (sistema cosmologico) sia ormai avviata.



**Fig. 5.** Tavola della costellazione *Hercules* tratta da: J. Bayer, *Uranometria*, 1661 (Biblioteca ‘G. Santini’, INAF-Osservatorio Astronomico di Padova). In mano Ercole tiene la sua caratteristica clava.

### 3. Il sistema eliocentrico

Come testimoniato in alcune pubblicazioni dell’epoca, la sala ‘delle Figure’ conteneva, oltre ai ritratti degli otto scienziati, anche la rappresentazione del sistema copernicano, che presumibilmente dominava la volta della stanza:

Nè passar voglio sotto silenzio le Pitture a fresco dell’Osservatorio principale ideate dal mentovato Sig. Ab. Professor Toaldo, e dipinte dal Sig. Giacomo Ciesa Vicentino. Consistono queste nella Fascia del Zodiaco co’ suoi dodici segni. Al di sopra evvi il sistema di Copernico. Vi sono eziandio dipinti di grandezza al naturale otto de’ più celebri Astronomi, cioè Tolomeo, Copernico, Ticone, Galileo, Keplero, Nevvton, Montanari, e Poleni (Rossetti 1780, p. 313).

Questa raffigurazione del sistema copernicano, che doveva essere in stretto dialogo con la narrativa tracciata dal ciclo di affreschi sottostante, la quale raccontava appunto lo sviluppo del pensiero astronomico nel corso del tempo, era probabilmente ispirata al *Musaeum* ticonico, ovvero lo studio di Tycho Brahe a Stjärneborg; quest’ambiente era stato arredato, per volere dello stesso Tycho, con i ritratti di quattro coppie di astronomi e nel soffitto presentava una illustrazione del suo modello cosmologico geo-elio-centrico (Gattei 2011, pp. 653-655). Purtroppo, nella sala padovana che si trova alla sommità della torre non è rimasta traccia di alcuna rappresentazione del sistema copernicano: già a metà ’800 tutti gli affreschi erano profondamente deteriorati a causa dell’umidità e delle infiltrazioni d’acqua, e nel 1860 l’intero ambiente fu ridipinto, nascondendo sia le figure che il sistema eliocentrico. Nel corso degli interventi di restauro che l’Osservatorio Astronomico promosse e sostenne nel 1998, i personaggi alle pareti vennero riportati alla luce ma il sistema copernicano non fu ritrovato. Nella volta fu pertanto mantenuta la raffigurazione ottocentesca dei cerchi concentrici di stelle in stile giottesco, decrescenti in dimensione per dare il senso della profondità, e dei sedici medaglioni raffiguranti altrettanti scienziati che diedero un contributo fondamentale allo sviluppo della meccanica celeste, voluti dal direttore dell’epoca Giovanni Santini (1787-1877).



Tuttavia, un affresco del sistema copernicano era presente in un'altra sala della Specola, ossia la sala meridiana. Coperto anch'esso nel corso del tempo, esso fu recuperato nel 1987 e ancor oggi testimonia come Toaldo – il sacerdote e astronomo veneto divenuto poi docente dell'università patavina, che per primo in Italia, nel 1744, curò l'edizione delle opere di Galileo ottenendo dal Sant'Uffizio il permesso di inserirvi il *Dialogo sui massimi sistemi* ancora all'indice (Zanini 2022) – illustrasse ai suoi allievi la teoria eliocentrica: vi sono infatti raffigurate le orbite dei pianeti attorno al Sole, le loro dimensioni relative e il loro aspetto, basato sulle osservazioni telescopiche Settecentesche. Inoltre, l'affresco aveva anche una valenza didattica, perché illustra con precisione la configurazione geometrica della Terra, della Luna e del Sole che dà origine alle eclissi, rispettivamente di Sole e di Luna (Fig. 6).



**Fig. 6.** L'affresco raffigurato nella sala meridiana dell'Osservatorio padovano, che rappresenta il sistema solare conosciuto alla fine del '700 (©INAF-OAPd).

In quest'affresco è stata anche raffigurata l'orbita della celebre cometa di Halley, determinata a partire dall'osservazione del suo ritorno al perigeo tra la fine del 1758 e l'inizio del 1759. Il ritorno al perielio, determinato da Clairot con la precisione di appena un mese applicando la teoria della gravitazione di Newton, rappresentò l'apice della rivoluzione astronomica avviata da Copernico e portata a compimento da Newton stesso, e della quale Toaldo fu uno strenuo sostenitore.

### Bibliografia

- Gattei, S. (2011). "Argomentare per immagini. L'incisione in antiporta di *Tabulae Rudolphine (1627)*", *Rivista di Filosofia Neo-Scolastica*, 4, pp. 651-676.
- Luyt, J. (1692). *Astronomica institutio, in qua doctrina sphaerica atque theorica, intermixto usu sphaerae coelestis, & variis chronologicis, pertractantur. Adjunctae sunt in illustrationem argumenti pluribus in locis figurae aeneae diversae*. Trajecti ad Rhenum: ex officina Francisci Halma, acad. typogr.
- Riccioli, G.B. (1651). *Almagestum novum astronomiam veterem novamque complectens....* Bononiae: Ex Typographia Haeredis Victorij Benatij
- Rossetti, G.B. (1780) *Descrizione delle pitture, sculture, ed architetture di Padova, con alcune osservazioni attorno ad esse ed altre curiose Notizie*, parte I. Padova: Stamperia del Seminario.
- Zanini V. (2022). "La Specola di Toaldo: eredità culturale di Galileo", *Atti e Memorie dell'Accademia Galileiana di Scienze Lettere ed Arti in Padova già dei Ricovrati e Patavina*, CXXXIV(III), pp. 33-52.
- Zanini, V. (2023). "Architettura e dipinti alla Specola di Padova: un'immersione nelle conoscenze celesti del Settecento / Architecture and paintings at the Observatory of Padua: an immersion in the celestial knowledge of the 18th century", in Farroni, L., Incerti, M. & Pagliano, A. (eds.) *Misurare il tempo. Strumenti e tecniche tra storia e contemporaneità / Measuring Time. Tools and techniques between history and contemporaneity*. Limena (PD): libreriauniversitaria.it Edizioni, pp. 173-181 e pp. 349-353.
- Zarantonello L. (2017). *Gli affreschi della Sala delle Figure alla Specola: iconografia e scienza* (Tesi di Laurea magistrale in Astronomia). Università di Padova.



# An Information Analysis of the ‘Physical Object’ Concept in Copernican Revolution

Enrico Gasco<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Zirak s.r.l, [enrico.gasco@zirak.it](mailto:enrico.gasco@zirak.it)

*Abstract:* The concept of information was introduced in the middle of the last century by Shannon and since then an entire branch of research has been developing into what is called Mathematical Theory of Communication which deals with studying the amount of information exchanged in a communication channel. In this article we want to use the concept of information to analyze the conceptual change that occurred with the Copernican Revolution, limiting ourselves to the concept of Physical/Celestial Object and using the Dynamic Frames developed by Barsalou in Cognitive Science.

*Keywords:* Information, Dynamic Frame, Copernican Revolution

## 1. Information

Information is a concept whose meaning we have not recovered from ancient philosophy or Christian theology, but it is a purely modern concept; hence the difficulty in its definition and the multiple meanings that have been assigned to the concept. Shannon (1993) for example highlights this difficulty in the following way: “[...] It is hardly to be expected that a single concept of information would satisfactorily account for the numerous possible applications of this general fields”.

Information is usually associated with something independent of the user, which has semantic content (has a meaning), and which is transmitted through multiple means (texts, websites, maps...). It is usually conceived in terms of “data + meaning” and Floridi (2010) gave a general definition by stating that  $\sigma$  – the basic unit of information (*infor*) – is an instance of semantic information if it consists of data that is correctly formatted and has meaning. Information is therefore composed of data, but is not determined only by them; so, what is their role? To better understand these aspects, let’s consider the following simple example: let’s examine a page of a book written in an unknown language and notice that we are in possession of some data without meaning; if we delete half the page, we will have half the amount of data but still no meaning; even if we leave just one symbol on the page, we still have data – a small amount – and always no meaning. In these three cases we are in possession of data that is not significant and therefore we have no information. If we now delete the last symbol and leave the page completely blank, we are in the presence of data (the empty page), but with a meaning (the page has no semantic content); the latter case provides us with some information even if it seems like we don’t have any data available. Information is therefore not linked only to the presence of data, but is rather conceived as a lack of uniformity, as Bateson (1973) reminds us, when he asserts: “In fact, what we mean by information [...] is a difference which makes a difference”.

### 1.1 Semantic Information

When it comes to the concept of information, we are usually dealing with the Statistical Theory of Information proposed by Shannon, but it – as its name states – has to do with the statistical properties of the information transmitted in a communication channel. Shannon’s theory does not deal with the most significant aspect of the term information, namely its semantic content. The first to address the

problem from this point of view were Carnap and Bar-Hillel (1953) and, since then, the theory they developed has been called semantic theory of information.<sup>1</sup> In both theories information is defined in terms of a certain concept of probability:

$$inf(\sigma) = -\log(p(\sigma))$$

where  $p(\sigma)$  represents the probability of the *infor*  $\sigma^2$  and from it, it is possible to obtain the concept of entropy associated with information:

$$H = -\sum_{\sigma} p(\sigma) inf(\sigma)$$

where the summation is done on each individual *infor*. Although the two theories use the same mathematical structure, the concept of probability on which they are based is different: in statistical theory – where we are interested in repeatable situations in the long term – a frequentist interpretation of probability is presupposed, while in semantic theory – in which we are interested in the different alternatives that are made available to us by language – we use a logical interpretation of probability<sup>2</sup> (Hintikka 1970). To assign probability to the different alternatives made available in a certain linguistic context it is necessary to identify some principle that facilitates us in this task; from a heuristic point of view, it can be stated that the more precise a proposition is, i.e. it eliminates any other possibilities, and the greater the information it conveys. This consideration is formalized in the Inverse Relationship Principle, which states that “the amount of information associated with a proposition is inversely related to the probability of that proposition”. Based on this principle it is possible to define the content of information as:

$$cont(\sigma) = 1 - p(\sigma)$$

which can be easily traced back to the amount of information (*inf*) introduced previously.

Carnap and Bar-Hillel’s semantic theory is based on the principle just described and is developed for monadic first-order logic. In this regard, consider a class of languages, each of which is made up of a finite series of monadic predicates (naming properties), which apply to an equally finite number of individual constants (naming individual) and which can be composed with the usual logical connectors. From a formal point of view, a language is defined as a set  $L_m^n = (\{c_1 \dots c_n\}, \{P_1 \dots P_m\})$  made up of  $n$  individual constants  $c_i$  and  $m$  predicates  $P_j$ . The propositions  $P_j c_i$  is an atomic sentence and indicates that the constant  $c_i$  has the property  $P_j$ . It is possible to construct an arbitrary number of other propositions, based on the atomic ones and using logical connectors. Of particular importance are those combinations that involve the conjunction of predicates (negated or non-negated) applied to all individual constants in such a way that each constant appears only once in the proposition: such propositions are called state-descriptions (they are usually represented with the letter  $w$ ). The set of state descriptions constitutes the logical space, and each state description represents a possible state of the world. On the logical space it is possible to define one or more probability measures  $m(-)^3$  which are associated with the corresponding confirmation function:

<sup>1</sup> The Carnap and Bar-Hillel Theory is defined by Floridi as Weak Semantic Theory of Information in contrast to the Strong Semantic Theory of Information proposed by Floridi himself.

<sup>2</sup> Carnap reported the difference in two disjoint concepts of probability: probability<sub>1</sub> for the statistical interpretation and probability<sub>2</sub> for the logical interpretation (degree of confirmation: a quantitative concept representing the degree to which the assumption of the hypothesis  $h$  is supported by the evidence  $e$ .)

<sup>3</sup> The choice of the probability measure is determined for example by the symmetric structures that are identified in the logical space (consider for example Carnap’s  $m^*$  function).

$$c(\sigma, e) = \frac{m(\sigma \wedge e)}{m(e)}$$

where  $e$  represents the empirical evidence with respect to  $\sigma$ .<sup>4</sup>

To give a concrete example, let's examine a language made up of 3 individual constants and a single predicate, the formalization of which is  $L^3_1 = (\{a, b, c\}, \{F\})$ : the logical space generated by this language is made up of 8 state descriptions (e.g.  $w_1 = Fa \wedge Fb \wedge Fc$ ), each of which has properties  $m(w_i) = 0.125$ ,  $cont(w_i) = 0.125$  e  $inf(w_i) = 3$  bit.

## 2. Dynamic Frame

The concept of dynamic frame was introduced into cognitive psychology by Barsalou (Barsalou 1992; Barsalou, Hale 1993) and represents a cognitive structure in which conceptual and empirical information are represented in a precise and determined manner. Dynamic frames have been used profitably in the Philosophy of Science to analyze scientific concepts (Kornmesser 2018) and conceptual change (Andersen et al. 2006), but also in the history of science (Gasco 2020).

In short, a frame is an attribute-value matrix that has the task of representing how some characteristics (the values) are the instances of other properties (the attributes). The typical example used to illustrate what a dynamic frame consists of is the one associated with the concept of 'bird', the graphic representation of which is shown in Fig.1. The leftmost element is the concept 'bird' which is called *superordinate concept*; in the central box, there are the attributes {beak, foot} and the values associated with them.<sup>5</sup> The last column of the diagram corresponds to *subordinate concepts* – or derived concepts – which are a specialization of the main concept and activate only certain values.<sup>6</sup> The red arrow, instead, represents a constraint that exists between the 'beak' attribute and the 'foot' attribute. The *constraints* are links that intervene between attributes or between values and the most significant ones are the constraints that exist between values.<sup>7</sup>

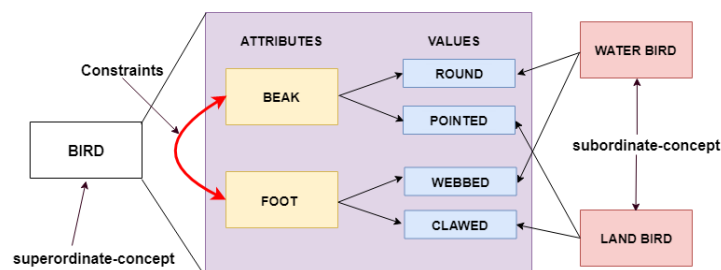


Fig. 1. Dynamic frame 'bird' concept

### 2.1 Semantic Information of a dynamic frame

Dynamic frames are a structure that can be represented with a first-order formulas (Urbaniak 2009) and therefore the question of associating a quantity of information to the frame arises spontaneously based on the semantic theory of Carnap and Bar-Hillel. The starting point is to show how an attribute of a frame can be represented by a language composed of monadic predicates and individual constants. To do this, consider an attribute  $A = (a, (\{V_1^a \dots V_m^a\}))$  and note that it can be related to a language  $L^1_m$  composed of a single individual constant  $a$  – the attribute itself – and by  $m$  predicates, corresponding to

<sup>4</sup> From now on we will replace the generic *infor*  $\sigma$  with a proposition/hypothesis  $h$  linked to the linguistic context being considered.

<sup>5</sup> E.g. the beak attribute has the values {round, pointed}.

<sup>6</sup> E.g. subordinate concepts are "water bird" and "land bird".

<sup>7</sup> E.g. in the case of the subordinate concept 'water bird' there is the constraint that the webbed feet (foot = WEBBED) always correspond to the rounded beaks (beak = ROUND).

the possible values assumed by the attribute. If attribute  $a$  has the value  $V_1$ , there is a proposition  $V_1^a a$  which describes its state. The state descriptions that can be obtained by combining the predicates and the single individual constant with the usual logical connectors are  $2^{n \cdot m} = 2^m$ . However, note that an attribute can take on one value at a time and this limits the number of state descriptions admissible to  $m$ ; such states are called base-state description and are formally defined as:

$$b_i^a = V_i \left( \bigwedge_{j \neq i} \neg V_j \right) a = \neg V_1 a \wedge \dots \wedge \neg V_{i-1} a \wedge V_i a \wedge \neg V_{i+1} a \dots \wedge \neg V_m a$$

Therefore, for an attribute we have the relation:

$$A = (a, \{V_1^a \dots V_m^a\}) \Rightarrow L^1_m \Rightarrow \{b_1^a \dots b_m^a\}$$

Finally, if we consider the fact that a frame is a set of attributes, we will have that:

$$F = (A_1 \dots A_n) = (a_1, \{V_1^{a_1} \dots V_m^{a_1}\}) \dots (a_n, \{V_1^{a_n} \dots V_r^{a_n}\}) \Rightarrow (L_m^{a_1} \dots L_r^{a_n}) \Rightarrow (\{b_1^{a_1} \dots b_m^{a_1}\} \dots \{b_1^{a_n} \dots b_r^{a_n}\})$$

The state descriptions of the dynamic frame will be the conjunction of the various base-state descriptions of the individual attributes. For example, if we have  $n$  attributes, each of which takes on certain values, the generic state description is given by the following formula:

$$w_{V_1^{a_1} \dots V_k^{a_n}} = b_1^{a_1} \wedge \dots \wedge b_k^{a_n}$$

The set of all state descriptions generates the logical space associated with the dynamic frame. Once the logical space is known, it is necessary to define a probability measure on it. If the constraints between the values are not considered, the state descriptions are equally probable and therefore we have for a generic state  $m(w_{V_1^{a_1} \dots V_k^{a_n}}) = 1/n$ . However, if we consider the constraints between the values, we can use the confirmation function equation – introduced previously – to impose restrictions on the probability measure. A constraint corresponds to stating that, in the face of evidence in which a certain attribute takes on a certain value ( $V_j b$ ), the hypothesis that another attribute takes on a certain other value ( $V_i a$ ) is certain. In formulas we have<sup>8</sup>

$$h = V_i a, e = V_j b \Rightarrow c(h, e) = \frac{m(h \wedge e)}{m(e)} = \frac{m(V_i a \wedge V_j b)}{m(V_j b)} = 1.0$$

Once the probability measure on the logical space has been determined, we can calculate the amount of information of a state-description as  $inf(w_i) = -\log(m(w_i))$  and hence the amount of information in the entire frame:

$$inf(F) = \sum_i m(w_i) \cdot inf(m(w_i))$$

where index  $i$  run on the state-descriptions of the logical space associated with the dynamic frame.

<sup>8</sup> The formula is also valid in the case that, for a given piece of evidence, the probability of a certain hypothesis is zero.

### 3. The concept of ‘Physical Object’ in the Copernican Revolution

One of the main innovations of the Copernican Revolution was the elimination of the distinction between celestial and terrestrial objects, which was based on Aristotelian Physics. For Aristotle, the world was made up of five elements (earth, water, air, fire and ether) and the motion of each of them was directed towards its natural place; so for example the earth had the center of our planet as its natural location and its motion was directed towards it. The universe was divided into two macro-regions: the super-lunar world and the sub-lunar world. The first was made up of the ether and included the sphere of the fixed stars and the spheres occupied by the wandering stars, the Sun, and the Moon; it was eternal and was not subject to change. The motion of the objects that made up this portion of the universe was circular, as it was perfect motion, suitable for eternal objects. The sub-lunar world, however, was made up of the other four elements and the natural places were concentric spheres that went from the heaviest element (earth) to the lightest one (fire); the motion of the elements was rectilinear and tended towards the corresponding natural place. The sub-lunar world was subject to change that was determined by the movement of the elements towards their natural place and by the motion of the superlunar spheres which transferred the movement from the sphere of the fixed stars to the lower ones. Following Chen and Barker (2000), the briefly outlined structure is represented in the dynamic frame of Fig. 2. In it we observe how the superordinate concept ‘Physical Object’ has four attributes that characterize it, each of which can take on two values. There are also constraints on the values (indicated by the red arrows on the left), which indicate the close correlation between the attributes/values; so for example there is a constraint that establishes that if a Physical Object is made up of the ether, then all of its other properties are uniquely determined (the ‘location’ is ‘above Moon’, the ‘stability’ is eternal and the path that takes place in the sky – the path attribute – is circular).

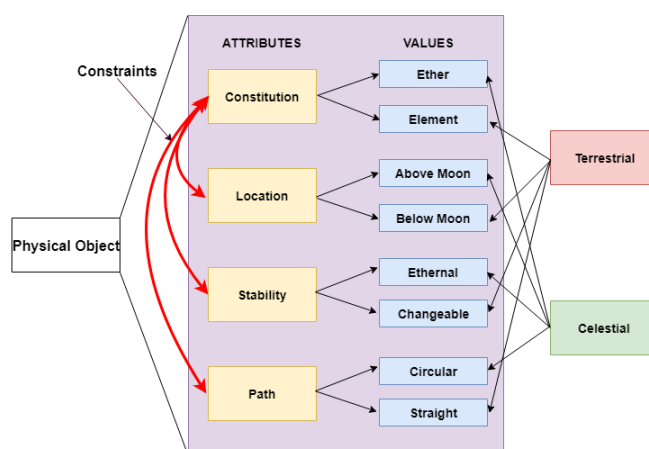


Fig. 2. Dynamic frame of the concept ‘Physical Object’

#### 3.1 Semantic Information of the ‘Physical Object’ dynamic frame

Let us now try to determine the amount of information associated with the dynamic frame of the ‘Physical Object’. We observe that the frame has four attributes and is therefore associated with four languages, each of which is made up of an individual constant (the attribute) and two predicates (the values); in this way the relationship holds  $phys\_obj = (const, loc, stab, path) \Rightarrow (L_2^{const}, L_2^{loc}, L_2^{stab}, L_2^{path})$ . If, for simplicity, we limit ourselves to considering the ‘constitution’ attribute, we can represent it with language  $L_2^{const} = (const, \{Ether, Elements\}) = (c, \{Cet, Cel\})$  formed by the constant  $c$  and the two

predicates  $\{Cet, Cel\}$ .<sup>9</sup> The language generates a logical space made up of two equally probable base-state descriptions on which a probability measure is defined which assigns a value of 0.5 to each state. If we then move on to consider the dynamic frame in its entirety, we have that the total logical space is the conjunction of the base-state-descriptions of the 4 attributes and therefore we generate 16 states.<sup>10</sup> If we do not consider the constraints, the states are equally probable and therefore we are able to define a probability measure:

$$m(w_i) = \frac{1}{16}$$

which allows us to determine the information of the entire frame:

$$inf(phys\_obj) = \sum_i m(w_i) \cdot inf(m(w_i)) = 16 \cdot \frac{1}{16} \cdot 4 = 4bit^{11}$$

If instead we consider the constraints, we must use the confirmation function to determine the probability measure. For example, based on the constraints that exist between the values of the attributes, we know that if we examine the evidence  $e = (Cet \wedge \neg Cel)c \wedge (Lam \wedge \neg Lbm)l \wedge (Set \wedge \neg Sch)s$  the hypothesis  $h = (\neg Pci \wedge Pst)p$  is not correct. In this case we have:

$$c(h, e) = \frac{m(w_2)}{m(w_1) + m(w_2)} = 0 \Rightarrow m(w_2) = 0$$

If we now consider all the constraints present in the frame, we have that the only two states with a non-zero probability measure are those that identify the two subconcepts, to each of which we associate probability 0.5. With these considerations we finally arrive at the quantity of information associated with the concept ‘Physical Object’ also considering the constraints:

$$inf(phys\_obj) = \sum_i m(w_i) \cdot inf(m(w_i)) = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 = 1bit$$

We have therefore obtained a significant result: in a dynamic frame the presence of constraints on the values assumed by the attributes decreases the amount of information necessary to define them.

### 3.2 Criticism of the ‘Physical Object’ during Copernican Revolution

The concept of ‘Physical Object’ based on Aristotelian physics was questioned during the Copernican Revolution, weakening some constraints especially thanks to some experimental observations. Of particular interest is the *constitutio*  $\Rightarrow$  *location* constraint, which was called into question by some observations of comets by Tycho Brahe, which demonstrated that some objects believed to be terrestrial were located above the position of the Moon. We will see later that Brahe’s criticism modified the concept of ‘Physical Object’ from a structural and semantic point of view (for further details see Barker & Goldstein 1988). The first theory of comets was proposed by Aristotle and claimed that they are terrestrial objects belonging to the sphere of fire; comets are transitory and not eternal objects, they change their appearance from night to night and are masses of incandescent vapours. As regards their origin, Aristotle believes that they are formed in the transition from the sphere of air to that of fire, or

<sup>9</sup> The name of the predicates is the composition of the first letter of the attribute (in uppercase) followed by the first two letters of the value assumed by the attribute (in lowercase).

<sup>10</sup> An example of base-state description is  $w_1 = (Cet \wedge \neg Cel)c \wedge (Lam \wedge \neg Lbm)l \wedge (Set \wedge \neg Sch)s \wedge (Pci \wedge \neg Pst)p$

<sup>11</sup> The information of the single state is  $inf(w_i) = -\log(m(w_i)) = 4bit$

when the sphere of fire meets the sphere of the Moon. Aristotle’s theory of comets was considered congruent throughout antiquity and much of the Middle Ages. In the late Middle Ages, one of the natural philosophers who was most interested in comets was Toscanelli who made numerous observations on them (1433-1472); initially he was interested in their shape but later he focused on their position obtaining measurements compliant with the Aristotelian theory (comets are inside the sphere of the Moon). In 1531 Regiomontanus again dealt with comets and introduced the parallax method – in particular freeing it from cosmological considerations – to study their position, again obtaining results compatible with Aristotle’s theory. Regiomontanus also introduced doubts about the constitution of comets, stating that “no irruption of air can supply, from natural causes, flaming vaporous material for the comet for a period of one year; but comets come from secret causes of nature [...]”, a consideration which in any case weakens the constraints of the Aristotelian frame. Finally, Tycho Brahe, based on the methods developed by Regiomontanus, experimentally demonstrates that the position of comets is beyond the sphere of the Moon. Following the criticisms of the concept of ‘Physical Object’ we can now build a new dynamic frame by eliminating the constraint between ‘constitution’ and ‘location’: its diagram is shown in Fig.3.

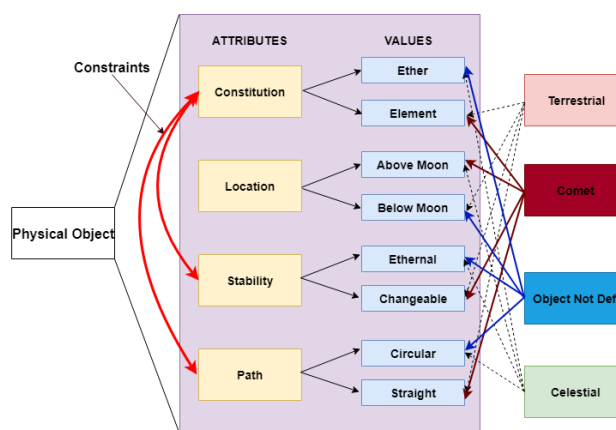


Fig. 3. Dynamic frame of the concept ‘Physical Object’ during Copernican Revolution

Notice how in the frame there is a greater number of subconcepts compared to the Aristotelian frame: for example, there is the subconcept of comet which has the particularity of being a terrestrial object whose position is beyond the sphere of the Moon.<sup>12</sup> The logical space of the dynamic frame is still made up of 16 state descriptions, but the probability measure has changed and leads to states with non-zero probability:

$$m(w_1) = m(w_{16}) = m(w_5) = m(w_{12}) = \frac{1}{4}$$

Where the state  $w_{12}$  corresponds to the subconcept ‘comet’. If we calculate the amount of information in the new frame we obtain:

$$inf(phys\_obj) = \sum_i m(w_i) \cdot inf(m(w_i)) = 4 \cdot \frac{1}{4} \cdot 2 = 2bit$$

which shows how the new dynamic frame needs a greater amount of information to be defined.

<sup>12</sup> There is also an undefined (or experimentally not identified) object, which has the characteristic of being a celestial object but whose position is below the lunar sphere.

#### 4. Conclusion

In this article we presented a formalism that allows us to associate a quantity of semantic information with a dynamic frame and observed how the elimination of constraints between values determines a greater quantity of information necessary to define the frame. We later applied this formalism to an important concept of Aristotelian physics which underwent a profound modification during the Copernican Revolution.

#### Bibliography

- Andersen, H., Barker, P. & Chen, X. (2006). *The Cognitive Structure of Scientific Revolutions*. Cambridge: University Press.
- Barker, P. & Goldstein, B.R. (1988). "The role of comets in the Copernican revolution", *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 19(3), pp. 299-319.
- Barsalou, L.W. (1992). *Frames, Concepts, and Conceptual Fields*, in Lehrer, A. & Kittay, E.F. (eds.), *Frames, fields, and contrasts*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, pp. 21-74.
- Barsalou, L.W. & Hale, C.R. (1993). *Components of Conceptual Representation: from Feature Lists to Recursive Frames*, in Van Mechelen, I. et al. (eds.), *Categories and concepts: theoretical views and inductive data analysis*. London: Academic Press, pp. 97-144.
- Bateson, G. (1973). *Steps to an Ecology of Mind*. Frogmore, St. Albans: Paladin.
- Carnap, R., Bar-Hillel, Y. (1953). "Semantic Information", *The British Journal for the Philosophy of Science*, 4(14), pp. 147-157.
- Chen, X. & Barker, P. (2000). "Continuity Through Revolutions: A Frame-Based Account of Conceptual Change During Scientific Revolutions", *Philosophy of Science*, 67(S3), pp. 208-223.
- Floridi, L. (2011). *The Philosophy of Information*. Oxford: Oxford University Press.
- Gasco, E. (2021). "Einstein's Wonder", in Bevilacqua, F. & Gambaro, I. (eds.), *Atti del XL Congresso nazionale SISFA*, Online, 8-10 settembre 2020. Pisa: Pisa University Press, pp. 125-131. doi: 10.12871/978883339517314
- Hintikka, J. (1970). "On Semantic Information", in Yourgrau, W. & Breck, A (eds.), *Physics, Logic and History*. New York: Plenum Press, pp. 147-173.
- Kornmesser, S. (2018). "Frames and Concepts in the Philosophy of Science", *European Journal for Philosophy of Science*, 8, pp. 225-251.
- Shannon, C.E. (1993). *Collected Papers*. New York: IEEE Press.
- Urbaniak, R. (2010). "Capturing dynamic conceptual frames", *Logic Journal of the IGPL*, 18(3), pp. 430-455.



# Copernicus' Contribution to the Copernican Revolution

Lucio Russo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università di Roma Tor Vergata, russo@mat.uniroma2.it

*Abstract:* Copernicus' contribution played, of course, a central role in the birth of modern heliocentric astronomy. However, it is enhanced in our shared culture, even beyond its enormous value, due to three factors. First, the oblivion of the influence - explicitly admitted by Copernicus - of ancient ideas about the Earth's motions. Second, the underestimation of other modern contributions, such as the minor one by Celio Calcagnini and the later major one by Giordano Bruno. Finally, the undervaluing of the archaic elements present in Copernicus' astronomical construction.

# A dynamical interpretation of Hipparchus' diagrams

Alessandro Amabile<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Napoli Federico II, [alessandro.amabile@unina.it](mailto:alessandro.amabile@unina.it)

*Abstract:* Eccentric-epicycle constructions are the basic machinery used by Ptolemy (II cent. CE) in the *Mathematical Syntaxis* to account for Sun, Moon, and planetary phenomena. In Ptolemy's astronomy, these kinds of diagrams represent the geocentric configurations of heavenly bodies in space, i.e. the variable *spatial relationship* between a moving body and the fixed Earth. However, there are reasons to believe that such diagrams, which Ptolemy recovers from Hipparchus' works (II cent. BC), could have been in origin *velocity diagrams*, i.e. geometrical constructions representing in an abstract *velocity space* the variable *kinematical relationship* between two points in relative motion. Strong indications in this sense come from the Greek assimilation of Babylonian astronomy, in which it was common practice to describe astronomical motions in terms of time-velocity couples, and from the highly refined art of *sphere-making*, as it is exemplified by the so-called Antikythera Mechanism (II cent. BC). Therefore, in my communication, I will propose a new interpretation of *Hipparchus' diagrams* which takes these elements into account and aims to be as close as possible to the general methodological framework of Hellenistic mathematics. My proposal highlights the possibility that around II century BC a theory of heavenly motions largely equivalent to *classical dynamics* had been developed, a conjecture first proposed by Lucio Russo in 1994.

# Copernicus and Vespucci between East and West

Harald Gropp<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universität Heidelberg, d12@ix.urz.uni-heidelberg.de

*Abstract:* In this paper, it will be discussed the work of two important scholars, Nicolaus Copernicus and Amerigo Vespucci, and their possible relation. Copernicus was born in Poland and studied in Italy, and Vespucci was born in Italy and worked in Spain and Portugal. Copernicus became a medical doctor and an astronomer and finally prepared the way toward a heliocentric world system. Vespucci became an explorer of big parts of the American East coast. America was named after Amerigo Vespucci. In the last years of his life, he started to organize the systematic Castilian explorations. In comparison to Columbus, he was not an admiral or a military expedition leader but a “private man” who had enough money to organize his activities. This is somehow the general picture and the starting point of my presentation which will be a discussion of how far these two scholars and their work are related to each other and to other scholars of the time in Italy and other European countries. Copernicus represents the East of Europe in connection to Italy whereas Vespucci connects Italy to the Iberian Peninsula and further to the shores of America. Copernicus who came to Italy as a student of medicine became the astronomer who made the earth move and the sun stand still. Vespucci as the son of a banker became the inventor of a “Novus Mundus” and the first who really could study the southern sky.



1623-2023: *THE ASSAYER*  
AND THE BIRTH OF MODERN SCIENCE



# What Means that the Book of Nature is Written in Mathematical Characters?

Paolo Bussotti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> DIUM, Università di Udine, paolo.bussotti@uniud.it

*Abstract.* In his work *Il Saggiatore*, Galileo claimed that the book of nature is written in mathematical characters. What does this statement exactly mean? It is possible to offer different answers: 1) one could think that Galileo had a strong Platonic view. This means that a mathematical world separated from the phenomenal one exists and that the physical laws are an empirical transcription of the relations existing in this world; 2) a weak Platonic interpretation is also possible: mathematics does not exist in a separated world. It is the nomological structure of our universe. It is inherent to the universe itself; 3) an operational interpretation could be considered: mathematics is the best method to measure the objects and to formulate relations among them. It is an unavoidable means for any physical research, but we cannot assume a definitive position as to the relations between mathematics and structure of the world. Simply, mathematics is the best available instrument. I will try to clarify the relation Galileo saw between mathematics and physics in the light of classical works as those by Koyré, Geymonat and Cassirer.

*Keywords.* Relation mathematics-physics, Galileo, Platonism, operationalism, *The Assayer*, Koyré, Geymonat, Cassirer.

## 1. Introduction

In his work *Il Saggiatore (The Assayer)*, Galileo claimed the celebrate sentence that the book of nature is written in mathematical characters. What does this statement exactly mean? A huge amount of literature exists on such a question and, more generally, on the role of mathematics in Galileo's physics and on his conception of the mathematical objects. In order to provide the reader with a panoramic view of this topic and to develop some considerations, which is the purpose of this paper, it is possible to offer three different answers:

- 1) Galileo had a strong Platonic view. This means that a mathematical world separated from the phenomenal one exists and that the physical laws are an empirical transcription of the relations existing in this world.
- 2) A weak Platonic interpretation is also possible: mathematics does not exist in a separate world. It is the nomological structure of our universe. It is inherent to the universe itself.
- 3) An operational interpretation could be considered: mathematics is the best method to measure the objects and to formulate relations among them. It is an unavoidable means for any physical research, but we cannot assume a definitive position as to the relations between mathematics and structure of the world. Simply, mathematics is the best available instrument.

In the course of this paper, I will offer my interpretation concerning the most appropriate choice among the three previous ones as to Galileo.

## 2. Mathematics and *The Assayer*

One session of the SISFA Congress 2023 has been devoted to *The Assayer*. Although this text is less mathematical than other Galilean works, several considerations on the use of mathematics in physics are proposed so that it plays a significant role for our issue.

With regard to the nature of mathematics and to the relation mathematics-physics, at the beginning of *The Assayer*, we read:<sup>1</sup>

1) My Lord, the Most Serene Grand Duke Cosimo the Second, of glorious memory, commanded me to write my opinion on the reasons why things float or sink in water; and in order to comply with this commandment, in addition to the teaching of Archimedes, which is as true as anything that could be said on this subject, all the presses were immediately full of invective against my speech; Neither having any regard for the fact that what I produced was confirmed and concluded with geometrical demonstrations did they contradict my opinion, nor did they realise (so strong was their passion) that to contradict Geometry is to deny the truth outright.<sup>2</sup>

In the *Examen Primum*, while speaking of the possible use of parallax in the theory of comets, Galileo pronounces the sentence:

2) Philosophy is written in this great book that is constantly open before our eyes (I say the universe), but it cannot be understood without first learning to understand the language and to know the characters in which it is written. It is written in mathematical language, and the characters are triangles, circles, and other geometrical figures, without which it is impossible to humanly understand the word; without these it is a vain wandering in a dark labyrinth.<sup>3</sup>

In the same context, he writes:

3) So that, to say what I want to infer, in dealing with the science that can be attained by men through demonstration and human discourse, I hold that the more perfect it is, the fewer conclusions it will allow to be taught, the fewer it will demonstrate, and consequently the less it will entice, and the fewer its followers will be: but, on the contrary, the magnificence of the titles, the grandeur and numerosity of the promises, attracting the natural curiosity of men and keeping them perpetually entangled in fallacies and chimeras, without ever giving them a taste of the sharpness of a single demonstration [...].<sup>4</sup>

<sup>1</sup> I give a number to the following quotations because, when I will recall them, a series number is useful for the reader's orientation.

<sup>2</sup> "Imposemi il Serenissimo Gran Duca Cosimo Secondo, di gloriosa memoria, mio Signore, ch'io scrivessi il mio parere della cagioni del galleggiare o affondarsi le cose nell'acqua; e per sodisfar a così fatto comandamento quanto m'era sovvenuto oltre alla dottrina d'Archimede, che per avventura è quanto di vero in effetto circa siffatta materia poteva dirsi, eccoti subito piene tutte le stamperie d'invettive contro il mio *Discorso*; né avendo punto riguardo che quanto da me fu prodotto fusse confermato e conchiuso con geometriche dimostrazioni contradissero al mio parere, né s'avvidero (tanto ebbe forza la passione) che'l contradire alla Geometria è un negare scopertamente la verità" (Galilei EN, VI, pp. 213-214).

<sup>3</sup> "La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto dinanzi agli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscer i caratteri, ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente in un oscuro laberinto" (Galilei EN, VI, p. 232. p. 147).

<sup>4</sup> "Sì che, per dir quel ch'io voglio inferire, trattando della scienza che per via di dimostrazione e di discorso umano si può da gli uomini conseguire, io tengo per fermo che quanto più essa parteciperà di perfezione, tanto minor numero di conclusioni permetterà d'insegnare, tanto minor numero ne dimostrerà, ed in conseguenza tanto meno alletterà, e tanto minore sarà il numero dei suoi seguaci: ma, per l'opposito la magnificenza de' titoli, la grandezza e numerosità delle promesse, attraendo la natural curiosità degli uomini e tenendoli perpetuamente ravvolti in fallacie e chimere, senza mai dar loro gustar l'acutezza d'una sola dimostrazione [...]" (Galilei EN, VI, p. 237).



At the beginning of the *Examen Secundum*, Sarsi (Grassi) claims that Galileo considers the comet to be produced by vapours rising from the earth and illuminated by the Sun's rays. Actually, Guiducci (Galileo) only claimed that this phenomenon is possible and that it could generate the comet, not that the comet is certainly produced in this way. In this context Galileo writes:

4) Let this be said, not in order to retreat, for fear of being challenged by Sarsi, but only so that it may be seen that we do not deviate from our custom, which is not to affirm as certain except those things that we know indubitably, which is how our philosophy and mathematics teach us.<sup>5</sup>

Sarsi claims that, if the comet would be an effect of the solar rays, its movement should show any connection with that of the Sun. This is not the case. Thence, the Sun has no relation with the comet. Galileo accuses Sarsi to have used geometry incorrectly and writes:

5) But to reduce oneself to geometrical demonstrations is too dangerous a challenge for those who do not know how to handle them well; for just as there is no middle ground between the true and the false *ex parte rei*, so in the necessary demonstrations one either indubitably concludes or inexcusably paralogizes, without leaving room for limitations, distinctions, misinterpretation of words or other twists and turns to support oneself more, but it is necessary to keep things brief and to remain either Caesar or nothing at the first assault. This geometrical narrowness will make it possible for me, with brevity and with less tedium for Your Illustriousness, to detangle myself from the following proofs.<sup>6</sup>

The next reference to the necessity of using a demonstrative method in science concerns the form of the comet's tail: Sarsi, sharing Kepler's opinion, thinks the tail to be curved, whereas Galileo claims that it is straight, but appears curved. In the attempt to prove his thesis, he writes:

6) Very different is therefore the reason produced and rejected by Kepler; who, as a person always known to me to be no less free and sincere than intelligent and learned, I am sure that he would confess that our saying is entirely different from his own and that, just as his deserved rejection, this deserves assent, because it is true and demonstrative, even if Sarsi contrives to reject it.<sup>7</sup>

While discussing the form of the celestial bodies and of the skies, Galileo ascribes no perfection or imperfection to the geometrical figures. Such attributes are used improperly when referred to mathematical objects. This marks a great difference with the tradition and with Kepler himself.

7) And before I proceed any further, I would like to reply to Sarsi that it is not I who wants the heavens, as a most noble body, to have a most noble figure, such as the perfect sphere, but Aristotle himself, against whom Mr. Mario *ad hominem* argues. And I, for my part, never having read the chronicles and particular nobilities, do not know which of them are more or less noble, more or less

<sup>5</sup> “E questo sia detto non per ritirarci, per paura che ci facciano l'oppugnazioni del Sarsi, ma solo perché si vegga che noi non ci allontaniamo dal nostro costume, ch'è di non affermar per certe se non le cose che noi sappiamo indubitatamente, ch'è così c'insegna la nostra filosofia e le nostre matematiche” (Galilei EV, VI, pp. 278-279, p. 240).

<sup>6</sup> “[...] ma quel ridursi alle geometriche dimostrazioni è troppo pericoloso cimento per chi non le sa ben maneggiare; imperocchè, sì come *ex parte rei* non si dà mezo tra il vero e 'l falso, così nelle dimostrazioni necessarie o indubitabilmente si conclude o inescusabilmente si paralogizza, senza lasciarsi campo di poter con limitazioni, con distinzioni, con istorcimenti di parole o con altre girandole sostenersi più in piede, ma è forza in brevi parole ed al primo assalto restare o Cesare o niente. Questa geometrica strettezza farà ch'io con brevità e con minor tedio di V. S. illustrissima mi potrò dalle seguenti prove distrigare” (Galilei EN, VI, p. 296, p. 274).

<sup>7</sup> “Differentissima è dunque la ragione prodotta e rifiutata poi dal Keplero; il quale, come persona conosciuta da me sempre per non men libera e sincera che intelligente e dotta, sono sicuro ch'ei confesserebbe, il nostro detto esser in tutto diverso dal suo e che, come il suo meritò rifiuto, questo merita l'assenso, perch'è vero e dimostrativo, ben che il Sarsi s'ingegni di rifiutarlo” (Galilei EN, VI, p. 313, p. 309).

perfect; but I believe that they are all ancient and noble in one way, or, to put it better, that as far as they are concerned they are neither noble nor perfect, nor ignoble and imperfect, except insofar as for walling I believe the square ones are more perfect than the spherical ones, but for rolling and driving chariots I consider the round ones more perfect than the triangular ones.<sup>8</sup>

The previous quotations clarify what roles Galileo attributes to mathematics in *The Assayer*: First of all, mathematics is a criterion of truth and certainty. When it is possible to reduce physics to mathematics, no mistake can occur. Quotation 1): “[...] what I produced was confirmed and concluded with geometrical demonstrations [...] to contradict Geometry is to deny the truth”. Quotation 3): while dealing with science, it is necessary to resort to “demonstration and human discourse”, otherwise we are “entangled in fallacies and chimeras”. Quotation 4): it is necessary to consider certain only “[...] those things that we know indubitably, which is how our philosophy and mathematics teach us”. Quotation 6): it is necessary to accept what proved mathematically “[...] because it is true and demonstrative”.

All the previous statements leave no doubt: first of all, Galileo regards mathematics as an essential instrument in science: as soon as we can measure and are able to use geometry, we are allowed to consider our conclusions to be certain and unquestionable. Mathematics is necessary because the measure-operations and the reasoning through which new science develops its research on physical phenomena need precise, quantified characterizations.

This has nothing to do either with the existence of a mathematical world separate from the phenomenal one, or with a mathematical structure inherent to reality. No a priori conception influenced Galileo. Rather, the fundamental element, which makes mathematics unavoidable for physics is the rigour of the results obtained by scientists such as Archimedes who used mathematics in contrast with the uncertainty and ambiguity of the results achieved by means of mere qualitative statements.

Galileo explicitly claimed (quotation 7): 1) mathematics has nothing to do with subjective attributes such as perfection and imperfection; 2) a form  $F$  is not perfect in itself, but only in relation to the utilization we have to do of an object having the form  $F$ . This strictly connects mathematics with its practical use. In some circumstances, for example to construct an edifice, a cubic form is more perfect than a spherical one (let us think of the bricks). In other circumstances, the opposite is true. Therefore, according to Galileo, mathematics enters science and technique from below and not from above. This is the fundamental aspect for grasping the conception he held of this discipline and for understanding the relationship between mathematics and science in Galileo. Therefore, the question of the ontological status of mathematical objects is a secondary question because it has a negligible influence on Galileo's science.

Nonetheless, although with this crucial limitation, such a question makes sense. Thence, one can wonder whether Galileo believed in the existence of a mathematical world separated from the phenomenal one or if he believed mathematical laws to be inherent in nature, though denying a mathematical hyperuranium. The former is a strong form of Platonism; the latter a weak one.

In this regard, the assertion in *The Assayer* that the world is written in mathematical characters has been interpreted as a clear indication of Galileo's Platonism, at least in its weak form. However, this could be an overreading because what Galileo states is that nature can be deciphered only if we know the language of mathematics. How mathematics can be applied to nature is a question that cannot be solved a priori. Experiments and observations are necessary.

---

<sup>8</sup> “E prima che più avanti io proceda, torno a replicare al Sarsi, che non son io che voglia che il cielo, come corpo nobilissimo, abbia ancora figura nobilissima, qual'è la sferica perfetta, ma l'istesso Aristotile, contro al quale si argomenta dal Sig. Mario *ad hominem*; ed io, quanto a me, non avendo mai lette le croniche e le nobiltà particolari, non so quali di esse sieno più o men nobili, più o men perfette; ma credo che tutte sieno antiche e nobili a un modo, o, per dir meglio, che quanto a loro non sieno né nobili né perfette, né ignobili ed imperfette, se non in quanto per murare credo le quadre sieno più perfette che le sferiche, ma per ruzzolare e condurre i carri stimo più perfette le tonde che le triangolari” (Galilei EN, VI, p. 319, p. 325).

### 3. A hint on the literature concerning Galileo's conception of mathematics

Many authors dealt with the problems of understanding the role ascribed by Galileo to mathematics within physics and his conception of mathematical objects. In this paper, it is impossible to enter many details and nuances of such a complicated topic, but it is possible and useful to recall the most important interpretations, although in their general terms.

Alexandre Koyré is the most important interpreter who considers Galileo as a Platonist. In his *Études Galiléennes* we read: "In front of abstractive empiricism, Galileo vindicates the superior right of Platonic mathematism" (Koyré 1966, p. 78). In his essay "Galileo and Plato" (Koyré 1943), the author regards the mentioned passage of *The Assayer* on the book of nature written in mathematical characters as a proof of his thesis. He also analyses some passages of the *Dialogo's* Third Day, where Galilei clarifies that a mathematical argumentation must be preferred to any other kind of other reasoning. Koyré stresses that experiments were secondary in Galileo's science: the mathematical aspect was preponderant. Galileo was always intent on investigating the ultimate structure of Being rather than on solving single physical problems. Without entering the complex question of Galileo's experimentalism and its link with mathematization,<sup>9</sup> it is sure that Galileo used mathematics exactly to solve single problems - a long series of single problems -, and not to investigate on the ultimate foundation of Being. In this respect, he is like a modern physicist: mathematics is used because it is the most precise language usable in physics, independently of the concept one can hold as to the nature of mathematical objects and as to the relations physics-mathematics. The structure of his major works such as the *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems*, the *Dialogues Concerning Two New Sciences* and *The Assayer* itself, leaves no doubt about this topic. Koyré recognizes that Galileo did not believe in the existence of an ideal mathematical world separate from the physical one. Thus, he was simply not a Platonist, or, if one prefers, he was a weak Platonist. But this is only a terminological question. Instead, it is important that the use of mathematics in Galileo – which is the fundamental aspect – is not related either to his conception of mathematical objects or to the links he believed to exist between mathematics and physics. This means that Galileo understood mathematics to be a necessary instrument in physics and that every physicist has to use such an instrument, independently of his philosophical views on mathematical entities and on the relations physics-mathematics. Be the mathematical laws inherent to the universe or be they only an approximation of reality, they cannot be avoided in physics. We told that this way to introduce mathematics within physics is "from below". In contrast to this, Koyré believes that Galileo's philosophical convictions played a significant role. Namely, according to this scholar, Galileo introduced mathematics in physics "from above".

Ludovico Geymonat has a different opinion from Koyré's: for Galileo mathematics does not represent either a reality in itself or an investigative instrument superior to experience, but an unavoidable means to interpret experience itself. Galileo, through a synthesis of experience and mathematics, invented the modern scientific method based on; (1) the rejection of hypotheses which cannot be verified; (2) the verification and confirmation of a theory by successive steps (Geymonat 1981, pp. 119-ff). Although Geymonat's interpretation of how Galileo considered and used mathematics is more consonant to the one I propose, he reads Galileo as a too systematic and methodic thinker. This is not the case. In this respect, Feyerabend's view is sharable. Let us refer, e.g., to Galileo's use of the telescope. For his astronomical observations he resorted to an instrument, the telescope, whose optical theory was not yet known. Through this instrument he tried to validate the truth of an astronomical system (the Copernican one) that was not supported by sufficient observations (in particular, because of the lack of any detectable stellar parallax). This is certainly not the way of proceeding of a systematic thinker and experimenter (Feyerabend 1975, chapters 8-10). Galileo himself is clear on this aspect because in his *Capitolo contro il portar la toga* (*Against the Donning of the Gown*, written around 1590.

<sup>9</sup> On this aspect, see, e.g., Bussotti-Lotti 2022, pp. 102-106. We also offer abundant references to the literature.

See: Galilei 2009) he claimed that no a priori method exists in scientific research: if the usual procedures are useless for solving a problem, the scientist has to work with art and invention, since thousands of other ways can be exploited to reach the truth (see Bussotti-Lotti 2022, p. 108).

Ernst Cassirer expressed a position which is different from both the previous two and which catches several important aspects of our question: Galileo is a Platonist in a weak meaning of this term. He developed a new conception of truth: a profound interconnection exists between mathematics and nature. Mathematics represents, so to say, the immanent essence of the world. However, the idea of the mathematical character of physical truth is, in Galileo, a subjective preconception. It is not connected to any philosophical school (Cassirer 1922, pp. 383-ff). Most aspects of Cassirer's ideas can be shared. The weak element of his thesis is the difficulty to prove if Galileo's statement that mathematics is inherent to nature was a subjective preconception or a belief developed during his studies when Galileo understood that, without quantifying the magnitudes, a satisfying solution to the problems of physics was impossible. This latter option seems preferable.

#### 4. Conclusion

Let us now summarize the ideas here proposed:

- 1) According to Galileo, mathematics is indispensable to physics as it is the only instrument to measure exactly any magnitude. Therefore, the first and essential use of mathematics is the operative one.
- 2) No mathematical hyperuranium exists, but physical laws mathematically expressed do exist in nature. He was a "weak Platonist". In any case, Galileo's achievements, obtained by means of the use of mathematics in his physical investigations, do not depend on a philosophical view about the nature of mathematical objects or about the relationship between mathematics and physics.
- 3) He did not believe either in anything like "mathematical archetypes inscribed in the universe" à la Kepler, or in a transcendent world of mathematical entities separate from physical reality and its functioning laws. He was not, therefore, a Platonist in the classical sense of the term.
- 4) He had a clear idea of the importance of experiments for physical investigation. Nonetheless, he did not adopt a scientific method in which experiments, and mathematics are coordinated in a precise and systematic a priori way.

#### Bibliography

- Bussotti, P. & Lotti, B. (2022). *Cosmology in the Early Modern Age: A Web of Ideas*. Cham: Springer.
- Cassirer, E. (1922). *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*, vol. I. Berlin: B. Cassirer.
- Feyerabend, P.K. (1975). *Against method: Outline of an anarchistic theory of knowledge*. London: Verso.
- Galilei, G. EN (1890–1909). *Edizione Nazionale delle Opere* (20 vols). Edited by A. Favaro. Abbreviated as EN. Firenze: Barbèra.
- Galilei, G. (2009). *Capitolo Contro il portar la toga. Against the Donning of the Gown*. Italian text plus English translation by Bignami, G. Edited by Tongiorgi Tomasi, L. With essays by Bignami, G., Finucci, V., Rippa Bonati, M., Tognoni, F., Tongiorgi Tomasi, L., Vergara Caffarelli, R. Pisa: ETS.
- Geymonat, L. (1981). *Galileo Galilei*. (First edition 1957). Einaudi: Torino.
- Koyré, A. (1943). "Galileo and Plato", *Journal of the History of Ideas*, 4(4), pp. 400-428.
- Koyré, A. (1966). *Études galiléennes*. (First edition 1939). Hermann: Paris.

# Galileo's "Optical Theory" of Comets and Transients

Matteo Cosci<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ca' Foscari University Venice, [matteo.cosci@unive.it](mailto:matteo.cosci@unive.it)

*Abstract:* In the light of a new set of sources, the "optical theory" of cometary transients advanced in *The Assayer* is presented against the background of coherent observations made earlier by Galileo and from the perspective of their subsequent development.

*Keywords:* Galileo Galilei, *Novae*, Comets, Neo-stoicism, Condensed vapours, Earthly exhalations, *Vapori crepuscolini*, Atmospheric refraction, Witelo, Jean Pena, Egnazio Danti, Optical theory, Telescope.

## From an Optical Theory of *Novae* to a General Optical Theory of Transients

The topic of this brief contribution is the so-called "optical theory" of comets as received and developed by Galileo Galilei (1564-1642). I have adopted the label "optical theory of comets" from a seminal article by Professor Peter Barker, who has been analyzing the resurgence of Stoic theories about natural phenomena, including comets, between the sixteenth century and early seventeenth centuries (Barker 1994). I would like to integrate this line of research and approach the matter in a rather roundabout way, by showing the bigger picture that set the ground for the acceptance and development of the cometary theory by Galileo as part of a more general system of scientific explanation. Here, in particular, I focus on certain passages concerning Galileo's conjectures about the qualitative nature of the phenomena under analysis, while leaving in the background broader issues related to cosmology and planetary astronomy.

Following the chronological order, we shall start with an analysis of the surviving fragments of the lectures about the *stella nova* that Galileo gave in Padua. As known, in October 1604 what we have identified as the explosion of a dying star in the sky was witnessed with deep concern in lands and cities across the entire Northern hemisphere as an inexplicable and worrying event. In Padua as elsewhere, the leading mathematics lecturer was invited to publicly express his view. The observed decrease in luminosity suggested to Galileo that the nova might have had an upward receding motion. From its progressive uniform fading he deduced that its estimated motion was constant, while from the lack of any detectable angular parallax he deduced that the motion occurred in a straight line. The nova was therefore assumed to be in uniform rectilinear upward motion at constant velocity, far above the elementary region of the air. In Galileo's notes, we find a couple of undated plates on the nova. By the first plate, it is possible to see how Galileo originally intended to set his observation of the nova within a Copernican heliocentric framework. By the second plate, we learn how he intended to use the parallactic shifts that he expected for an observational confirmation of Earth's revolution around the Sun. Working on insights that he could read in Tycho's *Progymnasmata* and supposing that the nova moved steadily on along a line, as said, Galileo thought that the expected changing annual parallax could have falsified the geostatic hypothesis and confirmed the Copernican one (Cosci 2018).

In his teaching notes, after a rhetorical introduction, in which the planetary conjunction accompanying the bright phenomenon was mentioned, Galileo also reported to his audience an observation that he had made some time before. The memory that Galileo shared was about a phenomenon that he had witnessed while in Venice and that to his understanding could contribute to explaining the nature of the nova by analogy. He called it "aurora borealis", even if what he actually

meant was probably what Aristotle in his *Meteorology* had called “chasm” (χάσμα), i.e. a sort of diffused, nighttime light in the air also known as lower latitude Northern lights. He also offered his explanation of what was going on during the aurora:

it very often happens that vapors rise above the earth, and that in ascending, they reflect the light of the Sun, as when sometimes in the middle of the night the sky is in fact so greatly illuminated that it sheds more light on earth than does twilight. I have often observed this myself and always such a light appears towards the North. And the reason is obvious: it is because those vapors from the south that are trapped within the dark cone of the earth’s shadow either on the east or the west can, however, be seen above us to the north, such that they permit more diligent consideration. [...] very often vapors of this kind appear golden or reddish in colour (OG, II, p. 281. Tr. by E. Reeves).

For Galileo the nova was neither a star in the strict sense (“verum sidus”), nor a burning gas dwelling in the lower reaches of the elementary region of the air (“vapor ardens prope terram quaerentes”), as many of his colleagues believed. Galileo rather advanced the view that the *stella nova* might be illuminated exhalations (“esalazione illuminata”), whose matter was not a “solidissima substantia” (a solid object), but possessed the impalpability of the thinnest condensation (“levissima condensatio”) of smokes rising upwards because of the heat of the sun. The claim implicitly seemed to refer to the Aristotelian theory of exhalations (Cosci 2019) and to the Stoic doctrine of aerial condensations (Granada 1997a), while not being fully consistent with either of the two. A single ray of sun would have been sufficient to make that volatility shine, as happens – Galileo added – with clouds at the top of mountains, or even with more or less lucid or opaque objects, such as the stars and the moon respectively. After all, on earth objects made of different materials reflect light in different ways, he noted, so that it seemed reasonable to think that the same variety of reflections could also happen in the heavens. In this sense, condensed exhalations appeared to be a kind of rarefied, contingently aggregated substance that could cause light to bounce back in a bright and shining way, just like the phenomenon under observation (OG, II, pp. 282-283). Only fragmentary evidence of Galileo’s Paduan lectures on the topic is extant, but this is sufficient to reconstruct the theory. Besides, other documents confirm Galileo’s early views about the nature of nova. Both report on the lectures by Antonio Alberti and a pseudonymous *tacuinio* or meteorological pamphlet that was published in Padua and bears strong resemblances to Galileo’s teachings explain the nova as a cloudy, non-burning (i.e. reflected) exhalation. Even Pavan’s witty *Dialogo de Cecco da Ronchitti da Bruzene in perpuosito della stella nova*, which was most probably drafted by Galileo, has a line about this point: “Might it not be that the nova was generated in the air and then moved progressively upward?” (OG, II, p. 316). Peculiar as this theory may seem, even the Paduan Giovanni Antonio Magini, professor of mathematics in Bologna, maintained at that time that the nova was “ex vaporum materiam conflata”. The location of that condensation had to be superlunary, as this had been confirmed by parallactic measurements. According to Galileo, it was not implausible for condensation to occur in that higher region, by analogy to the aura or candour visible around the Moon. Therefore, Galileo first and foremost adopted what was known as the “optical theory” of comets as an explanatory conjecture for making sense of the visible nature the nova of 1604.

In the *Sidereus Nuncius*, Galileo also refers to the theory of vapours and exhalations at least in a couple of passages. First, when discussing so-called ashen light, or the secondary light of the Moon, he advances the idea of a sort of elementary region surrounding the Moon with a soft luminous effect. This description echoes the one given for the same phenomenon in the context of the analysis of the nova. The Moon’s secondary light (“secunda claritas”), Galileo says, “comes about because of the proximity of the solar rays falling upon some denser region which surrounds the Moon on all sides (“crassiozem quandam regionem, quae Lunam orbiculariter ambit”). Because of this contact a certain dawn light (“aurora”) is spread over nearby areas of the Moon, just as on Earth twilight is spread in the morning and evening (“crepusculinum spargitur lumen”)” (OG, III, p. 73). The observation is reiterated in the

very conclusion of the sidereal notice and extended to Jupiter too: “It is well known that because of the interposition of terrestrial vapours the Sun and the Moon appear larger [...] not only the Earth but also the Moon has its surrounding vaporous orb (“suum habere vaporosum orbem circumfusum”). And we can accordingly make the same judgement about the remaining planets, so that [for one] it does not appear inconceivable to put around Jupiter an orb denser than the rest of the ether (“densiorem reliquo aethere [...] orbem”) (OG, III, pp. 95-96). In all likelihood, Galileo consulted on this point his friend Paolo Sarpi, who in his private *Natural, Metaphysical, Mathematical Thoughts* had studied the “vapori crepuscolini” in relation to Cusano’s contribution, too. It should be stressed however that Galileo’s understanding of the dynamics of vapours within the twilight was based on the two medieval authorities on the topic, namely Pseudo-Alhazen’s *De Crepusculis et Nubium Asensionibus* and the tenth book of *De Perspectiva* by Witelo, or Vitellione (nicknamed *vedéo*, or “calf”, by Cecco). They were published together in the elegant Nuremberg print by Friedrich Risner and marketed as the *Opticae Thesaurus*, whose first edition Galileo owned in his personal library. In there he could read extensive geometrical discussions, among the other remarks, about how refraction of light changes through a more or less dense medium such as the condensation of air rising from the ground at sunrise or at sunset. The treatise on refraction by Witelo was the object of a much renowned commentary by Kepler, the *Astronomiae Pars Optica*, namely another book that Galileo possessed and consulted since the time of his studies on the nova. There Kepler condemned the belief according to which the body of a comet is something solid as an “enormous monstrosity”. Instead, the Imperial mathematician concluded that the body of a comet consists of a certain moist and pellucid substance denser than air. By “pellucid” (*pellucidum*) Kepler meant a transparency that becomes visible when shone through by some rays of light. One may reasonably argue that “pellucid” was exactly the adjective that Galileo was looking for in these regards.

Continuing our survey, in the *History and Demonstration Concerning Sunspots* (to not forget ... *and Their Accidents*), the mutability of sunspots is compared to the variability of our clouds. In Galileo’s terminology, sunspots are the clouds of the sun or, better put, what are clouds for the Earth are sunspots for the sun, namely exhalations from its incandescent surface. The fact that they appear dark to us is probably because these exhalations are illuminated from the back and their semi-magmatic density does not allow any light to pass. As Galileo wrote: “the spots appear and disappear around the Sun in a manner not dissimilar to that of clouds or other smoke-laden vapours around the Earth” (OG, V, p. 236). In an interesting subsequent passage, Galileo hints at the principle behind the cloud-analogy as a sort of extension to far-reaching astronomy of the more verifiable meteorological knowledge: “we mustn’t despair of understanding certain properties in the most remote bodies any more than in the closest ones” (OG, V, p. 183). Illuminated vapours and exhalations may offer an explanation of phenomena that are not immediately graspable through our senses or instruments.

In their *Discourse on comets* Galileo and Guiducci developed some ideas taken from Santucci’s astronomical *Trattato nuovo delle comete*, published eight years earlier, and shared his method of taking Aristotelian assumptions seriously and using them to find contradictions in Aristotelian doctrine itself. Their rejection of the theory of ignition and combustion of comets did not imply a rejection of the theory of exhalation, which was also assumed at the basis of their optical theory of comets. Indeed, they maintained that comets appeared whenever there was the right amount of condensed matter beyond the air and some solar rays hitting that condensation at the right angle. In short, to them comets were like clouds transversely illuminated by the sun. Likewise, in *The Assayer* Galileo wrote about the nova of 1604: “it is not impossible that sometimes there may be raised from earth exhalations and other such things so much subtler than usual that they would ascend even to the moon, and might be material for the formation of a comet; and that sometimes there occur unusual sublimations of the twilight material, as exemplified by the aurora borealis [...] Likewise, straighty motion upward is attributed to the same material” (Drake-O’Malley, 1960, p. 233). The proposal was advanced neither as a mere rhetorical strategy to contradict Grassi, nor as an *ad hoc* hypothesis, but as a genuine and legitimate scientific

conjecture, which was more plausible than than the Aristotelian or Tyconic alternatives according to its proponents (cf. Beltrán Marí 2016, pp. cxii-cxviii). The almost imperceptible “matter that constitutes a comet is thinner and more rarefied than fog or smoke”, Galileo specified (OG, V, p. 183). Consequently, he hypothesized that the thinning out of the illuminated vapours would cause the disappearance of what *we see as* a comet. According to him, the fading away of a comet is the same process that takes place when a rainbow disappears as soon as the clouds vanish. Galileo and Guiducci linked their theory to that of the ancient Pythagoreans, Hippocrates of Chios and Aeschylus, but as Grassi remarked in his *Libra*, those ancient Pythagoreans actually maintained that only the tail of the comet was the result of solar reflection, not the whole comet as Galileo and Guiducci claimed. In actual fact, that was rather the theory of a Peripatetic, namely Strato of Lampsacus, but Galileo probably had good reason to associate his theory with some Pythagoreans who were implicitly regarded as Proto-Copernicans. Grassi also claimed that Galileo’s optical theory was merely a reworking of the optical theory of unhorthodox thinkers such as Cardano and Telesio. Galileo denied this dependence, and we can believe him, because on closer inspection their theories differ in many details (Granada 1997b). As we shall see, other sources of influence can be proposed in their place.

I would venture to argue that in the *Discourse on Comets* and *The Assayer* Galileo tried to broaden the “optical theory” of comets into a sort of “general optical theory” of transitory phenomena. Starting from his conclusions on the nova, and having made use of them in his *History and Demonstration Concerning Sunspots*, he then intended to develop a consistent and unified explanation for different phenomena such as iridescences, halos, mock suns, sunspots, comets, and even “chasms” (χάσματα), i.e. a kind of aurorae borealis. Again, the physical constitution of all these phenomena, or optical reflections (which is what Galileo maintained they were), was essentially thought to be a solar-illuminated mass of exhalations rising from the Earth to the far recesses of the cosmos. Essentially, Galileo classified all those meta-meteorological transients under the Aristotelian category of φάσματα (*phasmata*) or illuminated appearances.

In this regard, I wish to emphasize and endorse the insight by Massimo Bucciantini according to which “Galileo’s studies on *novae*, like his writings on sunspots and comets, should be read as a chapter from the same book and as part of the same project. [...] The studies on *novae*, those about sunspots and what feeds them, and those on the matter of comets are intended to demonstrate the unity and homogeneity of the natural world, a necessary condition for the scientific foundation of Copernican cosmology” (Bucciantini 2000, pp. 270-271; my transl.). The interpreter asked himself what may have been the source of Galileo’s “optical theory of comets”. A good candidate might have been Christoph Rothman’s *Discourse on the Comet of 1585*, where one finds strong similarities with Galileo’s theory. However, this is not an exact match: the corporeal, or globular, nature of Rothman’s comets and their potentially divine origin are not consistent with Galileo’s view (OG, V, p. 272). I am rather persuaded that the actual source behind the Galilean optical theory of comets was another supporter of the neo-Stoic, or quasi-Stoic, view of the world, namely the French mathematician Jean Pena. This can be argued as follows.

In 1604, when the nova appeared, Galileo was teaching the course on geometrical planetary astronomy in Padua. As we know from the preserved *rotuli*, or syllabi for that year, his assigned textbooks were Sacrobosco’s *Sphere* and Euclides’ *Optics*. The standard Latin translation of the latter was the one by Ioannes Pena (Jean de La Pène), who also wrote the introduction entitled *De usu Optices*, originally in 1557. In that preface Pena observed, following Peter Apian and some of his contemporaries, that the tail of the comet always pointed in the opposite direction of the Sun. He concluded that the antisolarity of the cometary tails was a sign that they may have been just passing glares or optical illusions. Tails refracted in such a manner required cometary heads made of transparent substance denser than air, he maintain, that could not be fire, which was incapable of refracting sunlight. In all probability, then, that preface was indeed the source that inspired Galileo’s understanding of cometary phenomena.



The text by Pena and Euclide's *Optics* were available to Galileo (also in Egnazio Danti's vernacularization) in the early years of his Paduan lectureship, so they could have had an impact on all his subsequent studies on transients.

References to the theory of condensation and rarefaction of the air did not end with *The Assayer*, as has sometimes been stated. In the second day and the fourth, the *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems* repeats an argument that Galileo had originally advanced in the *Discourse on the Tidal Flux and Reflux of the Sea*, which in turn was taken straight from Copernicus's *De Revolutionibus* (book I, chap. 8): "The air, at least that part of it which is lower than the highest mountains, must be swept and carried along by the unevenness of the Earth's surface [...] because it is a mixture of many vapours and exhalations coming from the Earth". According to both Copernicus and Galileo, this reason explains why we are unaware of the motion of our globe while we are on the ground and why we can perceive strong wind while far out at sea. Most significantly for our purposes, this argument confirms the presence of constant evaporation and exhalations arising from the earth: "those parts of the air that are close to the Earth's surface or do not extend far above the top of the highest mountains [...] are carried along by the roughness of the Earth's surface. This part of the air ought to be all the less resistant to following the Earth's rotation because it is full of *vapours, fumes and exhalations, all of which partake of the qualities of earth*, and so naturally follow the same motions" (OG, VII, p. 465). Copernicus (who had "aer terrea aqueave materia permixtus") seems to be quoted word by word by Galileo with regard to this point. Transitory natural phenomena seem to be made of this kind of matter, in the heavens as much as on earth. The alleged distinction between the alterable sublunary world and the incorruptible superlunary spheres therefore falls apart also from this point of view. Besides this passage, the discussion of atmospheric refraction and the nova of 1572 in the *Third Day* is still grounded on the optical theory of exhalations.

In the immediate aftermath of the publication of the *Dialogue*, Galileo filled the margins of his copy of the resentful *Philosophical Exercises* by Antonio Rocco with handwritten annotations. We can read Galileo's reiteration of his exhalation-based interpretation of the nova thirty years after its original formulation: "whatever matter – he wrote – can be seen, be it just a little or by no means transparent, will appear as bright as a star whenever it is exposed to sun rays" (OG, VII, p. 719). As before, the nova of 1604 was believed to have an ascending motion, due to its apparently receding path and the vaporous nature of its essence.

Among the papers on the *Astronomical Operations* from 1637 we find a meteorological fragment that also refers to the theory. Here Galileo answers the (apparently childish) question of why there are often storms on mountain tops. Unsurprisingly, he resorts to the Aristotelian distinction between wet and cold vapours and hot and dry exhalations. When in the summer the sun is at its highest point, the former arise from the south face of the mountains, the latter from the north. As often as the fluxes of the two different streams of air merge at the summits, storms take place. The effect – Galileo specifies – is stronger on the mountaintops than on plains or on surfaces of water, because on plains there is less contrast, while water disperses the heat faster (OG, VIII, pp. 630-631). Note that Galileo's explanation does not refer only to the difference in temperature, but also to the quality of air.

Such a distinction can also be found in Galileo's *Discourses and Mathematical Demonstrations Relating to Two New Sciences* from 1638. A passing reference to the power of bellows (*mantici*) to heat embers for melting metals, if the air that they blow is mixed "with thick, and not humid, vapours", confirms the persistence of the dichotomy (OG, VIII, pp. 87-89). In the same context, when trying to answer the difficult question of whether light has motion or is instantaneous, Galileo recalls an experiment he made at the time of the nova, once again proposing a comparison with observable cloudiness. The observation of a mass of clouds, such as a cumulonimbus, reflecting and diffusing the light of flashes and lightning through non-simultaneous propagation suggested to Galileo that the speed of light (or the expansion of the blaze, as he put it) does not happen instantaneously (OG, VIII, pp. 87-

89). Once again, observational meteorology, and particularly the model of illuminated clouds, offered him the solution to a problem of physics.

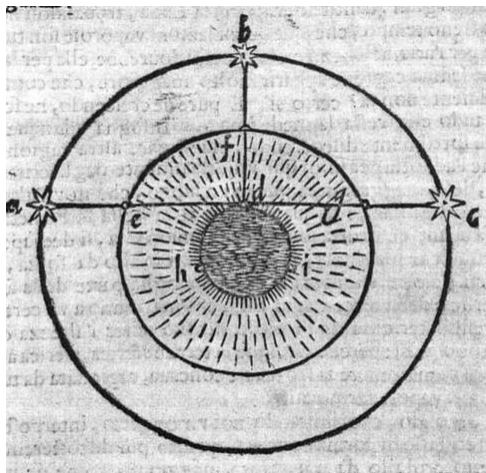
Finally, I wish to include in my analysis the astronomical *Considerations by Alimberto Mauri* on the new star of 1604. I shall make only a passing reference to the attribution process that over the last years has led me to ascertain Galileo's authorship of the pseudonymous treatise, as I instead wish to focus on a couple of passages of this treatise that are relevant for the present analysis. In short, the attribution was made possible, on the one hand, by the identification of a confusing letter as a forgery produced at the beginning of the twentieth century and, on the other hand, by my retrieval of a forgotten and unpublished private note in which Galileo disclosed his identity as Alimberto Mauri, who had been made an object of "contempt" in Delle Colombe's *Answers* (Ms.Gal.42, c.31r). Besides this, various other elements have confirmed the attribution, such as the additional contextual evidence collected by Stillman Drake in the 70s, a reasonable decoding of the pseudonym, multiple textual matches with other Galilean works, an autograph annotation, the exclusion of other potential authors of the text, and – last but not least – the fact that the name "Galileo Galilei" was plainly written by one of his colleagues' students on the frontispiece of his copy of the book under the name of Alimberto Mauri.<sup>1</sup>

A first passage from this treatise which is relevant to the present topic is the observation that an object can reflect light regardless of the lucidity or opacity of its surface. Galileo-Mauri noted that in the heavens solar light can be reflected both by the stars that shine mainly by their own light, and by the Moon, which shines mainly by reflected light. As we have seen, we find the same remark in Galileo's fragments on the nova from 1604, where it is again used to justify the idea that a diaphanous amount of gas, such as vaporous exhalations, can diffuse and reflect light, giving the impression of a bright splendid star. The fact that stars, in particular, shed light through their own irradiated *aurae* or spheres of exhalations so that they appear to us larger than they really are, must be seen as a strong argument against the opponents of heliocentrism. For their main objection was that the size of the stars, as they appear, would be gigantic in comparison with the Sun, if the Copernican dimensions of the universe were accepted. But, Galileo-Mauri noted (with the support of Kepler's *De Stella nova*) that what we see are stars diffracting their light, and that therefore their real size must be much smaller and not as disproportionate as it may seem at first when adopting the Copernican system. This remark should be read together with the provocative suggestion that Copernicus can rather be understood in a non-hypothetical way (Mauri 1606, pp. 12v-13v; cfr. OG, VI, pp. 354-355).

A second passage from this treatise which is relevant in this context concerns the optical illusion of the Sun appearing larger at dawn and sunset. According to an ancient tradition dating back at least to Macrobius, the Sun seems larger when it is setting because it attracts more vapours and exhalations at twilight (*vapori crepuscolini*), so the condensation becomes denser around the earth and makes the image of the Sun seem bigger than at midday. Against this theory, Galileo-Mauri argues that the magnification is due not to the density of the transparent medium, but to the *concavity* of the interposed medium. In other words, it is the shape of the lenticular condensation, not its matter, that creates the impression of a visual enlargement of the observed object. Moreover, Galileo notes that another factor to account for is that the line of sight passing through such a medium is geometrically longer at the dawn and sunset. Optical experiences seem to explain why that factor is partly responsible for the solar illusion, as Witelo's *Perspectiva* had geometrically demonstrated before. Accordingly, Galileo-Mauri writes: "when we look at an object through a crystal of concave shape, experience teaches us that the farther we remove the said crystal from ourselves, the larger the object will appear to us, provided that there be between us and the crystal some quantity of water or other vaporous medium" (Mauri 1606, pp.

<sup>1</sup> Despite the astonishing silence surrounding the *Considerations by Alimberto Mauri*, this work can be regarded as the uncelebrated "Artist's Proof" from Galileo's Paduan period, as I like to call it, and as the missing prequel to the *Sidereus Nuncius*. A new edition of this pivotal work, which is not included in the National Edition of Galileo's works, is now in progress and it will include a commentary and a revision of the not always faithful English translation.

24r-v; cfr. OG, VI, p. 354). Regrettably, the accompanying image has been very often overlooked in the studies on Galileo's optics, but in my view, it illustrates *in nuce* the magnifying design of the optical ratio at the basis of the implementation of the Galilean telescope (Piccolino & Wade 2014, pp. 231-235).



**Fig. 1.** “Here A represents the sun placed in the east; B, at noon; C, in the west; HDI, the surface of the earth; EFG, the concave surface caused by the vapors; D, our eye located on the surface of the earth. Thus it is clear that the visual rays leaving from point D to arrive at points A and C pass through points E and G, which are farther from point D than is point F, through which they pass to arrive at point B.” (Mauri 1606, p. 25r).

I must add that throughout the treatise Galileo-Mauri quotes Aristotle's *De generatione animalium*, which transmits the ancient belief according to which an observer can get a better view of the stars from a cave, or from the bottom of a pit, or through a *tube*, for that matter. The familiarity with *De generatione animalium* which Galileo makes quite plain, together with the solution to the Solar illusion, now allows us to read the following famous passage from the *Dialogue on the Two World Systems* as if Galileo were talking about himself (and not about Cesare Cremonini as has always been assumed):

[...] a doctor who taught at a famous university, on hearing a description of the telescope which he had never seen, said that its invention was derived from Aristotle. Calling for a copy of the text, he found where it explains why it is possible to see the stars in the sky in the daytime from the bottom of a very dark well. ‘Here’, he said to those standing around, ‘is the well, which represents the tube; here are the thick vapours, from which is taken the invention of the lenses; and here, finally, is how the sight is strengthened when the rays pass through a denser and darker transparent medium (OG, VII, p. 135).

According to my reading, this is precisely Galileo's description of *his own* reaction upon hearing of the invention of the Dutch telescope after his dispute with Delle Colombe. Aristotle as a source, thick vapours, Murano glass, corrective spectacles and the idea of a magnifying medium are all elements present in Mauri's neglected treatise. Famously, Sagredo replied to Salviati in a way that seemed to defend the unprecedented development represented by Galileo's most celebrated instrument: “saying that every kind of knowledge is ‘contained’ in this way is similar to the way a block of marble contains within it a beautiful statue, or rather a thousand beautiful statues: the key is being able to reveal them” (OG, VII, p. 135). Nonetheless, if read as an autobiographical statement, this passage shows that the acceptance of the Aristotelian theory of earthly exhalations not only helped Galileo to design a general theory of transitory natural phenomena, including comets, but also contributed to the development of

his *cannocchiale*, leading to the astronomical consequences we are all familiar with. The inclusion of “thick vapours” as an essential element in Galileo’s natural philosophy and cometary theory was not merely the residue of an outdated Aristotelian doctrine, but resulted in the atmospheric prototype of the Galilean telescope. As Salviati reported, it is “from thick vapours that the invention of the lenses derives”.

### Acknowledgments

The research leading to this article has received funding from the European Union’s Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement no. 844152.

### Bibliography

- Barker, P. (1994). “The Optical Theory of Comets from Apian to Kepler”, *Physis. Rivista Internazionale di Storia della Scienza*, XXX, pp. 1-25.
- Beltrán Marí, A. (ed.) (2016). *Cometas, ciencia y religión. La polémica Galileo-Grassi*. Madrid: Tecnos. [It develops: Beltrán Marí, A. (2011). “Tacite polemiche: Galileo, Orazio Grassi e la grande cometa del 1618”, *Giornale Critico della Filosofia Italiana*, XC, 2, pp. 237-273].
- Bucciantini, M. (2000). *Galileo e Keplero, Filosofia, cosmologia e teologia nell’Età della Controriforma*, Torino: Einaudi.
- Cosci, M. (2018), “Le fonti di Galileo Galilei per le *Lezioni e studi sulla stella nuova* del 1604”, *Archives internationales d’histoire des sciences*, 68, pp. 6-70.
- Cosci, M. (2019). “Aristotelian Cometary Theory in Italian: Effects of Comets from the Mid-Sixteenth Century to Galileo Galilei”, *Rivista di Storia della Filosofia*, 2019(2), pp. 343-360.
- Drake, S. & O’Malley, C.D. (eds.) (1960). *The Controversy on the Comets of 1618*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.
- Favino, F. (2004). “Contro Tycho. Per una lettura contestuale del *Discorso delle comete*”, *Galilæana*, XII, pp. 233-252.
- Gal, O. & Chen-Morris, R. (2011). “Galileo, the Jesuits, and the controversy over the comets: What was *The Assayer* really about?”, in Dascal M. & Boantz V.D. (eds.), *Controversies Within the Scientific Revolution*. Amsterdam: J. Benjamins, pp. 33-52.
- Galilei, G. (2023). *Il Saggiatore*. Edited by Camerota, M. & Giudice, F. Milano: Hoepli. [This last edition comes after those of Favaro, Pagnini, Sosio, and Besomi & Helbing].
- Granada, M.A. (1997a). “Giordano Bruno et ‘Le banquet de Zeus chez les Éthiopiens’: La transformation de la doctrine stoïcienne des exhalaisons humides de la terre”, *Bruniana & Campanelliana*, III(2), pp. 185-207.
- Granada, M.A. (ed.) (1997b). *Bernardino Telesio. Sobre los cometas y la Vía Láctea*, Madrid: Tecnos (in partic. pp. LXXVIII-C).
- Guerrini, L. (2010). *Galileo e gli aristotelici: storia di una disputa*. Roma: Carocci (in partic. Ch. 1, “Galileo, gli aristotelici e la cometa”, pp. 43-101).
- Heidarzadeh, T. (2009), *A History of Physical Theories of Comets, from Aristotle to Whipple*. New York: Springer (in partic. pp. 61-64).
- Mauri, A. (1606). *Considerazioni... sopra alcuni luoghi del discorso di Lodouico delle Colombe intorno alla stella apparita [nell’anno] 1604*. Firenze: G.A. Caneo.
- OG - *Le opere di Galileo Galilei*, Edizione Nazionale (20 vols.), a cura di Favaro, A. (1890-1909). Firenze: Barbera; ristampa 1962-1964.
- Piccolino, M. & Wade, N.J. (2014). *Galileo’s Visions. Piercing the Spheres of the Heavens by Eye and Mind*. Oxford-New York: Oxford University Press.

# Lavori virtuali e principio conservativo nel *Mechanicorum Liber* di Guidobaldo del Monte

Davide Pietrini<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Urbino ‘Carlo Bo’, [davide.pietrini@uniurb.it](mailto:davide.pietrini@uniurb.it)

*Abstract:* From a historical point of view, the principle of virtual work and the so-called “principle of conservation” follow different paths. Some authors identified a first statement of the principle of virtual works in pseudo-Aristotle’s *Mechanical Problems*. The principle of virtual work was defined by Bernoulli in this way: “for a system of forces that maintains a point, a surface, on a body in equilibrium, the sum of positive energies equals that of negative energies, considered with their absolute value”. According to some authors, we can find signs of the “principle of conservation” in Galileo Galilei’s *Mechanics*: “that whatever is gained in force by their means is lost in time and in speed”. In Guidobaldo del Monte’s *Mechanicorum Liber* the concept of virtual work and the relation of compensation of force, time, weight and space seem to be connected. In this essay, I will investigate this connection. Firstly, I present the well-known statements about the roots of the principle of virtual works and the “principle of conservation”. Secondly, I will examine the procedures used by Guidobaldo to study the behaviour of simple machines in equilibrium. Finally, I will analyse the relation between the equilibrium conditions of systems subjected to constraint reactions and the compensation process that allows the increase of force in the simple machines.

*Keywords:* Mechanics, Guidobaldo del Monte, Principle of conservation, Principle of virtual work.

## 1. Introduzione

J. L. Lagrange nella sezione sulla statica della *Mécanique analytique* attribuisce a Guidobaldo del Monte una prima intuizione del principio dei lavori virtuali.

Je viens enfin au troisième principe, celui des vitesses virtuelles [...] Pour peu qu’on examine les conditions de l’équilibre dans le levier et dans les autres machines, il est facile de reconnaître cette loi, que le poids et la puissance sont toujours en raison inverse des espaces que l’un et l’autre peut parcourir en même temps: cependant il ne paraît pas que les anciens en aient eu connaissance. Guido Ubaldi est peut-être le premier qui l’ait aperçue dans le levier et dans les poulies mobiles ou moufles (Lagrange 1811-1815, I, p. 20).

Nel passo appena citato, Lagrange afferma che gli antichi non erano a conoscenza di tale principio e che Guidobaldo è stato il primo a intuirlo. Gli studi successivi sulla statica e sull’evoluzione dei concetti scientifici hanno però posto in evidenza la problematicità di questa attribuzione, proponendo di collocare una prima intuizione del principio dei lavori virtuali molto più indietro nel tempo, in particolare alle pagine del trattato *Questioni meccaniche*. L’opera, a lungo associata al nome di Aristotele, è attualmente attribuita a un allievo del filosofo greco, chiamato convenzionalmente pseudo-Aristotele. Nonostante le numerose ricerche sulla storia delle origini del principio dei lavori virtuali, ritengo sia ancora stimolante, almeno come esercizio di comprensione e di riflessione, confrontarsi con la famosa asserzione di Lagrange, ma anche esaminare che tipo di legame unisce il concetto di lavoro virtuale con l’idea galileiana di conservazione. Mi spiegherò meglio nelle pagine successive.

Divido il saggio nel modo seguente. Inizio presentando una breve rassegna delle affermazioni più note sulle radici del principio dei lavori virtuali. Segue poi una parte dedicata al principio conservativo che trapela dalle pagine galileiane. Per principio conservativo intendo l'assunzione secondo cui tramite le macchine possiamo ottenere la moltiplicazione della forza senza un processo creativo *ex novo* ma mediante una trasformazione di tipo compensativo delle grandezze coinvolte. Nella parte centrale del saggio esamino le pagine del *Mechanicorum Liber* di Guidobaldo del Monte (1577) da cui emergono i concetti di lavoro virtuale e la nozione galileiana di conservazione, nonché la loro connessione. Preciso fin da subito che nel *Mechanicorum Liber* tali idee non sono poste come principi, in quanto non ambiscono ad avere una valenza generale, ma sono solo concetti embrionali collocati soprattutto nei corollari, quindi esposti specificatamente nell'ambito dell'analisi di macchine specifiche.

## 2. Principio dei lavori virtuali

Cosa si intende per principio dei lavori virtuali? Vediamo la definizione di Amaldi e Giorgi:

Il principio dei lavori virtuali (detto anche delle velocità virtuali [...]) è un enunciato generale di statica che riunisce in sé e sostituisce le singole leggi sull'equilibrio dedotte dall'esperimento, ed esprime nella forma più generale la condizione per l'equilibrio (Amaldi & Giorgi 1933).

Alla base del principio dei lavori virtuali vi è l'idea che in un sistema in equilibrio le forze che agiscono si bilanciano. Se si interviene in questo sistema in equilibrio producendo un piccolo movimento qualsiasi, in virtù del quale ciascun punto percorrerà uno spazio infinitamente piccolo tale da esprimere la sua velocità virtuale, allora la somma delle forze, moltiplicate ciascuna per lo spazio percorso dal loro punto di applicazione in direzione della forza stessa, sarà sempre uguale a zero. Quindi per virtuale si intende un movimento potenziale e non effettivo che non incide sull'equilibrio del sistema, in quanto i carichi e le reazioni vincolari si compensano. Mentre per velocità virtuale si intende la velocità che un corpo avrebbe se l'equilibrio cessasse di esistere. Direttamente connesso al principio dei lavori virtuali è il concetto di *spostamento virtuale*. Per spostamento virtuale si intende ogni spostamento infinitesimo di un punto *P* compatibile, non con i vincoli, ma con la configurazione da essi assunta in un certo istante. Se prendiamo il caso della leva, allora l'equilibrio è mantenuto quando i prodotti dei pesi per i rispettivi spostamenti sono uguali. Tra velocità e spostamento vi è una sottile ma precisa differenza. La legge delle velocità virtuali presuppone che gli effetti delle forze dipendano dalle velocità virtuali dei loro punti applicazione. Invece, gli spostamenti virtuali presuppongono che gli effetti delle forze dipendano dallo spostamento virtuale dei loro punti applicazione (Capecchi 2012, p. 1).

Una gloriosa tradizione storiografica ha scorto una primordiale intuizione del principio dei lavori virtuali nelle due opere aristoteliche: la *Fisica* (Libro 7, § V) e le *Questioni meccaniche* (Quesito III). Raffaello Caverni nella sua monumentale *Storia del metodo sperimentale in Italia* (1891-1900, vol. IV, cap. III), commentando il brano di Lagrange già citato, riporta un passo galileiano in cui lo stesso toscano individua una prima formulazione del principio nelle *Questioni meccaniche*. Anche Pierre Duhem (1905, p. 8) vede nelle *Questioni meccaniche* “il seme da cui germoglieranno le potenti ramificazioni del Principio delle Velocità Virtuali nei prossimi venti secoli”. Giovanni Vailati (1911, pp. 96-97) è ancora più deciso: “[I]a conclusione che si può trarre dai brani che ho citati [tratti dalle *Questioni meccaniche*] mi sembra si possa riassumere dicendo che, nello scritto di cui parliamo, il principio dei lavori virtuali è enunciato, od applicato”. Amaldi e Giorgi (1933), allo stesso modo, ritengono che il padre del principio dei lavori virtuale sia Aristotele. Edoardo Benvenuto (1991) individua una primordiale intuizione del principio sia nelle *Questioni meccaniche* sia nella *Fisica*. Era

dello stesso parere anche René Dugas (1955, p. 20).<sup>1</sup>

Recentemente però D. Capecchi, nel suo importante *History of virtual work laws* (2012), ha espresso un sospetto, già peraltro segnalato da G. Micheli (1995, p. 85). Capecchi (2012, p. 3) ricorda che in nessun luogo delle *Questioni meccaniche* l'autore usa la parola o il concetto di equilibrio, nozione che dovrebbe essere alla base del principio dei lavori virtuali. Al massimo l'equilibrio può essere determinato in chiave dinamica come risultato dell'annullamento di effetti di forze opposte. Il primo ad assumere consapevolmente il principio delle velocità virtuale secondo una connotazione dinamica fu Galileo, mediante l'introduzione del concetto di momento.

Vediamo ora il Quesito III delle *Questioni meccaniche*. Il tema centrale della questione è comprendere come un peso  $\Gamma$  possa essere sollevato da una forza  $\Delta$  di debole entità. Quindi il nucleo della *quaestio* non è esaminare le condizioni di equilibrio di una leva, ma comprendere la causa della variazione dallo stato di equilibrio. Questo modo di trattare il problema della leva prelude a un approccio dinamico del problema dell'equilibrio, il quale consiste nel rappresentare matematicamente il movimento come il susseguirsi di piccoli e numerosi spostamenti dall'equilibrio. Nell'opera pseudoaristotelica la causa dello spostamento del braccio della leva è ricondotta alla quarta contrarietà del cerchio. Possiamo notare che la causa di tale fenomeno meccanico individuata dall'autore delle *Questioni meccaniche* è distante dall'odierna nozione di principio dei lavori virtuali, che è intesa piuttosto come somma di ipotetici lavori infinitesimi che le forze eseguirebbero se il sistema effettuasse la variazione considerata.

### 3. Principio conservativo

Secondo S. Drake, Galileo fu il primo a percepire chiaramente l'idea che le macchine semplici non sono in grado di creare forza ma solo di trasformare il suo modo di applicazione (Drake 1960, pp. 139-140). Tale principio, che può essere definito conservativo, è direttamente correlato all'idea della naturalità delle operazioni meccaniche e può essere condensato nella famosa asserzione galileiana contenuta nella versione lunga de *Le Meccaniche*: “quanto si guadagna in forza per mezzo loro [delle macchine semplici], altrettanto si scapita nel tempo e nella velocità” (Galilei 2002, p. 73).<sup>2</sup> Nell'ambito delle riflessioni galileiane sul funzionamento delle macchine, l'assunzione che non ci sia generazione di forza dal nulla negli strumenti meccanici assume connotati generali ed è applicabile a tutte le macchine semplici (Micheli 1995, p. 148).<sup>3</sup> Alcuni autori sostengono che tale concetto esprima una embrionale idea del principio di conservazione dell'energia (Drake 1960, pp. 139-140 e cfr. i riferimenti in Camerota & Helbing 2000, p. 193). Per conservazione dell'energia si intende il principio secondo cui in un sistema isolato (un sistema non soggetto a forze esterne), in cui agiscono solo forze conservative, l'energia meccanica si conserva. Il principio di conservazione dell'energia sembra essere maturato in un contesto storicamente distinto rispetto a quello in cui si è sviluppato il principio dei lavori virtuali. Anche se, seguendo Giorgio Cagliero, è pur vero che “[i]l principio della conservazione dell'energia trova applicazione anche nello studio di problemi statici, sotto il nome di principio dei lavori virtuali” (Cagliero 2012).<sup>4</sup> Al fine di evitare fraintendimenti dovuti a possibili implicazioni

<sup>1</sup> È opportuno precisare che chi è arrivato a comprendere il principio nella sua interezza, e a riconoscerlo come fondamentale per tutta la statica, è G. Bernoulli che lo indicò a P. Varignon in una lettera del 1717[?]. Sulla datazione della lettera si cfr. Capecchi & Drago (2005, p. 130).

<sup>2</sup> Cfr. anche quanto Galileo scrive nella de *Le Meccaniche*: “che quanto noi ci serviamo di fatica usando la lieva, tanto per l'opposito consumiamo più di tempo; e quanto sarà minore la forza del peso, tanto sarà maggiore lo spazio per lo quale si moverà la forza dello spazio in cui si muove il peso” (Galilei 2002, p. 7) e nella versione lunga de *Le Meccaniche*: “quanto si guadagna in forza, tanto perdersi in velocità” (Galilei 2002, p. 61).

<sup>3</sup> Cfr. anche Galilei (2002, pp. 45-46).

<sup>4</sup> Questa connessione è stata fatta notare anche da D'Alembert: “Scolie General.172. Il résulte de tout ce que nous avons dit jusqu'à présent, qu'en général la conservation des forces vives dépend de ce Principe, que quand des puissances se sont

anacronistiche di carattere storico-scientifico pensiamo sia storicamente più corretto connotare l'assunto galileiano come *principio compensativo*, dal momento che la nozione di principio conservativo presuppone la nozione di energia (Camerota & Helbing 2000, pp. 192-198).

#### 4. Il *Mechanicorum Liber* di Guidobaldo del Monte

Nei precedenti paragrafi ho brevemente accennato alle origini storiche del principio dei lavori virtuali e del cosiddetto principio compensativo, locuzione che pare opportuno preferire a quella di principio conservativo. In questa parte del saggio segnalo alcuni esempi tratti dal *Mechanicorum Liber* di Guidobaldo del Monte da cui si può desumere una possibile presenza di entrambi i concetti.

Il *Mechanicorum Liber*, pubblicato nel 1577 in latino e tradotto in volgare nel 1581 da Filippo Pigafetta, è un trattato di statica e ha come obiettivo mostrare il funzionamento geometrico delle macchine semplici nelle loro condizioni di equilibrio. Nel trattato sono presenti riferimenti a variabili come tempo e velocità che, sebbene siano tradizionalmente connesse allo studio del movimento, l'autore riconduce alle analisi delle condizioni di equilibrio (Del Monte 1581, p. 127v - commento di Pigafetta). Questo perché, secondo Guidobaldo, nell'indagine delle condizioni di equilibrio di una macchina è possibile riscontrare una corrispondenza tra pratica e teoria geometrica; corrispondenza che invece però vacilla quando si ha a che fare con macchine in movimento, dal momento che la prova empirica fa emergere variabili difficilmente quantificabili con gli strumenti concettuali che al tempo si possedevano. Vediamo ora in che senso possiamo dire che dalla meccanica di Guidobaldo possiamo enucleare il concetto di lavoro virtuale e l'idea che nei sistemi meccanici ci sia un processo compensativo tra grandezze coinvolte.

Inizio dai lavori virtuali. Affronto la questione partendo dai pilastri della meccanica di Guidobaldo del Monte, per poi arrivare a quelle riflessioni che hanno portato Lagrange ad attribuirgli una prima intuizione del principio dei lavori virtuali. La proposizione più importante del trattato è quella riguardante l'equilibrio indifferente (*De Libra*, Propositio IV, in: Del Monte 1577, pp. 5r-30r; *Della Bilancia*, Propositione IV, in: Del Monte 1581, pp. 5r-29r). Secondo tale proposizione se una bilancia con bracci uguali e pesi uguali applicati al termine dei bracci, avente il punto di sospensione coincidente con il baricentro  $C$ , viene spostata da una posizione orizzontale  $ACB$  a una posizione obliqua  $DCE$ , allora la bilancia rimane nella nuova posizione  $DCE$ . La condizione di equilibrio indifferente delinea un sistema isostatico, perché il numero di vincoli equivale al numero di gradi di libertà della bilancia. La spiegazione di tale equilibrio è contenuta nelle pagine seguenti e ha che fare con l'idea che la bilancia in posizione  $DCE$  sia un sistema vincolato chiuso, dove i movimenti dei pesi  $D$  ed  $E$  sono limitati dal fulcro  $C$  e dai bracci rigidi  $DC$  e  $CE$ . Pertanto, la bilancia in equilibrio non ritorna in posizione orizzontale, come volevano gli esponenti della *gravitas secundum situm*, ma rimane nella posizione in cui l'abbiamo lasciata. In realtà, secondo Guidobaldo, la bilancia, intesa come sistema chiuso, dovrebbe addirittura tendere come unico blocco verso il centro del mondo. Questo però non accade perché il fulcro e i bracci rigidi, che collegano i pesi vincolano e limitano il movimento del sistema bilancia, non permettono alla bilancia né di cadere né di ritornare nella posizione orizzontale (Del Monte 1577, pp. 19r-20v; Del Monte 1581, pp. 17r-18v). Tale condizione non è però tipica solo delle bilance aventi il baricentro coincidente con il fulcro e pesi equipesanti ed equidistanti dal fulcro, ma si verifica anche nel caso di bilance con pesi non equipesanti ed equidistanti dal fulcro (Del Monte 1577, p. 28v; Del Monte 1581, p. 26v). Nelle successive proposizioni (V e VI) della parte sulla bilancia Guidobaldo mostra che tipo di rapporto ci deve essere tra pesi e le rispettive

---

équilibre, les vitesses des points où elles sont appliquées, estimées suivant la direction de ces puissances, sont en raison inverse de ces mêmes puissances. Ce Principe est reconnu depuis long-tems par les Geomètres pour le Principe fondamental de l'équilibre; mais personne, que je sache, n'a encore démontré ce Principe en général, ni fait voir que celui de la conservation des forces vives en résulte nécessairement" (D'Alembert 1743, pp. 182-183).



distanze dal fulcro affinché l'equilibrio venga mantenuto. Prendiamo ora in considerazione la sezione del *Mechanicorum Liber* dedicata alla leva. Nella proposizione IV (*De Vecte*, Propositio IV, in: Del Monte 1577; *Della Leva*, Propositione IV, in: Del Monte 1581) del Monte pone in correlazione gli archi di circonferenza ( $FB$  e  $AE$ ) tracciati dal peso  $D$  e dalla forza movente  $A$  posti alle estremità di una leva con le rispettive distanze dal fulcro ( $CB$  e  $CA$ ). Gli archi di circonferenza ( $FB$  e  $AE$ ), proporzionali ai bracci della leva ( $CB$  e  $CA$ ), permettono di visualizzare la “maggiore proportione” della forza movente  $A$  rispetto al peso mosso  $D$  nel caso di rottura dell'equilibrio. Il corollario che ne consegue delinea come dobbiamo intendere tale proporzione: “Da queste cose è manifesto, che maggiore proportione ha lo spatio della possanza, che move allo spatio del peso mosso, che il peso alla medesima possanza”, il che significa che  $CA : CB > D : A$ , che in termini moderni diventa  $CA \cdot A > CB \cdot D$ . Questa proporzione è molto importante, perché mediante essa Guidobaldo spiega come possiamo stabilire la relazione tra la condizione di equilibrio, concessa dalla proporzione inversa tra forze agenti e pesi resistenti con le distanze percorse in uno stesso intervallo di tempo, e la cessazione dell'equilibrio. Queste considerazioni hanno fatto supporre a Lagrange che Guidobaldo avesse intuito il concetto di lavoro virtuale (cfr. Bertoloni Meli 2013, p. 110 e nota 9). Lo stesso approccio è impiegato anche in altre circostanze come, ad esempio, nella parte dedicata all'argano all'interno della sezione *Dell'Asse nella rota*, proposizione I. Come già segnalato da Capecchi, da questi brani sembra emergere il concetto di spostamento virtuale (Capecchi 2012, pp. 115-116).

Nelle proposizioni appena citate del Monte esplica le condizioni geometriche del principio archimedeo della leva basato sulle proposizioni 6 e 7 de *Sull'equilibrio dei piani*. A differenza dell'autore delle *Questioni meccaniche*, che aveva ricondotto i movimenti meccanici alle proprietà del cerchio, Guidobaldo riduce il comportamento delle macchine semplici al principio della leva. Possiamo individuare anche un'altra differenza: secondo l'autore delle *Questioni meccaniche* la velocità è generalmente causa del movimento, mentre nel *Mechanicorum Liber* Guidobaldo fa riferimento alla velocità in quanto conseguenza della rottura dell'equilibrio causata dalla differenza degli spostamenti dei corpi. Infatti, se sulle estremità di una leva con bracci disuguali sono posti gravi aventi lo stesso peso, allora lo spostamento del grave è direttamente proporzionale alla distanza tra fulcro e grave.

Esamino ora alcuni casi della sezione sulla carrucola (*Taglia*) nei quali si mostra che nei sistemi meccanici la forza, il peso, lo spazio e il tempo sono da intendersi secondo una relazione di proporzionalità (*De Trochlea* in: Del Monte 1577, pp. 62v-63r; *Della Taglia* in: Del Monte 1581, p. 56v). Nel paragrafo successivo, invece, analizzo alcuni corollari della sezione sull'argano (*Asse della rota*), dove il concetto embrionale di lavoro virtuale è posto direttamente in connessione con l'idea che il guadagno di forza nelle macchine semplici è dato da relazioni di compensazione (*De Axe in peritrochio* in: Del Monte 1577, p. 106v; *Dell'Asse nella rota* in: Del Monte 1581, p. 102v). Nonostante i riferimenti al tempo e alle velocità, le considerazioni di Guidobaldo, come Pigafetta precisa, rimangono sempre all'interno dell'analisi delle condizioni di equilibrio delle macchine, o almeno è questa l'intenzione dichiarata da parte dell'autore (*Della Taglia* in: Del Monte 1581, p. 64r).

Vediamo come Guidobaldo analizza il funzionamento della *Taglia*. Tale capitolo è diviso in due parti. La prima parte presenta alcuni casi di sistemi in equilibrio (*De Trochlea*, Propositio I – Propositio IX, in: Del Monte 1577; *Della Taglia*, Propositione I – Propositione IX, in: Del Monte 1581), mentre la seconda parte (*De Trochlea*, Propositio X – Propositio XXVIII, in: Del Monte 1577; *Della Taglia*, Propositione X – Propositione XXVIII, in: Del Monte 1581) è incentrata sull'analisi degli stessi casi in relazione allo spazio, al tempo e alla velocità. Serve precisare che quando Guidobaldo parla di “movere”, egli intende il movimento del peso causato dalla possanza ovvero dalla forza che mantiene o mette un corpo in movimento. Al fine di comprenderne il contenuto, formalizzo le proporzioni più significative.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Ringrazio Argante Ciocci per le sue puntuali osservazioni.

1. Propositione X: Poſte le cofe iſteſſe, lo ſpatio della poſſanza, che moue il peſo, è eguale allo ſpatio dello iſteſſo peſo, che è moſſo [...] Oltre à ciò la poſſanza moue il peſo iſteſſo per iſpatio uguale in tempo uguale, tanto con la corda inuolta intorno alla girella della taglia appiccata di ſopra, quanto ſenza taglia, pur che li movimenti di eſſa poſſanza in velocità ſiano eguali (Del Monte 1581, p. 71v; cfr. Del Monte 1577, p. 76r).

Poniamo:

$SF$  = ſpatio della poſſanza

$Sp$  = ſpatio del peſo

$F$  = poſſanza

$p$  = peſo

Se  $SF = Sp$  e la velocità ( $s/t$ ) della poſſanza è coſtante, allora nello ſteſſo tempo  $F : p = Sp : SF$

La macchina non ſarà vantaggioſa né ſvantaggioſa.

2. Propositione XI: Stando le cofe iſteſſe. Lo ſpatio della poſſanza, che moue il peſo è il doppio dello ſpatio dell'iſteſſo peſo moſſo. [...] Dapoi la poſſanza mouerà il peſo iſteſſo in tempo uguale per la metà dello ſpatio, con la corda inuolta d'intorno alla girella della taglia legata al peſo, che ſenza taglia, pur che le velocità de' mouimenti di eſſa poſſanza ſiano eguali (Del Monte 1581, p. 73v; cfr. Del Monte 1577, p. 78r).

Se  $SF = 2Sp$  e la velocità ( $s/t$ ) della poſſanza è coſtante, allora nello ſteſſo tempo  $F/2 : p = SF/2 : SF$

La macchina è vantaggioſa (la macchina è in equilibrio con la forza dimezzata).

3. Propositione XIII: Riuolgendo la corda d'intorno a due girelle di due taglie, l'vna delle quali fia di ſopra, et l'altra di ſotto, et legata al peſo, eſſendo anche l'vno de' capi di detta corda legato alla taglia di ſotto, et l'altro tenuto dalla poſſanza che moue; farà lo ſpatio corſo della poſſanza che tira, tre volte tanto quanto lo ſpatio del peſo moſſo (Del Monte 1581, p. 76v; cfr. Del Monte 1577, pp. 80v-81r).

Se  $SF = 3Sp$ , allora nello ſteſſo tempo  $F/3 : p = SF/3 : SF$

La macchina è molto vantaggioſa (la macchina è in equilibrio con 1/3 della forza).

Le relazioni di proporzionalità tra ſpazi, tempo, peſo e poſſanza ſono ulteriormente precisate nei corollari che chiudono la propoſizione XIV (*De Trochlea*, Propoſitio XIV, Corollarium I e Corollarium II, in: Del Monte 1577, pp. 82v-83r; *Della Taglia*, Propoſizione XIV, Corollario I e II, in: Del Monte 1581, p. 79r) e la propoſizione XXVIII ſulla carrucola (*De Trochlea*, Propoſitio XXVIII, Corollarium II, in: Del Monte 1577, p. 105v; *Della Taglia*, Propoſizione XXVIII, Corollario II, in: Del Monte 1581, p. 101v).

## 5. Casi di convivenza del concetto di lavoro virtuale e della nozione di compensazione galileiana nel *Mechanicorum Liber* di Guidobaldo del Monte

Nei corollari della propoſizione I della parte *Dell'Asse nella rota* Guidobaldo ſtabilisce alcune relazioni per determinare ſia le condizioni di equilibrio di una macchina ſemplice ſia le condizioni che permettono a tale macchina di eſſere moſſa con minimo ſforzo.<sup>6</sup>

Corollario I: Da queſte coſe è manifeſto, che coſì è il peſo alla poſſanza ſoſtenente il peſo, come lo ſpatio della poſſanza movente allo ſpatio del peſo moſſo (Del Monte 1581, p. 105r; cfr. Del Monte 1577, p. 109v).

<sup>6</sup> Cfr. anche le oſſervazioni di Enrico Gamba ſul tema (Gamba 2002).

Se  $SF : Sp = p : F \rightarrow$  la macchina è in equilibrio.

Corollario II: Egli è manifesto etiandio, che lo spatio della possanza movente ha sempre maggiore proportione allo spatio del peso mosso, che il peso alla stessa possanza (Del Monte 1581, p. 105r; cfr. Del Monte 1577, p. 110r).

Se  $SF : Sp > p : F \rightarrow$  la macchina è in movimento.

Nel corollario a conclusione *Dell'Asse nella rota*, Guidobaldo scrive che “quanto più agevolmente si move il peso, tanto il tempo è anco maggiore; et quanto più malagevolmente, tanto il tempo essere minore, et così per lo contrario” (Del Monte 1581, p. 106r; cfr. Del Monte 1577, p. 110r). Tale corollario equivale a quello posto a conclusione *Della Taglia*: “Dalle cose dette è manifesto etiandio che quanto più facilmente si move il peso, tanto maggiore essere etiandio il tempo; ma quanto più difficilmente, tanto minore essere; et così per lo contrario” (Del Monte 1581, p. 101v; cfr. Del Monte 1577, p. 105v). Dai corollari appena citati emerge il principio compensativo galileiano, cioè la consapevolezza della impossibilità nelle macchine di guadagnare lavoro (Gamba & Montebelli 1988, p. 78). Come nel caso galileiano, Guidobaldo pone forza e tempo in una relazione di proporzionalità inversa, “quanto più agevolmente si move il peso”, cioè quanto più la forza applicata è inferiore al peso da sollevare, tanto il tempo richiesto per tenerlo in equilibrio è maggiore:

$$F : 2p = s : 2t.$$

Questi ultimi passaggi rappresentano il nucleo del saggio e testimoniano la convivenza dei due concetti nell'opera delmontiana. Prima Guidobaldo pone la classica proporzione riconducibile al concetto di lavoro virtuale ( $SF : Sp = p : F$ ) e poi, per spiegare come un peso possa essere mosso con maggiore facilità, fa riferimento alla relazione di compensazione tra tempo e potenza motrice ( $F : 2p = s : 2t$ ). Ha senso pensare a una possibile influenza della meccanica guidobaldiana nelle riflessioni di Galileo sul principio compensativo. Tuttavia, Guidobaldo non conferisce alle sue considerazioni una valenza generale, come farà Galileo, ma le limita ai casi particolari di macchine che sta esaminando. Infatti, il pesarese colloca queste riflessioni soprattutto nell'ambito dei corollari. Secondo Camerota e Helbing non è da escludere che dietro la nozione galileiana di principio compensativo possano esserci le pagine del *De motu tractatus* di Michel Varro (Camerota & Helbing 2000).

## 6. Conclusione

Il contenuto di alcuni corollari e di alcune proposizioni del *Mechanicorum Liber* può essere posto in correlazione con le nozioni di *lavoro virtuale* e di *principio compensativo*, locuzione che ho preferito a quella di principio conservativo. Dopo aver esaminato il comportamento di un sistema in equilibrio sottoposto a reazioni vincolari, Guidobaldo determina in alcuni corollari o conclusioni finali i rapporti di proporzionalità tra tempo, forza, velocità e spazio, al fine di spiegare come la combinazione delle forze applicate possano incidere o sull'equilibrio della macchina o sulla sua facilità di movimento. Secondo Guidobaldo, data una macchina semplice in una condizione di equilibrio ma sottoposta alla combinazione di velocità, spostamento e forza, le grandezze coinvolte si compensano nel senso che non c'è nessuna acquisizione di forza ma solo trasformazione mediante compensazione. Se il principio dei lavori virtuali può essere definito sulla base dell'idea che in un sistema in equilibrio il lavoro totale di tutte le forze applicate è nullo per qualunque possibile spostamento delle parti del sistema, allora ci pare valida la riflessione secondo cui a fondamento della meccanica di Guidobaldo si possa individuare una convivenza dei due concetti basati rispettivamente sull'equilibrio e sull'idea

conservativa della forza nei processi meccanici. Ci sembra plausibile che nell'opera di Guidobaldo ci sia un collegamento tra le relazioni che si instaurano tra le dette grandezze e il principio di lavoro virtuale, il quale esprime nella forma più generale la condizione per l'equilibrio di una macchina sottoposta a forze agenti e resistenti.

### Ringraziamenti

Ringrazio Michele Camerota, Danilo Capecchi, Argante Ciocci, Vincenzo Fano, Enrico Gamba e Gianni Micheli per aver pazientemente letto e commentato le prime bozze di questo saggio.

### Bibliografia

- Amaldi, U. & Giorgi, G. (1933). "Lavoro", *Storia della scienza*. Roma: Treccani. Disponibile a: [https://www.treccani.it/enciclopedia/lavoro\\_res-b4eae516-8bb0-11dc-8e9d-0016357eee51\\_](https://www.treccani.it/enciclopedia/lavoro_res-b4eae516-8bb0-11dc-8e9d-0016357eee51_(Enciclopedia-Italiana)/) (Enciclopedia Italiana) (accesso: 31 maggio 2024)
- Benvenuto, E. (1991). *An Introduction to the History of Structural Mechanics*. New York: Springer-Verlag.
- Bertoloni Meli, D. (2013). "Guidobaldo, Galileo, and the History of Mechanics", in Becchi, A., Bertoloni Meli, D. & Gamba, E. (eds.) *Guidobaldo del Monte (1545-1607). "Mathematics" and Technics from Urbino to Europe*. Berlin: Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge, Edition Open Access, pp. 105-123.
- Cagliero, G. (2012). "Approfondimento. Il principio dei lavori virtuali", in Cagliero, G. *Meccanica, macchine ed energia*. Bologna: Zanichelli, vol. 1, cap. 17 "Conservazione dell'energia".
- Camerota, M. & Helbing, M.O. (2000). *All'alba della scienza galileiana. Michel Varro e il suo De motu tractatus. Un importante capitolo nella storia della meccanica di fine Cinquecento*. Cagliari: CUEC.
- Capecchi, D. & Drago, A. (2005). *Lagrange e la storia della meccanica*. Bari: Progedit.
- Capecchi, D. (2012). *History of Virtual Work Laws*. Milano: Springer.
- Caverni, C. (1891-1900). *Storia del metodo sperimentale in Italia*. Firenze: Civelli.
- D'Alembert, J.L.R. (1743). *Traité de dynamique*. Paris: J. B. Coignard.
- Del Monte, G. (1577). *Mechanicorum Liber*. Pisauri: Hieronymum Concordiam.
- Del Monte, G. (1581). *Le mecaniche dell'illustriss. sig. Guido Vbaldo de' marchesi Del Monte: tradotte in volgare dal sig. Filippo Pigafetta*. Venetia: appresso Francesco di Franceschi senese.
- Drake, S. (1960). "Introduction", in Drabkin, I.E. & Drake, S. (eds.) *Galileo Galilei. On Motion and on Mechanics*. Madison: University of Wisconsin Press, pp. 135-145.
- Dugas, R. (1955). *A History of Mechanics*. Translated by Maddox, J.R. Switzerland: Editions du Griffon, Neuchatel & Central Book Company, New York.
- Duhem, P. (1905). *Les origines de la statique*. Paris: Hermann.
- Galilei, G. (2002). *Le Mecaniche*. A cura di Gatto, R. Firenze: Olschki.
- Gamba, E. & Montebelli, V. (1988). *Le scienze a Urbino nel tardo Rinascimento*. Urbino: QuattroVenti.
- Gamba, E. (2002). "La scuola matematica urbinata nell'età roveresca", in Cleri, B. et al. (eds.) *I Della Rovere nell'Italia delle corti*, Atti del convegno Urbani, 1999, 4 Vols. Urbino: QuattroVenti, vol. III, pp. 75-91.
- Lagrange, J.L. (1811-1815). *Mécanique analytique. Nouvelle édition revue et augmentée par l'auteur*. (2 vols). Paris: Courcier.
- Micheli, G. (1995). *Le origini del concetto di macchina*. Firenze: Olschki.
- Vailati, G. (1911). "XXI. Il principio dei Lavori Virtuali da Aristotele a Erone d'Alessandria", in Calderoni, M., Ricci, U. & Vacca, G. (eds.) *Scritti di Vailati (1863-1909)*. Leipzig: Johann Ambrosius Barth Verlagsbuchhandlung & Firenze: Successori B. Seeber Librai-Editori.

# Was Galileo accurate in recording Moon's images in *Sidereus Nuncius*?

Pasquale Tucci<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Retired, in 2013. Università degli Studi di Milano, ptucci@icloud.com

*Abstract:* The four different Moon's images in the *Sidereus Nuncius* were analysed by Guglielmo Righini to date them with purely astronomical methods. The first image was dated with usual astronomical methods. For dating the second and the third image, G. Righini used a very original method. He claimed that lunar libration was detectable in Galileo's images. Gingerich criticised these results as they refer to images which were too inaccurate for a quantitative analysis. Drake moved Righini's date 2 October 1609 to 1° January 1610, and accepted other G. Righini's dates. Whitaker confirmed Righini's dates for the second and fourth image; for the third image he confirmed Righini's date if for "shortly before the last quarter", we mean one day before. For the first image, Whitaker proposed a different date: 30 November 1609. Gingerich and Van Helden took Whitaker's chronology as definitive, except for the date of the second image (2 December 1609 instead of 3 December 1609). After Whitaker, neither astronomers nor historians of astronomy have addressed in a complete way the problem of dating. A. Righini revised G. Righini's dates, using the JPL Horizon project website and the Stonyhurst disc, and corrected G. Righini's date of the first image from October 2, 1609 to December 1, 1609, with a mean absolute error of 2.5% in units of lunar diameter. In my paper, I will point out that the analysis of the images carried out by Righini with astronomical methods highlighted a good agreement with the libration data. So Galileo's images, at least according to G. Righini, were accurate enough to allow quantitative predictions.

*Keywords:* Galileo, Astronomy, Moon, G. Righini

## 1. Introduction

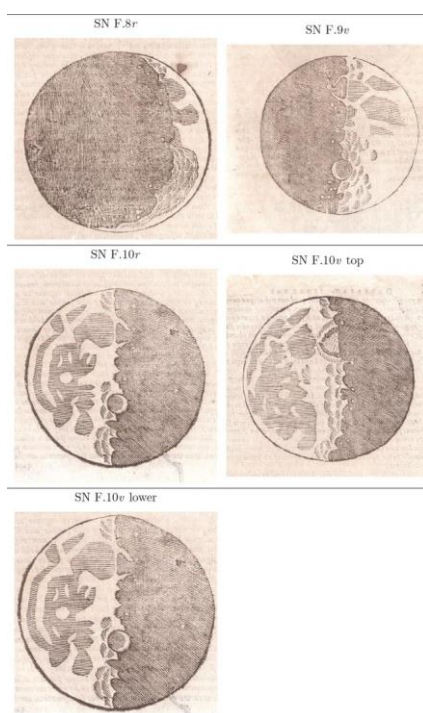
In a Conference held in Capri in 1974 Guglielmo Righini (1908-1978) read the paper "New Light on Galileo's Lunar Observations" (Righini 1975) in which, for the first time, the four different printed images in the *Sidereus Nuncius* (Fig. 1) were analysed in order to date them with purely astronomical methods.

Owen Gingerich (1930-2023) replied with the paper "Dissertatio cum Professore Righini et Sidereo Nuncio" (Gingerich 1975) in which he argued that the Galilean images of the Moon were so little detailed and so heavily theory-laden to prevent anyone to extract quantitative conclusions from them. According to Gingerich, the images represented the psychological impact of the telescopic images of the Moon on Galileo and could not be used for specific measurements.

In 1974 Guglielmo Righini was the director of the Arcetri Astronomical Observatory which, under the previous direction of Giorgio Abetti (1882-1982), had become an advanced scientific research center in solar astrophysics. Under Righini's direction, the Observatory reached a further level of specialization. Righini also held the chair of Astronomy at the University of Florence. Righini's interest in Galilean astronomy arose around 1964, when Righini created a report for the International Congress on Galileo Galilei, on the occasion of the fourth centenary of the birth of the Pisan scientist (Righini 1978).<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> As Maria Luisa Bonelli and Leonida Rosino recalled in their presentation of the *Supplemento agli Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza* (Righini 1978), Righini could not update his contribution in the light of the recent publications.



**Fig. 1.** Moon's images of the Moon inserted by Galileo Galilei in his *Sidereus Nuncius*.

Owen Gingerich, an astronomer by training, since 1971 had addressed his research to the History of Astronomy, with particular attention to Copernicus and Kepler.

In the 1960s, the observations of the Moon made by Galileo had been examined, among others, by the polish astronomer Zdeněk Kopal (1914-1993) who questioned Galileo's ability to carry out astronomical observations. In 1969, Kopal argued that it was sufficient to give a look at Galileo drawings of the Moon for disclosing that

Galileo was not a great astronomical observer; or else that the excitement of so many telescopic discoveries made by him at that time had temporarily blurred his skill or critical sense; for none of the features recorded on this (and other) drawings of the Moon can be safely identified with any known markings of the lunar landscape (Kopal & Carder 1974, p. 5).

Righini knew the motivations that had led Kopal, quoted by Righini himself, to question Galileo's observational skills (Righini 1974, pp. 65-66).

Also Johannes Classen (1908-1987), quoted by Righini, had claimed: "Galileo was not much an artist and his sketches of the lunar surface bear little resemblance to nature" (Classen 1969, p. 82).

Kopal's and Classen's argument against Galileo observer, not new, was questioned by William R. Shea (1974):

Galileo has been roundly condemned as a second-rate observer whose perception was blurred by the excitement of discovery when, on closer inspection, it can be shown that he was remarkably

---

Bonelli and Rosino published "Note di aggiornamento" (Update Notes) on p. 110 of the *Supplemento* itself. Maria Luisa Bonelli, an historian of science, director of the Institute and Museum of the History of Science in Florence, was the second wife of Righini. It's very likely that Righini discussed with her some topics addressed in his historical memoirs. Righini (1978) discussed the Moon's Librations at the pages 24-41.

faithful in his description of the main features of the Moon. The indictment of Galileo as a poor experimentalist because of his diagrams of the lunar landscape turns out to have been a hasty generalization, made for philosophical rather than historical reasons (Shea 1974, p. 17).

Galileo drew, moreover, seven ink-and-wash drawings, kept in the ‘Biblioteca Nazionale di Firenze’. They were probably made by Galileo during his telescopic observations but, more likely, they were drawn from a sketch after observations. A discussion about these drawings can be found in Tucci (2022, pp. 37-39, p. 42, p. 45); Gingerich & Van Helden (2003, pp. 256-257) However, they did not enter into the discussion between Righini and Gingerich, dealing it only with the images printed in the *Sidereus Nuncius*.<sup>2</sup>

## 2. Righini’s date calculations of the first image of the Moon in *Sidereus Nuncius*

According to Righini, the five drawings in the *Sidereus Nuncius* seemed placed in chronological order.

- drawing no. 1: waxing Moon on probably the fourth or fifth day after new Moon;
- drawing no. 2: the Moon at first quarter;
- drawing no. 3: the Moon at last quarter;
- drawing no. 4: the Moon a few days before this last phase;
- drawing no. 5: the Moon once more at last quarter.

If the Moon were a perfectly spherical globe, without heights and depressions, the age of the Moon, namely the period between new Moon (the conjunction of the Sun and the Moon) and the time of a later observation could be determined exactly from the amount of the diameter of the Moon that lies in its illuminated part. But since the Moon is covered with mountains and craters, this is clearly not the case. Furthermore, Galileo had only meagre telescopic means at his disposal (Drake 1976, p. 159), and hence the date of his drawings can only be ascertained within a certain margin of error. Righini calculated that for drawing no. 1, the age of the Moon at the time of observation was  $4^{\text{d}}.62 \pm 0^{\text{d}}.08 = 4^{\text{d}} 14^{\text{h}} 53^{\text{m}} \pm 1^{\text{h}} 55^{\text{m}}$ .

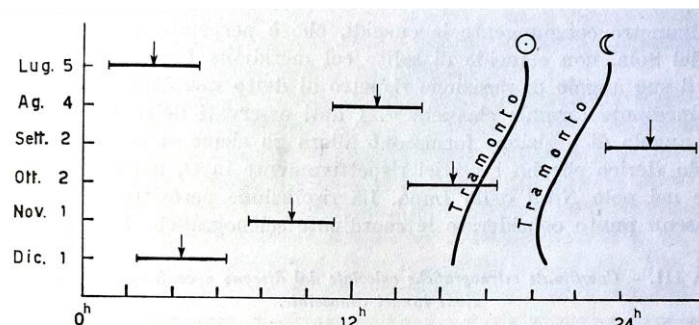
Righini then proceeded to establish the dates when the new Moon occurred between July and December 1609, and he added in each case  $4^{\text{d}}.62 \pm 0^{\text{d}}.08$ , the time interval between the new Moon and Galileo’s observation. This gave a list of dates on which Galileo could have made his observations. But since the Moon is visible after sunset when it is four or five days old, the next step was to calculate the time of sunset and the corresponding age of the Moon in Padua, where Galileo made his observations. The results are summarized in the Table 1.

**Table 1:** Day, month and time when the age of the Moon was  $4^{\text{d}}.62$ ; sunset in Padua; age of the Moon at sunset

Dates in 1609 when the age of the Moon = $4^{\text{d}}.62$	Time of sunset	Age of the Moon
5 July, 2 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup>	19 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	5 <sup>d}.32</sup>
4 August, 13 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup>	19 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>	4 <sup>d}.88</sup>
2 September, 1 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>	18 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	5 <sup>d}.34</sup>
2 October, 1 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>	17 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	4 <sup>d}.68</sup>
2 November, 9 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>	17 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	4 <sup>d}.94</sup>
1 December, 4 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	16 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>	5 <sup>d}.13</sup>

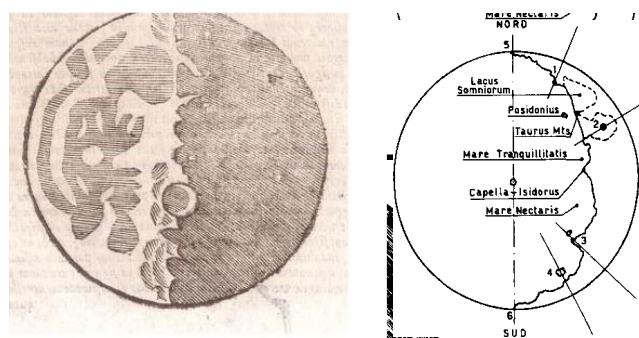
<sup>2</sup> In a Post Script to his contribution to the Conference, Gingerich claimed that he had had the opportunity to examine the seven Galileo’s ink-and-wash drawings after the Conference. In the Proceedings of the Conference, Gingerich quoted the ink-and-wash drawings (Gingerich 1974, pp. 80-83 and pp. 87-88).

Table 1 clearly showed that the only day on which the age of the Moon at sunset agreed (within a very narrow margin of error) with the age of the Moon inferred from Galileo's drawing was 2 October 1609. On that day, the age of the Moon was  $4^d.68$ , almost exactly the value of  $4^d.62$  required by drawing no. 1 (Fig. 1).



**Fig. 1.** Age of the Moon at 4.62 days and time of sunset of the Sun and Moon for Padua. Year 1609; age of the Moon =  $4^d.62 \pm 0.08$

The result was confirmed by calculating the longitude and the latitude (known as the selenographic coordinates) of some of the lunar configurations observed by Galileo. Righini chose for this purpose six individual points (Fig. 2) and he determined the polar coordinates with respect to the centre of the lunar disc and the vertical diameter that joins the cusps.



**Fig. 2.** Lunar structures identified by Righini in the image no. 1 published in the *Sidereus Nuncius*.

1. Group of craters Plana, Mason, Airy between Lacus Somniorum and Sea Frigoris
2. Center of the Mare Crisium
3. Rabbi Levi Crater
4. Group of craters Baco, Breislak, Clairaut, Cuvier of South Plateau
5. North Pole beyond the visible edge
6. South Pole visible facing the Earth inside the lunar edge

The results of his calculation were summarized by Righini in the following Table 2. As Righini wrote:

Le differenze fra la posizione misurata sul disegno e quella individuata sulla mappa lunare sono contenute entro limiti accettabili; particolarmente sicura è l'individuazione del punto 2 che corrisponde al centro del Mare Crisium (Righini 1978, p. 30).<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Translation: "The differences between the position measured on [Galileo's] picture and that one identified on the lunar map are contained within acceptable limits; particularly safe is the identification of the point 2 which corresponds to the centre of the Mare Crisium". Righini used the lunar map of Kopal (Kopal *et al.* 1965).



**Table 2:** Latitude  $b$  and Longitude  $l$  of the six points identified by Righini

Points n.	From the first image of the Moon in the <i>Sidereus Nuncius</i>		From lunar map	
	$l$	$b$	$l$	$b$
1	+35°	+40°	+30°	+45°
2	+55°	+14°	+59°	+16°
3	+27°	-37°	+23°	-35°
4	+19°	-53°	+17°	-50°
5	+9°	+79°	Cusp N	
6	-14°	-79°	Cusp S	

### 3. Righini's date calculations of the second and third image of the Moon in *Sidereus Nuncius*

Righini could not proceed in the same way to date the other drawings, because the time that the Moon could be observed after sunset at the first quarter (when it sets at about midnight) and at the last quarter (when it rises at about midnight and crosses the meridian about sunrise) was too large to allow a precise determination of the day on which Galileo made his observations. To date the images n. 2 and n. 3 of the Moon, Righini noted that in the second and third images the circular spot was about 5 mm away from the center of the lunar disc,  $9^{\circ}.7$  degrees (on Galileo's scale). According to Righini the circular structure was a real feature of the Moon and not an optical illusion. Gingerich, on the contrary, believed that Galileo recorded the image commensurate with the psychological impact of his sighting. According to Gingerich, Galileo saw the big crater with the mind's eye rather than with his telescope (Gingerich 1974, pp. 86-87). Righini thought that  $9^{\circ}.7$  degrees was too large an amount to be ascribed to error or to uncertainty in the determination of the distance. A possible explanation was that Galileo had unwittingly noticed and recorded an effect of libration in latitude, which Righini calculated with the aid of appropriate formulae, and for the first and the last quarter between the beginning of October and the end of December 1609. He obtained the results shown in Table 3. It was only many years later that Galileo recognized them and called the "apparent titubation of the Moon".

**Table 3:** Libration in latitude of the Moon at the first and last quarter

Date (1609)	First quarter	Date (1609)	Last quarter	First quarter–last quarter
5 October	-1°.7	20 October	-0°.9	-0°.8
3 November	+0°.1	18 November	-3°.4	+3°.5
3 December	+3°.8	18 December	-5°.0	+8°.8

Table 3 showed, according to Righini, that the amount of  $9^{\circ}.7$  was satisfied "if we assign December 3<sup>rd</sup> as the date of drawing no. 2 and December 18<sup>th</sup> for the drawing no. 3" (Righini 1974, p. 74). He claimed that the calculated  $8^{\circ}.8$  is a fair approximation to the difference of  $9^{\circ}.7$  measured on the drawings.

### 4. Righini's date calculations of the fourth image of the Moon in *Sidereus Nuncius*

Since many features on the drawing are detectable, Righini used their selenographic coordinates. In drawing no. 4 (Tab. 4) point 1 corresponded to the Maurilius crater and its selenographic coordinates are: longitude  $l = +10^{\circ}$ , latitude  $b = +15^{\circ}$ . Point 2 corresponded to Apianus crater with the following coordinates: longitude  $l = +6^{\circ}$  and latitude  $b = -28^{\circ}$ . The arc  $a_1$  of the great circle that passes through the Maurilius crater and the center of the lunar disc is equal to  $20^{\circ}$  and the one  $a_2$  which passes through

Apianus is equal to  $24^{\circ}.7$ . Having the selenocentric coordinates of the two craters and their angular distance from the center of the Moon disc, Righini computed the libration in latitude and found that the no. 4 was made shortly before the last quarter on 18 December 1609. Righini concluded his reasoning with these words:

In the light of these measurements, it is fair to conclude that Galileo was a much better observer than Classen and Kopal have suggested and that he was, in fact, a remarkably faithful recorder of his visual experiences (Righini 1974, p. 76).

### 5. Gingerich's argumentation against Righini

Gingerich admired Righini's method but disagreed with its validity (Gingerich 1974, p. 86). He started from the assumption

that what we see is strongly conditioned by what we have already seen, and (as a corollary) even what we choose to look at is already heavily theory-laden. The image of the astronomer continually surveying the heavens and objectively documenting all he finds as the foundation for future theories is demonstrably false (Gingerich 1974, p. 77).

Gingerich focused his attention on the two images (no. 2 and no. 3) of the Moon in which a large crater is visible. According to Gingerich, the crater was impossibly immense. Its diameter exceeded  $12^{\circ}$ , whereas the largest craters in this part of the Moon rarely reached  $5^{\circ}$ . Furthermore, the curvature of the Moon was such that the opposite edges of Galileo's crater could not possibly be so well illuminated at this extended distance from the terminator unless they were incredibly high. And he concluded that "this fact, plus the sharpness of its outline, precludes its identification with a cluster of actual craters" (Gingerich 1974, p. 84). In attempting to provide some satisfactory explanation for the large crater in the printed drawing, Gingerich examined the appearance of a pair of modern photographs of the first and last quarter Moon as seen from various distances. Gingerich concluded that the only crater that could have anything to do with the one drawn by Galileo was the Albategnius crater that must have made an indelible impression on Galileo's mind: "I believe that he recorded the images commensurate with the psychological impact of his sightings" (Gingerich 1974, p. 86). Gingerich examined the manuscript of the *Sidereus Nuncius* on Favaro edition of Galileo's works, and pointed out that the printed drawing was a highly distorted and derivative version of the manuscript drawing (Gingerich 1974, p. 86). In conclusion, Righini's date of December 1609 for drawings no. 2 and no. 3 rested primarily on the position of the large crater. "If, as I have argued, Galileo intended this as a symbolic illustration of a crater and not as an exact map, then it cannot be used for specific measurements" (Gingerich 1974, p. 86).

Similarly, the rather ambiguous features measured by Righini on image no. 4 of the *Sidereus nuncius* appeared in quite different positions on the manuscript drawing, thus shattering any confidence in their reliability for quantitative argument. In light of these discrepancies, Gingerich "was reluctant to believe that the accuracy required for Righini's method could be extracted from the first drawing. (In any event, the age of the Moon versus time of sunset is as well satisfied for 29 January or 29 March 1610 as for 2 October 1609)" (Gingerich 1974, p. 86). According to Gingerich, we can not only say that Galileo discovered the craters on the Moon, but that at the time of the *Sidereus nuncius* he had invented them in the sense that from a single crater seen well enough he recognized the additional profusion of circular features far more clearly in the mind's eye than with his telescope.

## 6. Drake's argumentation

Drake re-examined Righini's chronology in a paper published in 1976. His aim was to support by evidence of a biographical character Righini's findings on purely astronomical grounds (Drake 1976). On the basis of his knowledge of Galileo's biography, he observed that Galileo could not have started his observations before 1 December 1609, shortly after sunset when the age of the Moon was 5 days. He moved Righini's date 02.10.1609 to 29.01.1610 (Drake 1976, p. 154), and accepted other Righini's dates.

Gingerich had stated that the same configuration of the Moon was compatible not only with the date of October 2, 1609 but also with the dates 29 January 1610 or 29 March 1610. But

here Professor Owen Gingerich in attacking the whole analysis by Professor Righini unwittingly came to its aid. For in pointing out that on 29 January 1610 Galileo could have seen at Padua a Moon as young as on 2 October 1609, he granted for purposes of argument Professor Righini's analysis and simultaneously offered the biographer a probable account of the whole matter (Drake 1979, p. 153).

While for Gingerich the possibility of three dates excluded that the calculation made by Righini was acceptable, Drake instead found the date of 29 January 1610 was plausible and justified it by stating that Galileo had begun his observations of the Moon on December 1<sup>o</sup> 1609 just after sunset when the age of the Moon was about 5 days (as Righini had supposed). According to Drake the drawings he had then made of the event were not very accurate, but that he had successively improved his skills so that the drawings made for December 3 and 18 were included in the *Sidereus nuncius*, while "for the published thin crescent of four or five days, however, I believe he made a new drawing on 29 January 1610, and that that is the one Professor Righini analyzed - the diagram in the *Sidereus nuncius*, published early in March" (Drake 1979, p. 154).

Ultimately Drake appreciated Righini's work and supported it with biographical considerations. In Righini's obituary Drake, referring to Righini's contribution to dating of Galileo's observations of the Moon with purely astronomical methods published on *Supplemento agli Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza* (Righini 1978) was "without rival in scope and scholarship in the vast literature regarding this important phase of Galileo's activities" (Drake 1979, p. 552).

## 7. Whitaker's dates of Galileo's observations

In a paper published in 1978, Whitaker addressed the problem of dating Galilean images of the Moon. The images taken into consideration are those of the *Sidereus Nuncius*, as Righini had done. Moreover, Whitaker took into account Galileo's 7 ink-and-wash images of the Moon kept in the 'Biblioteca Nazionale di Firenze' (Tucci 2022, p. 35).

In 1978, Ewen A. Whitaker (1922-2016) had just retired from the Lunar and Planetary Laboratory of the University of Arizona. He was considered a leading expert on lunar photography. His aim, in the paper in question, is to re-examine the whole subject of Galileo's lunar observations; mainly a) the dating of the four lunar drawings in *Sidereus Nuncius* and b) the lunar libration in latitude, unwittingly recorded by Galileo.

After identifying from the Galilean biography some limiting dates within which Galileo would have made observations of the Moon, namely November 1, 1609 and January 7, 1610 Whitaker criticized Righini's approach regarding the use of either the age or the phase of the Moon as an accurate indicator of the position of the terminator with respect to the surface features, since the lunar orbit was eccentric and this could give rise to an error on the day of almost 10%.

According to Whitaker, the only correct method was to draw up a table giving the Sun's selenographic colongitude for the examined period. But the colongitude of the Sun needed the

longitude of the terminator for each image of the Moon. Whitaker noticed that a change of only  $2^\circ$  in the position of the terminator produced marked differences in its shape. So his procedure was to compare each drawing with all suitable photographs in which the terminator was lying about  $10^\circ$  of the apparent phase as drawn, and to choose the one which most nearly duplicated the terminator features. The results are summarized in following Table 4, where I have added the comparison among the date given by Righini, Drake and Whitaker.

**Table 4: Dates according to Righini, Drake and Whitaker<sup>4</sup>**

<i>Sidereus Nuncius</i> images of the Moon	Righini dates	Drake dates	Whitaker dates
 no. 1	02.10.1609 (Righini 1974, p. 71; Righini 1978, p. 28)	01.12.1609 "Shortly after sunset when the age of the Moon was 5 days." (Drake 1976, p. 154)	30.11.1609 h. 20 Padua Mean Time (Whitaker 1978, p. 159)  E1
 no. 2	03.12.1609 (Righini 1974, p. 74; Righini 1978, p. 33)		03.12.1609 h. 20 Padua Mean Time (Whitaker 1978, p. 159)  E2
 no. 3	18.12.1609 (Righini 1974, p. 74; Righini 1978, p. 33)		18.12.1609 h. 20 Padua Mean Time (Whitaker 1978, p. 159)  E4
 no. 4	18.12.1609 Shortly before the last quarter. (Righini 1974, p. 76; Righini 1978, p. 35)	29.01.1610 (Drake 1976, p. 154)	17.12.1609 h. 05 Padua Mean Time (Whitaker 1978, p. 159)  E3
 no. 5	18.12.1609 "Printed by mistake" (Righini 1974, p. 76) "Infortunio editoriale" (Righini 1978, p. 35)		

<sup>4</sup> Whitaker's numbering of images (E1, E2, E3, E4) of the Moon published in *Sidereus Nuncius* was different from that one of Righini (no.1, no. 2, no. 3, no. 4, no. 5) who numbered the images as in the sequence given by Galileo. Whitaker reversed no. 3 and no. 4.

Whitaker could therefore state: “I believe, therefore, that Galileo did not record the effects of the libration in latitude” (Whitaker 1978, p. 164).

A. Righini revised G. Righini’s dates, using the JPL Horizon project website and the Stonyhurst disc, and corrected the date provided by G. Righini of the first image of the *Syderes Nuncius* from 2 October 1609 to 1 January 1609, with a mean absolute error of 2.5% in unit of lunar diameter. A so little error means, according to the author, that Galileo’s images were accurate enough to perform measurements on them and, contrary to what Gingerich claimed, they were not just attempts to give the idea of mountains and plains (Righini 2009, pp. 10-11; Righini 2010, p. 30).

## 8. Conclusions

Righini was the first, and probably the only one, who dated Galilean images of the Moon with purely astronomical methods and detected in them the phenomenon of the libration in latitude. Gingerich, Drake and Whitaker credited him for this pioneering research, but Whitaker’s dating is what is eventually recognized as the definitive one. But, as we have seen, Righini, to date images no. 2 and no. 3, claimed that Galileo had reported, unknowingly, lunar libration. Gingerich, Drake and Whitaker rule out that Galileo could have drawn libration in latitude. But if we look at Tab. 4 we realize that the dates given by Righini, except for the date of the first observation, are quite close to those given by Whitaker and considered definitive. In fact, Whitaker stated:

Righini concludes that Galileo recorded, but did not notice, the Moon’s libration in latitude from the positioning of this large crater in E2 and E4. This certainly agrees with the libration data. But what if that crater had not been common to the two drawings? (Whitaker 1978, p. 164).

Ultimately, Whitaker argued that the agreement between the data provided by Righini and the ones of libration in latitude was purely coincidental. In the following years the problem was no longer addressed, by either astronomers or historians of astronomy.

## Bibliography

- Classen, J. (1969). “The first Maps of the Moon”, *Sky and telescope*, 37, pp. 82-83.
- Drake, S. (1976). “Galileo’s first telescopic observations”, *Journal for the History of Astronomy*, 7(3), pp. 153-168.
- Drake, S. (1979). “Éloge. Guglielmo Righini”, *ISIS*, 70, pp. 552-554.
- Gingerich, O. (1975). “Dissertatio cum Professore Righini et Sidereo Nuncio”, in Bonelli Righini, M.L. & Shea, W.R. (eds.) *Reason, Experiment, and Mysticism in the Scientific Revolution*, Proceedings of the Symposium held in Capri in April 1974. New York: Science History Publications, pp. 77- 88.
- Gingerich, O. & Van Helden, A. (2003) “From Occhiale to printed page: the making of Galileo’s Sidereus Nuncius”, *Journal for the History of Astronomy*, 34, pp. 251-267.
- Kopal, Z., Klepešta, J. & Rackam, T.W. (1965). *Photographic Atlas of the Moon*. New York and London: Academic Press.
- Kopal, Z. & Carder, R.W. (1974). *Mapping the Moon. Past and present*. Dordrecht: Springer-Science+Business Media.
- Righini, A. (2009). “Sulle date delle prime osservazioni lunari di Galileo”, *Giornale di Astronomia*, 35(3), pp. 7-12.
- Righini, A. (2010). “The telescope in the making, the Galileo first telescopic observations” in Barbieri, C. et al. (eds), *Galileo’s Medicean Moons: their impact on 400 years of discovery*. Cambridge:

- Cambridge University Press, pp. 26-32.
- Righini, G. (1970). "Zdneck Kopal: An introduction to the study of the moon (Recensione)", *Memorie della Società Astronomica Italiana*, 41, pp. 145-146.
- Righini, G. (1975). "New light on Galileo's Lunar observations", in Bonelli Righini, M.L. & Shea, W.R. (eds.) *Reason, Experiment, and Mysticism in the Scientific Revolution*, Proceedings of the Symposium held in Capri in April 1974. New York: Science History Publications, pp. 59-76.
- Righini, G. (1978). "Contributo alla interpretazione scientifica dell'opera astronomica di Galileo", *Supplemento agli Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza*, 2, pp. 5-110.
- Shea, W.R. (1974). "Introduction: Trends in the Interpretation of Seventeenth Century Science", in Bonelli Righini, M.L. & Shea, W.R. (eds.) *Reason, Experiment, and Mysticism in the Scientific Revolution*, Proceedings of the Symposium held in Capri in April 1974. New York: Science History Publications, pp. 1-17.
- Tucci, P. (2022). "The Moon's ashen light and libration in Leonardo and Galileo", *Quaderni di Storia della Fisica*, 26(1), pp. 21-60.
- Whitaker, E.A. (1978). "Galileo's lunar observations and the dating of the composition of "Sidereus Nuncius", *Journal for the History of Astronomy*, 9, pp. 155-169.

# Music in Holland: Consonances According to Simon Stevin

Danilo Capecchi<sup>1</sup>, Giulia Capecchi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> SISFA, danilo.capecchi@uniroma1.it

<sup>2</sup> Schola Cantorum Basiliensis, giulia.capecchi95@gmail.com

*Abstract.* The 17th century was a gold century for Dutch science in general and in particular for the theory of music, still belonging to the physical mathematical disciplines. Beeckman, Stevin and Huygens produced important writings on the subject. In the present paper the conception of consonance for musical intervals of Simon Stevin is presented. A quite strange conception according to most historians of music because Stevin contested the shared opinion for which consonance of two notes occurs for ratios of their pitches expressed by simple integer numbers. For instance, the fifth, one of the most consonant intervals, was unanimously associated to the ratio 3:2 (= 1.5). According to Stevin this was instead a quite crude approximations, the correct value of this interval being  $1:\sqrt[12]{1/2^7}$  (= 1.498). The present paper does not pronounce about Stevin's approach, it rather wants to discuss one of the proofs appearing in Stevin's musical treatise, *Vande spiegeling der singkonst*. The few historians that commented Stevin's proofs sustained that his reasoning was not so stringent and faulty of paralogism. It will be shown that this not the case; and if Stevin's result was wrong, this depended by experimental errors only.

*Keywords:* Music theory, Consonances, Acoustics, Simon Stevin, Musical intervals

## 1. Introduction

The 17th century was a gold century for Dutch science in general and in particular for the theory of music, still belonging to the physical mathematical disciplines. Some skilled mathematicians wrote interesting notes about quantitative musical theories; among them: Simon Stevin (1548-1620), Isaac Beeckman (1588-1637), Dirck Rembrantszoon van Nierop (ca. 1610-1682) and Christian Huygens (1629-1695). But even René Descartes (1596-1650), who merits the inclusion among the Dutch scholars involved in music matters because his long stay in the Netherlands in the first part of the 17th century, is worthy to be considered.

Stevin does not need any introduction as a mathematician, a physicist and an engineer; less known is his role as a scholar of music. Apart from a treatise on music that would be commented later, in the Royal Library in The Hague there are some interesting Stevin's musical sheets, which would testify a not superficial knowledge of music by Stevin (Rasch 1992, p. 188).

Beeckman, a generation younger than Stevin, was possibly more involved than Stevin in music matter. His considerations about music are scattered in his diaries. Descartes is well known for his *Musicae compendium* published posthumously in 1650. He however was scarcely interested in music execution. In an arguably provocative manner, he declared that he was practically deaf in music and could not distinguish a fifth from an octave (Rasch 1992, p. 196). Van Nierop is today the less know of the group. All his scientific works are in Dutch, which partially explains is lack of notoriety today. He wrote in 1659 a musical treatise, the *Wiskonstige Musyka*.

Christian Huygens was the most sophisticated in musical matters of the Dutch mathematicians. He leaned theory and practice of music by his father, Constantijn. Though he published only a brief writing on music in 1691, the *Lettre touchant le cycle harmonique*, very interesting comments can be

found in his *Oeuvres*. Notwithstanding his musical skill, only a simple attempt at musical composition has reached us (Rasch 1992, p. 202).

## 2. The Problem of Consonance

It is an experimental matter of fact that when two notes of different frequencies are played simultaneously by keeping one  $f_1$  fixed and varying the other  $f_2$ , starting, for example, from the unison, for certain values of  $f_2$  the ear perceives a harmonious sensation of fusion of the two notes. This sensation, known as consonance, is not perceived by all people in the same way, and perception also varies from culture to culture. The empirical datum, in a mathematical physical theory such as music, is subject to mathematical modeling, which inevitably simplifies its aspects, by canceling ‘impurities’.<sup>1</sup>

In the past there have been two fundamental approaches the (neo-)Pythagorean and the Aristoxenian. In the first approach, an arithmetic one, the distance between two notes of frequencies  $f_1 < f_2$ , produced by a musical instrument for example the monochord, is measured by their ratio  $f_2 : f_1$ , which is called the musical interval between  $f_1$  and  $f_2$  (a value always greater than unity if one interprets the ratio as a fraction). Two contiguous musical intervals ( $f_2 : f_1$ ) and ( $f_3 : f_2$ ) can be added together giving rise to the interval ( $f_3 : f_1$ ). Thus, with some lexical freedom, interpreting the proportion as a fraction in modern terms, we can say that the sum of two intervals is given by their product. Subtraction between intervals is similarly defined, which instead of multiplication gives rise to division. It is assumed as an a priori assumption that consonance occurs only for intervals represented exactly by simple ratios between integers, in keeping with the Pythagorean tradition that it is the ratios between integers, the only ones possessing implicit purity, that govern the laws of the universe. Among the intervals considered unanimously among the Greeks to be consonant are the octave (2 : 1), the fifth (3 : 2) and the fourth (4 : 3), called by them respectively, diapason, diapente, diatessaron. Other intervals that were considered consonant, especially in the late period, are not considered here because Stevin does not name them.

An alternative approach to the Pythagorean approach is that proposed by Aristoxenus (fl. 350 BCE). According to this approach, a geometrical one, a musical interval is identified with a straight segment; the sum of two contiguous intervals is simply the union of the two segments, the division is their subtraction. In the evaluation of consonances, the ratio of frequencies is not referred to and whole numbers are not considered as particularly meaningful. The uncertainty that exists in determining the precise relationship between frequency values is overcome by identifying a segment to be taken as the unit of measure of the musical intervals: the tone, even better its half, the semitone. Consonances have an integer number of semitones. For example, the resonant interval of fifths is represented by a segment seven semitones long, or equivalently, three tones plus one semitone.

Of course, the different conception of intervals depends on the different ways of measuring the pitches of musical notes. Using modern concepts, it can be said that if they are measured directly by frequencies, the interval must be defined as a ratio; on the other hand, if pitches are measured by the logarithms of frequencies the intervals must be defined as a difference. The two procedures are incompatible if we admit that the same consonances, as seen by Pythagoreans and Aristoxenians, are determined by the same pairs of frequencies. Suppose we measure the frequency ratio for which the consonance occurs and let us assume that it is  $3/2$  while for a fourth it is  $4/3$ . The difference between the fifth and the fourth is  $9/8$  (the measure of a tone). Using the Pythagorean approach, we see that the

---

<sup>1</sup> It should be noted that before the 17th century instead of frequencies, a still confusing concept, people used the lengths of vibrating strings to describe pitches of notes. The description we will make below accordingly should be developed without the use of the concept of frequency. However, for the sake of simplicity and because anachronism does not bring serious consequences, we prefer to use the concept of frequency.



fifth is composed of three tones plus another quantity equal to  $256/243$ , known as a *limma*, which is less than half a tone: so, the fifth is not three half tones as it must be in Aristoxenus' theory.

The approach of Stevin is intermediate between the two; it is arithmetic in that it defines intervals by ratios like the Pythagoreans, but these ratios are not between whole numbers; they are in general irrational as is natural for numbers expressing the measure of geometric quantities. This position is justified by the conception of number as expressed in his *Arithmetique*:

Def. 11. Nombre est celà, par le quel s'explique la quantité de chascune chose (Stevin 1958. vol. 2, p. 495).

If we disregard for the moment the logical difficulties inherent in this definition, it appears very interesting. It is probably dictated by Stevin's practical spirit, whereby if you measure the various quantities of mathematical physics, weights, lengths, times, you never have whole numbers. Nor even rational numbers, at most very close approximations to them. To Stevin, therefore, it must have seemed strange that the interval of consonance, representative of a physical phenomenon, could have such an 'unnatural' value as that postulated by the Pythagoreans.

### 3. Vande spiegeling der singkonst

Stevin's contribution to music is mainly contained in a short treatise, the *Vande spiegeling der singkonst*, composed in order to teach music to prince Mauritius. It was planned as a part of the *Hypomenta mathematica*, Stevin's masterpiece. However, it was never published and remained in manuscript, which vanished soon after his death in 1620. The manuscript was rediscovered and published for the first time in 1884 (De Haan 1884).

The manuscript consists of two quite different versions, the earlier of which (version 1) was translated into English and appeared in Stevin's *Mathematical works* (Stevin 1955-1966. Vol. 5, pp. 415-466). The other version (version 2) is left in Dutch in (De Haan 1884, pp. 1-47). In the following we will consider version 1 as version 2 has largely been commented in Cohen (1987; 1984, pp. 45-74). The manuscript was sent to the organist Abraham Verheyen who, in a long letter, raised strong criticism (De Haan 1884, pp. 87-91). This would be, according to Cohen (1884, note 46, p. 265), the reason for which Stevin never published his work.

Though little is known of Stevin's musical training, from his quotations it may be deduced that his main reference was Giosefo Zarlino, whose treatise contains, among other things, relevant references to the ancient Greek music. One more reference was Andreas Papius (1552-1581), for his discussion of the consonances, in particular of the fourth. The *Vande spiegeling* is organized *more geometrico* with definitions (6), postulates (2) and theorems (1). The first definition introduced the concept of a *step*, as the interval between two consecutive notes of a musical scale:

*1st Definition.* Step is the next subsequent ascent which one rises in natural singing, of which the smaller variety is called minor step, the larger, major step (Stevin 1955b, vol. 5, p. 423).

The second definition concerns the musical scale he considers natural for singing; it is defined by the following sequence of major (t) and minor (s) steps: t-t-s-t-t-t, which corresponds to the diatonic genus, or, in modern terms, to a C-major scale. In fact, there is no objective reason why the one Stevin chose is a more natural scale, than either the enharmonic or the chromatic scale, other than the fact that it was the most widely used scale in his day.

Two definitions (5 and 6) follow that give a name to the intervals in an octave. First, the major and minor step are redefined as a whole tone and a semitone respectively, then the intervals between a

given note and a reference note are defined in the usual way. For instance, a fifth is the interval given by three whole tones and one semitone.

The definitions are followed by two postulates. The first postulate has a physical connotation, and its discussion is the only part of Stevin's treatise in which considerations about the nature of sound are made.

Postulate. We postulate that as one part of a string is to another, so is the coarseness of the sound of the one to that of the other (Stevin 1955b. Vol. 5, p. 425).

Note that the postulate's reference is not to singing, as done so far, but to the sound emitted by a vibrating string. In substance, by using modern terms and concepts, the postulate says that the pitch of a note depends on the length of the string that produces it. Actually, in Stevin's time there was no clear understanding of the concept of frequency of vibration. Stevin spoke of *coarseness* (lower pitches) and *finesses* (higher pitches), the former being greater for longer strings.

The second postulate states that all tones and semitones in a natural scale are equal.

2nd Postulate. All whole tones to be equal and likewise all semitones to be equal (Stevin 1955b. Vol. 5, p. 427).

The postulate is followed by the following table (Tab. 1) showing the value and name of the intervals contained in an octave.<sup>2</sup>

Table 1

<i>Theorem. 2)</i>		<i>Proposition</i>
As 1 is to	} So one tone to the other	
$1$ $\sqrt{(12)} 1/2$ $\sqrt{(6)} 1/2$ $\sqrt{(4)} 1/2$ $\sqrt{(3)} 1/2$ $\sqrt{(12)} 1/32$ $\sqrt{1/2}$ $\sqrt{(12)} 1/128$ $\sqrt{(3)} 1/4$ $\sqrt{(4)} 1/8$ $\sqrt{(6)} 1/32$ $\sqrt{(12)} 1/2048$ $1/2$	Selftone Semitone Whole tone One-tone-and-half Ditone Two-tone-and-half  Tritone Three-tone-and-half Four-tone Four-tone-and-half Five-tone Five-tone-and-half Six-tone	First (prime) Minor second Major second Minor third Major third Fourth {Bad major fourth or bad minor fifth Fifth Minor sixth Major sixth Minor seventh Major seventh Double-first (octave)

The table restates simply the postulate; at least this would be the impression of a modern reader. Indeed, the postulate implies that the intervals inside a musical scale makes a geometrical progression. By assuming that an interval of octave is divided into 12 semitones, as usual in music theory, the

<sup>2</sup> The way Stevin indicates intervals that is,  $(1:\sqrt[12]{1/2^n})$ , may seem strange to a modern reader who would have written,  $(\sqrt[12]{2^n}:1)$ , representing the same numerical value. But in Stevin's time, when intervals were measured by string lengths instead of frequencies, the octave was generally denoted by the ratio 1 : 2, a ratio less than 1, instead of 2 : 1, a ratio greater than 1. Stevin makes a compromise, denoting the octave by  $1/2$ , but defining the interval by a ratio greater than 1.

common ratio of the geometrical progression is given by  $(1: \sqrt[12]{1/2})$  which is also the ratio of a semitone. A whole tone is given by the ratio  $(1: \sqrt[6]{1/2}) \approx (1: 0.891)$ , a little bit lesser of the tone of the Pythagorean scale:  $(8: 9) \approx (1: 0.889)$ . The interval of fifth, defined by seven semitones is  $(1: \sqrt[12]{1/128}) \approx (1: 0.6674)$ , somewhat larger than  $(3: 2) \approx (1: 0.6667)$ .

Stevin knew for sure what a geometrical progression was, but he probably could not think very simple to find its common ratio. The table of intervals (see above) is labeled as *vertooch*, that the editor of the *Vande spiegeling* translates as *theorem*. This means that probably its deduction from the second postulate was not as trivial for Stevin as a modern may assume. For the modern reader, Stevin could have found the tone by simply performing two square and one cubic root, this was in his possibility. But he did not proceed in such a way. His starting point seems to be that a fifth has a ratio  $(1: \sqrt[12]{1/128})$ . By subtracting it from an octave  $(2: 1)$  one obtains an interval of a fourth, two tones and half,  $(1: \sqrt[12]{1/32})$ , a well-known result for a musician, which subtracted from the fifth gives a as  $(1: \sqrt[6]{1/2})$ , from which the half tone  $(1: \sqrt[12]{1/2})$  is obtained.

The text that follows the statement of the postulate is qualified by Stevin as a proof; it is divided into three sections with the following titles:

1. On ratio in general.
2. Comparison of geometrical ratio with musical ratio.
3. On the ratios of singable sounds according to the opinion of the Greeks.
4. Of the true ratios of natural tones.

In the first section Stevin criticized the concept of proportionality of Greeks, who accepted three different kinds of proportion: arithmetic, geometric, and harmonic. He maintained that this multiplicity was due to the nature of the Greek language (as well as most of modern languages), because it does not allow for a clear idea of the concept of proportion. The Dutch language is more precise because its words are composed in such a way as to make it easy to understand their meaning. And *proportion* is rendered as equal ratio (*everedenheyt*), which makes it possible to exclude arithmetic and geometric proportions from the list of proportions, leaving only geometric proportions.

In the third section Stevin stated that the choice of the value for the intervals of consonances according to the Greeks is arbitrary and approximate. For instance, the fifth is only approximated by the ratio  $(3: 2)$ ; its correct value is instead  $(1: \sqrt[12]{1/128}) = (1.498:1)$ . The error is due to the difficulty of the human ear in appreciating the exact ratio: “And although the Ancients perceived this fact, nevertheless they took this division to be correct and perfect, and preferred to think that the defect was in our singing, (as if one should say: the sun may lie, but the clock cannot)” (Stevin 1955b, vol. 5, pp. 431-433).

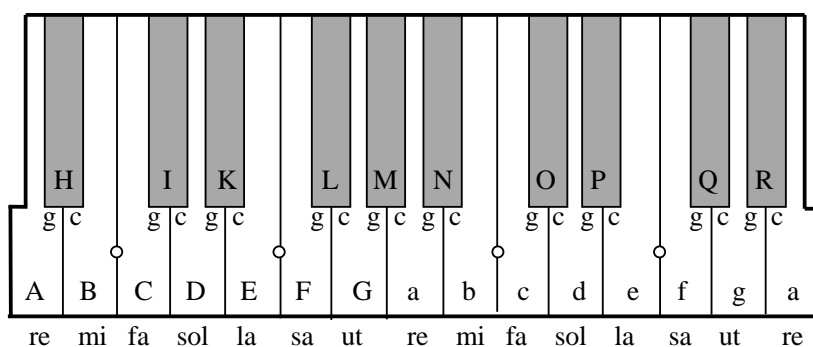


Fig. 1. Stevin's keyboard

The last section tried to prove the postulate 2 by performing a simple experiment. It consists in tuning a keyboard, a harpsichord or an organ for instance. With reference to the keyboard in Fig. 1, assume to choose the key F as the starting note in the tuning procedure. Then tune one of the keys  $H_i$  (A, B, C, ...)  $i = 1, 2, \dots, 11$ ,  $H_1$  for instance, such that  $H_1F$  makes an interval of a fifth. From  $H_1$  find another key  $H_2$  such that  $H_1 H_2$  makes a fifth. Continue in this way for 11 times to reach the key  $H_{11}$ , pay attention that if a key would be maintained inside the octave by raising or lowering this interval by one octave.

After the 11 cycles, Stevin carried out his experiment by playing the two keys F and  $H_{11}$ . According to him, he obtained an interval of fifth:

This being so, experience shows that Hand F make a perfect fifth, and although this is considered a common and certain rule by all those who are skilled in this matter, yet to convince those who should doubt it I thought fit to use the authority of ... (Stevin 1955b, vol. 5, p. 437)

With this result, by using reduction to the absurd, Stevin can prove that all the semitones, and consequently the tones, are equal.

Before commenting on his procedure, some incongruences should be evidenced. First, Stevin stated, here and there in his treatise, that the true measure of a fifth is not 3: 2 but  $1: \sqrt[12]{1/128}$ . One could imagine that starting from this assumption, a postulate indeed, he could prove the equality of the semitones. Actually, he never used this assumption, but rather proved it. Secondly, it must be said it is not true that all who are skilled in music would accept that a cycle of 12 fifths closes. Indeed, by assuming for a fifth the generally accepted value of (3 : 2), 12 cycles of fifths, starting from  $F = 1$ , gives a ratio of 1.0136, greater than 1. This means that playing  $H_{11}$  and F, an interval shorter than a fifth is obtained; this interval is called *wolf fifth* and is highly dissonant. The difference between a fifth and a *wolf fifth* is known as a *Pythagorean comma*.

Let now come back to the experiment. There is a problem here. Indeed, Stevin did not specify how he tuned his keyboard in practice, that is how he recognized fifths and octaves. There is no evidence in the musical writings by Stevin that his ear could be so good to allow him tuning simply by ear; but he could have had help from an experienced musician.

#### 4. Criticisms to Stevin's Approach

Stevin's position at first glance seems reasonable. Indeed, there is no reason why consonant intervals should be given by simple ratios between integers. The thesis that an octave is made up of 12 equal semitones is fascinating, and is the same result obtained by Aristoxenus' geometric approach. But equally it cannot be proved at the rational level.

The objections that a scholar just after Stevin, or even contemporary, could make to his position were many:

1. Stevin contradictorily argued that experience, because of the imperfection of the human ear, cannot distinguish, for example, whether a fifth is defined by the ratio (3:2); however, then he believed that with the experience of tuning the organ it could be shown that the fifth is indeed  $(1: \sqrt[12]{1/128})$ .
2. Basically, the totality of musicians considered an interval expressed by the proportion between whole numbers to be more consonant. In this case, the thesis of subjectivity of sensations fails because there is a concordance among multiple listeners. One could, however, argue the thesis of cultural dependence, that is, musicians are so used to being told that consonance is 3:2 that they come to believe it even if it is not true.

3. Already in Stevin's time, or shortly thereafter, there were objective criteria, theoretical or experimental, for judging a consonance and they all leaned in favor of the Pythagorean thesis. Benedetti, whom Stevin most likely did not know, had developed a theory of consonance based on concordance, the same as Galileo's and Beeckman's, and the theory of concordance explains consonance by ratio of simple integer number, and thus rejects Stevin's thesis. While it is true that the theory of concordance is only a theory, it is very convincing by having a mechanistic basis. There was also an experimental method that could be pursued without any musical skill in tuning musical instruments, which is therefore independent of the sensitivity of the human ear. The method is based on the phenomenon of beats. When two notes whose frequencies are close to a consonance are played, a phenomenon occurs whereby the amplitude of the sound increases and decreases periodically; this phenomenon is known as beats. In the absence of beats, a better consonance is noticed than when there are beats. Experience conducted, for example, with the organ, whose pipe emits sounds that last long enough, shows that the absence of beats occurs when the frequency of the two notes is in simple ratios.

One could certainly rebut all these objections, but this would be meaningless since there are no equally stringent arguments to justify Stevin's thesis. If he had an oscilloscope fed with two sinusoidal signals, he would have seen that something extraordinary happens only when the frequencies of the two signals stand in simple ratios. Thus, the seemingly implausible Pythagorean thesis that physical phenomena are describable through of integers, in this case works.

## 5. Conclusions

The *Vande spiegeling* is certainly an interesting work and could have provided much stimulation for quantitative music theorists at a time when traditional intonation was entering a crisis. But it did not. Stevin's work was in fact read by few, as far as it is known perhaps only by Beeckman and Huygens, partly because it was written in Dutch. And those few who did read it gave an unflattering assessment. Beeckman in a letter to Mersenne October 1, 1629, wrote that he had initially embraced Stevin's ideas and then rejected them because contrary to his theory of concordance (Beeckman (1939-1953), vol. 4, p. 157). Huygens, who was the last person to read *Vande spiegeling* before it disappeared, expressed harsh criticism of the theory of irrational consonant intervals: "And those who dared [...] that the 5 does not consist of the ratio 3 : 2, either do not have an ear able to judging or they believe to have a good reason for that; but they conclude wrongly" (Huygens 1888-1950, vol. 20, p. 32).

Thus Stevin in fact made no substantial contribution to the history of music at least until 1884, when his work was published by De Haan. Since then, some historians have wanted to see Stevin as a forerunner of uniform temperament and the first to have provided accurate value for the intervals that define it. This judgment, as extensively documented by Cohen (1987) is fundamentally incorrect since Stevin's problem was that of the exact value of consonance and not its best approximation, which was the purpose of a temperament. One also wants to see an influence of Stevin on Schoenberg's dodecaphonic music, but this is maybe too a forced judgment (Devreese & Berghe 2008, p. 257).

## Bibliography

- Beeckman, I. (1939-1953). *Journal tenu par Isaac Beeckman de 1604 à 1634* (4 vols). The Haye: Nijhoff.
- Cohen, H.F. (1984). *Quantifying music*. Dordrecht: Reidel.
- Cohen, D.F. (1987). "Simon Stevin's equal division of the octave", *Annals of Science*, 44(5), pp. 471-488.

- Cohen, H.F. & Kursel, J. (2020). "Simon Stevin's music theory revisited: a dialogue", in Davids, C.A. et al. (eds.) *Rethinking Stevin, Stevin rethinking. Constructions of a Dutch polymath*. Leiden: Brill, pp. 252-272.
- De Haan, D.B. (1884). *Simon Stevin, Vande spiegeling der singkonst et Vande molens. Deux traité inédits*. Amsterdam: De Haan.
- Devreese, J.T. & Berghe, G.V. (2008). 'Magic is no magic' *The wonderful world of Simon Stevin*. Southampton: Witpress.
- Dijksterhuis, E.J. (1970). "Stevin and the Dutch language", in Dijksterhuis, E.J. (ed.) *Simon Stevin: science in the Netherlands around 1600*. The Hague: Nijhoff, Chapter 13.
- Huygens, C. (1888-1950). *Oeuvres complètes de Christiaan Huygens* (22 vols). The Haye: Nijhoff.
- Malina, J. (2010). "Amateur and pioneer: Simon Stevin (ca. 1548--1620) about music theory", in Hart, G.W. & Sarhang, R. (eds.) *Proceedings of bridges 2010: Mathematics, music, art, architecture, culture*. Phoenix, Arizona.
- Stevin, S. (1958). "L'artimétique", in Struik, D.I. (ed.) *The principal works of Simon Stevin*. Amsterdam: Swets & Zeitlinger, vol. 2, pp. 457-746.
- Stevin, S. (1884). *Vande spiegeling der singkonst. Edited by De Haan D.B.* Amsterdam: no publisher.
- Stevin, S. (1955-1966). *The principal works of Simon Stevin. Eds. Crone [et al]* (5 vols). Amsterdam: Swets & Zeitlinger.
- Rasch, R.A. (1992). "Six seventeenth-century Dutch scientists and their knowledge of music", in Coelho, V. (ed.) *Music and science in the age of Galileo*. Dordrecht: Springer, pp. 185-210.

# ***The Assayer Assayed\****

John Heilbron<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of California, Berkeley

*Abstract:* Galileo's *Saggiatore* has the reputation of a pioneering work in the methodology of science. It no doubt contains scattered remarks that, when assembled, support an alternative to the school philosophy as taught in Jesuit colleges. Most of the book, however, is devoted not to promoting a new methodology but to obfuscating what little science it presents. It was a clever, tedious, unfair, inconclusive polemic in an argument of interest primarily to a narrow circle of Roman savants and literary men who liked clever word play and disliked the Jesuits. I shall try to explain why Galileo wrote in this way and to locate where, in its literary history, the *Saggiatore* gained the reputation it now bears and may deserve.

\* This keynote lecture of the XLIII SISFA Congress was the last public speech given by Prof. John L. Heilbron (1934-2023). The lecture is available on the SISFA YouTube channel, at this link: [www.youtube.com/watch?v=L13T4ERlsc0](http://www.youtube.com/watch?v=L13T4ERlsc0)

# Galileo «Makeshift Theologian»? A few Remarks on Augustine and Galileo's Biblical Exegesis

Stefano Gattei<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Sociologia e Ricerca Sociale, Università di Trento, stefano.gattei@unitn.it

*Abstract:* First with an implicit reference, in his letter to Benedetto Castelli (December 21, 1613), and later with several explicit references, in his letter to Christina of Lorraine (spring-summer 1615), Galileo made his ultimate attempts to prevent the condemnation of Copernicus's *De revolutionibus*, arguing for its compatibility with the Scriptures, as well as for the freedom and autonomy of science. He did so by appealing to substantial passages from Augustine, which he carefully chose and even more carefully employed.

That Galileo, himself not a theologian, managed to understand the problem and rapidly advance a solution – one which is currently endorsed by the Church itself – is nothing short of amazing, and cannot but raise questions about the path he might have followed.

A careful perusal of Augustine's texts and the exchanges Galileo had with friends, disciples, and colleagues, suggests a different reading from the received one. Galileo was not driven, in a short time, «to instrumentally wear clothes that were not his, to become a makeshift theologian». Quite the contrary, his words were far from improvised, thrown together in haste, rhapsodically appealing to quotes that were made available to him by friends and acquaintances who knew the subject better than he did. Rather, they were the outcome of autonomous deliberations, which only later did he develop in dialogue with others. We may argue this, based on a famous expression of Galileo's, a loan from a Latin expression from Augustine's *De Genesi ad litteram*, to which I call attention in the present paper.



# The Origin of Galileo's New Science in a Challenging Problem

Jochen Büttner<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Max Planck Institute for the History of Science (MPIWG) - Berlin, buettner@mpiwg-berlin.mpg.de

*Abstract:* In *The Assayer* Galileo Galilei famously proclaimed that the book of nature is written in the language of mathematics. However, little support for this bold claim could be found in his own published works until that time. Indeed, it would take another fifteen years before the publication of the *Discorsi*, in which he convincingly demonstrated how a mathematical theory of motion could be established using “triangles, circles, and other geometric figures”. Based on a close reading of Galileo's “Notes on Motion”, I will demonstrate that the foundation for this new theory of motion had been laid long before the *Assayer*, with its general remarks on scientific methodology, was published. The emergence of the new science was indeed driven not so much by a new methodology but rather by a very specific, mathematically challenging problem - the motion of a pendulum in relation to that of balls rolling down inclined planes.

# Atoms of Fire: Galileo's Unachieved Theory of Heat and the Early Beginnings of Thermometry (c. 1603-1638)

Stefano Salvia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Pisa, s.salvia7@gmail.com

*Abstract:* Galileo never developed a systematic theory of heat, nor of the atomic structure of matter. All we know about can be derived from his correspondence with Giovan Francesco Sagredo (1612-1615), from *Il Saggiatore* (1623), from Benedetto Castelli's letter to Ferdinando Cesarini (1638), and from Vincenzo Viviani's *Racconto storico* (1654). The limits and unresolved issues of Galilean atomism have already been discussed by scholars. My paper is focused on Galileo's mechanistic-corpuscular account of heat and related phenomena as effects produced by subtle, sharp, and mobile *minima* of fire penetrating the inter-atomic *vacua* of material substances. The hypothesis was not original, the connection between heat and motion at microscopic level belonging to the tradition of ancient and early-modern corpuscularianism. Galileo's specific contribution is to be found in his indirect quantification of heat released or acquired by a material body, given the impossibility of a direct method to measure the amount of fire corpuscles emitted or absorbed. Such an attempt exposed Galileo to challenging objections from his contemporaries: if hot bodies did not seem to be heavier than cold ones, heat must not be identified with fire itself, but with the effects of igneous atoms streaming through larger particles. The conceptual shift towards studying the action of fire on material bodies in terms of measuring their temperature, by means of the already-known phenomenon of thermal dilatation, was the key step leading to Galileo's thermoscope (c. 1603) and to its first medical application as graduated (proto-)thermometer by Sanctorius in the 1610s.

GIULIANO ROMANO  
ONE HUNDRED YEARS AFTER HIS BIRTH  
AND TEN YEARS AFTER HIS DEATH



# Le più importanti ricerche astronomiche di Giuliano Romano a Padova

Gabriele Umbriaco<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Fisica e Astronomia “Augusto Righi” - Alma Mater Studiorum Università di Bologna, gabriele.umbriaco@unibo.it

<sup>2</sup> Dipartimento di Fisica e Astronomia “Galileo Galilei”, Università degli Studi di Padova

*Abstract:* I will review Giuliano Romano’s research activities within the academic realm at the University of Padua. Giuliano Romano graduated in Mathematics from the University of Padua in 1950 with a thesis entitled “Sui problemi statistici ed evolutivi delle stelle doppie (On the statistical and evolutionary problems of binary stars)”. Immediately after, he began collaborating with the Padua Astronomical Observatory and the Asiago Astrophysical Observatory, which was equipped with a 1.22m telescope. He later conducted research campaigns using the new telescopes at Asiago, including the wide-field Schmidt telescope and the 1.82m telescope. At the University, he became a lecturer in Astrophysics at the Institute of Astronomy, then appointed as an Associate Professor of Cosmology, and became a Professor of the History of Astronomy. His studies, conducted through astrophotographic observations, allowed him to discover hundreds of variable stars. The variable star he discovered in the spiral galaxy M33, known as GR290, is still studied and referred to as Romano’s Star. In 1952, he discovered the binary star system EE Cephei, which has been the subject of numerous modern observational surveys worldwide. He was the first Italian to discover an extragalactic supernova in the galaxy M84 on 1957, and later replicated the discovery of another supernova on 1961, in the galaxy NGC4564. The new telescopes at Asiago allowed him to expand his studies on active galactic nuclei such as BL Lac objects, the variability of Quasi Stellar Objects (Quasars), discover new galaxies, and study the variability of extragalactic objects.

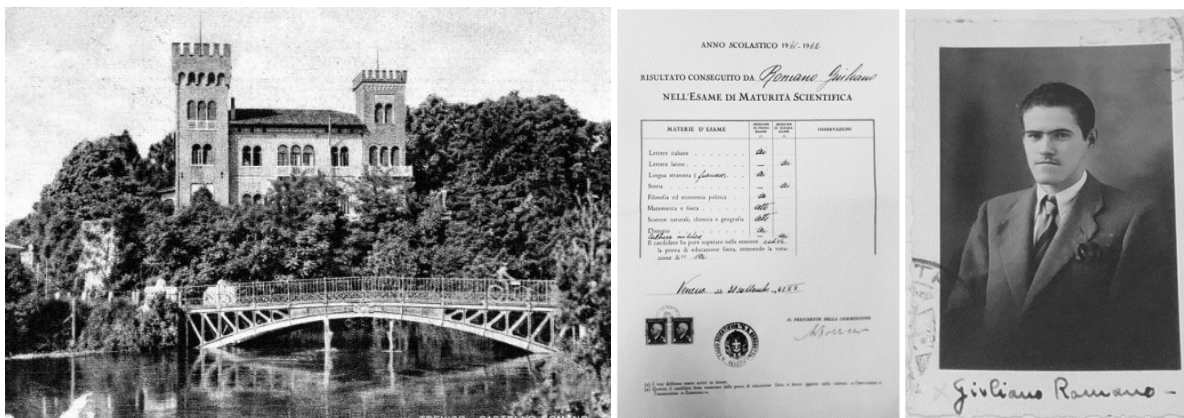
*Keywords:* Astronomy, Physics, Heritage

## 1. Anni iniziali e l’educazione di Giuliano Romano

Giuliano Romano nacque e visse a Treviso, in un ambiente ricco di cultura scientifica. La villa di fine ’800 - inizio ’900 dove visse fin da bambino era conosciuta come “il Castello Romano” (Frigo 2005), disegnato dal nonno Fortunato e costruito dal padre Antonio su un bastione delle mura di Treviso. Aveva le sembianze di un castello con due torri, arredato all’interno con pavimenti dei primi del ’900, affreschi di Molossi e statue di Feltrin, ricco di oggetti di collezione e decorazioni d’epoca.

Fu uno dei primi studenti del primo anno del nuovo liceo scientifico del Collegio Pio X di Treviso, “l’inizio di un’avventura di allievo che affrontava uno studio nuovo” (Romano 1982). Non essendo un liceo parificato, dovette sostenere la prova di maturità al Regio Liceo Scientifico ‘G.B. Benedetti’, nella ex Chiesa di Santa Giustina, di Venezia, il 10 settembre 1942, portando tutte le materie e sostenendo severi esami a salvaguardia della serietà degli studi e dell’accesso all’università (Dal Passo & Laurenti 2017). Per questo motivo quasi tutti passavano con la sufficienza, e per Giuliano troviamo anche un sette sia in Matematica e Fisica che in Scienze Naturali, Chimica e Geografia. Gli anni sono quelli della Riforma Gentile che si nota nell’aggiunta a mano, sulla pagella, del voto in Cultura Militare. L’anno della sua maturità è anche quello dell’iscrizione all’Università ma è indubbio che Giuliano sia venuto a conoscenza che in quello stesso anno si inaugurava anche l’Osservatorio Astrofisico di Asiago, grazie alle cronache e alla grande campagna mediatica nazionale legata alle

Celebrazioni Galileiane, che celebravano il nuovo strumento come il più grande telescopio italiano ed europeo dedicato all'astrofisica. Dal 1943 al 1944 frequenta i primi due anni del corso di Laurea in Fisica all'Università di Padova. Dal 1944 al 1946 interrompe gli studi a causa della Guerra; va ricordato il bombardamento che colpì Treviso il 7 aprile 1944 e la liberazione della città il 29 aprile del 1945. Nel 1946 ritorna all'Università ma cambiando corso di studi ed iscrivendosi a Matematica Pura.



**Fig. 1, sinistra:** cartolina del Castello Romano, 1957 (collezione privata G. Umbrico); **destra:** pagella di Maturità Scientifica e fototessera del libretto universitario (Ufficio Gestione documentale, Settore Archivio di Ateneo, Università di Padova).

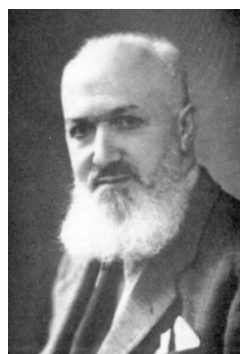
Gli esami universitari (vedi Tab. 1) sono tenuti da professori di alto livello tra cui:

- Annibale Comessatti, “uno dei geometri italiani più originali del secolo XX” (Baldini 2015);
- Gian Domenico Mattioli, che lavorò sui sistemi binari e fu assistente di Ernesto Laura, un accademico che diede un notevole contributo alla sistemazione e allo sviluppo di importanti capitoli di Fisica Matematica;
- Angelo Tonolo, allievo di Tullio Levi-Civita e collega di Ernesto Laura, il quale si occupava di equazioni differenziali della fisica matematica, di metodi analitici e geometrici applicati alla meccanica classica e alla fisica matematica;
- Ugo Morin, allievo di Comessatti, che fu un “ricercatore brillante ed originale, dotato d’intuito geometrico finissimo” (Predonzan 2001);
- Antonio Rostagni che svolse importanti studi e notevoli ricerche riguardanti la fisica nucleare, la fisica terrestre, le onde elettromagnetiche, la radiazione cosmica, la fisica dei plasm e l’interazione luce-materia;
- Giuseppe Colombo conosciuto per le sue notevoli ricerche in ambito spaziale;
- Ettore Leonida Martin, che fu anche Direttore dell’Osservatorio di Trieste e si occupava di astronomia teorica e osservativa e meccanica celeste;
- Giovanni Silva, direttore dell’Osservatorio Astronomico di Padova, compì studi originali di astronomia geodetica, gravimetria e fotometria e fu il fautore dell’Osservatorio Astrofisico di Asiago. Durante il corso di geodesia da lui tenuto, Giuliano Romano imparò ad usare con maestria il teodolite;
- Nicolò Dallaporta svolse studi sui raggi cosmici, ricerche teoriche di astrofisica e cosmologia.

Va ricordato che questi professori hanno senza dubbio trasmesso il rigore scientifico che ritroviamo pochi anni dopo in Giuliano Romano, e tra questi Ettore Martin che più deve aver ispirato Romano, avendolo scelto come relatore di tesi.

**Tabella 1:** Libretto universitario di Giuliano Romano

<b>Materia</b>	<b>Voto</b>	<b>Professore</b>
<b>Fondamentali</b>		
Analisi Algebrica	19	Tonolo
Analisi Infinitesimale	19	
Geometria Analitica	28	Comessatti
Geometri Descrittiva	23	Mattioli
Analisi Superiore	19	Tonolo
Geometria Superiore	24	Morin
Meccanica razionale con elementi di statistica grafica e disegno	20	
Fisica sperimentale (biennale)	18	Rostagni
Fisica matematica	21	Colombo
Chimica generale	20	Sandanini
Esercitazioni di fisica I	22	Rostagni
Esercitazioni di fisica II	25	Rostagni
<b>Complementari</b>		
Meccanica superiore	30	Martin
Astronomia	28	Silva
Geodesia	28	Silva
Fisica teorica	<i>Frequentato ma non svolto</i>	Dallaporta

**Fig. 2.** Ettore Leonida Martin (1890-1966).

Martin, infatti, oltre ad essere un costante osservatore notturno era anche particolarmente dedito allo studio delle stelle variabili e aveva una predilezione per l'incoraggiamento degli astrofili italiani che allora cominciavano ad affermarsi in modo promettente in varie città del Veneto e dell'Emilia (Zagar 1968).

Giuliano Romano conduceva già dalla sua Treviso osservazioni astronomiche come astrofilo sin da prima della laurea; una volta allievo di Martin, quest'ultimo gli passò le richieste di aiuto osservativo che giungevano da Marino Perissinotto, il quale divenne poi negli anni assiduo aiutante di Romano, fino a lavorare con lui alle campagne di osservazione ai telescopi Schmidt dell'Osservatorio Astrofisico di Asiago proprio sulle stelle variabili (Campaner 2018).

## 2. La tesi di laurea

Giuliano Romano dovette presentare due tesine prima di produrre l'elaborato finale di laurea. La prima verteva su "Il problema di Dirichlet per la sfera" e aveva come relatore il Prof. Ernesto Laura, uno studioso ricordato come un "Un Maestro che trattava gli studenti con l'affetto di un Padre" (Grioli 1950). La seconda tesina era invece sulle "Modifiche del metodo di Gauss per i calcoli d'orbita" e aveva come relatore il già citato Prof. Giovanni Silva.

La tesi finale, svolta sotto la supervisione del Prof. Ettore Leonida Martin, cambiò titolo da: "Applicazione alle stelle doppie del problema dei due corpi di masse variabili" a "Sui problemi statistici ed evolutivi delle stelle doppie" e in sintesi si occupava dello studio delle stelle variabili. Essa era costituita da 76 pagine suddivise nel modo seguente:

### ***Leggi Statistiche***

- Leggi delle masse: sulla correlazione tra la distanza delle componenti nei sistemi binari e le loro masse passando dai sistemi binari visuali a quelli spettroscopici.
- Legge dell'eccentricità: l'eccentricità dell'orbita nei sistemi binari aumenta con il periodo di rivoluzione e tende ad essere maggiore in sistemi con un minore rapporto di massa tra le componenti.
- Legge dei tipi spettrali: nei sistemi binari, il tipo spettrale del compagno è generalmente più giovane nei giganti e più vecchio nelle nane; se le masse sono uguali, anche i tipi spettrali saranno identici, correlati alla temperatura e al colore; le doppie visuali appartengono alla sequenza principale e sono locali, con tipi spettrali da A a G conformemente alle leggi di Russel su massa e densità.

### ***Formazione dei Sistemi Binari***

- Ipotesi di cattura: basata sulla probabilità di incontro tra due stelle e sul momento angolare conservato, si stima che una cattura avvenga ogni 250 anni, con solo il 5% delle stelle che formano sistemi binari.
- Ipotesi della scissione: secondo il principio di conservazione del momento angolare, una stella in rapida rotazione potrebbe scindersi, formando un sistema binario.
- Ipotesi planetesimale: proposta da Moulton, suggerisce che i sistemi multipli possano formarsi a partire dai planetesimi.

### ***Classificazione dei Sistemi Binari***

Svolge nel dettaglio la classificazione al suo tempo accettata per i sistemi binari:

- 61 Cyg: sistema di stelle distanziate con un periodo molto lungo (da un anno a molti secoli).
- $\alpha$  Centauri: sistema di stelle simili con periodi che vanno da un anno a un secolo.
- Sirio: sistema con una grande differenza di magnitudine tra le componenti e un compagno di tipo nana bianca.
- $\alpha$  Aurigae (Capella): sistema spettroscopico le cui componenti possono essere separate interferometricamente.
- Spettroscopiche: sistemi che mostrano lo spettro di una o entrambe le componenti.
- Spettrofotometriche: sistemi classificati in base alle loro caratteristiche spettrofotometriche.
- Fotometriche (variabili ad eclisse): sistemi in cui le stelle si eclissano periodicamente, come Algol (eclisse parziale), U Cephei (eclissi anulare e totale) e Beta Lyrae (con variazioni continue, sistema con protuberanze fotosferiche e un anello nebulare).

Nella seconda parte della tesi Romano si addentra nello studio della dinamica dei sistemi binari, studiando in particolare:

- l'esame dell'eccentricità orbitale e della sua relazione con la variazione di massa, che influisce sulla forma e sulla dimensione delle orbite, portando a diverse configurazioni orbitali come spirali ellittiche o iperboliche;
- la discussione sull'impatto della perdita di massa sugli elementi orbitali dei sistemi binari, dove con la diminuzione della massa, l'orbita assume la forma di una spirale logaritmica e la stella secondaria occupa uno dei due vertici minori dell'orbita;
- una considerazione su come queste modifiche possano non allinearsi completamente con i movimenti orbitali osservati quando si prendono in considerazione le leggi di irraggiamento, in particolare nei sistemi fotometrici dove le orbite sono generalmente circolari;
- una revisione delle implicazioni della legge di perdita di massa di Eddington, che correla la



diminuzione della massa con la radiazione, e le sue implicazioni per l'evoluzione dei sistemi di stelle doppie;

- una recensione delle implicazioni di queste osservazioni teoriche per la durata della vita dei sistemi binari e la distribuzione statistica delle eccentricità orbitali e delle forze;
- una conclusione che illustra come né la teoria dell'origine per cattura né la teoria della scissione sono pienamente supportate dalla distribuzione attuale di eccentricità e dimensioni orbitali nei sistemi giovani, suggerendo che la legge di massa potrebbe dover essere rivista per accomodare i fenomeni osservati.

Trattò poi il calcolo dell'orbita per vari tipi di sistemi doppi (visuali, spettroscopiche, fotometriche), appoggiandosi ai fondamenti del problema dei due corpi di masse variabili sviluppato da Armellini, Riccati, Levi-Civita, Mattioli, Gialanella e Zagar. Questo problema applicato ai sistemi doppi evidenziava come le variazioni di massa per irraggiamento influenzino l'orbita binaria, e in questo ambito riassunse i lavori di Martin. La variazione di massa e il suo effetto sull'orbita delle stelle doppie sono centrali nella comprensione dell'evoluzione stellare. Il lavoro studia come la massa influisce sulle traiettorie orbitali, con particolare attenzione alle leggi di irraggiamento e alla relazione tra la diminuzione di massa e la radiazione. Viene esplorato il comportamento delle orbite in differenti condizioni, come ad esempio il caso in cui la massa varia e il moto avviene a distanze fisse dal centro e quando l'eccentricità dell'orbita rimane costante. Sono presentati calcoli specifici per sistemi in cui le masse delle componenti sono costanti o variabili, e si discute delle implicazioni per i sistemi binari in termini di forma dell'orbita e della sua dimensione. Romano sottolinea che le teorie evolutive delle stelle doppie devono tenere conto delle distribuzioni casuali delle forze e delle eccentricità osservate, sfidando le conclusioni attuali e suggerendo che le leggi di massa potrebbero richiedere un esame più approfondito o una riformulazione per spiegare adeguatamente i fenomeni osservati.

Romano ritiene quindi che una spiegazione plausibile sia cambiare la legge di massa. Viene quindi introdotto un termine aggiuntivo nella legge di massa che tiene conto dell'effetto del periastro, ovvero il punto dell'orbita più vicino al centro di massa del sistema. L'effetto del periastro è modellato attraverso un approccio che considera la radiazione ( $L$ ) proporzionale al prodotto della massa per una costante ( $h$ ), con la costante  $h$  variabile a seconda della massa della stella. Romano utilizza questa relazione per dedurre una nuova formula che esprima la variazione di massa durante un intero periodo orbitale, tenendo conto dell'effetto del periastro.

Questa nuova formula aiuta a spiegare le osservazioni che non sono compatibili con le orbite rilevate, in particolare nei sistemi fotometrici dove l'orbita è generalmente circolare. Con questa aggiunta, Romano tenta di conciliare la teoria con le osservazioni reali, suggerendo che le leggi di massa potrebbero necessitare di revisioni per riflettere più accuratamente i fenomeni osservati nei sistemi di stelle doppie. Giuliano Romano conseguì la laurea il 22 marzo 1949 con votazione 90/110.

### **3. L'insegnamento a Treviso**

Già nell'anno accademico 1948-1949 Giuliano insegnò all'Istituto Tecnico Pareggiato Riccati, che miracolosamente non era stato distrutto dai terribili bombardamenti di Treviso, ma solo danneggiato dagli spostamenti d'aria dovuti alle esplosioni. L'anno dopo si incontrò casualmente con Mons. Antonio Meneghetti, fondatore e rettore del Collegio Pio X, diventato suo amico. Romano si sentì richiamato dall'ambiente tranquillo e sereno del Collegio dove era cresciuto pochi anni prima. Diventò quindi docente di matematica e fisica, iniziando l'interazione con gli studenti timidamente intimorito dall'insegnamento ma spronato dal far loro da guida più come amico che maestro. Rimase insegnante al Collegio Pio X fino al pensionamento, svolgendo parallelamente la sua attività di ricerca scientifica. Ancor oggi gli ex studenti del Collegio Pio X lo ricordano con affetto e a lui è intitolato un premio per i migliori studenti di ogni anno.

#### 4. La carriera accademica

Il percorso professionale di Giuliano Romano evidenzia le seguenti pietre miliari nella sua carriera accademica:

- nel 1952, dopo un soggiorno a Loiano sotto la direzione di Guido Horn D'Arturo, diventò idoneo come assistente alla cattedra di Astronomia presso l'Università di Bologna;
- nel 1954, diventò Assistente straordinario alla cattedra di Astronomia all'Università di Padova, un titolo che gli permise di svolgere ricerca con i mezzi dell'Istituto di Astronomia e di essere a disposizione sia a Padova che ad Asiago. Questo incarico fu permesso dal fatto che Giuseppe Mannino, che era in precedenza aiuto di ruolo ad Asiago, superò il concorso di ricercatore al CNR, lasciando quindi libero il posto di Asiago;
- dal 1954 al 1961 lavorò come assistente volontario alla cattedra di Astronomia di Padova;
- tra il 1961 e il 1967 fu assistente straordinario alla cattedra di Astronomia;
- nel 1962 divenne cultore della materia in Cosmologia ed assunse il ruolo di Professore incaricato di Cosmologia – primo docente di cosmologia dell'Ateneo patavino – in più corsi di laurea, dal 1962 al 1983: dal 1962 al 1967, come insegnamento complementare per la laurea in Fisica; dal 1967 al 1971 come esame complementare alla laurea di Matematica; dal 1971 al 1983 come insegnamento complementare alla laurea in Astronomia, sdoppiando l'insegnamento con il Prof. Alfonso Cavaliere chiamato all'Ateneo di Padova dal 1976 al 1979. Nel 1976 fu infine stabilizzato;
- tra il 1967 e il 1969 ricoprì anche la carica di assistente di ruolo alla cattedra di Astronomia, dalla quale si dimise volontariamente nel 1969, per motivi personali;
- nel 1971 ottenne il titolo abilitativo di Libero docente in Astrofisica, che gli consentì di impartire insegnamenti a livello privato presso università e istituti di istruzione superiore, ritagliandosi così maggior tempo per l'attività didattica e di ricerca;
- nel 1980 fu confermato Professore associato di Storia dell'astronomia, primo corso di questo tipo, aperto anche per dare un profilo professionalizzante agli studenti che aspiravano alla missione dell'insegnamento;
- dal 1982 al 1995 proseguì l'insegnamento di Storia dell'astronomia per la laurea in Astronomia.

È indubbio che il suo curriculum riflette una carriera accademica prolifica e diversificata, con un *focus* particolare sulla cosmologia e sulla storia dell'astronomia, discipline che lo portarono a contribuire in modo significativo anche in campi interdisciplinari della scienza astronomica, come ad esempio l'archeoastronomia.

#### 5. I corsi universitari di Cosmologia e Storia dell'astronomia

Romano fu il primo docente a organizzare un corso di Cosmologia all'Università di Padova; il programma del 1964 proponeva due distinte sezioni. Durante la prima parte del corso, egli guidava gli studenti attraverso un'analisi approfondita delle galassie, affrontando temi come la loro classificazione e le metodologie per determinare distanze e diametri. Inoltre, si focalizzava sui processi di rotazione delle galassie, sul calcolo delle loro masse e luminosità e sulla funzione di luminosità, strumento essenziale per descrivere la distribuzione della luminosità galattica. Romano non mancava di esaminare le dinamiche delle interazioni galattiche, la nascita di sistemi multi-galattici e la composizione degli ammassi galattici. Lo studio si ampliava all'analisi dello spettro galattico, mettendo in evidenza la rilevanza del redshift e dell'effetto Hubble-Humason come testimonianze dell'espansione dell'universo. Nel corso si trattavano anche le necessarie correzioni di magnitudine dovute all'effetto Hubble, esplorando le relazioni tra redshift, magnitudine e distanza, e si discuteva

l'importanza del parametro di Hubble e il ruolo cruciale delle radiogalassie e della radioastronomia nell'indagine delle galassie e nelle questioni cosmologiche. Proseguendo con la seconda parte del corso, Romano apriva la discussione verso le teorie cosmologiche, partendo dal paradosso di Olbers, una riflessione sull'apparente oscurità del cielo notturno. Passando poi alle cosmologie relativistiche e newtoniane, esplorava le teorie dell'universo stazionario. Concludendo il corso, Romano sottolineava l'essenzialità del confronto tra osservazioni empiriche e teorie cosmologiche, evidenziando come solo attraverso l'osservazione fosse possibile verificare o smentire le ipotesi e i modelli proposti sull'universo e sulla sua evoluzione.

Il corso di Storia dell'astronomia, anch'esso il primo mai attivato nell'ateneo di Padova, era strutturato in maniera tale da esplorare in profondità l'astronomia nelle sue diverse forme storiche e teoriche. Si iniziava con un'immersione nell'astronomia ciclica, dove gli studenti esaminavano l'archeoastronomia tanto dell'Europa quanto dell'America, cogliendo come le antiche civiltà abbiano integrato i fenomeni celesti nella propria vita culturale e spirituale. Proseguendo, ci si addentrava nelle cosmologie mitiche, per comprendere come i racconti e le osservazioni celesti si intrecciavano nei miti antichi. Successivamente, il corso si spostava verso l'astronomia geometrica, dove il *focus* era sul cosiddetto "miracolo greco". Qui gli studenti analizzavano i primi modelli astronomici proposti dalla Grecia antica e osservavano l'evoluzione di questi sistemi attraverso i contributi di figure come Ipparco e Tolomeo. Il viaggio storico continuava attraverso l'epoca medievale, con un'analisi dell'influenza degli astronomi arabi, per poi giungere al Rinascimento, periodo in cui il corso esplorava come Copernico, Tycho Brahe, Keplero e Galileo ridefinirono le fondamenta dell'astronomia. Dopo aver attraversato l'epoca che va da Galileo a Newton, il corso si concentrava sull'astronomia fisica. Romano guidava gli studenti attraverso le scoperte di Newton relative alla misura della terra e alle distanze celesti. Veniva quindi esplorata la storia della meccanica celeste e del concetto di Galassia, fino ad arrivare alla cosmologia moderna. Il corso si concludeva con una riflessione sulle questioni metodologiche ed epistemologiche, stimolando gli studenti a riflettere su come l'astronomia, attraverso la sua storia, ha affrontato le sfide della misurazione e interpretazione dell'universo.

## 6. La ricerca scientifica

Giuliano Romano, nella sua illustre carriera scientifica, si è avvalso di una varietà di telescopi professionali per condurre ricerche approfondite in diversi ambiti dell'astronomia. Tra gli strumenti da lui utilizzati ci sono:

- il suo personale osservatorio, installato a Treviso sopra la sua casa, chiamato "Specola Ariel" che era dotata tra l'altro di un riflettore Newton da 40 cm, una camera fotografica di Schmidt da 25/39, un astrografo 110/385 e un astrografo 130/546. Nella sua specola conduceva osservazioni visuali e fotografiche su lastre fotosensibili che sviluppava in proprio;
- lo Zeiss 60/2100 dell'Osservatorio di Loiano;
- il Galileo 122, lo Schmidt 50/120/1250 dell'Osservatorio Astrofisico di Asiago;
- il Copernico 182 e lo Schmidt 67/92/2150 dell'Osservatorio Astronomico di Padova installato a Cima Ekar in Asiago.

Questi strumenti hanno permesso a Romano di condurre osservazioni e ricerche che hanno significativamente contribuito allo sviluppo di conoscenze astronomiche e cosmologiche. Le sue ricerche scientifiche hanno portato a 158 pubblicazioni scientifiche, inclusi contributi importanti in diversi settori:

- **stelle variabili**: ha prodotto 106 pubblicazioni scientifiche tra il 1955 e il 1993, focalizzandosi

sull'osservazione e lo studio fotometrico delle stelle variabili, sia galattiche che extragalattiche, incluse le supernove e i Quasar;

- **cosmologia:** ha pubblicato 8 lavori scientifici tra il 1973 e il 1975, studiando l'effetto dell'assorbimento intergalattico sui modelli cosmologici, che nell'insieme costituiscono probabilmente uno dei primi manuali di cosmologia in italiano;
- **archeoastronomia:** ha scritto 43 pubblicazioni scientifiche tra il 1985 e il 1995, analizzando l'archeoastronomia in Italia e in America Latina, così come i calendari astronomici dell'America Latina.

Nel suo approccio metodologico, Romano ha implementato survey astronomiche di ampio raggio e di lunga durata, ha condotto studi accurati delle sequenze di confronto e indagini spettroscopiche di sorgenti notevoli. Ha fatto ampio uso di lastre fotografiche e delle loro misurazioni, superando le 10'000 unità, ha analizzato statistiche e curve di luce con un'accuratezza di 0.05 mag. Ha eseguito per le ricerche di archeoastronomia misure sul campo con teodoliti completate con accurati calcoli di astronomia sferica. In aggiunta alla sua notevole produzione scientifica, Romano ha contribuito alla divulgazione della scienza con 14 libri e oltre 150 articoli, diffondendo la conoscenza astronomica al di là della comunità accademica, con particolare attenzione ai giovani, agli insegnanti e agli astrofili. Le stelle variabili da lui scoperte costituiscono un catalogo che prende nome dalle sue iniziali, catalogo "SV\* GR" seguito da un numero consecutivo che raggiunge il numero di 266 stelle. I campioni abbracciano tutta la casistica osservativa di stelle variabili conosciute, con maggior presenza di variabili cataclismiche, sistemi binari ad eclisse, variabili a lungo periodo, variabili di tipo Mira, RR Lyrae e variabili extragalattiche come i Quasar.

Ci sono degli oggetti celesti notevoli scoperti da Giuliano Romano che vale la pena citare perché ancora oggi motivo di studio da moltissimi astronomi in tutto il mondo.

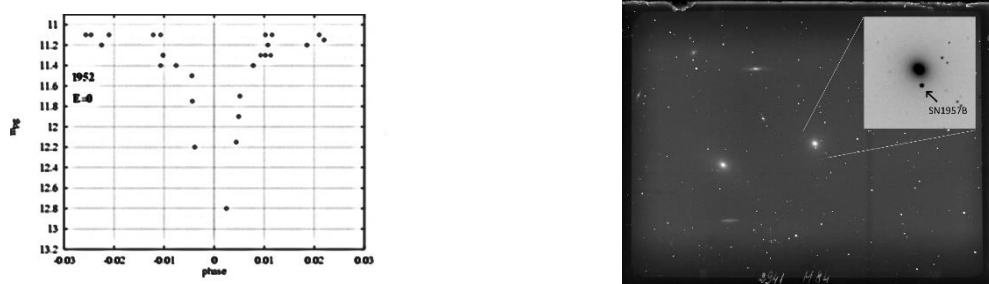
### 6.1 *EE Cephei*

La stella EE Cephei fu scoperta come variabile nel 1952 e la sua scoperta fu pubblicata nel 1956, con osservazioni retrodatate al minimo di luce del 1947. Da allora, la stella è stata oggetto di 79 pubblicazioni scientifiche dal 1957 al 2023 e ha ricevuto 10 citazioni dal 1975 al 2015, a testimonianza del continuo interesse scientifico. Nel 1952, le variazioni di colore di EE Cephei furono notate, e Romano classificò la stella come una variabile di tipo R Corona Borealis, nota per le emissioni di carbonio nella sua fotosfera (Fig. 3, sx). Nel 1966, Romano e Perissinotto suggerirono che EE Cephei potesse essere una variabile ad eclisse, un'ipotesi che si rafforzò nel 1973 quando Meinunger confermò che la stella ha un periodo di 2050 giorni, ovvero circa 5.6 anni, con eclissi che durano circa 40 giorni. Le campagne di osservazione di EE Cephei sono state condotte regolarmente ad ogni minimo, registrando fino ad ora 13 eventi, con la prossima osservazione prevista per il 9 agosto 2025. Le caratteristiche di EE Cephei sono state ulteriormente esplorate da Piękowski e colleghi in uno studio pubblicato su *Astronomy & Astrophysics* nel 2020, che propone un modello di stella Be con precessione per spiegare i cambiamenti nella profondità delle eclissi osservate. Questo modello fornisce una spiegazione fisica per le variazioni nell'oscuramento della stella, suggerendo che la precessione dell'asse di rotazione della stella potrebbe influenzare la quantità di luce che raggiunge gli osservatori sulla Terra durante le eclissi.

### 6.2 *SN1957B in M84 (NGC 4374 Galassia ellittica)*

Il 23 aprile 1957 segnò un momento significativo per l'astronomia, grazie alla scoperta della prima supernova italiana, classificata come SN Ia e registrata con una magnitudine di 12.5 (Fig. 3, dx). Questo evento fu identificato dalla Specola Ariel e successivamente pubblicato nella circolare IAUC

1600. La risonanza scientifica di tale scoperta è testimoniata da 72 citazioni ricevute tra il 1964 e il 2019, che sottolineano l'importanza e il continuo interesse per questa osservazione. La curva di luce della supernova in NGC 4374 è stata analizzata dall'allora giovane ricercatore Francesco Bertola che la osservò a lungo con il telescopio di Asiago, pubblicando sull'*Astronomical Journal* nel 1964 un contributo relativo alla ricerca delle supernove e al loro studio. Questa supernova ebbe una eco anche sulla stampa locale e nazionale, aumentando l'interesse per le ricerche di Giuliano Romano e rendendolo famoso anche al pubblico generico.



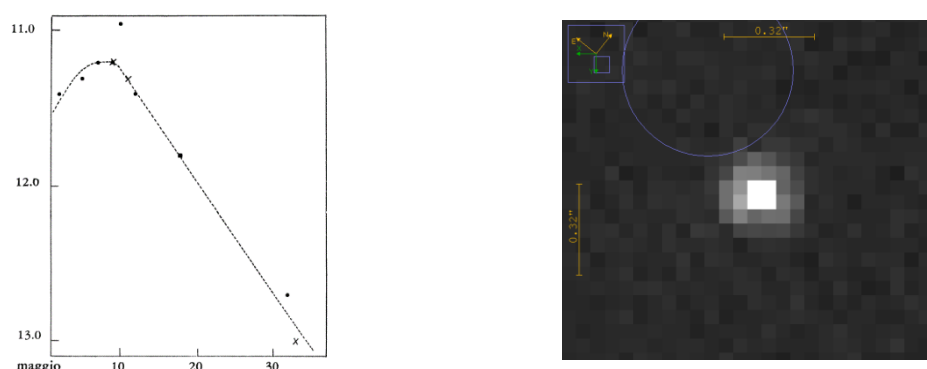
**Fig. 3, sinistra:** curva di luce in B di EE Cephei determinata da Romano, 1952; **destra:** lasta originale della scoperta di SN1957B (Archivio Lastre Osservatorio Astrofisico di Asiago, Univ. Padova –INAF).

### 6.3 SN1961H in NGC 4564 (Galassia Ellittica)

Il 9 maggio 1961, Romano scoprì la seconda supernova italiana, identificata come SN Ia con una magnitudine di 11.2 (Fig. 4, sx). Questa supernova fu particolare perché era sovrapposta al nucleo di una galassia ellittica, il che la rendeva invisibile ai grandi telescopi. La scoperta avvenne attraverso l'osservazione dalla Specola Ariel, utilizzando tre coppie di lastre fotografiche ottenute con astrografi da 110 mm e 130 mm in epoche diverse, e contemporaneamente in una survey condotta con il telescopio Schmidt da 40/50 di Asiago. Nonostante la sua posizione sfavorevole vicino al nucleo galattico, l'oggetto fu comunque rilevato grazie alla sua magnitudine visiva inferiore a 13 e un campo visivo di 6.5x5.5 gradi di quest'ultimo telescopio. Questo importante risultato scientifico ha ricevuto 71 citazioni dal 1962 al 2013, dimostrando l'interesse e la rilevanza duratura di questa scoperta nel campo dell'astronomia. Romano divenne presto famoso a livello mondiale per essere capace di scovare supernovae anche dove grandi telescopi non potevano arrivare.

La ricerca delle supernovae in galassie esterne alla nostra è un importante ramo dell'astrofisica osservativa che ha lo scopo di ricercare due numeri importanti per la comprensione dell'universo: tasso di espansione ( $H_0$ ) e parametro di decelerazione ( $q_0$ ). Soprattutto le supernovae di tipo Ia, definite candele standard, permettono la misura precisa della loro distanza. L'interesse quindi anche per supernovae storiche come questa è evidenziato dal fatto che nel 2013, Pearce C. Washabaugh e Joel N. Bregman pubblicarono uno studio sul tasso di produzione degli eventi di supernova di tipo Ia negli ammassi globulari. In particolare, analizzarono la supernova SN1961H, situata a soli 6" dal centro della galassia NGC 4564 usando il telescopio spaziale Hubble. L'Osservatorio Astrofisico di Asiago, a partire dalla supernova scoperta da Romano, ha iniziato una intensa campagna osservativa che ha portato alla scoperta di numerose supernovae, anche di tipo Ia, conducendo ad una classificazione, la classificazione Asiago, tutt'oggi riconosciuta e usata a livello globale.

Nel febbraio del 1970 Romano scoprì un'ulteriore supernova, la SN1970O in una galassia anonima usando il telescopio di Schmid 40/50 di Asiago. Data la sua magnitudine di 13.7 e l'impossibilità di ottenerne spettri misurabili la supernova rimane di tipo sconosciuto.



**Fig. 4, sinistra:** curva di luce di SN1961H calcolata da Romano; **destra:** la stella di Romano, ripresa dal telescopio spaziale Hubble (Space Telescope Science Institute, 12.6.2012, MIRVIS, STIS/CCD, 20 sec.).

#### 6.4 Le variabili e oggetti blu vicino a M31

Nel periodo compreso tra ottobre 1965 e dicembre 1975, fu condotta una ricerca sulla variabilità degli oggetti quasi stellari, i Quasar, le controparti ottiche di radiosorgenti e la ricerca di galassie compatte. Utilizzando il telescopio Schmidt 67/90/210, fu studiato a lungo il primo Quasar 3C 273 scoperto dall'astronomo Sandage nel 1963. Durante lo studio, furono esaminate 144 lastre sensibili al blu con una sensibilità di  $B < 18$  mag. La ricerca ha incluso l'analisi delle stelle segnalate nel catalogo di Børgen. In particolare, la N.14, che mostrava la curva di luce di una stella U-Geminorum, fu individuata come un sistema binario composto da una nana bianca e una nana rossa; Børgen N.15, invece, non mostrava alcuna variabilità. È stato ipotizzato che Børgen N.16 potesse essere un Quasar, in coincidenza di posizione con la radiosorgente 5C3. Analogamente, Børgen N.18 è stato indicato come probabile Quasar. In aggiunta, sono state studiate altre 38 stelle del catalogo di Richter del 1974 e le stelle di Van Den Bergh (1966, 1973). L'osservazione ha anche portato alla scoperta di una nuova variabile denominata GR273. L'intera ricerca ha contribuito alla comprensione degli oggetti quasi stellari e delle galassie compatte, con 71 citazioni ricevute dal 1962 al 2013, evidenziando l'impatto e l'importanza a lungo termine di questi studi nel campo dell'astronomia.

Le emergenti scoperte sui Quasar hanno stimolato l'avvio di lunghe campagne di osservazione di un notevole gruppo di Quasar, svolte dal 1965 al 1990, alla ricerca di possibili variabilità e di una catalogazione. Il monitoraggio ha incluso tre oggetti BL Lac per oltre 20 anni e 162 Quasar osservati per almeno quattro anni. Questi studi sono stati realizzati utilizzando tutti i telescopi del complesso di Asiago, riflettendo un impegno a lungo termine per comprendere meglio la natura dei Quasar stessi. Le ricerche si sono concentrate su diversi aspetti dei Quasar, come la correlazione tra la variabilità e il redshift, la variabilità e la magnitudine assoluta, e le proprietà ottiche rispetto a quelle radio. Il lavoro ha guadagnato riconoscimento nell'ambito scientifico, come dimostrato dalle oltre 100 citazioni ricevute dal 1977 al 2022 e pubblicazioni su riviste importanti come *Nature*. Gli autori di queste ricerche, tra cui Barbieri, Romano, Rosino, Zambon, Cristiani, Turatto, Capellaro e Omizzolo, hanno contribuito significativamente al campo dell'astronomia, fornendo nuove intuizioni sulla variabilità e sulle caratteristiche fisiche dei Quasar. Tra questi l'oggetto extragalattico variabile 3C 345 fu ampiamente osservato e permise una pubblicazione su *Nature* nel 1977. Il monitoraggio di questo oggetto fu svolto dal 1965 al 1990, con osservazioni fotografiche in banda B. La ricerca si concentrò sulla raccolta di dati non equispaziati e sull'applicazione di nuovi metodi di analisi del segnale, che portarono alla scoperta di periodicità nel segnale luminoso di 1.54 giorni, 800 giorni e 140 giorni. In seguito si è compreso che 3C 345 è un blazar, una sorgente radio galattica attiva (AGN) dotata di getto, e la letteratura scientifica su questo oggetto conta 1676 pubblicazioni tra il 1959 e il 2023.

Un altro oggetto notevole, 3C 446, ricevette attenzione nell'agosto 1983, quando raggiunse la massima luminosità mai registrata da un Quasar con una magnitudine B di 15.1. Anche in questo caso,

vennero rilevate varie periodicità tra cui questa molto violenta. 3C 446 si caratterizza per proprietà che si collocano tra quelle di un Quasar tipico e quelle di un oggetto BL *Lac* in attività. La letteratura su 3C 446 comprende 811 pubblicazioni dal 1959 al 2023.

### 6.5 La stella di Romano in M33

GR 290, nota anche come *Romano's Star*, è un oggetto celeste che ha attirato l'attenzione per le sue notevoli variazioni di luminosità e spettro (Fig. 4, dx). Fu osservata per la prima volta da Romano l'8 giugno 1978 tramite lastre blu con il telescopio Schmidt 67/90/210 e il telescopio Galileo 1.22. Questa stella variabile luminosa nel blu è stata classificata come una "variabile Hubble-Sandage", una stella supergigante massiccia evoluta con una massa maggiore di 20 masse solari, e ha mostrato cambiamenti imprevedibili e drammatici nel suo spettro e luminosità. A causa di queste sue caratteristiche peculiari, è stata etichettata come un "impostore di supernova" o un "precursore di supernova", indicando che potrebbe esplodere in una supernova o che potrebbe essersi già verificata una pseudo-esplosione. La stella ha ricevuto 52 citazioni dal 1978 al 2023, dimostrando un interesse scientifico costante e sostenuto. Lo studio a lungo termine della sua variabilità ha permesso di identificare diverse periodicità. La ricerca prolungata e il monitoraggio di GR 290, insieme alle osservazioni di eventi simili, hanno arricchito la comprensione delle proprietà delle stelle massicce e delle fasi finali della loro evoluzione. Studi come "The History Goes On: Century Long Study of Romano's Star" di Olga Maryeva *et al.* (2019), continuano a esaminare questo intrigante oggetto con telescopi come il Gran Telescopio Canarias (GTC), il telescopio Cassini da 1.52 metri a Loiano e il telescopio russo da 6 metri SAO, contribuendo a un'analisi approfondita delle proprietà di GR 290 e di oggetti simili.

## 7. Conclusione: traguardi ed eredità di Romano

Il contributo di Romano al mondo dell'astronomia si estende oltre i confini della semplice osservazione celeste, lasciando un'eredità di traguardi accademici, pedagogici e di ricerca. Attraverso decenni di insegnamento appassionato, Romano ha ispirato generazioni di studenti, equipaggiandoli non solo con la conoscenza, ma anche con il senso di meraviglia e la curiosità necessari per esplorare il cosmo. Nei corridoi accademici, le sue lezioni di cosmologia prima e storia dell'astronomia poi, hanno dimostrato il suo particolare talento osservativo e teorico.

Il suo lavoro di ricerca, documentato in centinaia di pubblicazioni e citazioni, ha definito nuovi percorsi nell'analisi del segnale e nella comprensione dei cicli di vita stellare. Le sue scoperte abbracciano tutta la classificazione di stelle variabili, la scoperta della prima supernova italiana lo hanno reso noto a livello nazionale e internazionale, la scoperta della stella di Romano, in particolare, ha messo in luce i confini tra le stelle supergiganti e gli impostori di supernova, arricchendo il dibattito su questi affascinanti fenomeni.

Romano ha lasciato un'impronta indelebile nella ricerca astronomica, stabilendo standard elevati per il monitoraggio degli oggetti celesti e per la programmazione di survey su lunga scala temporale. La sua ricerca pionieristica sui Quasar e l'impiego di telescopi all'avanguardia come lo Schmidt, il Galileo e il Copernico hanno contribuito a tracciare la mappa dell'universo in modi precedentemente inimmaginabili.

Nel concludere, i traguardi di Romano riflettono un'intera vita dedicata alla scienza, con un lascito che continuerà a influenzare l'astronomia per molti anni. La sua dedizione all'insegnamento, la sua meticolosità nella ricerca e il suo spirito pionieristico sono esempi luminosi per tutti coloro che guardano alle stelle cercando risposte.

## Ringraziamenti

In chiusura desidero esprimere la mia più profonda gratitudine a coloro che hanno reso possibile non solo la realizzazione di questa ricerca, ma anche la celebrazione dell'eredità lasciata dal Prof. Giuliano Romano.

Un ringraziamento speciale va al Prof. Francesco Bertola, la cui preziosa collaborazione e la sua intervista hanno offerto uno sguardo personale e approfondito sulla figura del Prof. Romano, permettendoci di apprezzare ulteriormente il suo impatto nel campo dell'astronomia.

Al Prof. Cesare Barbieri, il mio sincero apprezzamento per aver condiviso i suoi ricordi del Prof. Romano e per aver guidato il gruppo di ricerca sui Quasar, di cui Giuliano Romano fu un membro attivo e influente. Le sue parole hanno dipinto un ritratto vivido di un uomo di scienza e di un collaboratore stimato.

Sono inoltre grato a Cecilia Ghetti, la cui assistenza nel recuperare i documenti d'archivio è stata fondamentale per la ricostruzione del percorso professionale e delle scoperte di Romano.

Un caloroso ringraziamento va a Fabrizio Cabras per il suo aiuto meticoloso nella ricerca e nella scansione delle lastre astronomiche lasciate da Romano, un contributo essenziale per preservare e analizzare il lavoro di una vita.

La mia riconoscenza si estende anche al Dipartimento di Fisica e Astronomia "Galileo Galilei" e all'Osservatorio Astrofisico di Asiago dell'Università di Padova, per il loro sostegno costante e per la custodia del patrimonio scientifico del Prof. Romano.

Non posso dimenticare l'Istituto Nazionale di Astrofisica e l'Osservatorio Astronomico di Padova, per il loro ruolo imprescindibile nella comunità astronomica e per la loro dedizione nella conservazione della storia astronomica.

Infine, un doveroso omaggio va all'Ufficio Gestione Documentale, Settore Archivio di Ateneo dell'Università di Padova, per la cura e la gestione dei documenti che hanno permesso di tessere le fila di questa narrazione.

Senza l'aiuto e il sostegno di ciascuno di voi, questo lavoro non sarebbe stato possibile. A voi tutti, va la mia sincera gratitudine.

## Bibliografia

- Baldini, U. (2015). "Comessatti Annibale", in Del Negro, P. (a cura di) *Clariores. Dizionario biografico dei docenti e degli studenti dell'Università di Padova*. Crocetta del Montello (TV): Grafiche Antiga per conto di Padova University Press, pp. 103-104.
- Campaner, P. (2018). *Marino Perissinotto. Un astrofilo d'altri tempi, un astrofilo di serie "A"*, *Giornale di Astronomia*, 44(2), pp. 30-32.
- Dal Passo, F. & Laurenti, A. (2017). *La scuola italiana. Le riforme del sistema scolastico dal 1848 ad oggi*. Anzio-Lavinio (RM): Novalogos.
- Grioli, G. (1950). "L'opera scientifica di Ernesto Laura", *Rendiconti del Seminario Matematico della Università di Padova*, 19, pp. 443-449.
- Maryeva, O. et al. (2019). "The History Goes On: Century Long Study of Romano's Star", *Galaxies*, 7(3). doi:10.3390/galaxies7030079
- Predonzan, A. (2001), "La vita e l'opera scientifica di Ugo Morin", in Soppelsa, M.L. (a cura di) *Studi in onore di Ugo Morin nel centenario della nascita*. Venezia-Mestre: s.e., pp. 8-21.
- Romano, G. (1982). "Memorie" estratte da: *Rivista annuale del Collegio Pio X*.
- Firgo, A. (2005). "Io l'ultimo castellano di Treviso", *La Tribuna di Treviso*, 17 luglio. Disponibile a: <https://shorturl.at/FQc2H> (Accesso: 30 giugno 2024).
- Zagar, F. (1968). "L'astronomo Ettore Leonida Martin", *Atti dell'Accademia di scienze lettere e arti di Udine*, s. 7, v. 7 (1966/1969), pp. 229-258.



# Giuliano Romano e l'archeoastronomia

Elio Antonello<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Società Italiana di Archeoastronomia, elio.antonello@inaf.it

*Abstract:* In the landscape of Italian archaeoastronomy Giuliano Romano has been the scholar that opened the road in this research field. His first contributions go back to 1980, and in the subsequent years he organized or collaborated to the organization of meetings and seminars that were a model not just for Italy. Some publications in collaboration with Anthony Aveni were of particular relevance. His works on the orientation of churches and sacred buildings were a reference for many Italian scholars. In the last decades, he performed research on pre-columbian civilizations, in particular on Mayan mathematics and astronomy. The opportunity of the presentation at the SISFA meeting will allow us to make also an excursus dedicated to a short analysis of the basic difficulties of archaeoastronomy, that are mainly related to the problems of the interaction between physical sciences and humanistic sciences.

*Keywords:* Archeoastronomy, prehistory

## 1. Introduzione

Sono lieto dell'invito a parlare di Giuliano Romano e dell'archeoastronomia, un campo di ricerca che egli ha contribuito a sviluppare qui in Italia aprendo varie strade. In questa sede commenterò solo alcune delle sue molte pubblicazioni, in particolare quelle che hanno avuto un riscontro più ampio. L'invito è stato comunque anche l'occasione per delle riflessioni su alcuni problemi metodologici di base dell'archeoastronomia, e qui le esporrò con la speranza di non annoiare il lettore.

L'interesse di Romano per questo campo di ricerca mi pare risalga alla seconda metà degli anni Settanta del secolo scorso, e la sua prima pubblicazione è del 1980; aveva organizzato il primo seminario italiano sull'archeoastronomia nel 1985 a Brugine, con il supporto del Centro Beltrame (Centro Internazionale di Storia dello Spazio e del Tempo) e della Società Astronomica Italiana.

## 2. Anni Ottanta

Le prime ricerche riguardano i castellieri della pianura veneta, terrapieni presenti nel Catalogo del Ministero della Cultura perché sono di interesse archeologico. Il sito Motte di Godego, di forma quadrangolare, si ritiene sia del Bronzo Medio-recente, e Romano aveva proposto un orientamento al sorgere del Sole al solstizio d'inverno (Romano 1980). L'aveva proposto poi anche per il sito di Veronella Alta, ma in questo caso non ci sono (ancora) riscontri di epoca preistorica. Era tornato su questo argomento in un lavoro in collaborazione con Anthony Aveni, autorità statunitense in archeoastronomia, studiando castellieri della pianura veneto-friulana (Godego, Mutera di Oderzo, Veronella Alta, Galleriano, Sedegliano); gli autori parlavano di risultati incoraggianti, e intendevano aumentare il campione, compiere una ricerca etnografica, e collaborare con gli archeologi per le possibili verifiche sul campo (Aveni & Romano 1986).<sup>1</sup> Qui possiamo solo notare la necessità di scavi stratigrafici accurati per confermare l'effettiva origine preistorica. La pianura veneta è stata interessata da notevoli

---

<sup>1</sup> Possibili lavori recenti su tali strutture riguardano alcuni scavi in Friuli. In tale contesto, Patat & Corazza (2018) hanno analizzato l'orientamento astronomico di Galleriano con riferimento al Sole e alla Luna, ma non ne confermano la significatività statistica.

interventi umani nell'ultimo millennio; inoltre è noto che i fiumi cambiano il loro corso lasciando paleovalle e depositi, per cui è necessario il parere di un geologo-geomorfologo sulla natura dei siti. Infine, bisogna tenere presente la direzione naturale degli stessi corsi d'acqua nella pianura veneta.

Con Edoardo Proverbio e con Aveni, Romano aveva analizzato l'orientamento di cinque tombe di giganti in Sardegna (Proverbio *et al.* 1987). Anche qui i risultati sono piuttosto preliminari: era stato difficile stabilire gli assi geometrici delle tombe, e, inoltre, c'era il dubbio di come esse fossero state ricostruite in epoca recente. Il lavoro era stato pubblicato sul *Journal for the History of Astronomy* diretto da Michael Hoskin; da notare che Hoskin, dopo il suo pensionamento nel 1988, aveva viaggiato molto per il Mediterraneo, realizzando un enorme corpus di misure archeoastronomiche, in diverse località, inclusa la Sardegna.

Nel 1989 Romano aveva organizzato un Colloquio Internazionale su archeologia e astronomia con il supporto dell'Università di Venezia; se non erro, è a quell'epoca che risale il sodalizio con l'archeologo Gustavo Traversari. In una recensione degli Atti di tale Colloquio, Clive Ruggles (egli pure un'autorità in materia) aveva riconosciuto come esso fosse stato un precursore di quelli tenuti poi annualmente dalla Società Europea di Astronomia nella Cultura (SEAC).

Sempre negli anni Ottanta, aveva cominciato a interessarsi all'orientamento delle chiese nel Veneto, un impegno diventato il Progetto *Sol Aequinoctialis*, con lo scopo di esaminare statisticamente i criteri seguiti per inserire i vari monumenti sacri nel contesto ambientale della regione. L'indagine, condotta su oltre un centinaio di chiese, aveva mostrato sia il notevole rispetto dell'allineamento equinoziale dell'asse di questi monumenti, sia un certo numero di allineamenti in corrispondenza del Sole nascente nel giorno del santo patrono. Inoltre, era stata rilevata una deviazione sistematica, nella media, degli orientamenti in una direzione leggermente spostata a Nord-Est, e questo sia nel Veneto, sia in altre località (Ravenna). Tale orientamento si poteva giustificare con il sorgere del Sole alla data della Pasqua. Anche con questo progetto Romano aveva fatto da apripista in Italia, e molti autori l'hanno seguito, utilizzando poi pure le facilities di GoogleEarth, ma essi si sono talvolta dimenticati di avere avuto un tale 'padre': mi è capitato di doverlo ricordare in fase di editing dei loro articoli.

### 3. Anni Novanta

Degli anni Novanta sono i primi lavori sui Maya e le civiltà precolombiane (mi pare fosse questo l'argomento cui egli teneva maggiormente), e sempre di questo periodo è il suo manuale di archeoastronomia (Romano 1992): un riferimento per molti cultori.

Un lavoro significativo, sempre in collaborazione con Aveni, ha riguardato i templi etruschi (Aveni & Romano 1994). Gli autori avevano discusso dapprima del cosiddetto "fegato di Piacenza", un modellino in bronzo di fegato di pecora probabilmente utilizzato come rappresentazione simbolica del cielo visibile, con incisi i nomi delle diverse aree celesti; forse era stato usato dagli Etruschi per determinare gli orientamenti. Avevano poi riportato i dati relativi all'analisi di una trentina di siti, ottenendo un risultato molto interessante: i templi sono orientati con la fronte nel settore Sud. Aveni e Romano accennavano anche alle possibili interpretazioni, ma ovviamente senza potersi sbilanciare, rimarcando invece la necessità del molto lavoro ancora da fare. Nella letteratura internazionale questo articolo è stato citato spesso dai cultori che si sono occupati della civiltà etrusca.

Tre convegni di archeoastronomia furono organizzati in questo decennio presso l'Accademia Nazionale dei Lincei: nel 1994 *Archeologia e astronomia: esperienze e prospettive future*, nel 1997 *Archeoastronomia, credenze e religioni nel mondo antico*, e nel 2000 *L'uomo antico e il cosmo*. A seguito di essi venne fondata la Società Italiana di Archeoastronomia (dicembre 2000). Romano contribuì successivamente anche alla gestione della *Rivista Italiana di Archeoastronomia* diretta da Gustavo Traversari, della quale uscirono quattro numeri.

#### 4. Excursus sulle metodologie archeoastronomiche per la preistoria

L'accenno ai convegni presso l'Accademia dei Lincei permette di aprire una parentesi sui problemi di base dell'archeoastronomia; un excursus necessario, altrimenti si rischia di rimanere tra vaghe illusioni.<sup>2</sup>

L'archeologo Sabatino Moscati, presidente dell'Accademia dei Lincei, aprendo il primo convegno nel 1994, ricordava come “Senza il concorso dell'astronomia non avremmo inteso, e non intenderemmo [...] la natura stessa del celebre Stonehenge, in cui si è ravvisato un osservatorio astronomico, o meglio un tempio che teneva conto delle eclissi”. Gerald Hawkins aveva contribuito alla grande popolarità dell'archeoastronomia con la sua interpretazione del sito, inclusa appunto l'idea di una sua realizzazione anche per prevedere le eclissi, e su questo aveva avuto l'appoggio dell'astrofisico Fred Hoyle. Qui ne parlo data la notevole levatura del personaggio, e perché questa può essere considerata almeno storia della cultura, se non storia della scienza. Hoyle (1977) aveva dimostrato la validità dell'idea di Hawkins secondo i criteri della nostra *hard science*. Però egli affermava che gli antichi a Stonehenge avevano registrato accuratamente il Sole e la Luna non semplicemente per anni, o secoli, ma per millenni; questa impostazione era (ed è) assolutamente inaccettabile per gli archeologi, perché non esistono riscontri archeologici di ciò (Moir 1979).<sup>3</sup> Hoyle considerava il grande cerchio delle 56 buche (*Aubrey holes*), intorno ai megaliti (posteriori di alcuni secoli). Poiché il risultato di 56 diviso 2 è 28, cioè quasi i giorni di una lunazione, e moltiplicato per 13 (lunazioni) è 364, cioè quasi i giorni di un anno, e 56 diviso 3 fa 18.6, cioè gli anni del periodo nodale dell'orbita lunare (coppia dei nodi data dall'intersezione con l'orbita terrestre), è chiaro che, ponendo nelle buche con la determinata regolarità i pali indicatori di Sole, Luna e coppia dei Nodi, si possono 'prevedere' le eclissi. Leggendo il suo libro si ha come l'impressione che Hoyle 'trasferisca' la sua intelligenza sugli antichi; e non c'è da meravigliarsi allora se arriva a concluderlo affermando che i tre indicatori, Sole, Luna, coppia dei Nodi, potrebbero essere all'origine della dottrina della Trinità. Nessuna meraviglia quindi se, anche a seguito di esempi autorevoli come il suo, tanti garruli 'archeoastronomi' hanno poi prodotto con gioia le loro fantasie.

Fin dagli anni Ottanta si ritiene ci sia solamente un orientamento solstiziale a Stonehenge; ogni tanto si pubblica ancora qualche novità, anche su riviste autorevoli, ma essa lascia il tempo che trova. Come mai allora ci sono grandi personalità come Hoyle che hanno la pretesa di avere ragione perché si basano sul rigore scientifico? Si tratta di un problema, a quanto pare, 'perenne'. In una review, Ruggles (2011) afferma di cercare metodi rigorosi (da *hard science*) per combinare insieme evidenze di diversa origine, astronomica, archeologica, etnografica. Egli sottolinea l'opinione invece nettamente contraria di Aveni, il quale esclude la possibilità di adattare facilmente i metodi delle scienze naturali alle scienze antropologiche: “I have been arguing for many years the need for more rigorous methodologies for combining different types of evidence [...] Others disagree; most notably Aveni who [...] criticized this approach in that it ‘...presupposes that tools and methods from the physical sciences can readily be adapted to the social sciences. They cannot’.” (Ruggles 2011, p. 12).

Di fronte allo scontro di queste due notevoli personalità, noi, nel nostro piccolo, cosa possiamo dire? Mi sembra che si applichino i metodi della nostra *hard science* a cose che, però, non c'entrano con le scienze naturali, perché li riteniamo prodotti umani (intenzionali). A me pare che nostro padre Galileo ci abbia insegnato a guardare i fenomeni naturali senza lasciarci distrarre da superstizioni e pregiudizi, mettendoci, come dire, un paraocchi, indispensabile per poter ricavare le leggi ferree, matematiche, della natura nel loro ambito di validità, e dandoci i paletti del rigore per controllare l'immaginazione. Ma i dati che abbiamo qui non derivano da leggi naturali: anche se possono aver a che fare con il cielo, non sono di origine celeste, astronomica o astrofisica. Pure nel caso ipotetico della certezza dell'intenzionalità, il dato

<sup>2</sup> Se non sono affrontate in modo critico, le ambiguità di questo campo di ricerca possono condurre a risultati spesso poi millantati come sorprendenti, affascinanti, misteriosi.

<sup>3</sup> Potremmo ricordare *en passant* la difficoltà di determinare con precisione la durata dell'anno tropico perfino in epoca ellenistico-romana, in occasione della riforma giuliana del calendario, come nota Plinio nella *Storia Naturale*.

sarebbe comunque di origine ‘antropica’, e non ‘astronomica’.

Quando abbiamo tanti dati archeoastronomici, noi possiamo applicare certamente la statistica, come nelle scienze umane (statistica sociale), e quindi Aveni sembrerebbe contraddirsi; ma bisogna fare attenzione a non applicarla in modo improprio. Per esempio: incisioni e dipinti su roccia, cospicue, distribuzione di massi e strutture sul terreno, ecc., interpretati come costellazioni, usando anche metodi statistico-probabilistici. I metodi possono dirmi quanto è buono il mio modello, da me pensato, ma non possono *dimostrare* che questo era stato anche il pensiero degli antenati. Il rischio qui è di imporre agli antenati il nostro pensiero, una cosa che, al limite, forse si potrebbe considerare come una forma di ‘colonialismo’ culturale. Ho notato come su tale punto si caschi un po’ tutti, dall’accademico professore ordinario all’appassionato diplomato di scuola superiore. Mi si potrebbe dire: ma noi vediamo un orientamento al solstizio, e il solstizio è un fenomeno naturale. Però anche qui si sta imponendo agli antenati il ‘nostro’ pensiero, di noi che notiamo l’allineamento: non è detto fosse anche il loro. In questo senso, la posizione critica di Aveni appare avere un suo fondamento; ma dobbiamo pur procedere con i dati archeoastronomici, altrimenti come potremmo farci un’idea del rapporto avuto dagli antichi con il cosmo? Un rapporto plausibilmente molto forte, come si può dedurre dai miti cosmogonici degli autori classici trasmessici successivamente, nonché dalle testimonianze etnografiche di molte popolazioni di epoca più vicina a noi.<sup>4</sup>

Secondo me, si deve procedere con cautela e delicatezza, perché non si tratta di un argomento da *hard science*, da scienza dura con la sua tipica ‘hybris’ o tracotanza;<sup>5</sup> le tecniche astronomiche servono solo da supporto a un argomento che, alla fine, è antropologico. L’importanza dell’inferenza da evidenze diverse (astronomia, archeologia, etnografia), invece del tentativo di dimostrazione tramite test di ipotesi,<sup>6</sup> è condivisibile, ma il metodo ‘rigoroso’ per metterle insieme, che non c’è, e invece Ruggles pretende, a me pare sia una cosa difficile. Chi ha voluto unire le due culture, scientifica e umanistica, in un modo abbastanza analogo, ha incontrato difficoltà alla lunga insormontabili.<sup>7</sup> Concordo invece con Ruggles quando afferma la necessità di un ‘lavorio’ indefesso: “systematic data collection is crucial”, pur sapendo che “the process is slow and painstaking”. Quanto si presuppone tacitamente qui è la ‘serietà’ dei cultori; ma purtroppo davanti a questa difficoltà casca ancora l’asino, perché è una cosa irresistibile immaginare prima un’ipotesi e poi cercare solo le conferme di quanto immaginato, facendo *cherry picking*, ovvero scegliendo, o privilegiando, le prove a favore della propria idea, una scelta fatta spesso in modo inconscio.

Penso valgano qui le riflessioni di Frazer ne *Il ramo d’oro* (del quale ora si stanno pubblicando in italiano tutti e dodici i volumi), anche se sono state espresse in un diverso contesto. Si dovrebbe tenere sempre presente l’estrema complessità delle cause e si dovrebbe stare in guardia da un pericolo comune a tutte le scienze: la tendenza a semplificare la varietà dei fenomeni, fissando l’attenzione su alcuni ed escludendo il resto. Tale propensione è naturale per la mente dell’uomo e persino inevitabile. Per correggerla, “dobbiamo sforzarci di ampliare le vedute [...] e ricordarci che le nostre idee sono inferiori alla realtà in maniera incommensurabile” (Frazer 2022, pp. 363-364). Essendo la maniera “incommensurabile”, la possibile implicazione è che l’ipotesi così bella da me immaginata, applicando tecniche astronomiche accuratissime, e pur con i bellissimi riscontri da me verificati, alla fine potrebbe non aver avuto proprio niente a che fare con quella che è stata la realtà (ma, poiché nessuno può dimostrare

<sup>4</sup> Agli archeologi a volte questo non sembrerebbe interessare; già durante il terzo convegno ai Lincei (anno 2000), nella Tavola Rotonda finale Gustavo Traversari lamentava la loro scarsa presenza (“quasi del tutto assenti”).

<sup>5</sup> Forse il termine è eccessivo, ma potrebbe anche corrispondere alla sensazione del ricercatore che, come un ‘padrone’, vede la natura ‘obbedirgli’, perché essa ‘conferma’ le sue previsioni ricavate dalle teorie e dai modelli elaborati.

<sup>6</sup> “The basis for selecting a hypothesis over its competitors is inference, not testing, and the strongest support for a given hypothesis comes from multiple lines of evidence leading to the same conclusion (convergent methodologies) rather than a single logical chain of inference” (Ruggles 2011, p. 13).

<sup>7</sup> Per esempio, Fraser (1990, pp. 5-6) nel suo tentativo autorevole di una ‘teoria del tempo’ (tempo come conflitto) aveva incontrato “the profound methodological difficulties implicit in any serious interdisciplinary study of time”; egli elencava quattro difficoltà: un problema di linguaggio, un disaccordo sui metodi di ragionamento considerati come accettabili, un problema di personalità soggettiva degli studiosi, e, infine, il fatto che nessuno ha lo stesso livello di preparazione nelle diverse discipline.

che la mia idea è sbagliata, ed essendo essa ‘troppo bella per non essere vera’, continuerò a sostenerla...).

Il potere dell’immaginazione della nostra mente è fenomenale: arriva a controllare perfino la nostra parte razionale, la quale non si accorge assolutamente di esserne succube. Ci saranno sempre articoli e libri stravaganti di autori, anche seri, convinti di avere ragione, senza la possibilità di ‘dimostrare’ che hanno torto. Da secoli ormai qui si arenano le riflessioni di chi tenta di capire la natura umana, concludendo con qualche battuta sconsolata. La più recente l’ho trovata in una recensione su *Nature* (Wagenmakers 2023) di un libro riguardante l’attuale grosso problema della diffidenza (sfiducia) sociale verso la scienza, una sfiducia forse dipendente dal modo proprio della scienza stessa di trattare e presentare i dati. Verso la fine del suo commento, il recensore scrive: “As a species, humans have always been shockingly biased” (cioè: di parte, con pregiudizi, faziosi) “and gullible” (cioè: creduloni, fessacchiotti). Inutile nascondere: madre natura ci ha fatto così; poi si tirano in ballo la psicologia, e, al limite, la psichiatria.<sup>8</sup>

Chiudo il lungo excursus preistorico, chiedendo scusa se ho annoiato.

## 5. Saint Martin de Corléans

Negli ultimi decenni, ad Aosta è stata realizzata una enorme struttura museale a protezione e valorizzazione dei circa 6000 anni di storia del sito di Saint Martin de Corléans. Sono presenti grandi stele spettacolari: lastre di pietra con ‘testa’, braccia e ornamenti, realizzati in rilievo con una certa cura (solo su un lato); inoltre ci sono tombe, arature rituali, pozzi e buche di palo, che hanno restituito molto materiale. I ricercatori della Regione Valle d’Aosta hanno prodotto un testo voluminoso (De Gattis *et al.* 2018), contenente, oltre a preistoria e archeologia del luogo, anche analisi geologiche e geomorfologiche, archeologia sperimentale, analisi dei materiali, datazioni, bioarcheologia, paleobotanica, paleogenetica. Si accenna senza dettagli anche agli allineamenti che erano stati studiati da Romano. Qui mi limito a quello principale definito da una lunga fila di buche di palo e di stele. Romano (1994) aveva proposto una interpretazione molto suggestiva: l’allineamento indicava la montagna a Sud-Ovest, dove la Luna, in due occasioni nei suoi 18 anni di periodo nodale, durante la notte si vedeva scendere per un buon tratto quasi esattamente lungo il pendio del monte. Romano poi proponeva i lunistizi per altre strutture. La parola *lunistice* mi pare sia stata inventata dall’astronomo Lalande per le effemeridi per il 1763 (pubblicate nel 1761); prima non esisteva, come neppure il sinonimo *standstill* inglese riferito alla Luna. A mia conoscenza, non c’è nessuna testimonianza di qualche popolazione che sia stata, o sia oggi, interessata a questi punti estremi lunari mensili (neppure Arabi e musulmani, per i quali la Luna è fondamentale). I lunistizi li vedono, in buon numero, solo gli archeoastronomi; dovremmo quindi dedurre che se ne sia persa la memoria storica? Per confronto, solstizio è una parola che viene dal latino, e l’idea del fenomeno ‘solstizio’ è ampiamente diffusa nella cultura di molte popolazioni.

Poiché le interpretazioni di Romano mettevano un po’ a disagio gli archeologi di Aosta, ho seguito, in qualche modo, il processo “slow” e “painstaking” indicato da Ruggles. La geomorfologia mostra l’esistenza nel sito di una specie di cresta, lunga e poco elevata, del terreno, che suggerisce proprio la direzione dell’allineamento principale, per cui le strutture umane potrebbero aver semplicemente seguito tale andamento; in altre parole, l’astronomia potrebbe non entrarci per niente, come un archeologo scettico potrebbe benissimo affermare. Poiché le stele avevano la ‘faccia’ rivolta verso Est-Sud-Est, ho proposto un’analogia con le nostre cerimonie dell’alzabandiera: tutti ben in fila, stele e pali (che, secondo gli archeologi, erano alti e forse istoriati), a vedere il Sole che sorge, dal solstizio d’estate a quello d’inverno, ‘guardando’ in una direzione media approssimativamente ortogonale alla fila. Un archeoastronomo ha l’indispensabile paraocchi galileiano: vede la fila, e usa giustamente i minimi quadrati, come ha fatto Romano, per determinarne con precisione l’orientamento. Ma non vede la ‘cerimonia’. Per vederla, deve

<sup>8</sup> Forse potremmo ricordare anche il modo di dire piuttosto diffuso: ‘ragionare con la pancia’ invece che con la testa. A quanto sembra, questa espressione avrebbe un riscontro fisico, in quanto l’organo con maggiori connessioni neuronali dopo il cervello sarebbe l’intestino (o ‘secondo cervello’).

togliersi il paraocchi, cosa non banale e scomodissima, perché bisogna mantenere il rigore scientifico. Ad ogni modo, non dico che questa interpretazione sia giusta e quella della Luna sia sbagliata; sono due interpretazioni, e poi ci sarebbe anche quella dell'archeologo scettico. Alla fine, secondo me (e, temo, con buona pace di Ruggles), sono gli archeologi che valutano le diverse interpretazioni in base alla scienza antropologica (preistoria, storia, etnografia). E il fatto che ci possa essere più di una interpretazione non dovrebbe sorprendere; la scienza archeologica, nel suo ambito, mi sembra lo permetta, purché siano cose ragionevoli e non in contrasto con quanto già assodato.

## 6. Conclusioni

Sospetto, comunque, che Romano avesse qualche dubbio su un certo modo di praticare l'archeostronomia; però non ho avuto la possibilità di approfondire con lui questo argomento, e quindi esso resta solo un sospetto. Nell'estate 2012, un anno prima della sua scomparsa, gli avevo telefonato chiedendogli come desiderava che parlassi di lui con i colleghi europei della SEAC. La sua risposta, lapidaria, mi aveva lasciato un po' interdetto: "Come esperto di astronomia Maya", e niente altro. In effetti, Romano aveva effettuato diversi lavori sulle antiche civiltà pre-colombiane, compiendo pure delle survey negli anni Novanta. La maggior parte dei risultati sono stati pubblicati in articoli e libri scritti in italiano, nei quali ha trattato appunto anche dell'astronomia e della matematica dei Maya: rispetto al caso della preistoria discusso sopra, qui si va, in un certo senso, più sul sicuro, data la quantità di reperti, glifi, rappresentazioni di numeri e testimonianze. Io ho studiato sul suo libro (Romano 1999), e lo consiglio a chi volesse capire cosa c'è effettivamente dentro nel sistema dei Maya. Leggendolo, ho apprezzato Romano come insegnante, e penso che l'Università di Padova sia stata molto fortunata ad averlo avuto nel corpo docente.

## Bibliografia

- Aveni, A.F. & Romano, G. (1986). "Archaeoastronomical research in Veneto-Friuli, Italy", *Journal for the History of Astronomy*, 17, pp. 23-31.
- Aveni, A. & Romano, G. (1994). "Orientation and Etruscan ritual", *Antiquity*, 68, pp. 545-563.
- De Gattis, G. et al. (eds.) (2018). *Area Megalitica di Saint-Martin-de-Corléans. Una visione aggiornata*. Regione Autonoma Valle d'Aosta: Le Chateau Edizioni.
- Fraser, J.T. (1990). *Of time, passion and knowledge*. Princeton: Princeton University Press.
- Frazer, J.G. (2022). *Il ramo d'oro. Uno studio sulla magia e la religione. Edizione integrale [1915]*, vol. I. Milano: Luni Editrice.
- Hoyle, F. (1977). *On Stonehenge*. San Francisco: Freeman & Co.
- Moir, G. (1979). "Hoyle on Stonehenge", *Antiquity*, 208, pp. 124-129.
- Patat, F. & Corazza, S. (2014). "Astronomical orientation analysis of three proto-historical sites in Friuli – Italy", *Astronomische Nachrichten*, 999(88), pp. 789-804.
- Proverbio, E., Romano, G. & Aveni, A. (1987). "Astronomical orientations of five megalithic tombs at Madau, near Fonni in Sardinia", *Journal for the History of Astronomy*, 18, pp. 55-65.
- Romano, G. (1980). "Un antichissimo osservatorio solare", *Coelum*, 48, pp. 11-17.
- Romano, G. (1992). *Archeoastronomia Italiana*. Padova: CLEUP.
- Romano, G. (1994). "The megalithic quarter of Saint Martin de Corléans", *Rivista di Archeologia*, 18, pp. 44-48.
- Romano, G. (1999). *I Maya e il cielo: astronomia, cosmologia e matematica Maya*. Padova: CLEUP.
- Ruggles, C. (2011). "Pushing back the frontiers or still running around the same circles? 'Interpretative archaeoastronomy' thirty years on", in Ruggles C. (ed.) "*Oxford IX*" *International Symposium on Archaeoastronomy. Proceedings IAU*, 7(S278), pp. 1-18. doi: 10.1017/S1743921311012427
- Wagenmakers, E.J. (2023). "Is the biggest challenge to scientific thinking science itself?" Book Review: Smith G., "Distrust: Big Data, Data-Torturing, and the Assault on Science", *Nature*, 617, pp. 669-670.

# Ricordando il prof. Giuliano Romano

Enio Vanzin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Astrofili Trevigiani, evanzin@hotmail.com

*Abstract:* Professor Giuliano Romano was one of the most important and charismatic figures in Italian astronomy. He held a prominent position in the cultural landscape of his hometown and in the academic world of the University of Padua. Not only was he a respected scientist, but also an exceptional science communicator, often referring to himself as a passionate sky observer. As someone who had the privilege of being his student, collaborator, and sincere friend, I am retracing the scientific journey of this illustrious native of Treviso, highlighting his unforgettable contributions to the field of popular science.

*Keywords:* Giuliano Romano, Astronomy

## 1. Introduzione

Son trascorsi esattamente dieci anni dalla scomparsa del prof, Giuliano Romano, che proprio nel 2023 avrebbe festeggiato il secolo di vita. Doveroso dunque farne memoria, evidenziando in primo luogo il contributo scientifico da lui dato alla comprensione dell'universo celeste, nonché la sua passione per lo studio dello stesso e il suo impegno nella divulgazione delle conoscenze sulla materia.

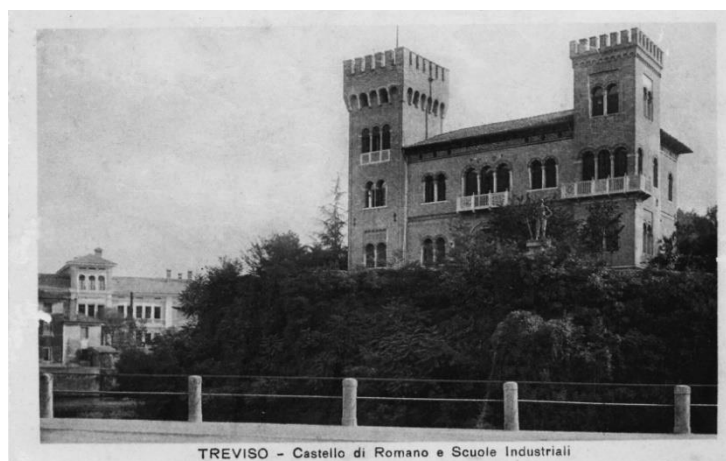
Ho avuto la fortuna di conoscerlo personalmente nel lontano 1979. Non ricordo la data precisa, ma era sicuramente di venerdì, giorno della settimana in cui, al Collegio Pio X di Treviso, si tenevano le conferenze di astronomia. In città erano appese un po' ovunque le locandine che pubblicizzavano la Scuola Aperta di Astronomia e, in particolare, informavano che il prof. Romano, in occasione del centenario della nascita di Albert Einstein, avrebbe tenuto una lezione sulla Teoria della Relatività proprio nell'auditorium del Collegio. Ricordo come la sala fosse gremita, non solo di studenti del Collegio, ma anche di persone interessate all'argomento, giunte dall'intera provincia per sentirlo parlare. Era infatti risaputa la sua capacità di catturare l'interesse del pubblico con la chiarezza espositiva degli argomenti e l'uso di un linguaggio comprensibile anche ai neofiti. Come previsto quella conferenza fu un successo. Va precisato che, in quegli anni, il professore aveva creato l'Associazione Astrofili Trevigiani, la cui attività veniva valorizzata attraverso numerose iniziative (come appunto i corsi della Scuola Aperta di Astronomia e Filosofia della Scienza) e agevolata dalla avvenuta installazione di un osservatorio astronomico, di una stazione meteo e di un planetario per lo studio della posizione e dei movimenti dei corpi celesti, sempre nei locali del Pio X. Tutto questo perché il professore, pur essendo un accademico, aveva un passato da astrofilo, anzi lui stesso amava definirsi astrofilo appassionato del cielo e dei suoi fenomeni.

Dopo averlo conosciuto ho capito subito che, frequentando quel gruppo, guidato da una persona così competente e disponibile, avrei trovato la risposta alle molte domande che da appassionato di astronomia mi ponevo. Quello è stato dunque l'inizio di un percorso che, nel tempo, mi avrebbe portato a collaborare con il professore in numerose iniziative culturali nel campo dell'astronomia e non solo.

Di questo maestro ed amico, così infatti egli è stato per me, cercherò di ripercorrere, la grande avventura di appassionato dell'universo, soffermandomi sulla sua figura di scienziato, ma dando particolare rilievo alla sua grande passione per la divulgazione. Posso farlo anche grazie ad alcune preziose testimonianze che sono riuscito a reperire.

## 2. Cenni biografici

Nato il 16 novembre del 1923 a Treviso, il prof. Romano è stato una delle figure più importanti e carismatiche dell'astronomia italiana, personaggio di spicco nel panorama culturale della sua città natale e nel mondo accademico dell'università di Padova, nonché scienziato, grande divulgatore e appassionato del cielo. Mi raccontò che la sua passione per il cielo risaliva a quando aveva 5 o 6 anni e gli capitò tra le mani uno dei libri di Camille Flammarion, grandissimo divulgatore vissuto a cavallo tra l'Ottocento e il Novecento, intitolato *Le Terre del cielo*. Ne rimase affascinato, cosa capitata a molti che hanno avuto modo di leggere le opere dell'astronomo francese. Fu così che con un piccolo binocolo da teatro di suo padre iniziò le prime osservazioni.



**Fig. 1, sinistra:** il prof. Romano nell'aprile del 2011; **destra:** la casa natale, da una cartolina del 1931.

A 13 anni ebbe in regalo un piccolo rifrattore Salmoiraghi da 60 mm di diametro con il quale passò in rassegna gli oggetti peculiari delle varie costellazioni, allora perfettamente visibili in un cielo cittadino non ancora inquinato. Nel contempo, gli capitarono tra le mani altri libri di Flammarion come il famoso *Le stelle e le curiosità del cielo* e *Storia del cielo*, rafforzando questa passione, tant'è vero che alcuni trevigiani mi raccontarono anni fa che da ragazzo si posizionava con il suo telescopio in Piazza dei Signori a Treviso per mostrare e spiegare le bellezze del cielo a quelli che passavano da quelle parti.

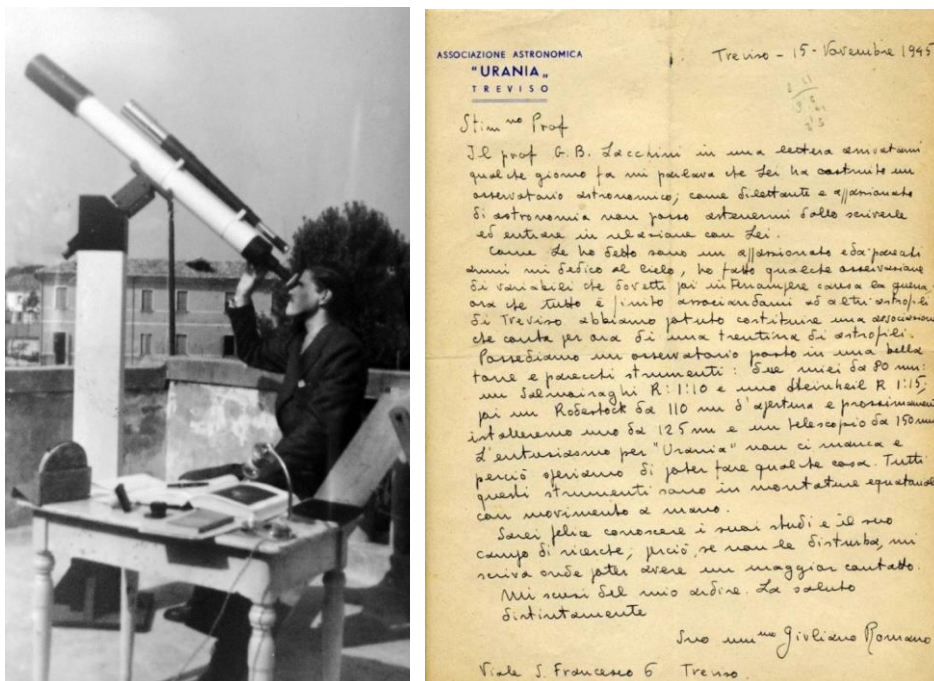
Una volta gli chiesi se in casa lo assecondavano, e mi rispose che di sicuro non lo ostacolavano; per la sua famiglia questa passione era soltanto un hobby un po' strano.

L'osservazione del cielo continuò anche negli anni del liceo ma venne purtroppo limitata con il conflitto mondiale. Finita la guerra riprese la sua passione, come testimonia una sua lettera (Fig. 2, dx), datata 15 novembre 1945 e indirizzata al Prof. Mario Ancarani, direttore dell'Osservatorio Urania Lamonia di Faenza. In questa lettera, intestata "ASSOCIAZIONE ASTRONOMICA URANIA" (si chiamava così il gruppo di appassionati astrofili di Treviso), così scriveva:

sono un appassionato di astronomia e da parecchi anni mi dedico al cielo, ho fatto qualche osservazione di variabili che dovetti poi interrompere a causa della guerra; ora che è tutto finito associandomi ad altri astrofili di Treviso abbiamo potuto costituire una associazione che conta per ora di una trentina di astrofili. Possediamo un osservatorio posto in una bella torre [torre del Seminario Vescovile, n.d.a.] e parecchi strumenti: due miei da 80 mm: un Salmoiraghi R 1:10 e uno Steinheil R 1:15; poi un Rodestock da 110 mm d'apertura e prossimamente installeremo uno da 125 mm e un telescopio da 150 mm. L'entusiasmo per "Urania" non ci manca e perciò speriamo di poter fare qualche cosa. Tutti questi strumenti sono in montatura equatoriale con



movimento a mano. Sarei felice conoscere i suoi studi e il suo campo di ricerche, perciò se non la disturba, mi scriva onde poter avere un maggior contatto.  
Mi scusi del mio ardire. La saluto distintamente, Suo um.mo Giuliano Romano.



**Fig. 2, sinistra:** Il giovane Romano al suo rifrattore; **destra:** lettera di Romano al prof. Ancarani.

Dal 1946 intraprese metodicamente a osservare il cielo da Treviso, dalla terrazza della sua abitazione in via San Francesco, usando un rifrattore Salmoiraghi di 11 cm di diametro e 1.10 m di focale e un Steinheil di 8 cm di diametro e 1.20 m di focale. Fino al 1949 intraprese osservazioni di pianeti e comete impegnandosi inoltre, sempre visualmente, a stimare lo splendore degli astri al fine di studiare le stelle variabili. Eseguì così stime per confronto su cinque variabili (X Cam, S Cam, T Cep, R UMi e S UMi).

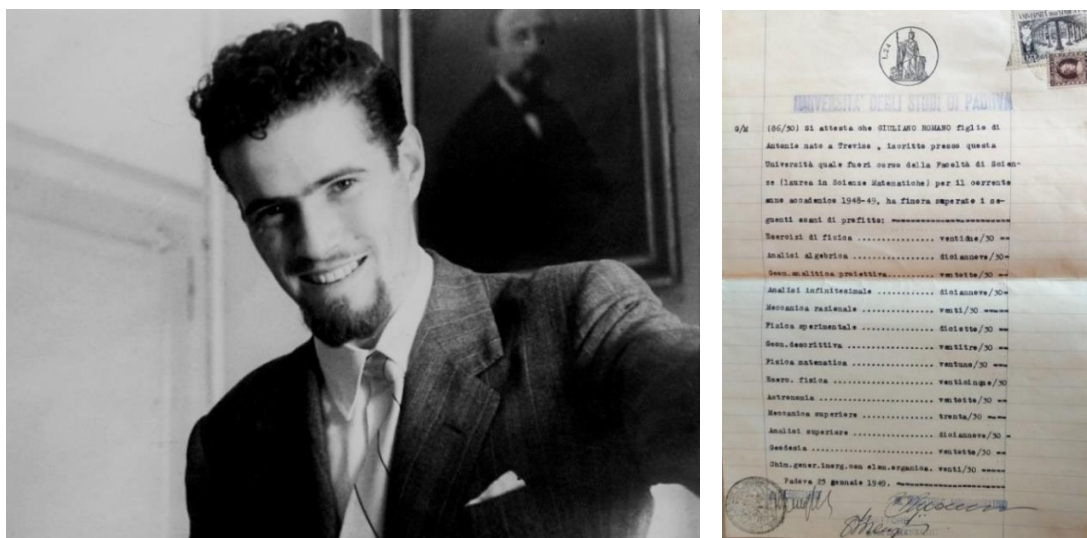
Nel contempo frequentava il corso di laurea in Matematica all'Università di Padova, conclusosi nel 1949 con la tesi "I problemi statistici ed evolutivi delle stelle doppie", sotto la guida del prof. Ettore Leonida Martin, all'epoca direttore dell'Osservatorio astronomico di Trieste. L'illustre astronomo stimava in modo particolare questo "caro allievo" che non si limitava a osservare e a contemplare le bellezze del cielo ma che puntava a dare un contributo personale alle conoscenze astronomiche.

Il 18 settembre di quello stesso anno, come astrofilo, organizzò a Treviso, in una sala del Seminario Vescovile, il primo Convegno degli Astrofili Veneti a cui ne seguirono altri negli anni successivi, a Venezia, Mestre, Verona, Brescia, Vicenza.

Nel 1950, disponendo di un astrografo Voigtlander di 80 mm di diametro e 20 cm di focale, iniziò le osservazioni fotografiche delle variabili studiando nel 1951 la cefeide X Cygni e nel 1952-53 la variabile semiregolare TX Draconis e altre cefeidi. L'astrografo Voigtlander venne successivamente abbinato a una camera Dallmeyer di diametro 110 mm aperta a F/3.5 e i due strumenti vennero collocati su una montatura motorizzata, permettendogli di realizzare una serie di lastre sulle variabili a eclisse KR e KL Cassiopeiae e altre della stessa costellazione. Nel 1955, con l'acquisto di una strumentazione più performante, ossia una camera Voigtlander da 130 mm di diametro aperta a f/4.2, (Fig. 4, sx) da abbinare alla Dallmeyer e allo Steinheil sopra citati, si rese necessario realizzare sopra la terrazza della propria casa, una struttura protettiva in lamiera a base quadrata, di 3 metri di lato e

pareti alte 2 metri, con tetto scorrevole su rotaie. La specola così realizzata venne battezzata Specola Ariel dal prof. Martin, che nella sua pubblicazione del 1956, intitolata *La Specola Ariel di Treviso* (Treviso: Grafiche Vianello), spiega con queste parole tale scelta:

avrei voluto chiamare l'osservatorio con il nome della città che lo ospita o con il nome del suo proprietario e fondatore se egli non avesse considerato ciò una inescusabile esibizione. Il nome di Urano che ricorda quello della Musa sacra all'Astronomia mi guidarono verso il bello eufonico nome di ARIEL suo vicino satellite. Come esso, il nuovo Osservatorio non pretende di competere con i confratelli maggiori, ma ad essi si pone umilmente vicino, ansioso di riceverne aiuti e consigli, pago soltanto di indagare anch'esso, come e quanto può, nel vastissimo campo della Scienza di Urania. È perciò che il prescelto nome di ARIEL bene si addice ai suoi intenti, che rispecchiano fedelmente la operosa modestia di Giuliano Romano.



**Fig. 3, sinistra:** Giuliano Romano negli anni '50; **destra:** valutazione esami anno accademico 1948-49.

Con questa strumentazione e sempre motivato da una grande passione, con i consigli del prof. G. B. Lacchini, dell'astronomo trevigiano Leonida Rosino, di Boris Kukarkin di Mosca e Volodymyr Platonovych Tsesevich di Odessa, iniziò prima un'intensa survey di campi stellari per lo studio di stelle variabili e successivamente una proficua collaborazione con l'Osservatorio Astronomico di Padova e Asiago, sullo studio appunto delle variabili, sia in visuale che in fotografico.

Nel 1949 iniziò a insegnare Matematica e Fisica presso il Collegio Pio X di Treviso, impegno che durò fino al 1982, ponendo le basi, come vedremo più avanti, per un legame con l'Istituto che sarebbe durato tutta la vita. Tale particolare rapporto gli venne riconosciuto conferendogli il 16 dicembre 1983 l'onorificenza pontificia di "Cavaliere di San Silvestro Papa".

Ebbe modo, col consenso del prof. Rosino di frequentare a scopo di studio nel 1952 e nel 1953 l'osservatorio di Lojano (BO) e nel 1954 e nel 1955 quello di Asiago. Nel 1954 partecipò al concorso per assistente universitario alla cattedra di astronomia di Bologna ottenendone l'idoneità. Cominciò in quegli anni anche l'osservazione delle Supernovae, attività che, in quel tempo, in Italia nessuno seguiva. Ogni qualvolta il cielo lo permetteva, riprendeva con i suoi strumenti piccoli campi stellari, sviluppava subito le lastre (usava le famose Cappelli Blu) e verificava la presenza di qualche oggetto strano. Lavorando regolarmente, il 18 maggio 1957, esaminando un paio di lastre ottenute con i due astrografi sopra citati, la camera fotografica Dallmayer da 110 mm la camera Voigtlander da 130 mm, individuò, a  $1.5^\circ$  a nord del nucleo della galassia M84, una supernova di magnitudine 12.2, catalogata successivamente come SN1957b. Era il primo astronomo dilettante nel mondo e il primo italiano in

assoluto a fare una simile scoperta. All'epoca, infatti, tali ricerche venivano fatte, usando lo Schmidt del Palomar, da una équipe americana guidata da Fritz Zwicky. Proprio quest'ultimo gli propose di trasferirsi in America per lavorare con lui. Romano mi confidò che rinunciò perché preferiva continuare a insegnare, ma forse, alla base del rifiuto, vi erano anche altri motivi, di carattere professionale e non solo. Un'altra supernova venne da lui scoperta nel 1961, sempre da Treviso, e una terza molti anni dopo, esaminando le lastre del telescopio Schmidt di Asiago.

A metà degli anni Sessanta fu docente di Cosmologia per i fisici e i matematici all'Università di Padova, incarico che portò avanti insieme allo studio sulle stelle variabili, anche analizzando lastre di Asiago. In questo modo, arrivò a scoprire oltre trecento variabili e numerosi Quasar variabili (va ricordato che dagli anni '50 ai primi anni '80 eseguì oltre diecimila fotografie del cielo). In particolare, studiando le lastre del 180 cm di Asiago, nel 1978 scoprì nella galassia M33 una stella di altissima luminosità, cioè una variabile Hubble Sandage, catalogata GR290 (denominata *Romano's star*).



**Fig. 4, sinistra.** Astrografo Voigtlander, numero di serie 10188, usato dal prof. Romano per le sue scoperte.

**Fig. 4, destra.** Uno dei suoi teodoliti 'Galileo', usato per i rilievi topografici in archeoastronomia.

### 3. Gli interessi scientifici e culturali

All'insegnamento e al lavoro di ricerca si aggiungeva l'impegno nella divulgazione "essendo sempre rimasto profondamente astrofilo nell'animo", come soleva dire. Anzi, a chi gli chiedeva perché non si fosse mai interessato di politica, rispondeva che la divulgazione dell'astronomia era il suo impegno civile. Conferenze, articoli su riviste, seminari divulgativi di un certo livello, pubblicazioni di libri, erano il suo compito quotidiano. Nel 1975 il suo legame con l'astronomia amatoriale lo coinvolse, insieme a Leonida Rosino, Guido Ruggeri e Giancarlo Favero, nella riproposizione della Sezione Triveneto-Emiliana della Società Astronomica Italiana (che era stata sospesa alla fine degli anni Sessanta) con riunioni prima semestrali e poi annuali e l'appendice estiva del Seminario di Studio delle Stelle variabili svolto a Crespano del Grappa (TV), presso il Centro Don Paolo Chiavacci dal 1976 al 1995. Il programma di quelle seguitissime lezioni iniziava il venerdì sera con l'osservazione telescopica per poi continuare con due lezioni di 2 ore il sabato mattina e due esercitazioni di 2 ore il sabato pomeriggio; una lezione di 2 ore domenica mattina e una esercitazione di 2 ore sempre domenica mattina. Relatori fissi erano Giuliano Romano e Giancarlo Favero, mentre altri si alternavano ogni anno, tra cui: Piero Tempesti, Antonio Bianchini, Sergio Ortolani, Massimo Capaccioli, Francesco Bertola. Le lezioni riguardavano l'astrofisica moderna (meccanica celeste, fotometria, spettroscopia, cosmologia). Parlando del Centro, va ricordato che qui nel 1985 fu

inaugurata la Terrazza delle Stelle, importante raccolta di strumenti astronomici del passato opportunamente ricostruiti.

Sempre negli anni Settanta iniziò lo studio attivo dell'Archeoastronomia che stava prendendo piede nell'indagine su monumenti antichissimi in Europa e in America, e passò, come docenza, da Cosmologia a Storia dell'Astronomia. A spostare i suoi interessi di ricerca verso l'Archeoastronomia fu anche la constatazione che il cielo di Treviso, deterioratosi negli anni, rendeva difficile, se non impossibile, continuare gli studi sulle variabili dal suo osservatorio. L'Archeoastronomia, invece, rappresentava un'alternativa che gli avrebbe dato molte opportunità e soddisfazioni. Si specializzò in particolare sulle civiltà precolombiane, ma collaborò con altri ricercatori sugli allineamenti astronomici di alcuni manufatti preistorici presenti nel Veneto, in Sardegna e in Sicilia. Nel 1985 organizzò il primo Seminario sulle ricerche archeoastronomiche in Italia e, nel 1989, in collaborazione col Dipartimento di Archeologia dell'Università Ca' Foscari Venezia, un Colloquio Internazionale di Archeologia e Astronomia.

Per quanto riguarda il suo contributo alle attività culturali trevigiane va ricordata in primis la Scuola Aperta di Astronomia e Filosofia della Scienza che, dal 1975 e fino agli anni 2000, offrì cicli di conferenze seguitissime, tenute da lui e da altri suoi colleghi dell'Università presso il Collegio Pio X. Impossibile ricordare qui tutti i suoi interventi che riguardavano ogni aspetto dell'astronomia, dal sistema solare alla formazione delle stelle, dalla storia dell'astronomia alla cosmologia, dalla relatività alla meccanica quantistica, dalla misura del tempo all'archeoastronomia, ecc.

Come accennato più sopra, nel 1978, per valorizzare e potenziare la ricerca astronomica amatoriale, diede vita all'Ass.ne Astrofili Trevigiani, un gruppo di appassionati non professionisti ai quali insegnò come osservare il cielo, come apprezzarlo e come amarlo. Ogni incontro mensile era una scoperta entusiasmante grazie alla sua sapienza e semplicità di linguaggio. Non usava sistemi multimediali, che all'epoca erano ancora primitivi, solo qualche diapositiva o proiezione su lucido, ma le immagini mentali che riusciva a creare con la parola erano chiare al punto che, chi lo ascoltava, aveva il piacere e forse la pretesa di aver capito tutto. Una volta gli chiesi il segreto di tale capacità divulgativa e lui rispose ironicamente che si era affinato per aver insegnato per buona parte della sua vita a dei somari.

Per quanto riguarda la ricerca amatoriale da parte degli astrofili, cosa a cui teneva molto, al punto da non considerare chi si preoccupava di fotografare il cielo solo per avere una bella immagine a colori, ebbe a dire:

Lo studio, anche per un astrofilo, non deve finire mai; più una persona si dedica alla ricerca più deve approfondire gli argomenti, deve leggere, studiare. È un processo, questo, che è senza fine e che richiede costanza e serietà non disgiunte mai dalla modestia, che dovrebbe essere la dote principale di ogni serio ricercatore anche a livello amatoriale.

Nel 1979 fece costruire il primo planetario veneto, il terzo in Italia, presso il Collegio Pio X, e lo inaugurò ufficiosamente il 18 maggio con una lezione indimenticabile. L'inaugurazione ufficiale avvenne il 30 novembre alla presenza del vescovo mons. Mistrorigo che, ricordano le cronache, aveva recepito la "sommessa" ma decisa proposta del prof. Romano riguardo la necessità "di disporre di un simile strumento in una Scuola Aperta come questa di Treviso, che restituisse all'astronomia il posto che gli spetta di diritto tra le scienze più formative dell'uomo, e che gli ordinamenti scolastici "ufficiali" non le concedono". Anche la costruzione, già nel 1974, della specola del Collegio, dotata all'epoca di un telescopio Newton con uno specchio parabolico da 30 cm di diametro, fu voluta da lui per dare la possibilità alla cittadinanza di conoscere le bellezze del cielo e agli astrofili l'opportunità di fare ricerca amatoriale (Fig. 5).

Ricordo ancora con emozione le notti passate a stimare sia in visuale che col fotometro fotoelettrico alcune variabili che il prof. ci assegnava: SS *Cyg*, R *Cam*, HH *Aur*, T *Tau*, RR *Lyr*, ecc. e le difficoltà nel centrare l'oggetto, con le coordinate da individuare nei cerchi graduati e l'ausilio del



tempo siderale. Ricordo l'impegno per la costruzione grafica della curva di luce e la presentazione dei dati alla platea degli astrofili. Erano anni in cui a Treviso si faceva Astronomia con la A maiuscola. Naturalmente col tempo la strumentazione dell'osservatorio divenne obsoleta e il prof. Romano, come sempre sensibile e disponibile, decise di donare nel 2005 il suo telescopio con specchio da 40 cm al Collegio Pio X perché fosse messo a disposizione degli astrofili. Lo strumento, di ottima fattura, opera della ditta Marcon Telescopi, venne modernizzato con degli accessori d'avanguardia e funzionò fino al 2014, quando venne dismesso. Attualmente è inutilizzato e personalmente ne sono addolorato, avendolo usato più volte per mostrare il cielo alla cittadinanza e, come ho detto, per aver fatto anche delle ricerche amatoriali.

Romano fu responsabile scientifico dell'Associazione Astrofili Trevigiani fino agli anni 2000, continuando poi a tenere corsi di aggiornamento di astronomia per insegnanti. Infine, l'ultimo, ma non per questo meno importante impegno del prof. Romano e nostro debito di riconoscenza nei suoi confronti, è la divulgazione delle conoscenze attraverso articoli e libri. Oltre ad un numero incredibile di pubblicazioni, circa trecentocinquanta, su autorevoli riviste scientifiche italiane e straniere egli ha scritto infatti diversi libri di astronomia, di archeoastronomia e di gnomonica. L'ultima sua fatica editoriale, un libro bellissimo di storia dell'astronomia, venne pubblicato nel 2010.



**Fig. 5.** Inaugurazione del telescopio della specola del Collegio Pio X.

Per i meriti in ambito scientifico è stato premiato più volte. Ricordo solo i riconoscimenti più prestigiosi: il Premio Lacchini, il più importante riconoscimento che l'Unione Astrofili Italiani conferisce ad astronomi e astrofili di fama mondiale che si sono distinti nella divulgazione dell'astronomia, la Targa Giuseppe Piazzi per la divulgazione scientifica e il Totila d'oro, massimo riconoscimento della città di Treviso per gli alti meriti conseguiti nel campo della scienza e della cultura. Romano è stato anche presidente dell'Ateneo di Treviso, prestigiosa associazione culturale che ha ereditato la sua biblioteca, ora accessibile al pubblico, e che custodisce tutte le sue relazioni pubblicate negli Atti dell'Ateneo.

Negli ultimi due anni di vita, specialmente dopo la perdita dell'amata moglie Lella, e complice anche il peso esercitato dall'età avanzata, ridusse le sue relazioni e conferenze pubbliche, ma il suo impegno nella divulgazione rimase immutato. Non poteva infatti farne a meno, aveva bisogno di trasmettere agli altri la sua grande passione per il cielo. Tenne la sua ultima conferenza il 21 novembre 2012 a 89 anni, trattando l'argomento "I Maya e il tempo".



**Fig. 6.** Il prof. Romano tra i suoi amati libri.

#### 4. Conclusioni

Il prof. Romano, abbiamo detto, amava il cielo e questo amore lo trasmetteva ogni qualvolta ne aveva l'opportunità usando parole appassionate che aprivano il cuore a chi le ascoltava. Voglio perciò chiudere questo mio modesto contributo con le parole da lui pronunciate a un convegno sull'inquinamento luminoso, effetto deleterio provocato dall'eccessiva illuminazione artificiale, molto criticato e combattuto da chi si sente derubato delle bellezze del cielo stellato:

Non v'è certamente alcuno spettacolo, immaginato dall'ingegno umano, che possa eguagliare quello che il cosmo ci offre con grande semplicità. I sentimenti profondi di pace, di bellezza, di umiltà, di esaltazione, di profonda armonia, solo la visione del cielo ci può dare. Il cosmo è armonia, ordine, maestosità. La sola ammirazione del cielo e dei suoi fenomeni, ci ridimensiona, ci misura, ci paragona all'infinito che sembra sommergerci nella sua immensità.

#### **Bibliografia essenziale delle opere pubblicate dal prof. Giuliano Romano**

*Evoluzione delle stelle.* Treviso: Canova, 1977.

*Introduzione all'astronomia.* Roma: Muzzio, 1985.

*Il sole e il tempo.* Treviso: SIT, 1991.

*Archeoastronomia italiana.* Padova: CLEUP, 1992.

*Orientamenti ad sidera.* Ravenna: Edizioni Essegi, 1995.

*Prolegomeni alla cosmologia.* Padova: CLEUP, 1996.

*L'uomo e il cosmo.* Treviso: SIT, 1997.

*Mio padre è il cielo.* Padova: CLEUP, 1998.

*I Maya e il cielo.* Padova: CLEUP, 1999.

*Introduzione alla matematica precolombiana.* Padova: CLEUP, 2000.

*Conversazioni sul cielo e dintorni.* Padova: CLEUP, 2002.

*Antichi cieli andini.* Padova: CLEUP, 2004.

*La complessità dell'universo.* Roma: Gremese, 2007.

*I primi giganti dell'astronomia moderna, da Cusano a Newton.* Treviso: Ateneo di Treviso, 2010.

# Gli “Incontri con la Natura” Giuliano Romano e don Paolo Chiavacci

Laura Bertollo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro di Spiritualità e Cultura don Paolo Chiavacci/ Associazione Incontri con la Natura don Paolo Chiavacci, laura.bertollo01@gmail.com

*Abstract:* Giuliano Romano's meeting with Don Paolo Chiavacci in the 1970s: the story of a friendship on the slopes of Grappa between the cosmologist of the University of Padua and the prophetic priest of the environment in love with God and Nature. A forward-looking vision of the founder of the current Center of Spirituality and Culture, dedicated to him, in a search between the infinitely large and the infinitely small beauties of nature for an understanding of what surrounds us as a cure for our “common home”. With Giuliano Romano, Centre began to disseminate and teach astronomy, viewing knowledge as a tool to love, appreciate, and safeguard our fragile planet.

*Keywords:* Giuliano Romano, Don Paolo Chiavacci, Astronomy

## 1. Breve storia di don Paolo Chiavacci e del suo incontro con Giuliano Romano

Il presente articolo vuol essere un breve e didascalico racconto di come un prete diocesano ha incontrato un professore universitario e di come da quest'incontro sia sgorgata un'amicizia che ha permesso di creare sulle pendici del Grappa un luogo che potesse avvicinare ragazzi e adulti alla scoperta e alla tutela del cielo, per promuovere la comprensione e la cura della natura attraverso la divulgazione dell'astronomia.

### 1.1 Note biografiche

- Don Paolo Chiavacci nacque a Crespano del Grappa nel 1916 e morì a “Casa Don Bosco” il 5 aprile 1982. È sepolto nella cappella costruita dagli amici Alpini, nell'attuale “Centro di Spiritualità e Cultura” a lui dedicato.
- Dopo le elementari, dal 1928 al 1933 frequentò il ginnasio presso il Collegio Salesiano “Astori” di Mogliano Veneto; quindi il liceo negli istituti Filippin di Paderno del Grappa.
- Nel 1938 terminò il Corso Allievi Ufficiali di Complemento Alpini a Bassano del Grappa, nella 92<sup>a</sup> Compagnia, primo plotone, seconda squadra.
- Nel 1939 si laureò in giurisprudenza all'Università di Padova.
- Come Ufficiale degli Alpini prese parte alla guerra in Albania, quindi combatté in Francia, da dove tornò l'8 settembre del 1943.
- Il 3 dicembre del 1943 entrò nel Seminario di Treviso.
- Il 30 novembre del 1946 fu ordinato sacerdote. Nel 1949 iniziò i Corsi di Esercizi Spirituali presso “Casa Don Bosco” di Crespano (TV).
- Dal 1947 al 1949 svolse il suo primo ministero tra i sinistrati delle Case Popolari di Dosson di Treviso.
- Dal 1949 al 1954 fu vicedirettore ed insegnante del Seminario Maggiore di Treviso.
- Nel 1951 iniziò i lavori di ampliamento di “Casa Don Bosco” e di rimboschimento dell'area circostante.
- Dal 1955 al 1959 fu insegnante di diritto presso gli Istituti Filippin.

- Nel 1959 fu nominato Canonico-Teologo della Collegiata di Asolo.
- Dal 1961 al 1966 insegnò diritto ed economia politica presso l'Istituto Professionale per il Commercio delle Suore di Maria Bambina di Crespano.
- Dal 1963 al 1970 fu Direttore della Casa per Esercizi Spirituali "S. Maria in Colle" di Montebelluna e svolse intensa predicazione in molte località d'Italia.
- Nel 1970 aprì "Casa Don Bosco", durante il periodo estivo, per il soggiorno degli anziani.
- Nel 1972 fondò il "Centro Incontri con la Natura" e organizzò corsi culturali aperti a tutti.
- Nel 1973 si assunse il coordinamento di numerose Associazioni impegnate sul fronte della salvaguardia dell'ambiente e del Monte Grappa.
- Il 5 aprile del 1982, verso le ore 13, di ritorno dal lavoro agricolo, muore nei pressi del suo laghetto, sotto un corniolo in fiore...

### ***1.2 La visione della vita e del cosmo***

Don Paolo Chiavacci, nella sua continua ricerca di trovare Dio, iniziò a predicare una visione che può essere considerata a tutti gli effetti cosmologica fin dagli anni '50-'60 del secolo scorso. L'idea di armonia è stata un aspetto intrigante nella sua vita, e una componente che ricorreva spesso nelle sue meditazioni. Egli era profondamente convinto che vi fosse un'unica legge di armonia che governasse l'esistenza di tutto: un'unica legge di vita per tutto ciò che vive.

Vedeva gli animali, le piante, la materia inanimata in relazione.

Don Paolo riteneva necessario che ognuno potesse scoprire questa legge per trovare la pace, più ancora riteneva necessario che si potesse scoprire il pensiero da cui questa legge proviene e che necessariamente deve esistere.

Il 1972 fu un anno importante, di grande svolta, nel quale diede inizio quelli che chiamò i "Corsi Incontri con la Natura".

Don Paolo amava Dio e le sue creature con una forza sovrumana. Con i soli esercizi spirituali, in quella Casa che stava costruendo a Crespano del Grappa, a 600 metri di altitudine, non poteva e non riusciva a sopravvivere, quindi lanciò l'idea di riorganizzare quegli stessi esercizi in modo originale, attraverso le stelle, i fiori, i sassi, gli animali: parlare di Dio per poter avvicinare l'uomo, sia il credente che il non credente, a Dio e al suo grande amore.

Per poter osservare la volta celeste, don Paolo acquistò un telescopio vendendo parte del terreno davanti alla sua Casera; chiamò poi esperti famosi e competenti in diverse discipline e acquistò strumenti per facilitare nei partecipanti la comprensione di quanto ci circonda. Così – sosteneva – si sarebbe potuto capire quanto è grande Dio e quanto grande è il suo amore per noi.

Portando avanti questa sua impresa, trovò in Giuliano Romano un valido alleato non solo come esperto astronomo, ma anche come grande divulgatore, che come lui credeva in Dio e che con lui condivideva la convinzione che fosse un dovere dell'uomo il dover proteggere la nostra casa comune, la Terra.

La sua idea, il suo sogno, emerge con lucidità nella lunga lettera che il 23 gennaio 1973 inviò a presidi, direttori didattici e allo stesso provveditore, per far conoscere il suo progetto:

Lo scopo dell'iniziativa è promuovere, specie nei giovani la conoscenza della natura attraverso lo studio delle sue meraviglie del tempo e nello spazio, nelle grandezze e nei limiti dell'uomo, nella manifestazione della sua perenne vitalità presente in ogni suo fenomeno e, conseguentemente, suscitare quell'amore per la natura che, diventati adulti, essi vivranno nell'arricchita sensibilità interiore e nel sempre più necessario rispetto ecologico.

Non si tratta dunque di una conoscenza asettica, di una fredda erudizione, ma di percorsi mirati a suscitare amore:



L'insegnante dovrebbe aiutare gli alunni ad osservare la natura: dall'osservazione verrebbe la conoscenza, dalla conoscenza l'amore, dall'amore il rispetto e la difesa

Il processo educativo, per don Paolo Chiavacci, coinvolge tutti i sensi:

Aiutiamo gli alunni a guardarsi attorno: il cielo, alla luce del sole e nel buio; le montagne, così variabili nelle loro espressioni; gli alberi, i fiori dei campi e dei monti; l'erba stessa di cui ogni filo è diverso dall'altro; i torrenti, ora gonfi e impetuosi, ora aridi e secchi; il panorama; le stagioni e le condizioni meteorologiche che qui, in particolare, sembrano possedere, eccezionalmente ricca, la loro tavolozza a dipingere in mille colori e mille sfumature il tutto [...]

Giuliano Romano, il docente astronomo di fama internazionale, fu affascinato da don Paolo tanto che lo aiutò nel suo ambizioso progetto. Don Paolo Chiavacci lo ricorda così:

Lo conobbi molti anni fa e la cordialità e la simpatia furono immediate e spontanee. Ci comprendemmo subito e ciò che di lui mi impressionò, in quel primo incontro, fu il suo amore veramente profondo per la natura, per l'opera di Dio. Egli viveva immerso nella natura, operando con la semplicità e l'immediatezza del saggio che ammira e medita sulle bellezze del creato. Tutto ciò che attraverso la natura lo avvicinava ancor più a Dio era oggetto della sua ammirazione; lo esaltava.

Fu Romano a presentare a don Chiavacci la teoria del Big Bang. Lo stesso astronomo ricorda quel momento:

Ricordo bene il suo entusiasmo. I miei, quella prima volta, non furono che rapidi cenni, in una conversazione tenuta all'imbrunire fuori, vicino ai pini del teatro all'aperto. La teoria lo impressionò molto profondamente tanto che, mi confessò alcuni giorni dopo, se l'è perfino sognata di notte.

Il Big Bang era, per don Paolo il *fiat lux*, il segno del più grande atto di Dio.

### **1.3 don Paolo e l'astronomia**

L'immediatezza, la genuinità, il coraggio e l'entusiasmo che caratterizzavano il *modus operandi* di don Paolo avevano richiamato molte persone, che restavano contagiate dal suo entusiasmo e dal suo indubbio successo. Anche parlando di astronomia, il suo immancabile approccio era: Dio, l'uomo e la natura; nel dipanarsi dell'argomento, non cessava di chiedersi: chi è l'uomo e che cos'è la fede in Dio.

Non faceva discorsi diretti su Dio, ma coglieva la Sua voce e i segni della Sua presenza e del Suo amore in tutte le fibre dello spirito, in tutte le opere umane, in tutte le realtà della Creazione. Sentiva che il mistero di Dio avvolgeva e si srotolava nella vita degli uomini e del Cosmo.

Don Paolo si perdeva nell'osservare l'infinitesimo particolare della natura e, con la rapidità dell'intuizione, lo sapeva riannodare in sintesi di dimensioni universali. Così, spesso, riprendeva nell'omelia la teoria del Big Bang, entusiasmandosi nell'avvincere chi lo ascoltava; anche durante i corsi di astronomia o le lezioni di scienze naturali riusciva ad inserire una contemplazione della Trinità, la realtà di Dio che più lo affascinava.

Una bellissima citazione di don Paolo riassume tutto questo:

La mia vita di uomo è legata all'esistenza dell'animale e del filo d'erba, che a loro volta sono legate all'esistenza della materia, della Terra; ed essa è legata all'esistenza del sistema solare che è legata

all'esistenza della Via Lattea, la nostra Galassia... E i legami che l'un l'altro ci uniscono sono un mirabile intreccio di energie, di forze, di materia, ancora sconosciute realtà che intercorrono, ora distinte e ben definite, ora ancora ignorate.

Negli anni che vanno dal 1973 al 1978 Giuliano Romano iniziò la sua attività in quello che allora era il "Centro Incontri con la Natura", organizzando corsi di astronomia, incontri di divulgazione per appassionati e insegnanti, e impegnandosi nella divulgazione e nella didattica dell'astronomia. L'obiettivo era quello di far diventare la conoscenza lo strumento per amare, apprezzare e tutelare il nostro fragile pianeta.

Dopo la morte di don Paolo, nel 1982, Giuliano Romano restò legato al Centro, cercando di contribuire al raggiungimento del sogno che quel prete diocesano alle pendici del Grappa aveva immaginato. Questo avvenne parzialmente nel 1985, quando, grazie a Giuliano Romano, si inaugurò la 'terrazza delle stelle' da lui ideata. Si tratta di una raccolta di numerosi orologi solari e copie fedeli di altri strumenti storici (un quadrante, un'armilla equatoriale, una riproduzione del cannocchiale di Hevelius, il modello del merket egiziano...) ancora oggi presente e funzionante, e ulteriormente arricchita con vari modelli di orologi solari.

Il Centro Chiavacci fu donato alla diocesi di Treviso e negli anni 2000 è stato ingrandito ed è stato ufficialmente chiamato "Centro di Spiritualità e Cultura don Paolo Chiavacci"

## 2. La storia continua

Attualmente il gruppo di astronomia che opera presso il "Centro di Spiritualità e Cultura don Paolo Chiavacci" organizza appuntamenti per il pubblico la prima domenica di ogni mese presso il planetario e numerose serate osservative, grazie ai telescopi presenti al Centro stesso.

Negli ultimi anni si sono affinate proposte sempre più mirate sia per le scuole che per gli insegnanti; per questi ultimi, in particolare, si sono organizzati specifici corsi di aggiornamento in didattica dell'astronomia, quali le scuole estive, promosse in collaborazione con l'Unione Astrofili Italiani (UAI) e i corsi di formazione per la rete FISM (Federazione Italiana Scuole Materne). Inoltre, il Centro ha avuto una partecipazione attiva nello scenario nazionale all'interno dell'associazione nazionale dei planetari italiani (PlanIt), ha organizzato delle giornate dedicate ai ragazzi, durante le quali sono stati riproposti esperimenti storici famosi come l'esperienza di Eratostene per la misura del raggio terrestre, o ancora convegni a tema su problematiche come la lotta all'inquinamento luminoso o eventi per il pubblico in occasioni astronomicamente interessanti, che vanno dalle eclissi agli sciami meteorici.

In tutto questo, l'obiettivo resta quello di educare i giovani e gli adulti ad alzare la testa al cielo per cogliere la vastità e la bellezza dell'universo. La conoscenza del cielo fornisce sicuramente una prospettiva speciale che può contribuire ad ampliare la mente e stimolare non solo l'aspetto scientifico ma anche il senso di cittadinanza globale e di tolleranza. Lo scopo primario del Centro, che oggi continua a proporre attività didattiche, è promuovere, specie nei giovani, la conoscenza della Natura attraverso lo studio delle sue meraviglie e suscitare in essi, una volta diventati adulti, quell'amore per essa che potranno vivere nell'arricchita sensibilità interiore e nel sempre più necessario rispetto ecologico.

## Bibliografia

Chiavacci Lago, F. & Folena, U. (2021). *Don Paolo Chiavacci profeta dell'ambiente*. Milano: Ancora Arti Grafiche.

**SISFA PRIZE**



## ***Silentium Universi. Storia del SETI e del Paradosso di Fermi\****

Lorenzo De Piccoli<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università di Pisa - Università degli Studi di Firenze, [lorenzo.depliccoli@edu.unifi.it](mailto:lorenzo.depliccoli@edu.unifi.it)

*Abstract:* The present paper intends to offer a short overview of my master's thesis in Logic, Philosophy and History of Science. The thesis, titled *Silentium Universi. Storia del SETI e del Paradosso di Fermi*, was awarded the Premio SISFA 2023 at the XLIII National Congress of the Società Italiana di Storia della Fisica e dell'Astronomia.

*Keywords:* SETI, Plurality of Worlds, Astrobiology

### **Il progetto di ricerca**

La tesi ripercorre la storia del programma di ricerca noto come SETI, o *Search for Extraterrestrial Intelligence*. Usando la metodologia, ormai classica, elaborata da Imre Lakatos, il lavoro si propone di analizzare la nascita del “nucleo duro” di assunzioni che hanno guidato la ricerca, e di indicare le varie ipotesi ausiliarie correlate intorno al nucleo duro e i modi in cui esse sono state adottate, modificate ed abbandonate nel corso dei decenni. In particolare, la prima parte della tesi individua la genesi del “nucleo duro” del SETI nella scienza settecentesca e ottocentesca; a cavallo tra questi due secoli si è infatti sviluppato quello che è passato alla storia come “dibattito sulla pluralità dei mondi”. Le origini di tale dibattito sono individuate nella temperie culturale e scientifica tardo-seicentesca, e in particolare in uno scritto dell'astronomo olandese Christiaan Huygens, il *Cosmotheoros*, pubblicato postumo nel 1698. Il testo di Huygens si esprime convintamente a favore dell'idea che è molto probabile che i pianeti diversi dalla Terra siano abitati da esseri razionali. Il *Cosmotheoros* si differenzia da lavori precedenti, come gli *Entretiens sur la pluralité des mondes* di Bernard Le Bouyer de Fontenelle, in quanto è rivolto ad altri filosofi naturali o almeno a un pubblico istruito (come è evidente dal fatto che è scritto in latino); soprattutto, le argomentazioni del *Cosmotheoros* sono portate avanti sulla base delle conoscenze scientifiche dell'astronomia contemporanea. Ad emergere dal *Cosmotheoros* è una visione dell'universo contraddistinta da un copernicanesimo ormai maturo, e in esso vengono toccate tutte le problematiche filosofiche e teologiche che si accompagnano all'idea di un cosmo dove la Terra e il Sole non sono rispettivamente altro che un pianeta ed una stella, in mezzo ad un'infinità di loro simili. Tali problematiche riemergeranno nei secoli successivi, vedendo interventi da parte di numerosi intellettuali e filosofi naturali europei, tra cui William Herschel, Christian Wolff, Immanuel Kant, William Whewell e Alfred Russel Wallace.

Sebbene i tentativi ottocenteschi e primo-novecenteschi di trovare conferme dell'esistenza di vita intelligente nel Sistema Solare fossero destinati a fallire, la nascita della radioastronomia nella prima metà del Novecento fece intravedere agli astronomi del periodo la possibilità di comunicare attraverso distanze interstellari proprio attraverso i segnali radio; da questo nacque il moderno SETI, il cui sviluppo storico è descritto nella seconda parte della tesi. L'anno cruciale fu il 1959; allora venne pubblicato sulla rivista *Nature* il primo articolo dedicato alla tematica, “Searching for Interstellar Communications” dei fisici Giuseppe Cocconi e Philip Morrison, e nello stesso anno vennero effettuati i preparativi per il primo progetto di osservazione radioastronomica alla ricerca di comunicazioni extraterrestri. Tale progetto, chiamato *Ozma* e condotto nel radio osservatorio di Green Bank dall'astronomo Frank Drake,

---

\* Premio di Laurea SISFA 2023.

fu il preludio di un sempre maggiore interesse della comunità scientifica alla tematica: nel 1961, sempre a Green Bank, venne tenuta la prima conferenza scientifica sul tema, dove tra le altre cose venne formulata l'ormai celebre equazione di Drake. Nello stesso periodo, anche in Unione Sovietica l'*establishment* scientifico iniziò ad interessarsi alla questione della vita nel cosmo; la prima vera e propria monografia sul tema venne scritta nel 1962 dall'astrofisico sovietico Iosif Samuilovič Šklovskij, per poi venire ripubblicata nel 1966, tradotta in inglese e con contributi di Carl Sagan, con il titolo di *Intelligent Life in the Universe*. Una serie di conferenze scientifiche, tra cui la grande conferenza internazionale di Byurakan in Armenia del 1971, videro la partecipazione di scienziati di altissimo livello, inclusi numerosi premi Nobel, e a questo periodo risalgono alcuni degli episodi che sono rimasti impressi anche nell'immaginazione popolare, tra cui il celebre "messaggio di Arecibo" del 1972. Tuttavia, i ripetuti fallimenti degli sforzi SETI fecero sì che il programma di ricerca entrasse in crisi tra gli anni '80 e '90 del secolo scorso; tale crisi si manifestò da un lato con il progressivo taglio dei fondi dedicati ai progetti SETI (l'ultimo grande progetto SETI finanziato dalla NASA, chiamato *High Resolution Microwave Survey* o HRMS, venne cancellato nel 1993), e dall'altro lato con l'impossibilità di spiegare l'apparente assenza di alcun tipo di evidenza dell'esistenza di vita extraterrestre intelligente. Il dibattito intorno a tale impossibilità, descritto nella tesi nelle sue linee essenziali, assunse il nome di "controversia del Grande Silenzio", o anche "paradosso di Fermi".

La terza parte è dedicata a una disamina di alcuni elementi metodologici particolarmente interessanti emersi nell'ambito delle ricerche riguardo SETI e il paradosso di Fermi. Vengono presi in esame gli strumenti mutuati da svariate discipline e la loro applicazione alla questione dell'intelligenza nel cosmo: per fare alcuni esempi, i modelli matematici che tentano di descrivere l'espansione di una civiltà intelligente nello spazio, nonché i tentativi, da parte di matematici e linguisti, di costruire una lingua cosmica utilizzabile per comunicare con eventuali intelligenze extraterrestri. Vengono poi prese in considerazione alcuni degli approcci più "eterodossi" alla problematica, tra cui la teoria della panspermia, tentando di valutare lo status scientifico ed epistemologico di ciascuno di essi. Infine, viene offerta una generale panoramica sullo status epistemologico del SETI come programma di ricerca, prendendo in considerazione alcune delle critiche sollevate da filosofi della scienza nel passato e sottolineando il respiro profondamente interdisciplinare della tematica.

La quarta e ultima parte della tesi è dedicata agli sviluppi più recenti del SETI, a partire dagli anni '90 del secolo scorso fino al periodo contemporaneo. Vengono descritti i progetti radioastronomici condotti dopo la cancellazione di HRMS da università (come l'ateneo californiano di Berkeley) ed associazioni private (ad esempio il SETI Institute, organizzazione *no-profit* fondata da Sagan e altri), mostrando come i ricercatori dietro tali progetti si siano impegnati a trovare soluzioni sempre più economiche, efficienti e ingegneristicamente sofisticate. Si descrive inoltre la genesi e lo sviluppo dell'OSETI (*Optical Search for Extraterrestrial Intelligence*), che consiste nella ricerca di comunicazioni interstellari nella regione della luce visibile dello spettro elettromagnetico. Viene poi analizzato il neonato campo di studi della *technosignature science*, ovvero la ricerca di tracce di artefatti tecnologici extraterrestri, prendendo specialmente in considerazione il recente e noto caso dell'oggetto interstellare "Oumuamua". Infine, viene evidenziato il legame che sussiste tra il dibattito degli anni '90 e inizio anni 2000 riguardo SETI e paradosso di Fermi e la nascita dell'astrobiologia contemporanea. La conclusione della tesi, oltre ad un riassunto dei temi trattati, espone una serie di problematiche storiche ed epistemologiche ancora aperte.

Purtroppo, il sistema informatico dell'Università degli Studi di Firenze non consente la consultazione della tesi a chiunque non sia dotato di credenziali della stessa università. Chi volesse consultare la tesi è pertanto pregato di contattare l'autore.

## Ringraziamenti

Desidero ringraziare vivamente il prof. Marco Ciardi e il prof. John Robert Brucato, rispettivamente mio relatore e mio correlatore, per il prezioso aiuto nel lavoro di tesi. Ringrazio inoltre tutti i colleghi e gli amici del Dipartimento.

## Bibliografia<sup>1</sup>

- Brin, G.D. (1983). “The ‘Great Silence’: The Controversy Concerning Extraterrestrial Intelligent Life”, *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 24, pp. 283-309.
- Cowie, C. (2023). “Arguing About Extraterrestrial Intelligence”, *The Philosophical Quarterly*, 73(1) pp. 64-83.
- Crowe, M.J. (1988). *The Extraterrestrial Life Debate 1750-1900: The Idea of a Plurality of Worlds from Kant to Lowell*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ćirković, M.M. (2018). *The Great Silence: Science and Philosophy of Fermi’s Paradox*. Oxford: Oxford University Press.
- Dick, S.J. (1999). *The Biological Universe. The Twentieth Century Extraterrestrial Life Debate and the Limits of Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gindilis, L.M. & Gurvits, L.I. (2019). “SETI in Russia, USSR and the post-Soviet space: a century of research”, *Acta Astronautica*, 162, pp. 1-13.
- Jones, E.M. (1985). “Where Is Everybody?” *An Account of Fermi’s Question*. Los Alamos: Los Alamos National Lab.
- Losch, A. (2016). “Kant’s wager. Kant’s strong belief in extra-terrestrial life, the history of this question and its challenge for theology today”, *International Journal of Astrobiology*, 15, Special Issue 4, pp. 261-270.
- Shuch, H.P. (ed.) (2011). *Searching for Extraterrestrial Intelligence: SETI Past, Present and Future*. Berlino: Springer.
- Vakoch, D.A. (ed.) (2011). *Communication with Extraterrestrial Intelligence*. Albany: SUNY Press.
- Vakoch, D.A. (ed.) (2014). *Archaeology, Anthropology and Interstellar Communication*. Washington D. C.: National Aeronautics and Space Administration.
- Vakoch, D.A. & Dowd, M.F. (eds.) (2015). *The Drake Equation: Estimating the Prevalence of Extraterrestrial Life through the Ages*. Cambridge: Cambridge University Press.

---

<sup>1</sup> La bibliografia completa della tesi consta di più di 25 pagine; si offre qui una selezione essenziale della letteratura secondaria consultata durante il lavoro di tesi.





# Unveiling the size of the Universe: the first accurate measurement of the Earth-Sun distance by Giovanni Domenico Cassini\*

Elisabetta Rossi <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Milano, Elisabetta.Rossi1@unimi.it

*Abstract:* This master's degree thesis sheds new light on the history of a peculiar scientific expedition: the two-year (1672-73) voyage to Cayenne (French Guiana) supervised by the Italian astronomer Giovanni Domenico Cassini and led by the *élève astronome* of the *Académie Royale des Sciences* Jean Richer. The observations carried out simultaneously in Cayenne and in Paris enabled Cassini to obtain the first remarkably accurate measurement of the Earth-Sun distance, but not only that. A careful check and inspection of the original documents kept in the Archives of the *Académie* in Paris allowed to reconstruct the history of the expedition. This essay highlights the key findings and contributions of the thesis.

*Keywords:* History of Astronomy, Scientific Expeditions, Cayenne expedition, Jean Richer, Giovanni Domenico Cassini, Earth-Sun Distance, Parallax, Latitude, *Académie des Sciences*.

## 1. Introduction: the birth of scientific expeditions in France under Louis XIV

In the ambitious plan of King Louis XIV (1638-1715), better known as the Sun King, France should have become culturally dominant in Europe and extend its influence in art, literature, and science all over the world. To create this ‘golden age’ for the country, the King thought that he should have conquered and annexed as many key territories as possible. The first Minister of State Jean-Baptiste Colbert (1619-1683) suggested him that to prove the political dominance of France, he should have financed (alongside military campaigns) scientific expeditions aimed to determine the extent of French colonial possessions with the highest possible accuracy. Following Colbert’s advice, the newborn *Académie Royale des Sciences* (1666), an institution which expressed both the *grandeur* of the monarchy and of the King himself and provided state-funded researchers, organized scientific expeditions to Denmark, Canada, French Guiana, Cape Verde Islands, Martinique, Senegal, Egypt, Siam, etc. These voyages took advantage of the French overseas trading companies: the new expeditions’ project had great repercussions for France that both enforced its commercial strength and gave a strong impulse to nautical science.



**Fig. 1.** Jean Dominique Cassini, Tirage photographique, auteur inconnu, titre forgé. Bibliothèque de l’Observatoire de Paris, Inv.I.211.

## 2. Giovanni Domenico Cassini’s role

The astronomers of the *Académie*, being also geographers and cartographers, were chosen as ‘leading actors’ of these expeditions, as measuring the terrestrial coordinates (latitude and longitude) strongly required their skills. All the French expeditions organized in those years were under Giovanni Domenico Cassini’s (1625-1712) supervision: the Italian astronomer left Bologna (where he was holding a

---

\* SISFA Degree Award 2022, presented at the *XLII SISFA Congress*, Perugia, September 26-29, 2022. An extended Italian version of this paper is: Rossi, E. (2024). “«Observer the concert»: Giovanni Domenico Cassini, Jean Richer e la prima misura accurata della distanza Terra-Sole”, *Giornale di Astronomia*, 50(1), pp. 28-36.

university chair in Astronomy) in 1669 and was warmly welcomed at the King's court in Paris (Fig. 1).<sup>1</sup> He also became director of the magnificent new place for astronomical observations and geographical studies: the *Observatoire Royal de Paris*, founded by Louis XIV at Colbert's instigation.

Cassini was used to coordinate from Paris the astronomers' work by instructing them, testing the instruments, and receiving the results to be compared with the measurements personally made from his station at the *Observatoire*.<sup>2</sup> Thanks to his temper and authority, he coordinated research which were taking place thousands of kilometers apart. In the second important period of his life, he could see for the first time his aspiration to work with colleagues for a common scientific purpose materialized: the term "*observer de concert*" occurred frequently in Cassini's writings and was precisely referred to a working group resulting from the astronomers' collaboration. The academicians remained in Paris, and Cassini above all, were always informed about what was happening abroad through private correspondence with the scholars who were travelling overseas.

### 3. The two-year scientific expedition to Cayenne (French Guiana)

The two-year expedition (1672-73) to French Guiana is particularly valuable from a historical and astronomical point of view, as specific observations carried out simultaneously from there and from Paris allowed to obtain a new level of knowledge in the astronomical field; the desire for glory of the *Roi Soleil* began with an aggressive military expansion and turned out into an improvement of astronomy. The complete account of the Cayenne expedition appeared in 1679,<sup>3</sup> at a time when the reliability of documentation was the key factor for the credibility of an institutional oversea trip.

#### 3.1 *The main purposes of the expedition and the choice of the destination*

The main purposes of the expedition concerned the verification of some celestial observations which Cassini had already studied while he was in Bologna. An astronomical calendar was established to derive the following quantities (Richer 1679, p. 2):

- a. The ecliptic obliquity (the angle between the Earth orbit and the equator plane).
- b. The Equinoxes times.
- c. Sun, Venus, and Mars parallaxes.
- d. The movements, phases, and parallax of the Moon.
- e. The movements of Mercury (a planet that had been rarely observed from Europe).
- f. The main characteristics of the Southern Stars (which were only partially or not at all visible from Paris).
- g. The effect of refraction of light.
- h. A study on the barometer.
- i. The length of the pendulum.
- j. Some measurements of the tides' amplitude.

The detailed and strict plan of investigation decided long before the departure is one of the reasons to recognize the two years in Cayenne as the prototype of early-modern scientific expeditions.

To carry out this astronomical project, the academicians chose the main French settlement in

<sup>1</sup> In 1673 Cassini obtained the *act de naturalisation* for his marriage with the French noblewoman Geneviève de Laistre, becoming a French citizen and changing his name into Jean-Dominique. For Cassini's biography, refer to: Cassini (2003). See also the archival source: Cassini (no date). His autobiography has been published in: Cassini (2020).

<sup>2</sup> Cassini compiled a practical reminder entitled "Instructions générales pour les observations géographiques à faire dans les voyages" which later became the introduction to: Cassini (1693).

<sup>3</sup> Richer (1679). The work was later republished in: *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences* (1666-1699), VIII<sup>1</sup>, pp. 233-326. Refer to: Olmsted (1942).

Madagascar, Fort Dauphin, at the Southeast tip of the island, as the original destination.<sup>4</sup> Unfortunately, only places laying within the two tropics (with a latitude  $|\varphi| \leq 23^{\circ}27'$ ) have the Sun at the zenith, where refraction is negligible, twice a year: being Fort Dauphin at a latitude of  $25^{\circ}$ , the place did not fulfil the request. This is exactly the reason why the astronomers changed the destination from Madagascar to French Guiana:<sup>5</sup> the latitude ( $4^{\circ}56'$  North) of the French port of Cayenne ensured the achievability of the astronomical project. In addition, communications from Paris to French Guiana were faster than those to Madagascar. The change of the destination and the choice of the best period of the year to carry out the astronomical observations lead to the success of the expedition, which enabled the first determination of longitude on land and the first accurate measurement of the Earth-Sun distance.

### 3.2 The choice of the ‘leading actor’: Jean Richer

The scholar chosen for the expedition was Jean Richer (1630-1696):<sup>6</sup> the only likely representation of the astronomer is a drawing (Fig. 2) done by the illustrator Sébastien Leclerc (1637-1714) that may be intended as a portrait of Richer with some important astronomical instruments such as a telescope, a quadrant, a pendulum clock, and an armillary sphere.



**Fig. 2.** Richer, J. (1679). *Observations astronomiques et physiques faites en l'isle de Caienne*. Paris: Imprimerie Royale, Bibliothèque nationale de France (BnF), detail, p.1.

Richer's life is partially unknown: it is almost certain that he was born in France likely around the 1630s, but the place is not known. He received a good education, worked as an engineer, and entered the *Académie* as a junior astronomer in 1666; four years later he was awarded with the title of *mathématicien de l'Académie*, a term which was regularly used to describe persons

skilled in astronomical observations. Richer perfectly embodied the figure of scientific development in the modern era: he went through training process on the purpose of the trip, followed accurately instructions compiled by Cassini and brought back to his homeland essential measurements.<sup>7</sup> The accomplishments of the voyage were linked not only to his skills, but also to the employment of the most suitable and advanced instruments and tools, which allowed important scientific achievements.

In Cayenne, Richer brought with him a 20-foot and a 5-foot telescopes, a quadrant with a 2.5-foot radius and an octant with a 10-foot radius. Both the latter instruments were made of well-beaten iron with the graduated limb of copper. The objective glass had been made by Jacques Borelly (1623-1689), an optical glass manufacturer who entered the *Académie* in 1674. Before leaving for French Guiana, Richer made a measurement test with both the quadrant and the octant from Paris, and then repeated the same procedure once he arrived in Cayenne (Richer, 1679, pp. 3-5). Thus, he verified that his instrumentation had not been damaged during the transatlantic travel. For measuring the time, he took with him two pendulum clocks, one marking the seconds and the other marking the half-second, made by the King's watchmaker Isaac II Thuret (1630-1706).

<sup>4</sup> Paris, Archives de l'Académie des Sciences, *Régistres de l'Académie des Sciences, II (Mathématiques, 1666-68)*, p. 155. This is a speech given by one of the founders of the *Académie*, Adrien Auzout (1622-1691), who presented the first known proposal for a scientific expedition to the institution only three weeks after its first formal meeting, on December 22<sup>nd</sup>, 1666.

<sup>5</sup> Christiaan Huygens (1629-1695) first specifically mentioned Cayenne as the destination of the observers in a letter to Henry Oldenburg (1618-1677) dating September 4<sup>th</sup>, 1669 (see: Huygens 1888, p. 486).

<sup>6</sup> Two letters written by Richer to Cassini survive: Richer, J. (1672). *Lettre de Richer à Cassini I*, Cayenne le 4 mai 1672. Bibliothèque numérique, Observatoire de Paris, B4/11 bis (70). Richer, J. (1672). *Lettre de Richer à Cassini I*, Cayenne le 20 juillet 1672. Bibliothèque numérique, Observatoire de Paris, B4/11 bis (71).

<sup>7</sup> Richer had also led another previous (1670) expedition to Acadia. See: Olmsted (1960).

Once Richer came back to Paris, his notes were published with a little delay for unknown causes, but his enterprise reached an earlier popularization among the contemporaries with his accounts discussed in several Paris salons. Richer was then given the title of *ingénieur du Roi* and he was assigned to an engineering project in Germany. In 1679, he was elected to full membership of the *Académie*; no other information exists except the place – Paris – and the year – 1696 – of his death.

#### 4. The first accurate longitude determination on land

Since the European powers engaged in the conquer of colonies, navigators strongly needed detailed maps and nautical charts to determine a vessel position in the oceans and have a safe and efficient navigation. New astronomical procedures to find the exact location on land and seas were developed: navigation projects proceeded thus side by side with a cartography improvement.

The determination of latitude was quite an easy task in the seventeenth century: it was not difficult for sailors located in the Northern Hemisphere to find out their ship latitude with an accuracy of about  $1^\circ$ , by the height of the Polar Star (which equals the latitude), using instruments such as the astrolabe and the quadrant. Determining the longitude, instead, required simultaneous observation of astronomical phenomena from a ship and from another (reference) place on land: the time difference between the two locations corresponded to the longitude difference (since one-hour difference in local times corresponds to  $15^\circ$  of Earth rotation around its axis and consequently in longitude). The quest for longitude became a matter of national interest: the Spanish monarchy turned to experts in navigation and cosmography to address the problem and instituted the so called ‘longitude prize’ in the hope of a solution. The initiative was followed by French, Dutch, and English governments.

##### 4.1 The eclipses of Jupiter’s satellites

At the time of the Cayenne expedition, astronomers made use of lunar eclipses (a practice described in detail in Richer’s 1679 report) to measure the longitude of a place. However, Cassini strongly believed that a new method involving simultaneous measurements of the eclipses of Jupiter’s satellites (Io, Europa, Ganymede, and Callisto) obtained from different places on Earth, could have led to remarkable achievements in the longitude quest. When Galileo Galilei (1564-1642) discovered the satellites, he suggested that they could be used to determine the longitude of a place thanks to their very quick motion and their regular occurring: the local time difference of the starting (and/or ending) of the eclipse between the unknown longitude place and reference place (of known longitude) would have equalled the longitude difference. Galileo vainly investigated for a long time this practice to correct, renew and refine the geographical knowledge of the time, but he faced many issues: first, since the method required high precision pendulum clocks, it could not be performed on boats. What is more, even if placed on ground, pendulum clocks precision was not very high, and most astronomers thought that it would have been too difficult to get accurate results out of it. Finally, by Galileo’s death in 1642, the only published tables on Jupiter’s satellites motions were too inaccurate.

Despite this, in Cassini’s opinion the low frequency of lunar eclipses made such method less useful than Galileo’s one. Moreover, he had already compiled the ephemerides of Jupiter’s moons while he was in Bologna. Once in Paris, he got the support from his colleagues and managed to collect data of eclipses taken by astronomers from very different and distant places on Earth: simultaneous astronomical observations represent an important trace of the collaboration between scholars in the modern era. The effort in determining longitude and latitude were part of the larger French scheme, driven by the *Académie*, to combine scientific practices and explorations with the King’s practical need of corrected geographical maps.

During 1667 and 1668, the *Académie* was planning the new important program of astronomical observations to be carried out overseas. One of the first destinations chosen was Denmark, and more precisely the Hven island, where Tycho Brahe (1546-1601) had established the Uraniborg Observatory one century before. This travel led by the Abbot Jean Picard (1620-1682), together with the voyages of

several other German scholars in France, promoted the establishment of strong scientific relations between the Northern regions and France. In 1671-72, Picard and Cassini were able to establish together the longitude difference between Paris and the island of Hven, which resulted ( $10^{\circ}32'30''$ ) only 12 arc minutes larger than the true value ( $10^{\circ}20'33''$ ) that can be derived by subtracting Hven longitude ( $12^{\circ}41'28''$ ) from Paris one ( $2^{\circ}20'55''$ ).<sup>8</sup>

Shortly after, Cassini asked Richer's help to estimate another longitude difference: due to bad weather and adverse atmospheric conditions, the *élève astronome* could observe Jupiter's satellites only during the second part of his stay in Cayenne. The motion of the moons on April 1<sup>st</sup>, 1672, together with the comparison of the meridian altitude of the Sun at the Equinoxes and the lunar eclipse on November 7<sup>th</sup>, 1672, provided three longitude differences: 3h 26m 33s (corresponding to  $51^{\circ} 38' 15''$ ), 3h 42m (corresponding to  $55^{\circ} 30'$ ) and 3h 28m 28s (corresponding to  $52^{\circ} 7' 0''$ ) respectively (Cassini 1684, pp. 37-39).<sup>9</sup> The real longitude difference between Paris and Cayenne is 3h39m22s in time units (corresponding to  $54^{\circ}50'30''$ ). Thus, the estimates were in this case not as accurate as they were for Hven, which is not unexpected due to the much larger distance between France and its overseas colony. Although the new method involving Jupiter's satellites turned out to be not feasible to apply on a ship, it gave rather accurate longitude measurements on land: for geography, cartography and astronomy that was an epoch-making accomplishment.

## 5. The first accurate AU measurement

The Cayenne expedition deserves particular attention also because it enabled the experimental determination of the Earth-Sun distance, also called Astronomical Unit (AU). This value has been sought after since ancient times and its first estimate was made by the Greek astronomer Aristarchus of Samos (c. 310-230 BC), who largely underestimated it, finding that the Sun should have been only 19 times farther from the Earth than the Moon. Subsequent estimations of the AU remained limited within one twentieth and one tenth of its real value.

### 5.1 Sun and Mars parallaxes

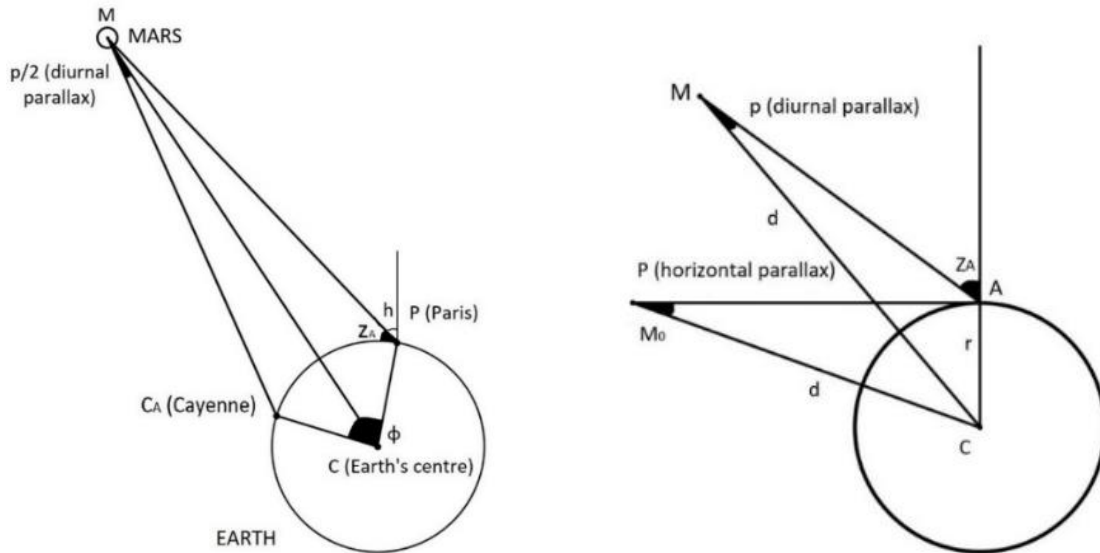
The angular measure ( $\pi_{\odot}$ ) of the Earth-Sun distance is called solar parallax: it is simply seen as the difference in the Sun position in the sky, but it cannot be directly determined because there is no fixed system to refer to during the day. What is more, there is a high difficulty in identifying with accuracy the Sun centre. Aware of these problems, Cassini devised an alternative and innovative solution by asking Richer to measure Mars parallax ( $\pi_M$ ) from Cayenne. The smaller is the Earth-Mars distance, the larger is Mars parallax: the most favourable observational condition were at the time in which the planet was in opposition and hence close to the Earth. Not by chance, the commission of the *Académie* sent Richer to Cayenne in the fall of 1672, when the planet was expected to be at the point in its orbit closest to the Earth, after a period which lasted for about fifteen years. Clearly, the intuitions of an expert like Cassini and the reliability of his Ephemerides were key elements in achieving the epoch-making milestone for the new science: the first experimental accurate measurement of the Earth-Sun distance.

Following Cassini's request, Richer recorded the meridian height of Mars and of a few close stars almost every day from the end of July to the end of November, but his measurements were reliable only for three September nights because of unfavourable weather conditions. Cassini did the same from Paris, with better weather conditions. The astronomers used the orbits of Jupiter's moons to synchronize the clocks in the two locations. Comparison of the angular displacement of Mars from the stars allowed Cassini to derive that the planet was lower in Paris than in Cayenne of  $12''$ ,  $13''$  and  $17''$  (Cassini 1684,

<sup>8</sup> Jean Picard suggested to send a commission to Uraniborg to determine the exact position of the observatory and to allow the comparison with the astronomical results obtained in Paris; the request was immediately approved by Colbert, and Picard himself left for Denmark on July 21<sup>st</sup>, 1671. See: Bertrand (1869, pp. 27-36). For the complete account of the expedition, see: Picard (1680).

<sup>9</sup> Cassini presented his calculations in: Cassini (1684).

p. 39). The third and last measurement resulted larger than the previous two, whereas, as Cassini stated, should have been smaller because the planet was a little farther from the Earth at the end of September, while at the beginning of the month it was closer to the opposition. Thus, the observed increase in the angular difference had to be attributed to an imperceptible defect in the observations and Cassini was totally aware of that.



**Fig. 3, left:** Geometry for the calculation of Mars diurnal parallax; **right:** Geometry for the calculation of Mars horizontal parallax.

### 5.2 Cassini's calculations

Cassini adopted a mean value of  $15''$  for the angular difference in Mars meridian height; from this, he derived the horizontal parallax of Mars that resulted  $\pi_M = 25,3''$  (Cassini 1684, p. 40). The calculations are only partially discussed in Cassini's 1684 *Eléments*: the following mathematical-geometrical procedure is the focus of my thesis work.

Referring to Fig.3 (left), knowing the distance between Paris and Cayenne and the length of the Earth's circumference, the angle at the center  $\phi$  can be obtained through proportionality with the 360-degree angle. Cassini in Paris and simultaneously Richer in Cayenne measured Mars height ( $h$ ) from which they obtained the zenith distance  $z_A = 90^\circ - h$  (complementary to the height above the horizon). The two triangles  $MC_A C$  (Mars-Cayenne-center of the Earth) and  $MPC$  (Mars-Paris-center of the Earth) are similar:  $\phi/2$  and the angle at the base (which is given by  $90^\circ + z$ ) are known. The only undetermined angle is  $p/2$  and it equals the half of the diurnal parallax.

The next step was to obtain Mars horizontal parallax, which is referred to the Earth's equatorial radius, so it is always bigger than the diurnal parallax. In Fig. 3 (right) the letter  $r$  stands for the Earth radius and  $d$  is the Mars ( $M$  or  $M_0$ ) distance from the Earth's centre ( $C$ ). Considering the  $MAC$  triangle: for the law of sines and since the sine of the zenith distance angle is equal to the sine of the supplementary  $\hat{M}\hat{A}C$ , it is possible to write the following equation:

$$\frac{r}{\text{sen } p} = \frac{d}{\text{sen } z_A} \quad (1)$$

Hence,

$$\text{sen } p = \frac{r}{d} \text{sen } z_A = \text{sen } P \text{sen } z_A \quad (2)$$

In the small angles approximation  $\text{sen } p \approx p$  and  $\text{sen } P \approx P$ . Thus, the horizontal parallax is:

$$P \approx \frac{p}{\text{sen } z_A} \quad (3)$$

Since  $p \approx 15''$  and  $z_A = 90^\circ - h_{\text{Paris}} = 41^\circ$ , in first approximation we get Mars horizontal parallax as  $P \approx 25''$ . In fact, Cassini derived  $P = 25 \frac{1}{3}''$  and concluded that the distance between Earth and Mars with the planet in opposition had to be about 8100 Earth radii ( $R_T$ ), with a possible error of  $\pm 1000 R_T$ , due to the parallax measurement accuracy estimated by Cassini to amount to  $3''$  (Cassini 1684, p. 47).

### 5.3 Kepler's third law of planetary motion

Cassini's method required at this point a parallelism between the Earth-Mars distance and the Earth-Sun one: the Copernican revolution brought new ideas about the Solar System and astronomers became interested in deriving the AU through Johannes Kepler (1571-1630)'s third law of planetary motions, which is an empirical mathematical relation stating that the square of the orbital period of a planet is proportional to the cube of the semi-major axis of the orbital ellipse. Planets orbital periods could be easily measured and planets distances from the Sun (in AU) could also be derived using triangulation methods.<sup>10</sup> The only undetermined value was the AU.

Combining the parallax principle and Kepler's third law, and since the distance between Earth and Mars related to the average Earth-Sun distance as  $1' : 2' \frac{2}{3}$ , the same relation had to occur between solar and Mars parallaxes (given that the parallax is inversely proportional to the distance). Cassini derived  $\pi_\odot = 9,5''$  for the Sun parallax and calculated the Earth-Sun distance as  $21.600 R_T$  with an error of  $\pm 2000 R_T$ , up to  $\pm 3000 R_T$  (Cassini 1684, p. 46). The true, nowadays value for the solar parallax is  $\pi_\odot = 8,8''$ , so he slightly underestimated the real value of the AU ( $23.485 R_T$ ).

Cassini's remarkably accurate calculations resulted in a huge and unexpected enlargement of the Solar System, which was believed at that time to coincide with the entire Universe (hence the title of my work). The greatest legacy of such a determination was that astronomers sought of the most important and fundamental of all galactic measurements, and the knowledge of the first method of the cosmic distance ladder (or distance scale).

## 6. Conclusions

Despite the increased quality of astronomical instrumentation in the subsequent century, new determinations of the AU were very similar to Cassini's one.<sup>11</sup> As a matter of fact, the Cayenne expedition, performed almost one century before, remains a milestone in the determination of the long searched for Earth-Sun distance value, thanks to that practicable method of investigating solar parallax through Mars. For Cassini's contemporaries, the revelation of the true size of the Solar System represented a shocking hint of how small humans were in front of a Universe that turned out to be much wider than anyone ever believed. Cassini himself was surprised, as he stated: "Voilà de grandes distances que nous venons de conclure de trois petites parallaxes" (Cassini 1684, p. 47). His result could have never been achieved without the innovative method of investigation born in France under Louis XIV: the scientific expedition.

<sup>10</sup> The method of triangulation was used to calculate the distances of planets from the Sun, and it is similar to the method used by Aristarchus to measure the distance of the Moon: he observed the satellite when it was in quadrature, which is close to, but not exactly equal to, the Moon first quarter and last quarter phases. The same concept was used for the inner planets: observations were made when Venus and Mercury were at their maximum elongation, i.e., with a phase of half illumination, and the Sun-Earth-planet system formed a right triangle. The tangent of the angle under which the Sun-planet distance is seen, is given by the ratio of the two cathetus (Sun-planet distance and Earth-Sun distance), so all distances were calculated as multiples or submultiples of the AU. External planets, instead, were observed in quadrature.

<sup>11</sup> See: Débarbat (2013).



## Acknowledgement

I would like to thank the SISFA and especially the 2022 Degree Award Committee for deeming my master's degree thesis worthy of recognition. I am most thankful to my thesis supervisor Professor Paola Focardi (University of Bologna), whose expertise were essentials for the development of this work and who continues to support me to this day.

## Bibliography

- Bertrand, J. (1869). *L'Académie des sciences et les académiciens de 1666 à 1793*. Paris: J. Hetzel.
- Cassini, A. (2003). *Gio: Domenico Cassini Uno Scienziato del Seicento*. Pinerolo: Arti Grafiche Alzani.
- Cassini, G.D. (2020). "Autobiografia," in Beretta, M. (ed.) *Icone di scienza. Autobiografie e ritratti di naturalisti bolognesi della prima età moderna*. Bologna: Bononia University Press, pp. 205-238.
- Cassini, J.D. (1684). *Elémens de l'astronomie vérifiez par M. Cassini par le rapport de ses Tables aux observations de M. Richer faites en l'isle de Caienne. Avec les observations de MM. Varin, Des Hayes et de Glos faites en Afrique et en Amérique*. Paris: Imprimerie Royale.
- Cassini, J.D. (1693). *Recueil d'observations faites en plusieurs voyages par ordre de sa Majesté pour perfectionner l'astronomie et la géographie, avec divers traitez astronomiques par messieurs de l'Académie Royale des Sciences*. Paris: Imprimerie Royale.
- Débarbat, S. (2013). "The French Savants, and the Earth-Sun Distance: a Resumé", *The Journal of Astronomical Data*, 19(1), pp. 109-120.
- Huygens, C. (1888). *Oeuvres complètes de Christiaan Huygens publiées par la Société Hollandaise des Sciences*. Vol. VI. La Haye: Martinus Nijhoff.
- Olmsted, J. (1942). "The Scientific Expedition of Jean Richer to Cayenne (1672-1673)", *Isis*, 34(2), pp. 117-128.
- Olmsted, J. (1960). "The Voyage of Jean Richer to Acadia in 1670: A Study in the Relations of Science and Navigation under Colbert", *Proceedings of the American Philosophical Society*, 104(6), pp. 612-634.
- Picard, J. (1680). *Voyage D'Uranibourg ou Observations Astronomiques faites en Dannemarck par Monsieur Picard de l'Académie Royale Des Sciences*. Paris: Imprimerie Royale.
- Richer, J. (1679). *Observations Astronomiques et Physiques faites en L'isle de Caienne par M. Richer, de l'Académie Royale des Sciences*. Paris: Imprimerie Royale.

## Archival Sources

- Cassini, J.D. (no date). *Note sur Jean-Dominique Cassini écrite de sa propre main: début de texte autobiographique (son origine, sa formation en Italie, son arrivée à l'Observatoire)*, Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, D1/13 (3).
- Paris, *Régistres de l'Académie des Sciences, II (Mathématiques, 1666-68)*.
- Richer, J. (1672). *Lettre de Richer à Cassini I, Cayenne le 4 mai 1672*. Bibliothèque numérique, Observatoire de Paris, B4/11 bis (70).
- Richer, J. (1672). *Lettre de Richer à Cassini I, Cayenne le 20 juillet 1672*. Bibliothèque numérique, Observatoire de Paris, B4/11 bis (71).



HISTORY OF PHYSICS AND ASTRONOMY  
IN THE 18<sup>th</sup> AND 19<sup>th</sup> CENTURIES



# La girandola di Poleni: un progetto destinato a scomparire

Benedetta Campanile<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Interuniversitario di ricerca Seminario di Storia della Scienza, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, benedetta.campanile@uniba.it

*Abstract:* In 1709, the Marquis Giovanni Poleni (1683-1761) designed a mechanical calculator that performed all four arithmetic operations by reducing them to an automatic iteration of additions, thanks to the invention of a transpositor wheel with raised teeth (pinwheel). The intention was to improve on Leibniz's similar invention, the operation of which was unknown. He described his original *Macchina Aritmetica* in the essay *Miscellanea* (1709) with a rich textual description and detailed illustrations, such that it looked like an *ante-litteram* patent application. This early work did not meet with the success the author had hoped for. Its fate, i.e., lack of commercial success and thus destruction, was sealed from the beginning, as was the fate of all similar inventions of the period. The reasons for this were not only the limitations of working with the materials of the time, but also in the inability of the philosopher-inventors between the seventeenth and eighteenth centuries to coordinate with the production work entrusted to craftsmen. But Poleni's was not a failure, because his idea was passed on through these illustrations, taken up by other inventors and propagated to the point of inspiring the makers of the first commercial calculators between the nineteenth and early twentieth centuries.

*Keywords:* Poleni, Physics, Heritage, Calculator, Macchina Aritmetica

## 1. Una statua per il “nuovo Archimede”

Si dice che i matematici inventino le cose più originali in gioventù. Così fu anche per Giovanni Poleni (1683-1761), che a soli 25 anni realizzò uno strumento insolito “portante il curioso titolo di Macchina aritmetica” (Cossali 1813, p. 46). Non fu questa, però, l’invenzione che lo rese famoso, anzi lo scienziato non ne andava orgoglioso e pare che l’avesse distrutta in un impeto di collera.

“Di statura alta, di pelo quasi castagno, colla fronte larga e spaziosa, le sopracciglia molto inarcate; di color alquanto rubicondo, non incarnato, tirante al bianco” (Gennari 1839, p. 54), nella rappresentazione dello scultore Antonio Canova (1757-1822), esposta in Prato della Valle a Padova (l’originale oggi è nel Museo Civico), il marchese Poleni appariva come un uomo di scienza di quell’antichità che tanto aveva studiato. Avvolto in un drappo, con una mano sorreggeva un libro, il trattato di idraulica *De motu aquae mixto* (1717), mentre con l’altra si poggiava alla “macchina per la dimostrazione delle forze vive” (1718). Questi erano stati, infatti, i due simboli scelti dal committente, l’allievo di Poleni Leonardo Venier, per ricordare la fama internazionale di inventore raggiunta dal maestro con le opere di idraulica, tanto da meritare l’appellativo di “nuovo Archimede”.

Della Macchina aritmetica, invece, dopo la dichiarata distruzione da parte dell’autore, si persero le tracce persino nelle biografie. Ma, sorprendentemente, l’interesse per quell’invenzione rimase invariato nel tempo, tramandato dai costruttori di strumenti per il calcolo automatico. Così, negli anni ’50 del ’900, quando gli storici dell’informatica iniziarono a legare la recente storia dei computer alla più antica storia del calcolo, passando per le prime calcolatrici meccaniche, la macchina di Poleni trovò, a sorpresa, un posto di tutto rispetto tra le invenzioni più importanti.

## 2. Una *Macchina Aritmetica* tra termometri e barometri

Il 1709 fu un anno prolifico per Poleni: nacque il primo dei sei figli, Giacomo, e fu pubblicato il suo primo libretto *Miscellanea*. Scritto in latino, era una sorta di moderno portfolio, ovvero una prova della maturità delle sue conoscenze teoriche, che ne poteva avvalorare la candidatura a una cattedra universitaria. E l'anno successivo, in effetti, al giovane Giovanni fu affidato l'insegnamento di astronomia e meteore all'Università di Padova. Nello stesso anno, la Royal Society lo accolse tra i suoi membri.

*Miscellanea* era divisa in più parti, dedicate a vari strumenti – barometri, termometri e sezioni coniche – tra i quali figurava una *Macchina Aritmetica*, un meccanismo originale che eseguiva le quattro operazioni aritmetiche su numeri a tre cifre.

Ma da dove veniva la capacità di Poleni di costruire macchine se la sua era stata una formazione umanistica? Era stato il padre, marchese di S. Michele Arcangelo e cavaliere del Sacro Romano Impero, a fargli crescere la passione per gli studi scientifici, che aveva, poi, coltivato da autodidatta con le letture di Descartes e di altri autori presenti nella biblioteca di famiglia (Gennari 1839, p. 9). In breve tempo aveva acquisito abilità nella creazione di esperimenti di fisica, dei quali dava dimostrazioni pubbliche nella propria abitazione a Venezia, sull'esempio dell'abate gesuita francese Jean Antoine Nollet (1700-1770), insieme all'amico e celebre medico Giambattista Morgagni (1682-1771) (Talas 2013, p. 252).

Tra i volumi letti, probabilmente, avrebbe avuto un ruolo determinante per la costruzione della calcolatrice il manuale di meccanica e matematica *Cursus* (1690, pp. 153-232) del gesuita Claude François Milliet Dechales (1621-1678) (Pigatto 2013, p. 186). Nell'ottavo tomo, la *Mechanica*, Poleni avrebbe trovato le nozioni alla base dei meccanismi movibili (*automati*): la leva (*vectis*), la puleggia (*troclea*), la vite (*cochlea*), l'argano (*peritrochius*), la bilancia (*statera*) e il fulcro (*hypomoclion*).

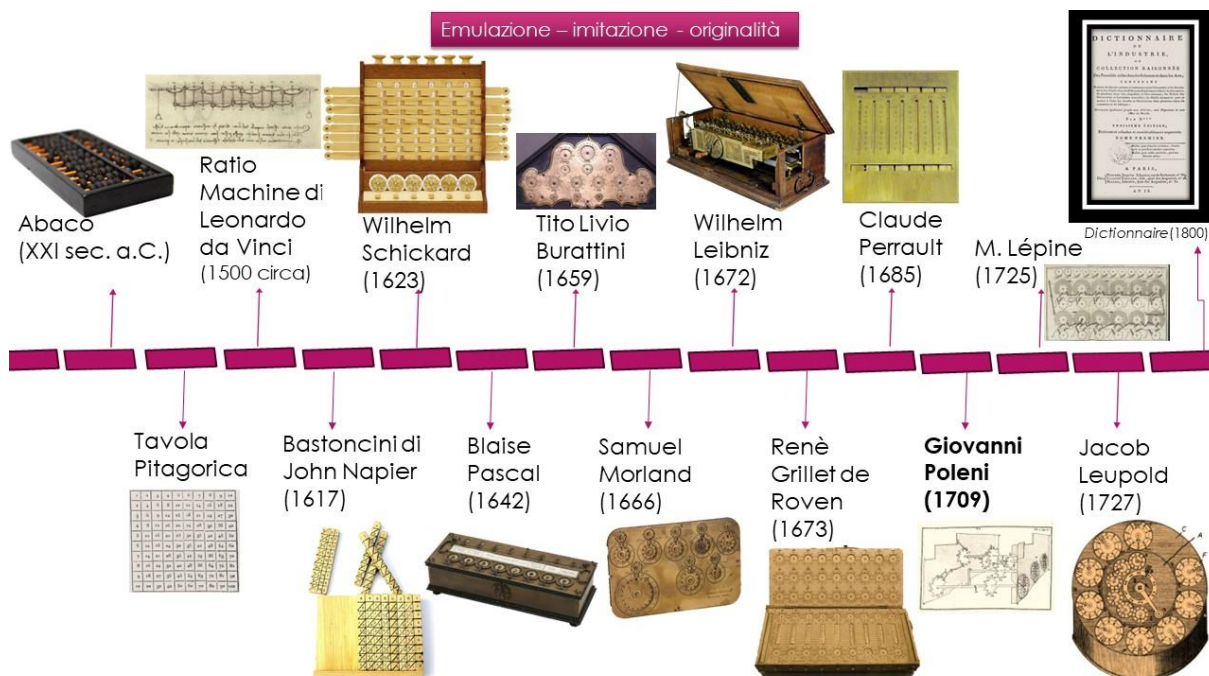
Perché, quindi, Poleni costruì una macchina per il calcolo prima di dedicarsi allo studio di soluzioni matematiche di astronomia e navigazione? Nell'introduzione a *Miscellanea*, il marchese stesso spiegò che lo aveva mosso il desiderio di emulare le calcolatrici di due eminenti filosofi-inventori di cui molto si parlava in Europa, la *Pascalina* (1642) di Blaise Pascal (1623-1662) e la *Stepped Reckoner* (1672-1694) di Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646-1716) (Poleni 1709, p. 27). La prima, sebbene molto richiesta, eseguiva solo addizioni e sottrazioni, mentre la seconda anche moltiplicazioni e divisioni, ma aveva difetti di funzionamento del riporto. A Poleni, assiduo lettore dell'attualità scientifica europea, costituita da riviste come *Philosophical Transactions*, *Journal des Sçavants*, *Giornale de' letterati d'Italia* e *Acta eruditorum*, non era sfuggito l'interesse della comunità intellettuale per la “novità tecnologica” introdotta da Leibniz, della quale, però, non si conosceva il progetto e il funzionamento aveva margini di miglioramento (Le Galle 2019, pp. 65-67).

## 3. Un mondo in crescita grazie ai numeri

Dall'abaco alle tavole pitagoriche, sussidi per facilitare i calcoli aritmetici amministrativi o commerciali erano stati adottati sin dall'antichità (Fig. 1), perché far di conto era un compito solo apparentemente elementare. Nella quotidianità si rivelava, al contrario, un'attività ripetitiva e noiosa che richiedeva attenzione e memoria. Erano in pochi a fare le operazioni con precisione e velocità. Tra '600 e '700, in corrispondenza dell'aumento dei calcoli necessari per le operazioni finanziarie o per la raccolta di dati sperimentali, si ebbe un proliferare di progetti di apparati per l'automazione del calcolo aritmetico che cercavano di soddisfare la richiesta di demandare a una macchina questo compito. Il problema tecnico principale di questi automatismi era meccanizzare il riporto in cascata senza inceppamenti. Le soluzioni proposte erano ingegnose ma quasi sempre complesse e costose.

La voce *Arithmetique* del *Dictionnaire de l'industrie* di Henri-Gabriel Duchesne (1800, pp. 159-169) con alcune integrazioni, fornisce un'istantanea, alla fine del Settecento, degli apparati progettati per facilitare il calcolo aritmetico ufficialmente riconosciuti dalle accademie scientifiche (Fig. 1). Molte

erano macchine “più curiose che utili” e “la maggior parte ... giammai costrutte” (Majocchi 1841, p. 195), perché erano complicate sia da costruire sia da usare. Nella sfida ai limiti di lavorazione dei materiali dell'epoca, gli inventori si ripromettevano di creare per primi, per la gloria propria e dei propri paesi, uno strumento che eseguisse i calcoli in modo preciso e anche più veloce dei contabili.



**Fig. 1.** Tra '600 e '700 si ebbe un proliferare di invenzioni di ausili per il calcolo aritmetico: bastoncini di Nepero, 1617; Wilhelm Schickard, 1623; Blaise Pascal, 1642; Tito Livio Burattini, 1659; Samuel Morland, 1666; Gottfried Wilhelm Leibniz, 1672-1694; René Grillet de Roven, 1673; Claude Perrault, 1685; Giovanni Poleni, 1709; Gersten, 1722; Lépine, 1725; Jacob Leupold, 1727; de Boissendeau, 1730; Pereyere, 1750; Loyer, 1772 (Duchesne 1800, pp. 168-169).

L'invenzione di questi apparati, promossa e premiata sia dalle accademie scientifiche sia dai regnanti, in rari casi servì effettivamente ad alleggerire il lavoro dei contabili, perché, ancora nell'800, “a nostro avviso, per le operazioni aritmetiche, il regolo in uso in Inghilterra è preferibile per più ragioni a qualunque macchina per calcolare sino ad ora inventata” (Majocchi 1841, p. 197).

I problemi strutturali di costruzione influivano sulla capacità di trascinare gli ingranaggi fino a completare tutte le operazioni di riporto per numeri con tante cifre. Ad esempio, un errore di progettazione nel meccanismo di trasporto della macchina di Leibniz impediva alla calcolatrice di effettuare correttamente il riporto delle decine quando il moltiplicatore era un numero a due o tre cifre (Majocchi 1841, p. 193). Analogamente nella pascalina l'attrito bloccava l'incremento a cascata. Anche la prima macchina di Poleni aveva questo problema, perché era stata costruita in legno tenero. Così lo scienziato ne fece realizzare una seconda in legno duro, che risultò funzionante, ma era dimensionata solo per calcoli con numeri a tre cifre.

L'utilizzo farraginoso di queste macchine ne scoraggiava l'impiego nella quotidianità dei calcoli di corte e gli apparati, donati ai sovrani, anziché costituire un vantaggio per l'economia del regno, finivano nelle raccolte museali come “meravigliosi” artefatti da ammirare.

I problemi di costruzione, infatti, esulavano dalla volontà dell'inventore che nella maggior parte dei casi affidava la realizzazione dello strumento all'abilità di un artigiano. Quest'ultimo, tra mille difficoltà

di lavorazione, non sempre riusciva a trasformare con successo l'idea progettuale in un oggetto in grado di produrre i risultati desiderati. I più accreditati erano meccanici, orologiai o ottici, che adattavano l'invenzione alle caratteristiche dei materiali di costruzione introducendo a volte delle modifiche. Ne scaturivano così nuove idee, ammesse come invenzioni originali anche se erano ispirate dall'imitazione o dal desiderio di emulazione di apparati esistenti. Ma come ha osservato lo storico Matthew Jones, la distinzione tra imitazione e originalità non era così netta come la intendiamo oggi e questo spiega il proliferare indisturbato di copie non autorizzate degli originali, che provocavano spesso le ire degli inventori (Jones 2016, p. 8).

#### **4. Una “girandola” per Poleni**

La macchina di Poleni appare, dunque, un esercizio creativo finalizzato più a mostrare la fattibilità di un'intuizione che a creare un prodotto commerciabile. L'innovazione era costituita da un traspositore formato da una ruota fornita di denti variabili, la “girandola”, che si potevano alzare e abbassare per impostare il valore del numeratore dell'operazione. I denti servivano come pioli per agganciare gli accumulatori, che, a loro volta, erano piccole ruote a dieci denti. Gli accumulatori erano solidali con i dischi numerati visibili sul coperchio della macchina, che mostravano il risultato. Le rotazioni del traspositore facevano avanzare l'accumulatore di un numero di denti corrispondente al numeratore impostato alzando i pioli del traspositore. Quando una ruota dell'accumulatore superava il 9, il riporto avveniva tramite un dente posto sull'asse dell'accumulatore, che agganciava l'accumulatore dell'ordine successivo (unità, decine, centinaia) e gli trasmetteva l'unità (Hénin 2014, p. 7). Questa era la differenza rispetto al traspositore usato da Leibniz, costituito da un pignone con denti di diversa lunghezza.

Poleni ignorava la soluzione di Leibniz e si concentrò sul ruolo della macchina di alleggerire l'umano dal consumo di energia (in senso anacronistico) mentale dovuto alla fatica di eseguire i calcoli. Per questo cercò di incorporare nell'automatismo l'algoritmo dell'addizione, in modo da consentirne l'utilizzo anche a un “principiante nell'arte del calcolo” (Poleni 1709, p. 27). Per la moltiplicazione, la macchina eseguiva tanti cicli di addizioni quanti erano impostati dal numeratore. Così con il metodo del complemento, anche la sottrazione e la divisione erano semplificate a cicli di addizioni.

Lo scienziato rese automatico anche il funzionamento: la macchina aveva un contrappeso che fungeva da “motore” di avvio, in modo simile al meccanismo usato negli orologi a pendolo. Il peso era legato ad una corda avvolta su di un asse; quando il peso scendeva, faceva ruotare l'asse e muoveva tutta la calcolatrice. In questo modo l'intervento umano era limitato alla sola impostazione del calcolo, lasciando alla macchina l'esecuzione del lavoro. La trasmissione del moto avveniva con il sistema di ruote dentate, una soluzione ben conosciuta da Poleni, perché era in uso da tempo per animare le figure mobili degli orologi dei campanili e anche dei modellini di navi di cui egli aveva due esemplari.

L'invenzione del veneziano appare, quindi, non come un tentativo di riproduzione di un'invenzione esistente, bensì come il legittimo tentativo di ottenere “gloria e lucro” dal perfezionamento originale della calcolatrice di Leibniz della quale mancava la descrizione (Jones 2016, pp. 133-134).

#### **5. L'ira di un filosofo-inventore e l'organizzazione del lavoro**

Nell'elogio recitato in ricordo di Giovanni Poleni, l'abate Pietro Cossali asserì, in linea con la sensibilità del tempo, che le macchine aritmetiche erano una perdita di tempo per quelle menti geniali come Poleni, Leibniz e Pascal, che potevano usare meglio il loro talento “essendo le regole aritmetiche sì semplici e sì facili le operazioni” (Cossali 1813, p. 51).

In realtà, come detto in precedenza, la richiesta di strumenti per il calcolo era molto cresciuta negli ultimi anni e la mancanza di tutela della “proprietà intellettuale” agevolava i tanti tentativi di plagio. L'asserzione di Cossali, quindi, che Poleni distrusse la sua “girandola”, dopo aver saputo che l'ottico e

matematico austriaco Anton Braun (1686-1728) aveva creato una calcolatrice simile alla sua ed era stato premiato per questo dall'imperatore Carlo VI, appare finalizzata piuttosto a salvare la reputazione dell'inventore veneziano da accuse che potevano rovinare la sua fama. Scrive Cossali:

Mais quoique cette Machine fût très-simple & d'un usage assez facile, il n'eut pas plutôt entendu parler de celle que M. Brawn, célèbre Mécanicien de Vienne, avoit présentée à l'Empereur, qu'il brisa la sienne & ne la voulut plus jamais rétablir. Une décision si nette & si modeste en faveur de son concurrent, mérite de trouver place dans son Éloge: il étoit sans comparaison plus glorieux pour lui, sur-tout à son âge, de briser ainsi sa Machine que de l'avoir inventée (Grandjean de Fouchy 1763, pp. 152-153).

I biografì successivi riportarono questa versione della scomparsa della macchina. Tra quelli anche Grandjean de Fouchy (1707-1788), nonostante avesse frequentato Poleni personalmente. Anzi, la sua versione del destino della calcolatrice appare esagerata alla luce della personalità mite e tranquilla dello scienziato descritta da un altro biografo, Giuseppe Gennari:

Costante nell'amicizie, e lontanissimo da offendere alcuno, amava dir bene delle persone, e anzi tacere, che dirne male. In molte occasioni si dimostrò benefico e generoso: ma in tutta la sua vita esatto, circospetto, e prudente; e questa si può chiamare la sua principale virtù (Gennari 1839, p. 56).

Temporalmente, l'episodio si colloca a distanza di circa vent'anni dall'invenzione e non è documentato. Quindi per comprendere il comportamento del veneziano è utile confrontare il suo contesto culturale con quello del rivale austriaco in quella che Jones chiama "economia della gloria". Infatti, per Poleni, inserito in una dimensione internazionale, nella quale le invenzioni erano valutate per la loro originalità a livello europeo, distruggere la propria invenzione aveva il senso di difendere la propria considerazione pubblica. Braun, invece, originario di Baden-Württemberg, agiva in un ambiente locale, la corte austriaca, che premiava l'inventiva locale anche se non del tutto primigenia rispetto al mercato estero (Jones 2016, p. 132). Egli aveva esplicitamente rielaborato le soluzioni di Leibniz e Poleni, grazie anche ai dettagliati disegni della macchina del veneziano ristampati da Jacob Leupold nel suo postumo *Theatrum arithmetico geometricum* (1727).

La calcolatrice di Braun era semplice da usare e da costruire, eseguiva le operazioni correttamente e aveva un'estetica accattivante. Essa univa l'abilità inventiva del suo autore alla capacità costruttiva e stilistica dell'ingegnere francese Philippe Vayringe (1684-1746). Quest'ultimo era intervenuto alla morte di Braun per completarne l'opera e aveva reso la macchina più compatta ed elegante: un grande cilindro metallico, 40 cm di diametro e poco più di 20 cm di altezza, simile a un orologio da tavolo, con il coperchio finemente decorato in oro, acciaio, argento e ottone (Anthes 1987, pp. 23-27). Al confronto, la macchina di Poleni somigliava a un grosso orologio a pendolo e i suoi difetti dipendevano principalmente proprio "dalle grandi dimensioni del meccanismo, che causano elevata inerzia e forte attrito, richiedendo una maggiore forza motrice [...], e ciò, a sua volta, costringe ad usare componenti più robusti che aumentano ulteriormente massa, inerzia ed attrito, in un circolo vizioso" (Hénin 2014, p. 9).

Semplicità di utilizzo, dimensione ridotta ed efficienza nell'esecuzione dei calcoli erano i nuovi elementi valoriali richiesti alle nuove invenzioni e perseguiti dalla scienza. Quelli stessi che Poleni stesso riconosceva essenziali. Era il presagio di un cambio di passo nella produzione di strumenti scientifici. L'implementazione delle nuove idee in qualcosa di materiale e funzionante richiedeva, ormai, un'organizzazione strutturata del lavoro, con una suddivisione dei compiti tra gli attori coinvolti nel processo e il loro coordinamento. Ma questo mancò tra diciassettesimo e diciannovesimo secolo. Infatti, tutte le macchine aritmetiche di quel periodo erano "difficili da costruire, costose da acquistare e inaffidabili", perché i filosofi-inventori non erano in grado di guidare il lavoro degli artigiani – meccanici, orologiai, fabbri ed ebanisti – ai quali era assegnata la responsabilità della costruzione e dei quali

ignoravano le conoscenze. La lavorazione artigianale di legno, vetro e metallo si stava specializzando e il gap conoscitivo tra inventori e artigiani, aumentando, riduceva la capacità di dialogo sociale e di coordinamento. I progetti, commissionati alle mani esperte degli artigiani, pativano gli adattamenti costruttivi che portavano a mal funzionamenti o a costi molto elevati (Daston 2018, p. 17). L'intervento costruttivo dell'artigiano e dei suoi operai era integrale nel processo di realizzazione delle macchine per il calcolo. Idea e creazione restavano indissolubili e non esisteva una delimitazione se non a rischio di alterare la valutazione del lavoro stesso degli artigiani e della dinamicità della loro cultura (Jones 2016, pp. 5-8).

Per questo il nome degli artigiani era celebrato insieme a quello degli inventori. La seconda calcolatrice creata da Braun, ad esempio, fu denominata di "Leupold-Braun-Vayringe" per riconoscere in eguale misura il contributo di Leupold, che aveva proposta l'idea sul modello di Poleni, di Braun che l'aveva costruita e di Vayringe che l'aveva perfezionata e decorata, come riporta l'iscrizione "Braun invenit Vayringe fecit" (1736). Anche la copia del 1766, costruita da Anton Braun il giovane (1708-1776), ottico e orologiaio come il padre, fu completata nell'estetica da un famoso scultore di Monaco, Johann Baptiste Straub, tenendo ancora inscindibili costruzione e design.

Nell'ambito degli strumenti per il calcolo, infatti, il processo di trasformazione della *techné*, secondo la storica della scienza Lorraine Daston, sarebbe avvenuto più lentamente rispetto ad altri settori artigianali. Soltanto con Charles Babbage si sarebbe stabilita una gerarchia di valore tra la creazione meccanica, considerata relativamente più banale, e il processo ben più complesso di automatizzare il modo in cui il pensiero lavora (Jones 2016, p. 1). Solo a partire dalla seconda metà dell'800 compariranno le prime calcolatrici prodotte e commercializzate secondo i nuovi canoni industriali, in cui si configurò la "distinzione tra design e implementazione" (Jones 2016, p. 8).

## 6. Si trattò di un fallimento?

Dal punto di vista strettamente tecnologico, il progetto di Poleni fa parte della scia di fallimenti che precedette le calcolatrici commerciali della seconda metà dell'Ottocento. Ma non fu un vero fallimento, perché la diffusione delle illustrazioni del suo meccanismo ne propagò la rielaborazione.

Al contrario di Leibniz, la scelta di Poleni di rendere noto il funzionamento della sua macchina generò la sua diffusione attraverso le ristampe in varie opere, tra le quali anche in *Versuch einer Geschichte der Rechenmaschine* di Johann Bischoff, nel 1804. In molti conobbero e ripresero il suo progetto a partire dai disegni continuando a migliorarlo.

Le illustrazioni del meccanismo della macchina di Poleni erano incisioni in rame realizzate dal pittore Giuseppe Marcati, del quale lo scienziato aveva seguito i corsi di architettura civile e militare, disegno, pittura e prospettiva nel 1695 (Le Galle 2019, p. 14). Marcati era uno di quegli artisti della carta stampata che gravitavano intorno a Venezia e avevano sviluppato una tale raffinata perizia tecnica da aver reso "parlante" l'oggetto libro (Trevisan, Zavatta 2013, p. 22). Grazie alla qualità artistica, infatti, il disegno tecnico aveva raggiunto una capacità comunicativa che contribuì a rendere accessibile il progetto dell'autore a tutti i lettori europei anche dopo la distruzione della calcolatrice.

A ben osservarli, quei disegni e la descrizione testuale appaiono, oggi, come gli elementi di una moderna domanda di brevetto, anticipatrice della regolamentazione sul copyright che vide gli albori proprio l'anno successivo, durante il regno di Anna di Gran Bretagna (1702-1714), con l'emanazione dell'*Anna Act* (*An Act for the Encouragement of Learning, by vesting the copies of printed books in the Authors or purchasers of such copies, during the Times therein mentioned*, 8 Ann. c. 21, 1710). Quest'ultimo affrontava in modo nuovo il problema delle copie di un'opera perché sottraeva di fatto alle corporazioni private il privilegio di effettuare riproduzioni. Nello specifico la norma riguardava i libri e fissava la durata del diritto d'autore a 14 anni e oltre, durante i quali solo gli stampatori ai quali l'autore aveva concesso la licenza potevano pubblicare le sue creazioni. L'*Act* conteneva, tra l'altro, l'obbligo



per l'autore di presentare una descrizione dettagliata dell'invenzione di cui voleva chiedere il brevetto. In questo modo la norma tutelava sia gli editori sia la proprietà dello scrittore e rendeva lo sviluppo di nuove invenzioni un valore per la società nel suo insieme.

La scia dei fallimenti di Pascal, Leibniz, Poleni e degli inventori coevi fu in realtà uno stimolo alla produzione di nuove tecnologie. Nel 1841 un'addizionaltrice ripropose il principio di Poleni delle ruote a uncini variabili, ma contrastando il movimento con l'inserimento di molle. Era l'invenzione del medico francese di origine ungherese Didier Roth (1798-1885), il quale creò la prima calcolatrice prodotta industrialmente in serie, venduta con successo a prezzo moderato e acquistata da un'amministrazione pubblica, il Ministère des Travaux, nel 1844. Le dimensioni ridotte, il funzionamento affidabile e la facilità d'uso decretarono il successo popolare di questo strumento. Ma la sua fortuna fu omessa dalle cronologie storiche perché l'autore non era un matematico. Il primato della prima calcolatrice commerciale fu assegnato per anni all'Aritmometro (1820) di Charles Xavier Thomas De Colmar (1785-1870) (Thuillier 1997, p. 267).

Le idee di Leibniz e di Braun confluirono, invece, in una fortunata calcolatrice meccanica tascabile, la Curta, che utilizzava un tamburo a gradini come elemento centrale. Fu ideata da Herzstark negli anni Trenta del Novecento, ma la produzione partì nel 1948 e il brevetto giunse solo nel 1952.

Il principio di Poleni fu ripreso, nel 1892, dalla macchina calcolatrice Odhner commercializzata agli inizi del Novecento con il nome di Brunsviga. Il successo derivava dalla maneggevolezza, dalla qualità, dall'affidabilità e dal prezzo molto conveniente.

## 7. Conclusione

In conclusione, il successo delle macchine per il calcolo automatico del Sei-Settecento fu condizionato da due condizioni: prima, l'incapacità di intendere il processo produttivo come un insieme di relazioni comunicative e organizzative tra diverse competenze; seconda, l'incapacità di concepire un prodotto destinato all'uso quotidiano e popolare, quindi semplice e a basso costo.

Le calcolatrici costruite sul modello di Poleni servirono nel Novecento per le trasformazioni delle coordinate nei calcoli astronomici, nei calcoli di artiglieria e nei calcoli di numeri complessi.

La Macchina aritmetica di Poleni era quindi destinata a essere distrutta all'interno della società dell'economia della gloria, ma avrebbe rappresentato un riferimento per gli strumenti successivi nella società della conoscenza. Grazie all'illustrazione tecnica, infatti, nel 1959, Franco Soresini (1920-2012), ingegnere e preside dell'istituto Radiotecnico di Milano (Soresini 2012), ricostruì la Macchina Aritmetica di Poleni per il Museo Nazionale della Scienza e della Tecnica "Leonardo da Vinci" di Milano per celebrare l'anniversario dello scienziato. La realizzazione era stata affidata, sotto la guida di Soresini, alla Scuola meccanici dell'International Business Machines Corporation (IBM) che con opportuni accorgimenti, la rese funzionante. L'IBM sponsorizzò l'iniziativa all'interno del programma della mostra dedicata al *Calcolo automatico nella storia*, inaugurata il 20 ottobre 1959. Uno dei tre esemplari costruiti entrò nella collezione tecnologica del Museo (Hénin 2014, p. 8).

Nel 2007, il restauro di questo reperto, effettuato dal biologo e studioso di storia dell'informatica Silvio Hénin (1945-2022) e dal curatore Massimo Temporelli, fece emergere le modifiche apportate all'originale dalla ricostruzione del '59:

cuscinetti a sfere, parti di alluminio e altri materiali sconosciuti nel Settecento. Curioso fu lo scoprire che l'intera macchina era costruita e funzionava in modo speculare rispetto ai disegni originali. Il regolatore di velocità, infine, era uno scappamento ad ancora con pendolo, mentre nell'originale era del tipo a verga, con bilanciere o foliot (Hénin 2014, p. 8).

In conclusione, la Macchina aritmetica rappresentò per Giovanni Poleni l'ideale di manifestazione dell'interdisciplinarietà manuale, che doveva caratterizzare un filosofo. Come affermò, infatti, nel

discorso inaugurale del Gabinetto di Filosofia sperimentale, a suo parere il filosofo doveva dare prova di destrezza manuale e al tempo stesso possedere competenze polivalenti (Le Galle 2019, pp. 80-83).

### Bibliografia

- Anthes, E. (1987). “Zum 300. Geburtstag von Anton Braun (1686-1728) – Instrumentenmacher in Wien und Konstrukteur einer Rechenmaschine”, *Historische Bürowelt*, 18, pp. 23-27.
- Cossali, P. (1813). *Elogio di Giovanni Poleni*. Padova: Tipografia Bettoni.
- Le Galle, C. (2019). *Giovanni Poleni (1683-1761) et l'essor de la technologie maritime au siècle des Lumières*. Turnhout (Belgium): Brepols.
- Daston, L. (2018). “Calculation and the division of labor, 1750-1950”, *Bulletin of the German Historical Institute*, 62(Spring), pp. 9-30.
- Gennari, G. (1839). *Elogio del marchese Giovanni Poleni*. Padova: Tipi del seminario.
- Grandjean de Fouchy, J.-P. (1763). “Éloge de M. le Marquis Poléni”, *Histoire de l'Académie Royale des Sciences*, 5, pp. 151-163.
- Hénin, S. (2014). “La calcolatrice di Giovanni Poleni: cosa può insegnare un restauro”, *Notizie ARASS-Brera*, 3(1), pp. 5-9.
- Jones, M.L. (2016). *Reckoning with Matter: Calculating Machines, Innovation, and Thinking about Thinking from Pascal to Babbage*. Chicago: University of Chicago Press.
- Majocchi, G.A. (1841). “Macchina per calcolare”, *Annali di Fisica, Chimica e Matematiche col Bullettino dell'Industria Meccanica e Chimica*, 3(agosto), pp. 193-194.
- Pigatto, L. (2013). “Poleni e l'insegnamento di astronomia e meteore”, in Del Negro, P. (ed.), *Giovanni Poleni tra Venezia e Padova*. Venezia: Istituto Veneto di Scienze, pp. 176-225.
- Poleni, I. (1709). *Miscellanea. Hoc est I. Dissertatio de barometris, & thermometris, 2. Machinae arithmeticae, ejusque usus descriptio, 3. De sectionibus conicis parallelorum in horologiis solaribus tractatus*. Venetiis: Aloysium Pavinum.
- Talas, S. (2013). “Il Gabinetto di Filosofia Sperimentale”, in Del Negro, P. (ed.), *Giovanni Poleni tra Venezia e Padova*. Venezia: Istituto Veneto di Scienze, pp. 247-275.
- Thuillier, G. (1997). “La première machine à calculer au XIXe siècle: l'additionneur-automate du Docteur Roth”, *La Revue administrative*, 50(297), pp. 267-271.
- Trevisan, L. & Zavatta G. (2013). *Incisori itineranti nell'area veneta nel Seicento. Dizionario bio-bibliografico*. Verona: Università degli studi di Verona.

### Fonti d'archivio

- Soresini F. (2012), Biografia, Archivi della Scienza, <https://www.archividellascienza.org/it/produttore/IT-MUST-EACCPF001-000416> (Accessed: 9 Novembre 2023).

# Analisi della corrispondenza tra Jacopo Belgrado e Giovanni Poleni

Francesca Damiani<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Independent Researcher, fredamiani@gmail.com

*Abstract:* Father Jacopo Belgrado from Udine was a member of the Society of Jesus in Parma, and had a brilliant scientific career. In 1738, after completing his humanistic studies, he was appointed to the chair of mathematics at the Studium Parmense. Soon thereafter, Belgrade introduced new didactic and experimental tools and became one of the first *lecture-demonstrators*, attracting the attention of Duke Philip of Bourbon, whose Mathematician and Court Theologian he became. He was also in contact with the leading exponents of the European Enlightenment. His publications were numerous, and his scientific activity particularly intense, thanks in part to the state-of-the-art instruments he independently constructed. Unfortunately, his activity was interrupted by the suppression of the Society of Jesus in Europe, as a result of which all his possessions were confiscated: for this reason, much of the documentation and instrumentation that belonged to him are not available to this day. In this article I will report on the information I have traced back by analyzing the correspondence between him and Giovanni Poleni.

*Keywords:* Astronomy, Physics, Parma, Poleni

## 1. Jacopo Belgrado - Biografia

La vita di padre Jacopo Belgrado fu movimentata e caratterizzata da molti spostamenti, intenzionali e non, nel nord Italia.

Nato a Udine il 16 novembre 1704, conseguì la laurea in Letteratura Greca e Latina all'Università di Padova, per poi trasferirsi a Bologna per studiare Filosofia e Matematica, e spostarsi a Venezia per insegnare Letteratura. Nel 1723, Belgrado si era unito alla Compagnia di Gesù. Quando, nel 1735, si trasferì a Parma per studiare Teologia, ottenne una stanza nel Collegio di San Rocco, il collegio gesuitico della città, ove ebbe modo di dedicarsi anche allo studio della Matematica, un'altra delle sue passioni. Questa occasione fece sì "che anzitutto pose a profitto il suo genio, i primi studj già fatti in Bologna, i nuovi eccitamenti, la favorevole congiuntura dell'eccellente condiscipolo e amico a divenir Matematico illustre" (Belgrado 1795, p. 20).

### 1.1 La cattedra di Matematica allo Studium Parmense

Il talento che Jacopo Belgrado dimostrò era talmente spiccato che, se nel Collegio dei Gesuiti gli studi di Teologia erano tradizionalmente seguiti dal noviziato e dalla professione dei voti, a Belgrado fu concesso, in via del tutto eccezionale, di professare subito i voti e sostituire il noviziato tramite l'insegnamento della Matematica e la direzione della Congregazione degli Studi Pubblici. Nel 1738, poco dopo aver celebrato la sua prima Messa, Belgrado fu assegnato alla cattedra di Matematica dello Studium Parmense, precursore dell'Università di Parma.

Il programma di Matematica e Filosofia Naturale insegnato al Collegio era in quegli anni piuttosto limitato, non essendo ancora un istituto universitario: gli studenti erano più giovani e le discipline meno tecniche. Durante la sua carriera di insegnante, Belgrado riuscì ad ampliare ed implementare la didattica, acquistando una raccolta dei migliori trattati di Matematica e Filosofia Naturale e introducendo nel

programma le equazioni, la geometria analitica delle figure piane e alcuni elementi di analisi. Per quanto riguarda le lezioni di Fisica, riuscì a renderle paragonabili a quelle che si tenevano nelle università, introducendo strumenti scientifici ed esperimenti, il primo dei quali fu un telescopio che sembra essere stato usato per la didattica, oltre che per la ricerca.

Non soddisfatto degli strumenti acquistati, Belgrado iniziò una collaborazione con Stefano Droghi, patrizio di Parma, e Pietro Ballerini, due abili artigiani della cui formazione scientifica si occupò in prima persona, in modo da unire le loro capacità di fabbricazione di opere ad un'adeguata formazione scientifica, così che fossero sufficientemente competenti da comprendere il funzionamento e gli scopi delle macchine che dovevano costruire. I loro sforzi congiunti portarono alla creazione di una collezione di strumenti all'avanguardia per lo studio della Statica, dell'Idrostatica, dell'Idraulica, dell'Ottica, della Diottrica, della Catadiottrica e dell'Astronomia.

Avendo a disposizione una così ricca strumentazione, Belgrado iniziò anche a tenere lezioni pubbliche di Fisica Sperimentale, i.e. *lecture-demonstrations*, materia che in quel secolo vide la sua prima divulgazione.

Concorreano in folla a' nuovi sperimenti le persone d'ogni genere, ed anche de' primi ranghi, e queste poscia andavano per ogni dove predicando il sapere e l'abilità del giovane Professore, e 'l metodo, di cui usava e dimostrando e ammaestrando; metodo facile e piano, e appropriato all'intelligenza di tutti (Belgrado 1795, p. 26).

Riporta il nipote Carlo Belgrado nel suo *Commentario della vita e delle opere dell'Abate Conte Jacopo Belgrado*, pubblicato dalla Reale tipografia parmense nel 1795. Il pubblico delle lezioni del Professor Belgrado si ampliò rapidamente, coinvolgendo tutti i ranghi della nobiltà, fino a interessare Sua Altezza Reale Don Filippo di Borbone Infante di Spagna.

Durante gli anni di insegnamento, Belgrado pubblicò saggi e dissertazioni scientifiche su argomenti vari, dall'elasticità, all'elettricità e alla dinamica dei fluidi, sia in lingua Latina sia Italiana.

Oltre a Poleni, a cui, per corrispondenza, Belgrado non mancò di inviare le sue opere prima della pubblicazione, con richieste di consigli e opinioni, intrattenne rapporti epistolari con diverse importanti personalità della comunità scientifica, come D'Alembert, LeSage, Keralio, le Roy, Lalande, Clairant, La Condamine, Mairan, Boscovich, Roberti, Zanotti, Toaldo e Congolato.

### ***1.2 La vita alla Corte Borbone e l'Osservatorio Astronomico di Parma***

Belgrado lasciò l'attività didattica al Collegio quando, nel 1750, fu nominato Matematico di Corte dal duca Filippo di Borbone e della duchessa Elisabetta di Borbone-Francia, nonché loro guida spirituale. Questa posizione si rivelò per lui vantaggiosa, in quanto gli permise di dedicare più tempo alle ricerche scientifiche e alla costruzione di strumenti. Riuscì infatti, nel 1757, a lanciare il progetto dell'Osservatorio Astronomico di Parma, il terzo in Italia, dopo quello di Bologna e di Pisa.

La torre ovest del Palazzo dell'Università, dove prese sede la Specola Parmense, era già stata usata da Belgrado per osservazioni astronomiche. Degne di nota sono l'osservazione dell'Aurora Boreale che, nel 1738, fu visibile alle latitudini italiane: Belgrado scrisse su di essa un trattato nel quale, essendo estremamente riluttante a formulare ipotesi prive di una sufficiente banca dati e struttura teorica, evidenzia l'impossibilità di spiegare il fenomeno, allora sconosciuto, con i pochi dati a disposizione; osservò e documentò inoltre le eclissi solare e lunare a Giugno e Luglio del 1748.

La fondazione ufficiale dell'Osservatorio ebbe luogo nel 1757, accompagnata dalla pubblicazione dell'*Observatio defectus Lunae habitae Parmae in novo observatorio patrum Societatis Jesu die 30 julii 1757*, testo in cui è descritta l'eclisse lunare osservata tramite il quadrante costruito da Droghi e Ballarini (Comi 1997). Tre copie di questo trattato sono allegate ad una lettera scritta a Poleni in quello stesso anno, due delle quali vennero consegnate al professore di Astronomia P. Colombo, e al Dr. Durer,

personaggio sconosciuto definito da Poleni “delle cose astronomiche dilettante” (Poleni 1757a). Commenta anche Poleni, in risposta ad una delle lettere mancanti di Belgrado, nella quale dev’essere stato descritto il lavoro portato avanti all’Osservatorio:

Mi rallegro che abbiate così bene architettata la vostra Specola: io non ne ho, ma ne ho vedute in fatto, e su miei Libri; ho alle volte osservato in Cielo, e fui Professore d’Astronomia; onde mi credo in istato di poter ben giudicare. Voi avrete molto merito con cotesta illustre Città, anzi con l’Italia tutta ancora (Poleni 1757b).

riferendosi alla cattedra di Astronomia e Meteore che deteneva all’Università di Padova dal 1709.

Belgrado aveva fornito l’osservatorio anche di strumenti acquistati a proprie spese: un telescopio Gregoriano, uno Parigino, due altri telescopi più piccoli, una meridiana, due orologi astronomici a pendolo e un quadrante di raggio di tre piedi (Rossi 1933). Durante gli anni di ricerca astronomica, collaborò con Giuseppe Bolsi-Marchese, allievo di Eustachio Manfredi.

Sulla Gazzetta di Parma del 1823 (F.B. 1823), erano ancora pubblicate le misure effettuate da Belgrado della Latitudine e Longitudine di Parma, rispettivamente di  $44^{\circ} 45' 50''$  e  $27^{\circ} 35' 0''$ , calcolate rispetto al Meridiano dell’isola El Hierro.

L’intera collezione di strumenti di cui era fornito l’Osservatorio si trova in un catalogo conservato all’Archivio Storico della città di Parma, stilato dagli uomini di du Tillot dopo la cacciata dei gesuiti da Parma.

In quegli anni Belgrado ottenne diversi riconoscimenti accademici: entrò a far parte dell’Accademia delle Scienze di Parigi nel 1762 grazie al successo del trattato “*De utriusque analyseos usu in re physica*”, per il quale ricevette lodi da parte di importanti matematici come D’Alembert e Lalande. Divenne inoltre membro di altri istituti accademici come quelli di Bologna, Padova, Siena, Cortona, Ravenna e Udine.

### ***1.3 La cacciata dei Gesuiti e gli ultimi anni a Udine***

Il 20 novembre 1763, giunse a Belgrado una lettera da parte del ministro del ducato di Parma e Piacenza Léon Guillaume du Tillot, con il quale i rapporti si erano già inaspriti in precedenza, nella quale gli venne annunciato di essere “dispensato per il futuro dalla cura della gestione della sua coscienza”. La cacciata dei Gesuiti stava prendendo piede in quegli anni in Europa: il processo era già avvenuto in Portogallo, Spagna, Francia e Regno di Napoli.

Cinque anni dopo il licenziamento, Ferdinando di Borbone, divenuto nel frattempo duca, decise di bandirli anche dal suo ducato e, nella notte dell’8 febbraio 1768, tutti i gesuiti che vivevano nel Collegio di San Rocco furono svegliati dalla polizia, caricati su carrozze e portati in Vaticano. Tutti i loro beni furono sequestrati, e Belgrado fu costretto a lasciare nella sua stanza tutti i suoi scritti e i suoi strumenti.

Jacopo Belgrado fu costretto a trasferirsi nel Collegio Gesuitico di Bologna, di cui divenne direttore già nel 1769. Lo Stato Pontificio, però, era ben determinato nell’impresa di sciogliere la Compagnia di Gesù, così che, solo quattro anni dopo, Belgrado dovette affrontare il cardinale Malvezzi, arcivescovo di Bologna, che stava organizzando la chiusura delle strutture gesuitiche. Insieme al padre rettore del Collegio, si oppose all’iniziativa, ma senza successo.

Belgrado fu arrestato il 5 giugno 1773, esiliato da Bologna, e trovò un breve asilo a Modena, dove il Principe e la Principessa, i nobili e il prelado lo salutarono con riverenza. Purtroppo, fu costretto a lasciare anche quella città dopo la soppressione ufficiale della Compagnia di Gesù, emessa da Papa Clemente XIV. Il duca di Modena Francesco III, non volendo perderlo, gli offrì la cattedra di Fisica all’Università di Modena il 25 agosto 1777, che Belgrado rifiutò gentilmente a causa della sua età ormai avanzata.

Raggiunse invece il fratello Alfonso a Udine, dove continuò a lavorare ai suoi scritti scientifici e teologici e si dedicò all'educazione dei nipoti. "Il signor Abbate Belgrado" scrisse il matematico Lalande "occupa gli ozj della sua vecchiezza scrivendo Opere, che annunziano sempre un Dotto distinto" (Belgrado 1795, p. 142). La maggior parte delle dissertazioni a cui lavorò in quel periodo rimasero inedite.

Jacopo Belgrado morì, dopo una lunga e incurabile febbre durata cinque mesi, il 26 marzo 1789, all'età di ottantaquattro anni. Diversi illustri personaggi dell'epoca possono vantare di essere stati istruiti da lui, come il filosofo, storico ed economista Pietro Verri, allievo del Collegio de' Nobili, il vescovo Adeodato Turchi e l'artista Pietro Antonio Martini.

Oltre all'attività scientifica, non si può non menzionare anche l'attività letteraria di Belgrado nel periodo parmense. Fu uno dei fondatori dell'Arcadia parmense, sull'esempio dell'Arcadia romana: un circolo letterario che si riuniva nel teatro messo a disposizione dal conte Sanvitali. All'interno di quell'ambiente, Belgrado era conosciuto con il soprannome di Damageto Cripteo. L'Arcadia di Parma era frequentata da diversi poeti italiani, come Frugoni, Sanvitali, Landi, Scutellari e Bernieri.

## 2. La collezione di lettere

La collezione che ho trascritto e analizzato è composta da 79 lettere inedite scambiate tra Jacopo Belgrado e Giovanni Poleni tra il 1742 e il 1761, anno della morte di Giovanni Poleni stesso. Le copie originali sono conservate in parte alla Biblioteca Marciana di Venezia e in parte alla Biblioteca Civica di Verona. Si tratta di una collezione incompleta in quanto il contenuto della prima lettera lascia intuire che la corrispondenza tra i due scienziati aveva avuto inizio precedentemente.

Nel periodo dal primo ottobre 1756 al 6 giugno 1760, le uniche lettere disponibili sono copie conservate da Poleni di quelle inviate a Belgrado; fortunatamente, esse contengono un breve riassunto degli argomenti trattati dal suo corrispondente, per cui mi è stato possibile ricostruire le tematiche trattate. Gli argomenti di cui i due scienziati discutono sono variegati e spaziano da trattazioni scientifiche a tematiche personali e politiche. Si nota infatti quanto, oltre che un rapporto strettamente professionale, tra i due vi fosse un legame di mutua stima e amicizia. Tra le tematiche scientifiche, le più approfondite e degne di nota sono quelle della strumentazione costruita e acquistata, e quella di testi didattici e divulgativi dai due acquistati e scritti.

### 2.1 Strumenti ed esperimenti

Poleni e Belgrado erano soliti discutere dei metodi e degli strumenti da loro sperimentati, scambiandosi istruzioni e dati, se non strumentazione vera e propria. Alcuni strumenti vennero costruiti a Parma e acquistati da Poleni.

#### 2.1.1 Gli strumenti del Catalogo Poleni

Incrociando il contenuto delle lettere, in cui Belgrado descrive la costruzione di "una macchina in picchi d'ottone per estinguere gli incendj, a due valvole, in cui si dovrà intravedere anche l'azione della compressione dell'aria; ed ella è eseguita per la metà" (Belgrado 1742), e il catalogo *Indice delle Macchine* (Poleni 1740-1761) contenente una lista degli strumenti acquistati da Poleni per il suo Gabinetto di Fisica, si vede che si tratta della stessa Macchina per Estinguere gli Incendi che egli acquistò proprio da Belgrado, Droghi e Ballarini. Si può dire lo stesso del Pirometro, che Poleni utilizzò durante il restauro della cupola di San Pietro, e di tre prismi per lo studio della diffrazione.

Oltre agli aggiornamenti riguardanti l'allestimento della Specola Parmense, particolarmente dettagliata è la descrizione degli esperimenti condotti da Belgrado sulle fiale bolognesi (anche dette fiale filosofiche), completa di rappresentazione dell'apparato sperimentale e dati raccolti.

### 2.1.2 Le fiale filosofiche

Nelle prime due lettere della raccolta, inviate il 18 dicembre 1742 e l'8 gennaio 1743, Belgrado descrive la fabbricazione, alla quale egli stesso ha assistito, di un particolare tipo di fiale di vetro. L'esperimento consisteva nell'inserire questi oggetti in una campana a vuoto e nel farvi cadere, e in presenza o in assenza di aria, pietre focaie o biglie di diversi materiali. Quando l'esperimento veniva effettuato nel vuoto, veniva utilizzata una macchina di Boyle. Belgrado era interessato a osservare se la fiala si rompeva a causa dell'impatto con la biglia, se produceva un suono e se apparivano scintille. Dopo una ricerca approfondita, ho constatato che l'esperimento riguarda le cosiddette "fiale bolognesi", ossia una serie di esperimenti sulla resistenza del vetro agli urti e sulla sua dipendenza dal modo in cui era stato lavorato. Un esperimento simile, a cui Belgrado racconta di essere stato testimone, è la fabbricazione delle lacrime bataviche, note anche come "Prince Rupert's Drops", oggetti presentati per la prima volta alla Royal Society il 4 marzo 1660, suscitando un forte interesse tra gli scienziati.

Le gocce venivano create facendo gocciolare del vetro fuso in acqua fredda: il risultato era una goccia di vetro che terminava con una sottile coda. Le caratteristiche di tali gocce interessano ancora oggi la comunità scientifica: mentre la testa può resistere a forti sollecitazioni, come un colpo di martello o l'impatto di un proiettile, la coda è così fragile che è sufficiente esercitare una pressione con le dita su di essa per far esplodere l'intera goccia. Su questo argomento, Belgrado pubblicò nel 1743 una breve dissertazione, in latino, intitolata "De Phialis vitreis ex minimi silicis casu dissilientibus", nella quale non diede una spiegazione del fenomeno, ma discusse i principi meccanici, in base ai risultati sperimentali. Non condivideva, come scrive a Poleni nel 1743, l'interpretazione del fenomeno più accreditata all'epoca, attribuita a Hooke (1665, pp. 33-34, par. *Observ. VII. Of some Phaenomena of Glass Drops*), secondo la quale tali caratteristiche erano attribuibili a bollicine di vuoto che resterebbero intrappolate nel vetro durante la lavorazione.

## 2.2 La comunicazione della scienza nel XVIII secolo

Belgrado e Poleni erano inseriti nel contesto dell'Illuminismo europeo, caratterizzato, oltre che dalla ricerca, da un nuovo modo di insegnare e comunicare la scienza, che includeva una dimostrazione sperimentale seguita dalla spiegazione degli effetti osservati e leggi fisiche che entravano in gioco, oltre le possibili applicazioni. Molti dei testi che i due si scambiavano riguardavano queste *lecture-demonstrations*, e tra le dissertazioni da loro scritte e sulle quali si scambiavano opinioni se ne trovano di carattere divulgativo sul nuovo modo di fare scienza.

### 2.2.1 Altri *lecture-demonstrators*

Uno dei colleghi più di frequente menzionati nelle lettere era Jean Antoine Nollet, particolarmente impegnato a preparare lezioni di fisica rivolte a un pubblico più ampio di quello accademico, al fine di rendere la scienza di dominio pubblico. Questo tipo di lezioni e attività, che segnano di fatto la nascita della divulgazione scientifica, erano iniziate qualche anno prima con le lezioni di Desaguliers. Le sue lezioni nei salotti francesi erano caratterizzate dall'introduzione di numerosi esperimenti, supportati da una vera e propria collezione di strumenti che Nollet creava quasi interamente da solo, con il supporto di operai da lui guidati. Una caratteristica rivoluzionaria del suo approccio era che le sue lezioni erano aperte anche a donne e bambini. Le dimostrazioni erano spesso spettacolari, ma, come Nollet tenne a precisare, "anche se vi è permesso di fissare l'attenzione dei vostri ascoltatori con fenomeni che li sorprendono, non è degno di un fisico lasciarli all'oscuro delle loro cause, quando queste possono essere rese note" (Nollet 1770). Dalla corrispondenza emerge un'occasione in cui Poleni incontrò Nollet: Belgrado, nella lettera del 12 agosto 1749 (Belgrado 1749),<sup>1</sup> dice a Poleni di averlo visto mostrargli le

<sup>1</sup> "Parmi di vedervi al fianco dell'Ab. Nollet, (che dovia a quest'ora esser certamente giunto costui), e mostrargli le vostre

sue macchine. Nella lettera successiva, Poleni racconta di tale incontro. I due si scambiarono e commentarono anche l'opera di Nollet *Leçons de physique expérimentale* (1743-1748). Altri importanti testi sulle *lecture-demonstrations* sono *A Course of Experimental Philosophy* di J. T. Desaguliers (1734-1744), e *Mathematical Elements of Natural Philosophy. Confirm'd by Experiments: Or, An introduction to Sir Isaac Newton's philosophy* di W. 's Gravesande (1747).

### 2.2.2 Dell'azione del Caso nelle Invenzioni e Dell'influsso degli Astri ne' corpi Terrestri

Una dettagliata serie di lettere riguarda due dissertazioni pubblicate da Belgrado nel 1757. Gli scritti in questione furono pubblicati in un unico libro, "Dell'azione del caso nelle invenzioni e Dell'influsso degli astri ne' corpi terrestri". La prima risale al 1754, quando Belgrado stava ancora ultimando la stesura dei pezzi. L'anno dopo, chiese a Poleni il favore di raccomandarlo al direttore della tipografia del Seminario di Padova, per la pubblicazione del libro. Dal 1756, un intero carteggio è quasi interamente dedicato agli accordi tra Belgrado e il dottor Carli, direttore della tipografia, sempre con la mediazione di Poleni. I due si scambiano accordi sul prezzo della stampa, sul numero di copie e sullo stile di edizione, nonché sui membri della comunità scientifica e intellettuale ai quali sono disposti a inviare tali copie. Grazie a Poleni, il libro ottiene la licenza del revisore del Doge di Venezia, dei Riformatori e dell'Inquisitore. Oltre gli accordi contrattuali, le lettere contengono correzioni suggerite da Poleni, riguardanti sia la forma sia il contenuto di alcune parti, da lui considerate "poco onorevoli" nei confronti dell'Accademia delle Scienze. Dalle due copie originali che ho reperito alla biblioteca Guido Horn d'Arturo di Bologna, ho potuto constatare che tutti i consigli di Poleni sono stati seguiti da Belgrado prima della pubblicazione.

La prima dissertazione tratta un'analisi della nozione di "Caso" e "Fortuna" e di quali influenze possano avere sulle invenzioni umane. La tesi che difende è che nessun successo può essere considerato casuale, poiché la mente che lo crea ha acquisito, attraverso lunghi anni di studi e ricerche, una serie di informazioni e competenze che si combinano in complicati meccanismi prima di giungere finalmente all'intuizione di un'invenzione o di una scoperta. Ma, citando Musschembroeck (1740), afferma che le persone attribuiscono il merito delle invenzioni alla fede o agli dei perché la mente non può essere consapevole di tutti i processi che avvengono al suo interno. L'uomo, secondo Belgrado, è quindi almeno in parte artefice della propria fortuna.

La seconda dissertazione è un chiaro esempio di applicazione del metodo scientifico newtoniano, che Belgrado chiama "Metodo analitico", alla disciplina astrologica. Egli esordisce affermando che nessuna prova è sufficiente a negare le influenze che i corpi celesti possono avere sui corpi terrestri, ma nemmeno a confermarle. Il suo scopo, dice, è quello di "disporre le menti a penetrare la ragione e a obbedire con precisione ai suoi dettami". Questo è un chiaro esempio del pensiero illuminista, secondo il quale le persone dovrebbero abbracciare pienamente i dettami della ragione, a scapito delle false credenze a cui si aggrappano nella speranza di trovare un ordine che possa giovare all'umanità. Nella trattazione che segue, riporta vari esempi di fenomeni, mostrando come, per mancanza di evidenze o per un'analisi errata di esse, la correlazione tra esse ed il moto degli astri sia in realtà inesistente, fatta eccezione per l'influenza della Luna sulle maree.

### 3. Conclusioni

Il carteggio e lo studio accurato di Jacopo Belgrado mostrano uno scienziato poliedrico, capace di portare avanti progetti di vario genere e con uno spirito intraprendente tale da creare un nuovo ambiente scientifico a Parma. Purtroppo, la maggior parte della strumentazione acquistata da Belgrado andò perduta.

---

macchine, e usargli di quelle pulite, e gentili maniere, che sono a voi sì porgliivi".



Oltre all'insegnamento, le ricerche condotte da Belgrado riguardavano i temi più all'avanguardia del suo tempo. Il suo stile di ragionamento era in linea con la filosofia newtoniana. Il suo atteggiamento al tempo stesso umanistico e scientifico gli permise di fare una meta-analisi della contrapposizione non solo tra il nuovo metodo scientifico, e il vecchio metodo, ma anche tra il pensiero razionale e irrazionale, parziale e superstizioso che caratterizza le persone, nel XVIII secolo così come oggi.

Scienziati famosi hanno caratterizzato la Rivoluzione Scientifica con scoperte, invenzioni e la fondazione di istituzioni che persistono fino ad oggi, ma, al loro fianco, molti altri scienziati hanno contribuito alla diffusione del metodo scientifico che ha reso possibile il progresso scientifico di cui oggi godiamo i frutti.

## Bibliografia

- Belgrado, C. (1795). *Commentario della vita e delle opere dell'Abate Conte Jacopo Belgrado*. [Parma]: dalla Reale tipografia parmense.
- Belgrado, J. (1743). *De phialis vitreis ex minimi silicis casu dissilientibus*. Padova: Stamperia del Seminario.
- Belgrado, J. (1757). *Dell'azione del caso nelle invenzioni, e dell'influsso degli astri ne' corpi terrestri*, Padova: Stamperia del Seminario.
- Comi, A. (1997). "Jacopo Belgrado e la Specola dello Studium Parmense", *Archivio storico per le provincie Parmensi*, XLIX, pp. 367-376.
- Damiani, F. (2021). *Research, teaching and science popularization in the XVIII century: an analysis of the correspondence of Jacopo Belgrado with Giovanni Poleni* (Tesi di Laurea magistrale in Fisica). Università di Bologna.
- Desaguliers, J.T. (1734-1744). *A Course of Experimental Philosophy* (2 vols.). London: W. Innys.
- F.B. (1823). "Notizie sulla latitudine e longitudine a Parma", *Gazzetta di Parma*, 21 gennaio.
- 's Gravesande, W.J. (1747). *Mathematical Elements of Natural Philosophy Confirm'd by Experiments: Or, An introduction to Sir Isaac Newton's philosophy*. London: W. Innys.
- Hooke, R. (1665). *Micrographia: Or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies made by Magnifying Glasses with Observations and Inquiries thereupon*. London: Printed by J. Martyn and J. Allestry.
- Nollet, J.A. (1743-1748). *Leçons de physique expérimentale* (6 vols.). Paris: Durand.
- Nollet, J.A. (1770). *L'art des expériences* (3 vols.). Paris: Durand.
- Rossi, B. (1933). *Note storiche sull'Osservatorio Astronomico della R. Università di Parma*, Parma: Donati.
- Van Musschenbroek, P. (1740). *Oratio inauguralis de mente humana semet ignorante*. Lugduni Bartavorum: apud Samuelem Luchtmans.

## Fonti d'archivio

- Belgrado J. (1742). Lettera a G. Poleni, 18 dicembre, Biblioteca Nazionale Marciana, Venezia (BNMV), IT.X, 324 (=6666), f. 31. doi: 10.34847/nkl.8ba8ygz1
- Belgrado J. (1749). Lettera a G. Poleni, 12 agosto, BNMV, IT.X, 295 (=6587), f. 42.
- Poleni, G. (1740-1761). *Indice delle Macchine*, BNMV, mss.it., cl. III, 54-55 (= 4969-4870), cl. IV, 626 (= 5497).
- Poleni G. (1757a). Lettera a J. Belgrado, 27 agosto, BNMV, IT.X, 135 (=6713), f. 217. doi: 10.34847/nkl.441cok50
- Poleni G. (1757b). Lettera a J. Belgrado, 16 aprile, Biblioteca Civica di Verona, IT.X, 135 (=6713), f. 167. doi: 10.34847/nkl.cc20186e



# L'elettricismo naturale nelle ricerche di Giuseppe Maria Giovene

Lucia De Frenza<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Seminario di Storia della Scienza, Università degli studi di Bari Aldo Moro, lucia.defrenza@uniba.it

*Abstract:* In the second half of the 18th century, a large number of physicists dealt with atmospheric phenomena. In Apulia, Giuseppe Maria Giovene (1753-1837) was one of the first to choose this field of study. He made meteorological observations from 1788 to 1797 and tried to understand the origin of meteorological phenomena, giving much importance to the effects of atmospheric electricity. In his work *Osservazioni elettrico-atmosferiche e barometriche insieme comparate* (1799), he illustrated the relationship between the intensity of atmospheric electricity and pressure variation. The importance of Giovene's work is that he made meteorology a statistical science.

*Keywords:* Atmospheric phenomena, Static electricity, Giuseppe Maria Giovene

## 1. Premessa

Le ricerche nel campo dei fenomeni elettrici ebbero nel Regno di Napoli un avvio in sordina. Dalla metà del Settecento alla fine del secolo esse seguirono le stesse direzioni intraprese in altri contesti: prima di tutto verso la sperimentazione con le macchine elettriche e la verifica delle manifestazioni dell'elettricità statica; quindi, verso le indagini sull'elettricità naturale (dei cieli e della terra), stimulate dalla scoperta della natura elettrica dei fulmini. Nel 1747, il tedesco Peter Johann Windler fu chiamato dal Principe di Tarsia (Ferdinando Vincenzo Spinelli) ad esibirsi nel suo cenacolo di dotti. La Biblioteca Spinella fu il teatro di singolari esperienze elettriche, che accesero l'interesse degli uomini di scienza napoletani, tra cui Niccolò Bammacaro e il duca Giovanni Maria Della Torre, che pubblicarono subito su questi temi (Bammacaro 1748; Della Torre 1748-49). Alle dimostrazioni partecipò attivamente anche la giovane Mariangela Ardinghelli (Bertucci 2016). Windler lasciò ai suoi amici napoletani gli appunti delle esperienze realizzate e da questo quaderno fu ricavato un volume, stampato subito dopo la sua partenza, con note e resoconto di nuove esperienze di Della Torre (Windler 1747). Negli stessi anni furono pubblicate traduzioni e nuove edizioni di scritti sull'elettricità, come la ristampa di *Dell'elettricismo* di Squario, la traduzione del *Tentamina electrica* di Bose e quella delle *Lettres sur l'électricité* di Nollet. Dopo la prima fiammata di entusiasmo l'attività di ricerca incontrò un periodo di stasi, che fu interrotto soltanto a partire dagli anni '70 del XVIII secolo con la pubblicazione di alcune opere sull'elettricità naturale, ritenuta responsabile di eventi meteorologici ordinari e straordinari e manifestazioni naturali di notevole estensione, come i movimenti tellurici e determinati processi geologici. Gli autori che si occuparono più ampiamente di questi temi furono il fisico Giuseppe Saverio Poli e il naturalista Giuseppe Maria Giovene. A questi si aggiunsero occasionalmente studiosi che descrissero particolari manifestazioni elettriche del cielo o intervennero nel dibattito sull'uso dei parafulmini per proteggere gli edifici pubblici, come il professore di fisica Gian Gaetano Del Muscio (1774), il medico Antonio Pitaro (1797), l'abate Giuseppe Marzucco (1786) e il matematico Vito Caravelli (1786). Invece, Luigi Maria de Curtis (1780) e Nicola Pacifico (1783) si occuparono dei fenomeni elettrici collegati all'attività vulcanica e ai terremoti.

Il principale interprete di questa stagione di studi fu Giuseppe Saverio Poli (1746-1825), che s'inserì, come entusiasta frankliniano, nella discussione sulla natura elettrica del fulmine, avviata, nel 1752, con l'esperimento di Dalibard a Marly-la-ville. Discusse in alcuni scritti, stampati a partire dal 1772, di fenomeni meteorologici ordinari, come il tuono, il lampo e il fulmine, e straordinari, come i fuochi fatui,

spiegati solo con le forze di attrazione e repulsione tra zone del cielo o della terra fornite di una diversa quantità di fluido elettrico. Sostenne anche l'adozione dei parafulmini come unico sistema, per porre al riparo gli edifici dai danni delle scariche elettriche. Le sue affermazioni traevano conferme dai risultati ottenuti replicando le esperienze descritte dai fisici di vari paesi (Schettino 2003).

Un grande interesse per i fenomeni elettrici ebbe Giuseppe Maria Giovene (1753-1837). Questa figura di canonico naturalista è stata studiata solo in riferimento ad aspetti specifici dalla sua produzione: in particolare, l'attività di collezionista antiquario (Toscano 2007) oppure il ruolo svolto nell'affare della nitriera del Pulo (Finzi & Grieco (a cura di) 2015). Non è stato analizzato, invece, il suo contributo allo studio delle malattie delle piante e alla promozione dell'innovazione agraria, oltre che l'applicazione alle ricerche di meteorologia agraria.

In effetti, il ruolo svolto da Giovene nella storia della meteorologia italiana del Settecento è quasi del tutto sfuggito agli storici. Questi si sono soffermati su autori, come Beccaria, Calandrelli, Landriani, Toaldo, Veratti, Frisi, che hanno lavorato in contesti del centro-nord, lasciando in ombra il contributo degli studiosi meridionali (Bertucci 2009; Proverbio 2003; Casati 1990; Camuffo 2023). Al progresso della meteorologia, che nel Settecento si emancipò dalla tradizione aristotelica e dalle credenze popolari, divenendo un nuovo ramo della scienza sperimentale al servizio dell'utilità pubblica, contribuì anche, a partire dal Settecento, l'attività condotta da osservatori operanti nel Sud Italia. Questo saggio sulle ricerche di Giovene sull'elettricità atmosferica intende, quindi, aprire la strada a un approfondimento di tali osservazioni nel contesto meridionale.

## **2. Giuseppe Maria Giovene: naturalista, agronomo, imprenditore**

Giuseppe Maria Giovene era originario di Molfetta in Puglia. Figlio cadetto del barone Giovanni, rimasto orfano a sette anni, fu affidato alla protezione del vescovo Celestino Orlandi (1704-1775), uomo di grande levatura intellettuale e suo conterraneo, che lo fece ammettere nel Collegio dei Gesuiti di Napoli. Sciolto l'ordine, tornò a Molfetta, dove si dedicò agli studi di filosofia e matematica. Si laureò in *utroque iure* a Napoli nel 1772 e, quindi, rientrato a casa, fu consacrato sacerdote nel 1777 e Vicario generale della diocesi nel 1781 (Filioli 1837; Tortora Brayda 1837; Tripaldi 1841; Altomare 1937).

Fin dagli esordi associò la propria missione di uomo di fede agli interessi per la scienza e il progresso tecnico. Come molti intellettuali che aderirono al programma di Genovesi di promuovere il risveglio culturale del paese, si dedicò agli studi, che dovevano contribuire alla crescita delle industrie umane e all'emancipazione della popolazione.

Nel 1783, Giovene, allora trentenne, mostrò al fisico padovano Alberto Fortis (1741-1803) una formazione salina che si generava spontaneamente sulle rocce della voragine naturale, detta "Pulo", nei pressi di Molfetta (Toscano 2004). I due studiosi concordarono che si trattava di salnitro (nitrato di potassio), utilizzato nella preparazione della polvere da sparo e dei fuochi pirotecnici. All'epoca era noto solo il salnitro organico, che emergeva sulle pareti umide di stalle e cantine per l'azione di particolari batteri, e quello artificiale ottenuto mescolando terriccio, cenere di legno, letame ed altre sostanze. La produzione di salnitro, così importante per i fabbisogni militari, era sottoposta ad una particolare vigilanza da parte degli organi di governo. Fu avviato lo sfruttamento industriale della nitriera nel 1784 sotto la direzione del fratello Graziano Giovene (1749-1823). Le pietre del Pulo erano in grado di generare l'influenza senza la presenza di componenti organiche (si tenga conto che per la produzione di nitro artificiale si requisiva letame ai contadini, che altrimenti avrebbero potuto impiegarlo nelle concimazioni) e soprattutto potevano riattivarsi una volta utilizzate e produrre altro nitro. Il minerale di Molfetta appariva, quindi, inesauribile.

L'arciprete Giovene cooperò per la buona riuscita dei lavori e sostenne la novità scientifica del salnitro minerale con una serie di scritti. Propose anche uno studio della voragine dal punto di vista geologico, botanico e archeologico (il Pulo è una delle più importanti stazioni neolitiche pugliesi). Gli

interessi privati messi a rischio dall'installazione della miniera di salnitro portarono al suo fallimento. I salnitrai, chiamati a isolare il minerale, seminarono zizzania tra gli operai e cercarono di rendere diffidenti le autorità. La miniera di Molfetta appariva poco produttiva e richiedeva ingenti finanziamenti. Giovene, Fortis e i loro amici intellettuali ipotizzarono che lo scarso rendimento della nitriera dipendesse dalla tecnica estrattiva usata, che rendeva, peraltro, inutilizzabili, una volta trattate, le pietre del Pulo. Ben presto il Re ne revocò l'ordine di sfruttamento (Finzi & Grieco (a cura di) 2015).

L'interesse di Giovene si spostò, quindi, sull'agronomia, che studiò con l'obiettivo di suggerire ai contadini cambiamenti nelle tecniche di produzione e di trasformazione delle colture. Si occupò degli ulivi, la pianta più diffusa nell'entroterra barese e nel Salento, e indicò i modi per ridurre gli effetti delle malattie che li colpivano e migliorare l'economia locale. Nella *Memoria sulla rogna degli ulivi* del 1789 descrisse una forma degenerativa di accrescimento dell'albero, spiegandone per primo le cause e stabilendo i rimedi per arginare il problema. Nell'*Avviso per la distruzione de' vermini che rodono la polpa delle olive* del 1792 si occupò, come entomologo e patologo, della mosca olearia: ne descrisse il ciclo vitale (la riproduzione non era stata mai osservata) e stabilì il modo per debellarla o almeno per ridurre l'incidenza. Suggerì, inoltre, l'introduzione nelle campagne pugliesi di specie agronomiche più produttive, come il cotone "color di camoscio". Descrisse le tecniche più avanzate per la molitura delle olive, promuovendo l'introduzione nei frantoi di Molfetta del sistema "alla Genovese", caratterizzato dall'uso di una macina a due ruote per frangere le olive e un torchio a vite verticale per la spremitura.

La fede nel riformismo illuminato e la carità cristiana sostennero nell'arciprete Giovene la disposizione a cogliere i reali bisogni di un'agricoltura e di una manifattura locale, frenate nel loro sviluppo da viete consuetudini e dal lassismo dei proprietari. Giovene comprese che per ottenere risultati efficaci bisognava partire dal basso e cercare di spezzare la catena dell'ignoranza dei contadini mediante l'istruzione e l'esempio. In un passo di una sua opera, *Orobanche*, si legge: "In fino a tanto che l'agricoltura starà, come probabilmente starà sempre in mano dei contadini, per trarre il vero profitto bisognerà istruire i contadini, e non i ricchi, voluttuosi ed inetti proprietari" (Giovene 1839-41, vol. 1, p. 157). In realtà, il riformismo di Giovene, pur reale e sincero, si limitò all'informazione agronomica e al paternalismo magnanimo verso l'ingenuo contadino, che non aveva ancora le qualità per emanciparsi.

L'impegno civile di Giovene sembrò esaurirsi dopo la rivoluzione napoletana del 1799. Le opere successive mostrarono l'emergere di nuove consapevolezze: l'autore abbandonò la divulgazione agronomica, scrivendo di botanica o meteorologia solo per incontrare l'interesse dei dotti; pubblicò soprattutto scritti d'argomento religioso. Nel 1800 la Società dei XL lo volle tra i suoi membri ad occupare il posto reso vacante dalla morte di Lazzaro Spallanzani (1729-1799). Proseguì anche la sua esperienza di uomo pubblico. Nel 1807 fu nominato Vicario apostolico di Lecce e poi resse le diocesi di Otranto e Oria. Nel 1820 fu eletto deputato nel Parlamento costituzionale partenopeo, ma l'esperienza durò pochi mesi fino alla repressione borbonica. Morì a Molfetta il 2 gennaio 1837.

### 3. La meteorologia campestre

Uno degli interessi scientifici principali di Giovene fu quello per la meteorologia, vista in relazione all'andamento della produzione agricola e alla ricorrenza delle patologie stagionali. La meteorologia nel corso del XVIII secolo era stata riformata completamente nei metodi e negli obiettivi, inserendosi, anche se in maniera ancora incerta, tra le scienze positive. La sua finalità pratica, cioè quella di dare supporto alle scienze agrarie, alla botanica, alla medicina e, in generale, alle discipline relative alla conoscenza dell'ambiente naturale (geografia, geologia, astronomia) creò un grande interesse per questa materia, che fu sottratta all'ingerenza delle credenze popolari e alle commistioni divinatorie e astrologiche. In Italia l'abate Giuseppe Toaldo (1719-1797), professore di Astronomia a Padova, avviò quest'emancipazione della meteorologia dalla produzione degli almanacchi e dei lunari, per trattarla come disciplina scientifica basata su raccolte organiche di dati strumentali e sulla definizione di leggi e

costanti. Toaldo ritenne che l'influenza lunare fosse la causa predominante delle variazioni climatiche, immaginando nei cieli uno spostamento di masse aeree, concomitante alle maree, causate dall'attrazione gravitazionale della luna. L'azione di quest'astro era inquadrabile in un ciclo, la cui durata Plinio aveva definito di nove anni, altri di trentasette, mentre Toaldo la riportava alla misura astronomica dei Caldei, il *Saros*, di circa diciotto anni. Utilizzando i dati che Giovanni Poleni (1683-1761), professore di Astronomia e meteore a Padova, aveva raccolto dal 1725 al 1761, e i suoi dal 1773 al 1798, aveva descritto una serie di ricorrenze meteorologiche, utili in particolare per fissare il calendario dei lavori agricoli (Camuffo 2002, p. 12; Casati 1990; Zanini 2023). Fu proprio l'abate Toaldo, con il quale iniziò una corrispondenza al tempo della scoperta del nitro, a suggerire al sacerdote di Molfetta di applicarsi agli studi di meteorologia, a fornirgli i primi strumenti e a incoraggiarlo a pubblicare i dati raccolti (Giovene 1839-41, vol. 2, pp. 276-277). Scrisse Andrea Tripaldi: "Dir puossi che se si riconosce per fondatore della scienza astro-meteorologica il sullodato Toaldo, il Giovene ha uguale diritto a venir riconosciuto per fondatore della meteorologia campestre" (Tripaldi 1841, p. 14).

Giovene per un decennio raccolse dal suo punto di osservazione a Molfetta, in Puglia, dati relativi alla temperatura, alla piovosità, all'elettricità atmosferica e ai fenomeni più eclatanti delle varie stagioni. Pubblicò dieci *Discorsi meteorologico-campestri* dal 1788 al 1799 e diversi altri scritti sull'andamento dei fatti meteorologici. A differenza di Toaldo, che riteneva la ciclicità delle stagioni (causata all'influenza lunare) un principio certo come la regolarità dei moti astrologici, per cui gli eventi straordinari erano considerati anomalie giustificabili con interferenze dei pianeti sul satellite terrestre, Giovene, invece, definiva un modello statistico locale, che ammetteva in ogni periodo dell'anno un comportamento meteorologico prossimo alla media delle osservazioni fatte in passato, per cui si potevano ipotizzare nel futuro delle fluttuazioni nei valori non molto diverse da quelle storiche e delle compensazioni cicliche (in alcune occasioni parlava di periodo di nove anni) per eventi straordinari. Giovene dette molto rilievo alla descrizione dei fatti meteorologici non comuni, perché questi non rappresentavano casi che mettevano in discussione la regola, ma solo deviazioni statisticamente ammesse. Le sue previsioni, però, non erano anticipazioni nel senso moderno, realizzate sulla base della valutazione della situazione attuale dei cieli, ma indicazioni statistiche ricavate dai dati storici. Anche in questo, però, Giovene adoperava buon senso, perché l'interpretazione era adattata al momento e basata sulle "intenzioni", cioè sulle tendenze esperite della natura. Queste previsioni davano solo delle probabilità e non delle certezze. Il fine era quello di fornire, soprattutto ai contadini, informazioni per determinare il comportamento più utile nelle varie situazioni meteorologiche, perché l'andamento climatico era ricorsivo e situazioni problematiche si ritrovavano simili nel tempo. L'invito era a scrivere le storie meteorologiche, altrimenti, mancando queste, "noi ci troviamo sempre da capo, e se le disgrazie non sono nuove in natura, sono nuove per noi" (Giovene 1839-41, vol. 2, p. 13). Non si trattava, però, soltanto d'imparare dal passato a limitare i danni, ma di capire dalle previsioni relative all'andamento di un anno, una stagione o un mese quali interventi realizzare per preparare le piante o per scegliere i tempi più opportuni per le colture.

Giovene dette grande risalto al metodo di fare previsioni, che chiamò "principio della compensazione del più col meno di un anno coll'altro" (Giovene 1839-41, vol. 2, p. 342), perché questo esaltava la regolarità della natura. Senza smentire il criterio formulato da Toaldo dei punti lunari, il molfettese proponeva di utilizzare comparativamente i due metodi, in modo da aumentare la probabilità dei presagi.

Inoltre, egli, come Toaldo, dette importanza alla comparazione delle osservazioni realizzate in luoghi diversi, benché ritenesse che la sola raccolta dei dati non potesse determinare avanzamenti nella scienza meteorologica, perché la sistematizzazione e l'interpretazione delle misure erano problemi complessi (e forse non trattabili). Creò una rete sul territorio di studiosi che raccoglievano dati meteorologici (Luca de Samuele Cagnazzi di Altamura, Orazio Delfico di Teramo, Gaetano de Lucretiis di Sansevero, Giovanni Zerella di Ariano, Giuseppe Cassella di Napoli, Francesco Antonio Notarianni di Fondi,

Emanuele Mola di Bari, Cosimo Moschettini di Martano, Filippo Carelli di Conversano) e questi corrispondevano con lui e con Toaldo (benché non facessero parte a tutti gli effetti della rete patavina).<sup>1</sup>

Giovene utilizzò nelle sue osservazioni una serie di strumenti:<sup>2</sup> il termometro a scala di Reaumur; il barometro “a boccia”, che gli aveva inviato Giuseppe Toaldo; il barometro “a pozzo” e “a livello galleggiante” di Dollond, un “apparato elettroscopio-atmosferico” di Volta. Quest’ultimo era stato costruito da Luca de Samuele Cagnazzi e Giovene lo utilizzava o con un filo di ottone terminante a spirale e lo zolfarello e con un filo, che lambiva un lanterino con la fiamma messo su un’asta isolante.<sup>3</sup> L’apparato si completava con due elettrometri, uno a paglie più piccole, l’altro a paglie più grosse (costruiti anche questi da Cagnazzi). Giovene aveva notato che l’elettrometro diventata più sensibile riscaldandolo, tanto da ottenere gli stessi risultati sulle deboli tensioni, che Volta era riuscito ad avere con l’aggiunta del condensatore. Per le misure dell’umidità atmosferica adoperò l’igrometro a penna d’oca di Chiminello. Per registrare la quantità di pioggia caduta si servì di “vasi e misure”, fornitegli sempre da Toaldo. Le osservazioni erano eseguite dal terrazzo della sua abitazione, a circa 12 metri di altezza (36,5 piedi parigini) e prospiciente al mare; ad ottobre continuavano nella sua casa di villeggiatura nella campagna molfettese, sempre in pianura.

#### 4. Fenomeni elettrici nell’atmosfera

Giovene aveva iniziato ad interessarsi di elettricità già durante il periodo degli studi universitari, nel 1771, quando nella capitale aveva potuto seguire le esperienze di Poli (Pizzaleo 2001). Non scrisse mai un’opera dedicata in maniera esclusiva a tale argomento, ma nei *Discorsi meteorologici* e in altri suoi scritti si soffermò a chiarire l’influenza dell’elettricità naturale su alcune manifestazioni del cielo e della terra.

Per Giovene le variazioni del “fuoco elettrico” erano in relazione con fenomeni ottici particolari, come le aurore boreali, le “lavandaje” (che sono dei miraggi che si manifestano in Puglia, simili alle Fate Morgane) (Zedda 1915), con l’apparizione di bolidi, come aveva indicato Beccaria (Ciardi 2001), oppure con eventi meteorologici più comuni, come la grandine, le nebbie, ecc.: “E questo agente, il quale in silenzio perfetto muove, agita, e prepara, piogge, uragani, neve, e fulmini qual mai sarà, se non è il fluido elettrico?” (Giovene 1939-41, vol. 2, p. 91). Nel racconto degli eventi meteorologici Giovene riportò sempre la misura dell’elettricità atmosferica presa con il suo elettrometro a pagliette e notò una corrispondenza regolare tra le variazioni di quel fluido e lo stato del cielo. Nel *Discorso meteorologico campestre su l’anno 1791* ipotizzò che l’elettricità emanasse “dai suoli vulcanici, bituminosi, o carbonosi”. Riferì di aver visto spesso un arco di nubi che dal Vulture attraversava l’Adriatico e si spingeva fino ai monti della Croazia, all’apparenza simile ad un arco conduttore. Se l’elettricità passava da un punto all’altro, non c’erano temporali; se non si formava l’arco, le nuvole provenienti da ovest si trasformavano sulla costa pugliese in pioggia. Giovene non andava oltre queste osservazioni; tuttavia avvisava che non si sarebbe mai avuta “una buona meteorologia, senza aver prima delle buone ed esatte carte mineralogiche, e senza moltiplicar non tanto le osservazioni istromentarie nelle città, quanto le osservazioni in aperta campagna, e su de’ monti” (Giovene 1839-41, vol. 2, pp. 93-94).

L’opera, nella quale esplicitò più chiaramente le sue idee sull’elettricità atmosferica, è la memoria *Osservazioni elettrico-atmosferiche e barometriche insieme comparate*, presentata da Fortis alla Società Italiana delle Scienze, detta dei XL, e pubblicata nel tomo VIII delle *Memorie di matematica e fisica*

---

<sup>1</sup> Padova, INAF-Osservatorio astronomico, *Osservazioni meteorologiche dei corrispondenti di Giuseppe Toaldo*, b. 2, fasc. 1, Corrispondenza di G.M. Giovene con G. Toaldo.

<sup>2</sup> Giovene donò la sua biblioteca, gli strumenti scientifici e la collezione di reperti archeologici e artistici al Seminario vescovile di Molfetta. Gli strumenti, alcuni dei quali – sembra – conservati fino all’inizio del Novecento, sono oggi dispersi. La sua raccolta di testi ha costituito il nucleo originario della biblioteca diocesana; mentre la collezione di reperti fa parte del Museo diocesano recentemente riaperto.

<sup>3</sup> Si ringrazia Fabrizio Loiodice per le informazioni sui barometri usati all’epoca di Giovene.

(t. 1, 1799). Giovene, innanzitutto, osservava che la scienza meteorologica era ancora nella sua fanciullezza ed esortava i fisici ad andare al di là della semplice annotazione di dati strumentali. A differenza dell'astronomia, che aveva telescopi per guardare il cielo e quadranti e pendoli per misurarlo, la meteorologia aveva solamente strumenti di misura, mancandole la possibilità di rendere più acuto lo sguardo sui suoi oggetti di studio. Ecco perché i meteorologi fino ad allora sembrava fossero rimasti di fronte alle possibilità della ricerca come davanti a un magnifico edificio esaminato solo dall'esterno. Giovene invitò gli studiosi a "rinvenire nuovi modi, aprirsi nuove strade, farsi nuove viste" (Giovene 1839-41, vol. 2, p. 282) e ne dette un saggio, soffermandosi sulla relazione tra intensità dell'elettricità atmosferica e variazione della pressione.

Le osservazioni di Giovene furono realizzate con l'apparato meteorologico di Volta; furono condotte per due anni, tutti i giorni e ogni due ore (tranne quelle notturne); annotate su un distinto "giornale elettrico", che conteneva le misurazioni barometriche ed elettriche (sia dell'intensità che del segno). Da questo migliaio di osservazioni, poi, il molfettese prese in esame solo quelle eseguite a ciel sereno. Ricavò delle tavole sintetiche, in cui riportò i valori medi delle osservazioni eseguite ogni due ore nella giornata e quelle di ogni mese dell'anno. Queste misure servivano a determinare dei principi generali nell'espressione dei fenomeni meteorologici. Il primo uso fu quello di verificare le ipotesi di Beccaria e Saussure. Con il suo metodo delle medie complessive e con l'apparato di Volta Giovene riuscì a confermare il ciclo diurno dell'elettricità atmosferica e quello annuale. Come contributo ulteriore, si occupò di stabilire il rapporto tra variazione dell'elettricità e pressione atmosferica: verificò che c'era una progressione conforme ed unisona tra le differenze barometriche (tra la massima e la minima nello stesso mese) e la variazione dell'elettricità. Giovene trovò, quindi, che all'aumentare della pressione diminuiva l'elettricità e viceversa. Pur ammettendo che molte potevano essere le cause della variazione della pressione o dell'elettricità, nell'80% dei casi aveva verificato che esisteva una:

corrispondenza fra il salire del mercurio nel barometro, e l'abbassarsi l'elettricità dell'atmosfera, come fra l'accrescimento dell'elettricità stessa, e la discesa del mercurio (Giovene 1839-41, vol. 2, p. 304).

L'unica osservazione che poteva aggiungersi era che l'aumento o il decrescere dell'elettricità anticipava la discesa o la salita della pressione. Da queste osservazioni Giovene deduceva che "nella elettricità atmosferica debbasi cercare la causa delle variazioni barometriche" (Giovene 1839-41, vol. 2, p. 308).

Questa tesi si basava sull'idea della presenza di un flusso continuo di fluido elettrico dalla terra all'atmosfera, capace di provocare la condensazione o il dilatamento delle masse aeree e, quindi, l'innalzamento o abbassamento della pressione atmosferica:

Il fuoco elettrico si lancia nell'atmosfera, e per la sua forza ripulsiva deve costringer l'aria a diradarsi, e così a fluire sopra tutti i lati, abbandona il fuoco elettrico l'atmosfera per portarsi alla terra, e cessando la forza che teneva l'aria in istato di diradazione, cessa la diradazione ancora, e da tutti i lati vi è un riflusso (Giovene, 1839-41 vol. 2, pp. 318-319).

Nell'*Appendice alle osservazioni elettrico-atmosferiche e barometriche comparate*, che fu stampata nel volume IX delle *Memorie di matematica e fisica della Società italiana delle scienze* (1802), Giovene estese la relazione che aveva individuato tra variazione della pressione atmosferica ed elettricità anche al magnetismo. Dopo aver letto lo scritto dell'olandese van Swinden, che stabiliva con dati sperimentali l'influenza dell'aurora boreale sull'ago calamitato (Swinden 1785), il molfettese utilizzò le misure riportate dall'altro, incrociandole con le sue, per stabilire che con l'abbassamento della pressione vi erano una maggiore elettricità nell'atmosfera e un incremento delle agitazioni magnetiche. Concludeva, quindi:



E per verità in tanto meraviglioso accordo di risultati, ed in tanta convenienza di proporzioni non è possibile non riconoscere una corrispondenza tra il Barometro, le Aurore Boreali, le agitazioni dell'ago magnetico, e l'Elettricità, cosicché una debba essere la causa produttrice di tutti questi fenomeni (Giovene 1839-41, vol. 2, p. 329).

Più oltre aggiungeva che la causa, di cui si parlava, poteva essere la “marea elettrica” (Giovene 1839-41, vol. 2, p. 332). La possibilità di considerare interagenti elettricità e magnetismo era stata avanzata anche da Poli nel 1772 (p. 76) e poi ripresa più ampiamente nel 1788. Sulla possibilità di stabilire un'analogia tra questi fenomeni si erano soffermati diversi fisici alla metà del XVIII secolo. Epino nel 1758 aveva sostenuto l'identità delle cause responsabili di tali agenti, benché subito dopo avesse affermato che fluido magnetico ed elettrico erano differenti e non potevano coesistere sullo stesso corpo. In Italia Cigna aveva parlato di identità di cause, senza ammettere una completa coincidenza; in Francia Cotte aveva sostenuto che la materia del magnetismo era la stessa dell'elettricità, ma differentemente modificata, Lapepède, infine, aveva sottolineato l'esistenza di un rapporto tra le cause, probabilmente perché gli effetti erano generati a partire da un medesimo principio, e di evidenti analogie tra i fenomeni, ma aveva detto che le loro differenze restavano ancora troppo grandi, per poter parlare di identità (De Frenza, 2003). In questo contesto l'idea di Poli era stata alquanto radicale, poiché, dopo aver riferito in che maniera l'elettricità ed il magnetismo influivano l'uno sull'altra, affermava chiaramente che tali forze avevano la stessa natura, come la luce ed il fuoco, anche se era diversa la direzione in cui si esprimeva il loro potere, il quale in una calamita agiva secondo linee curve intorno ai poli, mentre in un corpo carico emanava da tutta la sua superficie. Giovene aggiunse la correlazione con le aurore boreali e lo stato dell'aria. Tuttavia, considerava le sue conclusioni sempre ipotetiche, consapevole che ulteriori osservazioni fossero necessarie per trovare delle leggi in fatti così complessi.

## 5. Considerazioni finali

L'interesse degli illuministi napoletani per gli studi sull'elettricità fu limitato. Dopo gli esperimenti con la macchina elettrica nel salotto del Principe di Tarsia negli anni 1747-48, fatti imponderabili, come la morte del fisico Pietro De Martino, il maggior esponente di quel circolo, nonché uno dei più intraprendenti difensori del newtonianesimo, e fatti più complessi, che indicano una sotterranea azione di chiusura alle nuove teorie delle figure istituzionali incaricate di pianificare la politica culturale, primo fra tutti il ministro Tanucci, fecero svanire le promesse di un'intensa discussione sull'elettricismo a Napoli, così come del progresso tecnico-scientifico napoletano (Nastasi 1982, pp. 251-253; Schettino 2003, p. 168). Negli anni Settanta del XVIII secolo Poli riprese gli studi sull'elettricità, soffermandosi in particolare sulle questioni aperte da Benjamin Franklin. Giovene e altri intellettuali negli ultimi decenni del secolo seguirono questa nuova pista. Giovene – come si è cercato di chiarire – affermò nelle sue ricerche meteorologiche che i movimenti della marea elettrica erano la causa di vari fenomeni atmosferici. Grazie a quest'ipotesi definì un quadro teorico, in cui i dati risultavano conformi a quella regolarità, che si osserva in natura: “Tutto nella natura è in regola, e le meteore ancorché sembrano irregolarissime, sono soggette alla legge generale della natura” (Giovene 1839-41, vol. 2, p. 37).

L'assoluto sperimentalismo che caratterizzava il metodo di ricerca di Giovene non gli consentì, tuttavia, di proseguire nell'approfondimento dei meccanismi fisici che regolano le dinamiche del cielo. Peraltro, mancavano ancora quelle cognizioni di fisica e di chimica, che avrebbero potuto chiarire la natura di molti fattori che intervengono nei fenomeni meteorologici. Come ha chiarito Salvemini (1980), l'arciprete Giovene resta il rappresentante di un'idea di ricerca di stampo baconiano, riduttiva ed estremista, che non si poneva come alternativa al modello newtoniano, sostenuto da Genovesi, o all'inversione diderotiana, che si affermerà dopo la rivoluzione del 1799 e la fine della generazione degli intellettuali riformatori. Questo limite ne fa un personaggio isolato, che, benché conosciuto in Italia

e all'estero, in realtà non riuscì ad infondere un indirizzo personale alla scienza del suo tempo e neanche a farsi apprezzare – come meritava – per l'assiduo e considerevole lavoro condotto.

### Bibliografia

- Altomare, M. (1937). *Biografie illustrate di scrittori, artisti, uomini d'azione di Molfetta dal secolo XV al secolo XX*. Molfetta: Prem. Stab. Tip. St. di Bari, pp. 93-104.
- Bammacaro, N. (1748). *Tentamen de vi electrica eiusque phaenomenis in quo aeris cum corporibus universi aequilibrium proponitur*. Neapoli: apud Alexium Pellecchia.
- Bertucci, P. (2009). "Enlightening Towers: Public Opinion, Local Authorities and the Reformation of Meteorology in Eighteenth Century Italy", in Heering, P., Hochadel, O. & Rhee, D. (eds.) *Playing with Fire: The Cultural History of the Lightning Rod*. Philadelphia: American Philosophical Society.
- Bertucci, P. (2016). "The Architecture of Knowledge: Science, Collecting and Display in Eighteenth-Century Naples", in Hills, H. & Calaresu, M. (eds.) *New Approaches to Naples c.1500-c.1800: The Power of Place*. London, New York: Routledge.
- Camuffo, D. (2002). "History of the Long Series of Daily Air Temperature in Padova (1725-1998)", in Camuffo, D. & Jones, P. (eds.) *Improved Understanding of Past Climatic Variability from Early Daily European Instrumental Sources*. Dordrecht: Springer.
- Camuffo, D. & della Valle, A. (2023). "Tre serie meteorologiche storiche: Firenze, Bologna e Padova", *Quaderni di Storia della Fisica*, 30, pp. 1-21.
- Caravelli, V. (1786). *Agli eccellentissimi Signori Deputati del Tesoro di S. Gennaro pel conduttore elettrico che si pensa di mettere sulla cupola del medesimo Tesoro*. Napoli: s.e.
- Casati, S. (1990). "Giuseppe Toaldo: la luna, il saros e le meteore", *Nuncius*, 5(1), pp. 17-42.
- Ciardi, M. (2001). "Falling Stars, Instruments and Myths: Volta and the Birth of Moderna Meteorology", *Nuova Voltiana*, 3, pp. 41-51.
- Curtis (de), L.M. (1780). *Saggio sull'elettricità naturale diretto a spiegare i movimenti e gli effetti dei vulcani*. Napoli: s.e.
- De Frenza, L. (2003). "Verghe elettriche e verghe magnetiche a Napoli nei primi decenni dell'Ottocento", *Anthopos & Iatria*, 1, pp. 88-96.
- Del Muscio, G.G. (1774). *Dissertazione con cui si risponde ai varii dubbii promossi, contro la teoria dell'elettricismo di Franklin*. Napoli: s.e.
- Della Torre, G.M. (1748-49). *Scienza della natura*. Napoli: appresso Raffaele Gessari.
- Filioli, P. (1837). "Giuseppe Maria Giovene, arciprete della cattedrale Chiesa di Molfetta. Necrologia", *Annali Civili del Regno delle due Sicilie*, 13, pp. 35-51.
- Finzi, G. & Grieco, O. (a cura di) (2015). *Convegno di studi sul Pulo di Molfetta. Dal salnitro alle problematiche di tutela. Un luogo unico che custodisce il genius loci del territorio*. Molfetta: La Nuova Mezzina.
- Giovene, G.M. (1839-1841). *Raccolta di tutte le opere*, vol. I, *Memorie fisico agrarie*, vol. II, *Memorie fisiche*, vol. III, *Memorie diverse*, Marinelli Giovene, L. (a cura di). Bari: Cannone.
- Marzucco, G. (1786). *Parere scritto alla eccellentissima deputazione del tesoro di S. Gennaro intorno alla spranga elettrica in data del 15 settembre 1786*. s.n.t.
- Nastasi, P. (1982). "I primi studi sull'elettricità a Napoli e in Sicilia", *Physis*, pp. 237-264.
- Pacifico, N.M. (1783). *Della spiegazione fisica de' fenomeni de' terremoti di Calabria dell'anno 1783*. s.n.t.
- Pitaro, A. (1797). "Descrizione di una meteora ignea comparsa sull'orizzonte di Napoli in Agosto 1797", *Giornale Letterario di Napoli*, 84, pp. 3-19.
- Pizzaleo, A. (2001). "Giovene, Giuseppe Maria", in *Dizionario biografico degli Italiani*, vol. 56. Roma: Istituto dell'Enciclopedia Italiana, pp. 408-410.

- Poli, G.S. (1772). *La formazione del tuono, della folgore, e di varie altre meteore, spiegata giusta le idee del signor Franklin*. Napoli: Campo.
- Poli, G.S. (1788). “Osservazioni fisiche concernenti l’elettricità, il magnetismo e la folgore del pensionato d. Giuseppe Saverio Poli. Letta nella R. Accademia l’anno 1784”, *Atti della Reale Accademia delle Scienze e Belle Lettere*, 1, pp. 169-195.
- Proverbio, E. (2003). “Giovan Battista Beccaria e l’insegnamento della fisica a Torino: i rapporti con Beniamino Franklin, le ricerche sull’elettricità atmosferica e le prime applicazioni del parafulmine”, *Atti della Fondazione Giorgio Ronchi*, 58(5), pp. 597-687.
- Salvemini, B. (1980). “Propaggini illuministiche. Intellettuali ‘nuovi’ e sviluppo dipendente in Puglia tra Settecento e Ottocento”, *Lavoro Critico*, 20, pp. 145-198.
- Schettino, E. (2003), “Franklinists in Naples in the 18th Century”, in Bevilacqua, F. & Giannetto, E.A. (eds.) *Volta and the history of electricity*. Milano: Hoepli, pp. 167-173.
- Swinden (van), J.H. (1785). “Dissertation sur les mouvements irreguliers de l’Aiguille aimantée”, in Id. *Analogie de l’electricite et du magnetisme, ou, Recueil de memoires couronnés par l’Academie de Baviere*. Vol. 3. Paris: aux dépens de la Compagnie, se trouve à Paris chez la Veuve Duchesne.
- Tortora Brayda, C. (1837). *Elogio storico di Giuseppe Maria Giovene*. Napoli: Flautina.
- Toscano, M. (2004). *Alberto Fortis nel Regno di Napoli: naturalismo e antiquaria 1783-1791*. Bari: Cacucci.
- Toscano, M. (2007). “The figure of the naturalist-antiquary in the Kingdom of Naples. Giuseppe Giovene (1753/1837) and his contemporaries”, *Journal of History of Collections*, 11, pp. 225-237.
- Tripaldi, A. (1841). *Elogio storico del Canonico Arciprete Giuseppe Maria Giovene*. Modena: Tipi della R.A. Camera.
- Windler, J.P. (1747). *Tentamina de causa electricitatis quibus Brevis Historia nonnullis Auctoribus, qui hanc praecipue excoluerunt materiam, praemissa est*. Neapoli: Serafini Porsile.
- Zanini, V. (2023). “Giuseppe Toaldo e il Giornale Astro-Meteorologico”, *Quaderni di Storia della Fisica*, 30, pp. 23-36.
- Zedda, C. (1915). “Sopra un fenomeno ottico dell’atmosfera”, *Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani*, 4, pp. 35-38.



# From the Earth to the Sun: The Quest for the Astronomical Unit by Means of the 1761 and 1769 Venus Transits

Luisa Lovisetti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Physics “Aldo Pontremoli”, University of Milan - [luisa.lovisetti@unimi.it](mailto:luisa.lovisetti@unimi.it)

*Abstract:* In the mid-eighteenth century, one of the most urgent astronomical problems was to determine the exact value of the Earth-Sun distance (the so-called Astronomical Unit, AU), necessary to establish the real dimension of the entire solar system. The most promising methods for measuring the AU, due to Edmond Halley (1656-1742) and Joseph-Nicolas Delisle (1688-1768), were both taking advantage of a rare phenomenon: Venus’ transit over the Sun, expected to occur in 1761 and 1769. According to those methods, observers – spread all over the two Earth hemispheres – taking simultaneous and accurate measurements of the transit would have enabled derivation of the solar parallax and hence of the AU (with an uncertainty of less than 1%, at least in Halley’s intent). Thus, in a world torn apart by the Seven Years War (1756-1763) and the subsequent struggles for colonial hegemony, more than 250 astronomers and scholars from different nations, animated by a common purpose in the spirit of Enlightenment, gave life to an incredible joint venture, never attempted before, which is considered the first international scientific collaboration. Among them, was the Italian scientist Giovanni Poleni (1683-1761), who observed the 1761 transit from Padua. Padua looks then the right location in which the story of the two Venus transits can be told. A story that was not only an incredible astronomical enterprise but also a masterful example of how science had and has still today the power to overcome national boundaries and hostilities.

*Keywords:* Venus’ transits, Astronomical Unit, Solar parallax

## 1. Incipit

Quippe mihi non multo minus admirandae videntur occasiones, quibus homines in cognitionem rerum coelestium deveniunt, quam ipsa Natura rerum coelestium [The roads by which men arrive at their insights into celestial matters seem to me almost as worthy of wonder as those matters in themselves] (Kepler 1609, *Argumenta singulorum capitum* – Caput XLV).

Those words were written by Johannes Kepler (1571-1630), in his *Astronomia Nova*, a masterpiece published in 1609, and which constitutes a milestone in the history of astronomy.

And this statement is well suited to the astronomical story that will be narrated in the following pages, and which tells of the realization of a colossal scientific venture – the one relating to the two transits of Venus of 1761 and 1769 – rather than focusing on its astronomical results.

## 2. Where it all started

This story began in 1677, when Edmond Halley (1656-1742) observed the transit of Mercury across the Sun from the island of Saint Helena (Halley 1679).

At the end of the seventeenth century, the transit of Mercury was considered one of the means to determine the Earth-Sun distance (today also known as Astronomical Unit, AU), which constituted the unit of measurement for planetary distances and, therefore, also of the dimensions of the entire solar system. The phenomenon occurred from 12 to 14 times every century, thus providing multiple opportunities to make observations. However, Halley was convinced that, despite the high frequency of

Mercury transits, they could hardly be used to derive the solar parallax (and, hence, the AU), and, in a short essay published in 1716, he stated that Mercury was too small and too close to the Sun to measure the little displacement observed from different places.

About 40 years ago, on the Island of Saint Helena, I was engaged in observing the stars around the South Pole; it happened to me to observe, with the utmost care, the passage of Mercury across the Sun's disk, and contrary to expectation, I very accurately obtained, with a good 24-foot telescope, the very moment in which Mercury, entering the Sun's limb, seemed to touch it internally, as also that of his egress, forming an angle of internal contact. Hence, I ascertained the precise interval of time at which [the whole body of] Mercury had appeared entirely within the Sun's disk, even without the error of one single second time; for, the thread of solar light, intercepted between the dark edge of the planet and the bright limb of the Sun, though exceedingly slender, affected my sight; and in the twinkling of an eye, both the indenture made on the Sun's limb by Mercury entering into it vanished, and that made by his egress appeared. But on observing this, I immediately understood that the Sun's parallax might be correctly determined by such observations, if only Mercury, being nearer the Earth, had a greater parallax [when seen] from the Sun; for this difference of parallaxes is so small, as to be always less than the Sun's parallax, which we are looking for; consequently, Mercury, though frequently seen on the Sun, will scarcely be fit for the present purpose (Halley 1716, pp. 456-457).

However, there was another planet that could prove much more useful: Venus. The planet could be the right *tool* to derive the solar parallax, but there was a drawback: unfortunately, the transit of Venus – a phenomenon predicted for the first time by Kepler (Kepler 1630) – is an extremely rare event, since it occurs every 129.5 and 113.5 years, in pairs of transits separated by 8 years.

Halley knew that he would not live long enough to observe this phenomenon, but others after him would have this precious opportunity, since in 1761 and again in 1769, the planet would have been moving across the solar disk. It was thus of fundamental importance that several astronomers located in different places (in both hemispheres) would not miss that astronomical event.

### 3. Preparation of transits' observations

In 1760, the French scholar Joseph-Nicolas Delisle (1688-1768) accepted Halley's astronomical *call to arms* and published his *Mappemonde* (Delisle 1760a), that is, a geographical map of the entire terrestrial globe, indicating the best locations from which to make observations.

In fact, the transit of Venus is not visible everywhere: in some areas only the ingress of Venus on the solar disk can be observed, in others only the egress phase can be seen, and only in certain areas (not necessarily corresponding to mainland locations) is possible to observe the phenomenon for its entire duration. For example, in 1761, much of Europe would have witnessed only the final part of the transit, as did the whole of Africa. In observatories located in Asia, instead, it would have been possible to follow Venus throughout its whole journey across the solar disk.

Since a similar opportunity would not arise again for more than a century, it was thus essential that the scientific community take advantage of this extraordinary event. Therefore, Delisle sent his *Mappemonde* to the main European Academies of Sciences and the most famous astronomers of the time, inciting his colleagues to join forces and encouraging the widest diffusion and maximum participation, in order to observe the imminent astronomical event.

Halley and Delisle each proposed their own method of observation: that of Halley (Halley 1716) involved the determination of the observatory's latitude and the measurement of the entire duration of the transit. Delisle's method (Delisle 1760b, pp. 469-471), on the other hand, only required the exact measurement of one of the four moments of contact between the edge of Venus and the Sun's disk (thus broadening the range of possible locations from which to make observations), but it had the drawback

of requiring not only the latitude, but also the longitude of the observatory – at the time, far more complex to determine –. Two different methods, then, but with one aspect in common: they both required multiple simultaneous observations, from different locations as distant as possible.

In fact, the transit would have lasted several hours, depending on how close to the solar disk centre Venus would have passed. Moreover, the time spent by the planet to cross over the Sun surface would have depended on the location of the observer; the difference in the crossing time coupled with the distance of the observers would have been the *key* for the calculation of the solar parallax – which, at least in Halley’s intent, could have been determined “to within its five hundredth part” (Halley 1716, p. 460).

It was, thus, of paramount importance that astronomers had been well prepared for the event, since several observers should have been sent to different places in order to combine their transit measurements. No observation alone, however precise and accurate, would have been of any use: the scientific community necessarily had to collaborate, becoming *e pluribus unum* (Lovisetti 2022).

#### 4. How to find the Earth-Sun distance?

But how was it possible to exploit the transit of Venus to obtain the Earth-Sun distance? To answer this question, we must go back to 1619, the year in which Kepler published his *Harmonices Mundi*.

There, Kepler presented what is now known as the third law of the motion of the planets, which provided the relationship between the square of the period of the planets and the cube of their average distance from the Sun: “It is absolutely certain and exact that the proportion between the periodic times of any two planets is precisely the sesquialternate proportion [*i.e.*, the ratio of 3:2] of their mean distances” (Kepler 1619, p. 189). In this law, the distances from the Sun were expressed by means of the Earth-Sun distance  $r_E$ ; Kepler had thus obtained the distances of the planets as a function of the AU, but this value was the subject of strong discussions and disagreements.

In 1620, in the *Epitome*, Kepler estimated it to be equal to 3,469  $r_E$ , that is about 21 million km:

Even if the reasons of Copernicus do not extend to determining by observation the altitude of the sphere of the fixed stars – so that the altitude seems to be like infinity – for in comparison with this distance, the whole interval between the Sun and the Earth, which according to the judgment of the Ancients embraces 1,200 but by our true accounts comprises 3,469 semidiameters of the globe of the Earth, is imperceptible; nevertheless reason, making a stand upon the traces found, discloses a footpath for arriving even at this ratio (Kepler 1620, p. 490).

After Kepler, other scholars also attempted to determine the AU. In 1639, the English amateur astronomer Jeremiah Horrocks (1618-1641) realised that a transit of Venus was expected in December of the same year. The event had not been predicted by Kepler, who had foreseen the transit of 1631 (of which, however, no observations were ever reported) but not that of 1639, due to wrong calculations. Therefore, together with his friend, William Crabtree (1610-1640), Horrocks was the first to observe a Venus transit (and apparently the only one to observe it, in 1639), obtaining “the parallax of the Sun being nearly 0’14” at a distance, in round numbers, of 15,000 of the Earth’s semi-diameters” (Hevelius 1662, p. 142), that is about 96 million km. Regrettably, Horrocks died prematurely in 1641, and his work was published only posthumously, in 1662, by Johannes Hevelius (1611-1687).

In 1659, in *Systema Saturnium*, the Dutch mathematician and astronomer Christiaan Huygens (1629-1695) obtained the value 12,543  $d_E$ , about 160 million km (Huygens 1659, p. 80). Unfortunately for him, his reasoning was based on a purely speculative and unproven initial assumption, namely that: “in order that the harmony of the entire system can be conserved as much as possible, [...] it is most reasonable to admit that, since the Earth is placed between Mars and Venus with respect to the distances,

it also occupies an intermediate place with respect to size” (Huygens 1659, p. 80). Therefore, his method was considered scientifically unacceptable.

Instead, a scientifically acceptable procedure was used by the Italian scholar Giovanni Domenico Cassini (1625-1712), in 1684. Exploiting the opposition of Mars of 1672, he obtained the value  $(21,600 \pm 2,700) r_E$  (Cassini 1684, p. 47), about  $139 \pm 17$  million km. However, it was impossible not to notice that Cassini’s estimate was affected by an uncertainty of about 12%: it was therefore clear that far better could (and had to) be done, and the two transits of Venus of 1761 and 1769 would have offered astronomers the perfect opportunities for this purpose.

In fact, as we have previously said, the phenomenon made it possible to determine the solar parallax, that is the angle  $\pi$  subtended by the Earth radius, when the latter is ideally seen from the Sun. If we consider the right-angled triangle with the Earth radius  $r_E$  and the Earth-Sun distance AU as its catheti, thanks to the simple trigonometric formula  $\tan \pi = r_E/AU$ , the parallax is linked to the AU. And since the Earth radius had been substantially known since the time of Eratosthenes of Cyrene (c.276-c.195 BC), the calculation of the Earth-Sun distance was, at least in theory, immediate.

Furthermore, when it moves across the solar disk along one of its chords, Venus appears as a small black spot. Therefore, the planet could be used as a precise and common reference point by different observers, who could put their observations together, thus determining the value of the solar parallax, through triangulation. Apparently, something very simple to say but actually not so easy to realise.

## 5. The first international scientific collaboration

And so it was that on June 6, 1761, and June 3-4, 1769, more than 250 astronomers coming from different countries and spread across more than 150 different stations, joined forces to carry out what is considered the first international scientific collaboration. This fact, already extraordinary in itself, is even more incredible if we consider that, in that period, the main European powers were at war with each other: in fact, the transit of 1761 occurred in the middle of the Seven Years’ War, a conflict that tore the whole Europe from 1756 to 1763, and whose aftermath dragged on for decades, due to the subsequent struggles for colonial hegemony.

Despite the dangers and the objective difficulties, the main Academies of Sciences organized numerous expeditions, often grouping scholars from enemy countries and sharing astronomical equipment. In this enlightened climate of trust in the neutrality and supremacy of science, many brave scientists, first and foremost for the sake of science (but also in search of personal fame and glory), left for the most remote and inaccessible locations of the then known world, such as the icy Siberia, the distant island of Newfoundland, the exotic India, and the mysterious and still almost unexplored *Terra Australis*. In their travels, which in many cases lasted months, if not even years – as in the case of the Frenchman Guillaume Le Gentil (1725-1792), who stayed away from home for 11 years, 6 months and 13 days (Le Gentil 1779, p. 77) – amidst a multitude of vicissitudes and unpredictable events, those astronomers (today often unknown and forgotten) dedicated themselves to exhausting and repeated observations, in order to obtain extremely accurate data.

At the crucial moment, after so much waiting and so much effort, only a few of them were lucky enough to complete their missions: in fact, many of them observed a desolately cloudy sky; one – the American astronomer David Rittenhouse (1732-1796) – even passed out from fatigue and emotion; some did not even reach their destination; and others, unfortunately, never returned home. Such a fate fell to the Frenchman Jean-Baptiste Chappe d’Auteroche (1722-1769) and the Spaniard Salvador de Medina (d.1769), both perished during their joint expedition to California, in 1769; but also to Charles Green (1734-1771), the young and unfortunate British astronomer who sailed aboard *HMS Endeavour*, the ship of James Cook (1728-1779), during his first voyage in the Pacific Ocean, aimed at observing the 1769 transit.



## 6. Cloudy sky above Padua

Among those who took part in that colossal undertaking, was the Italian scholar Giovanni Poleni (1683-1761), who decided to observe the 1761 transit (the only one visible in Italy, and limited to the egress phase), from the city of Padua.

Poleni was already familiar with planetary transits, having observed the transit of Mercury in 1723 (Poleni 1724), but, at the same time, he was perfectly aware of the fact that many other astronomers – much more experienced than him and also equipped with better instruments than his own – would try their hand at the task. In any case, he was eager to carry out his own observations.

Although it was known to me that many distinguished men had been moved to observe the same phenomenon, well equipped with instruments for that purpose, and well trained in astronomical observations, I thought that it would not be entirely useless if I myself should try something, not so much in the hope of succeed, especially in that adverse cloudy constitution of heaven, rather by the will to experience it (Poleni 1761, § 1).

Therefore, assisted by a group of learned friends and experts (including his son Francesco), he prepared with great care for the imminent astronomical event. For his observation, lacking better devices, he chose an instrument defined as “similar to a Hevelian heliometer” (Poleni 1761, § 3), that is, a helioscope (Hell 1761, f. 10v), like the one used by Horrocks 122 years before. Poleni thus placed in a dark room a refracting telescope, not equipped with a micrometer, which projected the image of the transit onto a sheet of paper, on which the astronomer had previously traced a circle (corresponding to the image of the Sun), to more easily record the position of Venus during the transit. A “crude method” (Hell 1761, f. 10v), but still functional:

Previously, I took care to trace on the paper [...] a drawing with a circle exactly equal to the image of the Sun; first of all, so that [...] it could constantly converge with the environment of the image; then, in order to be able to mark more easily the centre of Venus in any position, and for this purpose a thin strip was prepared, divided in two, [...] as wide as the [possible] diameter of the image of Venus (Poleni 1761, § 4).

Unfortunately, the observation of Poleni was not true glory, but not for faults attributable to the astronomer. In fact, on the morning of June 6, the sky over Padua was covered in clouds, with the transit visible only fleetingly.

Before the sunrise [...], we were ready to observe. [...] the sky was densely covered with clouds [...]. Then the clouds [...] gradually thinned out [...]. The image of the Sun appeared, however faint, and not sufficiently bright. Having seen the long-desired spectacle of Venus in the solar disk, we hastened, that [...] we might collect some data [...]. But [...], the sky was covered with constant clouds on all sides, with no hope to observe the egress (Poleni 1761, §§ 6-8).

In addition to personal disappointment, Poleni did not even have the consolation of being able to know the value of the Earth-Sun distance obtained after the first transit, since he died on November 15, 1761, when calculations were still far from being completed.

## 7. The results of the colossal enterprise

In fact, after each transit, astronomers exchanged pages and pages of data, devoting months to make calculations. But despite the titanic efforts made, the first transit proved to be a complete failure, because

the range of possible values found for the Earth-Sun distance after 1761 was too wide, resulting comprised between 123.9 million km and 158.8 million km ( $8.28'' < \pi < 10.60''$ ).

Things went far better after 1769, when the observations led to a value of 152.8-154.6 million km ( $\pi = 8.50''-8.60''$ ), according to the calculations made by the French astronomer Joseph Jérôme Lalande (1732-1807) (Lalande 1772, p. 42; Lalande 1774, p. 798), and – after numerous controversies on the authenticity of the results obtained – to  $150.8 \pm 0.2$  million km ( $\pi = 8.70'' \pm 0.01''$ ), according to the Hungarian scholar Maximilian Hell (1720-1792) (Hell 1771). However, despite the great step forward, the precision obtained was not entirely satisfactory, since the uncertainty found by comparing all the data collected (that is,  $8.43'' < \pi < 8.84''$ ) was greater than that requested by Halley in 1716. In fact, to obtain the precision desired by the English astronomer, we will have to wait for the two transits of 1874 and 1882, which constituted the last adventurous undertaking relating to Venus transits.

Quoting Shakespeare, “much ado about nothing”, then? No, not at all, because the importance of that undertaking goes far beyond its astronomical results – which, in any case, were of great relevance: for example, concerning the discovery of Venus atmosphere in 1761 (Lomonosov 1761), made by the Russian polymath Mikhail Vasilyevich Lomonosov (1711-1765); or the several evidences which concretely cast doubt on the existence of an alleged satellite around Venus (Hell 1765).

In fact, the numerous expeditions led to fundamental geographical explorations and to the discovery of new lands, such as New Zealand, which was circumnavigated during Cook’s voyage (Cook 1893). Furthermore, the need to obtain the latitude and the longitude of the observing stations gave a huge impetus to the creation of extremely accurate maps of many territories. Those charts were often traced thanks to the contribution of the astronomers involved in the transits, who had skills and instruments particularly suited to the purpose, such as the accurate sea chart of the eastern region of Madagascar drawn by Le Gentil, who determined the exact geographical position of the coastlines and of the islands (Le Gentil 1779).

Furthermore, several scientific instruments were implemented and perfected: in fact, among many things, in early 1760s the English instrument maker Peter Dollond (1730-1820) invented the triple achromatic lenses (apochromatic lenses) – an improvement of the achromatic lenses invented in 1758 by his father John Dollond (1706-1761) – which strongly reduced the effects of chromatic aberration (that is, the distortion due to colour fringes) in refracting telescopes. Moreover, in those years, John Harrison (1693-1776) invented his first “sea watch” (known as H4), a long-sought-after device which allowed a giant leap forward in solving the thorny issue of calculating longitude while at sea.

And again, new remedies for some diseases were studied, including one to prevent scurvy, essential for long sea voyages (we must keep in mind that, at that time, seamen – especially those enrolled in long voyages – were usually severely afflicted with scurvy, which was the most difficult enemy to fight with). The voyage of Cook was the perfect occasion to test such a remedy, allowing the crew of *HMS Endeavour* to register just three slight cases of scorbutic disorders out of 94 crew members, on the whole outward journey (Cook 1893).

Last but not least, on the occasion of the transit of 1769, the first linguistic comparison study was carried out (Sajnovics 1770), leading to the discovery of a common root between Hungarian and Lappish (both belonging to the language family that is called, since then, Finno-Ugric).

## 8. The power of history

One last question still remains to be discussed, that is, why choosing to tell historians of astronomy a story that is not entirely satisfactory from the point of view of the astronomical results obtained (at least, as regards the main goal of this undertaking)? Actually, the answer is quite simple.

In fact, history serves as a means to emphasize how the scientific endeavour is invariably constrained by the knowledge and the technological boundaries of its era. Simultaneously, it enlightens us to the fact

that science itself acts as the primary catalyst and as the driving force for expanding these limitations, both in theoretical and practical realms. Consequently, delving into the historical context becomes essential not only for comprehending the significance of a scientific pursuit but also for understanding its broader repercussions.

Furthermore, exploring the history of a scientific concept, tracing its inception and development over time, even as it grapples with setbacks and challenges (such as the arduous quest to determine the AU), grants us a more profound insight into its present-day relevance and fosters a heightened awareness.

Finally, in the specific case of this story, we also see how science has the extraordinary power to overcome disputes and national borders. In fact, collaboration and sharing are two fundamental elements for the progress of science. And in a period like the one we live in, this aspect is even more important and relevant.

## 9. Explicit

We have thus come to an end: here is the conclusion of this brief narration concerning the astronomical venture of the two transits of Venus of the eighteenth century.

The enterprise was massive and elaborate, and what reported in these pages is nothing more than a very small part of the whole story. In fact, many things have been recalled, but many more have purposely not even been mentioned. Undoubtedly, I could have gone into deeper details, through technical discussions, but I deliberately chose to provide a more general overview, which was able to convey the extraordinary importance and significance (not only from an astronomical point of view) of that incredible undertaking. Therefore, I hope readers will judge me kindly – quoting the words of one of the most eminent philosopher and scientist:

non seulement des choses que iay icy expliquées; mais aussy de celles que iay omisés volontairement, affin de leur laisser le plaisir de les inventer [not only as to the things which I have explained, but also as to those which I have intentionally omitted, so as to leave the others the pleasure of discovering them] (Descartes 1637, p. 413).

## Acknowledgements

The research behind this paper would not have been possible without the exceptional support of Paola Focardi (University of Bologna), who has provided me extensive personal and professional guidance. I thus owe her a great debt of gratitude for her constant and enthusiastic encouragement while unravelling and reconstructing this colossal astronomical venture.

## Bibliography

- Cassini, G.D. (1684). *Les Éléments de l'astronomie vérifiés par M. Cassini par le rapport de ses Tables aux observations de M. Richer faites en l'isle de Caienne. Avec les observations de MM. Varin, Des Hayes et de Glos faites en Afrique et en Amérique*. Paris: Imprimerie Royale.
- Cook, J. (1893). *Captain Cook's journal during his first voyage round the world made in H.M. bark "Endeavour", 1768-71 [...]*. London: E. Stock.
- Delisle, J.N. (1760a). *Mappemonde sur laquelle on a marqué les Heures et les Minutes du tems vrai de l'entrée et de la sortie du centre de Venus sur le disque du Soleil [...]*. Paris: Académie Royale des Sciences.
- Delisle, J.N. (1760b). "Mémoire [...] contenant la description & l'usage de la Mappemonde dressée pour le passage de Vénus sur le disque du Soleil, qui est attendu le 6 Juin 1761", *Journal des sçavans pour l'Année 1760*, pp. 461-475.

- Descartes, R. (1637). *Discours de la Methode pour bien conduire sa raison, et chercher la verité dans les sciences. Plus la Dioptrique, les Meteores, et la Geometrie. Qui sont des essais de cete Methode.* Leiden: I. Maire.
- Kepler, J. (1609). *Astronomia nova AITIOAOFHTOΣ, seu physica coelestis [...]*. Heidelberg: G. Vögelin.
- Kepler, J. (1619). *Harmonices Mundi. Libri V.* Linz: J. Planck.
- Kepler, J. (1620). *Epitomes Astronomiae Copernicanae: Usitata forma Quaestionum & Responsionum conscripta, Liber Quartus [...]*. Linz: J. Planck.
- Kepler, J. (1630). *Admonitio ad astronomos rerumque coelestium studiosos. De raris mirisque Anni 1631 Phaenomenis, Veneris puta et Mercurii in Solem incursu.* Frankfurt: G. Tampach.
- Halley, E. (1679). “Mercurii transitus sub Solis disco, Octob. 28. Anno 1677, cum tentamine pro Solis Parallaxi”, in Halley, E. *Catalogus stellarum australium.* London: T. James.
- Halley, E. (1716). “Methodus Singularis Qua Solis Parallaxis Sive Distantia à Terra ope Veneris intra Solem Conspiciendae [...]”, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 29(348), pp. 454-464.
- Hell, M. (1761). *Transitus Veneris per discum Solis anni 1761: Die Astronom. 5. Junii calculis definitus et methodis observandi illustratus.* Vienna: J. T. Trattner.
- Hell, M. (1765). *De satellite Veneris.* Vienna: J. T. Trattner.
- Hell, M. (1771). “Letter of December 26, 1771 to Father Weisshez” [reported in Gábor, C.G. (1997). *A csillagász Hell Miksa írásaiból.* Budapest: Magyar Csillagászati Egyesület].
- Hévelius, J. (1662). *Mercurius in Sole visus Gedani, Anno Christiano MDCLXI [...]* cui annexa est *Venus in Sole pariter visa, Anno 1639 [...]*. Gdańsk: S. Reiniger.
- Huygens, C. (1659). *Systema Saturnium, sive De causis mirandorum Saturni Phænomenôn, et Comite ejus Planeta Novo.* La Haye: A. Vlacq.
- Lalande, J.J. (1772). *Mémoire sur le passage de Vénus, observé le 3 Juin 1769; pour servir de suite à l'explication de la carte publiée en 1764.* Paris : Imprimerie Royale.
- Lalande, J.J. (1774). “Mémoire sur la parallaxe du Soleil, Déduite des Observations faites dans la mer du Sud [...]”, *Histoire de l'Académie Royale des Sciences. Année 1771*, pp. 776-799.
- Le Gentil, G. (1779). *Voyage dans les mers de l'Inde, fait par ordre du Roi à l'occasion du passage de Venus sur le disque du Soleil le 6 Juin 1761 et le 3 du même mois 1769.* Paris: Imprimerie Royale.
- Lomonosov, M. (1761). *Erscheinung der Venus vor der Sonne beobachtet bei der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. Aus dem Russischen übersetzt.* St. Petersburg: Imperial Academy of Sciences.
- Lovisetti, L. (2022). “E pluribus unum: The first international scientific collaboration”, *Il Nuovo Cimento C*, 45(6), 225. doi: 10.1393/ncc/i2022-22225-2
- Poleni, G. (1724). “Epistola ad Gabrielem Manfredum de conjunctione Mercurii cum Sole [...]”, *Acta Eruditorum Anno MDCCXXIV*, pp. 71-74.
- Poleni, G. (1761). *Ad Gabrielem Manfredum [...] Epistola. In qua agitur de Veneris inter Solem et Tellurem transit.* Padua: Typographia Seminarii.
- Sajnovics, J. (1770). *Demonstratio idioma Ungarorum et Lapponum idem esse.* Copenhagen: G. G. Salicath.

# Celestino Galiani e il potenziamento dell'astronomia a Napoli: un'indagine preliminare sulla sua corrispondenza

Mauro Gargano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INAF-Osservatorio Astronomico di Capodimonte, mauro.gargano@inaf.it

*Abstract:* The new building for the observatory of Naples was founded on 4 November 1812 on the Miradois hill, while Carlo Brioschi made the first observation on the night of 17 December 1819. It represented an architectural innovation for Naples, being the first building in neoclassical style, and for Italian astronomy, being the first built to be an observatory. But the events connected to the establishment of the Neapolitan Specola, passing through repeated requests of some astronomers during the 18th century, date back to the reforming effort of the University by Celestino Galiani, *Cappellano maggiore* of the Kingdom of Naples. The correspondence he intertwined with Italian scientists and Neapolitan intellectuals testifies to the significant impulse given by Galiani for the renewal of the University, establishing the chair of Astronomy, and creating an academy of sciences and an Observatory. The communication presents some Galiani letters underlining the commitment to creating solid scientific institutions in Naples.

*Keywords:* Celestino Galiani, Naples, Chair of Astronomy, Academy of Science, Observatory

## 1. Introduzione

Nel 1818 Carlo Brioschi passò dalla direzione degli Archivi del Real Cesareo Istituto Geografico di Milano a quella del costruendo Osservatorio Astronomico di Napoli per “fissare tra di noi l’Astronomia..., [la scienza] più sublime che abbiano inventata gli uomini” (Monticelli 1833). Così avevano concordato Giuseppe Piazzi, Soprintendente generale degli Osservatori di Napoli e Palermo, e Barnaba Oriani, astronomo di Brera. Conclusi gli ultimi lavori di fabbrica e collocate le macchine nelle moderne cupole, la sera del 17 dicembre 1819 Brioschi fece la prima osservazione nel nuovo Osservatorio di Napoli (Gargano 2016). Le attività di ricerca che ne seguirono diedero compimento a quanto determinato l’8 marzo 1812 da Gioacchino Murat, re di Napoli dal 1808, il quale volle dare alla Specola una sede degna di Urania “perché abbia a fiorire in Napoli uno stabilimento dedicato all’esercizio di una Scienza sì necessaria alla Geografia, alla Marina, ai Progressi dello spirito umano” (Gargano *et al.* 2012). Il giovane astronomo Federigo Zuccari aveva individuato nella collina suburbana di Miradois il luogo più adatto per collocare un osservatorio, un’ipotesi innovativa per l’Italia, dove le specole di Bologna, Pisa, Milano, Padova e Palermo avevano sede nel centro delle città, incardinate su torri medievali o in ricchi palazzi preesistenti. L’architetto Stefano Gasse, coadiuvato dall’astronomo, definì il progetto per un edificio che, pur avendo una certa magnificenza architettonica, fosse pensato per il solo scopo delle osservazioni astronomiche. Il 4 novembre 1812 si tenne una solenne cerimonia per la posa della prima pietra del primo edificio napoletano progettato secondo lo stile neoclassico (Gargano *et al.* 2012). Lo scienziato tedesco Franz Xaver von Zach, invitato a Napoli nel 1815, restò impressionato dall’eleganza del nuovo osservatorio, tanto da definirlo “il Vesuvio dell’Astronomia”, smentendo così le sue fosche considerazioni sullo studio dell’astronomia a Napoli, dove “non è mai stata coltivata con profitto e successo. Certamente ci sono stati degli astronomi e ancor di più astrologi, ma non ci sono né osservatorio né osservazioni” (Gargano *et al.* 2012). Ancora all’inizio dell’Ottocento, infatti, Napoli appariva come una grande capitale europea, ricca di arte, storia e cultura ma dove le scienze sperimentali sembravano suscitare scarso e discontinuo interesse. Le complesse vicende per

l'istituzione di una specola partenopea attraversarono tutto il "secolo dei Lumi" fino ai primi anni del "secolo delle macchine".

## 2. La fondazione dell'Osservatorio astronomico di Napoli

La collina di Miradois non è stata la prima sede per il Reale Osservatorio di Napoli. Il Colle di sant'Agnesello a Caponapoli, un'altura nel centro della città, lì dove il mito vuole sia stata sepolta la sirena Parthenope, aveva ospitato la specola per dodici anni.

La conquista del Regno di Napoli da parte dei Francesi, avvenuta nel giugno del 1806, fu caratterizzata da un periodo ricco di slanci e di trasformazioni, politiche e culturali. Il nuovo governo, consapevole del ruolo rivestito dagli studi scientifici nel resto d'Europa, incominciò a promuoverne gli sviluppi sia con la riforma delle scuole, sia con la creazione di importanti istituti come l'Archivio di stato, l'Orto botanico e il Conservatorio di musica. Il 1807, in particolare, fu un anno decisivo per le sorti dell'astronomia napoletana (Capaccioli *et al.* 2009, pp. 112-114). Giuseppe Cassella, professore di astronomia all'Università e all'Accademia di Marina, comprese che i tempi erano ormai propizi per un'effettiva costituzione di un osservatorio a Napoli. Avanzò, così, al ministro André Miot la richiesta di un edificio per la desiderata specola. Il 29 gennaio 1807 il ministro propose a re Giuseppe Bonaparte di destinare a osservatorio astronomico il belvedere del monastero di san Gaudioso che fu giudicato essere "il migliore di quanti ve ne possono designare". Sebbene non avesse un orizzonte totalmente libero, all'astronomo premeva avere una sede decorosa dove sistemare la strumentazione, fare le osservazioni e formare giovani astronomi, al ministro invece "il pregio maggiore dell'opera è quello di non doversi spendere somma alcuna" (Gargano *et al.* 2012). Giuseppe Bonaparte non esitò e lo stesso giorno emanò il decreto di istituzione dell'Osservatorio di san Gaudioso. L'astronomo si trasferì nei nuovi locali e cominciò a fare le osservazioni. Le lunghe e fredde notti dell'inverno 1807, trascorse al telescopio per osservare una cometa, debilitarono il suo fisico e il "laborioso osservatore del cielo" morì l'8 febbraio 1808 (Gargano *et al.* 2012). La guida dell'Osservatorio passò per circa due anni a Ferdinando Messia de Prado e nell'agosto 1811 a Zuccari.

Dopo gli anni trascorsi a Padova per esercitarsi nell'uso della strumentazione astronomica, Cassella era rientrato a Napoli nel 1787 e con il sostegno del ministro John Acton e di Antonio Pignatelli, presidente dell'Accademia delle scienze, propose a re Ferdinando di Borbone l'istituzione di una Specola nel Palazzo degli Studi che si stava trasformando in Museo. Il ministro di Grazia e Giustizia, Carlo de Marco, inviò un dispaccio a Pignatelli il 28 marzo 1791 per dare esecuzione alla richiesta dell'astronomo e favorire il progresso e l'avanzamento della scienza nel Regno (Gargano *et al.* 2012). Pompeo Schiantarelli eseguì i disegni architettonici per i diversi ambienti dell'osservatorio e per la torre ottagonale nell'ala nord-orientale del palazzo: una "Galleria di Sessioni pubbliche" fornita di libri, le stanze per i calcoli e per un quadrante murale e le abitazioni per gli astronomi; nella torre, poi, l'astronomo distribuì gli strumenti per le osservazioni astronomiche e meteorologiche. Se l'incisione di Basilio Anito *Veduta dello edificio del nuovo Regal Museo Generale* mostra una specola completata e in funzione, i lavori, forse appena intrapresi, non furono eseguiti, deludendo le aspettative dell'astronomo. La Specola astronomica, però, fu formalmente istituita come indicato nel *Calendario di corte* del 1792 e Giuseppe Cassella fu nominato Astronomo reale (*Calendario* 1792, p. 150). Egli abitò nel Museo e dalle terrazze del palazzo fece alcune osservazioni astronomiche, come l'eclisse di Luna del 5 giugno 1792 e il transito di Mercurio sul Sole del 7 maggio 1799.

Questo tentativo, parzialmente fallito, aveva avuto altri due precedenti. Con l'espulsione dei Gesuiti dal Regno di Napoli nel 1767, i loro beni furono incamerati dal governo e destinati a opere di pietà e a istituzioni educative che proseguissero il sistema d'insegnamento dei Gesuiti, ma con metodo nuovo.

Così Felice Sabatelli, professore di *Istitutiones astronomicae, et de arte nautica*, propose di collocare una specola nell'ex Collegio dei Gesuiti. Il segretario di stato Bernardo Tanucci scrisse un dispaccio per l'esecuzione della volontà sovrana affinché anche a Napoli fosse istituito un Osservatorio astronomico. Ma tale richiesta non ebbe alcun esito. Diciotto anni prima, Sabatelli aveva già presentato un primo rapporto per la fondazione di un osservatorio presso il presidio militare di Pizzofalcone che "in questa sua gran Capitale sarebbe di non piccolo ornamento della med.a, di vantaggio delle Scienze... quel di Napoli sarebbe il terzo, che per l'amenità, ed elevatezza del sito sopra il mare avrebbe molti pregi e comodi sopra degli altri due" di Bologna e Pisa (Gargano *et al.* 2012). Il dispaccio che ne seguì del ministro Gaetano Maria Brancone non lasciava dubbi sulle reali intenzioni di Carlo di Borbone, ma non ebbe alcuna immediata conseguenza. Una specola a Pizzofalcone fu realizzata solo nel 1825 per iniziativa di Ferdinando Visconti, direttore del Reale Ufficio Topografico, ma fu poi distrutta dalle incursioni aeree alleate del 4 agosto 1943 (Valerio 1993, p. 270).

### 3. Celestino Galiani e le scienze sperimentali a Napoli

L'*Archivio galianeo* conserva i testi autografi e gli epistolari di Celestino Galiani (1681-1753) e dei nipoti Ferdinando e Berardo. Acquistato nel 1806 dal giurista Nicola Nicolini, fu donato un secolo dopo alla Società Napoletana di Storia Patria da Fausto Nicolini, discendente di Nicola. L'*Archivio* è composto da 74 volumi contenenti trattati scientifici, filosofici e naturalistici, corrispondenza, memorie, scritti politici e altra miscellanea e dà un quadro articolato dell'erudizione dei Galiani che nel Settecento ebbero posizioni di rilievo nel panorama politico e culturale napoletano (Nicolini 1931).

La corrispondenza e il *Ristretto della vita*, autobiografia di Celestino Galiani fino al 1746, forniscono un profilo completo e complesso del personaggio. Nacque a San Giovanni Rotondo il 28 ottobre 1681 e fu battezzato con il nome di Niccolò. Nella notte di Natale del 1697 vestì l'abito della Congregazione dei Celestini, prendendo il nome del fondatore dell'Ordine: papa Celestino V, nato Pietro da Morrone. Nel giugno 1701 Galiani si trasferì a Roma nel Collegio di sant'Eusebio per studiare teologia. Assetato di conoscenza, "pel desiderio sommo che egli aveva d'imparare, non faceva altro che studiare giorno e notte" Galiani volle anche "profondarsi nelle matematiche", studiando la geometria euclidea, l'aritmetica, la trigonometria e la meccanica, e "nell'autunno di questo stesso anno, egli si mise a studiare la geometria del Cartesio... Qui si che le difficoltà furono insuperabili" (Galiani sd). Il rigore della filosofia di René Descartes e la modernità del metodo di apprendimento delle conoscenze segnarono una svolta nella formazione di Galiani che abbandonò i vecchi schemi filosofici d'impianto aristotelico, convincendosi che soltanto sulla base di idee chiare e distinte sarebbe stato possibile riedificare un'impalcatura filosofica e scientifica soggetta alla rigorosa verifica sperimentale. "La filosofia cartesiana è come l'anticamera della verità... è difficile penetrare molto più in là, senza averla attraversata" (Leibniz 1880, p. 337). Il nuovo calcolo differenziale e integrale non poteva svilupparsi senza le basi della geometria analitica di Cartesio, ma, avverte Leibniz, "quando lì ci si ferma, si perde la conoscenza vera della profondità delle cose".

A Roma Galiani conobbe Gabriele Manfredi, ne divenne amico, e sotto la sua guida apprese i primi elementi del calcolo differenziale. Dal 1708 insegnò teologia a sant'Eusebio e diede lezioni "ai giovani di maggiore aspettativa... nelle matematiche e buone filosofie, cioè nelle moderne, specialmente nella Cartesiana" (Galiani sd). Tra i suoi molti allievi Galiani ricorda Giuseppe Spinelli, arcivescovo di Napoli dal 1734, Silvio Valenti Gonzaga, cardinale e segretario di Stato di papa Benedetto XIV, e i figli di Aloys von Harrach, viceré di Napoli dal 1728.

In questi anni, Roma fu protagonista di un rinnovato impegno riformatore sul piano politico e scientifico-culturale, tanto che Ludovico Muratori, autorevole esponente dell'illuminismo moderato e

cattolico, indicò nella città eterna il luogo dove poteva ripartire l'azione degli intellettuali italiani. Il livello dei dibattiti scientifici romani era di grande qualità, dopo il rilancio nel 1708 dell'accademia dei Concili e la fondazione da parte del cardinale Filippo Gualterio, a palazzo Manfroni, di "un'accademia filosofica, in cui... vuol egli che se ne vada ragionando, col riferirsi le altrui opinioni, ed ipotesi, e col farsi tutte le esperienze necessarie per confutarle, o stabilirle" (Galiani, 1714b). All'accademia, che si riuniva il primo giovedì di ogni mese, Galiani propose che si discutesse l'*Optice* e la natura della luce e "che intorno al Lume in primo luogo si facessero quelle [esperienze] riferite dal Sig.<sup>r</sup> Newton" (Galiani 1715). Nel 1711 ottenne da William Burnett l'*Arithmetica universalis* per aiutarsi nella comprensione della *Newtoni Philosophia* e poi anche lo *Scholium generale* del 1714. Galiani si convinse a scrivere al "renatista" Gregorio Caloprese, lo scienziato calabrese principale sostenitore della filosofia di Cartesio, esponendo il suo convinto sostegno alla nuova filosofia naturale di Newton: "alcuni giorni fa, discutendo le ragioni della filosofia cartesiana, e avendo esposto alcune di quelle che i moderni filosofi inglesi hanno proposto con ingegno per scardinarla e abbatterla, poiché mi sembra che siano state ritrovate, mi è stato chiesto con grande entusiasmo di comunicarle, assicurando che l'avrei fatto nel modo più gradito possibile verso di lei" (Galiani 1714a). Non ottenne alcuna risposta, un po' se ne dispiacque, un po' lo giustificò per la veneranda e malferma età di Caloprese.

A Napoli stava volgendo a termine il ministero da Cappellano maggiore di Diego Vincenzio Vidania. Sebbene frequentasse scienziati come Agostino Ariani e Luca Porzio e intellettuali come Giambattista Vico, che lo descrisse come uomo dottissimo, la sua riforma dell'università del 1714 aveva un approccio conservatore, poco se non per nulla aperto alle nuove idee illuministe, sostenendo l'aristotelismo scolastico e negando l'originalità della filosofia cartesiana (Luongo 1997). Della necessità di un profondo rinnovamento dei metodi e delle materie d'insegnamento fu invece convinto sostenitore il viceré von Harrach che voleva allargare il dibattito filosofico e scientifico alle correnti più avanzate del pensiero europeo. Propose così all'imperatore Carlo VI la nomina di Galiani a nuovo Cappellano maggiore, scelta ben accolta anche a Roma per i buoni uffici del cardinale Gianantonio Davia, essendosi Galiani "mostrato nella pratica un moderato, d'animo retto e privo d'ambizioni personali", nonostante "alcuni barbetti romani... empivano le orecchie del papa e del cardinale Neri Corsini contro il Galiani, che appena giunto a Napoli, si sarebbe messo a fare il giansenista, l'eretico, l'ateo" (Nicolini 1931, p. 300). Il 9 febbraio 1732 Celestino Galiani si insediò nell'ufficio e da subito "si applicò alla riforma della Regia Università degli studi. La trovò egli sì deformata e sgobernata, che quasi si perdé d'animo di poterla ridurre in miglior forma" (Galiani sd). Nella relazione che presentò al Collaterale, l'organo di governo che affiancava il viceré, propose di riportare l'università nell'edificio fuori la porta di Costantinopoli e di estendere le lezioni fino a giugno, oltre a rinnovare e riordinare le cattedre. Per questo piglio riformatore ebbe molti incitamenti, tra i primi Eustachio Manfredi certo che l'Università di Napoli non poteva capitare in mani migliori e che avrebbe promosso "le scienze e le buone arti nella vostra med.<sup>ma</sup> patria, e in una delle più splendide città dell'Europa" (Manfredi 1732a). Anche il medico riminese Giovanni Bianchi, rallegrandosi per la nomina, lo incitò affinché gli "studj fossero accresciuti e promossi, e gli Studiosi animati e premiati... [e a tal fine] bisognerebbe promuovere le cose di Filosofia Pratica... L'Astronomia in primo luogo... giacché dopo Keplero s'è veduto e dal Galileo, e dal Gassendo, e dal Cartesio, e dal Newton, e da ogni perfetto Intendente che essa è l'unico fondamento della Fisica. Dopo l'Astronomia... la Fisica sperimentale... la Notomia, la Chimica, la Storia della Natura" (Bianchi 1732). Difficile ruolo quello di Galiani, ancor più arduo per voler scardinare tradizioni e prassi stantie: "Deve provedersi una cattedra? Una dozzina almeno di mal contenti convien mi tiri addosso... Contro le leggi del paese s'era qui introdotto l'abuso, che chi voleva, insegnava ciò che gli piaceva, senza che si sapesse chi egli fusse, quale il suo costume, e quale la sua abilità. Molti di tali pedanti per aver degli scolari, dopo la lezione permettevano a giovani di giocare, e di fare anche qualche



cosa di peggio, tenendo delle stanze a posta per tal'uso" (Galiani 1732). L'ipotesi di riforma avanzata dal Cappellano maggiore fu analizzata e sostanzialmente apprezzata dal Collaterale "siccome tutte le celebri Università aveano riformato gli antichi loro istituti, così era dovere che per non infradiciari noi soli nel marciame della barbarie e della ignoranza, si riformasse anche il metodo sin'ora tenuto nella nostra Università, cambiando con altro proprio ad apprendere le scienze che oggi da per tutto corrono" (Fraggianni 1732, c. 38). Anche presso la corte asburgica la proposta fu elogiata e sostenuta da molti eruditi come Pio Nicola Garelli, protomedico dell'imperatore, bibliotecario e archivista della Biblioteca palatina, il matematico e consigliere aulico Giangiacomo Marinoni, il giurista Francesco D'Aguirre e dagli intellettuali napoletani, come Pietro Giannone, Biagio Garofalo, Bernardo Lama e Nicola Forlosia, che caldeggiavano una modernizzazione culturale di respiro europeo del Regno di Napoli.

L'avvicendamento tra il conte von Harrach e il nuovo viceré Giulio Visconti e la fine della dominazione asburgica fecero sì che la proposta di riforma dell'Università fosse definitivamente approvata il 4 novembre 1735 dal nuovo re di Napoli Carlo di Borbone. Espulse le truppe spagnole acquisite nel palazzo degli Studi dal 1700 e completata la ristrutturazione dell'edificio, il Re vi fece visita il 30 ottobre 1736 per l'apertura del nuovo anno accademico. Il Cappellano maggiore, a nome di tutta l'Università tenne "una assai breve e succosa orazioncina" di cui si riporta l'incipit: "Ancor pieni, S.R.M. di ammirazione pel clementissimo ordine dato dalla M.V., che questo luogo, per pel pessimo stato, in cui trovavansi, era decaduto in abominazione, si restituisse e ripulisse, per esser nuovamente sede e tempio della sapienza e delle muse, riceviamo oggi nuovo inaspettato singolarissimo onore, qual è quello di vederlo onorato dalla vostra augustissima regal presenza: onore sì grande, che solo col silenzio può ammirarsi, e venerarsi" (Galiani 1736). Tra i punti qualificanti del nuovo piano degli studi ci furono l'istituzione di una cattedra di fisica, affidata a Gioacchino Poeta e poi a Mario Lama, e una di fisica sperimentale, aperta nel 1740 e attribuita a Giuseppe Orlando, benché le cattedre ricadessero tra quelle di filologia, insieme alla metafisica e all'etica. Invece nella classe di matematica, insieme a quella "per li soli Elementi di Geometria" fu stabilita una cattedra di astronomia e nautica "che insegni l'altre parti della Matematica, e precise l'Astronomia, la Nautica e le Mecaniche" (Giannone 1733a). L'innovazione introdotta dalla riforma di Galiani fu uno straordinario volano per lo Studio napoletano. Benché si trovino nei *rotuli* universitari lettori di astronomia fin dalla metà del XV secolo, come Silvestro Galeota e Angelo Catone, la cattedra di Astronomia introdotta da Galiani fu la terza istituita in Italia, dopo quella di Bologna e Padova. Malgrado le perplessità di Pietro Giannone che riteneva sufficiente un macchinista per fare gli esperimenti con gli studenti, la cattedra di fisica sperimentale fu una innovazione assoluta nel panorama accademico italiano.

#### **4. Dall'istituzione dell'accademia delle scienze alla formazione di una specola**

Già nel 1708 Galiani aveva incontrato a Napoli alcuni tra i principali *novatores* come Giuseppe Valletta, Costantino Grimaldi, Giambattista Vico e Matteo Egizio. Nel 1714 espresse poi un esplicito elogio al nuovo corso partenopeo "dove il buon genio di que' letterati è tutto impiegato a dar corso alla buona scienza... fu ristampata la Fisica di Jacopo Roalpio colle note di Samuel Clarke... cavate dalla Filosofia del Sig.<sup>r</sup> Newton" (Galiani 1714c). Divenuto Cappellano maggiore, Galiani intese consolidare la sua azione riformatrice, ritenendo indispensabile istituire, insieme alle cattedre per le scienze sperimentali, un'accademia che si occupasse esclusivamente di filosofia naturale, di anatomia, chimica, geometria, astronomia e meccanica, escludendo esplicitamente la metafisica. Questo nuovo progetto faceva seguito al tentativo del 1715, quando propose la creazione di un'accademia delle scienze a Giovambattista Pignatelli con il quale scambiava una intensa corrispondenza scientifica. Il giovane principe di Marsico Nuovo "a motivo di animar massimamente quella gioventù ad attender seriamente all'acquisto delle

scienze, aprì nel suo Palazzo una pubblica Accademia da farsi due volte la settimana” (Degli Oddi 1756, pp. 81-82). L’esperienza ebbe vita breve: “la cosa qui fra di noi è di riuscire difficilissima. Gli umori di questi Sig.<sup>ri</sup> letterati non così facilmente si uniscono... i professori delle scienze [hanno] bisogno di attendere ad altra professione per vivere... Sicché non possiamo sperare, che qui si cominci cosa buona, o che cominciata duri, finché il Principe impiegandovi la sua autorità, i suoi denari, e i suoi premj, non si risolva a fondare una società a somiglianza delle altre celebri di Europa” (Grazzini 1715). Queste erano state le stesse perplessità che Galiani aveva paventato per l’accademia del cardinale Gualterio e che D’Aguirre temeva per la nuova accademia napoletana “Lo istituto è ottimo... ma senza un fondo fisso durerà poco” (D’Aguirre 1733).

Nel solco dell’Accademia delle scienze di Parigi e dell’Istituto delle scienze di Bologna, Celestino Galiani voleva che quella napoletana, trattando le “materie fisiche, anatomiche, e matematiche... [desse] alla luce un’esatta storia naturale di tutto questo Regno” (Galiani sd). L’accademia fu ospitata nel palazzo di Ferdinando Orsini, duca di Gravina e nipote di papa Benedetto XIII, oggi sede della facoltà di Architettura dell’Università di Napoli. Alla morte del principe, l’accademia fu trasferita nel monastero dei santi Severino e Sossio, che dal 1808 ospita l’Archivio di Stato. L’istituto di Galiani raccolse la convinta partecipazione dei principali esponenti delle scienze a Napoli, accomunati dal rifiuto della metafisica e delle antiche liturgie accademiche e arcadiche, dal cartesiano meccanicista e capo indiscusso dei *novatores* napoletani Niccolò Cirillo, che fu eletto presidente dell’accademia, ai newtoniani Pietro e Niccolò Di Martino, Mario Lama e Giuseppe Orlandi; dal cartesiano mentalista e neoplatonico Francesco Maria Spinelli, ai gassendiani naturalisti Francesco Serao, che fu eletto segretario, Michelangelo Ruberto e Domenico Sanseverino, al newtoniano-lockiano-galileiano Bartolomeo Intieri, e altri scienziati come Gioacchino Poeta e Agnello Fiorelli (Galiani sd). Mancano però gli elenchi dei soci e i resoconti delle riunioni settimanali. Nel 1733 anche Marinoni fu associato all’accademia, come risulta dalla corrispondenza e dal *De astronomica specula domestica*.

L’apprezzamento per l’istituzione dell’accademia non mancò da parte del cardinale Davia che però mise in guardia il Cappellano maggiore dal rumore che “sento alzarsi in Roma ... [perché] s’introduce in Napoli lo studio dell’opera ben nota del Locke sopra la mente umana... si leva uno strepito, come se la Religione fosse in pericolo” (Davia 1732a). Garantendo l’assenso del Papa all’iniziativa, il porporato commentò amaramente: “siamo in cattivi tempi, e bisognerà o coprirsi il Capo, e la Faccia colle spoglie della Testa di un Asino, o bisognerà passare per Ateista. Codesta Accademia di esaminare gl’effetti naturali di questo nostro Globo... è una Combricola, che vuol levare a Dio l’autorità di far miracoli, perché si spiegheranno con ragioni naturali, politiche e morali i tremuoti, le carestie, le pesti e, credo, fino le guerre” (Davia, 1732b). Anche Eustachio Manfredi riportò il plauso degli accademici bolognesi per il progetto “di erigere costì un Accademia di Filosofia sperimentale... [al fine di] stabilire le verità naturali... per mezzo delle osservazioni... come si è pur troppo fatto finora da molti, con pregiudizio della fisica” (Manfredi, 1733a).

Insieme al progetto di riforma dell’Università, Galiani inviò alla corte cesarea anche la richiesta di “patrocinio reale” per l’accademia. Garofalo lo rassicurò sulle benevoli intenzioni dell’Imperatore; anche il principe di Scalea, Francesco Maria Spinelli, a Vienna per favorire le riforme di Galiani, assicurò che “S. M. è pronta di concederle tutte le prerogative di una Accademia regale, le quali si sono chieste, e che sin’ora non se n’è spedito il diploma, perché il S.<sup>r</sup> Conte di Harach ha’ smarrita la supplica” (Spinelli 1733). Nel settembre 1733, Pietro Giannone informò suo fratello Carlo che l’Imperatore “ha già accordata la protezione reale ed imperiale alla nuova Accademia, ed il decreto è calato nel Consiglio di Spagna” (Giannone 1733b). Ma Galiani non ricevè né il decreto di approvazione della riforma universitaria, né il suggello reale per l’accademia delle scienze.

La tradizione matematica, e in parte astronomica essendo di stampo più teorico che osservativo, aveva avuto a Napoli importanti esponenti come Tommaso Cornelio, Agostino Ariani e Antonio de Monforte. Era quindi indispensabile per Galiani cercare ottimi maestri per formare un giovane professore “alla pratica di fare le osservazioni celesti, non potendosi cioè ottenere senza il comodo degli strumenti, e senza aver’ un luogo opportuno, e addobbato a tal uso” (Manfredi 1732a). Galiani allora chiese a Manfredi di ospitare presso la specola bolognese il giovane Pietro Di Martino (1707-1746), fratello di Niccolò che era stato allievo di Ariani e suo successore nella cattedra di matematica. Manfredi si mostrò subito disponibile a “istruire in ciò un giovane... [lo] reputo mio singular onore che pensiero... Verrà quante volte gli piacerà all’osservatorio di giorno, e di notte... avrà occasione di esercitarsi non meno nelle osservazioni che ne calcoli astronomici... [e vi] si potrà in poco tempo rendere familiare” (Manfredi 1732a). Pietro Di Martino arrivò a Bologna il 29 aprile e Manfredi, presentandolo a Jacopo Beccari, professore di fisica, a Francesco Zanotti, al bibliotecario Alessandro Branchetti, agli altri studenti e ai suoi fratelli, lo descrisse di “ingegno molto vivo, e perspicace... buoni studj, una singular modestia, e dolcezza di tratto... un giovane amabile, e stimabile, e che atteso la sua fervorata inclinazione agli studj ponno anco prometterne una ottima riuscita” (Manfredi 1732b). Il 12 maggio 1732 Di Martino poté forse assistere alla “funzione del dottorato della signora Laura Bassi, la quale riuscì decorosissima, essendovi intervenuto il signor cardinale di Polignac, oltre il legato e l’arcivescovo. Madama colla contessa Maria Ranuzzi furono quelle che condussero la candidata al collegio de’ dottori, e quindi alla sala d’Ercole nel palazzo pubblico ove seguì la funzione” (Manfredi 1732c).

Il 17 maggio Manfredi partì per Roma per i progetti di idraulica e navigabilità del Reno e poté seguire l’istruzione del giovane napoletano attraverso la loro corrispondenza e le notizie che riceveva da Bologna e che prontamente trasmetteva al Cappellano maggiore. Un anno dopo, agli inizi di maggio 1733, Manfredi incontrò Di Martino a Roma e lo trovò “molto avanzato nella perizia de’ calcoli astronomici... e molto inteso dell’uso degli strumenti, e dei metodi di fare le osservazioni, benché in questi non abbia potuto esercitarsi quanto avrebbe bramato” (Manfredi 1733b). In letteratura sono registrate due osservazioni fatte a Bologna dall’astronomo napoletano relative all’eclisse di Luna del 6 dicembre 1732 e del 28 maggio 1733. La corrispondenza tra Galiani e Manfredi si interrompe, almeno nell’*Archivio galianeo*, con l’ultima lettera da Roma del 1733. Il raro *Album professorum regii Gymnasii Neapolitani* per l’anno accademico 1733-34, conservato nell’*Archivio galianeo*, evidenzia la presenza di Pietro Di Martino a Napoli come professore straordinario di *Elementa Ars Nauticae* (Fig. 1).

Un osservatorio astronomico era il tassello mancante nel progetto riformatore di Galiani. L’accademia ebbe “una nobile raccolta di machine, ed instrumenti per le sperienze fisiche” acquistata in Olanda con fondi del principe di Scalea, oltre a un quadrante astronomico di Domenico Lusverg donato dal conte von Zinzendorf; mentre dalla corrispondenza con Marinoni si apprende che l’accademia possedeva anche un cannocchiale dell’ottico Giuseppe Campani. Se Manfredi si mostrò ancora una volta disponibile a dare utili consigli per la strumentazione astronomica da acquistare, fu il matematico cesareo a spingere Galiani a promuovere la fondazione di un osservatorio, suggerendo alcune caratteristiche del luogo: “Non abbisognerà, che sia tanto sontuoso, purché sia comodo, e ben situato. Per aver un’orizzonte libero dovrebbe farsi nel Castel S.Elmo, o in quelle vicinanze... quale non potrebbe scieglersi più vantaggioso” (Marinoni 1733a). Della meridiana che Galiani sembra avesse scritto a Marinoni, questi mostrò le sue perplessità indicandola come “un apparato più di pompa, che d’utilità, quasi... non s’abbiano alla mano gl’altri stromenti”; a qualificare un osservatorio, suggerì Marinoni, dovrebbero essere “li pendoli, che s’adattano al momento del mezzo giorno... li quadranti... [e] gl’archi murali, che si collocano nel piano del meridiano” (Marinoni 1733b). Compiacendosi dell’interesse del principe Spinelli per la strumentazione astronomica e per la fondazione di un osservatorio a Napoli, Marinoni mise in guardia il Cappellano maggiore sugli “ostacoli per lo più

insuperabili nell'intrapresa, ed esecuz.<sup>ne</sup> d'opere di grand'idea, ...[nonchè] la vastità della spesa, che fa ritirare li Prencipi e li regnanti", suggerendo un approccio più realistico e pensando a piccole imprese che "quantunque queste vadano crescendo, il loro cominciamento [porta] seco l'impegno di terminarle" (Marinoni 1733b).

**ALBUM PROFESSORUM**  
REGII GYMNASII NEAPOLITANI  
In quo exhibentur materiae tractandae ex die xx. Octobris MDCCXXXIII.  
ad extremum Aprilis MDCCXXXIV.  
P R A E F E C T O  
ILLUSTRISS. ET REV. RENDISS. ANTISTITE  
**D. COELESTINO GALIANO**  
ARCHIEPISCOPO THESSALONICENSI,  
& Carolo VI. Imp. Regique Catholico à Sacris, à Consiliis, &c.  
REGIUS CONSILIARIUS D. AGNELLUS CAPPELLARIS.  
In Cathedra Juris Feudalis.

*De Feudi Definitione, & Essentia. Hora 1. Matutina singulari Lemnitis.*

<b>HORA I. MATUTINA.</b> U. J. D. D. PETRUS ANTONIUS TURRIS. In Cathedra prim. mat. jur. Canon. <i>De Jure Patronatus.</i> U. J. D. D. NICOLAUS PANDOLFELLI. In Cath. Institutionum Civilium. Lib. 1. & 2. A. & M. D. ANACINTHUS GIANNOTTI. In Cath. 2. Medicin. Theor. <i>In lib. V. Aphorismorum Hippocratis.</i> A. & M. D. FRANCISCUS SERAUS. In Cath. Institut. Medic. <i>Ex Antiquitate Pathologiae, &amp; Semioticae.</i> A. & M. D. BERARDINUS ROSSI. Institutiones Chemicæ.	<i>In Regni Neapolitanæ.</i> R. P. M. F. JACOBUS HILIPPUS GATTI. In Cath. Theolog. Schol. <i>De Conciliis.</i> A. & M. D. NICOLAUS CRESCENTIUS. In Cath. Prim. Philosophicæ. <i>In Institutibus Principibus.</i> A. & M. D. JOACHIMUS POETA. In Cath. Prim. Philosophicæ. <i>De Animalium, Spirituum, &amp; Mineralium Generationibus.</i> A. & M. D. JOH. BAPTISTA BALBI. In Cath. Primar. Jur. Theor. <i>In Lib. 7. &amp; 8. Aphorismorum Hippocratis.</i>	U. J. D. D. JANUARIUS FERDINANDO. In Cath. Institut. Cat. <i>De Verborum Obliquitatibus.</i> U. J. D. D. CAJETANUS MARI. In Cath. Prim. Theol. Thomæ. <i>De Verbi Divinitate, &amp; Trinitate.</i> A. & M. D. AGNELLO FIRELLUS. In Cath. Metaphysicæ. <i>Metaphysicæ.</i> U. J. D. ANTONIUS VESCO. In Cath. Linguae Græcæ. <i>Instituis Grammaticæ, Antiquitatem Græcarum Symplicii, &amp; Aristophanis.</i>
<b>HORA II. MATUTINA.</b> U. J. D. D. DOMINICUS GENTILE. In Cath. prim. mat. Jur. Civilium. <i>De Rebus Creditis, &amp; de Donacionibus.</i> U. J. D. D. FRANCISCUS DE CHELLIS. In Cath. Institut. Canonice. Lib. 3. & 4. R. P. M. F. JOSEPH MARIA LOPEZ. In Cath. S. Scripturae. <i>In Epistolam P. Pauli ad Romanos.</i> A. & M. D. FRANCISCUS DE MICCO. In Cath. Logicæ. <i>Logica.</i> A. & M. D. NICOLAUS CYRILLUS. In Cath. Primar. Medic. Practicæ. <i>De Morbis Regniis Vitalis.</i>	<b>HORA I. VESPERTINA.</b> U. J. D. D. FERDINANDUS DE AMBROSIO. In Cath. Codicis, & Juris. <i>In Lib. 1. Juris Fœderis, &amp; Metaphisicæ expostis.</i> U. J. D. D. JOSEPH CRILLUS. In Cath. Institut. Civilium. Lib. 3. & 4. R. P. M. F. PIUS THOMAS MILANTE pro R. P. M. F. CASIMIRO ITALIANO. In Cath. perpet. term. D. Thomæ. <i>De quinq. sollemnibus Ecclesiæ Sacramentis.</i> R. P. F. PETRUS QUEBADA. In Cath. Theol. Moribus. <i>De Preceptis, &amp; Tabulis.</i> A. & M. D. JOACHIMUS CASTALDUS. In Cath. 2. Medic. Practicæ. <i>De Febribus in Gene, &amp; in Speite.</i>	<b>HORA III. VESPERTINA.</b> U. J. D. D. BLASIUS OYSIUS. In Cath. prim. vesp. jur. Canon. <i>De officio hominis veritatis erga Deum, seipsum, &amp; socios homines.</i> U. J. D. D. ANDREAS PUTO. In Cath. Decretorum. <i>De Appelationibus Transmissibus.</i> A. & M. D. NICOLAUS PASTORE. In Cath. perpet. Anatomie, & Chirurgiæ. <i>De Corporis humani structura, De morbis organa sensuum accipiuntibus.</i> U. J. D. D. NICOLAUS MARTINO. In Cath. perpet. Mathematicæ. <i>Elementa Geometriarum, &amp; Institutiones Opticæ.</i> U. J. D. JOH. BAPTISTUS VICUS. In Cath. Rhetoricæ. <i>In Libris Rhetoricæ Aristotelis.</i>
<b>EXTRA ORDINARI PROFESSORES.</b>		
U. J. D. Nicolaus de Apuzio. bor. 17. U. J. D. Nicolaus Alpharus. bor. 19. ad 19 ÷ <i>De Legibus, &amp; Senatusconsultis.</i> U. J. D. Nicolaus Arduinus. bor. 19. ad 19 ÷ <i>Historia Juris Civilis, &amp; Canonici.</i> U. J. D. D. Callrensis Scja. bor. 23. <i>Ad Communes Consilii Nicæni Commentarii.</i> R. P. M. D. Leander Sanctacoloma. bor. 19 ÷ ad 20. <i>De Casibus Ecclesiasticis.</i> R. P. M. D. Germanus Giuliani. 19 ÷ ad 20. <i>De Summo Pontifice.</i> U. J. D. D. Dominicus Palmigiano. bor. 17. <i>De Ecclesiæ Sacculi Historiæ, &amp; in eandem exercitationes Criticæ, &amp; Diplomaticæ.</i>	R. P. M. F. Angelus Grassus. bor. 19 ÷ ad 20. <i>De Virtutibus Theologicis.</i> U. J. D. D. Simon de Alandro. bor. 17. <i>Radice Linguae Hebraicæ. Explicatur liber Genesis.</i> U. J. D. Antonius Gilius. bor. 19. ad 19 ÷ <i>De Meteoris.</i> U. J. D. D. Thomas M. bor. 13. <i>De Veterum Sophistarum Characteribus, &amp; de eorum ratione.</i> A. & M. D. D. Nuntius Mamalili. bor. 19 ÷ ad 20. <i>De Morbis Mulierum, &amp; Puellarum.</i> A. & M. D. Andreas Grassus. bor. 19 ÷ ad 20. <i>De Venenis, &amp; de aqua in morbis.</i>	A. & M. D. Petrus Molteni. bor. 19. ad 19 ÷ <i>De Rebus Medicamentis administratis.</i> A. & M. D. Franciscus Prina. bor. 23. <i>Universæ Prædictæ Geometriæ tractatus.</i> A. & M. D. Horarius Biardus. bor. 13 ÷ <i>De Materie Medicæ.</i> A. & M. D. Petrus Norous. bor. 23. <i>De præcipuis Vita Morie, &amp; de Moribus subiacentibus.</i> A. & M. D. Nicolaus Mici. bor. 13 ÷ <i>De Luce Venereæ.</i> A. & M. D. Angelus de Martino. bor. 17. <i>De Motu Animalium.</i> U. J. D. Petrus de Marejo. bor. 17. <i>Elementa Artis Nauticæ.</i>

Neapoli, Typis Joh. Francisci Paci Typographi Curiae præfati Ill. & Rev. Dom. Archiep. Thessalonicensis, & Reg. Maj. Capellani hujus Regni.

**Fig. 1.** Album professorum per l'anno accademico 1733-34. *Manoscritti Galiani*, XXX A 13. Crediti: Società Napoletana di Storia Patria.

## 5. Conclusioni

Profetiche le parole di Marinoni. Infatti l'idea di un osservatorio a Castel sant'Elmo restò circoscritta alla corrispondenza di Celestino Galiani. Come descritto nei precedenti paragrafi, il cammino e la fatica per ottenere a Napoli una specola attraversò tutto il Settecento.

L'accademia delle scienze di Galiani sembrava avviata verso traguardi notevoli, tanto che il Cappellano maggiore annotò, con una certa soddisfazione: “gli accademici intrapresero le loro fatiche con tal fervore, che [se] si fusse continuato su l'istesso piede, cautamente se ne sarebbero ricavati vantaggi di gran considerazione” (Galiani sd). Gli sforzi di Galiani trovarono anche un importante riconoscimento dalla Royal Society che nel 1735 lo elesse membro corrispondente. L'attività dell'accademia, che scontava la mancata elezione a istituto reale, si affievolì rapidamente, sia per l'avversione dell'antico ambiente culturale napoletano e non solo, sia per gli impegni di Galiani prima a Roma, dal 1737, per le trattative sul concordato tra Papato e le corti di Napoli e Madrid, e poi per seguire la battaglia di Velletri del 1744, come vescovo castrense. Le sole opere stampate furono quelle di Francesco Serao *De Vesuvii conflagratione* (Neapoli 1738) e *Istoria dell'incendio del Vesuvio* (in Napoli 1738), restò inedita una sua relazione sull'aurora boreale del 16 dicembre 1737.

La riforma universitaria istituì la cattedra di astronomia affidata a Pietro Di Martino a cui si deve anche la prima misura della latitudine di Napoli fatta nel gennaio 1735 con il quadrante di Lusverg dell'accademia. Il ruolo scientifico giocato dal giovane astronomo sia in seno agli ambienti accademici napoletani, sia nel dibattito internazionale per la definitiva accettazione della filosofia naturale di Newton, fu molto apprezzato ma interrotto per la prematura morte dello scienziato. Sebbene la fondazione di un osservatorio ebbe a Napoli una gestazione lunga e complessa, l'impulso impresso da Celestino Galiani nel tessuto scientifico partenopeo fu fondamentale per lo sviluppo della più bella delle scienze inventate dagli uomini. E Galiani “se forse non ha il titolo di Presidente d'un'Academia Reale, merita di averlo; e ne possiede già il grado, presedendo con tanto decoro e a cotesta Famosissima Reale Università” (Zanotti 1747).

## Bibliografia

- Calendario e notiziario di corte per l'anno bisestile 1792* (1792). Napoli: nella Stamperia reale.
- Capaccioli, M., Longo, G. & Olostro Cirella, E. (2009). *L'astronomia a Napoli dal Settecento ai giorni nostri*. Napoli: Guida.
- Degli Oddi, L. (1756). *Vita di d. Giovambattista Pignatelli principe di Marsico Nuovo*. In Roma: presso Gioacchino, e Gio: Giuseppe Salvioni.
- Gargano, M., Olostro Cirella, E. & Della Valle, M. (2012). *Il tempio di Urania*. Napoli: INAF - Osservatorio Astronomico di Capodimonte.
- Gargano, M. (2016). “Carlo Brioschi, il primo astronomo di Capodimonte”, *Giornale di Astronomia*, 42(2), pp. 5-17.
- Leibniz, G.W. (1880). *Die philosophischen Schriften*, vol. 4. Berlin: Weidmann.
- Luongo, D. (ed.) (1997). *All'alba dell'Illuminismo: cultura e pubblico studio nella Napoli austriaca: Contegna, Vidania, Caravita, Giannone*. Napoli: Guida.
- Nicolini, F. (1931). “Monsignor Celestino Galiani: saggio biografico”, *Archivio storico per le province napoletane*, N.s. XVII(I-IV), pp. 249-358.
- Valerio, V. (1993). *Società, uomini e istituzioni cartografiche nel Mezzogiorno d'Italia*. Firenze: Istituto Geografico Militare.

**Fonti d'archivio**

- Bianchi, G. (1732). Lettera a C. Galiani, 30 marzo, Società Napoletana di Storia Patria (SNSP), *Manoscritti Galiani (MsG)*, 31.B.01.
- D'Aguirre, F. (1733). Lettera a C. Galiani, 8 aprile, SNSP, *MsG*, 31.B.01.
- Davia, G. (1732a). Lettera a C. Galiani, 11 ottobre, SNSP, *MsG*, 31.A.01.
- Davia, G. (1732b). Lettera a C. Galiani, 27 dicembre, SNSP, *MsG*, 31.A.01.
- Galiani, C. (sd). *Ristretto della vita di d. C. Gal.*, SNSP, *MsG*, 29.C.07.
- Galiani, C. (1714a). Lettera a G. Caloprese, 24 febbraio, SNSP, *MsG*, 30.D.02.
- Galiani, C. (1714b). Lettera a G. Grandi, Roma, 21 aprile, Biblioteca universitaria di Pisa (BUP), *Carteggi del padre camaldolese matematico Guido Grandi (CG)*, Ms. 91.
- Galiani, C. (1714c). Lettera a G. Grandi, Roma, 7 luglio, BUP, *CG*, Ms. 91.
- Galiani, C. (1715). Lettera a G. Grandi, Roma, 2 marzo, BUP, *CG*, Ms. 91.
- Galiani, C. (1732). Lettera a G. Bianchi, 12 dicembre, Biblioteca Gambalunghiana di Rimini, *Fondo Gambetti*, B. 20.
- Galiani, C. (1736). *Orazione di Monsig.<sup>e</sup> Celestino Galiani alla M. del Re negli Studi pubblici*, SNSP, *MsG*, 31.C.08.
- Giannone, P. (1733a). *Parere intorno alla riforma de' Regj Studj di Napoli*, Vienna, 29 aprile, in Luongo (1997).
- Giannone, P. (1733b). Lettera a C. Giannone, Vienna, 26 settembre, in Minervini, P. (ed), *Lettere autografe di Pietro Giannone*, Fasano: Schena, 1990.
- Grazzini, G. (1715). Lettera a C. Galiani, 2 settembre, SNSP, *MsG*, 31.A.03.
- Manfredi, E. (1732a). Lettera a C. Galiani, Bologna, 23 febbraio, SNSP, *MsG*, 31.A.04.
- Manfredi, E. (1732b). Lettera a C. Galiani, Bologna, 3 maggio, SNSP, *MsG*, 31.A.04.
- Manfredi, E. (1732c). Lettera a F. Algarotti, Bologna 13 maggio, in *Opere del conte Algarotti*, tomo XI: *Carteggio inedito del conte Algarotti*, in Venezia: presso Carlo Palese, 1794, pp. 60-63.
- Manfredi, E. (1733a). Lettera a C. Galiani, Roma, 3 gennaio, SNSP, *MsG*, 31.A.04.
- Manfredi, E. (1733b). Lettera a C. Galiani, Roma, 6 maggio, SNSP, *MsG*, 31.A.04.
- Marinoni, G. (1733a). Lettera a C. Galiani, Vienna, 11 luglio, SNSP, *MsG*, 31.B.01.
- Marinoni, G. (1733b). Lettera a C. Galiani, Vienna, 1 agosto, SNSP, *MsG*, 31.B.01.
- Monticelli, T. (1833). Lettera a N. Santangelo, Napoli, 7 febbraio, Archivio di Stato di Napoli, *Ministero degli Affari Interni. I inv.*, F. 1015, f. 11.
- Fraggianni, N. (1732). Relazione, 21 luglio, Biblioteca Annibale De Leo, *Li notamenti del R.<sup>o</sup> Collateral Con.<sup>o</sup>*, Ms. B/48
- Spinelli, F.M. (1733). Lettera a C. Galiani, Vienna, 28 agosto, SNSP, *MsG*, 31.A.06.
- Zanotti, F.M. (1747). Lettera a C. Galiani, Bologna, 31 agosto, SNSP, *MsG*, 31.B.01.



# L'opera dell'abate Giuseppe Conti nel Regno delle due Sicilie

Rosanna Del Monte<sup>1</sup>, Azzurra Auteri<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro Musei delle Scienze Naturali e Fisica Università degli Studi di Napoli "Federico II",  
rdelmont@unina.it

<sup>2</sup> SISFA, azzurra.auteri@gmail.com

*Abstract:* This study aims to reconstruct the work of Abbot Giuseppe Conti during his time in Naples. Born in Pellegrino Parmense, distinguished himself in the study of scientific disciplines. After completing the standard course of studies, he received holy orders. In 1801 he obtained the chair of repeater of experimental physics and mathematics at the local Lalatta College. The notoriety of his lectures attracted the attention of Marshal Pèrignon, the high official serving the French king Joachim Murat, who requested him in Naples to teach his own children. Appointed as corresponding member of the Royal Institute of Encouragement to Natural Sciences and professor of experimental physics, chemistry and mineralogy in the application school of the General Directorate of Bridges and Roads, Conti also served as member of the commission for the reform of weights and measures system. During the years from 1815 to 1845, Conti worked as an inventor and technician with the restored Bourbon monarchy. For his diligent works he received from the King of the Two Sicilies numerous patents, public esteem, and medals of honor. In 1846 the director of the Royal Cabinet of Physics commissioned him to verify a hydrostatic scale, manufactured by machinist Bonaventura Bandieri. This scale, which turned out to be the most accurate in the Kingdom, is now preserved in the Museum of Physics at the Museum Center of the Federico II University.

*Keywords:* Conti, Royal Cabinet of Physics, Physics Museum

## 1. L'abate Giuseppe Conti

Giuseppe Conti nasce a Pellegrino parmense il 17 gennaio del 1779 e viene avviato agli studi ecclesiastici in un collegio gesuita di Parma, dove eccelle particolarmente nelle discipline scientifiche.

Dopo aver completato gli studi, riceve gli ordini sacri e a soli 22 anni viene nominato ripetitore di Fisica Sperimentale e Matematica presso il collegio Lalatta, dove si distingue anche come abile costruttore di macchine. Sono di questo periodo gli scritti *Proposizioni fisico-matematiche* (Parma 1805) e *Proposizioni di geometria* (Parma 1806). Per la fama delle sue lezioni nel 1808 è chiamato a Napoli per ricoprire l'incarico di costruttore di strumenti e precettore dei figli del Maresciallo Pérignon, un alto funzionario del Regno.

Nel 1809 viene nominato membro del Real Istituto di Incoraggiamento, fondato durante il periodo francese con l'intento di indirizzare e promuovere gli studi tecnici più innovativi. La carriera dell'abate prosegue in maniera brillante prima con la nomina a Professore di Fisica Sperimentale, Chimica e Mineralogia della Scuola di applicazione della Direzione Ponti e Strade e poi dal 1811 come membro della Commissione per la riforma del sistema di Pesi e Misure del Regno secondo il sistema francese di Delambre. In tale occasione nel suo laboratorio realizza i primi modelli unificati di pesi e misure.

Con il ritorno a Napoli dei Borbone, continua a lavorare come tecnico ed inventore accreditato presso la Casa Reale, portando avanti il processo di rinnovamento tecnologico iniziato nel periodo francese. Realizza, per ordine del Re, due bilancieri per la Zecca del Regno che serviranno per il conio di nuove monete.

Esperto di meccanica ed idraulica, in breve tempo risolve lo spinoso caso dei filatoi di San Leucio attraverso un ingegnoso sistema di azionamento idrico che consente di superare il dislivello esistente tra il terreno su cui è posta la filanda e il fiume che doveva alimentarla.

Successivamente apre un laboratorio dove si costruiscono apparecchiature che riguardano la Fisica, la Chimica applicata alle arti, si realizzano strumenti geodetici e plancette per la Marina militare, e si fondono ghisa e ferro per la realizzazione delle armi del Ministero della Guerra.

Nel 1818 e nel 1824 ottiene le medaglie d'argento e d'oro per gli strumenti prodotti nel suo laboratorio e presentati alle Solenni esposizioni.

In occasione del VII Congresso degli Scienziati italiani, tenutosi a Napoli nell'autunno del 1845 viene eletto membro della Commissione per le irrigazioni nel Regno.

Grazie alle sue capacità nel giro di pochi anni l'abate costruisce nelle campagne circostanti la città una serie di opifici, che è costretto a lasciare per rifugiarsi in città a causa dell'imperversare del colera. Durante la sua assenza i laboratori vengono saccheggianti, questo causa all'illustre scienziato una difficile situazione economica, che lo accompagna fino alla fine dei suoi giorni (Giucci 1845).

Significative a tal proposito sono le parole del Cav. Macedonio Melloni che nel 1849 scrive a Saverio Baldacchini, vicepresidente della Commissione della Pubblica Istruzione:

Pregherei di accompagnare la partecipazione al Governo con alcune calde parole di raccomandazione a favore di un infelice che dopo di aver profuso il suo modesto patrimonio in vari tentativi di applicazioni scientifiche al progresso dell'Industria si trova immerso nella più profonda miseria (Melloni 1849).

Melloni si raccomanda affinché, in considerazione dei servizi resi al paese, sia accolta dal Ministero della Pubblica Istruzione la richiesta presentata dall'abate Conti di utilizzare le sue abilità di costruttore e le conoscenze scientifiche per l'insegnamento di arti e mestieri, in cambio di una somma di 50 ducati al mese. La Commissione approva ma l'abate gode del beneficio per pochi anni, muore infatti nel 1855.

## **2. Le opere principali dell'abate**

Per le sue invenzioni riceve oltre alle medaglie d'onore anche diversi brevetti e privative. In questo lavoro riportiamo quelle che abbiamo ritenuto più significative.

### **2.1. Un particolare tessuto di ferro**

Nel 1824 ottiene un brevetto per uno speciale tessuto di ferro, costituito sia da maglie semplici, disposte a taglio, che composte (più tessuti semplici sovrapposti), che permetteva la realizzazione di ponti sospesi, più resistenti ed economici rispetto ai modelli all'inglese.

Conti, esamina in particolare le problematiche legate ai ponti costruiti dal Capitano Samuel Brown e conclude che questi presentano oscillazioni orizzontali e sussultorie, delle 6 catene presenti solo 2 (1/3), agendo alternativamente, contrastano il movimento di una massa sul ponte e inoltre questo effetto si riduce ulteriormente quanto più si rende lineare la catenaria. Tali caratteristiche li rendono instabili e ciò spiega perché alcuni di essi sono stati divelti dal vento o sono crollati.

Quindi realizza tre modelli di ponte utilizzando il tessuto di ferro da lui inventato. Il primo ha le stesse dimensioni di quello del Brown (lungo 16 palmi e largo 2), ma grazie allo speciale tessuto di ferro riesce ad ottenere una maggiore rigidità laterale, l'annullamento delle vibrazioni sussultorie, una resistenza alla massa in movimento sul ponte tre volte maggiore e una riduzione dell'effetto della catenaria grazie alle sospensioni incardinate sul pavimento convesso.

Gli altri due ponti sono di dimensioni diverse ma costruiti sempre con il tessuto da lui inventato e mostrano una maggiore resistenza a differenti carichi. Oltre ad essere più stabili e a sostenere carichi



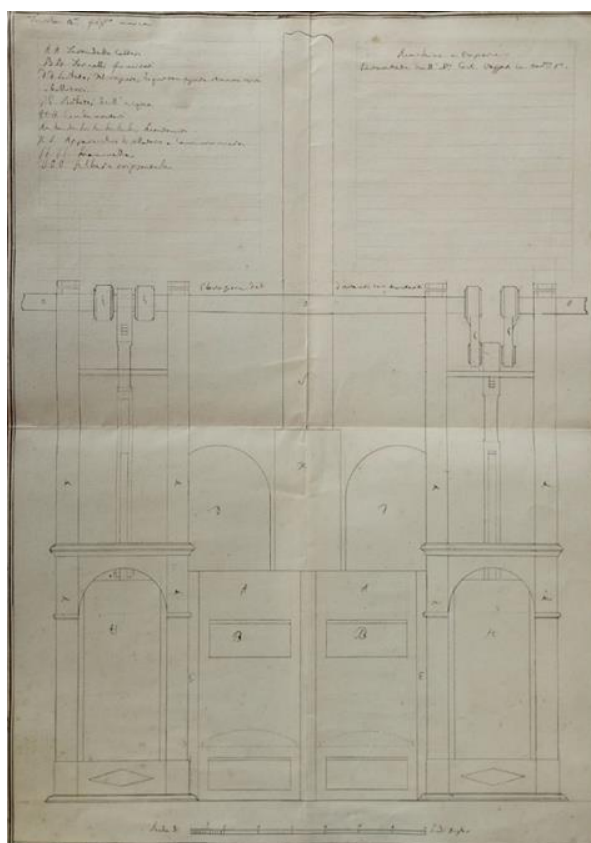
maggiori, i ponti dell'Abate Conti risultano essere anche più economici e di semplice manutenzione poiché possono essere rimossi per intero (Gazzetta di Parma 1827).

Lo stesso tessuto di ferro si presta in maniera ottimale anche per la realizzazione di tetti, grazie alla leggerezza, all'incombustibilità, alla stabilità e all'impermeabilità a qualsiasi temperatura e per tali motivi gli architetti e gli ingegneri, sia civili che militari, dell'epoca vengono esortati a tenerlo in considerazione nella realizzazione delle loro opere (*Cenni Storici* 1827).

Certo della qualità del suo tessuto di ferro, nel 1828 offre al Ministro delle Finanze la fornitura del ferro necessario per la costruzione del Ponte sul Garigliano, a patto che si utilizzi il sistema da lui brevettato. L'appalto, tuttavia, è già stato concluso con il principe di Striano e quindi la sua offerta non può essere accolta (Conti 1828).

## 2.2 Macchina a vapore a bassa pressione

Tra i numerosi riconoscimenti, notevole importanza riveste la privativa di dieci anni ottenuta nel 1832 per aver apportato importanti miglioramenti alla macchina a vapore a bassa pressione del signor Watt.



**Fig. 1.** Disegno della vista anteriore della macchina a vapore. Documento custodito all'Archivio di Stato di Napoli.

Dalla Fig. 1 si osserva che le parti fondamentali della macchina sono:

- AA: Caldaia
- BB: Fornelli
- CC: Bollitori
- DD: serbatoio di vapore
- EE: serbatoi d'acqua

FF: cilindri

HH: condensatori di vapore

S: sistema a camminiera

XX: apparecchio distillatorio intorno alla camminiera per integrare le piccole perdite di vapore attraverso le valvole di sicurezza

KK, QQ, RR: 6 trombe di cui 2 portano acqua alla caldaia, 2 ai condensatori e 2 quando occorre aspirare acqua dal fondo dei bastimenti.

La caratteristica che distingue dunque la macchina dell'Abate Conti è la sua struttura doppia, speculare dell'apparato di produzione, espansione e condensazione del vapore.

I pistoni si muovono alternativamente e per mezzo di manovelle fanno ruotare un albero orizzontale. La rotazione dell'albero può essere utilizzata per vari scopi.

Come nella macchina di Watt, anche in questa viene mantenuta la separazione del condensatore dal cilindro in modo da garantire una maggiore efficienza, evitando le perdite di calore.

Questa macchina viene paragonata a quella di Watt, installata sul piroscalo Ferdinando I, e risulta notevolmente più vantaggiosa in quanto occupa 1/8 dello spazio, pesa 1/5 in meno, consuma 1/6 di combustibile in meno, la struttura delle pompe evita la formazione di residui nei bollitori ed infine è più economica di 1/3. (Conti 1832)

L'abate Conti applica questa tipologia di macchina a vapore anche ai mulini:

aveva eretto con prospero successo uno stabilimento di sei mulini applicandovi il suo sistema di macchina a vapore (Giucci 1845, p. 420).

### 2.3 La catena perpetua a cassette per pressione

Nell'ambito degli studi di meccanica l'abate Conti confronta tutti i sistemi di ruote idrauliche, sia orizzontali che verticali (a percussione, di fianco e a pressione), che sfruttano l'acqua per ottenere energia meccanica e analizza le diverse problematiche che ne causano l'inefficienza.

Terminato lo studio, progetta quindi una catena perpetua a cassette, ottenendo nel 1845 un brevetto di dieci anni. Il vantaggioso sistema meccanico è costituito da una serie di vasi sospesi a catena senza fine che girano sopra due tamburi e si muovono in linea verticale sotto il peso dell'acqua che funge da forza motrice (Fig. 2). La catena è caratterizzata da una maggiore leggerezza rispetto alla ruota, non presenta perdite di acqua dalle cassette se non quando queste giungono in basso e quindi non sono più utili al movimento, riesce a far girare l'asse e a vince la resistenza più velocemente della ruota, senza che le cassette abbiano percorso più di 1 m; gli attriti sono ridotti e, essendo il moto dato solo dalla componente tangenziale, la forza non presenta decomposizioni.

Studiando il rendimento della macchina, partendo dalle posizioni di minima e massima energia potenziale, si verifica facilmente che il rendimento è massimo e tende a 1 quando la velocità tende a zero, come si evince dalla relazione seguente:

$$R = \frac{gmA - mV^2}{gmA}$$

dove le grandezze scalari espresse sono le seguenti:

A= altezza da cui l'acqua entra nella prima cassetta

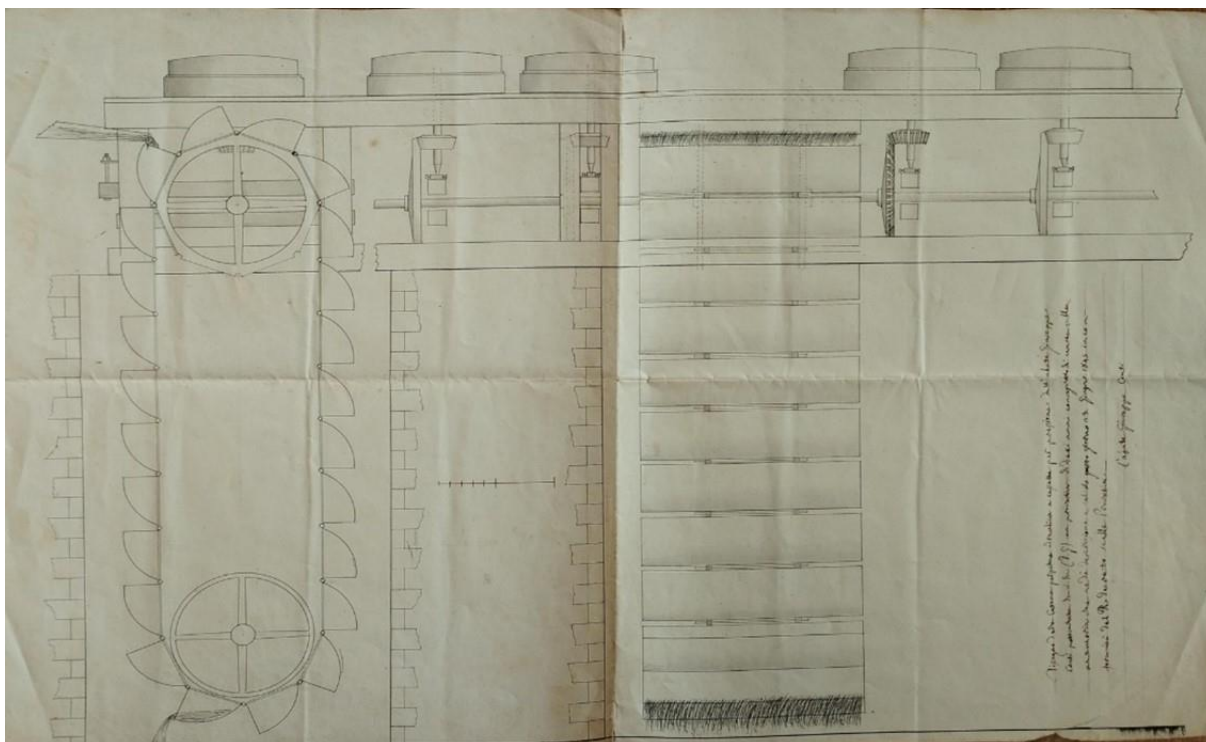
m= massa acqua

g= modulo dell'accelerazione di gravità

V= il modulo della velocità dell'acqua

Per tale motivo la catena a cassette si prestava bene ad utilizzare le cadute d'acqua più elevate e a bassa velocità.

Lo studio in questione viene ulteriormente approfondito con un attento esame sull'attrito tra i vari materiali, impiegati per la costruzione degli ingranaggi, e sui migliori lubrificanti da utilizzare per ridurlo, come ad esempio sapone, grasso, olio, talco, assoluti od anche mescolati (Conti 1845).



**Fig. 2.** Disegno della catena perpetua realizzato dal Conti. Documento custodito nella sezione iconografica dell'Archivio di Stato di Napoli.

### 3. Perizia sulla bilancia idrostatica del macchinista Bandieri

Nel 1846 l'abate Conti viene incaricato da Luigi Imperiali, direttore della Real Biblioteca di sua Maestà, di effettuare una perizia sulla bilancia idrostatica, costruita dal macchinista Bonaventura Bandieri per il Real Gabinetto di Fisica, al fine di valutare il valore dello strumento e la qualità del lavoro eseguito dal macchinista.

#### 3.1. Premessa

Nel 1842 il direttore del Gabinetto Reale di Fisica, Domenico De Miranda, commissiona al macchinista Bandieri la costruzione di una bilancia idrostatica per un importo di 450 ducati (Bandieri 1842). La bilancia richiede tre anni di lavoro e, consegnata al Gabinetto Reale solo nel dicembre del 1845, viene presa in consegna dal nuovo direttore, il prof. Giacomo Maria Paci, che, dopo aver effettuato alcuni esperimenti, conclude:

Bandieri ha saputo riunire quanto l'arte e la scienza poteano suggerirgli per coniugare l'eleganza alla perfezione e render così il suo lavoro degno di questo Real Gabinetto (Paci 1846).

Paci chiede al Bandieri di effettuare un confronto con le altre bilance di massima precisione presenti a Napoli. Il meccanico prende allora in considerazione quelle presenti nella Zecca Reale e nel Gabinetto Fisico dell'Università e, dopo aver effettuato le opportune verifiche, conclude che la bilancia di Casa Reale è ben 9 volte più accurata di quella dell'Università e 19 volte più di quella della Zecca (Bandieri 1846).

Paci la definisce quindi la migliore bilancia fino ad allora costruita a Napoli.

Il Bandieri, diversamente da quanto preventivato nel 1842, chiede per il lavoro eseguito sulla bilancia un compenso di 980 ducati. A causa di questa sensibile variazione di prezzo il Direttore della Real Biblioteca, Luigi Imperiali, riceve l'incarico dal Principe di Bisignano, Maggiordomo Maggiore di Casa Reale, di far predisporre una perizia sul lavoro del Bandieri da parte di una persona competente in materia.

In qualità di membro della Commissione pesi e misure e per le sue indiscutibili competenze tecniche e scientifiche viene scelto l'abate Giuseppe Conti.

### 3.2. La perizia

Il 9 maggio del 1846 l'abate Conti inizia ad esaminare la bilancia partendo dalle diverse parti che la compongono (Fig. 3, sinistra).



**Fig. 3, sinistra.** Dettaglio delle parti fondamentali della bilancia

**Fig. 3, destra.** La bilancia del Bandieri come si presenta oggi nel Museo di Fisica di Napoli

Il flagello, realizzato in puro acciaio inglese, è lungo mezzo metro dai punti di sospensione ed è di forma rettangolare. L'ipomoclio è congegnato in maniera da rispondere ad ingegnosi sistemi di correzione, posti agli estremi del flagello, e da esso dipende l'accuratezza delle misure. Le coppe sono sospese al flagello per mezzo di doppi ganci ad occhiello in acciaio, guarniti di due piastrine per mantenere la posizione orizzontale sul coltello. Altri due ganci sostengono il sistema di 4 bacinetti le cui basi sono in argento e le facce inferiori recano dei ganci per le esperienze idrostatiche.

Tutto il sistema è sostenuto da una colonna realizzata da più parti in metalli diversi quali ottone, rame e acciaio. Un sistema a cremagliera, presente nella parte interna della colonna, consente di effettuare le esperienze idrostatiche alzando e abbassando in 5 posizioni (segnate sulla colonna) tutto il sistema

mobile su cui poggia il flagello. Il blocco del sistema nella posizione desiderata viene azionato mediante una leva posta nella base della bilancia.

La bilancia è corredata di 4 serie di pesi, che lo stesso Bandieri realizza utilizzando un campione di cristallo di Rocca proveniente dalla Germania e custodito al Ministero dell'Interno del Regno. La serie del Kg con tutte le frazioni, fino al mg, è costituita da 25 pesi, quella del rotolo (0.89 Kg) e dei suoi sottomultipli, fino al mezzo acino, da 18 pesi e quella del carato (0.20 g). con le frazioni fino ad 1/32 di carato, da 12 pesi. La quarta serie serve invece per le esperienze idrostatiche ed è costituita da un secchietto cavo di ottone del peso di 20 grammi, munito di un braccetto per essere sospeso ai ganci dei piatti, e da 4 cilindri, uno di argento, uno di rame, uno di stagno e uno di antimonio, che sono perfettamente contenuti nel secchietto. Ogni serie di pesi è contenuta in una custodia di velluto; anche la bilancia ha una custodia a giorno in legno di palissandro, di raffinata fattezza.

Terminato l'esame delle singole parti della bilancia, passa a verificarne l'equilibrio attraverso la realizzazione di 11 esperienze in cui osserva la stabilità del flagello sia a coppe scariche sia caricate di pesi diversi, posizionati alternativamente tra le due coppe. Partendo dal peso di tutto il sistema di equilibratura (flagello, indice, coppe) che è pari a: 5 libbre, 4 once, 5 trappesi e 18 acini= 1 Kg 7160 mg, utilizzando carichi da 1 Kg a 1 mg, riscontra che in tutte le pesate l'indice si sposta dello stesso angolo sia a destra che a sinistra. La sensibilità della bilancia viene stimata in 1/2 mg.

L'abate Conti al termine dell'esame, in linea con quanto già espresso dal professor Paci, ritiene la bilancia del Bandieri uno strumento di grande pregio non solo per i materiali utilizzati, ma anche per gli ingegnosi congegni di cui è dotata e per la sua precisione, pertanto stima il compenso chiesto dal Bandieri congruo con il lavoro eseguito e conclude la sua relazione dicendo:

...mi gode infinitamente l'animo che un mio concittadino abbia eseguito per il Magnifico Gabinetto del Migliore dei Re, diretto con tanto ordine e sapienza, un così stupendo lavoro (Conti 1846).

Luigi Imperiali, ricevuta la relazione del Conti, la trasmette al Maggiordomo Maggiore che intercede presso il Re per il pagamento dei 980 ducati al Bandieri e di 30 ducati al Conti per la perizia.

La bilancia è ritenuta una delle migliori per molto tempo, tanto che viene inviata all'Esposizione Universale di Londra del 1862.

#### 4. Motivi dello studio

Il Museo di Fisica del Centro Musei delle Scienze Naturali e Fisiche dell'Università degli Studi di Napoli è impegnato nella ricostruzione della storia degli strumenti che ne costituiscono il patrimonio. Lo studio che ci ha condotto sulle orme dell'Abate Conti riguarda proprio la Bilancia idrostatica del Bandieri che oggi è esposta al Museo tra gli oggetti della Collezione Reale Borbonica. Se pur priva della custodia, delle serie di pesi e ormai con un unico piatto, rappresenta ancora uno strumento esteticamente raffinato e scientificamente interessante (Fig. 3, destra).

Dagli approfondimenti condotti, è emerso anche che il primo nucleo di strumenti di cui si è dotato l'antico Gabinetto Universitario di Fisica, confluito poi nel Museo, proviene in parte dalla acquisizione degli strumenti dell'abate Conti.

Il nostro scienziato, infatti, nel 1817 offre gli strumenti del proprio laboratorio come dotazione iniziale del Gabinetto di Fisica della Regia Università. Viene dato incarico di visionare tali strumenti al macchinista Bonaventura Bandieri che redige un'apposita relazione in cui ritiene utilissimo tale acquisto. L'abate viene quindi invitato a compilare un notamento in cui siano riportati tutti gli strumenti, il loro stato e il valore economico. Il documento richiesto consta di 6 pagine e contiene l'elenco di tutti gli strumenti presenti nel laboratorio con il loro valore, per un totale complessivo di 8295,30 ducati a fronte dei quali l'Abate chiede una casa demaniale a scelta il pagamento in contanti (Conti 1817).

Il ritrovamento di questo notamento rappresenta per il Museo lo spunto per un nuovo studio diretto ad individuare se gli strumenti dell'abate Conti sono ancora presenti nelle attuali Collezioni.

### Bibliografia

- Cenni Storici intorno alle invenzioni, arti, commercio e spettacoli teatrali* (1827), 149, pp. 13-14.  
Disponibile online: <http://digitale.bnc.roma.sbn.it/tecadigitale/giornale/UM10009872/1827/unico>  
(Accessed: 30 agosto 2023)
- Giucci, G. (1845). "Abate Giuseppe Conti", in *Degli scienziati italiani formanti parte del VII Congresso di Napoli. Note bibliografiche*. Napoli: Tipografia Parigina di A. Lebon, pp. 419-421.
- "Sui ponti di ferro" (1827). *Gazzetta di Parma*, 3 febbraio, 10.

### Fonti d'archivio

- Bandieri, B. (1842). Progetto di una bilancia idrostatica. Archivio di Stato di Napoli (ASNA), *Casa Reale Amministrativa* (CRA), Categorie diverse, 250/60.
- Bandieri, B. (1846). Lettera al Sig. G. M. Paci, Napoli, 15 febbraio, ASNA, *Casa Reale Amministrativa* (CRA), Categorie diverse, 250/60.
- Conti, G. (1817). Notamento dei principali oggetti presenti nel laboratorio da me sottoscritto eseguito d'intimo di S.E. il Principe di Cardito, Napoli, 11 giugno, ASNA, *Consiglio generale della Pubblica Istruzione*, 3136.
- Conti, G. (1828). Lettera al Ministro delle Finanze, in Notamento di lettere, regi decreti, resoconti ministeriali, certificati e rapporti delle autorità sul conto dell'abate Giuseppe Conti. Napoli, ASNA, *Fondo del Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio* (MAIC), 232.
- Conti, G. (1832) Disegni e descrizione della macchina a vapore, ASNA, *Fondo del Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio* (MAIC), 279/13.
- Conti, G. (1845) Disegni e descrizione della catena perpetua a cassette, ASNA, *Fondo del Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio* (MAIC), 279/12.
- Conti, G. (1846). Perizia della bilancia idrostatica costrutta dal macchinista Bonaventura Bandieri per uso del Gabinetto Fisico di S.M. eseguita per ordine superiore dall'abate Conti, ASNA, *Casa Reale Amministrativa* (CRA), Categorie diverse, 250/60.
- Melloni, M. (1849). Lettera a Saverio Baldacchini, in Notamento di lettere, regi decreti, resoconti ministeriali, certificati e rapporti delle autorità sul conto dell'abate Giuseppe Conti. Napoli, ASNA, *Fondo del Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio* (MAIC), 232.
- Paci, G.M. (1846). Relazione sulla bilancia idrostatica del macchinista Bandieri, ASNA, *Casa Reale Amministrativa* (CRA), Categorie diverse, 250/60.

# Enrico Federico Jest: A Skilled Scientific Instrument Maker in Turin during the First Half of the 19<sup>th</sup> Century

Roberto Mantovani<sup>1</sup>, Elena Elisa Giovanna Rita La Guidara<sup>2</sup>

<sup>1</sup> University of Urbino Carlo Bo, roberto.mantovani@uniurb.it

<sup>2</sup> Liceo Artistico “Aldo Passoni” Torino, elenalaguidara@gmail.com

*Abstract:* Enrico Federico Jest was the progenitor of an important family of scientific instrument makers who remained active in Turin until 1900. His career as a “*mécanicien*” began in 1810. In 1814, he became the “*machinist*” of the Physics Cabinet at the university. He held this position until 1849. In 1852, he handed it over to his son Carlo. Handwritten documents reveal Enrico’s intense mechanical activity. As well as cleaning the machines, Enrico had to repair them and build new ones, all while trying to keep costs within an annual budget. His most frequent task was to prepare and carry out the *public and private experimental physics experiments* once a week. Over the years, Enrico took on new roles outside the university. Some sources mention him in Turin as a machinist in Arsenal’s Physics Cabinet and some technical schools. In the 1830s, Jest set up a business making scientific instruments for schools and private customers. Turin’s workshop and warehouse were located in Via Po, near the “Palazzo della Università”. In 1839, with the help of his son Carlo, Enrico was the first to introduce the daguerreotype in Piedmont. He probably first proposed the sale of photographic material in Italy in one of his commercial catalogues. Jest is also remembered for being the first to introduce the Armstrong hydro-electric machine in Italy, which was invented in England in 1840. A beautiful machine, signed “E. Jest in Torino 1844”, is now in the “Giovanni Poleni” University Museum in Padua.

*Keywords:* Machinist, Scientific instruments, Turin, Enrico Federico Jest, Instrument maker

## 1. Introduction

Among the scientific instrument makers who operated in Turin in the 19th century, a leading role in the development of the physical sciences was played by Enrico Federico Jest (1778 - c. 1860), the progenitor of a family of scientific instrument makers who remained active in Turin until 1900. Enrico Federico maintained his activity as a machinist and builder for the first half of the 19th century. We know that his son Carlo continued his business in the second half of the century until the ripe old age of 86. In addition to their institutional commitments, the Jestes developed a thriving trading business in their artefacts. In ninety years of fervent and continuous scientific activity, they distinguished themselves in the field of scientific apparatus construction in Italy as one of the longest-lived and most qualified families. However, their little family-sized workshop could only export its products in the ancient Savoy territories, even though they had various gripping commercial apparatus. For this reason, nowadays, most instruments signed by the Jestes are preserved in historical high schools and schools in Piedmont, Liguria, and Sardinia, particularly in Turin, Genoa and Cagliari.

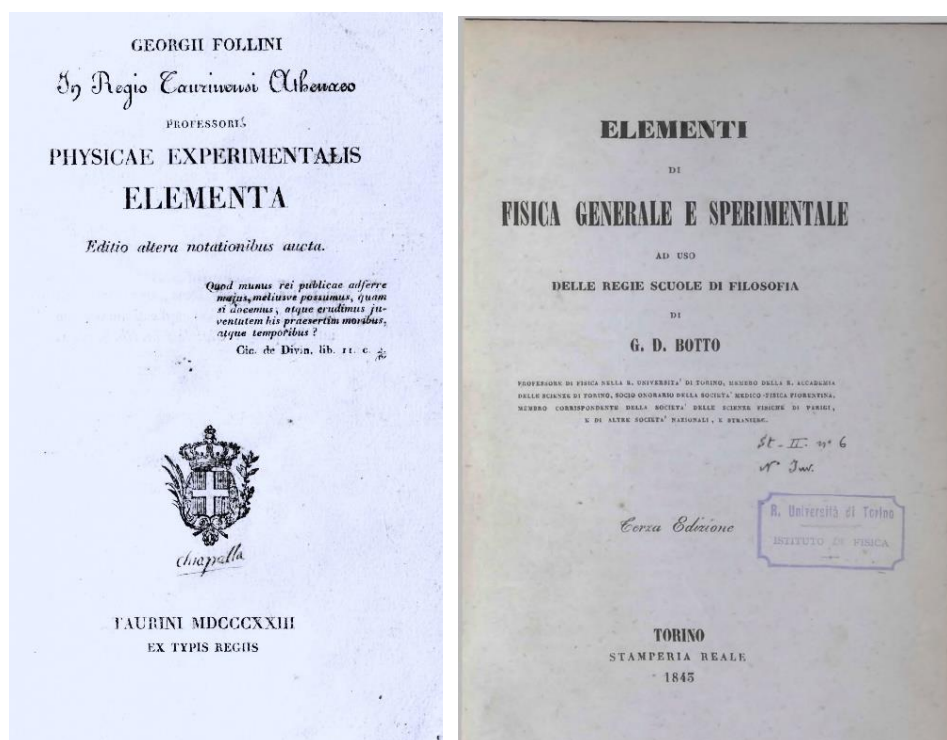
## 2. Enrico Federico and the Physics Cabinet of the University of Turin

Enrico Federico was born on December 1, 1778, in Couvet, in the principality of Neuchâtel, a historically famous location for its thriving business of watchmakers and precision instrument makers. His father came from Blancheroche in Franche-Comté (Ceriana-Mayneri, Quarati & Spallone 1995, p. 3), and



Enrico Federico was the eldest son. According to some documents, in 1805, Enrico Federico was already in Turin and with his marriage to Ignazia Teresa Negro in 1811 (with whom he had eleven children), he acquired the title of “*mecànicien*”. Little is known about his progeny, but their son Carlo Alessandro, born in 1813, was the only one, to our knowledge, who followed in his father’s footsteps.

Similarly, Enrico Federico’s first years of activity had no record; however, in 1814, he became a machinist of the Physics Cabinet at the University of Turin, located in *via Po*, where the Turin<sup>1</sup> University Rector’s Office is located nowadays. During those years, the great and vigorous activity of Enrico Federico developed and grew under the supervision of the notable director of the Physics Cabinet, which, in 1814, was assigned to the priest Gorgio Follini (1756-1831), professor of experimental physics at the same atheneum. The latter was not well known among other physicists in Turin in the first half of the 19th century since he previously taught philosophy at the R. Collegio in Ivrea. Nevertheless, he was the Turin Academy of Sciences secretary from 1822 to 1826, succeeding Abbot Antonio Maria Vassalli Eandi (1761-1825) and dealt with electrical phenomena and possible applications of electricity in medicine.



**Fig. 1.** Title pages of the treatises on physics by G. Follini (1823) and G. D. Botto (1843, third edition).

He wrote several papers and two treatises: *Teoria elettrica brevemente esposta ad uso della studiosa gioventù* (Ivrea, 1791) and *Physicae experimentalis elementa* (Turino, 1823, Fig. 1).

Under his leadership, the Physics Cabinet acquired numerous scientific instruments, some of which were built by Enrico Federico. In addition, Follini was responsible for public and private physics experiments performed during the academic year, and everything revolved around these laboratory activities.

On November 1, 1826, Follini retired and was succeeded by Giuseppe Domenico Botto (1791-1865),

<sup>1</sup> This information is reported in *Calendario Scolastico de Regi Stati* in which one can also read a brief description of the Physics Cabinet (Regia Università 1826, p. 63) and from the report given by Craveri (1753, p. 48) in his *Guida dé forestieri per la Real Città di Torino*.

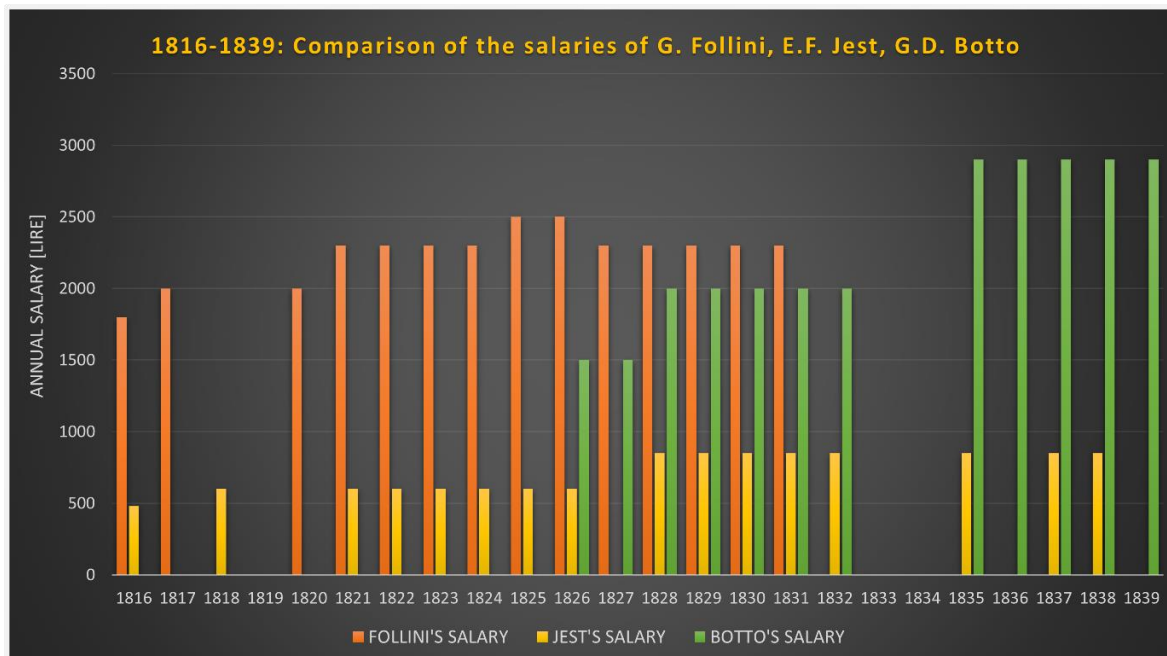


a great physicist who was on probation as a lecturer of Experimental Physics. Unfortunately, he was immediately subjected to a disciplinary inquiry because he was compromised with the revolutionary uprisings in 1821. The inquiry was successfully concluded only in 1828,<sup>2</sup> and Botto received an official position to teach and direct the Physics Cabinet. Under his direction, Enrico Federico constructed several scientific apparatuses, the most important of which were a magnetolectric motor and an Armstrong electric machine (see Chapter 8). Botto is also remembered for devising a new system of electric telegraphy (1849) and for his experimental studies, including theoretical interpretations, on the magnetic, thermal and chemical effects of electric currents and their induction by natural and artificial magnetism. He also published a treatise on Physics (Fig. 1), which was a considerable publishing success with at least four editions (Torino, Stamperia Reale 1830; reprints, 1836, 1843, 1850).

### 3. The economic salaries of the University Physics Cabinet staff

The discovery, in the Historical Archives of the University of Turin, of the payment warrants<sup>3</sup> (ASUT 1798-1839) for the university staff for the period 1816-1839 allowed us to compare the annual salaries of lecturers and directors Follini and Botto and the one of machinist Jest. The graph in Fig. 2 shows the salary as a function of the year of pay. Two periods related to the two directorships of Follini and Botto, respectively, can be distinguished from the data shown.

Let us analyse the first period from 1816 to 1826. Except for the first year (1816, Lire 450) Jest's salary remained stable at 600 lire for all the years of Follini's directorship. The salary of the latter, initially of 1800 lire, increases at least three times in the years 1817-1820, 1821-1824 and 1825-1826, respectively, reaching 2500 lire in the last two years, i.e. about four times Jest's salary. Probably due to retirement, Follini's salary dropped to 2300 lire after 1826.



**Fig. 2.** Comparison of the salaries of G. Follini, E. F. Jest and G. D. Botto for 1816-1839. Information retrieved from “payment warrants” in the University of Turin Historical Archives.

<sup>2</sup> The sequence of events is detailed in L. Briatore (1985, pp. 131-133).

<sup>3</sup> A reading of the warrants shows that the salaries of Turin University employees, particularly those of the Physics Cabinet, were paid in four instalments, one per quarter.

As for the second period, from 1826 to 1839, we do not have Jest's salary for 1827, but presumably, it remained stable. In 1828, with the new director's duties, Jest received an increase of 62.50 lire per quarter and his salary thus rose from 600 to 850 lire per year, maintaining at that rate for the next ten years as well. We recall that Mr. Botto succeeded Follini as a lecturer on probation in Experimental Physics in 1826 and 1827. Probably due to this condition, his salary in these two years was reduced compared to his predecessor and equal to 1500 lire.

In 1828, Botto received an official position as director of the Physics Cabinet, and his salary increased to 2,000 lire, remaining the same until 1832. During 1828-1832, Botto's salary stayed slightly more than double that of Jest. Finally, Botto received a decisive economic increase in 1835-1839 with the addition of 900 lire of fixed payments, probably related to the fact that he became a member of the Turin Academy of Sciences in 1835. In this period, the analysed data provide us with the most significant gap between the machinist and the director of the Physics Cabinet salaries; to sum up, the latter's results more than three times higher than the machinist's.

#### 4. The duties of the machinist

The analysed manuscripts show that Enrico Federico, as a machinist in the Physics Cabinet of the University, had an obligation to perform several duties to be performed during his working hours under the watchful supervision of the director. The first fulfilment concerned cleaning and maintaining the entire machine park efficiently and actively. This duty was preparatory to his second one, which was the preparation and execution of public and private physics experiments. These experiments took place once a week in a room close to the Physics Cabinet in the "palace of the Royal University". They were attended by the Philosophy Course students and by "many amateurs of physical cognition".

Another notable assignment that the machinist had to perform concerned the requests of the director to repair or modify pre-existing apparatus and to meet the necessity of new machines. These tasks benefitted public and private experiments, presenting innovations that gradually appeared on the scientific market while physical studies progressed. It is interesting to point out that the machinist was obliged to perform work annually with an estimated value of 250 lire for these activities. This amount was counted by the director based on the actual work performed.

The machinist's responsibility was to collect so-called "provisions", i.e., the materials needed to carry out the required work and the costs incurred were fully reimbursed and thus excluded from the tally of labour rendered. For example, among these provisions were foxtails or sheepskin, both used for electrostatics experiments, Batavia's tears, tin foil for electric batteries, silk, silver thread, crystal vases, camphor and shellac.

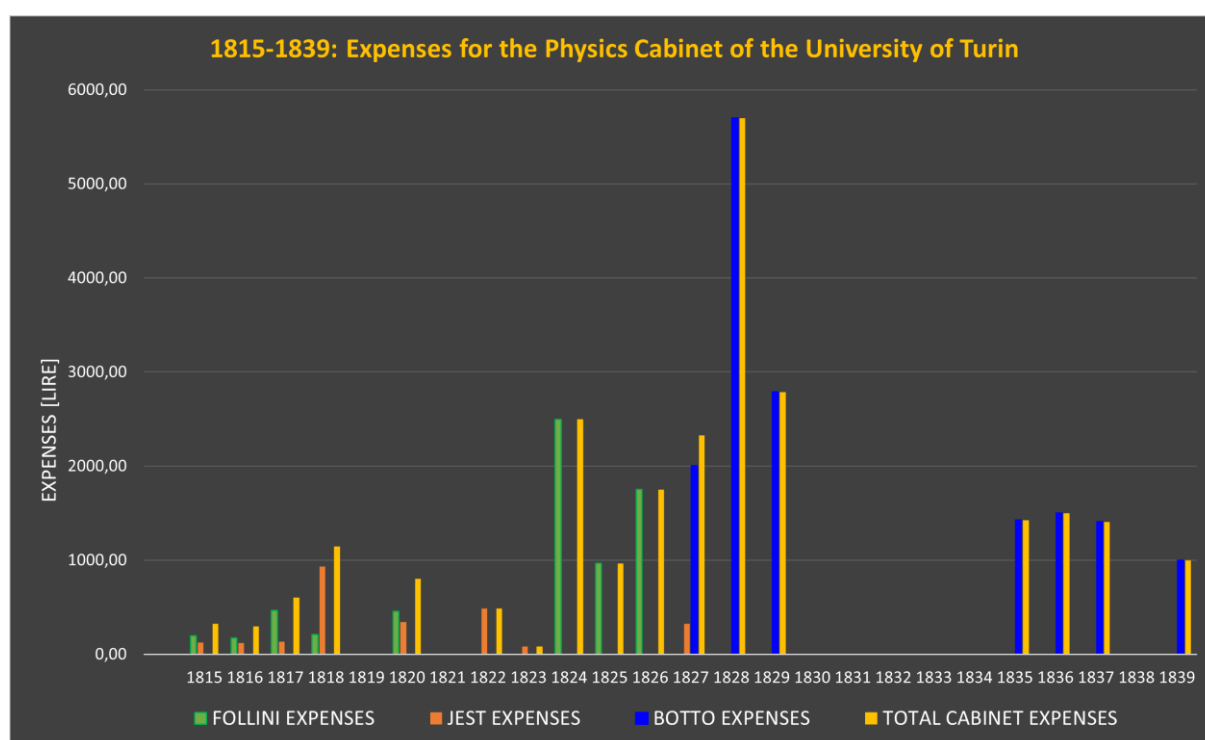
The following paragraph gives more insights on how the latter were handled. When the director of the Cabinet needed some of them to construct new machines necessary for the execution of weekly experiments, Enrico Federico prepared a list of materials with the expenses incurred; this document was then given to the director, who undersigned the expenses and forwarded it to the University bursar, who would proceed to reimburse the amount.

Finally, it should be noted that in addition to his activities at the Physics Cabinet, Enrico Federico often collaborated with other university institutes; in particular, he worked for the Parella hydraulic plant directed by Giorgio Bidone (1781-1839) and the chemistry-pharmaceutical laboratory directed by Vittorio Michelotti (1774-1842). The papers studied also reveal that he accumulated other assignments outside the University; some sources mention him as a machinist in the Physics Cabinet at the Arsenal and at some technical schools in Turin.

## 5. The purchases of the university's physics cabinet

The directorships of Follini and Botto produced a considerable increase in the number of scientific instruments as public and private physics experiments needed a conspicuous variety of apparatus to carry out exhaustive education. Several scientific instruments were therefore purchased, and the costs involved were not negligible. In this regard, data collected from the Historical Archives of the University of Turin allowed us to analyse the purchase of the Physics Cabinet from 1815 to 1839.

The data shown in the graph (Fig. 3), shows that the period with the most lavish expenditure at the Cabinet was between 1827 and 1829, with a peak corresponding to 1828. This is probably attributable to the fact that in 1828, Botto officially started teaching and directing the Physics Cabinet, which, according to his intentions, needed a significant improvement. Clear evidence of this hypothesis is a note-spend of 600 lire, dated August 7th, 1829, for a trip to Paris where he should choose some physics machines to be installed at the Physics Cabinet the following year.



**Fig. 3.** Expenditures made for the Physics Cabinet in the period 1816-1839. Information retrieved from “payment warrants” in the University of Turin Historical Archives.

## 6. Turin's Public Exhibitions of 1829 and 1832

Between 1829 and 1858, the Public Exhibitions of the Products of Industry of the Royal States were held in Turin. These exhibitions, strongly desired in 1827 by the King of Sardinia Charles Felix of Savoy, were intended to promote the increase of Arts and Industry in the kingdom's territories and were initially planned to be held every three years (Archivio 2003; Bassignana 2006; Panci 2004). In particular, six exhibitions (1829-1832-1838-1844-1850-1858) were held in Turin for over thirty years. Enrico Federico participated in the Exposition of 1829 and 1832 with four and two scientific instruments, respectively (he did not join in 1838 and 1844).

During his first attendance in 1829, he presented a barometer, a thermometer, a hygrometer by Saussure, and an Atwood machine to verify the mechanical laws of falling bodies. He was awarded a medal by the Royal Chamber of Agriculture and Commerce “for the beautiful precision of the execution

of his instruments, and particularly for that of Atwood's machine"<sup>4</sup> (Regia Camera 1829, p. 33).

During his second attendance, in 1832, Enrico Federico exhibited two scientific apparatuses for the Turin Arsenal, which had commissioned them from him, namely a "machine by which the explosion force of the elastic fluid of war powder, reduced to the temperature of atmospheric air, is determined" and a "Pitot tube that serves to measure water currents"<sup>5</sup> (Esposizione pubblica 1832, p. 34).

## 7. The workshop for the trade of scientific instruments

In addition to his institutional activity at the Physics Cabinet, Enrico Federico managed his workshop, which consisted of a laboratory and warehouse where, on request, he built scientific instruments for the benefit of private clients and educational institutions. We have yet to determine precisely when he began this activity, but since the first commercial catalogue dates from 1836, it is reasonable to assume that he started around 1830. Moreover, we know that until 1860, his workshop was in Via Po 46, while it is reported that, in 1861, the workshop was in Via Po 13, which is next to the University's Rector's Building, where the Physics Cabinet was located.

Furthermore, in 1836, Enrico Federico published his first 64-page trade catalogue in French (see Fig. 4), showing no less than 908 scientific apparatuses and furnishings divided into the following areas of physics study: mechanics, hydrostatics, pneumatics, compression, hydrodynamics, meteorology, heat, hydrogen fires, Charles aerostats, acoustics, electricity, magnetism, electromagnetism, electrochemistry, optics, various mineralogical instruments, mathematics, spheres or globes.

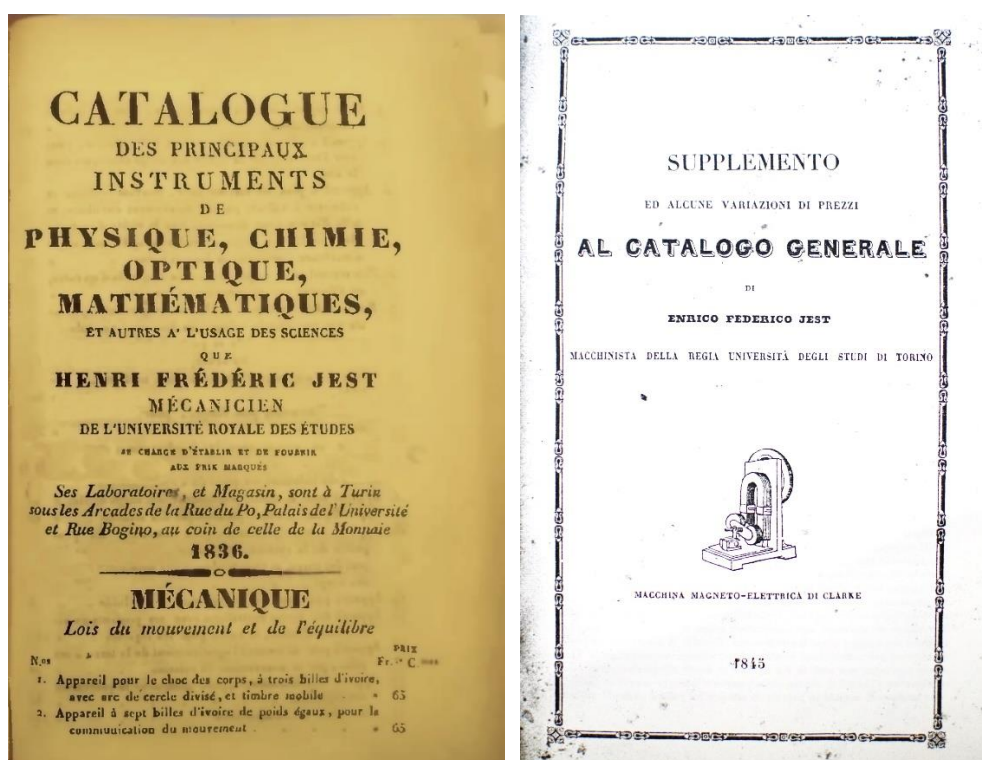


Fig. 4 The two trade catalogues of scientific apparatus from 1836 and 1845, published by E. F. Jest.

<sup>4</sup> "per la bella precisione dell'esecuzione de' suoi strumenti, e particolarmente per quella della macchina di Atwood" (Regia Camera 1829, p. 33).

<sup>5</sup> "macchina colla quale si determina la forza di esplosione del fluido elastico della polvere da guerra, ridotto alla temperatura dell'aria atmosferica" e un "Tubo di Pitot che serve alla misura delle correnti d'acqua" (Esposizione pubblica 1832, p. 34).

In 1845, Enrico Federico published in Italian the *Supplemento ed alcune variazioni di prezzi al catalogo generale* (Fig. 4), in which there was a description of no less than 243 apparatuses divided into different instrumental types: daguerreotypes and related accessories, chemicals for photography; constant current batteries; machine for the effects of voltaic current; electrometallurgy and related printed works; electromagnetism; miscellany. This catalogue must be considered chronologically one of the firsts published in Italy with a proposal for the trade of apparatus and accessories for photography. So far, the only catalogues known are the ones from 1836 and 1845. However, the title of the 1845 catalogue suggests the presence of a previous one yet undiscovered, the “general catalogue”.

## 8. The scientific instruments

Among the numerous apparatuses built by Enrico Federico, a magnetoelectric motor and a peculiar steam electric machine deserve special attention. Botto designed the engine, which is one of the first models of direct-current electrical motors. Botto presented a prototype in August 1834 in a communication entitled *Notizie sopra l'applicazione dell'elettro-magnetismo alla meccanica*.

A paragraph of this paper states: “The apparatuses discussed in this announcement were constructed by Mr. Jest, a machinist of the R. University of Turin, who with the same precision and success build every other kind of physical instrument”<sup>6</sup> (Botto 1834, p. 6). In 1836, Enrico Federico built the final version of the motor as Botto requested (Botto 1836).



**Fig. 5.** Armstrong’s machine (built by E. F. Jest) preserved in the “Giovanni Poleni” Museum, University of Padua, and the title page of the related publication.

In the 1836 catalogue, this engine was sold for 500 francs. Jest also proposed a smaller and cheaper model, costing 250 francs. In 1844, Enrico Federico built an apparatus known as Armstrong’s Hydro-Electric Machine (Fig. 5), the most powerful electrostatic generator devised in the first half of the 19th

<sup>6</sup> “Gli apparecchi in questo annunzio menzionati furono costrutti dal sig. Jest macchinista della R. Università di Torino, il quale con pari successo ed esattezza eseguisce ogni altro genere di strumenti fisici” (Botto 1834, p. 6).



century. It was first designed in England by engineer George Armstrong (1810-1900) in 1840, and Enrico Federico pioneered introducing and marketing it in Italy. This generator could be ordered in different sizes; the price ranged from 300 to 2,000 francs, and 12 to 15 cm sparks could be obtained with a medium-sized machine.



**Fig. 6.** Armstrong's machine signature preserved at the "Giovanni Poleni" Museum, University of Padua.

The chronicles of the eighth meeting of Italian scientists, held in Genoa in 1846, inform us that on September 26, Enrico Federico performed some electrostatic experiments using his Armstrong machine. A model of the latter signed *Macchina Idro-elettrica E. Test in Torino 1844* (Fig. 6), is currently preserved at the "Giovanni Poleni" Museum in Padua. It is a rare piece of the Physics Cabinet of the University of Padua; as Zantedeschi wrote between 1845 and 1848, Antonio Perego, a physics professor of the time, purchased it.

### 9. Daguerreotype and electroplating

In October 1839, Enrico Federico, with the help of his son Carlo Alessandro and his student and collaborator Antonio Rasetti, was the first in Piedmont and one of the first in Italy to introduce the photographic technique recently devised by the French chemist Louis-Jacques-Mandé Daguerre (1787-1851). On October 8 of that year, Enrico Federico, with the help of his son, took his first photographic shot in Turin. It was a view that portrayed the Church of the Gran Madre di Dio taken from Piazza Vittorio. Three days later, he repeated the experiment in Piazza Vittorio, at the home of Felice Romani, poet and man of letters, taking a photograph of Piazza Castello.

Finally, in 1842, Enrico Federico attempted to photograph the Shroud of Turin. However, he failed because of the reduced brightness of the day, the dust raising from the ground and the short duration of the exposure.

In the last months of 1839, Enrico Federico, once again with Carlo's help, started his first experiments in electroplating. His only knowledge was the information Abbot Giuseppe Baruffi gave, returning from one of his usual trips. After his stay in St. Petersburg, Baruffi, professor of Positive Philosophy at the University of Turin (in September and October 1839), wrote some notes concerning

the production of some copper low-reliefs obtained using a new electrochemical process performed at the laboratory of Moritz Hermann Jacobi (1801-1874), the father of this procedure.

In the Piedmont Gazette of October 25, 1839, Baruffi wrote about his experience in St. Petersburg: “the physicist of great experience showed me a stupendous copper relief which he had realised using the electric current: a new result worthy of serious attention”.<sup>7</sup> Moreover, in the Gazette of November 19, 1839, he added: “I will tell you of certain beautiful low reliefs in copper, obtained by the celebrated Jacobi without melting the metal itself and only by the action of Electricity”.<sup>8</sup>

In August 1840, publishing an advertisement in the Piedmont Gazette, Enrico Federico presented at his atelier the two new techniques with respective apparatuses: the daguerreotype and the galvanotype. The two new techniques were also advertised in the Gazzetta Piemontese of August 24, 1842:

JEST Mécanicien de l’Université, rue du Po, n. 46, Fabrique constamment des daguerréotypes pour vues et portraits, de tous modèles et grandeurs, depuis 100 à 300 francs, et fournit toutes les pièces et objets détachés; enfin, tout ce qui concerne la photographie. - Les plaques, grandeur ordinaire, 6 fr. chaque. - Le portrait au Daguerréotype, d’après nature, pour 6 à 8 fr. - Galvanotypes, 25 fr. - Médaille représentant LL. AA. RR. Victor - Emmanuel et Marie - Adélaïde (éditeurs Jest et Rasetti), se vend au profit de l’asile des pauvres: en cuivre 4 francs; en argent 15 francs. Cette Médaille se trouve à Turin chez le susdit; et près tous les bureaux de poste aux lettres de l’état se reoivent les demandes, et se transmettent gratis de port (Ceriana-Mayneri, Quarati & Spallone 1995, p. 12).

## Bibliography

- Archivio storico della città di Torino (2003). *Le esposizioni torinesi, 1805-1911: Specchio del progresso e macchina del consenso / a cura di Umberto Levra e Rosanna Rocca; con i contributi di Guido Abbattista ... [et al.]*. Torino: Archivio storico.
- Bassignana, P.L. (2006). *Torino effimera: due secoli di grandi eventi / Pier Luigi Bassignana*. Torino: Edizioni del capricorno.
- Botto, G.D. (1830). *Elementi di Fisica Generale e Sperimentale ad uso delle Regie Scuole di Filosofia*. Torino: Stamperia Reale, reprints 1836, 1843, 1850.
- Botto, G.D. (1834). *Notizie sopra l’applicazione dell’elettro-magnetismo alla meccanica*. Torino: Stamperia Reale.
- Botto, G.D. (1836) “Note sur une machine loco-motive, mise en mouvement par l’électro-magnetisme, 7 feb. 1836”, *Memorie della Reale Accademia delle scienze di Torino*, t. 39, pp. 155-160.
- Briatore, L. (1985). “Didattica e ricerca fisica nell’ateneo torinese nel sec. XIX. Giuseppe Domenico Botto”, *Giornale di Fisica*, 26, pp. 131-149.
- Ceriana-Mayneri, M., Quarati, P. & Spallone, R. (1995). *Jest a Turin*. Torino: Clut Editrice.
- Craveri, G.G. (1753). *Guida dé forestieri per la Real Città di Torino*. Torino: Rameletti.
- Esposizione pubblica dei prodotti dell’industria de’ Regi Stati (1832). *Catalogo dei prodotti dell’industria de’ R. Stati ammessi alla seconda triennale pubblica Esposizione dell’anno 1832 nelle sale del R. Castello del Valentino e degli oggetti di belle arti che ne accrescono l’ornamento*. Torino: Chirio e Mina.
- Follini, G. (1791). *Teoria elettrica brevemente esposta ad uso della studiosa gioventù*. Ivrea: Stamperia di Ludovico Franco.
- Follini, G. (1823). *Physicae experimentalis elementa*. Torino: Taurini.
- Panei, A. (2004). *L’artiglio della seduzione: Torino e le grandi esposizioni: fotografie cronaca e storia*.

<sup>7</sup> Gazzetta Piemontese 25 ottobre 1839: “il dotto fisico valentissimo mi fece vedere uno stupendo rilievo in rame da lui ottenuto or ora con la corrente elettrica: fatto nuovissimo e degno di seria attenzione”.

<sup>8</sup> Gazzetta Piemontese 19 novembre 1839: “io vi parlerò adunque di certi bellissimi bassi rilievi in rame, ottenuti dal celebre Jacobi senza fusione del metallo stesso e solo mediante l’azione dell’Elettricità”.

1884. Torino: Edizione Mille.

Regia Camera d'Agricoltura e di Commercio (1829). *Giudicio della Regia Camera d'agricoltura e di commercio di Torino sui prodotti dell'industria de' Regi Stati ammessi alla pubblica triennale Esposizione dell'anno 1829 nelle sale del R. Castello del Valentino*. Torino: Chirio e Mina.

Regia Università (1826). *La Minerva: calendario scolastico dell'anno 1826 per gli studenti della R. Università di Torino*. Torino: Stamperia Eredi Botta.

### **Archival Sources**

ASUT (1798-1839). Archivio storico dell'Università di Torino, Contabilità, *Mandati di pagamento*, da XX.C 8 a XX.C 33.



# Giuseppe Bianchi astronomo, fisico e matematico della Restaurazione nello Stato Estense

Elena Corradini<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università di Modena e Reggio Emilia, Dipartimento di Ingegneria Enzo Ferrari, elena.corradini@unimore.it

*Abstract:* Giuseppe Bianchi (Modena 1791-1866), astronomer, physicist and mathematician, was a leading figure in Modena's scientific culture during the first half of the 19th century, when the Estense State was ruled by the Restoration sovereigns, the Austro-Estensi Archdukes. To Francis IV (1779-1846, archduke from 1814) and to his brother Maximilian (1782-1863) he owed his training in Milan at the Brera Observatory from 1814 to 1818 and the prestigious assignments he was later entrusted with in Modena, such as teaching Theoretical Astronomy at the University of Modena in 1818. He built the Observatory in the eastern tower of the Ducal Palace between 1826 and 1827 and directed it until Francis V's (1819-1875, archduke from 1846) departure from the Estense State in 1859. To Francis V he was a member of the Weights and Measures Commission for the introduction of the decimal metric system in the Estense State, starting in 1851, and in charge of the Metrology Cabinet set up in the same Ducal Palace in rooms adjoining the Observatory.

*Keywords:* Observatory, Astronomy, Metrology

## 1. Gli inizi della carriera

Giuseppe Bianchi nacque il 14 novembre 1791 da una famiglia modenese importante sia perché la mamma era la nobildonna Maria Teresa Gandini ma in particolare perché la nonna, madre di suo padre Tommaso, avvocato, era Maria Giovanna Muratori, sorella dello storico di Casa d'Este, Ludovico Antonio (1672-1750). Questa parentela favorì i contatti con la Casa d'Este, alla quale fu sempre legato e a cui Bianchi dovette tutta la sua carriera attraverso i rilevanti incarichi che gli furono assegnati. Dato che, dopo la proclamazione della Repubblica Italiana del 1802, a partire dal 1803-1804 l'Università di Modena divenne Liceo Dipartimentale del Panaro e rimase tale anche dopo la proclamazione del Regno d'Italia nel 1805, Bianchi dovette completare gli studi all'Università di Padova, dove si laureò in fisica matematica il 21 giugno 1812 e in ingegneria architettura il 16 giugno 1813. Nella stessa città rimase a esercitare attività di volontariato all'Osservatorio, diretto da Giovanni Santini (1786-1877), fino al 1814. Con lui Bianchi rimase in contatto, come si evince dalle 76 lettere conservate presso la Biblioteca Estense Universitaria, da quello stesso anno 1814 (lettera del 18 ottobre) fino a quando terminò di dirigere l'Osservatorio Modenese (lettera del 18 aprile 1859).

A Padova nel luglio 1814 ebbe occasione di incontrare l'arciduca Francesco IV d'Austria Este (1779-1846, duca dal 1814), partito da Vienna con la moglie Maria Beatrice d'Este e il fratello Massimiliano (1782-1863) e in viaggio verso Modena per riprendere possesso dello Stato Estense dopo la Restaurazione. Presumibilmente un incontro con gli Arciduchi Austro-Estensi, che avvenne presso l'Orto Botanico di Padova, entusiasmò Bianchi che ritornò a Modena dove ebbe ancora occasione di incontrare casualmente presso i giardini pubblici l'Arciduca Francesco IV. Questi, intrattenendosi con Bianchi, secondo quanto lo stesso astronomo testimonia, gli aveva detto "guarderemo il cielo anche a Modena", affermazione che a suo avviso era rivelatrice degli interessi ducali per gli studi astronomici ed era stata di auspicio per avvicinare la realizzazione di un Osservatorio (Bianchi 1834, p. 1). Lo stesso Bianchi testimonia anche come, sempre in occasione di quell'incontro fortuito, avendo informato

l'Arciduca dei suoi studi presso l'Osservatorio di Padova, questi l'avesse sollecitato a continuarli. Grazie infatti a Francesco IV e a Massimiliano, Bianchi riuscì a ottenere un tirocinio finanziato per perfezionare i suoi studi di astronomia alla Specola di Brera dove erano Giovanni Angelo Cesaris (1749-1832), Barnaba Oriani (1752-1832), direttore dal 1802, e Francesco Carlini (1783-1862) che alla morte di Oriani nel 1832 gli subentrò nella direzione. Bianchi rimase in contatto con tutti i tre astronomi di Brera, come risulta dalle lettere conservate presso la Biblioteca Estense Universitaria di Modena: con Giovanni Angelo Cesaris, al quale dedicò anche un elogio (Bianchi 1839), dal 12 novembre 1816 al 16 marzo 1822 (13 lettere), con Barnaba Oriani dal 15 novembre 1817 al 10 febbraio 1830 (5 lettere) e più a lungo con Francesco Carlini, dal 15 dicembre 1815 fino all'1 giugno 1862, poco prima della morte di lui (97 lettere). Bianchi, dopo che nel 1817 ebbe terminato il tirocinio presso l'Osservatorio di Brera, nel 1818, su sollecitazione da parte del ministro dell'Istruzione, marchese Luigi Rangoni (1775-1844), venne incaricato all'Università di Modena dell'insegnamento di Astronomia Teorica, creato appositamente per lui nell'ambito del corso di studi filosofici, in accordo con il rettore, il medico e matematico Paolo Ruffini (1765-1822) (Bianchi 1824). Questo insegnamento fu sostituito da quello di Cosmografia affidatogli nella Scuola dei Cadetti Matematici Pionieri, attiva dal 1823 al 1848 nel ducato Austro-Estense (Corradini 2024), una scuola universitaria nella quale, al termine del corso di studi di durata quinquennale, i Cadetti Matematici si laureavano ingegneri e potevano esercitare la libera professione di ingegnere-architetto senza seguire la carriera militare (Frascaroli 1998). L'insegnamento di Cosmografia gli venne tolto nel 1830 quando ebbe l'incarico di istitutore dei figli di Francesco IV.

Bianchi approfittò del primo periodo di vacanze a Modena per effettuare osservazioni astronomiche, come risulta dalla prima lettera del 13 novembre 1815 che gli inviò Francesco Carlini: "Le sono gratissimo della memoria che ella conserva di me e delle notizie che ella mi ha favorito intorno ai lavori astronomici da lei intrapresi costì onde mettere a profitto anche il tempo delle vacanze" (Lo Vasco 1942, p. 3). Carlini lo incoraggiò a proseguire gli studi astronomici con strumenti che gli erano stati forniti, anche se non erano adeguati, dal direttore del Gabinetto di Fisica dell'Università di Modena, Giovan Battista Tomaselli (1763-1853) (Corradini 2017): "Io credo cosa utile, anzi necessaria che un astronomo si accostumi ad osservare qualche volta con istromenti cattivi, ed a supplir, come ella ha saputo fare benissimo, coll'industria e colla pazienza alla mancanza e imperfezione degli istromenti" (Lo Vasco 1942, p. 3). A testimonianza della stima che nutriva per la sua attività, Carlini ad esempio il 20 novembre 1841 lo invitò all'Osservatorio di Brera per meglio osservare insieme con lui, in totale oscurità, l'eclisse del 18 e 21 luglio (Lo Vasco 1942, pp. 91-92).

## 2. La creazione dell'Osservatorio

Già a Brera gli astronomi avevano rafforzato la convinzione di Bianchi della necessità di realizzare un Osservatorio a Modena: il 15 gennaio del 1815 infatti Bianchi, essendo stato informato del fatto che Georg Friedrich von Reichenbach (1771-1826), ingegnere e costruttore di strumenti scientifici tedesco, di ritorno da Napoli, si sarebbe fermato presso Giovan Battista Amici (1786-1863), gli scriveva, ritenendo che quella avrebbe potuto essere un'occasione molto favorevole "per formare il miglior progetto di un Osservatorio astronomico in Modena e per offrirne il disegno al nostro Sovrano approvato da sì illustre meccanico [...] il principe Massimiliano non lascerà fuggirsi una bella occasione di stabilire il piano dell'Osservatorio" (Meschiari 1998). In previsione della realizzazione di un Osservatorio, il 7 gennaio 1818 da Milano Bianchi aveva inviato al ministro dell'Istruzione Luigi Rangoni un elenco degli strumenti indispensabili per l'Osservatorio che avrebbe dovuto essere realizzato: uno strumento dei passaggi per le ascensioni rette, un cerchio meridiano che avesse almeno tre piedi di diametro (Bianchi 1829), un cannocchiale acromatico e un telescopio equatoriale per le osservazioni extrameridiane (Lugli 2007, p. 20). Il Ministro il 10 marzo gli aveva risposto che "in merito agli strumenti astronomici che debbono servire per l'ideato ed or può dirsi decretato Osservatorio della nostra patria" Francesco IV gli

aveva ordinato di “trattare per la costruzione di essi con questo professor Amici, escluso il cerchio meridiano di Reichenbach” che Bianchi, con l’autorizzazione dell’Arciduca, avrebbe potuto commissionargli direttamente a Monaco (Bianchi 1834, p. 7).

Riguardo alla realizzazione degli strumenti Carlini scriveva a Bianchi di aver avuto una conversazione con Amici (Corradini 2022) e di essersi trovato d’accordo con lui in merito a miglioramenti che avrebbero potuto essere effettuati per lo strumento dei passaggi. Per il cerchio meridiano gli diceva che aveva fatto bene ad affidare l’incarico di realizzarlo a Reichenbach che era esperto mentre Amici stava sperimentando nuove idee: “quanto ai circoli astronomici egli ha delle idee nuove ardite e che sembrano promettere grandi vantaggi; ma quante difficoltà di esecuzione non dovrà egli superare prima di giungere a metterle in pratica. L’astronomo ha premura di mettere a profitto il suo tempo e i suoi studi e perciò Ella ha fatto benissimo a commettere un istromento a Monaco ove la fabbricazione è già incamminata e l’esito sicuro”. Tuttavia, Carlini non poteva fare a meno di osservare che uno strumento di fabbricazione italiana avrebbe avuto il vantaggio di avere vicino il costruttore che avrebbe potuto provvedere a eventuali rettifiche (Lo Vasco 1942, p. 7).

Bianchi pubblicò il primo volume degli Atti dell’Osservatorio solo nel 1834, 6 anni dopo che aveva avviato le osservazioni facendo anche riferimento al fatto che la situazione politica del Ducato era stata difficile, tenuto anche conto dei moti insurrezionali. A proposito dell’acquisizione degli strumenti Bianchi riferiva che, essendo stato autorizzato dal Ministro dell’Istruzione, aveva incaricato Reichenbach di fabbricare il cerchio meridiano. Questi, come testimonia in una lettera inviata a Bianchi il 18 ottobre 1818, si era già messo al lavoro, anche perché Cesaris gli aveva inviato una lettera di raccomandazione (Bianchi 1834, pp. XVI-XVII). Il cerchio meridiano arrivò però a Modena soltanto quattro anni dopo, nel 1822, e venne collocato a casa di Bianchi, dato che ancora non esisteva un Osservatorio (Lugli 2007, pp. 43-46). Ad Amici era stato affidato l’incarico per la realizzazione di uno strumento dei passaggi, di un cannocchiale acromatico e di un telescopio equatoriale che aveva consegnato già nel 1820. Nel frattempo si cercava una sede adeguata in cui potesse essere realizzato l’Osservatorio: già in precedenza Francesco III d’Este (1698-1780, duca dal 1737) aveva pensato di realizzarlo nel Palazzo dell’Università, costruito tra il 1774 e il 1776 su progetto di Gian Francesco Zannini: l’accesso avrebbe dovuto essere attraverso il grande scalone da cui ora si va all’aula magna ma si rilevò che non c’era una struttura muraria capace di reggere il peso degli strumenti. Successivamente cadde anche l’ipotesi di realizzarlo sulla torre Ghirlandina, l’alta torre civica costruita fra metà XII e inizi XIV secolo accanto al Duomo, sulla piazza Grande, che era stata utilizzata come stazione per osservazioni geodetiche e astronomiche. Fu scartata anche l’opzione di realizzare una nuova struttura nell’allora Piazza d’Armi a ovest del Foro Boario (ora Piazza Novi Sad), in prossimità della seicentesca Cittadella fortificata costruita alla metà del Seicento al margine nord ovest della città per volontà del duca Francesco I d’Este (1610-1658, duca dal 1629). La sede dell’Osservatorio, che doveva avere una solida base e una considerevole altezza, fu individuata quando Francesco IV, col favore del fratello Massimiliano, con un chirografo del 14 gennaio 1826 decise di mettere a disposizione il torrione orientale del Palazzo Ducale (Corradini 2014), realizzato nella prima metà del Seicento per volere di Francesco I d’Este (1610-1658), duca di Modena e Reggio Emilia dal 1629) (Bianchi 1834, pp. XVI-XVII), in una parte del quale c’era l’appartamento in cui aveva dimorato Girolamo Tiraboschi (1731-1794) che era stato direttore della Biblioteca Ducale (Bianchi 1827, p. 6). Il chirografo è ricordato in una iscrizione su una lapide che fu dettata dal bibliotecario e archeologo ducale Celestino Cavedoni (1705-1865), tuttora murata nella sala al primo piano dell’Osservatorio (Bonacini 1929): era stata prevista una versione più lunga dell’iscrizione, che non fu scolpita su una lapide: ricordava anche gli strumenti di Reichenbach e di Amici (Bianchi 1834, pp. XXIII-XXIV). In questo modo l’ala orientale del Palazzo Ducale sarebbe stata dedicata alle scienze, mentre quella occidentale, in cui si trovavano la Biblioteca Ducale e il Museo Numismatico, diretti dallo stesso Celestino Cavedoni, era dedicata alla parte culturale e anche artistica, se si considera che attraverso un collegamento, si poteva passare anche

all'Accademia Atestina di Belle Arti, voluta dal duca Francesco III (Bianchi 1834, p. XVII). I lavori per l'Osservatorio (Lombroso & Quattrocchi, 2008) iniziarono molto presto: in una lettera inviata il 4 marzo 1826 al matematico Gabrio Piola (1794-1830), con cui Bianchi fu in contatto dal 1817 al 1825 (202 lettere conservate nel fondo Bianchi presso la Biblioteca Estense Universitaria di Modena), gli comunicava che i lavori stavano per iniziare, e per di più a pochi metri da casa sua: Bianchi infatti abitava in un palazzo ancora esistente, che si affaccia sul lato orientale della stessa Piazza Roma, sulla quale domina il Palazzo Ducale, e sul quale è stata murata una lapide in sua memoria, che lo ricorda anche come poeta. L'incarico di rendere stabile la struttura del torrione orientale che avrebbe dovuto ospitare l'Osservatorio fu affidato all'ispettore alle fabbriche di corte di corte Gusmano Soli (1788-1830) che iniziò i lavori nel maggio 1826 e li concluse nel giugno 1827 (Bianchi 1846): fu necessario trasformare completamente la struttura interna senza cambiare nulla di quella esterna (Bianchi 1834, pp. XVIII-XXI). All'interno del torrione era stato innalzato un arco di volta a sesto acuto tra i muri esterni del lato orientale e occidentale, collegati con catene per supportare i pilastri di marmo per il cerchio meridiano di Reichenbach a ovest e per lo strumento dei passaggi con un telescopio di cinque piedi di fuoco e 4 pollici di apertura che reca la firma di Amici con la data 1826: i due strumenti, restaurati in anni recenti, mantengono ancora adesso la collocazione originaria sopra una piattaforma di legno. Al di sopra era stato predisposto il supporto per collocare il telescopio equatoriale di Amici, ora non più esistente: "sovrastante al mezzo dell'arco s'innalza un ampio parallelepipedo di mura che s'innalza poscia in un cilindro, e questo nel colmo del tetto porta il grosso ceppo di marmo, ove sarà collocato". Attraverso una scaletta di legno si accedeva allo stanzino in cui era stato sistemato, ricoperto da una cupola di rame (Bianchi 1834, pp. XVIII-XXI) che, rifatta già nel 1896, è stata ancora una volta realizzata in anni recenti. Bianchi aveva proceduto a una attenta verifica degli strumenti: "mi proporrò per ogni strumento la disamina di una particolare operazione, cominciando dallo strumento dei passaggi". Ancora prima che i lavori fossero terminati, aveva iniziato a collocarli: "benché al cominciare di luglio di quest'anno 1827 non fossero i lavori avanzati al segno di lasciarmi libero, come sarebbe stato di bisogno, il campo alla delicata operazione di mettere al loro posto gli strumenti e rettificarli, mi affrettai nondimeno a collocar sulle destinate basi il cannocchiale dei passaggi e vicino ad esso l'orologio di Grindel" (1780-1854) che gli era stato procurato dal matematico Gabrio Piola: "non mi riuscì pertanto difficile, coll'opera del signor Giuseppe Sgarbi, macchinista e custode della R. Specola, il porre in moto regolarmente l'orologio applicato contro solido muro, e l'adeguar sulle colonne, l'istrumento dei passaggi che ha un cannocchiale di 5 piedi coll'apertura obiettiva di 4 pollici costruito colla maggiore accuratezza secondo il modello di quelli di Reichenbach dal signor professor Amici" (Bianchi 1828, pp. 126-127). Questo permise a Bianchi di iniziare le prime osservazioni il 17 ottobre 1827. Un'inaugurazione ufficiale dell'Osservatorio non avvenne: nel *Messaggero Modenese* n. 89 di mercoledì 7 novembre 1827, prima del racconto di un'eclisse di luna del 3 novembre, si legge infatti dell'avvio dei lavori da parte di Giuseppe Bianchi nell'Osservatorio di recente realizzazione (Corradini 2013). Quando l'Osservatorio era terminato da meno di un mese Bianchi scriveva a Piola il suo programma di lavoro, in primo luogo la redazione di un diario meteorologico, come gli era stato insegnato dagli astronomi di Brera, con osservazioni quotidiane che, annotate su registri ancora conservati nell'Osservatorio, rilevavano gli eventi meteorologici (pioggia o neve), la temperatura, la pressione atmosferica, il vento e le radiazioni solari. Già nel primo volume degli *Atti dell'Osservatorio* edito nel 1834 si trova un capitolo sulle osservazioni meteorologiche con tabelle di dati relative a pressione, temperatura, umidità, pioggia, stato del cielo e direzione del vento effettuate dal 1828 in poi: Bianchi dichiarava anche l'intenzione di studiare il clima con il cerchio meridiano di Reichenbach (Bianchi 1834, pp. 1-152). Tuttavia il volume manoscritto che contiene le osservazioni meteorologiche avviato da Bianchi, ancora conservato presso l'Osservatorio, inizia solo l'1 gennaio 1830 e procede fino al 28 febbraio 1860. L'Osservatorio venne anche considerato come luogo di rappresentanza dell'interesse culturale della Corte Estense al pari della Galleria dei dipinti, della Biblioteca e del Museo

Numismatico: Francesco IV infatti lo inserì in percorsi di visita del Palazzo Ducale dedicati a sovrani, principi o ospiti illustri (Bianchi 1834, pp. 5-6).

### **3. L'introduzione del sistema metrico decimale nel Ducato Estense: il Gabinetto di metrologia e l'Officina metrica**

Nell'Italia settentrionale in età Napoleonica la Repubblica Italiana, proclamata nel 1802, introdusse con una legge del 27 ottobre 1803 il sistema metrico decimale che in Francia era in uso dal 1789, ma dopo la caduta di Napoleone nel 1814, ristabiliti i governi precedenti, anche nello Stato Estense vennero riammesse le antiche misure, di cui si era continuato a fare uso. Nel 1849 Francesco V (1819-1875, arciduca dal 1846) sancì con un decreto del 17 ottobre che a partire dal 1852 nello Stato Estense avrebbe dovuto essere introdotto il sistema metrico decimale e che sarebbe entrata in vigore anche una nuova regolamentazione per la verifica (Lodovisi 1997).

Per rendere effettiva l'entrata in vigore del nuovo sistema metrologico, su indicazione del ministro delle Finanze, conte Ferdinando Castellani Tarabini, con un chirografo emesso il 27 ottobre 1849 Francesco V nominò una speciale Commissione sui pesi e le misure che fu incaricata di predisporre il regolamento per la realizzazione dei campioni del sistema metrico decimale, curarne la fabbricazione e compilare le tavole di ragguglio. Era costituita da Stefano Marianini, presidente della Società Italiana delle Scienze, che aveva sede a Modena, e dallo stesso Giuseppe Bianchi, che era anche segretario della Società, nomina per la quale Carlini si era congratulato nel 1847 (lettera del 19 luglio) (Lo Vasco 1942, pp. 122-123), così come due anni dopo aveva accolto con piacere la notizia dell'adozione del sistema metrico decimale (lettera 10 novembre 1849) (Lo Vasco 1942, p. 128).

Marianini decise di rivolgersi a Parigi a Jean Baptiste Biot (1774-1862), fisico e matematico, socio della Società Italiana delle Scienze e a François Jean Dominique Arago (1786-1853), matematico, fisico e astronomo, direttore dell'Osservatorio di Parigi, come si legge nella Relazione redatta da Bianchi che era stato incaricato da Francesco V di recarsi a Parigi dopo che Marianini lo aveva proposto al Ministro delle Finanze.

Marianini incaricò Bianchi di mettersi in contatto con Biot “pregandolo e interessandolo a commetterne in Parigi la fabbricazione dei desiati archetipi di misura, dirigerne di suo senno ed esperienza gli artisti, e assicurarne il più preciso paragone coi rispettivi archetipi legali della Francia” (Bianchi 1852, p. 3). Biot accolse prontamente le proposte e in una lettera del 13 luglio 1849 proponeva che il sistema metrico decimale si componesse di parecchi archetipi esatti e in ottone del metro e del chilogrammo, di un comparatore, di una macchina per la divisione rettilinea e di una bilancia di precisione. Essendo scomparsi Jean Nicolas Fortin (1750-1831) e Henry Prudence Gambey (1787-1847), suggeriva di rivolgersi all'ottico Joseph Deleuil e al meccanico Guillaume Perreux e, per assistere ai lavori dato che ormai aveva 75 anni, proponeva di dare l'incarico a Henri Victor Regnault (1810-1878), fisico e docente presso il Collegio di Francia, grande conoscitore degli strumenti e delle tecniche più esatte in campo metrologico che aveva “spirito di precisione, conoscenza del funzionamento delle apparecchiature e la conoscenza pratica delle arti che servono a eseguirle”.

Successivamente Biot in una seconda lettera del 4 dicembre 1849 affermava che era indispensabile che lui e Regnault fossero esentati da ogni ulteriore responsabilità per cui occorreva una persona che verificasse il buon impiego degli strumenti. Aggiungeva che niente avrebbe potuto sostituire la pratica personale che Bianchi avrebbe potuto acquisire per l'uso degli strumenti: era pertanto necessario uno studio preventivo da effettuarsi con lui e Regnault a Parigi. Successivamente, in una lettera del 30 maggio 1850, Biot precisava anche come sarebbe stata impegnativa la verifica degli strumenti, sull'utilizzo dei quali Bianchi avrebbe dovuto realizzare operazioni reiterate per conoscerli bene e nei minimi dettagli. A seguito di una successiva lettera di Biot del 7 luglio che avvertiva che la costruzione degli strumenti era pressoché conclusa, alla fine del mese Bianchi si mise in viaggio per Parigi, dove

arrivò il 3 agosto: là incontrò Biot e Regnault che lo accompagnarono prima presso il laboratorio meccanico di Perreaux per conoscere ed esercitarsi sull'utilizzo della macchina per dividere e del comparatore e successivamente presso il negozio e gabinetto di Deleuil per apprendere come era stata costruita e come si utilizzava la bilancia di precisione. All'inizio di settembre Bianchi, dopo aver appreso l'utilizzo dei campioni e strumenti metrici, doveva eseguire le operazioni più scrupolose dei confronti con i simili archetipi di misura francesi. I tipi fondamentali del metro e del chilogrammo erano custoditi negli Archivi Nazionali: da questi erano derivati altri due tipi dell'uno e dell'altro da utilizzare per le verifiche e affidati in custodia uno al Ministro dell'Interno e l'altro ad Arago. Su richiesta fatta da Biot, Arago consentiva di paragonare i nuovi campioni realizzati per Modena con quelli dell'Osservatorio e l'astronomo Paul Auguste Ernest Laugier (1812-1872), incaricato dell'utilizzo degli strumenti, mise a disposizione un comparatore e una bilancia di Henry Prudence Gambey (1787-1847) e collaborò attivamente alle comparazioni, con l'aiuto di Biot, Regnault, Perreaux e Deleuil. Venne redatto un dettagliato processo verbale delle esperienze di verifica da parte di Biot, Regnault e Bianchi (Regnault 1852) che accompagnò la consegna formale dei campioni che avvenne l'11 settembre, dopo che Bianchi si era assicurato che il loro trasporto sarebbe stato effettuato con le più opportune precauzioni. Bianchi partì da Parigi lo stesso giorno e arrivò a Modena il 24 settembre. Le casse che contenevano gli strumenti erano state chiuse e piombate dalla Dogana Centrale di Parigi e Bianchi aveva ottenuto dal direttore generale che non fossero aperte durante tutto il viaggio in Francia: arrivate a Marsiglia, avrebbero dovuto raggiungere per mare il porto di Livorno, ma per errore furono spedite a Genova e da lì, attraversato lo Stato di Parma, giunsero a Modena il 7 dicembre senza essere aperte. Arrivarono a Modena la macchina per la divisione rettilinea, un comparatore posto anch'esso sopra un banco di legno, tre archetipi del metro in ottone realizzati da Perreaux, una bilancia di precisione con albero e armatura di ottone chiusa all'interno di una cassa con pareti di cristallo, tre archetipi del chilogrammo in ottone massiccio, realizzati da Deleuil, di forma cilindrica terminata da una parte a bottone, rinchiusi e custoditi in altrettanti astucci con fodera interna di velluto, un chilogrammo di ottone massiccio rinchiuso in una cassetta di noce a fodera interna di velluto, tre termometri a mercurio di Fastré (Corradini 2015). Francesco V aveva approvato che una copia del metro e del chilogrammo fossero depositate presso l'Archivio Segreto Ducale, un'altra presso il Ministero delle Finanze e gli altri strumenti fossero affidati a Bianchi, per essere utilizzati per le operazioni della Commissione dei pesi e delle misure, nel Gabinetto di Metrologia per il quale, come Bianchi riferisce nella sua Relazione, Francesco V aveva messo a disposizione un appartamento nel Palazzo Ducale, in comunicazione con l'Osservatorio (Bianchi 1852, pp. 11-16).

In una lettera del 31 gennaio 1851 Bianchi annunciava a Biot l'avvio dei lavori della Commissione sui pesi e le misure presieduta da Marianini e costituita, oltre che da Bianchi, da Antonio Araldi (1819-1891), Cesare Costa (1801-1876) e Gaetano Rossi, nel Gabinetto di Metrologia: grazie all'intervento di Bianchi, Cesare Zoboli, che già ricopriva il ruolo di addetto al laboratorio meccanico dell'Osservatorio, nel febbraio 1852 ricevette l'incarico di ispettore e meccanico dell'Ufficio pesi e misure. L'entrata in vigore del sistema metrico decimale fu posticipata all'1 gennaio 1853: Marianini in una lettera al Ministro delle Finanze il 3 maggio 1853 comunicò a nome della Commissione che la dotazione di cui ciascuna delle 72 amministrazioni locali del Ducato Austro-Estense avrebbe dovuto fornirsi era costituita da 13 strumenti di peso e misura basati su multipli e sottomultipli del metro e del chilogrammo. Successivamente però un decreto del Ministero delle Finanze, emesso il 29 dicembre 1855, posticipava ancora l'entrata in vigore del sistema metrico decimale per le amministrazioni pubbliche all'1 gennaio 1857, pur mantenendo inalterato il doppio regime per le amministrazioni private. Il Ministero stesso si fece poi carico della produzione della serie di strumenti standard per le 72 amministrazioni locali e affidò a Zoboli, a partire dall'1 gennaio 1856, l'incarico di provvedere a farle realizzare e di supervisionarle. Per questa attività fu deciso di realizzare un'Officina pesi e misure in locali di largo Hannover che due secoli prima erano stati utilizzati come stalle dalla duchessa Laura Martinozzi (1639-

1687), reggente del Ducato Estense dal 1662 al 1674 dopo la morte del marito, il duca Alfonso IV d'Este (1634-1662, duca dal 1658). Dopo i rilievi che vennero effettuati da Cesare Costa e i necessari lavori di ristrutturazione e adattamento dei locali, l'Officina pesi e misure venne aperta l'1 giugno 1856. All'inizio di dicembre 1857 solo 14 amministrazioni locali avevano ricevuto la serie completa di pesi e misure, 6 di queste però dovevano ancora effettuare il pagamento. In considerazione di tutte le difficoltà che si continuavano a presentare, anche di funzionamento dell'Officina per il complicato reclutamento di personale specializzato, venne sciolta la Commissione sui pesi e le misure e il 17 marzo 1858 l'Officina metrica venne definitivamente chiusa dall'arciduca Francesco V.

#### 4. La fine della carriera

Nel 1859 dopo l'allontanamento di Francesco V dallo Stato Estense, Bianchi venne esonerato da tutti gli incarichi: nel primo volume manoscritto delle Osservazioni meteorologiche (1830-1859) da lui registrate, alla data 21 settembre si legge “licenziato il Prof. Bianchi” dalla direzione dell'Osservatorio. Dopo il 1859 Bianchi continuò le sue osservazioni nella sua casa di campagna a Campogalliano e nell'osservatorio privato del marchese Raimondo Montecuccoli, in via del Muro 62, corredato di buoni strumenti che il marchese aveva acquistato nei suoi viaggi a Parigi e a Londra. Frutto di queste ricerche furono quattro *Lettere Astronomiche* pubblicate negli Atti dell'Accademia Pontificia dei Nuovi Lincei negli anni 1864 e 1865.

#### Bibliografia

- Bianchi, G. (1821). “Elogio del professor Paolo Ruffini presidente della Società Italiana delle Scienze”, *Memorie della Società italiana delle scienze*, XIX(1), Matematica, pp. LXXXV-CX.
- Bianchi, G. (1828). “Sull'erezione del R. Osservatorio Astronomico di Modena”, *Effemeridi Astronomiche di Milano*, pp. 121-128.
- Bianchi, G. (1829). “Intorno al circolo meridiano del R. Osservatorio astronomico di Modena”, *Effemeridi Astronomiche di Milano*, pp. 75-98.
- Bianchi, G. (1834). *Atti del R. Osservatorio astronomico di Modena*. Modena: Tipografia Camerale.
- Bianchi, G. (1839). “Elogio dell'astronomo Cav. Abate Giovanni Angelo Cesaris”, *Memorie della Società italiana delle scienze*, XXII, Matematica, pp. CXVII-CXLVIII.
- Bianchi, G. (1846). “Il R. Osservatorio Astronomico e *Lamento d'Urania* in fine”, in *Alla memoria di Francesco IV. Tributo della R. Accademia di Scienze Lettere ed Arti di Modena*. Parte prima. Modena: Eredi Soliani, pp. 53-70.
- Bianchi, G. (1852). “Relazione di una ordinazione di archetipi e istromenti metrici data dal governo di Modena in Parigi per mezzo della Società italiana delle scienze”, *Memorie di matematica e di fisica della Società italiana delle scienze*, XXV(1), pp. (1-18).
- Bonacini, C. (1929). “Nel primo centenario dalla fondazione dell'Osservatorio di Modena”, in Bortolotti, E. (ed.) *Atti del Congresso Internazionale dei Matematici*. Bologna: Coop. Tipografica Azzoguidi, pp. 511-516.
- Corradini, E. (2013). “From the geophysical-meteorological Observatory of Modena to the Italian network of observatories”, *University Museums and Collections Journal*, 6, pp. 45-58.
- Corradini, E. (2014). “The activity of Giovanni Battista Amici and the birth of the Observatory of Modena”, contributo presentato al XXXIV Congresso nazionale SISFA, Firenze, 10-13 dicembre 2014.
- Corradini, E. (2015). “Le collezioni di strumenti scientifici testimonianza dello sviluppo delle attività dell'Osservatorio e del Gabinetto di metrologia dell'Università di Modena e Reggio Emilia”, *Museologia Scientifica Memorie*, 14, pp. 112-119.

- Corradini, E. (2017). “From the Physics Cabinet to the Physics Museum of the University of Modena and Reggio Emilia”, in Esposito, S. (ed.) *Atti del XXXVI Congresso nazionale SISFA*, Napoli, 4-7 ottobre 2016. Pavia: University Press, pp. 361-370. doi: 10.23739/9788869520709/c36
- Corradini, E. (2022). “Giovanni Battista Amici, Astronomer, Optician, Naturalist, and Instrument Maker in Modena from 1809 to 1831”, in Zanini, V., Naddeo, A. & Bonoli, F. (eds.) *Atti del XLI Congresso nazionale SISFA*, Arezzo, 6-9 settembre 2021. Pisa: Pisa University Press, pp. 81-89. doi: 10.12871/978883339694112
- Corradini, E. *et al.* (2024). “La formazione degli ingegneri dal Settecento a oggi. L’Istituto dei Cadetti matematici Pionieri e l’Università”, in D’Agostino, S. *et al.* (eds.) *History of Engineering. Proceedings of the 6th International Conference. Atti del 10° Convegno Nazionale*, Naples, 13-14 June 2024. Napoli: Cuzzolin, pp. 531-542.
- Frascaroli, E. (1998), *La Scuola dei Cadetti Matematici Pionieri: un Politecnico nel Ducato Estense*. Modena: Comune di Modena.
- Lo Vasco, A. (1942). *L’epistolario di Francesco Carlini. Dal carteggio inedito di Giuseppe Bianchi presso la R. Biblioteca Estense di Modena*. Pavia: Scuola tipografica Artigianelli.
- Lodovisi, A. (1997). “In Domo Bone opinionis”, in Dameri, D., Lodovisi, A. & Luppi, G. (eds.) *La Bona opinione: cultura, scienza e misure negli stati estensi, 1598-1860*. Campogalliano: Museo della Bilancia, pp. 21-62.
- Lombroso, L. & Quattrocchi, S. (2008). *L’Osservatorio di Modena: 180 anni di misure meteorologiche*. Moncalieri: Società meteorologica Subalpina.
- Lugli, M.U. (2007). *Giuseppe Bianchi. Astronomi modenesi tra Seicento e Novecento*. Modena: Il Fiorino.
- Meschiari, A. (1998). “Corrispondenza di Giovanni Battista Amici con Giuseppe Bianchi”, *Atti della Fondazione Giorgio Ronchi*, 53(6), pp. 829-861.
- Regnault, H.V. (1852). “Procès verbal des opérations de vérification qui ont été faites sur les Instruments et sur les Étalons de mesure métriques et pondéraux destinés au Duché de Modène”, *Memorie di matematica e di fisica della Società italiana delle scienze*, XXV(1), pp. (19-30).



# Innovazioni ed invenzioni della famiglia Nobel negli ultimi anni del XIX secolo fino ai primi del XX

Laura Franchini<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Associazione Amici di Città della Scienza, [amicidicittadellascienza@gmail.com](mailto:amicidicittadellascienza@gmail.com)

*Abstract:* In the following, some important inventions and innovations are described, as created from 1840 until the 1917 revolution by Immanuel and his sons Robert, Ludwig and Alfred, the last representatives of the Nobel family. Alfred's invention of dynamite was born from Immanuel's research into underwater mines and new explosives. Robert was fascinated by the city of Baku in Azerbaijan while on a business trip to purchase walnut wood for rifle stocks. Realizing the big business that would stem from the emerging industry of oil extraction, he decided to buy some parcels of oil-rich land and a small refinery. Thus the Russian oil industry was born, and with it the development of all technologies related to the extraction, the conservation and the transportation of the black gold, such as the construction of tank wagons, oil tankers, pipelines, and railway lines. Ludwig, the leader of the Nobel industries, was an innovator for the modernity of the products and for the special relationship between the management and the workers; he thus managed, for some time, to make the Russian economy independent of foreign imports. Alfred's legacy is still used today to reward the research and those who work to achieve peace in the world.

*Keywords:* Invention, Innovation

## 1. I Nobel all'ombra di Alfred

Alfred Nobel, famoso per avere inventato la dinamite e ideato il premio Nobel, era il discendente dei *Nobelius*, una famiglia svedese di inventori ed innovatori e promotori di moderne iniziative umanitarie e sociali, che risaleva al 1630 e che assunse il cognome Nobel, dal 1801 anno di nascita di Immanuel, il padre di Alfred e dei suoi tre fratelli, Robert, Ludwig e Emil. Molto si è scritto sull'invenzione di Alfred della dinamite e sul premio Nobel, mentre meno rilievo è stato dato all'impulso che i Nobel dettero all'industria petrolifera russa e alle numerose innovazioni e invenzioni che essi introdussero con il loro lavoro.

### 1.1 Il padre Immanuel

Immanuel non aveva avuto una ricca educazione primaria. S'imbarcò, come erano soliti fare molti giovani svedesi in modo da imparare i segreti della navigazione, e al ritorno apprese anche l'arte delle costruzioni lavorando. Fece l'accademia di belle arti e diventò architetto, frequentò una scuola meccanica, dove imparò a costruire e montare pompe a vento, scale a chiocciola e torri di stoccaggio. Ma la professione di architetto fu messa in crisi dalla perdita in un naufragio di molto materiale, che doveva utilizzare per alcuni lavori che gli erano stati commissionati. Così aprì una fabbrica di gomma, con la quale realizzò una zaino gonfiabile multifunzione per uso militare. Ma questa invenzione, così geniale, non ebbe il successo sperato nell'esercito svedese poco aperto alle innovazioni. Anche le sue mine sottomarine, che da tempo studiava con grande interesse, non trovarono un mercato nell'esercito, benché avrebbero costituito una potente arma per proteggere le coste. A quell'epoca in Svezia Immanuel era il solo a studiare questo tipo di mina, che in America invece si stava sperimentando fin dai primi dell'800. Fu per queste difficoltà che Immanuel, dopo aver dichiarato bancarotta, decise emigrare in Finlandia dove avrebbe trovato un mercato presumibilmente più fortunato per le sue

invenzioni A Torun lavorò come architetto, costruendo tra le altre cose una villa di stile neoclassico al n. 8 di Nylandsgatan, ancora esistente, e continuò la sua ricerca sulle mine sottomarine. Intanto la moglie Andriette era rimasta a Stoccolma con i 3 figli che, pur frequentando l'Istituto Jacobs Preparatory, aiutavano la famiglia vendendo fiammiferi, mentre la madre lavorava in un negozio di frutta e di latte. I ragazzi in seguito a San Pietroburgo avranno tutori personali ed impareranno 5 lingue.

Nel 1838 Immanuel decise di nuovo di emigrare, questa volta in Russia, incoraggiato da un ufficiale interessato alle sue mine sottomarine, che prometteva di introdurlo in ambienti militari e governativi. A San Pietroburgo c'era una forte presenza di svedesi, dei quali i russi utilizzavano il know-how. Immanuel per iniziare aveva aperto un negozio di pezzi meccanici. Si fece avanti negli ambienti di corte per fare conoscere il suo progetto di mina sottomarina. Fece diversi esperimenti di successo uno alla presenza dello zar e riuscì a ricevere un sussidio 3000 rubli per le sue ricerche. Così allargò il suo negozio in una officina meccanica, che gestiva insieme al colonnello Ogarev con l'altisonante insegna "Fabbrica di ruote e fonderia del sig. Nobel e del colonnello Ogarev". Immanuel aveva disegnato particolari torni, e pezzi per l'assemblaggio delle ruote, mozzi e raggi. Il colonnello era interessato ai progetti di mine ma anche alla produzione e al commercio di pezzi meccanici visto che stava lavorando ad un progetto per la costruzione di una linea ferroviaria diretta da San Pietroburgo a Mosca. Immanuel, intanto, nel giugno del 1842 fece un altro importante esperimento dimostrativo di mina sottomarina alla presenza del figlio dello zar, che gli valse un ulteriore sussidio di 25000 rubli.

### *1.1.1 La mina sottomarina di Immanuel*

La ricerca sulle mine sottomarine si stava svolgendo in diverse parti del mondo. Era l'epoca della scoperta delle applicazioni della corrente elettrica, che avrebbe permesso la trasmissione di messaggi a distanza con il telegrafo. Queste tecniche si potevano anche utilizzare per innescare mine a distanza e molti stavano facendo esperimenti in questo senso. La mina di Immanuel invece si poteva innescare senza l'intervento di un operatore. Era costituita da contenitori di zinco a forma conica ( $h=70$  cm, circa 2 piedi e  $L=38$  cm, circa 15 pollici) caricate nella parte alta da 3,63 Kg (circa 8 pounds) di esplosivo. Il detonatore comprendeva una barra scorrevole formata da un tubo di alluminio e vetro che usciva dalla mina. Il tubo di vetro della grandezza di una matita era riempito di acido solforico mischiato a clorato di potassio e zucchero si trovava nell'involucro di piombo della mina, che, ormeggiata a pochi piedi sotto la superficie dell'acqua, era mantenuta verticale da un sistema di fili a piombo. Se il piombo era sollecitato da un urto la barra si spostava causando la rottura del tubicino di vetro. La miscela chimica così esposta all'aria s'incendiava e innescava la mina. Un esplosivo più potente ne avrebbe migliorato l'efficacia. Questo suggerì a Immanuel l'idea di mandare il figlio Alfred a studiare a Parigi, con il famoso medico e chimico italiano Ascanio Sobrero, che aveva scoperto nel 1847 la nitroglicerina, un nuovo composto esplosivo altamente instabile.

### *1.1.2 Le officine Nobel a San Pietroburgo*

Gli affari cominciarono ad andare meglio, tanto che la fabbrica si ampliò con una nuova filiale sul fiume Neva e Immanuel potette far trasferire la famiglia in Russia. Stava lavorando per la ricostruzione della cattedrale di San Pietroburgo, fornendo ante per le finestre, un grande successo della manifattura svedese. Nella fabbrica si producevano motori a vapore, tubature, martelli pneumatici e molti kit di pezzi per le ruote e si realizzò un sistema di riscaldamento centralizzato per le abitazioni. Immanuel Nobel divenne una personalità importante. Era l'epoca del reazionario e guerrafondaio zar Nicola I. Durante la guerra di Crimea alle officine fioccarono ordini da parte dello zar per pezzi che sarebbero serviti per modernizzare la tecnologia delle navi russe e degli altri mezzi. La sconfitta della Russia nella guerra (1853-1856) di Crimea mostrò quanto la flotta russa fosse arretrata tecnologicamente: aveva piroscafi a ruote e navi da pesca.

Nonostante i tanti successi di Immanuel persistevano i problemi finanziari: anche se la fabbrica lavorava a ritmi forzati, i guadagni erano scarsi. Dopo la morte dello zar Nicola I, il suo successore Alessandro II, non voleva finanziare le spese militari. E poiché il governo era in bancarotta, aveva milioni di debiti, furono ignorati i contratti fatti ad Immanuel, che per questo decise di guadagnare con il mercato domestico dei pezzi meccanici. Per questo, dopo il grave incidente nel 1864 in cui persero la vita Emil Oscar, il figlio minore, e i suoi 4 compagni mentre lavoravano nella fabbrica di esplosivi dei Nobel a Helenborg (Stoccolma), Immanuel decise di ritirarsi e ritornare in Svezia. Affidò la fabbrica a Ludwig, convinto che ai figli in Russia non sarebbe mai mancato il pane. Negli otto anni successivi scriverà un trattatello in cui propone soluzioni pratiche per affrontare la povertà, la disoccupazione e l'emigrazione, una piaga del suo paese. Proporrà anche di aprire una fabbrica per utilizzare scorie di legno e truciolo per produrre un materiale innovativo, il compensato, che sarebbe stato utile, secondo lui, per costruire case prefabbricate per i paesi più poveri come l'Egitto.

### **1.2 Ludwig**

Il secondogenito Ludwig, a soli 28 anni prese le redini di un'impresa piena di debiti. Era un abile ingegnere e già lavorava con il padre da tempo. Non riuscirà ad ottenere nuovi finanziamenti dallo zar ma con i suoi risparmi aprirà la, *Machine-Building Factory Ludvig Nobel*, una fabbrica di ogni sorta di pezzi meccanici. Dal 1870 in poi ci fu in tutta Europa la corsa agli armamenti e fu fatta legge che abolendo le tasse sull'importazione del ferro favorivano la produzione e l'utilizzo dei manufatti delle industrie locali russe. In più la liberazione dei servi portò nuova manodopera da istruire. Tutti questi fattori crearono un notevole sviluppo dell'industria del ferro e delle armi moderne. Ludwig cavalcò l'onda dei cambiamenti trasformando la sua fabbrica in una industria del ferro e di armi. Si producevano proiettili, carrelli per cannoni, mortai, ruote. Le moderne ruote Nobel, con pneumatici e raggi rinforzati erano particolarmente adatte alle strade russe molto disconnesse e piene di buche. Tutti i prodotti erano assemblati con il principio delle parti intercambiabili, una grande novità esportata dalla Svezia che consentiva molto risparmio e facilitazione nel lavoro. Un altro settore fiorente era quello della modernizzazione delle armi, in particolare la trasformazione dei vecchi fucili ad avancarica in quelli a retrocarica come si erano visti nella guerra civile americana. In Russia dove c'erano magazzini pieni di migliaia di fucili ad avancarica il governo decise di convertirne un centinaio. Ludwig diventò il maggiore produttore di armi: in particolare dei fucili a retrocarica tipo Berdanka, che sarebbero stati utilizzati fino all'epoca di Stalin.

### **1.3 Robert**

Anche il fratello maggiore, Robert, aveva imparato il mestiere a fianco del padre, lavorando al restauro della cattedrale di Kazan a San Pietroburgo e alla costruzione di un battello a vapore. In Finlandia aveva diretto una ditta di lampade russe al Kerosene. Era molto bravo, ma non era mai soddisfatto delle sue imprese. Quando nel 1870 Ludwig gli chiese di andare a San Pietroburgo a sostituirlo nella dirigenza della ditta durante la sua assenza per un lungo viaggio di nozze, assolse l'incarico con impegno e competenza. Prima di partire Ludwig aveva appena completato, nella armeria che aveva aperto a Izhevsk, la prima fase di riconversione dei fucili, con il nuovo sistema della retrocarica. Tornò nel 1871 in tempo per negoziare con il governo un contratto di 8 anni per la produzione dei Berdanka. Perciò propose a Robert di andare in Europa a capire come lavoravano le armerie, quale tipo di legno utilizzavano per costruire i calci di questi nuovi fucili, che avrebbero dovuto fabbricare le Officine Nobel e di individuare il luogo dove era più conveniente acquistare il legno. Robert, dopo un giro in Europa, nel 1873 scelse Baku, grande centro commerciale del Medioriente, come luogo adatto per comprare il legno e spedirlo. Aveva avuto 25000 rubli da Ludwig per iniziare questo commercio e per il viaggio in nave.

### 1.3.1 Il viaggio di Robert a Baku

Da Pietroburgo si arrivava a Baku via acqua navigando il Volga. Robert ebbe la fortuna che il capitano di uno dei vaporetto su cui era imbarcato fosse un olandese, De Boer, il quale gli parlò degli affari legati al petrolio di cui era ricca la regione di Baku. Su questo argomento Robert era ferrato per la sua esperienza di vendita di kerosene in Finlandia.

Nella sua vita Robert non aveva mai visto una città come Baku, dove convivevano civiltà diverse, e che con i suoi fuochi, colonne ardenti dovute alle emanazioni naturali di petrolio, aveva affascinato l'uomo fin dall'antichità. Quest'olio estratto già da secoli era stato utilizzato per le lampade. Robert intuì che lì si potevano realizzare i suoi sogni di arricchimento personale e coinvolgimento.

Il capitano De Boer e suo fratello possedevano a Baku parecchie parcelle di terra ricca di petrolio ed una piccola raffineria, ed erano desiderosi di vendere i loro averi. Erano stanchi di questo affare ed a corto di denaro. Robert passò alcuni giorni ad ispezionare la loro raffineria e ad ascoltare i racconti di persone che lavoravano per il petrolio. Notò subito che i metodi di estrazione e raffinazione erano molto primitivi. Così fece una proposta di acquisto a De Boer. La decisione era presa. Egli era impulsivo ma non spericolato. Una volta che nella sua mente era nato un progetto la testardaggine svedese lo costringeva ad andare avanti e nulla poteva dissuaderlo. Offrì i 25000 rubli, destinati all'acquisto del legno per i fucili, in cambio della terra e della raffineria. La decisione improvvisa fu presa senza consultare i fratelli o altri familiari esperti di finanza ed investimenti. Al suo ritorno a Pietroburgo avrebbe dovuto convincere suo fratello Ludwig che aveva fatto un investimento molto più conveniente del legno di noce. Robert aveva ragione, ma passarono molti anni prima che qualcuno lo riconoscesse.

La prima cosa che Robert decise di fare fu imparare la natura del business della raffinazione. E visto che, come aveva verificato Alfred quando aveva lavorato nelle sue fabbriche di nitroglicerina, Robert era anche un eccellente chimico, in poco tempo fu in grado di realizzare metodi di raffinazione che permettevano di produrre un kerosene di qualità più alta di quello che al momento si trovava sul mercato.

Il metodo sostanzialmente consisteva nel bruciare e distillare il greggio fino ad ottenere il kerosene. I residui o venivano di nuovo bruciati o riversati nel terreno. Le più rudimentali distillerie erano costituite da un bollitore ed una grande vasca in cui veniva versato il greggio. Comunque, tutte le distillerie eruttavano fumo nero e fuliginoso, per cui la parte di città adiacente le raffinerie veniva chiamata Black Town. Mentre il centro della città di Baku era la White Town. Robert analizzando questi metodi di raffinazione concluse che avrebbe potuto fare di meglio, per questo dovette chiedere ulteriori finanziamenti a Ludwig, che non glieli negò.

La raffineria modernizzata di Robert produceva una qualità di kerosene che in Russia non si era mai vista. Così dopo avere dimostrato la superiorità delle sue tecniche fu aperta una nuova e più moderna raffineria nel 1875, la Raffineria Robert Nobel, che fu la migliore di tutte quelle della Black Town. Il suo prodotto poteva competere con quello americano, che fino a quel momento aveva dominato il mercato mondiale.

Robert, pioniere di questa industria in una terra selvaggia, dedicò per tre anni le sue energie solo alla raffinazione e non all'estrazione.

Nell'area vicino Baku presso il lago Zabrat fiorivano i geysers. Petrolio schizzava dal suolo giorno e notte ed i lavoratori andavano avanti e indietro muovendo macchinari nel tentativo di direzionarne i flussi. I visitatori americani erano sconcertati: abituati ai piccoli pozzi della Pennsylvania non riuscivano a vedere tanto spreco di petrolio bruciato o lasciato fluire nel lago o in un terreno calcareo.

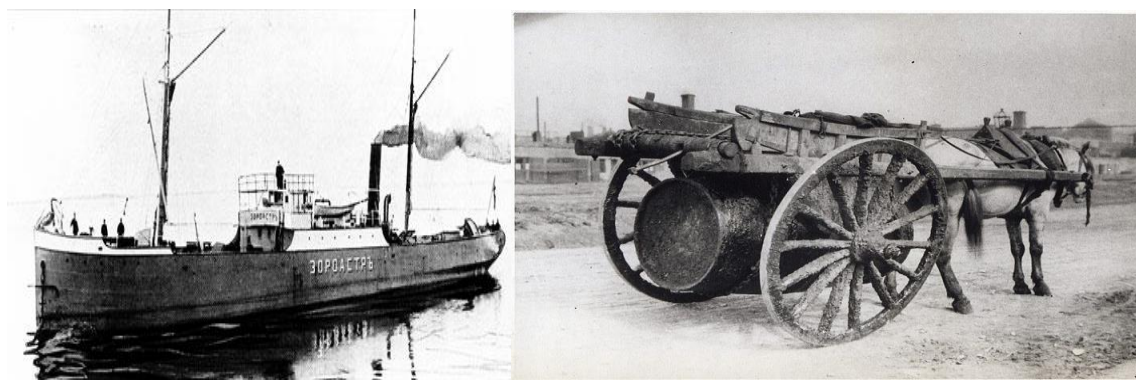
Quando la notizia di tutti questi geysers arrivò a San Pietroburgo e a Mosca, Baku fu invasa da un gran numero di compagnie straniere, che volevano fare affari in quel territorio. Queste notizie, insieme a quelle dei successi di Robert, invogliarono Ludwig a visitare i luoghi di persona.

## 2. La nascita dell'industria petrolifera russa

Quando Ludwig arrivò a Baku nell'aprile 1876, anche se non era un chimico capì l'importanza della manifattura del greggio e si rese conto del grande lavoro che Robert aveva realizzato nella sua raffineria e dell'incredibile potenziale che aveva l'area. Ma capì anche che la realizzazione di tali potenzialità non sarebbe mai avvenuta se si fosse continuato con una gestione di tradizionale, senza razionalizzare le diverse fasi di lavorazione e senza tenere conto delle nuove tecnologie che in altre parti del mondo si stavano sviluppando nell'industria del petrolio. Così Ludwig raccolse informazioni su come introdurre le nuove pratiche a Baku ed espandere l'impresa di Robert. Gli studi furono separati in quattro differenti categorie: trasporto, oleodotti, pompaggio, e magazzinaggio.

Uno dei primi problemi era come trasportare il greggio dai pozzi alle raffinerie. La distanza era di circa 8 miglia in un terreno non molto facile per gli *arbas* (Fig.1, destra) dei Tatars, carri a due ruote con una grande botte sospesa al centro, che poteva contenere 900 pounds, cioè circa 405 Kg di olio. Cavalli o muli erano la forza motrice. Per migliaia di Tatars questo trasporto era l'unica fonte di guadagno, ma era lento, costoso, e non sempre realizzabile; caldo, tempeste ed osservanze religiose dei mussulmani potevano causare l'interruzione del trasporto dell'petrolio. In Pennsylvania il petrolio si trasportava con gli oleodotti: Ludwig pensò che anche a Baku se ne potessero costruire. Ma in Russia l'idea di trasportare il petrolio in tubi per otto miglia sottoterra apparve misteriosa e pericolosa. Gli *arbas* avevano trasportato il petrolio per anni, ed avrebbero continuato a farlo. Allora Ludwig contattò altri raffinatori del posto per convincerli della bontà del suo progetto di costruzione di un oleodotto nell'area intorno Baku e chiedere cooperazione. Il progetto era costoso ed era necessario un fronte unito contro l'ufficialità di Baku, che temeva per la disoccupazione dei Tatars se l'oleodotto si fosse realizzato. Ma nessuno volle collaborare, così Ludwig procedette da solo nonostante i notevoli ostacoli che la burocrazia poneva per l'installazione delle tubature sottoterra. Così disegnò a Pietroburgo, la strada, la stazione di pompaggio e tutti gli apparati tecnici. Grazie ad un ingegnere che parlava inglese e russo ordinò le tubature necessarie. Nel 1877 arrivò la prima fornitura di tubi. Fu scavata una prima trincea di sei piedi, circa 1.8 m, al centro del campo di Balakhani dove si trovavano i pozzi e alcune di 200 piedi, circa 61 m, più in alto del terminale della raffineria che stava nella città nera. La pompa disegnata da Nobel produceva 27 cavalli di potenza che si aggiungevano alla pressione gravitazionale e convogliava l'olio in tubi del diametro di 5 pollici, circa 12,7cm, alla velocità di circa 3 piedi, circa 0,9 m, al secondo. Pompe più piccole furono installate lungo il percorso. Il lavoro era spesso interrotto per le proteste dei conducenti degli *arbas* e dai costruttori di botti; fu necessario erigere lungo l'oleodotto torri di controllo per difendersi dai vandalismi. Lo stesso era accaduto in America: quando fu costruito il primo oleodotto. A Baku cosacchi armati furono assunti per sorvegliare le torri. In poco tempo le proteste finirono e l'oleodotto fu salvo. In meno di un anno la compagnia Nobel si rifece delle spese per la costruzione dell'oleodotto. Alla fine del secolo sarebbero stati realizzati 326 oleodotti separati in 70 miglia.

La sfida successiva di Ludwig fu trovare un mezzo migliore dei barili di legno per trasportare il raffinato kerosene sulle navi per la Russia. C'era anche da iniziare il mercato del *mazut* cioè dell'olio residuo della raffinazione del cherosene. Questo greggio o olio lubrificante non poteva essere spedito in barili: ciò lo avrebbe reso fuori dal mercato perché i contenitori per il trasporto erano più cari di ciò che contenevano. Ma Ludwig pensava che, se fosse stato trasportato in grandi quantità in cisterne da un porto all'altro, il prodotto avrebbe potuto competere con i lubrificanti tradizionali, specialmente in quelle aree del mar Caspio o del basso Volga dove gli alberi, che fornivano il legno per il riscaldamento, erano scarsi e le foreste esaurite. In quel tempo la Russia stava importando carbone dall'Inghilterra e quindi una sorgente di carburante domestico meno costoso sarebbe stata molto interessante sia per le industrie che per i privati.



**Fig. 1, sinistra.** La Zoroaster

**Fig. 1, destra.** Gli arbas

La migliore soluzione era il trasporto di massa, per il quale sarebbe stato necessario avere una nave disegnata non per trasportare centinaia di barili ma tonnellate di materiale. Sarebbe stato il mezzo più semplice per portare l'olio dalle regioni isolate dove era disponibile ai centri altamente popolati dove era necessario. Quella della nave cisterna fu l'idea più importante nella storia dell'industria petrolifera. Ludwig portò il progetto agli spedizionieri. Ma questi temevano per la perdita dei guadagni con il commercio dei barili. Anche i produttori non furono molto ricettivi. Arguivano che se l'idea fosse stata praticabile gli Americani con il loro senso degli affari ci avrebbero già pensato per il trasporto oltreoceano. Ludwig spiegava che trasportare carburante nei barili significava portare all'andata un peso di 20% in meno, corrispondente al peso dei contenitori di legno, e poi al ritorno si pagava un trasporto di barili vuoti. Inoltre, anche se il prezzo del carburante scendeva il prezzo dei barili rimaneva uguale. Queste considerazioni economiche non convincevano i politici e quanti avrebbero dovuto collaborare alla realizzazione del progetto. Ludwig procedette da solo. Cominciò a sperimentare il trasporto del petrolio in chiatte-cisterna caricate di carburante. Uno dei problemi di questo tipo di trasporto era la perdita di carburante attraverso le giunture della cisterna. Perdite che però diminuivano se il livello di liquido interno alla cisterna era uguale al livello esterno dell'acqua. Per i carichi più leggeri di kerosene furono aggiunti massi di pietra in modo da abbassare l'imbarcazione a livello giusto. Questo espediente non era conosciuto dagli Americani. Furono costruite molte chiatte a vapore che trasportavano il prodotto finito attraverso il Volga. Poi cominciò a disegnare navi fatte per trasportare petrolio. Il disegno di Ludwig della Zoroaster (Fig.1, sinistra) con il motore al centro della nave e le cisterne nella stiva, apparve sicuro e rivoluzionario. Nel 1878 firmò il contratto per la costruzione della prima petroliera, che dal momento che entrò in servizio, da Baku ad Astrakan, nel 1878 divenne il fiore all'occhiello della marina mercantile Russa. Per l'invenzione della petroliera di una importanza paragonabile a quella della dinamite scoperta da Alfred, Ludwig non volle mai chiedere il brevetto perché riteneva che la sua idea dovesse giovare a tutta l'industria petrolifera.

Il Volga diventò l'autostrada della Russia nei mesi del ghiaccio in cui le strade erano impraticabili, come lo era stato al tempo dei Vichinghi.

Altra innovazione fondamentale fu la costruzione di vagoni ferroviari-cisterna. Anche questa proposta di Ludwig creò opposizioni. Comunque egli portò avanti il progetto. Fece costruire 100 vagoni cisterna a Tsaritsyn (Stalingrado, oggi Volgograd). Dal 1881 un treno portò il petrolio a San Pietroburgo. Dimostrò che il trasporto su terra anche se più costoso di quello per mare era essenziale per il duro inverno russo. Quando poi la compagnia ferroviaria rifiutò la sua richiesta di mettere lungo il percorso del treno dei vagoni da utilizzare come officine di riparazione, deposito e rifornimento, decise di costruirsi una sua ferrovia con 150 vagoni e una coppia di 12 locomotive. Era orgoglioso di poter individuare in qualunque momento la localizzazione di ogni treno e la quantità di petrolio necessaria per ogni deposito. I depositi erano giganteschi. In ogni caso nelle zone più isolate della Russia dove non



poteva arrivare la ferrovia il trasporto si continuava a fare nelle botti di legno. Per questo motivo furono costruite da Ludwig anche delle fabbriche di botti di legno, per abbattere i costi furono utilizzati i modelli americani. Analogamente fu utilizzata l'esperienza americana per costruirei carri cisterna e i perforatori dei pozzi.

Nei primi anni a Baku Ludwig si occupò solo degli aspetti organizzativi dell'industria petrolifera e non si dedicò all'estrazione del petrolio. Solo nel 1881 attivò il primo pozzo, il n. 25, che per 6 mesi emise 4000 tonnellate di materiale al giorno. Da allora la produzione si sviluppò sempre di più.

Il 1893 fu l'anno del boom della crescita di richieste di petrolio ai Nobel; la Russia ne divenne il maggiore produttore del mondo.

### **2.1 L'abbandono di Robert e la BRANOBEL**

Dal piccolo investimento di 25000 rubli era nato un affare multimilionario con una rete di affari diffusa in tutte le linee acquatiche e terrestri del paese. Ludwig era responsabile di tutto. Robert era in qualche modo perso in questa frenesia di avvenimenti generata dalla febbre di progresso del fratello. Non essendo uno che cedesse il controllo facilmente e comprensibilmente geloso dell'abuso dei suoi diritti di fratello maggiore Robert si piantò ad angolo retto lungo il cammino che Ludwig stava tracciando. Perciò si oppose nel 1879 al progetto di creare una compagnia a partecipazione azionaria. L'insistenza di Ludwig su questo punto lo convinse che era il momento di lasciare Baku. Nel 1879 partì senza dire a nessuno dove andava. Avvisò la famiglia che andava in Svizzera a curarsi.

Ludwig confidò ad Alfred che Robert era diventato molto difficile e che a Baku creava problemi con gli operai. Nonostante le cose nell'impresa stessero andando molto bene, Ludwig riceveva dal fratello lettere velenose e arrabbiate. Nessuno capiva il suo comportamento. Probabilmente davvero stava salvaguardando la sua salute minata dalle difficili condizioni climatiche di Baku. Infine, Robert dopo avere ricevuto una cospicua liquidazione e una percentuale di azioni della compagnia, rinunciò a tutti i diritti e se ne andò a vivere in Svezia nel confortevole fiordo di Bravic.

I numerosi progetti di innovazione portati avanti da Ludwig avevano un costo e richiedevano sempre la creazione di nuove infrastrutture.

La nuova raffineria di Robert aveva avuto un costo di 450000 rubli. L'amico finlandese Barone Standertskiold aveva anticipato i soldi e poi aveva creato i contatti per ricevere ulteriori finanziamenti da parecchie banche Finlandesi. Un altro amico di Ludwig dei tempi di Iztevska Peter Bildering mise 300000 rubli. Alfred investì 115000 rubli e disse che lo avrebbe reso pubblico. Si era capito che l'unico modo di ottenere il denaro che si spendeva e che si sarebbe continuato a spendere era creare una corporazione che aggregasse più soggetti che finanziavano i progetti relativi all'impresa. Ecco che nel 1879 a maggio si formò la BRANOBEL (Nobel Brothers Petroleum Production Company) con Ludwig come azionista di maggioranza. La compagnia andò molto bene e crebbero i finanziatori.

### **2.2 Emanuel**

Nel 1888, dopo la morte di Ludwig, prese la direzione della BRANOBEL suo figlio Emanuel che, come il padre, era un lavoratore indefesso e visionario, ma anche propenso a creare buoni rapporti con la politica, tanto che gli fu anche conferita dallo zar la cittadinanza russa. Era così attento agli sviluppi delle nuove tecnologie che, quando si rese conto che il Diesel rappresentava il futuro dei motori fece costruire a San Pietroburgo la prima fabbrica di motori Diesel del mondo, che poi sarebbero stati utilizzati anche per le petroliere. Dopo la morte di Alfred, nella famiglia Emanuel fu quello che più s'impegnò a fare rispettare la volontà dello zio, cioè che fosse istituita la fondazione ed il premio Nobel. Nel 1918 con l'arrivo dei Bolscevichi a Baku fu costretto a lasciare il paese travestito da contadino, e tornò in Svezia.

### 2.3 Ieri e oggi

Fino al 1916 i Nobel possedevano 1/3 del greggio russo, il 40% di quello raffinato, circa 400 depositi di carburante, rifornivano i 2/3 dei consumi domestici e comandavano la più grande flotta del mondo. Dal 1918 dopo la Rivoluzione ci fu il caos: le navi bloccate, le raffinerie chiuse, le centinaia di pozzi riempiti d'acqua, le fabbriche di San Pietroburgo chiuse. Fu distrutta persino Villa Petrolea che era stata costruita nel 1882 a Baku nella città bianca all'interno di un villaggio con residenze per gli ospiti, laboratori di ricerca, case per lavoratori, teatro, biblioteca, ed un giardino botanico. Era stata una delle tante iniziative di Ludwig orientate al benessere dei lavoratori. I Nobel si rifugiarono all'estero e cercarono di trovare partner che potessero acquistare i pozzi e le raffinerie. Infine, nel 1920 le imprese Nobel furono vendute alla Standard Oil Americana. Emanuel morì in Svezia nel 1932. Nel 1959 la compagnia Nobel fu dissolta senza che ne restasse memoria, nemmeno nei più noti libri di storia russi, dove si parla della Russia nel periodo prerivoluzionario di fine XIX secolo come di un paese, sostanzialmente agricolo, dove non c'era stato sviluppo tecnologico. Rende giustizia al glorioso passato della famiglia Nobel e a quanto essi fecero per l'industria petrolifera, l'inaugurazione del 2007 a Baku, nella sede della ricostruita di villa Petrolea del "Nobel Brothers Museum, International Conference Centre and Baku Nobel Oil Club", la storia delle Imprese e della famiglia Nobel è illustrata con cimeli e documenti.

### Bibliografia

- Franchini, L. (2019). "The birth of the Nobel peace prize and the dispute about the use of a Scientific innovation", in Campanile, D., Frenza, L. & Garuccio, A. (eds.) *Atti del XXXVII Congresso nazionale SISFA*, Bari, 26-29 settembre 2017. Pavia: Pavia University Press, pp. 175-183. doi: 10.35948/9788869521188/c15
- Tolf, R.W. (1976). *The Russian Rockfellers. The saga of the Nobel family and the Russian oil industry*. Stanford: Hoover Institution Press.
- Muravyov, I.M. (1965). *Development and exploitation of oil and gas field*. Moscow: Peace publishers.



# The Unpublished Physical and Astronomical Notes of the Accademia del Cimento\*

Elisabetta Rossi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Milano, Elisabetta.Rossi1@unimi.it

*Abstract:* The Florentine Accademia del Cimento (1657-1667) stands as the first European academy of the Modern Era to prioritize experimentalism as the core of its scientific endeavours during its ten-year existence. Over the span of 1657 to 1667, the academicians carried out approximately a thousand experiments across more than 600 academic sessions. Their work prominently featured the use of scientific instruments and apparatus. While pneumatics and thermology took the lead as predominant research areas, the Cimento also devoted attention to exploring various physical phenomena such as sound and light propagation, and other domains, including astronomy, alchemy/chemistry, and others. However, only a fraction of this extensive body of work found its way into the sole official publication of the Cimento, the *Saggi di Naturali Esperienze* (1667). The rationale behind this selectivity remains a subject of ongoing inquiry and historical research. Fortunately, the experimental history of the Academy remains accessible through unpublished manuscript ‘diaries’ of the academic sessions, archived at the National Central Library in Florence. This essay aims to shed light on some of these physical and astronomical experiments, therefore contributing to the historiographical narrative that, over the past five decades, has delved into the experimental scientific pursuits of the Cimento.

*Keywords:* History of Physics, History of Astronomy, Accademia del Cimento, Scientific Academies

## 1. Introduction: the experimentalism at the Accademia del Cimento

The Florentine Accademia del Cimento, which existed from 1657 to 1667, was a pioneering European scientific academy that made experimentalism the cornerstone of its activities. Established under the patronage of Prince Leopoldo de’ Medici (1617-1675) and Grand Duke of Tuscany Ferdinando II (1610-1670), this Academy operated without rigid structures, a constitution, headquarters, or a budget; it had a relatively short lifespan, disbanding in 1667, when Leopoldo was elected cardinal, and many academicians relocated.

Despite its extensive experimental work, most of which remained unpublished, only a fraction of it found its way into the sole official publication of the Cimento, the *Saggi di Naturali Esperienze* (1667), hereafter *Saggi*, leaving the reasons for this selectivity a subject of ongoing historical investigation. Fortunately, the history of the Academy’s experimental program is preserved in the unpublished manuscripts at the National Central Library of Florence (Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, hereafter BNCF). The Galilean Fund of the BNCF is divided into five categories: “Anteriori,” including the works of Vincenzo Galilei, “Galileo”, “Contemporanei”, containing documents from the Accademia dei Lincei, “Discepoli”, and finally “Posteriori”, which primarily includes sources related to the Accademia del Cimento (from Gal. 259 to Gal. 307). These documents include the so-called ‘diaries’ of the academic meetings (from Gal. 260 to Gal. 262), drafts of the *Saggi*, an assorted collection of “experimental physics”, volumes on astronomy and meteorology, and extensive correspondence between academicians, external scholars, and members of the Medici family.

---

\* This contribution was presented at the *XLII SISFA Congress*, Perugia, September 26-29, 2022.

A single codex, Gal. 260, brings together experiments conducted in 1657, 1658, 1660 and 1662, written by the secretaries Alessandro Segni (1633-1697) and Lorenzo Magalotti (1637-1712), as well as some Cimento's affiliates. Gal. 261 is the likely coeval copy of a diary regrouping experiments carried out from 19 June 1657 to 23 January 1658 and the drawings of the instruments and apparatus employed: the experiments are numbered. Finally, Gal. 262 is the only source covering the entire period of the Academy's activity (from 19 June 1657 to 5 March 1667): it is a late copy (likely eighteenth-century) of the original diary, unfortunately lost, written by an unknown hand, in beautiful handwriting and in two columns, one of which is devoted to the depiction of the instruments used. Analysis of these records helps to shed light on the natural philosophy's debates characteristic of Early Modern Europe, the application of a novel experimental method, the meticulous documentation of experiments (including failed ones), the significance of scientific instruments crafted by court artisans, the roles played by individual experimenters, and many other subjects of great importance for the history of science.

Despite the focus of historiography on the Cimento's research in pneumatics and thermology (topics prominently featured in the *Saggi*), a thorough examination of the manuscripts uncovers a more diverse array of investigations conducted by the Academy. This paper aims to provide a glimpse into the wide-ranging experimental endeavours undertaken by the Cimento, focusing on examples from the realms of physics and astronomy. Collectively, this uncharted territory promises to offer a more comprehensive perspective on the extensive and varied experimental activities of the Florentine Academy.

## 2. Physical unpublished experiments

The diaries document a wealth of experiments, approximately a thousand in total. While pneumatics and thermology were prominent areas of exploration, the Academy's agenda extended to other aspects of natural philosophy, including electrical and magnetic phenomena, as well as alchemy/chemistry and a limited number of inquiries into natural history. Demonstrating the versatility of their work, the Cimento members also ventured into the mixed mathematical disciplines of astronomy, optics, acoustics, and mechanics. These macro categories serve as a starting point for a more in-depth analysis of the Cimento's experiments, though they do not always neatly fit into a single classification. Furthermore, it's important to note that taxonomy and classes should be used cautiously, especially when examining periods prior to the professionalization of scientific disciplines.

### 2.1 Pneumatics

Historiography has extensively discussed pneumatic studies at the Cimento (Middleton 1971, pp. 263-270; Boschiero 2007, pp. 115-40; Giannini 2016), which included air pressure and the concept of "vacuum". These were between the most debated topics at the academic sessions, that also featured prominently in the *Saggi*. This experimental branch began with the famous mercury tube experiment of Evangelista Torricelli (1608-1647). Interpretations of this experiment led to heated European debates, raising questions about the nature of the space at the top of the tube. Was it truly a vacuum, contrary to Aristotelian beliefs, or did it imply the presence of an unknown substance? These questions were at the heart of discussions, but they are intentionally absent from the *Saggi*, which were drafted and compiled according to cautious editorial strategies. In addition to replicating Torricelli's work, the academicians introduced variations, and they explored the properties of mercury by immersing various substances in it and studying their buoyancy.<sup>1</sup> The Cimento didn't restrict itself to these inquiries but ventured into

---

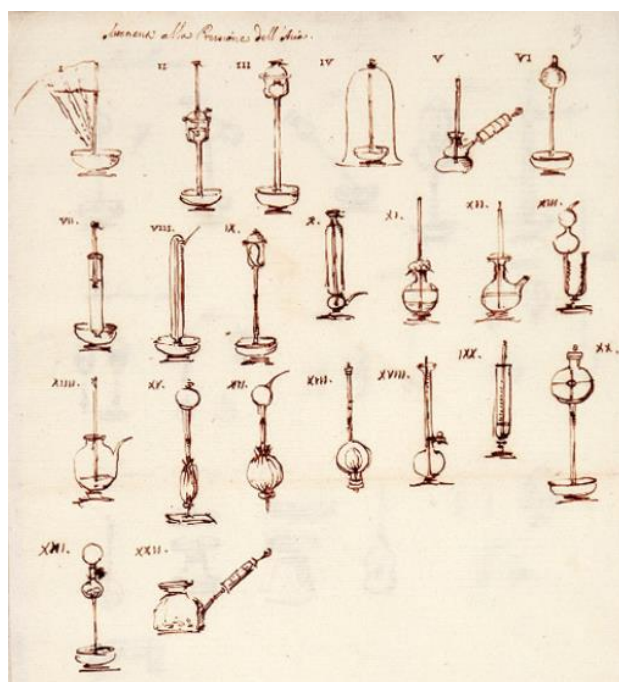
<sup>1</sup> For instance, they investigated the capillary depression of mercury surfaces (BNCF, Ms. Gal. 261, c. 39r, experiment n. 95, 28 July 1657; BNCF, Ms. Gal. 260, c. 255r, 11 August 1657, also in BNCF, Ms. Gal. 262, c. 25r-v), its specific gravity (BNCF, Ms. Gal. 260, c. 255r, 12 August 1657, also in BNCF, Ms. Gal. 262, c. 25v) and the outflow of a jet of mercury from a cylinder (BNCF, Ms. Gal. 261, c. 42v, experiment n. 114, 13 August 1657).

observing different phenomena in vacuum conditions, including liquid droplets, amber and other electric substances, magnetic effects, sound propagation, invisible fire exhalations, smoke, water, snow, corals and pearls, and the effect of heat and cold.<sup>2</sup> They even investigated the behaviour of animals (flies, birds, lizards, spiders, fishes, eels, crabs, frogs, butterflies and crickets) within a vacuum.<sup>3</sup> Mathematician Vincenzo Viviani (1622-1703), one of the most eminent scholars affiliated with the Cimento, proposed the creation of a device capable of producing an exceptionally large vacuum, potentially housing a person.<sup>4</sup>

## 2.2 Thermology and meteorology

Some historians (Targioni Tozzetti 1780, pp 163-180; Middleton 1971, pp. 46-47, Boschiero 2005, p. 86) suggested that an informal Academy, with an unclear structure, is likely to be born already in the 1640s under Grand Duke Ferdinando II: although its exact nature remains somewhat obscure, manuscripts held at the BNCF suggest that it comprised the same individuals who would later constitute the Cimento. It is possible that certain sessions of the Grand Duke's Academy continued in parallel even after the establishment of the Cimento. In this context, experimental meteorology began in Florence with the refinement of the thermometer, barometer, and hygrometer. Following Ferdinando II's early interest in meteorology, dating back to 1654, the study of meteorological phenomena developed at the Accademia del Cimento and then continued more or less uninterrupted until 1667. There are ten Galilean folders (from Gal. 296 to Gal. 307) recording these experiments, including many instrumental measurements of air humidity.

Simultaneously, the Cimento delved into thermology (Middleton 1971, pp. 270-274; Boschiero 2007, pp. 141-178), conducting numerous experiments related to the properties of heat and cold, as well as natural freezing processes (*“agghiacciamenti”*), which are widely discussed in the *Saggi*. Leopoldo de' Medici played a significant role in this endeavour, not only encouraging his academicians to explore these topics but also proposing innovative experiments himself.<sup>5</sup> The versatile and malleable nature of glass, often used in the construction of scientific instruments, made it the primary material for over a thousand devices, such as the ones depicted in Fig. 1. The Museo Galileo in Florence still houses around a hundred glass artifacts used at the Cimento for scientific purposes, spanning pneumatics, thermology, meteorology, and other fields.



**Fig. 1.** BNCF, Ms. Gal. 270, c. 3r. By permission of the ministry of culture - National Central Library of Florence (BNCF). Any further reproduction by any means is prohibited.

<sup>2</sup> The section “Esperienze varie fatte nel vuoto” (*Saggi*, 1667, pp. LXXVII-CXII) is dedicated to these experiments in a vacuum.

<sup>3</sup> The majority of experiments with various animals and insects in a vacuum were conducted in August 1662.

<sup>4</sup> BNCF, Ms. Gal. 260, c. 101v, 8 June 1660, also in: BNCF, Ms. Gal. 262, c. 73r.

<sup>5</sup> “Esperienza del Serenissimo Principe Leopoldo contro gli atomi frigoriferi”, BNCF, Ms. Gal. 260, c. 27r, 19 December 1657, also in: BNCF, Ms. Gal. 262, c. 49v.

### 2.3 *Mechanics, optics and acoustics*

While constituting a minority of the Academy's experiments, mixed mathematics disciplines such as optics, acoustics, mechanics, and astronomy warrant attention. Academicians investigated an array of topics, including the weight, specific gravity, and incompressibility of liquids, the movement of water in rivers, the behaviour of falling objects, and the motion and trajectory of projectiles, the latter also appearing in a section of the *Saggi* (pp. CCXXXVII-CCLI). Almost everything that has been written about the Cimento so far concerns experimental mechanics.

Experimental optics at the Cimento was only approached in 2009 by the historian of science Susana Gómez, who mainly focused her attention to the observations appearing in the *Saggi* in the section dedicated to light and its 'movements' (pp. CCLXV-CCLXVII), neglecting the diaries. These published experiments explored fluorescence phenomena and the ignition of materials by reflection of light rays: being alchemical in nature, they exemplify the difficulty of using fields to classify the Cimento's activity in historical categories. The Academy possibly had little interest in optics (Middleton 1971, pp. 276-277), only performing abortive attempts to measure the speed of light (sometimes in analogy with the speed of sound and the experiment on reflection from a glass surface in vacuo, which are both published in the *Saggi* (pp. LXXXII and CCLXV). Additionally, studies of light propagation were carried out, involving the behaviour of flames observed through water-filled tubes, in different replicas and variants,<sup>6</sup> and the "second reflection" of candlelight from the back of a glass.<sup>7</sup>

Cimento's work in experimental acoustics was notable. The historian Luciano Boschiero (2007, pp. 52-55) considered the Academy's investigations into the speed of sound, which were central concerns for the potentially existent informal Academy of the Grand Duke, who was deeply interested in the topic. With an experiment carried out on 10 October 1656 and repeated two days later, Viviani demonstrated the equality of the speed of sound (i.e., the constancy of its speed regardless of the distance travelled), giving an estimate of the geographical distance between the Villa della Petraia and the Medici Palace.<sup>8</sup> Accurate results were obtained thanks to the use of two-wire pendulums with an oscillation period of half a second. Other participants involved in the acoustic observations were the physicist Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679), Aristotelian Carlo Rinaldini (1615-1698), court artisans like watchmaker Johann Philipp Treffler (1625-1698) and members of the Medici family. The experimental findings of the 1650s and those obtained in the following decade were compiled within the *Saggi*, which include a section reserved to the propagation of sound and its speed (pp. CCXXXI-CCXXXV), well-estimated as 1 Tuscan Mile in 5 seconds.

A detailed examination of the manuscripts reveals that the acoustic experimental program in Florence was more complex. Particularly in the 1660s, the Cimento seemed more concerned, consistent with the wider interests of natural philosophy across Europe, with establishing whether sound propagated in water and in a vacuum. Experiments were typically performed using pocket clocks submerged in water or enclosed in vessels with controlled vacuum levels: the challenge was to prevent the sound source from contacting any solid material, like the vessel's walls. A more sophisticated version of an experiment recorded in the diaries, which made use of a rattle ringing in a vacuum, was included in the *Saggi* (pp. LXXXVI-C).<sup>9</sup> Furthermore, the scholars tried to visualize the propagation of sound through

<sup>6</sup> BNCF, Ms. Gal. 260, c. 259r, 25 August 1657, also in: BNCF, Ms. Gal. 262, c. 28v, also (with different words) in: BNCF, Ms. Gal. 261, c. 93-94, n. 135, 26 August 1657. Variants of the experiment in: BNCF, Ms. Gal. 261, c. 40r, n. 100, 4 August 1657; BNCF, Ms. Gal. 261, c. 97, n. 148 (repetition of n. 135), 1 September 1657; BNCF, Ms. Gal. 260, c. 38r, 7 September 1657.

<sup>7</sup> BNCF, Ms. Gal. 262, c. 73r-v, 8 June 1660, also in: BNCF, Ms. Gal. 260, c.161r-v. On this occasion, they specifically mentioned Kepler's *Ad Vitellionem Paralipomena* (1604).

<sup>8</sup> Viviani, V. (no date). Letter to Ferdinando II de' Medici, no place. BNCF, Ms. Gal. 286, doc. 23, c. 39r-40r; Viviani, V. (no date – post 10 October 1656). Letter to unknown, no place. BNCF, Ms. Gal. 268, doc. 12, c. 155r-158v, 165r.

<sup>9</sup> BNCF, Ms. Gal. 263, c. 107r.

the ripples in the water that it created, in analogy with circles produced by a stone thrown into a liquid.<sup>10</sup> They were able to experimentally demonstrate, against ancient traditions and theories, that both the size and speed of the ripples were influenced by the stone's size and the force of its throw – the larger the stone and the stronger the throw, the quicker the circles reached the shore.<sup>11</sup>

#### 2.4 Other experiments

Some experiments on the electrical properties of amber and various substances were conducted at the Cimento and are described in the *Saggi* (pp. CCXXVII-CCXXXIII). In the spring of 1667, the book was printed and delivered by Secretary Lorenzo Magalotti to the Royal Society. Henry Oldenburg (1618-1677) reported some of the original titles (in Italian) of the sections of the book, including experiments on air pressure, artificial freezing, compression of water, motion of sound, and others. He then informed Robert Boyle (1627-1691) that the Italians' 'pompous Book' lacked novelties in natural philosophy, except for a few observations on the electrical properties of amber and the practical use of sound to measure physical distances.<sup>12</sup> The Cimento also conducted experiments on magnetic attraction between magnets and needles, even with the interposition of various substances (such as sand, oil, paper, inflamed alcohol, and others), finding the attraction to be constant. In the *Saggi*, a section is devoted to magnetic phenomena (pp. CCXXVII-CCXXV).

The academicians in Florence also focused on the behaviour of metals, described minerals and stones, obtained pigments such as tinctures made from roses, conducted distillation and combustion experiments on substances, and investigated colour changes in various liquid mixtures. These numerous observations can be categorized within the broader field of 'chymistry', spanning from alchemical to chemical practices.

Finally, the Cimento's program included an analysis, although not in great depth, of the nature of life, the structures and forms of living bodies, reflecting the growing importance of medical subjects in Europe since the early seventeenth century. Middleton (1981, p. 279) suggested that the naturalist Francesco Redi (1626-1687), who became the first physician at the court of the grand dukes of Tuscany in 1666, might have been the driving force behind such observations. This is particularly relevant to the 1660 experiment on the effects of snakebites, in which the academicians caused a viper to bite a rooster, revealing that the rooster's blood had clotted in the ventricles and the vena cava, resulting in suffocation.<sup>13</sup> Additionally, scholars used a microscope to observe animals such as flies, fleas, and worms, as well as to analyse extracts of red roses (frequently used in their alchemical experiments), fine dense cloth, and leaf galls.<sup>14</sup> Notably, all microscopic observations were carried out in the summer and fall of 1657. However, the records of botanical observations at the Cimento, as documented in the diaries, are relatively scarce. Similarly, there are limited references to geology in the same sources, with the only observation being related to a Vesuvius eruption in 1660, in which high clouds of smoke mixed

<sup>10</sup> BNCF, Ms. Gal. 261, c. 36r, n. 62, 5 July 1657, also (with different words) in; BNCF, Ms. Gal. 260, c. 244r.

<sup>11</sup> BNCF, Ms. Gal. 262, c. 132r, 18 January 1661 (corrected in pencil with the year 1662 by modern hand).

<sup>12</sup> "Meantime, I understand there is nothing new in it, as to us, except it be perhaps some experiments of Amber, and a way of making a mapp of a country by sounds." Oldenburg, H. ([1668]) Letter to Robert Boyle, London, 17 March 1667. Early Letters, EL/OB/85, The Royal Society Archives, London. See: Feingold (2009, p. 140, note 22). Even before receiving the richly bound copy, however, Oldenburg already reported to Robert Boyle the arrival of the book. See: Oldenburg, H. (1667 [1668]) Letters to Robert Boyle, London, 11, 18, 25 February and 3, 10 March. Early Letters, EL/OB/80-81-82-83-84, The Royal Society Archives, London.

<sup>13</sup> BNCF, Ms. Gal. 260, c. 109r-v, 28 June 1660, also in: BNCF, Ms. Gal. 262, c. 83r-84r.

<sup>14</sup> BNCF, Ms. Gal. 260, c. 49r, 3 August 1657; BNCF, Ms. Gal. 261, c. 40r, n. 102, 4 August 1657; BNCF, Ms. Gal. 260, c. 63r, 6 September 1657, also in: BNCF, Ms. Gal. 262, c. 31r-v; BNCF, Ms. Gal. 261, c. 53r, n. 193, 9 October 1657; BNCF, Ms. Gal. 260, c. 49r, 13 August 1657; BNCF, Ms. Gal. 260, c. 47r, 4 September 1657; BNCF, Ms. Gal. 261, c. 47v, n. 161, 11 September 1657.

with ash silently rose from the previously opened craters of the volcano.<sup>15</sup> It is possible that the Medici considered experiments in the natural sciences as tangential to the Academy's primary goals.

### 3. Astronomical observations and notes

In contrast to the predominantly unpublished physics experiments, much has been explored regarding the Academy's astronomical activities, which are completely absent in the *Saggi*. Historians have primarily focused on two notable disputes in which the Cimento was involved. One of these disputes concerned telescopic observations of the planet Saturn (Van Helden 1973; Van Helden 1974; Boschiero 2005; Giannini 2019). The Dutch astronomer Christiaan Huygens' (1629-1695) interpretation of the Saturnian system, with its thin, detached ring, was met with skepticism by figures like the French Jesuit Honoré Fabri (1608-1688). The Cimento, led by Prince Leopoldo de' Medici, served as a scientific tribunal during this debate: the diaries reveal that some astronomical discussions took place on a few meetings. In July 1660 Huygens' *Systema Saturnium*, published in 1659 and dedicated to Leopoldo, and Eustachio Divini's (1610-1685) *Brevis annotatio in Systema Saturnium Christiani Eugenii* (1660), also dedicated to the prince, were read.<sup>16</sup> In the following months, two of the affiliated with the Academy, Giovanni Alfonso Borelli and Carlo Roberto Dati (1619-1676), discussed on these books.<sup>17</sup> Finally, September 1660 was a month fully devoted to direct observation of the planet aimed at solving the great dispute,<sup>18</sup> ultimately confirming the accuracy of Huygens' theories.

Another significant astronomical dispute in 1664, the '*paragone degli occhiali*' (Righini Bonelli & Van Helden 1981), involved a competition to determine the superior Italian telescope maker between Divini and Giuseppe Campani (1635-1715). Though the astronomical works of the Cimento have been considered by some historians as a digression initiated by Leopoldo for his personal satisfaction, other members of the Academy had an interest in astronomy. While the *Saggi* fail to mention of any astronomical studies, the Cimento engaged in various celestial observations, including comets, lunar and solar eclipses (Middleton 1971, pp. 256-62; Boschiero 2007, pp. 195-231), phases of Venus, and planets like Jupiter and Mars. The latter planet drew attention due to observations suggesting its rotation and the presence of surface features. While some members discussed this topic, it was never a primary focus of the Academy, and the astronomical observations of Mars conducted by the Cimento were never as precise as those of Giovanni Domenico Cassini (1625-1712).<sup>19</sup>

Finally, the academicians engaged in observing Jupiter's satellites, the so-called 'Medicean Stars', specifically their eclipses, occultations, conjunctions, and transits, using telescopes made by Campani.<sup>20</sup> In 1665, when Cassini visited Florence, seeking validation for his ephemerides,<sup>21</sup> the internal

<sup>15</sup> BNCF, Ms. Gal. 260, c. 112v, 22 July 1660.

<sup>16</sup> BNCF, Ms. Gal. 260, c. 119r-120v, 17 and 20 July 1660, also in: BNCF, Ms. Gal. 262, c. 93r-v.

<sup>17</sup> BNCF, Ms. Gal. 260, c. 129v, 132v, 7 and 17 August 1660, also in: BNCF, Ms. Gal. 262, 102r, 105r.

<sup>18</sup> BNCF, Ms. Gal. 260, c. 136v, 1 September 1660, also in: BNCF, Ms. Gal. 262, c. 109v-110r.

<sup>19</sup> "[...] discorsi et osservazioni del Sig.r D. Cassini sopra Marte li quali ora sento esser stati veduti e considerati da V.S. con molta avvedutezza, e se ho da parlare con sincerità, quantunque poco questo pianeta sia stato osservato da noi benché con occhiali perfetti, non però ci è riuscito il vedervi le macchie con tal distinzione da poterne formare un disegno ben aggiustato, onde concorro con V.S. di non meravigliarsi se vi sono controversie sopra la loro vera configurazione. Lasciando poi alla verità il giudizio di chi il primo ne sia stato il scopritore", in: de' Medici, L. (1666). Letter to Christiaan Huygens, no place, no day. BNCF, Ms. Gal. 282, doc. 114, c. 139r-140v.

<sup>20</sup> "Qua posso dirle che si son fatte molte osservazioni intorno a Giove, tanto circa l'ombre de' pianetini che l'ombre che sono fisse intorno, o sopra al disco del medesimo Giove" in: de' Medici, L. (1665). Letter to unknown, Florence, 8 may. BNCF, Ms. Gal. 282, doc. 88, c. 112r; Viviani, V. (1665). Letter to Leopoldo de' Medici, Sarteano, 5 July. BNCF, Ms. Gal. 277, doc. 142, c. 200r-201v; de' Medici, L. (1665). Letter to Vincenzo Viviani, Florence, 11 July. BNCF, Ms. Gal. 282, doc. 94, c. 119r-v.

<sup>21</sup> "Il Sig.r Cassini che è stato oggi qui [...] mi prega a supplicar come fo reverentemente l'A.V. a fargli pervenire qualche notizia dell'osservazioni fatte [...] con l'occhiale del [Giuseppe] Campani o d'altri, e particolarmente intorno a quell'ombre

correspondence between Leopoldo, Viviani and Borelli on this astronomical topic intensified, ultimately leading to Borelli's work *Theoricae Mediceorum Planetarium* (1666), commissioned by Ferdinando II and dedicated to him. The Cimento thus served as a testing ground for Cassini, who ultimately published in 1668 his new accurate ephemerides which shortly enabled a practical method to determine geographical coordinates, especially longitude, a theme that overlapped with discussions about the propagation of sound in Viviani's documents.

The reconstruction of this history of astronomical observations at the Court of Ferdinando II reveals a transition and an exchange of knowledge among scholars. It emphasizes the Cimento's dedication to confirming previously compiled tables, showcasing the Academy's receptivity to external influences and ideas. Furthermore, this case study illustrates that the Cimento's activities were not isolated but rather part of a broader dialogue with external scholars. The Academy welcomed external correspondents, including some of the foremost intellectuals of the time. For example, Cassini, though never being affiliated with the Cimento, received exceptional treatment and recognition from Prince Leopoldo. As he himself noted, it was an "inestimable honor"<sup>22</sup> to be recognized as a participant in the Cimento's meetings.

#### 4. Conclusions

In conclusion, this study has unveiled previously unpublished or overlooked observations in the fields of astronomy and physics at the Accademia del Cimento. A comprehensive examination of these records, particularly the diaries, has helped to trace the origins of the Academy's experimental activity whether rooted in the interests of the Medici family or reflecting the natural philosophy debates characteristic of Early Modern Europe. The unpublished records also emphasize the role played by each scholar during the academic sessions, revealing different interests and inclinations. Although the *Saggi* do not credit the academicians by name, the manuscripts provide insight into their individual contributions, whether as proposers or executors of experiments. Furthermore, these documents underscore the importance and distinctiveness of the scientific instruments employed at the Medici court, which were indispensable for the Academy's experimental practices and were described as drawings and engravings both in the manuscripts and in the official publication.

In the realm of physics, the diaries reveal the meticulousness and precision with which the Cimento explored various physical phenomena, ranging from pneumatics and thermology to acoustics, and more. The paper also unravels some hitherto neglected aspects of astronomical observations, particularly the study of Jupiter's satellites, adding to our understanding of the Cimento's extensive and diverse experimental activities.

Incorporating these overlooked facets into the existing historiography of the Cimento enriches our comprehension of the Academy's tenure, revealing the collaborative, inquisitive nature of its work and its openness to external influences and ideas. Comprehensive reading and analysis of the manuscripts are still strongly needed to unveil new aspects of the Cimento's history.

#### Acknowledgments

I express my gratitude to Professor Salvatore Esposito, President of SISFA, for including my contribution from the 2022 Congress in Perugia in the proceedings of the Society's 2023 Conference.

---

de pianetini sopra a Giove con ogn'altro ragguaglio circa quanto egli aveva pronosticato", in: Viviani, V. (1665). Letter to Leopoldo de' Medici, Sartiano, 29 July. BNCF, Ms. Gal. 277, doc. 149, c. 208r-209r.

<sup>22</sup> "Ricevo [...] il prezioso tesoro delle esperienze stampate dalla sua nobilissima Accademia et insieme l'onore inestimabile d'esser annoverato fra quelli, a quali s'è degnata di parteciparle", in: Cassini, G.D. (no date). Letter to Leopoldo de' Medici, Bologna. BNCF, Ms. Gal. 280, doc. 44, c. 87r.

### Disclosure of funds

This result is part of a project that has received funding from the European Research Council (ERC) under the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme (TACITROOTS, PI: Giulia Giannini, Grant agreement No. n. 818098).

### Bibliography

- Abetti, G. & Pagnini, P. (eds.) (1942). *Opere dei discepoli di Galileo Galilei. Ed. Nazionale. Vol. 1: L'Accademia del Cimento*. Florence: Barbèra.
- Beretta, M. (2000). "At the source of western science: The organization of experimentalism at the Accademia del Cimento (1657-1667)", *Notes and Records of the Royal Society of London*, 54(2), pp. 131-151.
- Boschiero, L. (2005). "The Saturn Problem. Natural Philosophical Reputations and Commitments on the line in 1660 Tuscany", in Anstey, P.R. & Schuster, J.A. (eds.) *The Science of Nature in the Seventeenth Century*. Studies in History and Philosophy of Science 19. Springer: Dordrecht, pp. 185-213.
- Boschiero, L. (2007). *Experiment and Natural Philosophy in Seventeenth Century Tuscany*. Dordrecht: Springer.
- Feingold, M. (2009). "The Accademia del Cimento and the Royal Society", in Beretta, M., Clericuzio, A. & Principe, L. (eds.) *The accademia del Cimento and its European context*. Sagamore Beach, MA: Science History Publications, pp. 229-42.
- Giannini G. (2016). "Un'«esperienza gentile»: fumo nel vuoto e leggerezza positiva all'Accademia del Cimento", *Galilaeana*, XIII, pp. 77-109.
- Giannini, G. (2019). "An indirect convergence between the Accademia del Cimento and the Montmor Academy: the «Saturn dispute»", in Giannini, G. & Feingold, M. (eds.) *The Institutionalization of Science in Early Modern Europe*. Leiden, The Netherlands: Brill, pp. 83-108.
- Gómez, S.L. (2009). "Experiments and Thoughts on Light around the Accademia del Cimento", in Beretta, M., Clericuzio, A. & Principe, L. (eds.) *The accademia del Cimento and its European context*. Sagamore Beach, MA: Science History Publications, pp. 45-58.
- Magalotti, L. (1666). *Saggi di naturali esperienze fatte nell'Accademia del cimento sotto la protezione del serenissimo principe Leopoldo di Toscana e descritte dal segretario di essa accademia*. Florence: Giuseppe Cocchini.
- Middleton, W.E.K. (1971). *The experimenters: A study of the Accademia del Cimento*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Righini Bonelli, M.L. & Van Helden, A. (1981). "Divini And Campani: A Forgotten Chapter in the History of the Accademia del Cimento", *Annali dell'istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze*, 6(1), pp. 3-176.
- Van Helden, A. (1973). "The Accademia del Cimento and Saturn's ring", *Physis*, 15, pp. 237-59.
- Van Helden, A. (1974). "'Annulo cingitur': The solution of the problem of Saturn", *Journal for the History of Astronomy*, 5, pp. 155-74.

### Archival Sources

- Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze (BNCF), *Fondo galileiano*, Ms. Gal. 260, 261, 262, 268, 270, 277, 280, 282, 286.
- Royal Society Archives, Early Letters, EL/OB/80-81-82-83-84-85.



# Personalities and Places of Physics and Astronomy in Padua from Galileo to the 20<sup>th</sup> Century

Giulio Peruzzi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> DFA-Università di Padova, giulio.peruzzi@unipd.it

*Abstract:* Galileo, one of the founding fathers of the new science, spent eighteen fruitful years in Padua from 1592 to 1610. But modern physics and astronomy would fully enter the university system more than a century later: in Padua, in particular with Giovanni Poleni and Giuseppe Toaldo. The talk traces the development of physics and astronomy in Padua, focusing on some of the significant places and personalities, without neglecting the events that, in the second half of the 20th century, would involve Padua in the birth of new public research institutions, in particular the National Institute of Nuclear Physics (INFN) and the National Institute of Astrophysics (INAF).

# **An Imperial Total Solar Eclipse: 8 July 1842**

Simone Zaggia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INAF-Osservatorio Astronomico di Padova, [simone.zaggia@inaf.it](mailto:simone.zaggia@inaf.it)

*Abstract:* In the early hours of 8 July 1842, a total solar eclipse crossed Europe, passing through the major cities of the Habsburg Empire: Milano, Venezia, Gratz, Wien, Bratislava, Budapest, Lviv. The eclipse attracted a great deal of attention from astronomers because of the many observatories along its path. At the Astronomical Observatory of Padua, the director Giovanni Santini (1787-1877) was ready to observe it together with his assistants Gaetano Pietropoli (1814-1847), Carlo Conti (1802-1849) and Captain Wilhelm von Biela (1782-1856), the discoverer of the famous comet 3D/Biela. We have illustrated the eclipse through Santini's reports and Biela's rediscovered original drawings of the eclipsed Sun. The scientific implications of the observations have been discussed.

# Temistocle Calzecchi Onesti Lab in Fermo and the Maggiori Sisters

Oronzo Mauro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Independent Researcher – SISFA, oronzo.mauro@tiscali.it

*Abstract:* In 1889, the physicist Temistocle Calzecchi Onesti (Lapedona 1853 – Monterubbiano 1922), the inventor of the coherer, organized a visit to the physics laboratory of the Royal Classical Lyceum Annibal Caro in Fermo for the Maggiori sisters. The physicist from Fermo, who discovered in 1883 the detecting properties of electromagnetic waves by a glass tube filled with metal filings, took care of the education of these two disadvantaged girls who were deaf and mute.

The visit to the laboratory was an exciting experience for the sisters, which they recorded in their diary in 1889. In my presentation, I will talk about the ancient physics laboratory of Professor Temistocle Calzecchi Onesti through the eyes of the Maggiori sisters. In the same laboratory, where Prof. Calzecchi was the director, the physicist Oreste Murani, the architect Giuseppe Sacconi, and the future Minister of Posts and Telegraphs, Enrico Stelluti Scala, also studied. In August 1904, Stelluti Scala, together with Guglielmo Marconi, conducted in Ancona the famous transmission experiments known as the “Monte dei Cappuccini” experiments, thanks to Temistocle Calzecchi Onesti’s coherer.



HISTORY OF PHYSICS AND ASTRONOMY  
IN THE 20<sup>th</sup> CENTURY



# Cosmology at a Crossroad: The 1958 Solvay Congress\*

Helge Kragh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Niels Bohr Institute, University of Copenhagen, Denmark, helge.kragh@nbi.ku.dk

*Abstract:* During the 1950s physical cosmology was in a state of transition characterized by the rivalry between relativistic evolution theories and the new, radically different steady-state theory. Remarkably, big-bang theories played almost no role at all until they were revived in 1964-1965. The Solvay physics congress in June 1958 on “The Structure and the Evolution of the Universe” was the first major international conference ever devoted to cosmology, a field which was still widely considered to be semi-philosophical rather than genuinely scientific. The question of whether the universe could be ascribed a definite age was typically evaded or denied scientific legitimacy. The congress in Brussels offers an interesting perspective of the state of art of cosmology at the time and of how mainstream physicists and astronomers looked upon the possibility of establishing a theory of the universe as a whole. The invited participants in Brussels included the leading steady-state theorists Fred Hoyle, Thomas Gold, Hermann Bondi, and William Hunter McCrea, whereas George Gamow was not invited and his nuclear-physical explosion theory of the early universe not even mentioned. With the Solvay conference as the pivotal point, this paper offers an account of how cosmology changed in the pre-big-bang era from about 1950 to the early 1960s, before the cosmic microwave background radiation entered the scene.

*Keywords:* Cosmology, Universe, Solvay Conferences, Steady-State Theory, Radio Astronomy.

## 1. A brief summary of cosmology 1948-1958<sup>1</sup>

By the late 1940s it was generally agreed that the universe expands and that its age could be expressed by a Hubble time  $T$  of approximately 1.8 billion years. Unfortunately, this value was much shorter than the age of the stars and even the Earth. This so-called timescale difficulty only eased in 1952, when Walter Baade announced a revised timescale twice as long. Six years later, Allan Sandage (1958, p. 525) concluded that the age of the universe  $t^*$ , based on the flat Einstein-de Sitter model where  $t^* = 2T/3$ , was between 6.5 and 13 billion years. “There is no reason to discard exploding world models on the evidence of inadequate time scale alone,” he wrote. With the term “exploding world models” he may have had in mind the big-bang theory of the early universe developed by Gamow and his collaborators Ralph Alpher, Robert Herman, and James Follin in a series of papers between 1948 and 1953.

Gamow’s ambitious aim was to account for the formation and abundance of elements in terms of thermonuclear processes taking place in the very early and very hot universe. In the course of this work Alpher and Herman recognized in 1948 that, as a result of the transition from a radiation-dominated universe to one dominated by matter, there would be produced a still existing cosmic background radiation. They estimated its present wavelength to lie in the microwave region and its intensity, as given by the temperature, to be about 5 K. Strangely from a later perspective, this prediction of a cosmic microwave background aroused no interest from physicists and astronomers outside the Gamow group. As far as element formation is concerned, it followed from the theory that the abundance of primordial helium was somewhere between 15 and 36 per cent by mass, but all attempts to build up heavier elements

---

\* This keynote lecture was presented at the *XLII SISFA Congress*, Perugia, September 26-29, 2022.

<sup>1</sup> For references and more details, see, for example: Bertotti *et al.* (1990) and Kragh (1996).

failed. To make a long story short, after 1953 the Gamow theory (as I shall call it for the sake of brevity) came to a halt. It was further developed only a decade later and then by physicists who came to the hot big bang independently of Gamow's earlier theory.

In 1948, three British physicists – Hoyle, Bondi, and Gold – introduced a new cosmological theory that differed radically not only from Gamow's but also from other models based upon the field equations of general relativity. The steady-state theory, on the other hand, did not admit general relativity to be cosmologically valid and it assumed as a fundamental postulate that the large-scale features of the universe are independent of time. Since the universe expands and the average density of matter remains the same, new matter must be created continually through space if at an exceedingly low rate, namely  $10^{-43}$  g/cm<sup>3</sup>/s. The matter creation was *ex nihilo*, meaning that the theory violated the fundamental law of energy conservation.

It further followed from the steady-state theory that space must be Euclidean (hence infinite) and expand exponentially, corresponding to a deceleration parameter  $q_0 = -1$ .<sup>2</sup> Moreover, galaxies were formed at all times and thus could have widely different ages contrary to the situation in the relativistic evolution models. Finally, it goes without saying that the steady-state universe was eternal in both the past and the future, and also that element synthesis was limited to the interior of stars of different kinds (Section 4).

To discriminate observationally between relativistic expansion models and the steady-state model, astronomers made use of the redshift-magnitude method with roots in the 1930s. By means of this method the space curvature as given by  $q_0$  could in principle be found by measuring the redshifts and apparent magnitudes of a large number of galaxies or clusters of galaxies. In 1956 Sandage believed to have established a value of  $q_0$  much larger than the one predicted by the steady-state theory, but his data were questioned by other astronomers. Despite much work the method did not yield results that unambiguously ruled out the theory of Hoyle and his allies. Although redshift-magnitude observations provided evidence that decreased its credibility, they did not disprove the steady-state universe.

The new science of radio astronomy promised to do better, such as suggested by Martin Ryle and other specialists. With his research group in Cambridge, Ryle studied the correlation of the flux density of radio sources and the number of the sources. The data by this method would – again in principle, but possibly also in practice – show if the universe was in a steady state or not. Ryle had little respect for cosmological theories and disliked the steady-state theory in particular. By the mid-1950s he thought that the Cambridge data were irreconcilable with this theory, but – not unlike the case of Sandage – his conclusion was premature and contradicted by results obtained by other radio astronomers (Section 5).

It needs to be emphasized that still in the 1950s cosmology was widely regarded as a low-status branch of research and not as a respected scientific discipline. Physicists and astronomers engaged in the study of the universe at large were not “cosmologists” and they disagreed to some extent on the fundamental aims, criteria, and methods of cosmology. The lack of professional and disciplinary maturity was, for example, reflected in a public discussion of 1954 between Bondi and the British physicist and astronomer Gerald Whitrow on whether or not physical cosmology qualified to be called a science (Whitrow & Bondi 1954; Kragh 2022). According to some prominent scientists in the period, the choice between cosmological models was as much based on philosophical and aesthetic criteria as on scientific and empirical reasoning. To mention but one example, in 1953 the Swedish theorist Oskar Klein stated that cosmology was a field in which “personal taste will greatly influence the choice of basic hypotheses” (Kragh 1996, p. 223). According to Walter Baade, another participant at the 1958 Solvay conference, theoretical cosmology was “a waste of time” (Osterbrock 2001, p. 205).

---

<sup>2</sup> With  $H$  the Hubble constant,  $R$  the scale factor, and  $\dot{R} = dR/dT$ , the dimensionless deceleration parameter is defined as  $q_0 = -(\dot{R}/RH^2)_0$ .



The immature state of cosmology in the 1950s can be further illustrated from a more sociological perspective. First of all, with an average output of about thirty scientific papers per year, it was a very small field. It lacked social institutionalization in the sense that there were neither university departments nor academic chairs in the subject. To the limited extent that physics and astronomy students were taught cosmology, it was typically as an appendix to courses in astrophysics or general relativity. Textbooks were not missing, but they were few, rarely used in courses, and in some cases not up to date. Worth of mention is Bondi's *Cosmology* published in 1952 with a revised edition four years later. While this book gave much space to steady-state theory, other books more or less defined cosmology as a branch of applied general relativity, such as was the case with George McVittie's *Cosmological Theory* from 1949. In 1950, the French astrophysicist Paul Couderc published a book which two years later appeared in translation as *The Expansion of the Universe*. Couderc (1952, p. 220) was in favour of evolutionary cosmology based on relativity theory and only dealt briefly and critically with the "risky and over-imaginative" steady-state theory. Incidentally, Gamow's name appeared once in Couderc's book and not at all in Bondi's from the same year.

## 2. Some earlier conferences

Although the 1958 Solvay congress was the first international meeting exclusively devoted to cosmology, it was not the first meeting in which physicists and astronomers discussed topics of a cosmological nature.<sup>3</sup> A session of the British Association for the Advancement of Science in October 1931 arguably qualifies as the first conference in this category (De Baerdemacker & Schneider 2022). Organized by Herbert Dingle, a young British astrophysicist, the session included contributions by some of the leading cosmologists of the period such as James Jeans, Arthur Eddington, E. Arthur Milne, and Willem de Sitter, who all discussed various aspects of the new expanding universe. Another participant was Lemaître, who used the occasion to introduce and promote his daring hypothesis of a primeval atom out of which the present universe had been formed.

Of interest is also a symposium held at the University of Notre Dame, Illinois, in 1938 on "The Physics of the Universe and the Nature of Primordial Particles." It has, perhaps somewhat questionably, been called "the first conference entirely dedicated to the question of cosmology" (Wiescher 2017, p. 45). Arranged by the Austrian-American physicist Arthur Haas, it focused on the physical aspects of cosmology and the relation of this science to the new fields of particle and cosmic-ray physics. Among the speakers were Lemaître, Harlow Shapley, and Carl Anderson, the discoverer of the positron and the mysterious meson or "mesotron" later recognized to be a muon.

The subject of the eighth Solvay congress in 1948 was the physics of elementary particles (Mehra 1975, pp. 239-262). Nonetheless, this meeting also included a contribution to cosmology, a weighty report on the formation of elements in the universe prepared by the Chicago physicists Edward Teller and Maria Goeppert Mayer. While Teller was invited to Brussels, Mayer was not. The report is of interest not least because it discussed, critically and in some detail, the latest version of the big-bang neutron capture theory proposed by Gamow, Alpher, and Herman. This theory was still largely unknown or at least unappreciated in Europe, and so Teller's address effectively introduced Gamow's cosmology to the audience of European physicists gathered in Brussels. Among those who commented on the address was Klein, who at the time had begun working on cosmological problems. He suggested a new "close understanding of the cosmological problem connected with the redshift of the spiral nebulae" (Stoops 1950, p. 87).

The problem of element formation was also discussed at a conference on nuclear astrophysics taking place in Liège, Belgium, in September 1953. This was one of the very few occasions at which steady-

---

<sup>3</sup> References to these early conferences can be found in: Kragh (1996).

state physicists (Bondi and Gold) met with big-bang physicists (Alpher and Herman). Without endorsing the theory of Hoyle and his allies, most participants ignored or rejected the big-bang theory and its view of element formation. As the French astrophysicist Evry Schatzman commented: “The problem is to study under which conditions the actually observed abundance of the elements have been produced, and not to invent a state of the universe completely different from the one of its actual state” (Ledoux 1954).

Two years later, a large number of physicists convened in Berne, Switzerland, to celebrate the fiftieth anniversary of Einstein’s theory of relativity (Kiefer 2020). Several of the many speakers, among them Howard P. Robertson, Hoyle, Bondi, Otto Heckmann, and Pascual Jordan, addressed questions of cosmology. None of them referred to Gamow’s theory of an explosive universe or, for that matter, to Lemaître’s earlier version of it. In his detailed review of relativistic cosmology, Robertson noted that the accepted value of the Hubble parameter, which he took to be  $H_0 = 180$  km/s/Mpc corresponding to a Hubble time  $T_0 = 1/H_0 = 5.4 \times 10^9$  years, was still in conflict with the age of the oldest stars. This made him to reconsider a positive cosmological constant, whereas generally this constant was assumed to be zero. Contrary to the role that cosmology played in the Berne conference, the subject only appeared peripherally in the 1957 Chapel Hill conference, another of the important events in the renaissance of general relativity. As Peter Bergmann (1957) argued, “Cosmology is a field of its own and, at least at present, not intimately connected with the other aspects of general relativity to which this conference has been devoted”.

### 3. The 1958 Solvay congress

The theme of the tenth Solvay conference on physics, which took place 13-17 September 1954, was “The Electrons in Metals.” When the subject of the following conference had to be decided, Lawrence Bragg, president of the scientific committee, consulted another committee member, the Danish theoretical physicist Christian Møller: “A Solvay Conference on ‘The Structure of the Universe’ would bring together Cosmologists, Physicists and Astronomers, including Radio Astronomers, and the idea of such a Conference appeals to me strongly”, he wrote in a letter of 25 January 1957 (Niels Bohr Archive, University of Copenhagen). Møller wholeheartedly supported the idea and so did other members of the scientific committee, including Wolfgang Pauli, J. Robert Oppenheimer, and Francis Perrin.

It is worth observing that none of the committee members (which also included Nevill Mott, Cornelis Gorter, and Frans van den Dungen) were experts in either cosmology or astrophysics. The eleventh congress was originally scheduled for September 1957, but on the suggestion of Bragg it was postponed to June 1958 so that the participants could visit the large international exhibition in Brussels known as Expo 58 and its famous landmark, the Atomium tower.

As usual, the Solvay congress included, apart from the committee members, a number of invited speakers, discussants, and so-called reporters, among which were Klein from Sweden, John Wheeler from the United States, and the four British steady-state advocates Hoyle, Bondi, Gold, and McCrea. Lemaître from Belgium gave the opening talk. About half of the participants were astronomers or astrophysicists, including Heckmann and Engelbert Schücking from West Germany, Bernard Lovell from England, Schatzman from France, Jan Oort from The Netherlands, Sandage and Harlow Shapley from the United States, and Viktor Ambartsumian from Soviet Russia (Fig. 1). Yet another of the prominent astronomers attending the meeting was Baade, who the following year would return to Germany after nearly three decades in the United States. Several of the participants in Brussels – among them Pauli, Møller, Hoyle, Bondi, Heckmann, and Klein – had also attended and given talks at the Berne relativity conference three years earlier.



**Fig. 1.** The 1958 Solway congress. Sitting at the table from the left: W. McCrea, J. Oort, G. Lemaître, C. Gorter, W. Pauli, W.L. Bragg, J.R. Oppenheimer, C. Møller, H. Shapley, and O. Heckmann. Standing from the left: O. Klein, W. Morgan, F. Hoyle, B.V. Kukarkin, H.C. van de Hulst, M. Fierz, A. Sandage, W. Baade, J. Wheeler, H. Bondi, T. Gold, H. Zanstra, L. Rosenfeld, L. Ledoux, A.C.B. Lovell, J. Géhéniau.

(Source: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solvay\\_conference\\_1958\\_g.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solvay_conference_1958_g.jpg))

Twenty-seven years after having introduced the primeval atom, in his 1958 Solway lecture, Lemaître elaborated on this subject essentially as he had originally conceived it. There was almost no sign in his talk of the advances in cosmology which had taken place during the last couple of decades. Unusually for a Solway lecture, Lemaître reflected on how science – in this case his cosmological theory – related to Christian faith. He, a Catholic priest, stressed that the big-bang theory of the primeval atom “remains entirely outside any metaphysical or religious question. It leaves the materialist free to deny any transcendental Being [God]”. Lemaître also considered the idea of an eternally cyclic universe or what he called a “Phenix universe”. However, although he found it to be “quite conceivable”, he concluded that “a useful cosmology can[not] be built by starting from a Phenix nucleon gas”.

On the more scientific side, Lemaître repeated from earlier writings that the cosmological constant – or what he called the “cosmical constant” – was an indispensable parameter in Einstein’s field equations, a view that Wheeler contradicted in his report. Siding with the deceased Einstein, he declared the cosmological constant to be artificial and unreasonable. Unaffected by his critics, by making use of a cosmological constant and assuming a Hubble time of 4 billion years, Lemaître came up with an age of the universe much larger than even the oldest stars and galaxies. “One may confidently put the age of the Universe somewhere between 20 and 60 times  $10^9$  years”, he stated. As indicated by the discussions following Lemaître’s talk, those listening to it chose to ignore his philosophical reflections and to disregard his speculations of a primeval atom, which at the time were scarcely taken seriously.

Given the state of affairs in physical cosmology at the time, one scientist was conspicuously missing in Brussels, namely George Gamow. In fact, not only was Gamow not invited, the nuclear-physical cosmology pioneered by him and his assistants was completely absent from the talks and discussions in Brussels. His name does not even appear in the 310-page proceedings volume. As there was no mention

of Gamow in Brussels, so there was no mention of the cosmic background radiation predicted from his theory as early as 1948. Of course, given the later development and Gamow's status as the father (or one of the fathers) of modern big-bang cosmology, it is most remarkable that the Solvay meeting proceeded as if he and his theory did not exist. Lemaître was alone in defending a finite-age universe with an explosive beginning, but he did so in his own primeval-atom version and without referring to Gamow's more advanced theory.

Gamow wanted very much to participate in the Brussels conference and told Pauli so. However, Bragg apparently refused to invite Gamow because there were no more vacancies, an excuse that Gamow (1970, p. 124) found hard to accept and interpreted as a result of his uncompromising opposition to the European steady-state cosmology. "I was not surprised (though somewhat disappointed) about the outcome", he wrote in his autobiography, "since I was an opponent of the steady-state theory" (Gamow 1970, p. 126). Although this theory was very much a British one (Kragh 1996, p. 378), there is no reason to suspect that Bragg should have favoured it for chauvinistic reasons and therefore kept Gamow away from Brussels. As Jane Gregory (2005, p. 106) points out in her biography of Hoyle, Bragg was a great supporter of Martin Ryle, who thoroughly disliked the steady-state theory and whose work in radio astronomy did much to discredit this theory.

At the time Gamow's theory of the early universe was widely considered to be wrong or at least inadequate, which may have been the chief reason why he was not invited. But there seems to have been other reasons as well, such as euphemistically suggested in a letter from Pauli (2005, p. 1208) to the Swiss physicist Jean Weigle:

You remember, that we talked about the fact, that he [Gamow] was *not* invited to the Solvay-meeting in Brussels. Now I just returned from there and heard the true reason for it: there is some trouble with the general conditions of his health, about the details I would prefer to talk rather than to write. I am very sorry for him.

The problem that Pauli did not want to write about was Gamow's excessive consumption of alcohol, which on occasions led to embarrassing scenes at meetings and conferences (Kragh 1996, p. 139; Harper 2001, p. 367).

Hoyle, who had come to Brussels after having attended a conference on radio astronomy in Paris, gave as the only one of the invited scientists two talks. One of them was on the steady-state theory and the other a review of nucleosynthesis in stellar bodies (Section 4). His fellow-cosmologist Gold spoke on "The Arrow of Time" and its significance in cosmology, whereas the contributions of Bondi and McCrea were limited to the discussion sessions.

The fact that no one except Lemaître supported theories of the big-bang type did not mean that most of the attendees in Brussels sympathized with the alternative steady-state theory. On the contrary, Lovell, Oort, and Sandage raised serious objections against this theory, and so did Heckmann, Møller, and Oppenheimer. The latter dismissed it as "quite wrong" (p. 296). Heckmann and his young collaborator Schücking criticized the steady-state theory on methodological grounds. Like many other critics, they objected to the element of continuous creation of matter (pp. 149-150):

A theory constructed on a sound foundation of empirical data ought not to be discarded unless there [*sic*] new facts turn up that cannot be fitted into the framework of this theory. [...] Ten years ago Bondi, Gold, and Hoyle launched their steady-state theory. They denied the validity of the laws of local conservation of energy and momentum [...] [but] it is sound policy to refrain from theorizing along the lines of Bondi, Gold, and Hoyle until there is strong empirical evidence for continuous creation of energy and momentum.

According to steady-state cosmology, but contrary to evolution theories based on general relativity, new galaxies were formed at all times. Thus, in any large volume of space there should be very young as well as very old galaxies, a prediction that Oort found to be contrary to observations. This was a main reason why he, at the end of the conference, concluded that “The observational data are in favour of the evolutionary picture and not in favour of the steady state picture” (p. 304).

The discussions in Brussels concerning the rival theories of the universe were on the whole technical and non-confrontational. Those in favour of an evolving universe governed by general relativity listened to and understood, and in some cases even appreciated, the arguments in favour of the steady-state universe, and vice versa. The two parties disagreed, but they spoke the same language. For example, even though Oppenheimer found the steady-state theory to be “quite wrong”, he recognized its force when it came to the area of stellar nucleosynthesis. “By providing an incentive for understanding the present state of the cosmos in terms of processes that can now be in progress, this theory has led to the beautiful work reported yesterday by Hoyle on element synthesis”, he said.

On the last day of the conference, Shapley expressed his thanks to Bragg for the way he had presided over the sessions. Alluding to what might have turned into an unpleasant clash between protagonists of two very different world views, he said (p. ix): “You have maintained a neutral – I might say neutron – pose during the turbulence, during negative and positive charges and countercharges, the explosions and implosions of gas and argument”.

#### 4. Nucleosynthesis

As to the scientific content of the Solvay meeting, I shall deal only with two topics that both were of central importance to the cosmological controversy. One concerns the formation of elements in either the interior of stars or in a primordial state of the universe, and the other is about the significance of radio astronomy as a test of steady-state cosmology in particular.

The problem of nucleosynthesis – to account for the formation and distribution of the chemical elements on a cosmic scale – was part and parcel of Gamow’s theory while it had a very different status in the steady-state theory (Kragh 1996, pp. 295-305). The problem was extraneous to the latter theory except that the origin of the elements could not possibly be ascribed to thermonuclear reactions in a hypothetical past state of the universe. The elements had to be formed at all times in existing sources such as stars and novae. In other words, it was an astrophysical problem and not, strictly speaking, a cosmological problem. And yet it was closely if indirectly related to cosmology. It followed from the Hoyle-Bondi-Gold theory that *all* the elements (except hydrogen) were formed in local astrophysical processes and that none of them required the extraordinary circumstances of a hot and very dense big bang. As to Gamow’s theory, it had at its disposal two nuclear furnaces, one cosmological and the other stellar, and thus cosmological nucleosynthesis, although essential, was not necessarily the source of the heavier elements. These could well have a stellar origin.

When Hoyle gave his Solvay lecture on “Origin of the Elements in Stars”, he had recently completed a comprehensive and impressively detailed theory of how the elements had come into being. What is known as the B<sup>2</sup>HF theory was the result of a collaboration which apart from Hoyle involved the Caltech nuclear physicist and later Nobel laureate William Fowler and also Margaret and Geoffrey Burbidge, a married couple of British astrophysicists. In a landmark paper published in 1957 in *Reviews of Modern Physics*, the four physicists were able to account for the origin and abundance of almost all elements and their isotopes, and to do so solely in terms of processes taking place in stars and supernovae. What Hoyle presented in Brussels was essentially a summary version of the B<sup>2</sup>HF theory based on an earlier article in the journal *Science*. The talk was strictly technical and limited to nuclear astrophysics with no explicit mention of cosmological models. In response to a question from the Dutch astronomer Hendrik van de Hulst concerning the universal amount of deuterium, Hoyle admitted that it might not be possible

to produce enough of this isotope in stellar processes. While this was a potential problem for the  $B^2HF$  theory, there was no deuterium problem in Gamow's big-bang theory.

Most of the discussion following Hoyle's report was concerned with astrophysical details, whereas the cosmological implications were only touched upon by two critics of the steady-state theory, namely Heckmann and Oppenheimer. For the latter's comment, see Section 3. Heckmann's question was this (p. 293): "As the discrepancy between the steady-state theory and the nonstationary models has always been in our minds during the discussions, I would be glad if Hoyle could tell us which of the processes he outlined are necessarily connected with the steady-state theory and which are not". Hoyle answered diplomatically that the  $B^2HF$  theory was consistent with "both types of cosmology, provided any superdense state of matter that may occur in non-stationary cosmology satisfies the requirement that matter emerges from the superdense state essentially as hydrogen". The "superdense state" was of course a reference to the big bang, a term Hoyle had coined in 1948 but which neither he nor others used at the Solvay conference. A similar passage appeared in the  $B^2HF$  paper, but of course Hoyle and his co-authors knew very well that the conditions of the early Gamow universe differed greatly from those in the stars, and so the admission was vacuous. At least indirectly, the success of the  $B^2HF$  theory weakened the appeal of the big-bang theory and strengthened that of the steady-state alternative.

As Bondi (1966, p. 400) later expressed it, the stellar theory of element synthesis was a "tremendous triumph" for the cosmological theory of which he had himself been one of the fathers. By that time the classical steady-state theory was barely alive, but Bondi still praised it for having led to great progress in nuclear astrophysics, much like Oppenheimer had done at the Solvay conference eight years earlier. Bondi found it fascinating "that a theory as uncertain as the steady-state theory should have inspired and directly caused one of the most important advances in physics during the last decade, an advance far more firmly grounded than the steady-state theory itself".

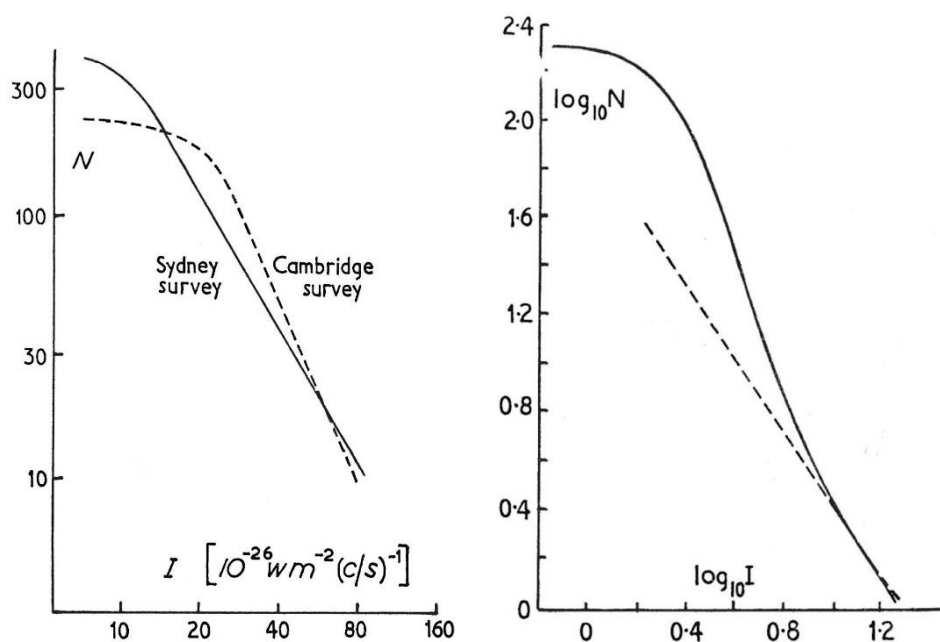
In 1958 there still were no reliable measurements of the cosmic abundance of either helium or deuterium. This changed less than a decade later and then the amount of helium in the universe became crucial evidence for the revived big-bang cosmology constructed by James Peebles and others. It took another decade before the abundance of primordial deuterium became known with sufficient accuracy, with the result that the hydrogen-deuterium ratio of approximately one million could be used in refined models of the big-bang universe.

## 5. Radio cosmology

After it was recognized about 1954 that most radio sources were extragalactic, a few radio astronomers considered how their science might contribute to cosmology and perhaps even decide between rival cosmological models. In Brussels, this was discussed by Lovell, the director of the Jodrell Bank Observatory, in a report titled "Radio-Astronomical Observations Which May Give Information on the Structure of the Universe". The favoured method used by the pioneers of what may be called radio cosmology was to count the number  $N$  of radio sources with a flux density larger than a certain value  $S$  and then plot in a diagram  $\log N$  against  $\log S$ . In a nutshell, while the steady-state model predicted that the sources would lie beneath a straight line with slope  $-1.5$ , no corresponding prediction followed from the class of relativistic evolution theories.

Ryle and his Cambridge group concluded in 1955 from the so-called 2C survey that the main part of the sources approximated a line of slope  $-3$  and that the steady-state prediction was therefore proved wrong. As Ryle (1955) put it in his Halley Lecture, "there seems no way in which the observations can be explained in terms of a Steady-State theory". The conclusion agreed with, and may have been coloured by, Ryle's expectation that the steady-state theory could not possibly be correct. However, Bernard Mills and his team of radio astronomers in Sydney, Australia, got quite different results from the southern hemisphere, namely that the slope was  $-1.8$ , a value which in 1958 had come down to

–1.65. Might the steady-state theory be viable after all? Was it possible at all to test cosmological models by means of radio-astronomical data? These and other questions related to the confusing situation was what Lovell reviewed in his Solvay address.



**Fig. 2.** To the left, Lovell’s comparison at the Solvay congress of the  $\log N - \log S$  plots for the Cambridge and Sydney surveys. To the right, the C2 survey compared to the steady-state prediction with a slope of  $-1.5$ . Reproduced from: Stoops (1958).

As Lovell noted, the Cambridge and Sydney surveys revealed “a disturbing state of affairs in which two carefully executed series of measurements give results which are quite discordant” (p. 195; Fig. 2). Instead of arguing in favour of one or the other of the rival surveys and their implications for cosmology, he suggested that so far there were no observations based on radio astronomy “which can influence significantly the existing views on the large scale structure of the universe” (p. 201). With respect to the data from Jodrell Bank, nor did Lovell believe that they could be taken as evidence for any particular cosmological model. This somewhat pessimistic or agnostic view may have been shared by most astronomers in the summer of 1958. Following Lovell’s talk, Oort was the only one who disagreed. “I am not quite as pessimistic [...] with regard to the possibility that counts of radio sources may eventually give information on the large-scale structure of the universe”, he stated.

Oort mentioned as another possibility the use of “diameter measures”, which was a reference to the new so-called diameter-redshift method proposed by Hoyle and others. In brief, it consisted in correlating the apparent angular diameters of radio (or optical) sources with their redshifts. When plotted in a double-logarithmic diagram, for large redshifts the theoretical curves differed according to the chosen cosmological model (Kragh 1996, pp. 286-287). Although this method could in principle serve as a test for the steady-state model, or for the Einstein-de Sitter model, in practice it turned out to be ineffective as the data were not precise enough. Hoyle too referred to the diameter-redshift method in Brussels, but he only developed it into a cosmological test in a paper published 1959. According to a research project conducted by Jodrell Bank astronomers two years later, there was no obvious relationship between the data and particular cosmological models.

Although the situation in radio cosmology seemed to be a stalemate in 1958, over the next few years Oort’s optimism was vindicated. New results from radio observations in both England and Australia turned out to be in approximate agreement and thus gave hope of deciding whether or not the slope in

the  $\log N - \log S$  diagram ruled out the steady-state theory. By 1963 Ryle's group in Cambridge had narrowed down the slope to  $-1.8 \pm 0.1$ , which agreed convincingly with the slope found by the Sydney group, namely  $-1.85 \pm 0.1$ . Although the consensus did not kill the steady-state theory, it left it seriously wounded and with practically no support from the astronomical community. It was the beginning of the end for the now 15-year-old cosmological theory. But of course, all this was not known to the physicists and astronomers gathered in Brussels.

## 6. Conclusion

The 1958 Solvay conference on the structure of the universe marked an important change in the scientific reputation of physical cosmology. By admitting studies of the universe at large as a field worthy of one of the prestigious Solvay congresses, cosmology was placed on the same level as, for example, elementary particle physics and solid-state physics, the subjects of the previous Solvay meetings. Cosmology received a semi-official stamp not only as a proper science but also as a fundamental and most exciting one.<sup>4</sup> The meeting in Brussels took place at a time when the steady-state theory of the universe was still much alive and when relativistic models with an explosive beginning in time were not highly regarded. One indication of the low regard was that Gamow was not invited to the conference, and another was the conspicuous absence of big-bang theory from the conference proceedings. On the other hand, Lemaître was present, but his opening talk was effectively the swan song of his old primeval atom theory which at the time was half forgotten and no longer appreciated by the majority of cosmologists.

The meeting in Brussels was also of importance because it set a precedence for further Solvay conferences on cosmology and related sciences. Indeed, in 1964 – shortly before the big-bang revolution – the thirteenth conference was on “The Structure and Evolution of Galaxies” and in 1973 the theme of the sixteenth conference was “Astrophysics and Gravitation” (Mehra 1975, pp. 388-404). Among those present at the 1958 congress, several also attended the 1964 congress. Oppenheimer, Bragg, and Møller served as members of the scientific committee, and invited speakers and participants included Hoyle, Oort, Lovell, Sandage, and Schatzmann. A closer, comparative and contextual investigation of the early cosmology-related Solvay meetings would be of great historical interest and especially so if it took advantage of the unpublished material kept at the Solvay archives and elsewhere.

## Acknowledgments

I am grateful to the organizers of the XLII SISFA congress for inviting me to Perugia to give the lecture on which the present paper is based.

## Bibliography

- Bergmann, P. (1957). “Summary of the Chapel Hill conference”, *Reviews of Modern Physics*, 29, pp. 352-354.
- Bertotti, B. *et al.* (eds.) (1990). *Modern Cosmology in Retrospect*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bondi, H. (1966). “Some philosophical problems in cosmology”, in Mace, C.A. (ed.) *British Philosophy in the Mid-Century*. London: Allen & Unwin, pp. 393-400.

---

<sup>4</sup> It took considerably longer until cosmology was accepted by the Nobel institution. Hubble and Lemaître were both nominated but without being considered serious candidates. The first Nobel Prize awarded for a work in cosmology was the one of 1978 to Arno Penzias and Robert Wilson for their discovery of the cosmic background radiation. See: Kragh (2017).



- Couderc, P. (1952). *The Expansion of the Universe*. London: Faber and Faber.
- De Baerdemacker, S. & Schneider, M.D. (2022). “Better appreciating the state of it: Lemaître and de Sitter at the BAAS centenary”, *HOPOS: The International Society for the History of Philosophy of Science*, 12, pp. 170-188.
- Gamow, G. (1970). *My World Line: An Informal Autobiography*. New York: Viking Press.
- Gregory, J. (2005). *Fred Hoyle’s Universe*. Oxford: Oxford University Press.
- Harper, E. (2001). “George Gamow: Scientific amateur and polymath”, *Physics in Perspective*, 3, pp. 335-372.
- Kiefer, C. (2020). “Space and time 62 years after the Berne conference”, in Beibart, C., Sauer, T. & Wüthrich, C. (eds.) *Thinking About Space and Time*. Basel: Birkhäuser, pp. 1-15.
- Kragh, H. (1996). *Cosmology and Controversy: The Historical Development of Two Theories of the Universe*. Princeton: Princeton University Press.
- Kragh, H. (2017). “The Nobel Prize system and the astronomical sciences”, *Journal for the History of Astronomy*, 48, pp. 257-280.
- Kragh, H. (2022). “Philosophical contexts of the steady-state universe”, *HOPOS: The Journal of the International Society for the History of Philosophy of Science*, 12, pp. 129-145.
- Ledoux, P. (ed.) (1954). *Les Processus Nucléaires dans les Astres*. Louvain: Herman.
- Mehra, J. (ed.) (1975). *The Solvay Conferences on Physics*. Dordrecht: D. Reidel.
- Osterbrock, D.E. (2001). *Walter Baade: A Life in Astrophysics*. Princeton: Princeton University Press.
- Pauli, W. (2005). *Wolfgang Pauli. Wissenschaftlicher Briefwechsel*, vol. 4.4. Edited by von Meyenn, K. Berlin: Springer.
- Ryle, M. (1955). “Radio stars and their cosmological significance”, *Observatory*, 75, pp. 137-147.
- Sandage, A.R. (1958). “Current problems in the extragalactic distance scale”, *Astrophysical Journal*, 127, pp. 513-526.
- Stoops, R. (ed.) (1950). *Les Particules Élémentaires: Rapports et Discussions*. Brussels: Coudenberg.
- Stoops, R. (ed.) (1958). *La Structure et l’Évolution de l’Univers: Rapports et Discussions*. Brussels: Coudenberg.
- Whitrow, G. & Bondi, H. (1954). “Is physical cosmology a science?” *British Journal for the Philosophy of Science*, 4, pp. 271-283.
- Wiescher, M. (2017). “Arthur E. Haas, his life and cosmologies”, *Physics in Perspective*, 19, pp. 3-59.



# Maurizio Buscalioni: The First Director of Caracas Astronomical Observatory

David Verrilli<sup>1</sup>, Rafael Martín-Landrove<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Escuela de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela Caracas, Venezuela, davidverrilli@gmail.com

<sup>2</sup> Escuela de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela Caracas, Venezuela. ramarlander@gmail.com

*Abstract:* The astronomer Maurizio Buscalioni (1856-1914) who came from an Italian family of renowned political and scientific careers, served as the first director of Caracas Astronomical Observatory in 1890 as well as its first meteorologist. He outfitted the observatory with cutting-edge equipment, concentrating on meteorological and astrometric instruments. The first comprehensive measurements of atmospheric pressure, temperature, humidity, and precipitation were made under his direction. He did astrometric measurements to ascertain the geographic latitude of the observatory and the official Venezuelan time. All of these initiatives were developed in collaboration with astronomers and observatories in America and Europe. Even so, unknown aspects related to his training and career in natural sciences and mathematics, apparently intertwined with important changes in his life, constitute a challenge for historical research in science and in this work we present new elements that may answer some important questions.

*Keywords:* Carlo Buscalioni, Luigi Buscalioni, Jean Jacques Anatole Bouquet de la Grye, Louis Désiré Léon Brault, Luis Ugueto, Société de Géographie, Observatorio Cagigal, Caracas Astronomical Observatory, Padre Denza, Schiaparelli, Occultation de Jupiter, El Cojo Ilustrado, Cometa di Halley, Ruolo della rifrazione atmosferica, Brigandajes Politiques.

## 1. Origins and the Buscalioni Family

Maurizio Ermanno Giuseppe Giovanni Antonio Buscalioni was born on August 15<sup>th</sup>, 1856 and was baptized the same day, right after birth, in the church of Santa Maria di Superga in Turin. His Father, Carlo Michele Buscalioni (1824-1885), was a very well known politician, university professor and writer, and his mother was Clara Angela Maria Teresa Anselmetti (1832-1914). His siblings were Carlo Giacinto Pietro Antonio (1855-1892), who became a well known astronomer, Rosa Lucia Clotilde (1858-1935), Vittoria Massimina Francesca Clotilde (1860-1947), Luigi Napoleone (1863-1954), who became a well known botanist, Pietro Antonio Gerolamo (1869-1945) and Clotilde Genojeffa Giuseppina Scolastica (January 3, 1871 - July 27, 1871). Since Carlo was also an astronomer, it is important to give a brief account of his career which began with his enrollment in the School of Mathematical Sciences at the University of Turin in 1883, where he obtained a degree in Mathematics on July 8<sup>th</sup>, 1889. Carlo also held the position of Assistant for Meteorology at the Astronomical Observatory of Turin in the years 1888 and 1889 and he joined the fourth group who made observations with Reichenbach meridian circle.<sup>1</sup> Carlo was also in charge of the observations of contacts and other phenomena that could occur in the partial annular solar eclipse of June 17<sup>th</sup>, 1890 (*Memorie* 1891), two

---

<sup>1</sup> This observatory was founded in 1754 and one of its major achievements about that time was the determination of meridian arc of Turin by Giovanni Battista Beccaria (1716-1781).

years before his death. On the other hand, and also pursuing a scientific career, Luigi obtained a degree in Medicine in 1888 and then in Natural Sciences in 1889, also in the University of Turin and he was very well known abroad for his scientific production in the most diverse fields of botany.<sup>2</sup> In that sense, Maurizio was part of a scientific trilogy within the Buscalioni family.<sup>3</sup>

## 2. His Personal Life, Intense Travelling and Political Activities

Maurizio got married with Angela María Llambías Morello (1858-?), native of Gibraltar, on August 22<sup>nd</sup>, 1888 in Morocco and their three children were registered after birth with the names of Clotilde Giuseppina Scolastica Buscalioni (1889-?), who was born in Marseille, France; Nepomuceno Venezolano Buscalioni Llambías (1891-1965) and Cleopatra Dominga Buscalioni Llambías (1893-?), who were born in Caracas, Venezuela.<sup>4</sup> Maurizio acquires the Venezuelan citizenship on February 28<sup>th</sup>, 1894 and in this very same year he left the astronomical observatory in Caracas and the country for good.<sup>5</sup> In an open declaration before his departure, he said that the reason for doing so was related to a severe illness. The fact of the matter is that Maurizio died in Turin, two decades later in 1914 (*Almanacco italiano* 1915)<sup>6</sup> and the nature and evolution of this alleged illness is completely unknown. Due to the political unrest at the time in Venezuela,<sup>7</sup> it is not impossible that it was an excuse to justify a sudden departure from the country. Another fact in his life was his intense travelling through Europe, Africa and America, which began in Greece in 1880. In that year, Carlo Michele, his father, founded the Philellic League in Turin, to promote the autonomy of Greece, i.e., its true and not just political independence from the Ottoman Empire, with the creation of a zone of influence for Italian foreign policy. In this way Carlo Michele was the Commissioner President of the League Central Committee in Turin and Maurizio was the League Commissioner in Corfu, Greece. After that assignment, the sequence of places and countries visited by Maurizio were Massawa in the Italian Eritrea in 1882, Algiers, Ménerville (Thénia after 1962) and Biskra in Algeria since 1884, Morocco in 1888, Caracas, Venezuela, in 1890 and his return to Europe in 1894. In his book *Brigandajes Politiques*, published in 1906, there is a very critical narrative based mainly on his experience about African affairs and politics, which unfortunately in most cases were characterized by a blurry or an almost indistinguishable borderline between organized crime and failed and/or colonialist governments.

An aspect that stands out when opening the book is that Buscalioni signed as the former director of the astronomical observatory in Caracas and that is also the case with all his publications written after 1894.

<sup>2</sup> Luigi Buscalioni was director of various botanical gardens and also a professor of botany at various universities in the fields of plant anatomy and physiology, cell biology, genetics, morphology, teratology, ecology and phytogeography, as well as microscopic techniques applied to plant parasitology.

<sup>3</sup> Luigi and Maurizio developed their scientific research in South America, where Luigi organized an expedition to the Amazon region in order to collect 5000 plant samples (Buscalioni 1901) and Maurizio was engaged on astronomical observations in Venezuela.

<sup>4</sup> The difference in their last names is related to different legal requirements in France and Venezuela.

<sup>5</sup> In our research we were not able to know in a complete way the actual whereabouts of his children and wife after that date. It is known that some of his children died in Spain during the next century.

<sup>6</sup> In this publication, the deceased Maurizio Buscalioni is referred as (see *Necrologio*, Ottobre 1913-Settembre 1914) “già professore della Università e già direttore dell’Osservatorio Astronomico di Caracas nel Venezuela, † Torino, giugno”, i. e., his death took place in June of 1914 and not in 1894, as it was presumed as a consequence of a severe illness in most of the previous references.

<sup>7</sup> In 1893 a period of economic recession began due to an important decline in the prices of export agricultural items. As this recession was getting deeper in time and without any consultation, the government made effective a reduction of employees' salaries between 10 and 30%, which caused a major impact in the people and a severe confrontation between the government and opposition parties.

### 3. Problem of Unknown Education and Training: Unexpected Clues Came from the *Géographie Société* in France, the Travelling Journalist Franzoj and an Attempt of Robbery in the City of Biskra

To date there is no documentation which can tell us how Maurizio Buscalioni was able to acquire his knowledge in meteorology, astronomy, physics and mathematics.<sup>8</sup> It is a real challenge for researchers in history of science and if this difficulty persists, it could naturally lead to question the existence of formal studies of any kind. However, in our research it was found that Maurizio Buscalioni in 1884, while he was in Algeria, became a member of the *Société de Géographie* in France<sup>9</sup> (*Liste* 1885). For his acceptance as a member, Maurizio Buscalioni and his professional profile had to be presented and endorsed in an open meeting by two members of this society. Then, this presentation was done by two outstanding figures, both in engineering and science, such as Jean Jacques Anatole Bouquet de la Grye (1827-1909)<sup>10</sup> and Louis Désiré Léon Brault (1839-1885). In their presentation, they should have referred to the proven professional performance of a young Maurizio Buscalioni, who they had to know personally very well and then there is no question that these three people share the same environment for long enough time. This reasoning leads to think that in fact Maurizio Buscalioni should have a formal education or some kind of equivalent systematic studies in the aforementioned fields.<sup>11</sup> Also, this training in depth should happen before 1880, when his intense travelling began, because after that year there was no room for this kind of time-consuming learning activity. A piece of additional evidence came from the journey of the travelling journalist, Vercelli Augusto Franzoj (1848-1911),<sup>12</sup> when he was in Massawa in 1882 and then ventured into the interior of Abyssinia. He wrote down the following vivid memories of his experience on paper: “Here I have been for two weeks with my good traveling companion Maurizio Buscalioni” (Franzoi, 1892). And in another reference related to Franzoj, we find:

In 1882 we find him [he refers to Franzoj] in Alexandria in Egypt, then in Cairo and then in Suez, where on May 13<sup>th</sup> he embarked, in the company of a scholar of natural and mathematical sciences, Maurizio Buscalioni (Surdich 1998).

There is still another important reference related to his professional skills and his association to the *Société de Géographie* and it came as a press release from a newspaper in the city of Batna which describes an attempt of robbery in the city of Biskra in 1884, both of them in Algeria:

In a modest guest room on the ground floor, Mr. Maurice<sup>13</sup> Buscalioni has been living for a month, traveling with a small library and a considerable number of manuscript volumes which will later form a complete work of mathematics, physics, astronomy, etc. The day before yesterday, at 10 o'clock in the evening, taking advantage of a moment of his absence, criminals had started to lose the wall to enter his room and rob him. Fortunately the thieves were disturbed by passersby when only a few centimeters separated them from their goal. Mr. Buscalioni undertook to make a trip of several years to the country of the Tuareg people, in correspondence with the *Société de Géographie* of Paris, and saw himself obliged, from the start, to suspend his work and hide with a friend all his scientific equipment until his departure from Biskra, with the hope of finding more tranquillity and security in the less civilized regions of the South (*L'Echo* 1884).

<sup>8</sup> Knowledge he demonstrated as director of the astronomical observatory in Caracas.

<sup>9</sup> Which was founded in 1821 and it is the oldest in the world.

<sup>10</sup> Who was at that time president of the central committee of this society and later he became the president of the *Société Astronomique de France* from 1892 to 1893.

<sup>11</sup> Then, his presenters at the *Société de Géographie*, as renown masters, most probably were his instructors and/or mentors at some degree of commitment.

<sup>12</sup> Who was already famous for having brought the mortal remains of the explorer Giovanni Chiarini (1849-1979) to Italy.

<sup>13</sup> In several reports and articles, Maurizio Buscalioni used the french version of his first name.

This incident provides by accident important relevant information about Buscalioni's scientific activities in Africa during and after 1884, mostly in Algeria, which should last at most until 1889. It can be inferred when the fact that his membership in the Société de Géographie ended in 1889<sup>14</sup> is combined with the information provided in this press release, which reveals a commitment and/or project with members of this society for several years. Another interesting fact is that Buscalioni was working with a portable scientific equipment,<sup>15</sup> which should include scientific instruments as the actual target for a robbery, aside books and manuscripts. This means that Buscalioni was capable of getting the most in results with minimal resources, which is something that his performance showed at the astronomical observatory in Caracas (Hubschmann 1988).

#### 4. His Arrival and Work as Astronomer in Venezuela

The best account of the surprising arrival of Maurizio Buscalioni at the astronomical observatory can be found from the words of the Venezuelan astronomer Luis Ugueto Pérez (1868-1936), Buscalioni's mentee and successor as director of the observatory:

The Italian scientist Mauricio Buscalioni, an expert in astronomical questions, appears unexpectedly in Caracas. The government deemed it appropriate to make use of Buscalioni's knowledge and appointed him director of the observatory with a monthly allowance of four hundred bolivars<sup>16</sup> (Hubschmann 1988, p. 8).

In our research we found elements that support the possibility that the retired commander of the Italian army, Cesare Alberto Blengini (1838-?), might have played a fundamental role in this appearance of Maurizio Buscalioni at the observatory in 1890. In 1880 Blengini became a member of the Philellic League of Turin (Blengini 1884), founded by Carlo Michele Buscalioni and on December of the same year, he made a first epistolary contact with Maurizio Buscalioni as the League Commissioner in Greece (Blengini 1884), country where Blengini served as consul<sup>17</sup> of the United States of Venezuela.<sup>18</sup> There is no question that Blengini must be aware after that meeting of Maurizio's professional skills and expertise and later, in his condition of consul, he should know about the needs of the Venezuelan government in regard to find a qualified personnel for the project of the astronomical observatory in Caracas, which was created in 1888. Even though we continue with the search of evidentiary government documentation, our assumption is that Blengini intervened to open the necessary official channels as soon as he had information about this project and made in this way a connection with a potential Maurizio's successful role. Once in charge of the astronomical observatory and the major developments under his service took place, Maurizio Buscalioni said:

This observatory has long enjoyed the precious relationships of other more ancient ones in the Americas, and to date I have also had the pleasure of receiving support in this regard from the two great scientific notables of Italy, Mr. Schiaparelli, director of the Astronomical Observatory of Milan, and Father Denza, director of the Italian Central Meteorological Observatory of Moncalieri and of the Vatican Observatory of Rome; who, in addition to having already sent very useful books and publications to this institution, declare themselves ready in our favour, recognizing the importance of our situation, and all with very flattering expressions (Hubschmann 1988, p. 10).

<sup>14</sup> Information kindly provided by the Société de Géographie.

<sup>15</sup> Which, with very high probability, was also used in 1882 during his travelling with Franjoj.

<sup>16</sup> Which was a very good salary at that time.

<sup>17</sup> In the previous year he served as consul of Argentina in Moscow, Russia. The commitment with Venezuela, which began in 1880, lasted several terms as it is accounted in the *Gaceta Oficial* and it went beyond 1890.

<sup>18</sup> That was the official name of the country at that time.

and in regard to the necessary everyday routine, Buscalioni also said:

Meteorological and astronomical observations have continued. Caracas time is marked by the lowering of a national flag, raised five minutes earlier. Daily meteorological observations are published in the *Gaceta Oficial*<sup>19</sup> and recently in the *Diario de Caracas*.<sup>20</sup> The calculations of occultations and Lunar eclipses were made for Caracas and also solar eclipses. A statistical summary of the climate of Caracas was published on April 15, 1894 in the Public Wealth Bulletin. Other astronomical observations were made of the Moon with Mars, transit of Mercury through the disc of the Sun (Hubschmann 1988, p. 13).

Buscalioni provided the observatory with equipment that corresponded to the state of the art of the time, concentrating on meteorological and astrometric instruments and also created an environment (Hubschmann 1988) appropriate for the work to be carried out.<sup>21</sup>

## 5. His Most Relevant Scientific Research and Outreach

As scientific outreach we can find publications in a Venezuelan journal devoted to art, politics, history and sciences, which was known as *El Cojo Ilustrado*,<sup>22</sup> in which Buscalioni introduces two interesting concepts, the solar chronometer or clock and the solar cooker. For the solar chronometer or clock, Buscalioni developed a simple instrument where a first component was a chart with a closed curve (just valid for Caracas as location) based on what is known as the equation of time and this chart should be placed on a horizontal table. The second component was a top which was hanging perpendicularly to such a chart, on which, due to the effect of the shadow projected by the top, the real time can be read directly while there is daylight (Buscalioni 1893). The cone solar cooker was invented by Augustin Mouchot (1825-1912) in 1878 and the original purpose was to provide cooking power to French soldiers in Africa. The reflecting cone has a span of 90° and a hollow cylinder was placed along its axis, which could be oriented parallel to solar rays. These rays reach perpendicularly the hollow cylinder that contains the food to be cooked. Clearly, Buscalioni must have known this device first-hand while he was in Algeria and then, he envisioned it as an alternative to the use of coal as fuel in a Venezuela with an economic crisis (Buscalioni 1894). In regard to his scientific research,<sup>23</sup> it could be highlighted that in 1892 Buscalioni as astronomer was able to predict and observe a very rare event where there was an occultation of Jupiter and four of its largest moons, with their immersion behind our Moon and in the emersion only three of these moons were directly visible. The missing moon was Europa and its shadow was observed on Jupiter in what was a solar eclipse on the planet (Buscalioni 1892a and 1892b). Also, in 1910 Buscalioni wrote a book *Comete e catastrofi celesti. Estratto dagli annali astronomici in*

<sup>19</sup> The official journal for government announcements and communications.

<sup>20</sup> Main newspaper in Caracas.

<sup>21</sup> These resources can be listed as: equatorial telescope, meridian circle with large telescope, sidereal clock, marine chronometer, sextant, Piazzzi circle, declination compass, inclination compass, various thermometers and hygrometers, instrument for solar radiation measurement, Fortin barometer, electro-automatic hygrometer with clock, recording barometer with clock, Osler anemograph-pluviograph with clock, Beckley thermometer-hygrometer with clock, Robinson anemometer, rain gauge, automatic sun recorder, electrometer, a library with 60 volumes and wooden casing for thermometers.

<sup>22</sup> The journal was published for first time in 1892 and its last number appeared in 1915. There is no doubt that this journal is practically a time window that allows us to learn about the cultural activity of Caracas at the time. In that sense, the choice made by Buscalioni to publish in this journal his short scientific notes about meteorology, astronomical observations and eclipses as well as his outreach articles, could not have been better and thus he was able to maintain his visibility through this works until his departure in 1894. His successor as director of the astronomical observatory in Caracas, Luis Ugueto Pérez (1868-1936), managed to maintain the same outreach approach, but just for the following two years.

<sup>23</sup> Mostly published in *L'Astronomie* while he was in Caracas and later in *Saggi di Astronomia Popolare*.

*occasione del ritorno della cometa di Halley* about the expectations in regard to the Halley comet as astronomical phenomenon. Most probably, his edition was a very limited one because copies are very hard to find. But perhaps the most important work came in 1912, when Buscalioni wrote an article about an overlooked effect in astronomical sciences (Buscalioni 1912) at that time. The issue to be examined was the role of atmospheric refraction in eclipses and occultations and it was done well in advance to the very well-known article on the same subject by Alexander Anderson (1858-1936), published in 1919 right after the results related to the Eddington-Einstein experiment were known. The goal of Anderson (Anderson 1919) with that article was to show that the observed light deflection could be explained as a refraction phenomenon in the Earth's atmosphere with no relation at all with general relativity. Buscalioni's article, on the other hand, was just focused on the light refraction within the Earth's atmosphere as a transport problem in a continuous medium, which was characterized by distributions in density and temperature, with no mention at all to the role of gravity. Then it was an important shortcoming because as early as 1801, Johann Georg von Soldner (1776-1833) published an article where the light deflection in question was just based on plain Newtonian gravitational theory (Ginox 2021). Moreover, the Einstein's first estimate of light deflection due to gravity, published in 1911, which was based on his general relativity theory, was also overlooked by Buscalioni. This first Einstein's estimation turned out to be comparable to the one obtained by Soldner (Ginox 2021). All these effects, optical as well as gravitational, are very small and one important matter of concern for Buscalioni was the precision that could be achieved in practical terms (Buscalioni 1912) even for the determination of an overall effect, not to mention to attempt their discrimination, as it was indeed pursued later on. It is fairly clear that Buscalioni, who died in 1914, could not be acquainted of a more complete Einstein's work in general relativity, published in 1915, where the new estimated deflection was bigger by a factor of two when it is compared to the one of Soldner (Ginox 2021) and moreover, this result was the one finally tested in the Eddington-Einstein experiment. Of course, these results generated a violent controversy where many renowned researchers took positions on both sides of the aisle and then in this work, we are not going to pursue its discussion because it goes far beyond our original goal and scope. Our final remark in regard to this issue is that in such a controversy, Buscalioni's work was completely ignored as a relevant and valid antecedent, which was at the same level of what was done by Anderson.

## 6. Conclusion

We can conclude that Maurizio Buscalioni was able to provide an important start with very high standards to the astronomical observatory in Caracas in just five years. This was possible due to his solid knowledge and training in meteorology, mathematics and astronomy, whose existence was proven in this work, although the details of its origin have yet to be precisely determined. His research work in astronomy continued up to the very end of his life, by looking at challenging problems. At the same time, he was a man who not only worked in science but also fought for a more equitable world.

## Acknowledgement

We are grateful to Professors Mauro Gargano, Simone Zaggia, Valeria Zanini, Ileana Chinnici, Agnese Mandrino, Roberto Buonanno, and also to Rev. Jordi Bertomeu, Rev. Paul R. Mueller, S.J., Société de Géographie, universities of Turin, La Sapienza of Rome and Ghent, for their valuable help throughout this work.



**Bibliography**

- Liste (1885). *Liste des Membres au 1<sup>er</sup> mai 1885*. Paris: Société de Géographie.
- Almanacco italiano (1915). *Almanacco italiano, piccola enciclopedia popolare della vita pratica e annuario diplomatico amministrativo e statistico*, anno XX.
- Anderson, A. (1919). “The Displacement of Light Rays Passing near the Sun”, *Nature*, 104(2614), pp. 354-354.
- Blengini, C.A. (1884). *Cenni Storici della Lega Filellenica e la Grecia, dal 1821 al 1881*. Torino: Tipografia G. Derossi.
- Buscalioni, L. (1901). *Un’escursione botanica nell’Amazzonia*. Roma: Società geografica italiana.
- Buscalioni, M. (1892a) “Occultation de Jupiter le 13 Août”, *L’Astronomie*, 11, pp. 393-394.
- Buscalioni, M. (1892b) “Ocultación de Júpiter por la Luna con Simultáneo Eclipse del 2° Satélite de Júpiter”, *El Cojo Ilustrado*, I(17), p. 285.
- Buscalioni, M. (1893). “Cronómetro solar”, *El Cojo ilustrado*, II(44), p. 384.
- Buscalioni, M. (1894). “Cocina solar”, *El Cojo ilustrado*, III(53), p. 96.
- Buscalioni, M. (1912). “Rôle de la réfraction atmosphérique dans les éclipses et les occultations”, *Saggi di Astronomia Popolare*, II(4), pp. 69-75.
- Franzoz, A. (1892). *Aure Africane*. Milano: Casa Editrice Galli.
- Ginox, J.-M. (2021) “Albert Einstein and the Doubling of the Deflection of Light”, *Foundations of Science*. doi: 10.1007/s10699-021-09783-4.
- Hubschmann, K. (1988). *Observatorio Cagigal, Cien Años de Historia y de Ciencia*. Caracas: Lagoven S. A.
- L’Echo (1884). *L’Echo du Sahara, Journal du L’Arrondissement de Batna*, 4<sup>o</sup> Année - Num. 164, 6 Mars.
- Memorie (1891). *Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani*, vol. 19.
- Surdich, F. (1998). “Franzoz, Augusto”, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 50. Roma: Istituto dell’Enciclopedia Italiana (*ad vocem*).



# Physics for Medicine at the Milan Institute of Complementary Physics

Leonardo Gariboldi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Fisica “Aldo Pontremoli”,  
leonardo.gariboldi@unimi.it

*Abstract:* The interaction between Physics and Medicine was one of the founding issues that guided the establishment and development of the research laboratories of the Milan Institute of Complementary Physics (then Institute of Physics). In this paper, we shall take into consideration the main teaching and research activities that formed a bridge between Physics and Medicine in Milan in the second half of the 1920s, in particular as regards radiology and its connections with the erecting “Vittorio Emanuele III” Institute for the Study and Treatment of Cancer (today’s National Cancer Institute).

*Keywords:* Radiology, Medicine, Dosimetry

## 1. Aldo Pontremoli and Enzo Pugno Vanoni

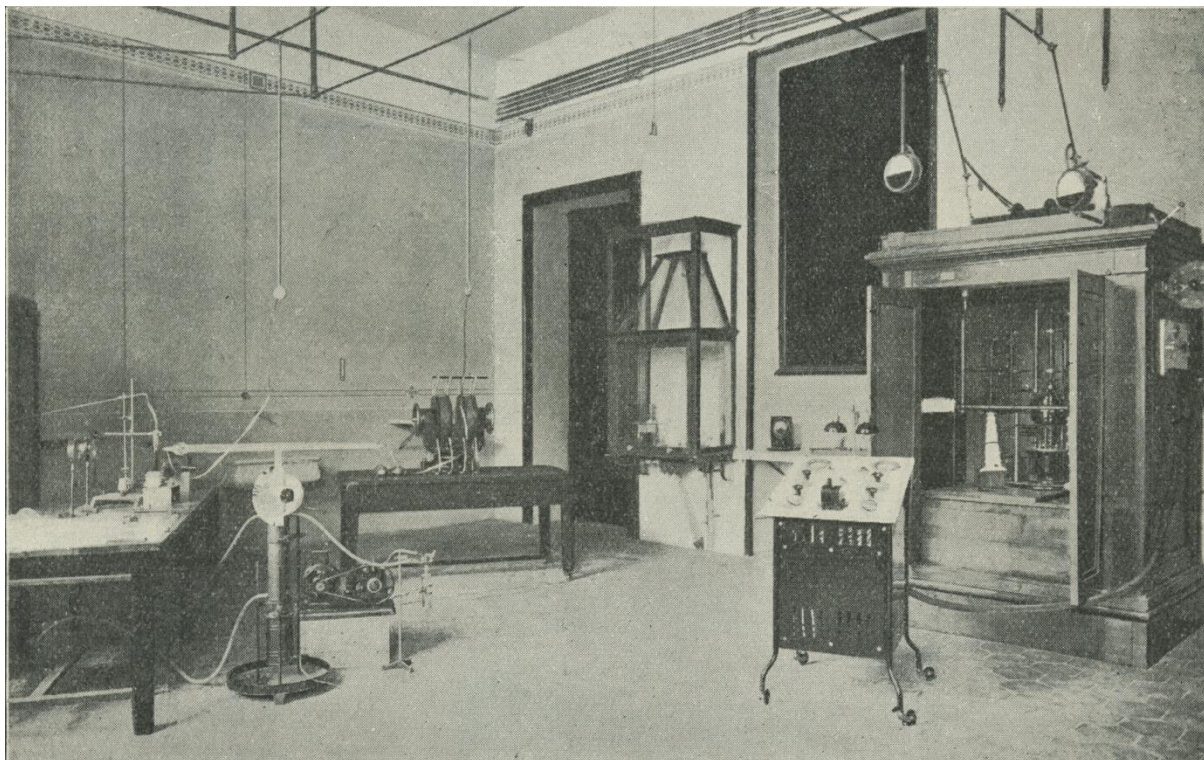
The foundation of the Milan Institute of Complementary Physics in 1924 had a historical impact on the Italian medical community due to the strict collaboration of the new radiology laboratory with the “Vittorio Emanuele III” Institute for the Study and Treatment of Cancer (today’s National Cancer Institute) and the decision to adopt a standard procedure and unity of dosimetry.

The Institute of Complementary Physics was established by Aldo Pontremoli, a young physicist who had graduated in Physics in Rome in 1920. After being Corbino’s assistant and having spent some time at the Cavendish Laboratory in Cambridge he got the “libera docenza” in Advanced Physics in 1924 and was called by the newly established Royal University of Milan as professor of Complementary Physics for the students of the Faculty of Science. In 1926 Pontremoli was ranked as the third winner of the first Italian public competition for a chair of Theoretical Physics, after Enrico Fermi and Enrico Persico. In 1928 he disappeared after the accident of the “Italia” airship during the polar expedition led by Umberto Nobile.

Enzo Pugno Vanoni was one of Pontremoli’s assistants and the most relevant of them. He graduated in Electrotechnical Industrial Engineering at the Polytechnical High School in Milan. In 1925 he became Pontremoli’s assistant and professor of Electrotechnics and Röntgen-ray Physics for the Specialization School of Radiology, and professor of Experimental Physics for the Faculty of Medicine. In 1931-37, he was a member of the governing body of the International X-ray and Radium Protection Committee (today’s International Commission on Radiological Protection), established in 1928 at the 2<sup>nd</sup> International Congress of Radiology. He was the temporary director of the Institute of Complementary Physics between Pontremoli’s start of the polar expedition and Giovanni Polvani’s arrival to Milan University as professor of Experimental Physics. In 1931, Pugno Vanoni moved to Padua University and became professor of Electrotechnics at the Engineering School. At the same time, he worked on projects for the Röntgen-therapy apparatus for the Radiology Institute in Rome. He prematurely died in 1939.

A vivid picture of Pugno Vanoni’s qualities is given by one of Polvani’s reports as a truly worthy collaborator who had contributed in the most effective way to the cultural and practical improvement

of the radiologists in the field of electrical engineering. Polvani appreciated Pugno Vanoni's fundamental and disinterested contribution to the electrotechnical organization of the Institute of Radiology at the "Vittorio Emanuele III" Institute for the Study and Treatment of Cancer, as the technical consultant in particular for the calibrations and measurements on any radiological devices.



**Fig. 1.** The Radiology Laboratory of the Institute of Complementary Physics (Regia Università di Milano 1928, p. 182)

The list of the lessons given in the Electrotechnics and Radiation Physics class for the Specialization School of Radiology shows how relevant was Pugno Vanoni's teaching to the future radiologists, with a wide range of topics from basic electrotechnics to advanced X-rays physics. The second-year lessons (9 and 10) focused in particular on the definition and measurement of the dose:

- 1) Preliminaries of electrotechnics. Electricity. Potential. Tension. Capacity. Intensity. Resistance.
- 2) Preliminaries of electrotechnics. Work. Power.  $\text{Int}^2$ . Heating. Magnetic field. Solenoid. Flux.
- 3) Magnetic field. Solenoid. Flux. Inductance. Extra-currents. Induced emf.
- 4) Induction coil. Primary. Secondary. Switches. Coil devices. Selectors.
- 5) AC. Maximum, medium, efficient values. Resistance, reactance.
- 6) Transformers.  $E_1/E_2 = n_1/n_2 = I_2/I_1$ . Elevators, reducers, self-transformers.
- 7) Transformers. Selectors. AC coils. Complete DC installations.
- 8) Transformers (detached parts). Discharges in gases. Ionization by collision, by thermal effect, by radiation absorption.
- 9) Practical demonstration of a Corbino Trabacchi device. Emptying of a gas tube.
- 10) Electricity and matter. K lines emission. Atomic number.
- 11) Gas tubes. Structure and operation.
- 12) Thermionic emission. Saturation current, valve effect (experiments).
- 13) Structure and operation of a Coolidge tube. Different kinds of tubes.
- 14) Lilienfeld and Müller tubes. Photography of focal spots. Transformer selectorless devices.
- 15) Selectorless devices. Wave shape. Load. Tension fall for resistance on the primary. Practical demonstrations.
- 16) Transformer and selector device. Transf. and valves. Selector transf. and voltage doubling capacity.
- 17) Condenser devices with selector and valves. Three-phase device. Selector and valves comparison. Operating defects.
- 18) High tension dangers. Radiating energy. H.V. Refraction, reflection,

diffraction, interference, polarization of light and X-rays. 19) X-ray emission. Continuous and line spectra and their properties. K L M N series.

20) X-ray absorption (diffusion, fluorescence,  $\beta$ -rays). Measurements of quality (from tension, hardness scales, fluorescent scales, H unit, spectrographs). 21) Seemann spectrograph. Measurements of quantity. Pill. Selenium. Ionization chambers (big, small). Ionometric devices. Visit of the laboratory and measurement with the spark gap. (Pugno Vanoni 1926).

1) Coolidge tube. Continuous spectrum. Line spectrum. 2) X-ray absorption. Diffuse and characteristic rays. Photoelectrons.  $\mu$ .  $\sigma$ . Compton effect. 3) Characteristic absorption. Corpuscular rays. Kinds of measurement classification. 4) Quality measurements. Tension measurements. Formulae which give the qualities from the tension. Maximum and efficient values. Spark gaps. 5) Crest voltmeters. Hardness scales. Relative errors. Mean value determination from the absorption. 6) Halbwertschicht (ionometric and photographic met.). Fluorescent scales. Laue and Bragg's theory of crystals. 7) Spectrometers for X-rays. Rotating crystal, curved one, crystal powders. March and Seemann spectrographs. 8) Radiation intensity.  $I = kV^2i/d^2$ . Milliamperometers. Röntgen-photometers. Selenium intensimetry. 9) Quantity of radiation. Physical and biological dose. Dosimetry with platinumcyanide and with silver salts. Ionization. 10) Biological dose and dose absorbed by air. R unit. Ionization chambers. Errors. 11) Measurements of saturation currents. Experimental proof of the emission laws  $|V^2i/d^2|$ . System calibration curves. Tension fall. 12) DC system calibration. Measurement of average  $\lambda$  with the photographic methods and with the ionometric method. 13) Ionometric measurements of  $\lambda_m$ . Spectrographic measurements and verification of the  $\lambda_0 = 12.34/V_M$  law. 14) Measurements with the water phantom. Influence of various factors on the dose. Experiences on the influence of diffused rays. 15) X-ray protection. Photographic evidence. Self-protected tubes. Cups. Therapy tube casings. Diffused rays. 16) (General summary of the course) Emission, absorption, quality and quantity measurements. (Pugno Vanoni 1927).

The Laboratory of radiology was established by Pontremoli thanks the financial and material support he succeeded to obtain from private institutions, banks, instrument-maker industries, etc. The main donation was that of 100000 lire given by Banca Popolare di Milano in 1926 with the specific aim to support radiological activities:

so that a Radiology laboratory can be started in the Institute of Complementary Physics of this Royal University with the purpose of: measurements on X-rays and calibration of the related instruments; tests on radiological devices and generator-tubes, and in general research on what can lead to an improvement and extension in the applications of X-rays to industry and medicine. (Letter from the president of Banca Popolare di Milano, to the rector of the Royal University of Milan, March 5<sup>th</sup>, 1926. In: Meda 1926).

In order to fully appreciate this donation, we can compare to the yearly financial support of 300000 lire from the Government to the whole Milan University, which had to look for also for other economic sources. In any case, Pontremoli was the most able professor to get funds and instruments from private donors. E.g., in the same 1926, he also got 50000 lire from Società Edison and devices worthy about 50500 lire. In comparison the Faculty of Medicine collected just 87400 lire and devices for 26000 lire.

In a letter to the rector on March 6<sup>th</sup>, 1926, Pontremoli hoped that the new laboratory could solve important medical and industrial problems still open in the field of X-rays. He and Pugno Vanoni planned a project of activities to be carried out in the Radiology laboratory:

- a) Electrical tests on radiological devices;

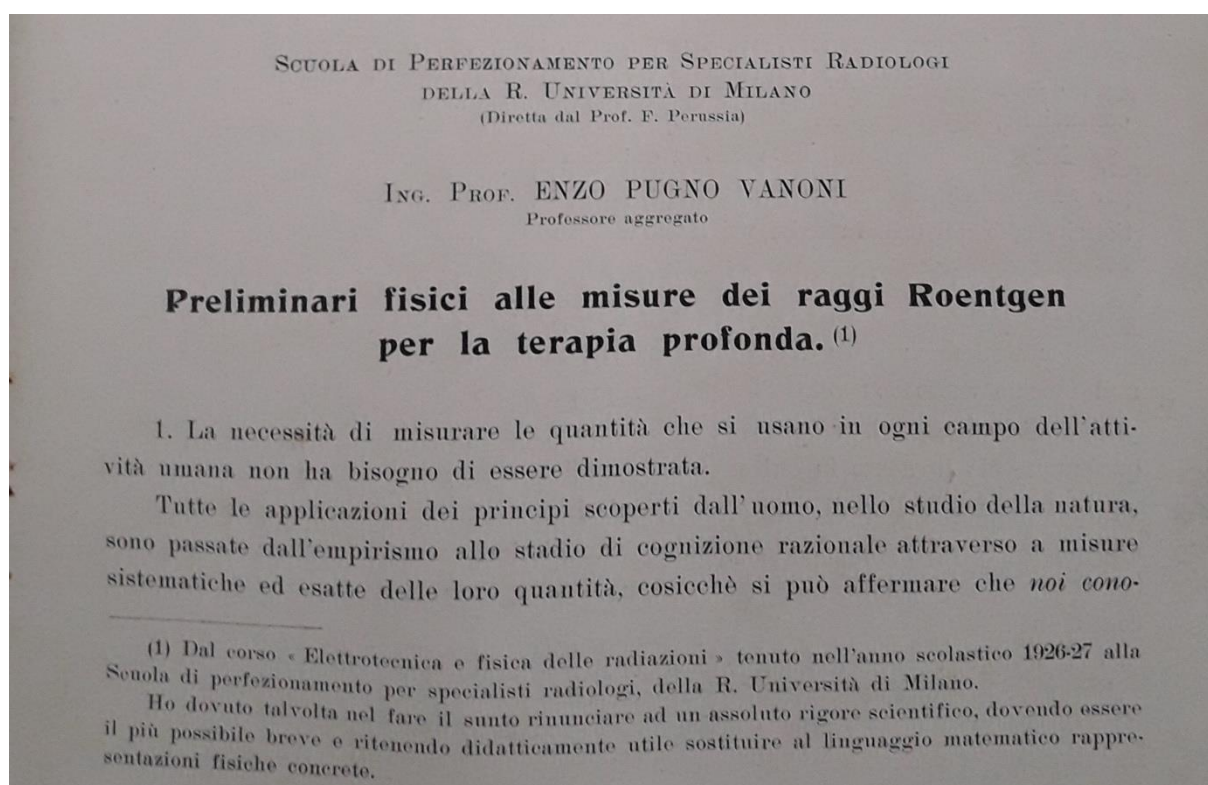
- b) Tests on the generator-tubes, with emission spectrograms with DC and AC;
- c) Test on ionic and thermoelectric valves;
- d) Measurements on X-rays: qualitative measurements (spectrographic tests, check of the spectrographs and of the X-ray hardness levels); quantitative measurements (emission tests; check of ionometric devices, intensimeters, etc.); test on photographic plates sensitive to X-rays; tests on fluorescent screens.

## 2. Pugno Vanoni's contribution to the Italian dosimetry standard

The close collaboration of Pugno Vanoni with the "Vittorio Emanuele III" Institute for the Study and Treatment of Cancer led him to be asked to deliver a plenary lecture at the 8<sup>th</sup> Conference of Medical Radiology, held in Florence, in May 1928.

After a long exposition of the main topics of X-ray physics, he advanced the following definition of dose (the mentioned congress in Florence was actually the one where he was giving the lecture):

Volumetric absorption of Röntgen energy, or Dose of radiation absorbed per  $\text{cm}^3$  by a body is the difference between the X-ray flux entering a small  $1 \text{ cm}^3$  volume sphere of the same body, and the exiting flux, multiplied by the time during which the flux was prolonged. It represents the absorbed X energy during the application on  $1 \text{ cm}^3$  of the body we are operating on (symbol D) [...] Naturally this terminology may be modified following discussions at the next Congresses in Florence and Stockholm, and international agreements. (Pugno Vanoni 1928, p. 503).



**Fig. 2.** Pugno Vanoni's public lecture at the 8<sup>th</sup> Italian Congress of Medical Radiology (Pugno Vanoni 1928)

The first steps towards dosimetry and a few proposals of a unit had been advanced by J. Belot (1906), C.E.S. Philips (1907), P. Villard (1908), B. Krönig and W. Friedrich (1918), H. Behnken (1924) and I. Solomon (1925). The two main concurrent definitions were those by Hermann Behnken (Behnken 1924), working with a compressed air chamber, and Iser Solomon (Solomon 1924, 1925), working



with a closed ionization chamber connected by a cable to an electroscope to register the passage of electricity. Pugno Vanoni advocated Behnken's definition of absolute quantity of X-rays as that corresponding to the quantity of rays which produce, when they irradiate 1 cm<sup>3</sup> of air, a conductivity such that the quantity of electricity measured as a saturation current was equal to one electrostatic unit. The measurement had to be carried out with the air at 18°C and 760 mm Hg by taking into account the whole energy of the electrons released in the air and by eliminating any effect from the walls. Pugno Vanoni agreed to use the symbol R (from Röntgen) for this unit, and kept to the suggestion to add the adjective "German" to be sure not to confuse it with Solomon's unit, the French R.

In Pugno Vanoni's opinion, Behnken's definition of the R unit could be used to measure: the intensity of a X-ray source in any given direction by giving the number of R units falling normally on a 1 cm<sup>2</sup> area at 1 m distance in the unit of time; the X-ray illumination of a surface by giving the number of R units falling on 1 cm<sup>2</sup> are in the unity of time; the quantity of X-ray incident on a surface by giving the number of R units on a 1 cm<sup>2</sup> of the body; the dose of the X-rays absorbed by the body by measuring the quantity of R units that arrive in the diseased point in the considered time and knowing the absorption coefficient of the body around the point under consideration.

Eventually, the 8<sup>th</sup> Italian Congress of Medical Radiology vote in favor of Pugno Vanoni's proposal that a precise terminology be adopted internationally in the field of X-ray measurements as per the advanced definitions; that the quality data be provided by measuring the absorption and the indication of the maximum electrical voltage applied to the tube; that the quantity data be provided by adopting R as a unit according to Behnken's definition; and that the quantity data be never separated from the quality data in order to be able to trace the absorbed dose. The Congress decided to invite all Italian radiologists to follow Pugno Vanoni's proposal as for the terminology, methods and units in their work, and gave a mandate to the representative of the Italian Society of Medical Radiology to support their deliberations within the International Commission for the Radiological Measurement Units.

The long experimental activities that had led to this result had been allowed by the high voltage devices installed in the Radiology laboratory of the Institute of Complementary Physics.

### 3. The Italian delegation at the International Conference of Medical Radiology in 1928

Following a proposal of the Italian Society of Medical Radiology, Pugno Vanoni was appointed by the National Research Council to represent Italy in the International Commission for Measurement and Radiological Units for the physics part. As such he participated in the work that the latter commission carried out in Stockholm in July 1928. With Mario Ponzio, a professor of medical radiology from Turin, he advanced the Italian proposal of international dosimetric units as identical to those already adopted in Italy.

The International Committee for X-ray units met on the afternoon of Wednesday July 25<sup>th</sup> 1928, with two delegates from each of the following countries: Austria, Belgium, Bulgaria, Czechoslovakia, Denmark, France, Germany, Greece, Hungary, Italy, Japan, Netherlands, Norway, Soviet Union, Spain, Sweden, Switzerland, United Kingdom, and the United States of America. Manne Siegbahn was elected chairman of the commission, Edwing Augustus Owen and Hermann Holthusen secretaries. They discussed the proposals formulated by Owen, following the requests received in advance in writing from the delegates of the different nations.

Solomon raised the major objections against the proposals which were converging towards the acceptance of Behnken's definitions. Solomon supported the adoption of a unit defined through the  $\gamma$ -rays of radium. Other objections were raised by Dauvillier who proposed the adoption of the unit of energy (the erg) for the measurement of X-rays.

The Italian report of the discussion highlighted the role played by the two Italian delegates, Pugno Vanoni and Ponzio: "After a long discussion, which lasted about three hours, during which the Italian

delegations had the opportunity to intervene several times and have their own views adopted, the following proposals were approved". (Perussia & Pugno Vanoni 1928, p. 971).

This sentence must obviously be read by removing the nationalist rhetoric that characterizes the entire report. Actually, the final recommendation were much more shaped by the United States delegates and followed much of the report of the Standardization Committee of the Radiological Society of North America, made at New Orleans in 1927. The few historical reconstructions of radiological dosimetry do not mention a particular contribution by Italian physicists or physicians (Jennings 2007). We can assume that the Italian delegation, bringing their experience of the national adoption of a single standard procedure, had acted more in the direction of supporting Behnken's proposal rather than explicitly advancing it and convincing other delegations.

Eventually the Stockholm commission decided to adopt an international unit for X-rays, the quantity of radiation which, when all the secondary electrons are taken into account and the wall effects of the chamber are taken into account and cancelled, produces in 1 cm<sup>3</sup> of air at 0°C and 760 mm Hg a conductivity such that the measured saturation current is equivalent to one electrostatic charge. The international unit of X-rays had to be called "Röntgen" and written with a low-case r. To determinate the unity, various standard methods could be adopted, whereas Solomon's method was strictly dependent on the devices he used (he had actually sold some 1500 ionometers of his kind). However, for all comparative tests, only ionization chambers which have been calibrated with a standard chamber, had to be used. The device of practical use for measuring X-rays had to be called a dosimeter. The consistency of the dosimeter indications had to be checked by means of the  $\gamma$ -rays emitted by a defined quantity of radio-element, always carrying out the measurement in identical conditions. A dose specification had to be considered incomplete if the quality of the source and the quantity of radiation were not indicated.

The resolutions of the commission were submitted to the generally assembly of the congress and approved without discussion in the closing session on July 27<sup>th</sup>, 1928. In the opinion of the Italian delegates, they constituted a great advance in the field of radiological measurements. The ratification of the international dosage unit in radiotherapy also concerned some proposals on the international protection of the work of radiologists.

### Acknowledgments

I would like to thank my colleague Cristina Lenardi for stimulating my interest in the history of medical and health physics in Milan. My heartfelt thanks go to the archivists of the Italian Radiological Society and of Centro APICE, Università degli Studi di Milano.

### Bibliography

- Behnken, H. (1924). "Die Eichung von Dosismessern in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt", *Vereins- und Kongreßberichte (Röntgen-Vereinigung zu Berlin)*, 31(4), pp. 479-482.
- Jennings, W.A. (2007). "Evolution over the past century of quantities and units in radiation dosimetry", *Journal of Radiological Protection*, 27, pp. 5-16. doi: 10.1088/0952-4746/27/1/R01
- Perussia, F. & Pugno Vanoni, E. (1928). "II° Congresso Internazionale di Radiologia (Stoccolma, luglio 1928)", *La Radiologia Medica*, 15(9), pp. 970-530.
- Pugno Vanoni, E. (1928). "Preliminari fisici alle misure dei raggi Roentgen per la terapia profonda", *La Radiologia Medica*, 15(5), pp. 495-530.
- Regia Università di Milano (1928). "Istituto di Fisica Complementare", in *Annuario 1926-27*. Milano: Stab. Tip. Stucchi, Cerretti (Soc.an.), pp. 179-201.



- Solomon, I. (1924). “Les unités quantitométriques en Rœntgentherapie”, *Journal de Radiologie*, 8(8), pp. 351-356.
- Solomon, I. (1925). “Über die Wahl einer Quantimetriscen Einheit Strahlentherapie”, *Einheit. Strahlenther.*, 20, pp. 642-650.

#### **Archival Sources**

- Meda, F. (1926). Letter to Luigi Mangiagalli, rector of the Royal University of Milan, March 5th. Università degli Studi di Milano, Centro APICE, Archivio Storico.
- Pugno Vanoni, E. (1926). “Electrotechnics and Radiation Physics – Specialization School of Radiology – 1925-26”, lectures register. Università degli Studi di Milano, Centro APICE, Archivio Storico.
- Pugno Vanoni, E. (1927). “Electrotechnics and Röntgen-ray Physics – Specialization School of Radiology – 1926-27”, lectures register. Università degli Studi di Milano, Centro APICE, Archivio Storico.



# Whitehead's Relational Interpretation of Special Relativity

Enrico R.A.C. Giannetto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università di Bergamo, [enrico.giannetto@unibg.it](mailto:enrico.giannetto@unibg.it)

*Abstract:* The greatest relevance of Alfred North Whitehead's work, in my opinion, has to be related to the interpretation and understanding of the theory of relativity. He understood motion as a structural series of temporal events, avoiding permanent material bodies and refuting any interpretation of four-dimensional space-time as a kind of eternal permanence.

*Keywords:* Special Relativity, Motion, Events, Space, Time

## 1. The Relationality of Motion and the Relatedness of Nature

The principle of relativity, according to Whitehead, is an ontological principle, not only an epistemological one (Whitehead 1922): the impossibility of knowing the subject of motion is the consequence of the universal relatedness of Nature, an ontological principle of inter-relationship of every material body with all other material bodies, which so holistically constitute Nature. This constitutive interrelation of all material things explains why our knowledge has limitations in defining individual properties of bodies. Relations between bodies are not "ideal" relations (as in Leibniz) introduced by the human intellect to order them, but they are real: the fields of forces exist even in the absence of material bodies.

Whitehead gives a new interpretation of the "principle of (special) relativity of motion", which tells us that, in the absence of a certainly fixed reference, at rest, it is impossible to know observationally or theoretically which body, between two bodies in reciprocal motion, is at rest and which one is not at rest (in rectilinear and uniform motion), or what is the "subject of the motion".

If everything was at rest, everything would appear at rest; if a body for one reference system appears at rest and for another reference appears in motion, then either the body or the reference must be in motion: the relativity of motion implies that at least one motion exists. If the Earth is considered at rest, the Sun is moving: motion is projected on another body. In every reference frame system, there is something in motion, something changes. Even if for a body we cannot know whether it is in motion or at rest, we know that there is motion in Nature: motion as a relation is absolute, is invariant. Rest is only a relative rest, that is the situation in which two bodies have the same motion.

A transformation of reference frame transforms a motion of a body in a motion of another body (we have not the same events), but it conserves a certain temporal succession structure of events which we call motion.

The relativity of motion would not occur if there were only static reference frame systems (at rest): it is the consequence of the possibility/need to consider reference frame systems in motion.

Things do not change if we consider non-inertial motions and non-inertial reference frame systems, for which we can state a principle of general relativity of motion.

The principle of general relativity of motion tells us that it is impossible to know observationally or theoretically which body, between two bodies in reciprocal motion, is at rest and which is in motion (even accelerated in any way), or what is the "subject of motion": then or the body or the reference frame system must be in motion: the general relativity of motion implies that at least one motion accelerated in any way exists. General arbitrary transformations of reference frame systems can alter the

rest or the kind of motion of a body, but they transform an arbitrary motion of a body in the same kind of motion of another body: in different reference frame systems we have not the same events (concerning the same bodies), but a temporal succession structure of events (concerning different bodies) which identifies motion is preserved in the transformations.

In Newtonian modern physics, a body or a reference frame system is in an accelerated motion only if a force field acts on it, a field that accelerates it: experimentally, on every body or material reference frame system acts a field of gravitational forces, because gravitation is universal. Strictly speaking, all bodies – unless the gravitational field is artificially cancelled – and so all reference frame systems move in accelerated motion because they interact with all other bodies in the universe through gravitational force fields. An accelerated reference frame system, that can relativistically modify motion making it a relative thing, can exist only because there are interactions that realize a universal relatedness of Nature. There is no body or reference frame in absolute rest and a general relativity of motion is given.

The principle of general relativity of motion is the consequence of an unavoidable “solidarity of the universe”, realized through a ‘universal relatedness of Nature’, i.e., a ‘universal relationality of Nature’, a universal field of (cor-)relations. There are no isolated and separable bodies: Nature is a totality of non-separable parts.

We can have general arbitrary transformations of reference frame systems which can alter the rest or the kind of motion of a body, and which transform an arbitrary motion of a body in the same kind of motion of another body and preserve a temporal succession structure of events, concerning different bodies, only because of the universal relatedness of Nature. A change in a part of Nature must imply a change in another part (Whitehead 1920).

The principle of relativity is a principle that establishes our ignorance, an epistemological principle that concerns first of all a limit of our knowledge: in general, we cannot attribute to a single body motion as its individual property, but we can only establish it as a relationship between two bodies. We can know only in some special cases, concerning us as moving bodies, which body is moving, but motion is always a relation of a body to other bodies: for a unique existing body, we could not distinguish motion and rest. Motion is a property of Nature as a whole.

This fact, that motion for us is attributable to a body not as an individual property but only as a relationship with another body or with other bodies or relative to a certain chosen point of view (to a “frame system of reference”), leads Whitehead to conclude that in general we cannot abstract a material body from the existence of the other material bodies with which it is by nature related, i.e., that the universe is not made up of separable material bodies, but rather by bodies that cannot be separated from each other. Being in relation to other bodies constitutes the essence of a body and therefore one must consider the universe as an inter-related whole.

## **2. No material bodies but events. Nature as a temporal process**

However, there’s more. The very concept of an individual material body separable from others loses its consistency and can no longer be the basis on which we can constitute the idea of Nature.

If we can affirm that there is a certain relationship of motion between two bodies that can never be completely eliminated (because, even when, from a certain point of view, from a certain frame system of reference, a body is at rest, we must attribute motion to another body – that is, either it is in motion one or the other), what is truly real (invariant for all the reference frame systems) is not the individual body with its supposed properties of motion or stillness that we cannot ascertain, but rather motion as a relational (collective) property of Nature. We cannot conceive a body without definite properties, it would be an abstraction. Motion is only a series of events: it is not something identifying or not a body.

Nature then is not made up of stable separable individual material bodies, but it is motion as a relation of the parts, as events: change, process.

We must include individual material bodies only as relative parts of a process, of a change-motion, which, as such, can never be described only in spatial terms, but always implies also a space-time dimension: a temporal series of events.

It then explains why in the theory of relativity we must move to a physical description in a four-dimensional space-time: because the Nature to be described is not made of individual separable, stable in some spatial position, material bodies, but rather is made of motions, changes, processes, events.

There are no more things-in-themselves-substances but only (fields of) events.

Different relations of motion between different parts of Nature imply different temporal relations. Nature is a set of different processes-motions, a set of different temporalities.

We understand that space must also be rethought in terms of time and we can also understand it in our experience if we do not make abstractions. The weft of space is woven by the vertical warp of the times.

A point in timeless space is not a fundamental entity, but it is the historical-temporal set of events, of the processes that happened there:  $P = [e_1, e_2, e_3, e_4, \dots]$

This kind of conception is in close agreement also with our actual experience of space and time. For example: what is a city like Messina? Is it just a spatial place that we can know by means of geography? Is it just where we are now? That kind of definition would be reductive. Isn't it also the place where my parents, ancestors, or other people lived in the past? Isn't it also the Republic in the seventeenth century subjugated by the ferocious Spaniards? Isn't it also the place where the Turks killed and ruled? Isn't it also the place where the Greeks from Messana in Greece partly moved? Isn't it also the place where, after us, our children or other people will live? We understand that spatial geography is not enough to define Messina, but rather there is a need to add a historical-temporal dimension to define it. A place like Messina, as well as a point in space, is not a fundamental entity, but it is the historical-temporal set of events, of the processes that took place there.

What is a house? Is it just a place we live in now? No, to say that would be an abstraction. The house where I live now is also the house that belonged to my parents and will be my heir's when I die. The house is a time series of events, of processes, not a material building in urban space.

What is a sofa? Is it just where I'm sitting right now? No, it's the place where my parents sat, and where maybe others will sit after me, if it's not thrown away.

In 1903, only few years before Whitehead's solution, his scholar Bertrand Russell wrote, in the book entitled *The Principles of Mathematics*, that a relational theory of space and time should describe the principles of geometry in terms of sensible entities (Russell 1903). Russell noted that indeed right lines and planes are not such entities, whereas, on the contrary, metrical (distance) relations are. Russell went on saying that indeed there is a very complicated method, invented by Leibniz and revised by Frischouf (Couturat 1901, p. 420) and Peano (Peano 1902-03), by which only distance is fundamental, and the right line is defined from it, even if some of its properties can be introduced only by suitable axioms.

The field of a given distance is the whole space, at variance with the field of the relation that gives rise to a right line which is only such right line itself. Such a relation generating the right line, hence, at variance with the former, makes an intrinsic distinction among space points, that is a distinction that a relational theory has to avoid.

Pieri and others Peano's scholars have tried to formulate geometry starting from the fundamental concept of abstract motion, but they never create an entirely relational theory of geometry (Pieri 1899).

This kind of approach to a relational theory of geometry did not start from actual physics and involved a change in the fundamental concepts of geometry, metrical geometry concepts replacing descriptive and projective geometry ones at the foundation level (Russell 1897).

Whitehead's approach actually overcome this latter abstract (mathematical) one. However, after these works and Whitehead's answer, the relational question was almost completely hidden by the debate on general relativity, and specifically on the problem whether general relativity is actually a

relational theory of space, time, and motion. And it was also believed that this latter problem could be reduced to the technical problem of the embedding of the so-called Mach's principle within the framework of general relativity (Mach 1883; Grünbaum 1957; Sciama 1959, Sciama 1969).

Indeed, even if one accepts the historical analysis given by Gereon Wolters that Ernst Mach did not really reject relativity (Wolters 1987), and even if one accepts the pseudo-Machian formulation of general relativity given by Dennis W. Sciama and others, a relational theory of space, time and motion is a more complex task than this reformulation of general relativity, a task which was realized for special relativity by Whitehead.

It is well known that general relativity has turned upside down the hierarchy between kinematics (in some interpretation, dynamics) and geometry: the kind of geometry which enters in the construction of a physical theory is no longer given *a priori*, but it is defined by the kinematical, physical invariance group of transformations related to kinematized gravitodynamics (Barut 1989).

In this perspective, however, geometry has a foundation completely independent of physics at least at the non-metrical level, that is at the affine or projective geometrical level. It is mathematically constructed in a Platonist world of ideas, on its own specific axioms regarding abstract concepts as points, lines, etc., and only after this stage physics could individuate by a very problematic choice only the kind of metric, that is only the kind of metrical geometry to be understood and used only as a physical application of already given mathematical structures.

And even if one understands this determination of metrical geometry by physics in a more radical way as the emergence of a physical chrono-geometry as opposed to mathematical geometry, it is only the metrical structure of geometry that is physically determined.

Indeed, even if, apart from the Einstein's operational formulation, it was recognized only by Poincaré and Eddington (beyond Whitehead, of course), also special relativity can be interpreted as involving the breakdown of the hierarchy between geometry and physics. Here, the problem is the "elimination" of magnetic forces, and the definition of geometry is given by the kinematical invariance group of transformations related to partially kinematized electrodynamics (Giannetto 1994). Hence, already special relativity physics replaces *a priori* geometry with a chrono-geometry, but also in this case it is only metrical geometry which is determined by physics.

Whitehead, indeed, has solved the greatest question left by Leibniz: relationism actually implies that every concept and every structure within a physical theory must be defined in terms of relations among physical "elements"; no mathematical or logical concept or structure can be given independently from physical relations. Every other option leads to meta-physics. There is no conventionality of metric.

The fundamental concepts of physics like space and time cannot have any mathematically or logically given *a priori* structure. In Whitehead's formulation of special relativity, physics not only defines the metrical geometry, but it also defines non-metrical, descriptive or projective geometry, that is, geometry *tout court* from its "foundations". From this point of view, only Whitehead's relational chrono-geometry is an actual physical geometry, free from any logico-mathematical (Platonist or Kantian, any way idealistic) presuppositions. Let us consider, first of all, relationism in respect to the fundamental concepts of geometry.

Already in 1906 paper, Whitehead was pointing out that the simplicity of spatial points was in opposition to the relational theory of space: this requires points to be non-fundamental, complex entities.

The statement that the event-particle, which one can coordinatize by four quantities  $(p_1, p_2, p_3, p_4)$ , occupies or happens in the point  $(p_1, p_2, p_3)$  means only that the event-particle is only one of the series of event-particles which is the point. That is, point is only a series, a set of physical event-particles. Hence, a theory of space is not a theory of relations of objects, but of relations of events.

Whitehead explained that in the orthodox theory events are described by means of objects which occupy a dominant position, and so events are considered as a mere play of relations among objects. In this way, space theory becomes a theory of relations among objects instead of relations among events.

The consequence is that, for objects are not related to the becoming of events, space as relations among objects is considered as unconnected to time. However, there cannot be space without time, or time without space, or space and time without event becoming.

Thus, at variance with the major part of interpretations of relativity which speak about the spatialization of time, Whitehead obtained a complete temporalization of space, so overcoming all the philosophical criticism about that seeming feature of relativity.

Whitehead wrote in *The Principle of Relativity with applications to Physical Science*:

Position in space is merely the expression of diversity of relations to alternative time-systems. Order in space is merely the reflection into the space of one time-system of the time-orders of alternative time-systems. A plane in space expresses the quality of the locus of intersection of a moment of the time-system in question (call it 'time-system *A*') with a moment of another time-system ('time-system *B*'). The parallelism of planes in the space of time-system *A* means that these planes result from the intersections of moments *A* with moments of one other time-system *B*. A straight line in the space of time-system *A* perpendicular to the planes due to time-system *B* is the track in the space of time-system *A* of a body at rest in the space of time-system *B*. Thus, the uniform Euclidean geometry of spaces, planeness, parallelism, and perpendicularity are merely expressive of the relations to each other of alternative time-systems. The tracks which are the permanent points of the same time-system are also reckoned as parallels. Congruence – and thence, spatial measurements – is defined in terms of the properties of parallelograms and the symmetry of perpendicularity. Accordingly, position, planes, straight lines, parallelism, perpendicularity, and congruence are expressive of the mutual relations of alternative time-systems (Whitehead 1922, pp. 8-9).

Let us consider now properly kinematics. Motion is another relation of events, that is a series of events ( $p_1, p_2, p_3, p_4$ ) linked to an object, conceived as placed in them, which is defined by its relation with the remaining part of the universe. If one considers another time-system (reference frame), the same motion will appear as a relation of other events ( $q_1, q_2, q_3, q_4$ ), which in general are associated to other different objects (Whitehead 1922, p. 9).

Hence, even if the motion of one object is relative to the particular considered time-system, such a motion cannot be reduced to an overall rest in any other time-system: that is, it will transform itself into the motion of the remaining part of the universe. Indeed, Whitehead kinematized the concept of physical field of an object: it is nothing else than the collection of modifications of event series related to that object: it is a kinematical relation among events and it does not involve any contact or at-a-distance action (his theory of gravitation was not conceived as an action at-a-distance theory as often stated).

Thus, what is a material body in general? It is a time series of events, of processes. Nature is the process of all the interrelated processes. The visible space for us, given the finite speed of light, is not only what happens in our present, but the set of different pasts of all the other processual temporalities of all the other parts of the universe: visible space is the unfolding of different times.

### 3. Whitehead's Interpretation Against Some Recent Eternalist Philosophies of Special Relativity

Whitehead's interpretation of relativity can be used to refute some recent philosophies: eternalism, fourdimensionalism, perdurantism, endurantism, exdurantism. According to Whitehead, reality is, as the medieval philosophers of motion said, a *res successiva*, never a timeless object.

Four-dimensionalist philosophy proposes to consider all the temporal phases-parts of processes as coexisting simultaneously and to consider as real four-dimensional objects extended in time as well as in space, reducing time to spatial extension and thinking of such objects as persistent in time. It is a matter of considering temporal succession as illusory and time as unfolded as simultaneously: past, present and future would always coexist simultaneously in a vision linked to an eternalism opposed to

presentism that considers only the present real. You would have a block *time* or a block *universe* as an immutable four-dimensional block. The prospect of considering past, present and future coexisting simultaneously is not justifiable on the basis of the impossibility of establishing in relativity a temporal order, invariant for all reference systems, for non-causally connectable events (events linked by a *space-like space-time* interval), nor on the basis of the sole authority of Albert Einstein who has been appealed, by Federigo Enriques and Karl Raymund Popper, as the “new Parmenides” for his refusal to consider temporal succession real. The impossibility of establishing an invariant temporal order for certain events (*spacelike*) and not for all implies only the incommensurability of different temporal sequences of events at different points in space, and never a real simultaneity of all events: such different temporal sequences of different physical systems can however be compared and ordered temporally within the broader order of the temporal sequence of a system that it comprises as parts and includes all the events of the spacelike timelines in a *time-like* interval relation. The order of time is local, as in the case where, while for Galileo the life of Lucretius belonged to the past, for Epicurus it was part of the future. The order of time is also local because time is flowing. However, if we consider the history of mankind as a timeline, today we can include in its past both Galileo, Epicurus and Lucretius.

At the basis of relativity is the loss of meaning of the possibility of establishing simultaneity at a distance in space, with the consequence that a distance in space must instead be interpreted in terms of a temporal sequence of events. Eternalism is thus a logical and physical fallacy and constitutes a total misunderstanding of the processual-temporal character of four-dimensional space-time, as explained by Whitehead.

Following the four-dimensionalist philosophy, the Lorentz contraction is not real but is only a three-dimensional projection of reality: in the three dimensions there is the contraction of lengths with the dilation of time that can be real due to the magnetic field or it can be simulated by the change of the reference system; but the instantaneous section is an abstraction always because the instant does not exist and there is no simultaneity at a distance and an instantaneous space. Contraction is always related to a dilation of a time interval and therefore is not related to an instantaneous section: four-dimensionalist interpretation is thus mistaken. That the contraction and dilation then change or disappear in a particular other reference is obvious: the four-dimensional space-time volume is the same, but it indicates our ignorance about true time and true space. Space is time and varies according to the rhythm of the time of the process and the reference, space-time is not a 4-dimensional space but Whitehead showed it as a temporally characterized space; the volume therefore depends on the rhythm of time with which it is measured, but if we multiply it by time, the gamma factor is elided in  $\Delta r \Delta t$  and we get the volume for the proper time of the process. If space is full of objects is given, but empty space does not exist: the empty space that exists, for example, between two celestial bodies, is only that which can be traveled or that is actually traveled. It is a different thing if one travels through it with a motion at a certain speed or with another motion at another speed. Time defines space: this definition is such that the space-time interval or the space-time product is invariant, because it is the one defined by light in a univocal way as the distance between two events or as the “evolutionary volume” of a system of certain spatial dimensions in time. Space-time as an interval indicates proper time, which we do not know what it is. What is invariant is the motion of light that corresponds to a space-time volume for which the magnetic field may or may not exist.

Four-dimensionalist eternalism has been declined in two versions: *Perdurantism*, which imagines reality as given by the mereological set of all the temporal parts that make up a single four-dimensional object that endures, referred to as a space-time worm, like the enduring set of various rings corresponding to the temporal parts; and *Exdurantism* (*Ex-durantism*), according to which persistent objects are the individual temporal parts (time-slices, instantaneous temporal slices derived from cuts in space-time) that constitute individual stages that bind together in a gen-identity relationship.



*Endurantism*, on the other hand, is the philosophical perspective according to which persistent objects are three-dimensional material objects that are completely present in every moment of their existence: this perspective is linked to an *A*-theory of time (in which time is thought of as a continuous transformation of events from future to present to past) by John McTaggart (1908); while *Perdurantism* is linked to a *B*-theory of time (in which events are not thought of in their flow but in tenseless relationships, i.e., without the temporal specifications of past, present and future, and therefore static-spatial of “before” and “after” that remain stable).

Both *endurantism*, *perdurantism* and *ex-durantism* postulate the persistence of objects, respectively three-dimensional or four-dimensional, whereas, according to Whitehead, the theory of relativity implies a physical reality given by a temporal processuality of non-persistent events.

The 4-dimensional space-time was introduced in 1905 by Henri Poincaré within the new relativistic electromagnetic dynamics: its introduction was necessary in the perspective in which it was demonstrated the possibility of understanding the phenomena related to material bodies in terms of phenomena of the electromagnetic field; the electromagnetic field, consisting of electromagnetic waves, is a form of motion. The movement of electromagnetic waves cannot be described only in a static spatial geometric framework but also requires time, a temporal dimension. While material bodies can be at rest at a certain moment and a three-dimensional geometry that allows them to be placed in a certain position at a certain point in space can be enough to describe their state, electromagnetic waves, being a form of wave motion, necessarily also require the temporal dimension to be described. And, therefore, the replacement of a three-dimensional geometry with a new four-dimensional “*chrono-geometry*”. The temporal dimension is thus recognized as constitutive of physical reality. Physical reality is no longer given by material bodies that can also be considered at rest, but by temporal processes (electromagnetic waves): four-dimensional space-time is the description of temporal processes.

#### 4. Conclusions

Whitehead’s *Special Relativity* is so hierarchically structured: *Lifeworld experience* (experiments too); *Epistemology and ontology*; *Relativistic logic of events*; *Relativistic set theory of events*; *Relativistic number theory of events*; *Relativistic topology of events*; *Relativistic non-metrical chrono-geometry*; *Relativistic metrical chrono-geometry*.

Thus, Whitehead realized a relational reformulation of logic (against the metaphysics of subject-predicate logic related to the metaphysics of substances), a relational reformulation of mathematics (set theory, arithmetic, algebra, topology, non-metrical and metrical geometry), a physical reformulation of logic and mathematics.

The physics of relativity makes us understand the temporal and processual reality of things and Whitehead’s philosophy.

Whitehead’s special-relativistic theory of gravitation can be understood not as an alternative to Einstein’s general relativity theory, but in terms of a special-relativistic limit of the general relativity theory of gravitation. General relativity has been formulated as having two limits to which it reduces itself to previous theories: locally in space-time general-relativistic dynamics reduces itself to special-relativistic dynamics; and furtherly, in the limit of weak fields, general relativistic theory of gravitation reduces itself to the Newtonian theory of gravitation. Thus, the limit of general relativity is schizophrenic: Whitehead’s special-relativistic theory of gravitation filled a structural gap and made possible to consider special relativity as the unique limit of general relativity theory.

Following Whitehead, for the relationality of Nature, each part is involved in everything: one part is the set of all relations with the rest of the universe (*togetherness*): it is the relationship with all the other parts, with the otherness that constitutes every part of the universe. Nature is an inter-related totality: it

is therefore not like a machine, but constitutes a living organism. Every part of Nature is sensitive to the others, every part is alive in different degrees. A new non-mechanist image of Nature.

*Process and Reality* (Whitehead 1929) can be understood in terms of Whitehead's interpretation of relativity.

The relational ontology of Nature implies a cosmic relational ethics, respectful of all other parts of the universe, of every living part. One new relational image of God as a love that grows with always new relationships of the creative process of the universe.

### Bibliography

- Barut, A.O. (1989). *Geometry and Physics. Non-Newtonian Forms of Dynamics*. Napoli: Bibliopolis.
- Couturat, L. (1901). *La Logique de Leibniz*. Paris: Alcan.
- Giannetto, E. (1994). "Mach's Principle and Whitehead's Relational Formulation of Special Relativity", in *Proceedings of the Conference on the Physical Interpretations of Relativity Theory III*; London, September 1992, pp. 126-146.
- Grünbaum, A. (1957). "The Philosophical Retention of Absolute Space in Einstein's General Relativity", *The Philosophical Review*, LXVI, pp. 525-534.
- Mach, E. (1883). *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt*. Leipzig: Brockhaus.
- Peano, G. (1902-03). "La geometria basata sulle idee di punto e distanza", *Atti della Reale Accademia delle Scienze di Torino*, XXXVIII, pp. 6-10.
- Pieri, M. (1899). "Della geometria elementare come sistema ipotetico-deduttivo", *Memorie della Reale Accademia delle Scienze di Torino*, XLIX, p. 176.
- Russell, B. (1897). *An Essay on the Foundations of Geometry*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Russell, B. (1903). *The Principles of Mathematics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sciama, D.W. (1959). *The Unity of the Universe*. London: Faber and Faber.
- Sciama, D.W. (1969). *The Physical Foundations of General Relativity*. London: Heinemann.
- Whitehead, A.N. (1920). *The Concept of Nature*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Whitehead, A.N. (1922). *The Principle of Relativity with applications to Physical Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Whitehead, A.N. (1929). *Process and Reality. An essay in Cosmology*. New York: The Macmillan Co.
- Wolters, G. (1987). *Mach I, Mach II, Einstein und die Relativitätstheorie. Eine Fälschung und ihre Folgen*. Berlin-New York: de Gruyter.

# Exchange Interactions between Europe and Japan in the 1930s: Tomonaga, Yukawa and the Birth of Nuclear Theory

Marco Di Mauro<sup>1</sup>, Salvatore Esposito<sup>2</sup>, Adele Naddeo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Trento, marco.dimauro@unitn.it

<sup>2</sup> Dipartimento di Fisica “E. Pancini”, Università degli Studi di Napoli “Federico II” and INFN, Sezione di Napoli, sesposit@na.infn.it

<sup>3</sup> INFN, Sezione di Napoli, anaddeo@na.infn.it

*Abstract:* The concept of exchange interactions was introduced by W. Heisenberg in 1926 in connection with the quantum mechanical description of systems of identical particles, and it was soon fruitfully applied to many problems in atomic, molecular, and condensed matter physics. After the discovery of the neutron in 1932, it found application also in nuclear physics, with the theories of nuclear structure developed, among others, by Heisenberg and E. Majorana. Then, it entered the domain of quantum field theory, leading to the modern understanding of fundamental forces as mediated by virtual particle exchange. An important intermediate step in this development is Fermi’s theory of  $\beta$ -decay. H. Yukawa and S. Tomonaga, who already had been exposed to the principles of the new quantum mechanics by attending a series of lectures given by Heisenberg and P. A. M. Dirac in Japan in 1929, and spent long periods in Europe, were strongly influenced by these works. Within a few years, Yukawa conceived his crucial idea of an interaction mediated by virtual mesons, while Tomonaga investigated the range of proton-neutron interactions. In this contribution, we reconstruct the role played by Japanese physicists in building the modern understanding of fundamental forces in the 1930s and relate it to research performed in Europe.

*Keywords:* Nuclear Physics, Exchange Forces, Meson

## 1. Introduction

The birth of the idea of quantum resonance as the first seed of the so-called exchange interactions can be traced back to a 1926 seminal paper by W. Heisenberg (1926). Here he discovered the existence of a close connection between the symmetry property of the wave function and the statistics of a particle in a many-body system and succeeded in explaining the splitting between singlet and triplet states in the spectrum of the helium atom. Exchange interactions soon entered the domain of molecular physics thanks to W. Heitler and F. London, who in 1927 laid down the foundations of the quantum theory of the homopolar chemical bond (Heitler & London 1927). Here, an intuitive notion of electrons literally exchanging places around the different nuclei was introduced, which is denoted with the German word *Austausch*. The meaning of the exchange concept thus gradually evolved from Heisenberg’s original idea, simply involving a switch of two states with different energy levels. In molecules, the net result of the exchange of electrons is a force between the nuclei. The idea was soon applied to explain the strong spin-spin interaction at the basis of ferromagnetism (Heisenberg 1928), where exchange interactions are responsible for the overall alignment of individual spins (Carson 1996a). Another application was to electron-atom collisions, where the exchange of the incoming electron with one of the atomic electrons produces interference terms modifying the cross-section (Oppenheimer 1928).

As well known, the year 1932 marked the beginning of a new era in nuclear physics triggered by the discovery of neutron (Chadwick 1932), which deeply contributed to a correct understanding of the

nuclear structure. Indeed, the hypothesis that the nucleus is built of protons and electrons lead to many inconsistencies, as for instance the wrong statistics of the  $^{14}\text{N}$  nucleus and the violation of the momentum-position uncertainty relation for the confined electrons. Another puzzling issue concerned the continuous nature of the  $\beta$ -ray spectrum. These problems led N. Bohr to believe that quantum mechanics did not work at nuclear scales, as evocatively recalled by S. Tomonaga: “according to Bohr’s idea, the interior of a nucleus was a sanctuary that could not be penetrated by quantum mechanics” (Tomonaga 1997, p. 160). After J. Chadwick’s discovery, Heisenberg was able to bring quantum mechanics into the nuclear domain and provided a first description of the interaction between protons and neutrons in terms of an exchange mechanism (Heisenberg 1932a; Heisenberg 1932b; Heisenberg 1933), soon followed by E. Majorana’s improvements (Bassani 2006; Majorana 1933) and E. Fermi’s theory of  $\beta$ -decay (Fermi 1934; Wilson 1968). Thus, the concept of exchange force entered nuclear physics together with a fruitful analogy between quantum electrodynamics and nuclear forces, paving the way to the modern understanding of fundamental interactions as mediated by virtual particles. But the last, crucial step towards this picture was carried out in Japan by H. Yukawa. He, as well as his classmate and rival scientist Tomonaga, began to study the new quantum mechanics while being third year undergraduate students at Kyōto University (Yukawa 1982; Tomonaga 1997). Then in 1929, as unpaid research assistants, they attended a series of lectures given in Tōkyō and Kyōto by Heisenberg and Dirac and promoted by Y. Nishina, who had recently returned to Japan after an eight-year research stay in Europe (Kim 2007; Konagaya 2020). The meson idea took shape at the end of 1934 (Yukawa 1935) after a three-year struggle (Yukawa 1982) and a fruitful interaction with Tomonaga, who (in the same years) was carrying out calculations on the binding energy of the deuteron and the range of proton-neutron interactions in Nishina’s laboratory (Nishina *et al.* 1936; Tomonaga 1997).

The role played by Yukawa as well as Tomonaga in the birth of the theory of nuclear forces is here reconstructed and compared with that of European physicists. It is discussed in detail in Section 3 and 4 of the present paper, while Section 2 contains a brief account of the key ideas underlying the contributions by Heisenberg, Majorana and Fermi. Finally, our conclusions end the paper.

## 2. The birth of theoretical nuclear physics: Heisenberg, Majorana and Fermi

Heisenberg’s seminal papers (Heisenberg 1932a; 1932b; 1933) were the first concrete attempt to bring quantum mechanics into the nuclear domain. The starting point was the hypothesis that the neutron is a nuclear constituent, which was expected to lead to the correct statistics of the nitrogen nucleus as well as to an explanation of the  $\beta$ -decay mechanism. In his words:

The neutron will be taken as an independent fundamental particle which, however, can split, under favourable conditions, into a proton and an electron, violating the law of conservation of energy and momentum (Heisenberg 1932, p. 1; transl. in Brink 1965, p. 145).

This hybrid vision, pointing sometimes to the neutron as a bound system, will accompany Heisenberg throughout all the three papers. The core of his proposal is a quantum mechanical description of the interaction between protons and neutrons, whose nature he aimed at establishing. As inferred by experiments, the required interaction should be very strong within the nuclear region and should satisfy a saturation property, in much the same way as the interaction between the two protons in a hydrogen molecular ion:

If one brings a neutron and a proton to within a distance comparable to the dimensions of the nucleus, then – in analogy with the  $\text{H}_2^+$  ion – a change of place of the negative charge will occur with a frequency given by a function  $(1/h) J(r)$  of the distance between the two particles. The quantity  $J(r)$  corresponds to the Austausch- or more correctly the Platzwechsel-integral of molecular

theory. One can illustrate this change of place again with the picture of electrons that have no spin and obey Bose statistics. But it is probably more correct to regard the exchange integral  $J(r)$  as a fundamental property of the proton-neutron pair, without wanting to reduce it to motion of electrons (Heisenberg 1932, p. 2; transl. in Carson 1996b, p. 104).

Heisenberg referred to an electron without spin satisfying Bose statistics, hinting at a composite neutron. Thus, the interaction between the neutron and the proton appeared to be due to an exchange of an electron between them, as in the case of the  $H_2^+$  molecular ion, a mechanism termed in German *Platzwechsel*, i.e., exchange of position (Carson 1996b; Miller 1994). But at the end a novel picture is suggested: if one forgets about the electron, the effect can be viewed as due to proton-neutron exchange, again dealing with an *Austausch* (Carson 1996b; Miller 1994). The last consideration led Heisenberg to introduce the successful concept of isospin, which allowed him to interpret the neutron and the proton as the two different states of a nucleon (Heisenberg 1932a). Without any doubt Heisenberg's theory contains deep insights, which allowed to penetrate the nuclear "sanctuary", but there were also several shortcomings. In particular, the ground state wave function of the deuteron was symmetric with respect to the isospin and space coordinates and antisymmetric with respect to spin as a result of the choice of the sign of  $J(r)$ . This conclusion was wrong, leading to the saturation of the deuteron, at odds with experimental results, which pointed to the  $\alpha$ -particle instead. As a further drawback, the extension of Thomas-Fermi method to nuclei (Heisenberg 1933) needed a cut-off to potential energy at short distances in order to avoid the collapse of the nucleus.

A critical analysis of Heisenberg's results was Majorana's starting point (Majorana 1933; Bassani 2006). The Italian physicist adopted a different approach in order to circumvent the shortcomings of Heisenberg's theory. He looked for the simplest theory able in principle to account for the neutron-proton interaction, which could explain basic facts such as the saturation of the  $\alpha$ -particle and the correct spin of the deuteron ground state. Heisenberg's strategy of selecting out an attractive force for large distances cut-off by a strong repulsive short-range force to model impenetrability of particles was discarded as aesthetically unsatisfactory, thus Majorana pursued a different strategy, again inspired by molecular physics:

We shall, therefore, try to find another solution and introduce as few arbitrary elements as possible. The main problem is this: How can we obtain a density independent of the nuclear mass without obstructing the free movement of the particles by an artificial impenetrability? We must try to find an interaction whose average energy per particle never exceeds a certain limit however great the density. This might occur through a sort of saturation phenomenon more or less analogous to valence saturation (Bassani 2006, p. 188).

Thus, Majorana corrected Heisenberg's theory by changing the sign of the exchange integral  $J(r)$  and by assuming that the exchange interaction exchanged only the position coordinates of proton and neutron while the spins were unaffected. This choice led to the saturation of the  $\alpha$ -particle, as explicitly proven by applying the Thomas-Fermi model to nuclear matter. Finally, he looked for the best analytical form of  $J(r)$ , which could match experimental data. Interestingly, his second proposal,  $J(r) = Ae^{-\beta r}$ , is very close to Yukawa's one (Yukawa 1935). The superiority of Majorana's approach was publicly acknowledged by Heisenberg (1934) during his speech at the Seventh Solvay Conference, held in October 1933, and gathered wide consensus among physicists. But, despite these brilliant findings, the problem of energy non conservation in  $\beta$ -decay remained still unsolved. A brilliant solution was provided by Fermi in 1934. His work builds on the analogy with the emission of a photon by a decaying atom and makes a clever use of Pauli's neutrino hypothesis, Heisenberg's isotopic spin framework and second quantization (Fermi 1934; Wilson 1968). Furthermore, Fermi assumed that the nuclear constituents are only neutrons and protons. In his words:

in order to understand that emission is possible, we want to try to construct a theory of the emission of lightweight particles from the nucleus in analogy with the theory of emission of light quanta from an excited atom by the usual radiation process. In radiation theory, the total number of light quanta is not constant. Light quanta are created when they are emitted from an atom, and are annihilated when they are absorbed (Wilson 1968, p. 1151).

The analogy with the electromagnetic case clearly led to the possibility both for electrons and neutrinos to be created and annihilated. Fermi carried out perturbative calculations and compared his results with available experimental data, obtaining a good agreement. Immediately after the success of Fermi's theory, various people (Tamm 1934; Iwanenko 1934) tried to unify  $\beta$ -radioactivity and the nuclear force by looking at the latter as due to an exchange of an electron-neutrino pair (instead of a Bose electron), but the results did not match the experimental order of magnitude of neutron-proton coupling. The problem would have been solved by Yukawa at the end of 1934.

### 3. Yukawa and the meson

In order to reconstruct the genesis of Yukawa's work, it is worth making reference to his first publication, which dates back to 1932, and amounted to a Japanese translation of Heisenberg's papers, supplemented with a short introduction.<sup>1</sup> As clearly emerges from his words, a critical analysis of Heisenberg's work was the starting point of his path towards the formulation of meson theory:

Though Heisenberg does not present a definite view on whether neutrons should be seen as separate entities or as combinations of a proton and an electron, this problem, like the  $\beta$  decay problem stated above, cannot be resolved with today's theory. And unless these problems are resolved, one cannot say whether the view that electrons have no independent existence in the nucleus is correct (Brown 1981, p. 122).

Quantum field theory also played a crucial role in the genesis of the meson idea, leading from a field of force to the corresponding particle, as recollected in his autobiography (Yukawa 1982). The intermediate steps in his investigation are documented by a couple of talks given in 1933 and 1934 at the annual meeting of the Physico-Mathematical Society of Japan, which did not result into any publication. However, some related documents (abstracts and manuscripts), which give valuable information on Yukawa's reasoning, are collected in the Yukawa Hall Archival Library (YHAL) at YITP, Kyōto University.<sup>2</sup> In particular, in the 1933 talk there is a first attempt to derive the proton-neutron interaction from the relativistic quantum mechanics of the exchanged electron. In this respect, it is interesting to quote a passage from an unpublished manuscript (Yukawa 1933a):

Now we will adopt the viewpoint that the neutron is quantum mechanically an elementary particle. [...] With this assumption alone, however, we cannot understand how the neutron is bound in nuclei. Some attraction must act between protons and neutrons, and between neutrons themselves. What is the reason for such attraction? The force between charged particles is, as well known, mediated by radiation; a charged particle emits radiation in its motion and this radiation affects the other charged particles; these particles absorb the radiation and change their state of motion. That is, charged particles create the electromagnetic field and are affected by it. In the same sense, we intend to consider the following: a neutron can emit an electron and change to a proton, and a proton can absorb an electron and change to a neutron. This fact is itself the cause of the interaction between

<sup>1</sup> The English translation of this introduction can be found in: Brown (1981, pp. 121-122).

<sup>2</sup> See Kawabe (1991) for an English translation of the main documents related to Yukawa's 1933 and 1934 talks.

proton and neutron; in other words, neutron and proton create the electron field, i.e., the field of the electron wave, and are affected by it (Kawabe 1991, pp. 251-252).

In this way Yukawa also expected to explain  $\beta$ -decay. But how to guess the behavior of the exchange integral  $J(r)$ ? In the same manuscript (Yukawa 1933a) he admitted that:

when we regard the neutron as an elementary particle, there immediately arises the question: What kind of force acts between the neutron and the charged particles? To solve this problem the most effective method at present might be to calculate the scattering of neutrons on nuclei by assuming a suitable interaction between neutrons and nuclei and comparing the results with experiment. In effect, one can assume a force decreasing rapidly with the distance (Massey, Proc. R. Soc. London A 138 (1932), 460) [...] in any case we cannot justify the assumptions (Kawabe 1991, pp. 250-251).

There is a clear hint to a force rapidly decreasing with distance and a reference to a paper by H.S.W. Massey (1932b), which dealt with collisions of neutrons with matter. Here the neutron was considered as an atom of very high effective  $Z$  (to account for its small size), so that the following potential is introduced:

$$V(r) = e^2 \left( \frac{1}{r} + \frac{Z}{a_0} \right) e^{-\frac{2Zr}{a_0}} \quad (1)$$

where  $a_0$  is the Bohr radius. As pointed out by Kawabe (1991), Massey's paper refers to a previous paper of him (Massey 1932a), in which a nuclear field of the form  $V(r) = -\frac{Ae^{-\mu r}}{r}$  is considered, when calculating the anomalous scattering of  $\alpha$ -particles. Both expressions, in particular the second one, show a behavior very similar to Yukawa's interaction, but Yukawa did not refer to the second paper by Massey (1932a). Thus, one is not able to say if he was aware of it. In conclusion, already in 1933 Yukawa was very close to the correct form of  $J(r)$ , but he did not understand its meaning and its consequences yet. Furthermore, his calculations gave in fact rise to a Coulomb-like form for the interaction energy, in sharp disagreement with the expected behavior (Yukawa 1933b):

In any case, the practical calculation does not yield the looked-for result that the interaction term decreases rapidly as the distance becomes larger than  $h/2\pi mc$  unlike what I wrote in the abstract of this talk (Kawabe 1991, p. 249).

Yukawa initially attributed the failure of his approach to the incompleteness of relativistic quantum mechanics, which demanded a reformulation. So, he turned to foundational issues and began to develop a kind of nonlocal field theory, which would later be an inspiring source for Tomonaga's super-many-time theory (Tomonaga 1946). This topic was also the subject of his 1934 talk at the annual meeting of the Physico-Mathematical Society of Japan. But there were no novelties in Yukawa's research until late spring 1934, when he learned about Fermi's work on  $\beta$ -decay and turned again to nuclear theory. After trying himself to explain nuclear forces by means of the exchange of a neutrino-electron pair, he changed his approach and proposed a brand-new field as the basis of the interaction:

Now, such an interaction [...] can be described by means of a field of force, just as the interaction between the charged particles is described by the electromagnetic field. [...] In the quantum theory this field should be accompanied by a new sort of quantum, just as the electromagnetic field is accompanied by the photon (Yukawa 1935, pp. 48-49).

Yukawa thus sought a new field theory for the nuclear force and tried to infer its properties from the known properties of the latter. So, he assumed that the potential had the simple form  $\pm g^2 \frac{e^{-\lambda r}}{r}$  and viewed it as the static, spherically symmetric solution of the equation:

$$\left\{ \Delta - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \lambda^2 \right\} U = 0 \quad (2)$$

Here  $g$  and  $\lambda$  are constants with the dimensions of an electric charge and of an inverse length, so that the range of forces is equal to  $1/\lambda$ . Then, by assuming an appropriate source, he solved the corresponding equation and completed his program of writing down the Hamiltonian for the neutron-proton system. The resulting Hamiltonian turns out to be equivalent to Heisenberg's one, with the above potential (with the minus sign) playing the role of the exchange integral  $J(r)$ . Then, Yukawa noticed that quantum field theory required this field to be associated to massive quanta, later dubbed mesons. Furthermore, he recognized that the range of the force is related to the mass of the quanta. Yukawa also assumed that his quanta coupled to light particles (electrons and neutrinos), in order to unify nuclear and Fermi interactions. His  $U$ -field should have been the analog of the electromagnetic scalar potential. The analog of the vector potential was not worked out in the 1935 paper because at the time no suitable relativistic equation was known. The generalization to a vector theory would have been carried out later, in 1937 (Yukawa *et al.* 1938), after the discovery of a particle compatible with meson in cosmic ray showers (Anderson & Neddermeyer 1936). This event marked the beginning of the interest of western physicists in Yukawa's results.

#### 4. Tomonaga's contributions

In his 1935 paper, Yukawa explicitly acknowledged Tomonaga's contributions:

using the Hamiltonian (10) for heavy particles, we can calculate the mass defect of  $H^2$  and the probability of scattering of a neutron by a proton [...]. These calculations were made previously, according to the theory of Heisenberg, by Mr. Tomonaga, to whom the writer owes much. A little modification is necessary in our case (Yukawa 1935, p. 52).

Tomonaga's role can be reconstructed from archival documents<sup>3</sup> as well as from Tomonaga's recollections (Tomonaga 1997). In April 1933, at the same annual meeting of the Physico-Mathematical Society of Japan attended by Yukawa, Nishina and Tomonaga presented the results of a calculation on the neutron-proton interaction. A potential identical with Yukawa's one was introduced and an estimate of the range of the interaction was also provided (Tomonaga 1997). The abstract of their talk was:

We have analysed scattering of neutron by proton using Heisenberg's theory on nuclear structure, assuming the shape of interactions between neutron and proton, and taking into account the mass defect of hydrogen 2. Our result has been compared with experimental results (Konuma *et al.* 2014, p. 2).

At Yukawa's request, he sent him a seven-page letter (Tomonaga 1933), in which he gave details of his calculations, involving several short-range phenomenological potentials. Also, here he mentioned the potential  $A \frac{e^{-\lambda r}}{r}$ . In fact, Tomonaga's computations of neutron-proton scattering led him to predict the existence of a new quantum state of the deuteron, as vividly expressed in his recollections:

<sup>3</sup> See the Yukawa Hall Archival Library (YHAL) at YITP, Kyoto University. Some documents are also available in the Archive of historical materials, Osaka University Yukawa Memorial and accessible via web.



I found that such a level did not result from Heisenberg's exchange force alone, but if we added the exchange force proposed by Majorana [...] such a level was possible. Therefore, I wanted to determine the ratio of the Heisenberg force and the Majorana force from this scattering experiment. [...] I succeeded [...]. I was quite elated with this achievement and Professor Nishina was also satisfied, and our results were reported [...] in Sendai, 1933 [...]. However, [...] Professor Nishina put off publishing this paper (Tomonaga 1997, p. 228).

The corresponding paper (Nishina *et al.* 1936) would have been published only later, in 1936.

## 5. Conclusions

The 1930s were a decade of huge development for theoretical nuclear physics. Fermi's and Yukawa's theories were the first quantum field theories other than quantum electrodynamics. The decisive steps towards a quantum field theory of the nuclear interaction were made by the new generation of Japanese physicists. Yukawa's assumptions were the validity of the principles of quantum theory inside the nucleus and the idea that nuclear interaction is a fundamental force just as electromagnetism. A fruitful interplay between Yukawa and Tomonaga in 1933-34 was pivotal in the proposal of meson theory. In particular, Tomonaga's results with Nishina played a role in the birth of Yukawa's theory, worth of further investigations.

## Bibliography

- Anderson, C.D. & Neddermeyer, S.H. (1936). "Cloud Chamber Observations of Cosmic Rays at 4300 Meters Elevation and Near Sea-Level", *Physical Review*, 50, pp. 993-994.
- Bassani, G.F. & the Council of the Italian Physical Society (eds.) (2006). *Ettore Majorana Scientific Papers. On occasion of the centenary of his birth*. Berlin and Heidelberg: Springer Verlag.
- Brink, D.M. (1965). *Nuclear Forces*. Oxford: Pergamon Press.
- Brown, L.M. (1981). "Yukawa's Prediction of the Meson", *Centaurus*, 25, pp. 71-132.
- Carson, C. (1996a). "The Peculiar Notion of Exchange Forces-I", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 27, pp. 23-45.
- Carson, C. (1996b). "The Peculiar Notion of Exchange Forces-II", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 27, pp. 99-131
- Chadwick, J. (1932). "The existence of a neutron", *Proceedings of the Royal Society of London A*, 136, pp. 692-708.
- Fermi, E. (1934). "Tentativo di una teoria dei raggi beta", *Nuovo Cimento*, 11, pp. 1-19.
- Heisenberg, W. (1926). "Mehrkörperproblem und Resonanz in der Quantenmechanik", *Zeitschrift für Physik*, 38, pp. 411-426.
- Heisenberg, W. (1928). "Zur Theorie des Ferromagnetismus", *Zeitschrift für Physik*, 49, pp. 619-636.
- Heisenberg, W. (1932a). "Über den Bau der Atomkerne I", *Zeitschrift für Physik*, 77, pp. 1-11.
- Heisenberg, W. (1932b). "Über den Bau der Atomkerne II", *Zeitschrift für Physik*, 78, pp. 156-164.
- Heisenberg, W. (1933). "Über den Bau der Atomkerne III", *Zeitschrift für Physik*, 80, pp. 587-596.
- Heisenberg, W. (1934). "La Structure du Noyau", in *Structure et propriétés des noyaux atomiques: rapports et discussions du septième Conseil de physique tenu à Bruxelles du 22 au 29 octobre 1933*, Institut International de physique Solvay, Bruxelles, Belgium, October 22-29, 1933. Paris: Gauthier-Villars, pp. 289-323.
- Heitler, W. & London, F. (1927). "Wechselwirkung neutraler Atome und homopolare Bindung nach der Quantenmechanik", *Zeitschrift für Physik*, 44, pp. 455-472.
- Ivanenko, D. (1934). "Interaction of Neutrons and Protons", *Nature*, 133, pp. 981-982.

- Kawabe, R. (1991). “IV. Yukawa and Osaka-Kyoto Group”, *Progress of Theoretical Physics Supplement*, 105, pp. 241-261.
- Kim, D.W. (2007). *Yoshio Nishina: Father of Modern Physics in Japan*. New York: Taylor & Francis.
- Konagaya, D. (2020). “Heisenberg’s visit to Kyoto in 1929 and its stimulation of young Japanese physicists”, *Historia Scientiarum*, 29, pp. 280-299.
- Konuma, M. *et al.* (2014). “The Legacy of Hideki Yukawa, Sin-Itiro Tomonaga, and Shoichi Sakata: some Aspects from their Archives”, *JPS Conference Proceedings*, 1, 013009. doi: 10.7566/JPSCP.1.013009
- Majorana, E. (1933). “Uber die Kerntheorie”, *Zeitschrift fur Physik*, 82, pp. 137-145.
- Massey, H.S.W. (1932a). “The Collision of  $\alpha$ -particles with Atomic nuclei”, *Proceedings of the Royal Society of London A*, 137, pp. 447-463.
- Massey, H.S.W. (1932b). “The Passage of Neutrons through Matter”, *Proceedings of the Royal Society of London A*, 138, pp. 460-469.
- Miller, A.I. (1994). *Early quantum electrodynamics: a source book*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nishina, Y., Tomonaga S. & Tamaki, H. (1936). “A Note on the Interaction of the Neutron and the Proton”, *Scientific Papers of the Institute of Physical and Chemical Research*, 30, pp. 61-69.
- Oppenheimer, J.R. (1928). “On the Quantum Theory of Electronic Impacts”, *Physical Review*, 32, pp. 361-376.
- Tamm, I. (1934). “Exchange Forces between Neutrons and Protons, and Fermi’s Theory”, *Nature*, 133, p. 981.
- Tomonaga, S. (1946). “On a Relativistically Invariant Formulation of the Quantum Theory of Wave Fields”, *Progress of Theoretical Physics*, 1, pp. 27-42.
- Tomonaga, S. (1997). *The Story of Spin*. Chicago and London: The University of Chicago Press.
- Wilson, F.L. (1968). “Fermi’s Theory of Beta Decay”, *American Journal of Physics*, 36, pp. 1150-1160.
- Yukawa, H. (1935). “On the Interaction of Elementary Particles. I”, *Proceedings of the Physico-Mathematical Society of Japan*, 17, pp. 48-57.
- Yukawa, H. (1982). *Tabibito (The Traveller)*. Singapore: World Scientific.
- Yukawa, H., Sakata, S. & Taketani, M. (1938). “On the Interaction of Elementary Particles. III”, *Proceedings of the Physico-Mathematical Society of Japan*, 20, pp. 319-340.

### Archival Sources

- Archive of historical materials, Osaka University Yukawa Memorial, Available at: <https://www-yukawa.phys.sci.osaka-u.ac.jp/en/archive>.
- Tomonaga, S. (1933). Letter to Yukawa, Kyoto University, YITP, *Yukawa Hall Archive Library (YHAL) Resources*, F02 080 C01. Also available at: <https://www-yukawa.phys.sci.osaka-u.ac.jp/en/archive/387>.
- Yukawa, H. (1933a). “The Roles of the Electron for Nuclear Structure”. Kyoto University, YITP, *Yukawa Hall Archive Library (YHAL) Resources*, E05 060 U01.
- Yukawa, H. (1933b). “A Comment on the Problem of Electrons in the Nucleus”. Kyoto University, YITP, *Yukawa Hall Archive Library (YHAL) Resources*, E05 080 U01.

# 1930-1937: The First $\beta$ -ray and Neutrino Theories

Francesco Vissani<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INFN, Laboratori Nazionali del Gran Sasso, vissani@lngs.infn.it

*Abstract:* The conceptual bases of Fermi's  $\beta$ -ray theory (at its 90th anniversary) are examined, highlighting the innovative drive and inspirational role for the progress that followed just afterwards. Moreover, the three different ideas of the neutrino born from the proposals of Pauli 1930, Fermi 1933 and Majorana 1937 are discussed, emphasizing the interest of the latter for current expectations.

*Keywords:* Nuclear physics, beta decay, neutrino, Pauli, Fermi, Majorana

## 1. Introduction

In 1984, on the 50<sup>th</sup> anniversary of the discovery of radioactivity induced by neutrons, Edoardo Amaldi wrote a monumental work of review on those very topics (Amaldi 1984). This work contains much valuable and unique material: e.g., there is a famous footnote, in which the origin of the word “neutrino” is recounted. We do not quote its text, relying on the fact that this story is already known, and we deal instead with Amaldi's presentation of an important and closely related aspect. In the section entitled “Fermi's paper on beta decay” (page 82) there is a description that leads the modern reader to spontaneous assent, this one:

his density of interaction Hamiltonian  $H_{fi}$  is expressed as the product of 2 four-vectors computed at the same point (contact interaction), one concerning the heavy particles, the other the light particles

$$H_{fi} = g[(\underline{\psi}_p \gamma_\mu \psi_n)(\underline{\psi}_e \gamma^\mu \psi_\nu) + h. c.]$$

On the other hand, scrolling the text of the three original work (Fermi 1933-1934), it is easy to convince oneself that Fermi uses a Hamiltonian, not a ‘Hamiltonian density’; that his description of nucleons does not rely on the relativistic formalism (and in this way, the symmetry between hadrons and leptons is not emphasized); that neither Dirac  $\gamma_\mu$  matrices nor Dirac conjugates are mentioned; that there is no mention of an emission of antineutrinos, but only of neutrinos. In short, the equation shown by Amaldi is not in Fermi's papers. It is a modern expression, to which modern theoretical physicists are accustomed, and which in a certain sense corresponds to those in (Fermi 1933-1934); but that does not allow us to understand the difficulties encountered and overcome by Fermi, and that also prevents us from appreciating the value of subsequent theoretical progress.

In view of the fact that Amaldi's review paper has been (and is) influential, and presentations similar or identical to his have since become very common – see e.g., (Bilenky 2013) – we propose to consider a series of questions to prepare ourselves to better appreciate Fermi's work and legacy:

- What are the objectives and conceptual bases of Fermi's theory? What are its radical innovations?
- What was Fermi's theory important for at the time?
- In what aspects does Fermi's theory of  $\beta$  decay differ from the modern one?
- How do Pauli's, Fermi's and Majorana's ideas on the neutrino compare with each other?

In the following discussion, we will draw mainly on a recent article prepared on the occasion of the 90<sup>th</sup> anniversary of Fermi's 'Tentativo' (Vissani 2023) to which we refer the reader, interested in detailed information and specific references.

## 2. Fermi theory of $\beta$ rays and its legacy

### 2.1 Origin, purpose, basis and innovations

The aim of Fermi's work is to provide an answer to the question "how is it possible for the nucleus to emit electrons, if there are no electrons in the nucleus?" The formulation of this question helps us to remind the state of previous knowledge: in the second decade of the 20<sup>th</sup> century, a somewhat spontaneous opinion gained traction, that the electrons emitted in the  $\beta$  decay must pre-exist in the nucleus. This view is clearly stated in a well-known work by Rutherford written in 1920, in which he adheres to a model of a nucleus consisting of protons and electrons. As soon as the neutron is discovered, a new and more convincing model is proposed, where the nucleus contains only protons and neutrons (Iwanenko 1932, Heisenberg 1932, Majorana 1933); but this urgently raises the question of how to model the emission  $\beta$  rays.

Inspired by de Broglie's ideas, Ambarzumian & Iwanenko had suggested already in 1930 that the electron is created in that process, just as happens to a photon spontaneously emitted by an excited atom; the same was further advocated in 1933 by Francis Perrin, for whom the neutrino should also suffer a similar fate. But none of them succeeded in creating a quantitative theory, a calculable model.

Fermi, on the other hand, succeeded in this endeavour, with the three papers mentioned above, which have the same content. The first of these appeared just 90 years ago, and the other two provide some further details. The model describes the situation in which an atomic nucleus increases its charge by one unit (attributing this to a change of state of a nucleon – from a neutron, to a proton) and at the same time an electron and a neutrino are created. In formulae,

$$(A, Z) \rightarrow (A, Z + 1) + e + \nu$$

Let us immediately remember that Fermi's description is overall in good agreement with the observational facts; over time it has been improved in various aspects, rather than radically modified. But let's take a closer look at its original structure.

The mathematical formalism adopted to deal with relativistic fermions assumes the correctness of the Dirac equation, the Dirac sea-based interpretation, and exploits the technique of second quantization developed by Jordan, Klein, Wigner and Fock. This formalism implies using operators

$$\Psi = \sum_S \mathbf{a}_S \psi_S$$

with dimensions square root of a density; the sum is over all possible states  $S$  (positive and negative energies);  $\psi_S$  are wavefunctions that solve Dirac equation, normalized *à la* Born;  $\mathbf{a}_S$  are adimensional annihilation operators that describe the disappearance of a particle in the state  $s$ :  $\langle 0 | \mathbf{a}_S | s \rangle = 1$ .

How to avoid a disastrous process of creating electrons of negative energy? The chosen way to go is the one described by Dirac. It is assumed that, as a rule, all negative energy fermion states are occupied; this is the hypothesis of the "Dirac sea". We reiterate that this formalism is used *only* for electrons and neutrinos. In this way, Fermi

- manages to describe the spin of electrons and neutrinos in the theory;
- does not emphasize the other crucial aspect of Dirac equation – antiparticles;

- relies on the less innovative – but adequate – isospin formalism for nucleons.

Let us emphasize the point we made, as explicitly as possible: Fermi uses quantized fields to deal with electrons and neutrinos, but not the formalism of canonical quantization.

The original form of Fermi's hamiltonian is the following one,

$$\mathcal{H} = g\mathbf{Q}(\Psi^t\delta\Phi) + h.c.$$

- $g$  denotes Fermi's constant, with units energy per volume;
- $\mathbf{Q}$  the dimensionless isospin matrix, which transforms a proton into a neutron;
- $\Psi$  and  $\Phi$  the fields of second quantization of the relativistic particles with spin 1/2, the electron and the neutrino, which have the same units as the wave functions (root of a density=root of an inverse volume);
- the superscript  $t$  denotes the transpose;
- $\delta$  a  $4 \times 4$  dimensionless matrix which ensures the Lorentz invariance of the expression.

This is inspired by the interaction energy of electromagnetism  $H = eV$ : the scalar field  $V$  is replaced by the lepton current  $\Psi^t\delta\Phi$ . Note that the expression is given in the limit of nucleons at rest, and the hermitian conjugate is needed for probability conservation. (See Vissani (2023) for more discussion). From a conceptual point of view, the main innovation of Fermi's model is that it formally describes the possibility that a particle can be destroyed or created. It is the first time that *particles of matter* are assumed to undergo a similar fate. This constitutes a milestone for the beginning of modern particle physics, although the formalism adopted (which derives from Jordan, Klein on the one hand and from Dirac's positron theory on the other) does not coincide with the current one.

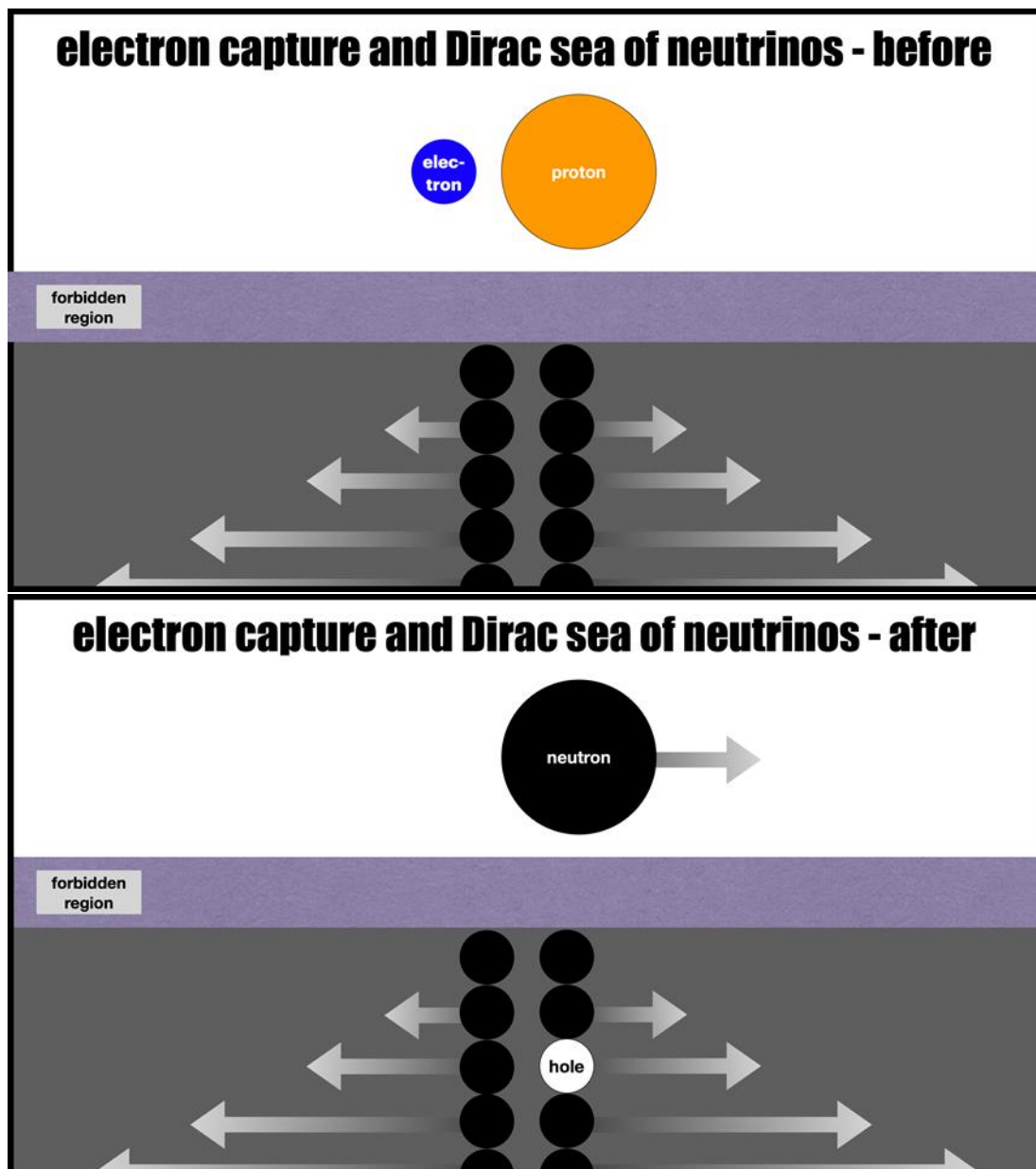
### 2.1 Reactions to Fermi's paper and its legacy

Fermi's use of Dirac sea exposed him at the time to the same criticism as Dirac.<sup>1</sup> In addition to these reservations of a general nature, the work will be the subject of a lively debate. Limiting ourselves for the moment to the main contributions of a critical nature, let us mention for example the specific 1935 proposal by Konopinski & Uhlenbeck, which at first seemed superior to Fermi's, but which emerges defeated from the confrontation a few years later. Then recall a criticism by Pauli in 1938, centered on the fact that the theory includes the parameter  $g$  with canonical dimensions equal to the inverse of a square mass in natural units, a circumstance that entails going outside the theory itself with perturbative orders higher than the first; but as is well known today, Fermi's theory is to be thought of as an effective theory and therefore is to be used precisely at the first perturbative order.

In short, Fermi's theory fully hits the mark, in spite of the usage of second quantization based on Dirac sea (or in Fermi's words, the Dirac, Jordan, Klein procedure) and the specific choice of Hamiltonian function, aspects that only apparently are limiting. To convince oneself of this, one need only recall three important works inspired by the 'Tentativo' and written soon afterwards, in 1934, by Wick (4 March); Bethe and Peierls (7 April); Yukawa (17 November):

---

<sup>1</sup> See e.g., Pais (1986) and Kragh (1990). In his memoirs, Occhialini reiterates that the old guard physicists such as Rutherford and Bohr, but also Chadwick, maintained reservations at least until 1932. From Majorana's correspondence, a feeling of doubt towards Dirac interpretation persisted until 1933. L. Brown mentions Landau and Fock among the sceptics, and recalls Pauli's reservations towards Dirac argument to predict the positron continue in 1933; next year, Weisskopf and Pauli will succeed in quantizing a hypothetical spinless particle without resorting to Dirac sea – a procedure Pauli liked to refer to as 'anti-Dirac theory'. For references, see: Vissani (2023).



**Fig. 1.** Description of electron-proton capture in the formalism of second quantization (Wick 1934), emphasizing the Dirac sea of neutrinos (= region of negative energies). **Panel above:** Initial state of the process; an electron and a proton at rest can be seen; the neutrinos states of Dirac's sea are all occupied. **Panel below:** Final state of the process. The nucleon changed its isospin state and became a neutron; a hole has formed in the Dirac sea, which can be thought of as an antineutrino, moving in the opposite direction of the neutron (= Dirac hole theory).

1. *Wick* derives the predictions for  $\beta^+$  emission and electron capture, using – just like *Fermi* – the second quantization formalism. The first process explains observations already obtained by *Joliot* and *Curie*, the second (one of the proofs for the existence of the neutrino) will receive experimental confirmation a few years later. See Fig.1 for an illustration of the latter process.
2. *Bethe & Peierls*, making explicit reference to (*Fermi* 1933), estimate the neutrino-nucleon interaction cross section by means of a brilliant argument. This reaction will be exploited for the first experimental observation of the neutrino.

3. *Yukawa*, interested in understanding interactions between nucleons, will propose the idea that interactions between nucleons and those between leptons are mediated by a boson with non-zero mass, in order to reproduce Fermi's theory by mimicking the structure of electromagnetic interactions.

### 2.3 Subsequent progresses of $\beta$ decay theory

Nowadays, most particle physicists are aware of certain results of the theory of weak interactions, due to subsequent theoretical developments. For example, it is generally recalled that Gamow & Teller's in 1936 included the effect of spin in the nucleonic current, which using the current language of  $\otimes$  matrices (Pauli 1936) we attribute to the presence of axial currents; even better known is the much later history of how the V-A structure (chiral interactions) of the charged currents was understood – see e.g., the fine work of review by Weinberg, written in 2009. Among the other recent developments we mention at least the understanding of the conservation of leptonic number in the  $\beta$  interactions, and the thorough examination of the structure of currents concluded and completed with the Cabibbo theory. All these advances dovetail and harmonise with Fermi's theory.

Here we would like to limit ourselves to highlighting an advance that occurred in the 1930s, for the simple reason that it is not sufficiently appreciated today. We refer to the procedure of quantization of fermionic fields due to another of the boys from via Panisperna, Ettore Majorana. In the first part of the summary of his work of 1937 (the last one) we read

It is shown how to achieve a full formal symmetrization of the quantum theory of the electron and positron by making use of a new quantization process. The meaning of the equations of DIRAC equations is quite modified and there is no longer any need to speak of states of negative energy (Majorana 1937, p. 171).

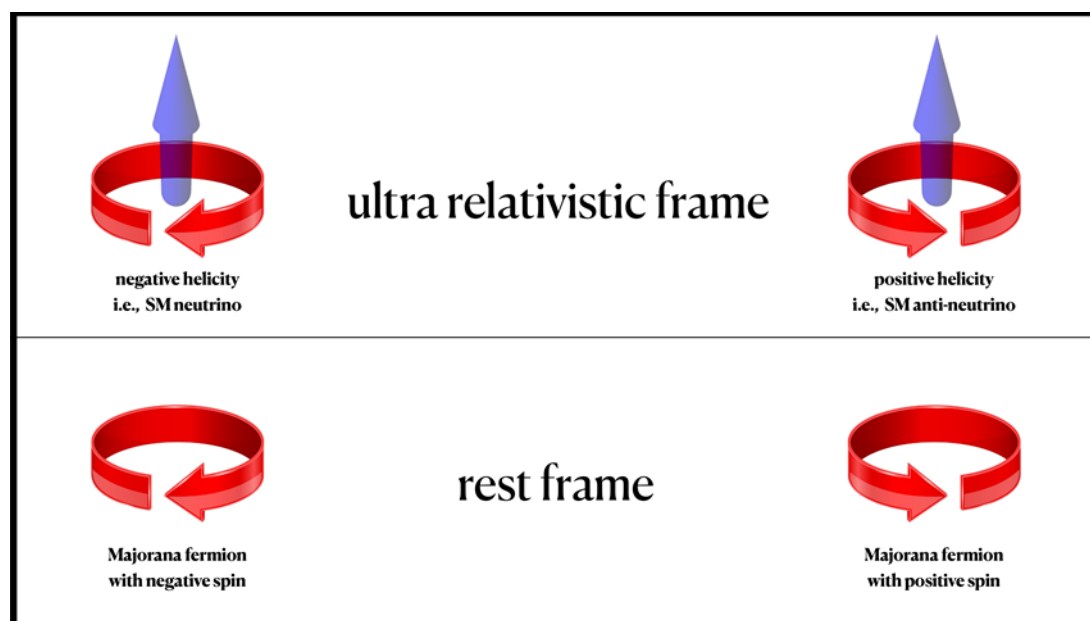
Apart from a witty choice of basis for  $\gamma$  matrices used, the new procedure of quantization of fermions in Majorana 1937 is exactly the one used today, i.e., the 'canonical quantization'. To ascertain Fermi's appreciation of this result, read his judgement for the chair competition, held in the same year:

[Majorana] devised a brilliant method for treating the positive and negative electron symmetrically, finally eliminating the need to resort to the extremely artificial and unsatisfactory hypothesis of an infinitely large electric charge spread throughout space, an issue that had been addressed in vain by many other scholars (Majorana 1937, p. 171).

If the terms were used literally, only from this moment on would it be legitimate to speak of a "vacuum state" rather than a "fundamental state". In more, evocative terms we can say that it was Majorana who showed the world *how to empty the Dirac sea*.<sup>2</sup> But an unaware reader, who believed that the notations in (Amaldi 1984) are the original ones would not even notice this step forward; and (losing sight of the context) he/she would no longer be able to truly understand Fermi's work.

---

<sup>2</sup> It should be stressed that the Dirac sea hypothesis, unattractive from a physical point of view and now abandoned, is accompanied by relatively simple and almost spontaneous expressions for the second quantization fields. For this reason it maintains a certain interest in learning paths: it allows us to appreciate how we arrived at modern quantized field theory.



**Fig. 2.** Illustration of the concept of (neutrino with) Majorana mass in the context of the electroweak/V-A theory/standard model. The projection of spin onto the momentum of the particle – helicity – makes it possible to univocally tell neutrinos from antineutrinos in the ultra-relativistic limit. But in the rest system – which for massive fermions exists – the two states are identical, up to the orientation of the spin.

### 3. Pauli, Fermi and Majorana: three ideas on the neutrino compared

In this last section, we address one last conceptual point, and discuss the three different ideas of the neutrino that were formulated in the 1930s:

1. *Pauli 1930* introduced the neutrino as a constituent of the atomic nucleus in 1930 and assumed that this particle is emitted in  $\beta$  decay. This model has no relativistic characteristics and in particular has no connection with Dirac idea of antimatter.
2. *Fermi 1933-1934*, on the other hand, describes neutrinos that are relativistic fermions, completely analogous to the electron. Given the formalism adopted (which requires a Dirac sea of neutrinos with negative energy) antineutrinos exist and are quite distinct from neutrinos: see again Fig.1. (In other words, such a neutrino concept corresponds closely to what is now called the ‘Dirac neutrino’. Although this term is widespread today, Fermi does not use it and there is no work by Dirac describing such a neutrino concept.)
3. Finally, *Majorana 1937* neutrino idea is still different, and consists of the assumption that the neutrino and the antineutrino are the same particle. A similar identification applies for example to the photon, which however, unlike the neutrino, is not a particle of matter.

Here is how Majorana concludes the summary of his work:

there is no longer reason [...] to assume for any other type of particles, particularly neutral ones, the existence of antiparticles corresponding to vacua of negative energy (Esposito *et al.* 2009, p. XIII).

where we note the statement on neutral particles which makes implicit reference to neutrinos.



We conclude by remarking that the structure of the “standard model” of the electroweak interactions – and in particular, the chiral nature of the charged-currents weak interactions and the way in which neutrinos are included – suggests that Majorana’s hypothesis is realized in nature, albeit in a quite specific way: the neutrino and the antineutrino, which we know to be different from each other when they move in ultra-relativistic motion, manifest themselves as the same particle in the system at rest. Fig. 2 better illustrates the physical content of this statement. This hypothesis on the nature of the neutrino is the subject of lively experimental investigations in laboratories all over the world.<sup>3</sup>

For a more detailed discussion and further references, we refer the reader again to (Vissani 2023); for the modern developments of Fermi’s theory, see (Barbieri 2023).

### Acknowledgments

I thank Salvatore Esposito for the precious discussion. Work partially supported by grant *PANTHEON: Perspectives in Astroparticle and Neutrino THEory with Old and New Messengers* no. 2022E2J4RK, part of PRIN 2022 programme funded by the Ministry University and Research (MUR).

### Bibliography

- Agostini, M. *et al.* (2023). “Toward the discovery of matter creation with neutrinoless  $\beta\beta$  decay”, *Reviews of Modern Physics*, 95(2), 025002. doi: 10.1103/RevModPhys.95.025002
- Amaldi, E. (1984). “From the discovery of the neutron to the discovery of nuclear fission”, *Physics Reports*, 111(1-4), pp. 1-332.
- Ambarzumian, V. & Iwanenko, D. (1930). “Les électrons inobservables et les rayons  $\beta$ ”, presented by M. Maurice de Broglie, *Comptes Rendus*, 190, pp. 582-584.
- Barbieri, R. (2023). “Ninety years from the origin of the electroweak theory”, *Il Nuovo Saggiatore*, 39(3-4), pp. 19-26.
- Bethe, H.A. & Peierls, R. (1934). “The Neutrino”, *Nature*, 133, p. 532.
- Bilenky, S. (2013). “Neutrino. History of a unique particle”, *European Physical Journal H*, 38, pp. 345-404.
- De Bianchi, S. (2018). “Rethinking antiparticles. Hermann Weyl’s contribution to neutrino physics”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 61, pp. 68-79.
- Esposito, S. *et al.* (2009). *Ettore Majorana: Unpublished Research Notes on Theoretical Physics*. Berlin/Heidelberg: Springer.
- Fermi, E. (1933). “Tentativo di una teoria dell’emissione dei raggi  $\beta$ ”, *La Ricerca Scientifica*, 4, pp. 491-495.
- Fermi, E. (1934). “Tentativo di una teoria dei raggi  $\beta$ ”, *Nuovo Cimento*, 11, pp. 1-19.
- Fermi, E. (1934). “Versuch einer Theorie der  $\beta$ -Strahlen. I”, *Zeitschrift für Physik*, 88, pp. 161-171.
- Gamow, G. & Teller, E. (1936). “Selection rules for the beta-disintegration”, *Physical Review*, 49, pp. 895-899.
- Gamow, G. & Teller, E. (1937). “Some Generalizations of the beta Transformation Theory”, *Physical Review*, 51, pp. 289.
- Heisenberg, W. (1932). “Über den Bau der Atomkerne. I”, *Zeitschrift für Physik*, 77, pp. 1-11.
- Iwanenko, D. (1932). “The neutron hypothesis”, *Nature*, 129, p. 798.
- Konopinski, E.J. & Uhlenbeck, G.E. (1935). “On the Fermi’s theory of  $\beta$ -Radioactivity”, *Physical Review*, 48, pp. 7-12.
- Kragh, H. (1990). *Dirac: A Scientific Biography*. Cambridge: Cambridge U. Press.

<sup>3</sup> For two recent reviews on this subject, see Vissani (2021) and Agostini *et al.* (2023). For an interesting discussion of the influence of Hermann Weyl’s ideas in neutrino physics, see De Bianchi (2018).

- Majorana, E. (1933). “Über die Kerntheorie”, *Zeitschrift für Physik*, 82, pp. 137-145. Translation in Cifarelli, L. (ed.) (2020). *Scientific Papers of Ettore Majorana. A New Expanded Edition*. Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 101-108.
- Majorana, E. (1937). “Teoria simmetrica dell’elettrone e del positrone”, *Nuovo Cimento*, 14, pp. 171-184; translated as “A symmetric theory of electrons and positrons, in Bassani, G.F. (ed.) (2006). *Ettore Majorana Scientific Papers*. Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 218-231.
- Pais, A. (1988). *Inward Bound: Of Matter and Forces in the Physical World*. Oxford: Clarendon Press.
- Pauli, W (1930). “Dear radioactive ladies and gentlemen”, translation from German of the mail for the colleagues convened at Gauverein meeting in Tubinga, *Physics Today*, 31(9), (1978), p. 27.
- Pauli, W. (1936). “Contributions mathématiques à la théorie des matrices de Dirac”, *Annales de l’institut Henri Poincaré*, 6(2), 109-136. See also Good, R.H. Jr, (1955). “Properties of the Dirac Matrices”, *Review of Modern Physics*, 27(2), pp. 187-211.
- Pauli, W. (1938). “Einige grundlegende Bemerkungen über die Theorie des Beta-Zerfalls”, in Enz, C.P. & Meyenn (von), K. (eds.) (1988). *Wolfgang Pauli Das Gewissen der Physik*, Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Braunschweig, pp. 454-458.
- Perrin, F. (1933). “Possibilité d’émission de particules neutres de masse intrinsèque nulles dans les radioactivités  $\beta$ ”, presented by Jean Perrin, *Comptes Rendus*, 197, pp. 1625-1627.
- Rutherford, E. (1920). Bakerian Lecture: “Nuclear constitution of atoms”, *Proceedings of the Royal Society of London A*, 97(686), pp. 374-400.
- Vissani, F. (2021). “What Is Matter According to Particle Physics and Why Try to Observe Its Creation in a Lab?”, *Universe*, 7(3), 61. doi: 10.3390/universe7030061
- Vissani, F. (2024). “First steps towards understanding neutrinos. A tribute to Enrico Fermi on the 90<sup>th</sup> anniversary of the beta decay model”, *Quaderni di storia della fisica*, 31, pp. 109-143.
- Weinberg, S. (2009). “V-A was the key”, *Journal of Physics: Conference Series*, 196, 012002. doi: 10.1088/1742-6596/196/1/012002
- Wick, G.C. (1934). “Sugli elementi radioattivi di F. Joliot e I. Curie”, presented by Enrico Fermi, *Atti della Reale Accademia Nazionale dei Lincei*, serie 6, *Rendiconti Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali*, vol. 19, pp. 319-324.
- Yukawa, H. (1935). “On the Interaction of Elementary Particles. I”, *Proceedings of the Physico-Mathematical Society of Japan*, 17, pp. 48-57.

# An Essay in Counterpoint: Wheeler, Schwinger, and ‘Conflicts in Physics’

Stefano Furlan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, sfurlan@mpiwg-berlin.mpg.de

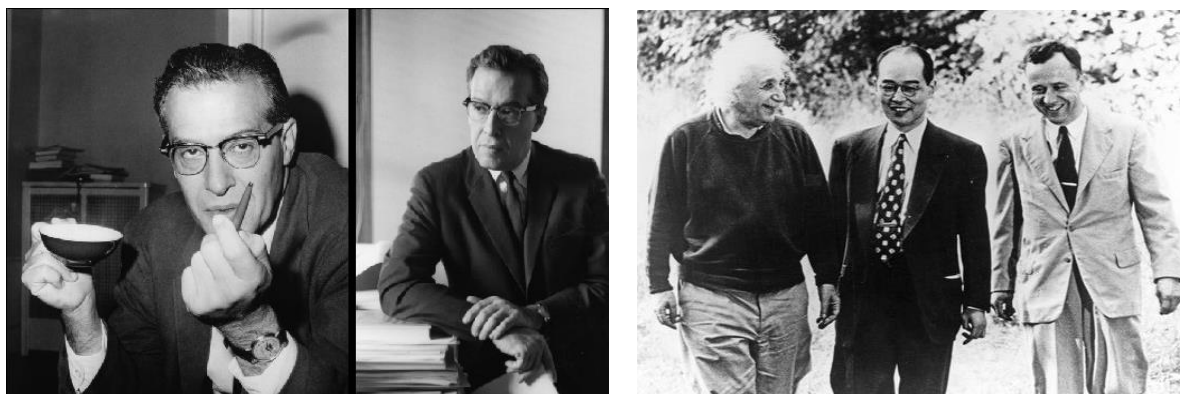
*Abstract:* J.A. Wheeler and J.S. Schwinger are two towering figures of 20th-century physics. Despite partially common interests, they also embodied two separate worlds: one characterized by conviviality, the other by seeming isolation; one believing that science is born out of conversation, the other often working alone; one heavily relying on heuristic pictures, the other on his formal virtuosity; one being a leader of the Matterhorn Project, the other outspokenly proud of not having taken part in the fabrication of the atomic bomb. If, however, thanks to Wheeler’s archives, we look at some of his less explored facets, we may appreciate some resonance in attitude with Schwinger, and in turn get some new insights about the latter. In this paper I will address how they both, under a sort of historical disguise, took their stance, in different moments, against the mainstream, when they both were trying to carve their own paths “far from the particle crowd”.

*Keywords:* particle physics, uses of history, styles, historiography of physics.

## 1. Worlds apart

“[...] or he took pleasure in constructing a very fierce dissonance and then finding all its possible resolutions, which, however, since the chord contained so many contradictions, had nothing to do with one another, so that the mordant sound, like a wizard’s cryptogram, forged relationships between the most distant notes and keys”  
(T. Mann, *Doktor Faustus*, IX).

Let us take a look at these relatively well-known portraits of John Wheeler (1911-2008) and Julian Schwinger (1918-1994) (Fig. 1). On the right, we can see a friendly, possibly even jovial, self-assured man (in good company!), while on the left there is one with a vein of shyness but, at the same time, a quite challenging attitude.



**Fig. 1, right.** J.A. Wheeler together with A. Einstein and H. Yukawa in Princeton (1953-1954). Credit: The Shelby White and Leon Levy Archives Center, Institute for Advanced Study, Princeton.

**Fig. 1, left.** J.S. Schwinger in 1965. Credit: United Press International, Acc. 90-105 - Science Service, Records, 1920s-1970s, Smithsonian Institution Archives.

Of course, it could be remarked that this is just an arbitrary choice of pictures, or better: a choice reflecting a message that was already meant to be conveyed. Visual rhetoric, nothing else. Still, even assuming that that was indeed the intention, we could substantiate this first impression by adding a few historical traits. We may claim, for instance, that these two men embodied separate, when not opposite, worlds: one – Wheeler’s – characterized by academic conviviality, the other – Schwinger’s – by an aura of isolation; one believing that science is born out of conversation, the other often working alone;<sup>1</sup> one heavily relying on heuristic pictures, the other on his formal virtuosity; one being a leader of the Matterhorn Project to create the hydrogen bomb, the other outspokenly proud of not having taken part in the fabrication of the atomic bomb; and even for historians nowadays, their archives are, respectively, on the East Coast – Philadelphia, for Wheeler – and on the West Coast – Los Angeles, for Schwinger.<sup>2</sup>

And yet, it is not that they were personal enemies or anything like that: actually, their interactions seem to have been fewer and more impersonal than one may expect. Such an expectation would obviously be due to the fact that this little game of oppositions, in order to sound passably meaningful, presupposes a common ground, which historically was certainly there: they were contemporaries; they belonged to the same nation; they were both physicists, and remarkable ones; they even shared research interests, especially in the late ‘40s. All this, however, is not particularly deep, clearly, nor difficult to notice. We may try to dig more: we only find that, even in Wheeler’s vast archives and extensive recollections, Schwinger’s presence is elusive. As Feynman’s former supervisor and inspirator, it would be indeed intriguing to know more about Wheeler’s perception of the rising star that rivaled his own most brilliant student, especially since, as is well-known, Silvan Schweber resorted to Wheeler’s notes – those of a first-row witness – in his reconstruction of the genesis of quantum electrodynamics (Schweber 1994). Looking at the list of items in Wheeler’s papers, the only relevant result for “Schwinger” is a folder in the middle of general correspondence: however, it does not even contain letters between them, just a copy of Schwinger’s 1969 paper *A Magnetic Model of Matter* and a personal note to himself by Wheeler, when, in 1966, he had to introduce Schwinger as an invited speaker at a Washington APS meeting. According to this note, he just recalled anecdotally the first famous encounter of Isidor Rabi with the young and precocious Schwinger, and then he added a comment by a common acquaintance, Freeman Dyson, stating that “others publish to illuminate the subject; Schwinger publishes to show that only he can do it” (a variation on Oppenheimer’s sentence about his talks).<sup>3</sup> Nothing insightful or too personal, in short: the same can be said about some sporadic appearances of Schwinger’s name in Wheeler’s research notebooks from the 1950s on (at least for what has been explored so far), in the form of a mere (and sporadic) bibliographic reference. At the end of century, in his autobiographical memories, Wheeler would just mention that, when it came to civil defense and national security, he was not on the same wavelength as other physicists, among whom he named Schwinger, but only to add that mutual respect, based on their common scientific endeavor, had nevertheless prevailed.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Nonetheless, even someone like Schwinger was aware of the ultimately collective nature of science: “My research has always been enormously assisted by the fact that I had a crew of warm bodies and live minds on whom to try out new ideas. Conversely, the viable parts of that research were instantly incorporated into the things I talked about in class” (Mehra & Milton 2003, p. 570). We will return to this at the end of the first section, with some quite unexpected turn.

<sup>2</sup> For these and other pieces of information about their respective life we redirect the reader to Wheeler (2000) and Mehra & Milton (2003).

<sup>3</sup> John Archibald Wheeler Papers, American Philosophical Society Library, Philadelphia, box 25.

<sup>4</sup> “As other issues came along in the future – civil defense, missile defense, nuclear power, weapons tests – I and my friends often had to agree to disagree. Some – Wigner, Teller, von Neumann, and Alvarez, for example – were on my wavelength. Some – such as Bethe, Christy, Goldberger, Oppenheimer, and Schwinger – were not. It is a great happiness to me that I maintained cordial relations with all of these people. Our mutual respect and our common commitment to probing basic questions of nature overrode differences on policy issues” (Wheeler 2000, p. 199). Even if I am not aware of any statement about such topics in which Schwinger explicitly referred to Wheeler (or someone with positions close to his), it is not difficult

What I intend to suggest in this short contribution is a far less appreciated common trait, which, in both Wheeler's and Schwinger's case, manifested itself when they took a stance against the mainstream of particle physics. The conflict, therefore, was not between them, but with a larger community: if, according to what we said in the beginning, we can perhaps expect some grumpiness from Schwinger, it is probably more unexpected that, when we scratch under the surface of Wheeler's *persona*, we can find that he definitely shared – with his own connotations – a deep disgust for the “herd instinct” (Wheeler 2000, p. 172) of physicists. That distaste led both Wheeler and Schwinger to carve their own path “far from the particle crowd” (to play with the title of Thomas Hardy's novel).<sup>5</sup> They certainly did that in different moments, with different aims, and for different reasons - but what is quite remarkable is the way they chose to engage with the past: a way totally ignored by commonplaces and clichés which evoke a picture of science that is only looking to the future, always busy in an almost automated march of progress that, “inevitably”, makes the deeds and ideas of previous ages obsolete, surpassed, and harmless.

Starting chronologically, the year is 1953, the focus is first on Wheeler. At the beginning of the '50s, just turned forty, he had a very distinguished position in the nuclear physics community and, being in Princeton, certainly had no problem staying in touch with recent developments. Already in the previous decade he had revealed a tendency towards ambitious theoretical schemes with a few well-established principles and an ontology as economical as possible in terms of “species” of basic entities: that was now in trouble with the explosion of the “particle zoo”, but also at odds with what he would call “the pion industry” (Wheeler 2000, p. 171). By the latter phrase he was referring to a way of doing physics that he judged too subordinated to a superficial account of the most recent experimental results, and thus excessively inclined to *ad hoc* theorizing. Standard narratives about those years often tend just to remember the new experimental discoveries and a few important theoretical attempts, but we could really say that it was a period of “crisis” - not in the sense of misery and stagnation, but in the etymological sense of a moment requiring a judgment (Furlan & Gaudenzi 2021) or, to put it differently, needing a reassessment in methodology and guiding ideas. Physicists such as Wheeler were faced with the dilemma of properly balancing the attention paid to experimentation on the one hand and, on the other, their drive to theorize. Facing the proliferation of the “particle zoo”, Wheeler's aim was to think more deeply about already well-established principles by exploring them to their extreme consequences, without introducing anything new (Blum & Brill 2020; Furlan 2022). In other words, rather than being distracted by the “overflow” of experimental data and trying to adapt to the new phenomenology, Wheeler sought to outline a grand view, grounded in consolidated physics and, hopefully, capable of deriving or ordering those recent results as well. While he was in the midst of this search, he accrued a sort of “conversion” which opened a new phase in his long career. Not without a gamble, Wheeler decided to look for his own highly original path, according to a motto that he would later put like this: “When I see a herd running one way, I like to march another way” (Wheeler 2000, p. 222). At the core of his interests he decided to set general relativity, which, at the time, was certainly not one of the most flourishing research areas (Blum & Brill 2020). Holding on to the methodology previously sketched, he intended to explore to the extreme consequences the dynamical character of spacetime geometry without introducing additional elements, with the hope of building even the alleged “elementary” particles from that.

Therefore, it was not a coincidence that, right in that period of crisis, when Wheeler was indeed taking a “risk” rather than merely surviving in his established position and mindset, he elaborated, articulated and even gave a name, “daring conservatism”, to his own heuristic methodology. This was,

---

to imagine some further disagreement between them during the Vietnam conflict, for instance: in 1973 Schwinger was clearly sympathetic with the “widespread revulsion against the Vietnam episode”, as he declared in an interview partly reported in Mehra & Milton (2003, p. 568).

<sup>5</sup> Cf., in Wheeler's case, Furlan & Gaudenzi (2021).

at the same time, a form of self-reassurance, a way of bringing order to the confusion, and a lesson that he claimed to have learned from Niels Bohr himself (Blum & Furlan 2022). An assertive enunciation of Wheeler's stance against some of the tendencies of the day was uttered during his first trip to Japan, in 1953 (Blum & Brill 2020; Furlan & Gaudenzi 2021). More precisely, this can be seen in a speech he delivered in Tokyo (for a moment, he even thought of calling his heuristics "Tokyo program"),<sup>6</sup> where, with his usual originality, he identified his attitude of daring conservatism with that of Sugawara no Michizane, the great poet and statesman of the Heian period, as counterposed to a man of action like the late Edo samurai Saigo Takamori.<sup>7</sup> Thus, Wheeler, in front of his Tokyo audience, staged a sort of dialogue between these two local characters, without hiding his preference (at least in the eyes of those who did not remain baffled when hearing all that from an American physicist!). At this level, of course, Wheeler's use of history is just oblique and rhetorical, aiming at expressing in a mediated way – behind a mask – his own point of view, but with a different voice. Daring conservatism, however, had much deeper roots and more interesting presuppositions. As already mentioned, Wheeler claimed to have learned it from one of his two great mentors, Niels Bohr, and decided to apply it to the dusting off of the vision of his other main inspiring figure, Albert Einstein (Furlan 2022). Wheeler's daring-conservative re-exhumation, re-systematization and extrapolation of general relativity clearly reveal his belief that the theory's "untapped potential" was still to be disclosed (Blum & Brill 2020; Blum & Furlan 2022); and many other examples from Wheeler's interests, from that period on, could be examined to highlight this non-trivial vision of history and non-sterile relation with the past.<sup>8</sup>

If we now shift our attention to Schwinger in that same period, we can easily say that he was establishing himself as a star of the new generation of physics. The popular narrative (assuming that the adjective "popular" can be used in this case: perhaps we should call it "physics folklore") reassumes his life more or less as follows. In the beginning we find the precocious young man (tacitly assumed, as any calculating "prodigy", to be uncritically at the service of the great machinery of scientific progress, unless some personal idiosyncrasy or difficulty interrupts such service), solely focused on physics, lucky enough to find a mentor such as Rabi that allowed him to blossom (and to get a proper college training in the first place, his neglect of other school subjects notwithstanding); then came his quick ascent to the rank of a top theoretical physicist, thanks to his seminal work in "climbing the mountain" of quantum electrodynamics (but from a different, more complicated, seemingly formalistic and less intuitive side than Feynman's); after that, there followed a slow and obscure decline, signed by grumpiness and self-marginalization, with much time and work wasted on his "source theory" (without any substantial gains over the dominant approaches); and finally he even "jumped the shark", as they say, by writing about cold fusion and firing other polemics.<sup>9</sup> I believe that each one of these "steps" can – or has to – be contested. Perhaps we can get some inspiration thanks to the blueprint of Wheeler's case as we have briefly sketched it, but we have to consider a later phase of Schwinger's life.

<sup>6</sup> The reference is not just to the Japanese capital, but also – somewhat oddly – to Tokyo Rose, the radio broadcasters that, during World War II, spread demoralizing propaganda against the Allies (Blum & Brill 2020). Wheeler, by analogy, intended to demoralize the "pion industry" and its related *modus operandi*.

<sup>7</sup> This is, at least, the reading offered by Blum & Brill (2020) and Furlan & Gaudenzi (2021), in the light of Wheeler's notebooks of that period. In a later note, Wheeler himself added another layer and claimed that he was identifying Michizane with Tomonaga and Takamori with Nishina (Wheeler 1982).

<sup>8</sup> In those same years Wheeler contributed to set in motion the project *Sources for History of Quantum Physics*, and that was just one of his history-related activities. For how all this actually got entwined with his research activities and reflections, cf. Costa & Furlan (2023); Furlan (2024a).

<sup>9</sup> Further details can be found in the already mentioned (Mehra & Milton 2003), but perhaps that is the point: pieces of information are added, but the underlying narrative from "folklore" is not challenged or contested enough. After all, rich as it is in material on a personality who has not received the attention he deserves, this biography is certainly not Mehra's best work. A few insights that a new kind of presentation of Schwinger's figure could benefit from are suggested in Furlan (2024b) and, less extensively, in the following paragraphs.

In December '65, Schwinger ended his Nobel prize address with some lines by none other than John Keats (certainly he was much more refined and cultured than the cliché about a calculating *idiot savant* suggests), featuring Hernan Cortés and the exploration of new worlds (Schwinger 1966a, p. 953): “[...] like stout Cortez when with eagle eyes / He star’d at the Pacific - and all his men / Look’d at each other with a wild surmise - / Silent, upon a peak in Darien”.<sup>10</sup> The path to the future – Schwinger optimistically believed – was to be found in a “phenomenological relativistic quantum field theory”, that he would soon present under the name of “source theory” (Schwinger 1966b).

We are not interested here in dealing with its technical aspects, nor do we have the space, but we can still make a few comments. If the first shock of the “particle zoo” had by then passed, also those years could nonetheless be considered a period of theoretical “crisis” (in the sense previously specified), marked by the uncertainties of physicists between quantum field theories (what Schwinger called “operator field theories”) and S-matrix-inspired programs. It is in this context that Schwinger devised, or better made explicit, his own approach, cautiously phenomenological (and this alone is rather interesting, against some stereotype of him as a mere formalist), but not afraid of occasional speculations (as long as recognized as such). Perhaps we could even venture to say that this mixture of caution and speculation was partly akin to daring conservatism, despite all the other differences between the two approaches. Alas, source theory did not score any success that other formalisms had not already achieved in a less sophisticated way, but Schwinger strongly believed that unwise assumptions and unphysical complications in those alternatives could seriously preclude the path towards the future: that was why it was important to shape new generations in the philosophy, so to speak, of source theory, before their minds could be corrupted by the mindset of the mainstream. Schwinger thus decided to write a textbook on source theory, *Particles, Sources, and Fields* (Schwinger 1970), which, however, was not exactly a success, either. Among the reviews, particularly harsh was that of Arthur Wightman (1971); Schwinger wrote a letter to be published as a reply, but it was refused by the editor and that increased his bitterness.<sup>11</sup>

The reception of source theory, in general, had been very different from what Schwinger expected and hoped, and this led him to an increasing isolation that carried some traits of his solitary *modus operandi* to the extreme. When he abandoned Harvard and marginalized himself, in a sense, on the shores of the Pacific, not “upon a peak in Darien” but in Los Angeles, the tension quite soon exploded and manifested itself in a speech with the quite telling title of “Conflicts in Physics”, dating back to 1977 (Shah 2006). Like Wheeler in Japan, Schwinger made use of some historical examples – such as Herapath’s and Waterstone’s early work in kinetic theory of gasses – in order to remind his fellow physicists, in a not too veiled way, that, even if the pettiness and the conformism of individuals, as well as the arrogance of institutions, could ignore important results and ideas for a while, ultimately they would be resurrected and their true potential unleashed. Schwinger was arguably identifying himself with such figures, or with Boltzmann exclaiming, “I am conscious of being only an individual struggling

<sup>10</sup> These lines are from the sonnet *On First Looking into Chapman’s Homer*. Interestingly enough, Wheeler too – who had certainly read that address, since his former student Feynman had also been awarded on the same occasion – would allude to them in his research notebooks at the beginning of 1967: “Why is everyone so silent? Why does it have to be me who says this? Story crying to be told. Why so long. Silent, on a peak in Darien – the only charitable explanation. Have to touch on this question” (John A. Wheeler Papers, Relativity Notebook 14, p. 140, American Philosophical Society Library, Philadelphia), where “crying” and “Have” are underlined by Wheeler himself. Some cracks in his ultimate geometrodynamical vision were starting to manifest themselves – and while at the end of that same year Wheeler began, in public, to enthusiastically popularize the phrase “black hole” and the progress of the recently-born relativistic astrophysics, in private we can perceive a sense of restlessness and isolation that perhaps, for a moment, could make him closer to Schwinger’s fate in the years to come. In any case, with reference to the different overtones in the use of the quote from Keats, it seems as if Wheeler and Schwinger had switched roles, at least if compared to their usual portraits – or perhaps, given the interplay of public and private sphere, we should just see this as another resonance, when we get beyond the surface.

<sup>11</sup> Even the fact that an axiomatizer such as Wightman was not at all in consonance with Schwinger should lead one to reflect on the usefulness of the label of “formalist” often attached to the latter.

weakly against the stream of time. But it still remains in my power to contribute in such a way that, when the theory of gases is again revived, not too much will have to be rediscovered” (Shah 2006, p. 50). If Wheeler, however, had delivered a rather clear message (at least to those who had ears to hear) in the context of a creative staging and with an open and “assimilative” attitude, Schwinger was adding quite explicitly – again from behind Boltzmann’s mask, so to speak – that one day the mainstream will be sorry for it: “One regrets almost that one must pass away before their decision” (*ibidem*).

It would thus seem that Schwinger’s underlying notion of history, rather than simply being an active unprisoning of past potentialities, was a prophetic admonition against those who were ignoring his own ideas. However, there is another interesting aspect to add. It is as if the brilliant young man, who, when giving a talk, did not mean to show everyone how something is done, but to show that only he was capable of doing it - the same young man that, when he heard from Oppenheimer about Tomonaga’s results in quantum electrodynamics, did not pay much attention, firmly convinced about the superiority of his own approach -, started to develop, in the midst of his increasing isolation, a sort of empathic sense of analogy with other people, far away in space and/or time. His historical, or quasi-historical, evocations are not mere masks to suggest that what happened once will happen again and that, in the end, he would be the one laughing: Schwinger, evidently, had no problem saying something like that explicitly, without the strict need of a mask in order to communicate indirectly (actually, even the very idea of a mask seems in an interesting tension with Dyson’s and Oppenheimer’s characterization of his publications or public speeches, but, after all, we are speaking of a different phase, both professionally and emotionally). This use and interest in history (or perhaps better: in some other personal histories) is more than a merely rhetorical or formal device: it is rather a sort of identification through some analogy of circumstances or some *personal* connection to a topic, the discovery of a form of distant conviviality at the bottom of his own solitude. Among the other examples to which Schwinger dedicated at least a speech, we may list: Leonardo da Vinci, with his peculiar historical fate (Mehra & Milton 2003, pp. 616-618; Furlan 2024b); George Green (Schwinger 1996), whose functions were used by Schwinger with spectacular success a century after their creator (in this sense, the *greening of Green’s functions*, to recall Schwinger’s own pun in the title, is another instance of something from the past that was still waiting to be properly unleashed in its full potential); and Sin-Itiro Tomonaga (Schwinger 1983), where the directly personal element – quite in contrast with the young Schwinger’s attitude toward the third co-formulator of quantum electrodynamics – is again evident in the pun of the title, the *two shakers of the world* being a reference to the German “schwung” and to the Japanese “Sin-Itiro”.<sup>12</sup>

Besides the anticipation of justice-to-come, there is often bitterness in Schwinger’s words – but there is also a form of empathy *sui generis*, an ability (and willingness) to relate with someone well beyond the meager boundaries of presentism. This also applies, *mutatis mutandis*, to Wheeler’s deeply personal frequentations of the past – and that is something worth underlining today, against some widespread assumptions about science and its relation with an allegedly obsolete past.

---

<sup>12</sup> Of course, one could read puns and word games as an element of cold detachment, too, but, according to what is reported, e.g. in Mehra & Milton (2003), Schwinger was moved to tears when pronouncing this tribute after Tomonaga’s death. In this case, there was not only a change in attitude over the years, as we have just remarked, but it is quite easy to perceive Schwinger’s effort to imagine – with a certain proxemics and with question marks – part of the life of a sort of *alter ego* in a distant land and culture. Perhaps something similar could be said of Schwinger’s tribute to Feynman, too (Schwinger 1989), in which, despite all their differences in character and in approach, there are eloquent words of recognition. A form of distance, nonetheless, seems to be a crucial part of these “analogical” exercises by Schwinger, which is why, also on these occasions, he has been branded (for a change!) as formally detached, even in Mehra & Milton (2003), where the authors also provide an “explanation” which is far from being psychologically deep: “In the last week of January 1988, shortly before his death, Richard Feynman told Jagdish Mehra that he wanted to see and interact with Schwinger as much as possible, ‘but here we are, within ten miles of each other, and in spite of numerous overtures by me, we don’t meet. It has been a source of much regret to me’. It was Schwinger’s extreme shyness and difficulty in reaching out to people that kept him apart from even Feynman” (p. 611).



## 2. What's in a diptych?

All this was just a sketch, needless to say: in order to properly perceive the game of analogical and disanalogical traits in our two cases, one should have in mind the content of the more extensive papers we have referred the reader to. Nonetheless, guidelines have been given and there are now some broader methodological considerations to offer from a historiographical point of view. Especially when it comes to recent physics, an individual focus (except for biographical studies) is not that widespread: among the reasons for this we may definitely count the increasingly evident collective nature of the scientific endeavor, but, arguably, also a certain mindset that, given the technical aspects of the topics in question, tends to merely show off an expertise in consolidated textbook knowledge, often back-projected onto some “case study” under exam. There is no need to linger to point out the shortcomings of such operations, but, taken notice that juxtaposing two personalities without direct points of contact is a quite unusual operation in these contexts, we can think a bit more about the uses and possibilities of creating, in general, a similar “diptych”.

A first option, the most obvious one, is to generate or suggest a sort of “dialogue” – as is customary to say nowadays in other areas – between the two figures. Excluding the trivial cases in which the only aim is sensationalism of big names, there is also the risk of creating a sort of “sacred conversation” with saints from different ages and cultures, gathered around a central topic which is thus tacitly assumed to be historically invariant (temptation which seems strong in highly mathematized areas). However, that is arguably not the most fruitful way to consider the above exercise about Wheeler and Schwinger, but it remains a valuable possibility when a similar attempt can allow us to have a sort of “stereoscopy” on a subject, thanks to two distinct points of view. This actually preludes to the second option, which we may call “historical monadology”, as has been sketched and briefly applied in a previous congress (Furlan & Gaudenzi 2021).

The basic idea is that, in order to challenge consolidated mainstream narratives, which not rarely – even when emphasizing some specific historical actors – are a sort of mean field approximation of the opinions that experts “at that time” are assumed to have had,<sup>13</sup> we can adopt a series of significantly chosen viewpoints (thus looking at the correspondence, working papers, and so on of these scientists) and, from the perspective that each one of them can offer – with tensions, alternatives, contradictions and whatnot – try and get an idea of that historical situation, instead of picking the usual treatments of the latter and then circumscribe it to a certain personality. For instance, as we have already said, if conventional narratives about the early 1950s celebrate the new experimental discoveries in particle physics and at most allude to the confusion deriving from the explosion of the “particle zoo”, if we look at two interesting and not obvious figures such as Wheeler and Nambu, then we can perceive a series of overtones (or more than overtones) that are usually missed. We can then also enlarge our scope of investigation and examine the reactions and reflections of other scientists at the time, getting an overall picture that is emerging thanks to those “monads” or viewpoints. That is clearly different from the more or less teleological historiography that, at most, adds details to some sub-disciplinary narrative. Using highly regarded personalities that, at some point, moved to the margin and from there kept developing their viewpoints, such as Wheeler and Schwinger when they are put in tension with the particle physics community at large, can be stimulating, without the obvious risk of taking too seriously the sort of anamorphosis that derives from their defiled position. In this sense, our “diptych” can naturally develop into a “polyptych”, according to the guidelines of a “historical monadology” as just outlined; this, of course, would entail a much larger project.

An option more concluded in itself, but quite in line with the considerations of these last few lines, may be called – readapting an adjective from Hugo von Hofmannsthal – *allomatic* (that is, involving a mutual transformation): the two figures in the diptych are juxtaposed because they can cast some light

---

<sup>13</sup> To be compared with the above criticized back-projections of textbook knowledge.

on each other, especially on some aspect that is not usually perceived, and thus the pictures that we have of them contribute to their mutual transformation. Commonplace portraits of Wheeler do not take into account his stance against particle physics and its *modus operandi*, for instance, nor do they contemplate that “private side” of which we have offered a few glimpses; narratives about Schwinger’s isolation do not pay attention as we did to his uses of history and to a truly personal dimension. In both cases, it was the other figure that helped us see a certain facet. All this is admittedly part of a historiographical heuristics; or perhaps better, to recall the title of the present contribution as well as the original meaning of the word: it is an *essay*. As such, one may *try* to juxtapose a couple of figures that are typically considered in a separated way – perhaps even with the explosive and provocative effects of a *montage* technique – and then see (or hear, if we get back to “counterpoint”) their tensions, their similarities and differences, and so on. Perhaps we could count Plutarch’s *Parallel Lives* as a sort of predecessor to this kind of operation: after all, it has been emphasized by several parties that Silvan Schweber had done something similar more than once, even if with obvious differences and different aims (Gordin 2007). The possibilities are many: why not test them if they can lead to new insights?

### Bibliography

- Blum, A.S. & Brill, D.R. (2020). “Tokyo Wheeler or the Epistemic Preconditions of the Renaissance of Relativity”, in Blum, A.S., Lalli, R. & Renn, J. (eds.), *The Renaissance of General Relativity in Context*. Boston: Birkhäuser, pp. 141-188.
- Blum, A.S. & Furlan, S. (2022). “How John Wheeler Lost His Faith in the Law”, in Ben-Menahem, Y. (ed.), *Rethinking the Concept of Laws of Nature*. Berlin: Springer, pp. 283-322.
- Costa, M.T. & Furlan, S. (2023). “Risalendo alla Fonte Castalia tra Arte, Storia e Scienza: Aby Warburg e John Wheeler”, in Canadelli, E., Ingaliso, L. & Addabbo, C. (eds.), *Ad limina. Frontiere e contaminazioni transdisciplinari nella storia delle scienze*. Milano: Editrice Bibliografica, pp. 136-146.
- Furlan, S. (2022). “Pursuit Worthiness Between Daring Conservatism and Procrastination: Wheeler and the Path Towards Black Holes”, *Studies in History and Philosophy of Science*, 96, pp. 174-185.
- Furlan, S. (2024a). “The Smile of Mnemosyne: John Wheeler between the History of Science and Arts”, *Scientia*, 2(1), pp. 1-35.
- Furlan, S. (2024b). “Leonardo come ‘maschera’ e come simbolo in Julian Schwinger e Jagdish Mehra”, *Achademia Leonardi Vinci*, 3, pp. 155-168.
- Gaudenzi, R. & Furlan, S. (2021). “Far From the Particle Crowd: Shugyosha Nambu and Michizane Wheeler”, in Bevilacqua, F. & Gambaro, I. (eds.), *Proceedings of the 40<sup>th</sup> Annual Conference SISFA*. Online, 7-11 September 2020. Pisa: Pisa University Press, pp. 147-153. doi: 10.12871/978883339517317
- Gordin, M. (2007). “Without Parallels? Averting a Schweberian Dystopia”, in Renn, J. & Gavroglu, K. (eds.) *Positioning the History of Science*. Berlin: Springer, pp. 65-68.
- Mann, T. (1947). *Doktor Faustus: Das Leben des deutschen Tonsetzers Adrian Leverkühn, erzählt von einem Freunde*. Frankfurt am Main: S. Fischer Verlag, (Mann, T. (1999); translation by Woods J.E. (John Edwin). *Doctor Faustus: The Life of the German Composer Adrian Leverkühn, as Told by a Friend*. New York: Alfred A. Knopf, IX).
- Mehra, J. & Milton, K.A. (2003). *Climbing The Mountain: The Scientific Biography of Julian Schwinger*. New York: Oxford University Press US.
- Schweber, S.S. (1994). *QED and the Men Who Made It: Dyson, Feynman, Schwinger, and Tomonaga*. Princeton: Princeton University Press.
- Schwinger, J.S. (1966a). “Relativistic Quantum Field Theory”, *Science*, 153, pp. 949-953.
- Schwinger, J.S. (1966b). “Particles and Sources”, *Physical Review*, 152, pp. 1219-1226.
- Schwinger, J.S. (1970). *Particles, Sources, and Fields: Volume 1*. Reading: Addison-Wesley.

- Schwinger, J.S. (1983). “Two Shakers of Physics: Memorial Lecture for Sin-Itiro Tomonaga”, in Brown, L. & Hoddeson, L. (eds.) *The Birth of Particle Physics*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 354-375.
- Schwinger, J.S. (1989). “A Path to Quantum Electrodynamics”, *Physics Today*, 42(2), pp. 42-48.
- Schwinger, J.S. (1996). “The Greening of Quantum Field Theory: George and I”, in Jack Ng, Y. (ed.) *Julian Schwinger: The Physicist, the Teacher, and the Man*. Singapore: World Scientific, pp. 13-27.
- Shah, S. (2006). ““If you can’t join ’em, beat ’em”: Julian Schwinger’s Conflicts in Physics”, *UCLA Historical Journal*, 21, pp. 33-59.
- Wheeler, J.A. (1982). “Hideki Yukawa as Uniquely Ecumenical”, *Journal of the Physical Society of Japan*, 37(4), pp. 324-325.
- Wheeler, J.A. (2000). *Geons, Black Holes, and Quantum Foam: A Life in Physics*. New York: W. W. Norton & Co.
- Wightman, A.S. (1971). “The Source Method”, *Science*, 171, pp. 889-890.



# At Home in a Super-Copernican Cosmos: The Genesis of John Wheeler's Participatory Universe

Stefano Furlan<sup>1</sup>, Daniele Puleio<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, sfurlan@mpiwg-berlin.mpg.de

<sup>2</sup> Pontificia Università Lateranense, daniele.puleio@gmail.com

*Abstract:* At the Smithsonian symposium for the 500th anniversary of the birth of Copernicus (1473-1543), the eminent physicist John Archibald Wheeler (1911-2008), paradoxically, gave a lecture with an “anthropic” flavor: *The Universe as Home for Man*. This left the audience perplexed, and still does today. By closely looking at the historical documentation, the present contribution will clarify how Wheeler reached those ideas and what he could possibly mean by them, also in the light of subsequent developments. Such contextualization can also allow us to put his views in dialogue with those of other distinguished figures, thus unveiling a series of interconnections that make the later debate about the so-called “anthropic principle” much more interesting and, at the same time, correct some frequent misunderstandings.

*Keywords:* cosmology, geometrodynamics, anthropic principle, biocentrism, super-Copernican principle.

## 1. *Épater les bourgeois*: the 1973 Copernican celebrations

Smithsonian Institute, Washington DC, 22-25 April 1973. At the commemorative symposium for the 500th anniversary of the birth of Copernicus (1473-1543), John Archibald Wheeler (1911-2008), chairman of the event, shook up the conference with a lecture that, even in the title, had an “anthropic” (slightly *ante litteram*) connotation, to say the least: *The Universe as Home for Man*. The audience did not fail to notice the paradoxical situation (Gingerich 1975, p. 587). But was it really possible that such an eminent physicist was just making a childish mistake like that about the Copernican Revolution? Moreover, it was not the first time Wheeler was celebrating the Polish astronomer: in October 1947 he had delivered a speech at the ceremony of placing wreath upon the statue of Copernicus in Krakow, while in 1967, for the centenary of Marie Curie, he compared her to her fellow countryman: *Maria Skłodowska Curie: Copernicus of the World of the Small* (Wheeler 1968). In September 1973, furthermore, he would reiterate his ideas in Poland (when Brandon Carter first spoke of “anthropic principle”); and the local committee for the Copernican celebrations would also award Wheeler the Nicolaus Copernicus Medal. Even recordings of his 1973 speech exist, while in the 1980s he still made use of his text in teaching.<sup>1</sup> Was all this just one of the ironies of History? A naïve series of mistakes from multiple sides? Or even a provocation? This paper will provide an interpretive key to Wheeler's highly original (and baffling) speculations, properly identifying the traits that – he thought – were bringing the legacy of Copernicus to a new level.

As has often happened in Wheeler's case, much confusion has been created by readers with troubles in understanding his flamboyant rhetoric and creative proposals, as well as by people without any historical inkling of his previous reflections (or in search of remarks from an illustrious scientist to

---

<sup>1</sup> John A. Wheeler Papers, American Philosophical Society Library, Philadelphia, box 189 (1947 event); box OS4 (Copernicus Medal); box 154 (teaching during the 1980s); rec. 206 and 226 (1973 recordings).

allegedly support their own beliefs). If even a superficial but diligent historical enquiry could trace some of Wheeler's sources and inspirations, such as Robert Dicke's questions about natural constants and their seeming fine-tuning for life, a proper historical-epistemological examination of Wheeler's archival papers is necessary to contextualize and understand the bold ideas he ventured to propose during the 1970s. We intend to offer the essential elements for this hermeneutic operation, after which Wheeler's positions will appear less paradoxical.

Let us first depict the stone of scandal. If we were just to externally characterize the 1973 Smithsonian event, it would be easy – either for someone who attended it back then or for a generic historian – to have expectations more or less like the following: a renowned scientist, no longer in his prime, will now repeat few historical commonplaces for the big celebration in which he is routinely involved and then, maybe, add some words about the scientific enterprise that, a few centuries later, still goes on, towards new horizons. That is a scene which occurs regularly. Wheeler, however, starts on a different note: “‘The last of life, for which the first was made, is yet to come.’ Can one change these words of Robert Browning from a statement about life to a question about discovery?” – and he goes on: “Are the discoveries from Copernicus to today only the prelude to greater discoveries? Are we ever to clear up the greatest mystery of all, the origin of this universe that is our home?” (Wheeler 1974, p. 683). Our typical attendee must already be thinking that Wheeler surely meant *home* in some loose, metaphoric sense – they are celebrating the man who dethroned the human species from the center of the universe, after all. The speaker proceeds with some reference to Hutton and Lyell, Freud, Darwin: something may not sound exactly on point, but – one could reason – he must be referring to the usual trio that disillusioned mankind. Then Wheeler dedicates the first part of his speech to recent developments in the astronomical and astrophysical picture of the universe (in particular, X-ray and radio astronomy, as expected in those years, and a foreshadowing of gravitational waves, as expected from Wheeler). All clear, pretty much.

Before explicitly turning to cosmology (the lecturer is one of the leading figures in general relativity), however, some apparently idiosyncratic remarks begin to appear. “The discoveries of the future will outnumber those of the past, we can believe, because of the pace in today's science, the tools, and the pressure; but will they be greater? Nothing so much encourages an affirmative answer as the mysteries encountered wherever we turn”. Sure, why not. “Each one of us has his own catalogue of the great unknowns: three at the top of my own list are the mind, the universe, and the quantum”. That is intriguing. “I know no area where the mystery is greater than it is in these three fields, or any where the linkage between observer and system observed is stranger, or any more suggestive of things hidden beyond present imagination” (Wheeler 1974, p. 685). Then, quite out of the blue, Wheeler starts to recall the case of a “patient lying on the operating table, with brain case open, following past and present in an amazing stream of double consciousness, a consciousness more over strangely observing consciousness”. He then raises questions that may almost sound outrageous (at least to a certain mindset): “The brain is small; the universe is large. In what way, if any, is the universe, the observed, affected by man, the observer? Is the universe deprived of all meaningful existence in the absence of mind? Is it governed in its structure by the requirement that it give birth to life and consciousness?”. Luckily, such outlandish suggestions are immediately counterbalanced by a couple of others: “Or is man merely an unimportant speck of dust in a remote corner of space? In brief, are life and mind irrelevant to the structure of the universe? or are they central to it?” (*ibidem*).

Any half-breath of relief gets nonetheless interrupted by Wheeler's verdict: “Lack of conclusive evidence on so cosmic an issue suggests that something is still to be learned about how the universe came into being” – at which point he begins a survey of relativistic cosmology and black holes, as probably anticipated by whoever knows his name, but first he calls the universe nothing less than “the home of man”. The already evoked fascination of “mystery” is repeatedly emphasized: “The cat in *Alice's Adventures in Wonderland* disappeared from view, all except its grin” (Wheeler 1974, p. 687), like matter completely collapsed into a black hole. “What strange picture of physics are we coming to?

[...] Collapse is dissolution. There is not one law of physics that does not require spacetime for its statement. With the collapse of the universe, the framework falls down for everything ever called a law” (Wheeler 1974, p. 688). And here we go again: “What role, if any, does a future requirement for life and mind play in the structure of the universe?” Not a common question for scientific cosmology, which at that time had only recently started to gain respectability. However, “[p]hilosophy debated this issue before it began to come within the purview of science”. There follows some dizzying name-dropping – or so it seems – that can probably add perplexity to perplexity: Parmenides, Socrates, Plato, Aristotle, Berkeley... But Wheeler does not go off on a wild tangent: he soon rephrases what he has been trying to say, even speaks of experimental testability, and explicates the link to Dicke’s questions about the purported coincidences between the numerical values of natural constants and the emergence of life: “[Is] the ‘initial adjustment of the structure of the universe’ made in such a way as to render possible the existence of the knower? If so, this is a testable prediction, in the sense that it exposes itself in principle to destruction in a dozen ways” (*ibidem*). Well, that might not be so clear and simple, concretely speaking; or, at least, it may involve an unusual notion of testing: “To make the test, examine the effect of a change in the original adjustment and see if it would rule out life”. Still, what is truly important at this point is the following statement, which sheds light on Wheeler’s overall plan (and subversive aims):

One view holds that as we keep on investigating matter, we will work down from crystals to molecules, from molecules to atoms, from atoms to particles, from particles to quarks – and mine to forever greater depths. A very different concept might be called the ‘Leibniz logic loop’. According to this view the analysis of the physical world, pursued to sufficient depth, will lead back in some now-hidden way to man himself, to conscious mind, tied unexpectedly through the very acts of observation and participation to partnership in the foundation of the universe. To write off the power of observation and reason to make headway with this question would seem to fly against experience (Wheeler 1974, p. 689).

In line with the previous emphasis on mystery, Wheeler now turns to the “quantum principle”, which he compares to nothing less than Merlin the magician, the shapeshifter. If the designation is unconventional, the underlying attitude is quite unusual, too: Wheeler is considering on equal footing *all* the various formulations of quantum mechanics (without distinguishing between formulations and interpretations, so that Birkhoff and von Neumann’s attempt at putting quantum logic at the basis of quantum physics is in the same list as Everett’s views), with the notable exceptions of those trying to recover a fundamental classical level. Those are the shapes that Merlin adopted. The challenge is to look at each one of them in search of clues, capable of heuristically leading to a deeper understanding, instead of fossilizing in debates to make one prevail over the others. At that point, another remarkable statement of intent appears:

Three mysteries we have passed in review that call out for clarification: the quantum, the universe, and the mind. All three lie at that point where, in the phrase of Fred Hoyle, ‘mind and matter meld’. All three threaten that clean separation between observer and observed which for so long seemed the essence of science (Wheeler 1974, p. 690).

That is a task for the future, perhaps for the next 500 years – the continuation of the legacy of Copernicus, “to whom more than any other we give the credit for initiating the last 500 years of science” (Wheeler 1974, p. 691). In other words, Wheeler is not-so-tacitly assuming that the usual way the adjective “Copernican” is (mis-?)used in contemporary cosmology will be swept away by the great discoveries that await mankind, still in its infancy.

Surely the ever-increasing pace, tools, and pressures of science augur more discoveries in the next 500 years than in the last 500 years. That the discoveries will be greater, nothing argues so strongly

as the depth of the mystery in which we live. We can believe that we will first understand how simple the universe is when we recognize how strange it is (Wheeler 1974, p. 691).

A commonplace scientific optimism has rarely been so outrageous toward scientific commonplaces. As if the one above was just a smooth and incontestable passage, Wheeler then adds a final sigil, in the form of a sort of prayer-poem to Copernicus, elected as patron saint of those future endeavors: “Remind us that there is no other universe / Than the universe of mind and man, / The universe that is our home” (Wheeler 1974, p. 691). Can there be a more bizarre prosopopoeia for Copernicus? No wonder that, after the speech, the philosopher Daniel J. Callahan, who was present there, commented: “In a curious sense, and particularly after hearing Professor Wheeler this morning, I came to feel that, despite all the talk of the Copernican Revolution – which supposedly displaced man from the center of the universe – he was really coming back to say that indeed man is still the center of the universe” (Gingerich 1975, p. 587).

## 2. Prolegomena and aftermaths

Let us try to make sense of the singular performance we have just re-evoked. By 1973 Wheeler could boast a couple of decades of research in general relativity (or “geometrodynamics”, as he called it) and related astrophysical and cosmological issues: after the success of the first part of his career as a nuclear physicist, he had also become one of the leading authorities in matters of gravitation, at the head of one of the most important groups – the Princeton group – in the recently born relativistic astrophysics. His efforts at dusting off Einstein’s general relativity and exploring its untapped potential, however, as original and fruitful as they were, still kept a quite conventional “naturalistic” outlook in the background. By the late 1960s, Wheeler’s most ambitious aims for geometrodynamics – not just the treatment of new astrophysical and gravitational phenomena, but a comprehensive geometrization of everything at a fundamental level – entered into a crisis: the tools of general relativity seemed no longer sufficient to pursue his guiding vision (Blum & Furlan 2022). This led him back to Niels Bohr’s lessons about the role of the observer and, as usual, Wheeler’s transfigured other people’s ideas in his own way. The result (actually quite different from Bohr’s epistemology, but clearly inspired by it) was the “observer-participator”: echoing Wheeler’s own words (Wheeler 1973), we may say that the observer could no longer be omitted, in a classical fashion, or imagined to be behind a looking glass, through which the self-playing mechanism of the universe could be investigated – instead, the glass had been crashed and the observer could no longer be conceived as remaining outside of the world, undisturbing. If this led to exaggerations or misunderstandings that Wheeler’s own way of speaking may have fostered, we can still say, with a slightly more refined philosophical lexicon, that such a turning point represented quite a deep change from a naturalistic outlook, in which the observer was just considered as a being emerging way down the road of complexity, to a “critical” view (in a loosely Kantian sense), which *ab initio* considers the role of the observer and focuses on the preconditions of knowledge. While this is certainly a key element to which we shall return, we also have to better outline how Wheeler reached that point in his reflections.

The answer is to be found not only in the shortcomings of geometrodynamics, but also in the deep suggestions or hints that it had offered, at least according to Wheeler himself. The most spectacular novelty of those years (and one of the reasons of Wheeler’s fame), the black hole, had indeed been pushing him to question the fundamentality (in a straightforward ontological sense) of space, time, and even physical laws. Black holes seemed to tear space apart and to mark the “gates of time”: as such, they were also a sort of window on the initial and final singularities of the universe itself, the Big Bang and the Big Crunch, of which Wheeler was strongly convinced due to his picture of a closed cosmos (Blum & Furlan 2022). Furthermore, the notion itself of physical law was, in Wheeler’s eye, called into question by the properties of black holes: the impossibility of distinguishing leptonic and baryonic forms of matter, once they crossed the event horizon, was read by Wheeler not much as a violation, but as the “transcendence” of well-established laws, such as



the conservation of baryonic and leptonic numbers (Wheeler 1973), which were simply losing any meaning in that situation. Wheeler's speculative conclusions, then, were denying that physical laws are given "from everlasting to everlasting", or that they could be seen as pillars of a metaphysical order that no physical event could help but obey. The metaphysical objectivity of a naïve naturalistic outlook was thus radically challenged: perhaps there was no autonomous central mechanism of the world, at all.

This philosophical (or epistemological) shift was accompanied by a cosmological one, too, which allows us to introduce other crucial elements. Previously, Wheeler's cosmology, within his geometrodynamical view, was cyclic: a closed universe undergoing expansion and contraction, in a series of Big Bangs and Big Crunches. Wheeler, however, had added a touch of originality, intertwining this model with another issue he had been considering, that of fundamental constants. If his sensitivity as a theorist had long made him dislike the free parameters represented by the constants' numerical values (so that he was hoping to somehow derive them from deeper principles), we should recall again that, in the Princeton *milieu* (and in quite close contact with Wheeler's group), Robert Dicke had been raising questions about fundamental constants and their seeming fine-tunedness as to allow for the emergence of life as we know it (Blum & Furlan 2022). Wheeler's peculiar cyclic cosmology was a purely naturalistic (in the sense of autonomous and observer-independent) machinery which, from cycle to cycle, assigned randomly (in a quantum way) new sets of values to fundamental constants: if they seem to be fine-tuned to our life's prerequisites, it just means, since we are here, that the universe happens to be in one of the cycles with values compatible for life. With the crisis of geometrodynamics and the questioning of its implicit metaphysics, however, Wheeler changed cosmology, too: getting rid of cycles, he tried to link the participatory role of the observer to the fundamental features of the universe – and thus we find again the questions he raised in his "Copernican" speech. The *pars destruens* of his twenty years of geometrodynamics – laws getting "transcended" – had been illustrated at the great Trieste symposium for Dirac's 70th birthday, in October 1972 (Wheeler 1973). In that same period, indeed, he was also taking action to finalize the organization of the celebrations of the other great anniversary recurring a few months later: 500 years since the birth of Copernicus. Wheeler was at the head of the Smithsonian event that was to take place in April: there and then, as we have seen, he would sketch the *pars construens* for a new physics, or at least his hopes for it. The speech itself, besides (and before) getting published in the proceedings of the celebration (Gingerich 1975), was published in the *American Scientist* (Wheeler 1974). Accompanying the text, a stylized portrait of Copernicus with a flower in his hand is suggested to represent the human mind, the "flower of creation" (Fig. 1). Clearly, Wheeler was not afraid of exhibiting his unusual views about Copernicus.

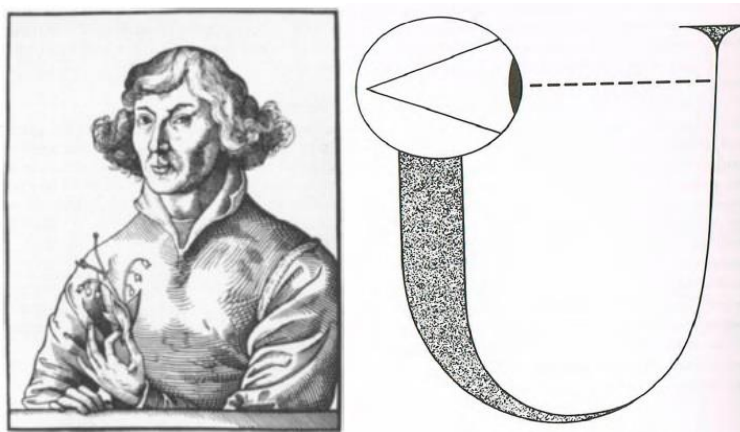
If we have somehow outlined the logic behind Wheeler's "madness" and his reference to the role of the observer and the mind, it still seems as if he was making use of Copernicus just as the spark of the Scientific Revolution: we have not solved yet the tension between what came to be typically called "Copernican" and Wheeler's nonchalant proposals. For sure, he was not merely using the 1973 celebrations as a random pretext: as we have anticipated, already in 1967, for Marie Curie's centenary, Wheeler called her "Copernicus of the small" (Wheeler 1968): that is, Copernicus as a synonym for the initiator of a fruitful collective enterprise. However, the actual connection that Wheeler must have seen between his own baffling suggestions and Copernicus still seems missing.

We can get a clearer insight thanks to a later text, in which Wheeler, by then proposing a different but not unrelated framework (as we shall soon specify), spoke of a "super-Copernican principle":

Are life and mind indeed unimportant in the workings of existence? Is life never to inherit the vastness of space because today its dominion is so small? Or is not rather life destined to take possession of all the out-there because the time available for conquest is so large? How easy it is to be overimpressed by the remoteness of the quasars; how tempting to discount as anthropocentric any purported place for life and mind in the construction of the world. Is it not even more

anthropocentric to take man's migration by foot and ferry in fifty thousand years as the gauge of where life will get in fifty billion years? The fight against here-centeredness began with the 1543 *De revolutionibus orbium coelestium* of Copernicus. The time-bridging power of the elementary quantum phenomenon warns us today to battle against now-centeredness. Life and mind: for how much can they be conceived to count in the scheme of existence? Nothing, say the billions of light years of space that lie around us. Everything, say the billions of years of time that lie ahead of us. It cannot matter that man in time to come will have been supplanted by, or will have evolved into, intelligent life of quite other forms. What counts – in the ideal view being explored in this paper – is the rate of asking questions and obtaining answers by elementary quantum phenomena, acts of observers-participancy, exchanges of information (Wheeler 1988, pp. 125-126).

These lines are no less unconventional than those we have already examined, but they do make us quite easily understand, finally, what Wheeler was up to, under the aegis of the Polish astronomer: he was fighting the now-centeredness of our picture of the universe, in the same way Copernicus had fought the here-centeredness!



**Fig. 1.** On the left, Copernicus and the flower of creation. Wheeler's caption says: "Nicolaus Copernicus, Torun 19 February 1473-Frauenburg 24 May 1543. The flower that Copernicus holds, for him a symbol of medicine, may serve for us to symbolize a central mystery of today: What part do the future requirements for life and mind have in fixing the physics that comes into being at the big bang and fades away at collapse? Are the universe and life related as flower case and flower? (Courtesy Owen Gingerich.)" (Wheeler 1974, p. 690). On the right, Wheeler's self-referential cosmology: "Symbolic representation of the universe as a self-excited system brought into being by "self-reference". The universe gives birth to communicating participators. Communicating participators give meaning to the universe" (Patton & Wheeler 1975, p. 565).

We may say that the emphasis on the community of "observers" was already in the 1973 paper, even if, back then, it mainly seemed a side remark about the collective nature of science, while, by the late 1980s, the relevance of such a community had become entrenched within the physics itself, with explicit epistemological components, that Wheeler was trying to envision. Regarding this point, therefore, we have to add a few words about the aftermath of the Copernican celebrations. Wheeler's 1973 exploit was not isolated, not even in written publications: he would go on developing those ideas in other papers, notably *Is Physics Legislated by Cosmogony?* (Patton & Wheeler 1975) and *Genesis and Observership* (Wheeler 1977). This phase, however, was transitional. As typical of Wheeler, he never rejected the proposals he put forward in that trilogy of papers, but kept elaborating on them, with tacit but crucial changes. By the end of the 1970s, for instance, it is clear that Wheeler had abandoned even the overtones that could make his 1973 speech resonate with Wigner's positions about quantum mechanics and the role of consciousness (Wheeler 1978). A gradual "soberification" of Wheeler's views was taking place: a more conventional explanation would trace this to his move to Texas and the new *milieu* that he encountered

there (and that he contributed to create), with an attention to the foundations of quantum physics closer to experimental situations. More surprisingly, but no less importantly, a parallel channel that allows us to document such a metamorphosis is represented by Wheeler's engagement with none other than Leibniz. It is not the case, here, to expand upon Wheeler's own "upgraded" monadology" (Wheeler 1982; Furlan 2020) – suffice it to say that, in a sense, the potentially solipsistic model of the cosmogonic observer-participator was in this way pluralized (by the plurality of monads, of course): it is not that we are at the center of the cosmos, exclusively, but we are a center nonetheless. At the same time, the cosmogonic observer-participator, as mentioned a few moments ago, was getting de-conscientialized, since the observer or the monad was not necessarily a human or conscious being: Wheeler, echoing Bohr, started to repeat that "[n]o elementary phenomenon is a phenomenon until it is a registered (observed) phenomenon" (Wheeler 1982, p. 560), no consciousness was strictly required to set the cosmic quantum game in motion. From such a peculiar monadology, then, we get the picture of a participatory universe with a plurality of "centers", which, if not Copernican, is quite Brunian and thus post-Copernican – but certainly not Aristotelian-Ptolemaic or pre-Copernican. It is in the context of similar reflections that Wheeler would speak of the already mentioned "super-Copernican principle", involving a network of observers *lato sensu* (not necessarily anthropomorphic), scattered in space *and* time.

Rather than of anthropocentrism, at this point, we could be tempted to speak of biocentrism (hence Wheeler's interest in ideas about the origins of life, such as Eigen's or Prigogine's),<sup>2</sup> even if that too could perhaps constrain and mislead about the meaning that Wheeler assigned to "observation" during the 1980s. Incidentally, his famous "it from bit" descends from all this: far from being *ab ovo* a reification of some abstract and objectively given notion of information, Wheeler's bits are the most simple answer to a "question" due to observer-participancy: a binary alternative, for a system having just two quantum states (Wheeler 1988). In this sense, the blueprint of the cosmogonic observer-participator, or self-referential cosmology (Fig. 1), with its deep intertwinement between the coming into existence of the universe and the emergence of the observer (and the relevance of the latter to the former), got "recycled" and encapsulated into Wheeler's new vision. Information, for him, is not simply given, but is indissolubly linked to acts of observer-participancy. Needless to say, the boldness (and the vagueness) of this proposal is the reason why it has been almost always misunderstood, but also, at the same time, the reason why it offered inspiration to so many viewpoints that took it with a different, or even incompatible, kind of one-sidedness, from C. Fuchs to D. Deutsch and more. That is the fate (and the fruitfulness) of many of Wheeler's ideas.

Misunderstandings, however, were the order of the day even when it came to his (or his interlocutors') early "anthropic" considerations. It is well-known, after all, that people have been for a while distinguishing between different forms of "anthropic principle" (Barrow & Tipler 1986) – but arguably its very designation as "principle" betrays Wheeler's intentions.<sup>3</sup> As for the adjective "anthropic", it does seem quite fitting for his 1973 talk, but, as we have sketched, it is quite misleading when applied to his reflections just a few years further on (as much as he did not give up considering the universe "as home for man"). Brandon Carter himself – the man to whom the origin of the phrase "anthropic principle" is usually ascribed (Barrow & Tipler 1986), as much as his views had long been in dialogue with Dicke's and Wheeler's – would later complain about how "anthropic" carries unduly restrictive connotations, since the same order of ideas can be equally referred to any extraterrestrial or non-human civilization (Carter 1993); but by then it was too widespread to be replaced. Of course, this comment by Carter and the de-anthropomorphization of Wheeler's observers can open a whole new

<sup>2</sup> See again the fourth section of Blum & Furlan (2022) for some guidelines about the otherwise unexplored dialogue and affinities between Wheeler and Ilya Prigogine, as well as between Wheeler and Manfred Eigen.

<sup>3</sup> If it is true that Wheeler wrote the preface to Barrow & Tipler (1986) with his usual enthusiastic tone, more or less in the same period we can also find signs of discontent and some clarification in a quite unexpected place: his tribute for Weyl's centennial anniversary (Wheeler 1986).

series of speculations that, however, Wheeler himself did not venture to follow – and thus, other than for reasons of space, we shall leave them to some other occasion.

In 1994, a semi-popular anthology of Wheeler’s writings was published with the title *At Home in the Universe* (Wheeler 1994): an obvious echo of the speech of little more than twenty years earlier. On the cover of its second edition we can see the portrait of Copernicus with the flower, once again, and the poem-prayer *To Copernicus*, which we have mentioned above, was included, too. Evidently, if the categories of the debate on the anthropic principle are misleading or trivializing when it comes to Wheeler’s ideas, or perhaps too narrow and “technical”, his views can nonetheless be put in dialogue with other attempts from distinguished scientists to contrast the desolate picture of a “meaningless” universe *à la* Jacques Monod or *à la* Steven Weinberg (Blum & Furlan 2022). If Prigogine’s attempt – *La nouvelle alliance* (Prigogine & Stengers 1979) – was an explicit answer to Monod, we could also mention, just to remain among Wheeler’s friends and interlocutors, Freeman Dyson’s response to Weinberg (Dyson 1979). Wheeler did not openly dispute either of the two, even if, in terms of *Zeitgeist* and reactions against it, we may certainly remark that the 1973 speech came shortly after *Le hasard et la nécessité* (Monod 1970). As he always did, Wheeler just went his own way – and in doing so, while trying to open new vistas for the future, he celebrated Copernicus with that sense of elation and liberation that, all too often, has been forgotten ever since the days of Giordano Bruno.

## Bibliography

- Barrow, J.D. & Tipler, F.J. (1986). *The Anthropic Cosmological Principle*. Oxford: Clarendon Press.
- Blum, A.S. & Furlan, S. (2022). “How John Wheeler Lost His Faith in the Law”, in Ben-Menahem, Y. (ed.) *Rethinking the Concept of Laws of Nature*. Berlin: Springer, pp. 283-322.
- Carter, B. (1993). “The Anthropic Selection Principle and the Ultra-Darwinian Synthesis”, in Bertola, F. & Curi, U. (eds.) *The Anthropic Principle*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 33-63.
- Dyson, F. (1979). “Time without End: Physics and Biology in an Open Universe”, *Reviews of Modern Physics*, 51(3), pp. 447-460.
- Furlan, S. (2020). “Merging Labyrinths: Leibniz in J.A. Wheeler’s Quest”, *Studia Leibnitiana*, 52(1-2), pp. 123-155.
- Gingerich, O. (ed.) (1975). *The Nature of Scientific Discovery*. Washington: Smithsonian Institution Press.
- Monod, J. (1970). *Le hasard et la nécessité*. Paris: Seuil.
- Patton, C.M. & Wheeler, J.A. (1975). *Is Physics Legislated by Cosmogony?*, in Isham, C., Penrose, R. & Sciama, D. (eds.) *Quantum Gravity: An Oxford Symposium*. Oxford: Clarendon Press, pp. 538-591.
- Prigogine, I., & Stengers, I. (1979). *La nouvelle alliance*. Paris: Gallimard.
- Wheeler, J.A. (1968). “Maria Skłodowska Curie: Copernicus of the World of the Small”, *Science*, 160(3833), pp. 1197-1200.
- Wheeler, J.A. (1973). “From Relativity to Mutability”, in Mehra, J. (ed.) *The Physicist’s Conception of Nature*. Dordrecht: Springer, pp. 202-247.
- Wheeler, J.A. (1974). “The Universe as Home for Man”, *American Scientist*, 62(6), pp. 683-691.
- Wheeler, J.A. (1977). “Genesis and Observership”, in Butts, R.E. & Hintikka, J. (eds.) *Foundational Problems in the Special Sciences*. Dordrecht: Reidel Publishing Company, pp. 3-33.
- Wheeler, J.A. (1978). *Frontiers of Time*. Austin: Center for Theoretical Physics.
- Wheeler, J.A. (1982). “The Computer and the Universe”, *International Journal of Theoretical Physics*, 21, pp. 557-572.
- Wheeler, J.A. (1986). “Hermann Weyl and the Unity of Knowledge”, *American Scientist*, 74(4), pp. 366-375.
- Wheeler, J.A. (1988). “World as System Self-Synthesized by Quantum Networking”, in Agazzi, E. (ed.) *Probability in the Sciences*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 103-130.
- Wheeler, J.A. (1994). *At Home in the Universe*. College Park: American Institute of Physics.

# INTEGRAL Observatory: Rescue at All Costs

Olga Dubrovina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università di Padova, olga.dubrovina@unipd.it

*Abstract:* A heavy launch vehicle Proton carrying the International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory (INTEGRAL) was launched from Baikonur Cosmodrome on October 17<sup>th</sup>, 2002. The project had been developed by the European Space Agency (ESA) for more than 10 years. Russians offered a free launch of Proton rocket in exchange for 25 percent observing time. This case study will be analysed from a geopolitical perspective by placing it in the broader context of Russian-European cooperation in space and of the political situation in Russia during the transition period.

*Keywords:* Russian Space Program, International Collaboration, Science Diplomacy

## 1. Introduction

A heavy launch vehicle Proton carrying the International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory (INTEGRAL) was launched from Baikonur Cosmodrome on October 17<sup>th</sup>, 2002. The history of this project goes back to the mid-1980s. This is a story with a happy ending about how unforeseen circumstances can not only fail to thwart original plans but can lead to significant project improvements and the best possible outcome. However, the cost of this quantum leap was a decade of negotiations, patient waiting, diplomatic tact and an understanding of the complexity of the situation in which all parties involved in the project had been unwillingly placed.

INTEGRAL mission was seen as the direct successor to Soviet observatory Granat and U.S. Compton Gamma Ray Observatory (CGRO). Initially, it was expected that INTEGRAL would be launched by the European Ariane-5 rocket. The Russians offered their Proton rocket since their own observatories were nearing the end of their working life and there was no money to fund new missions. Rather than charge a launch fee for INTEGRAL, Russia offered a free launch in exchange for 25 percent observing time (Harvey 2021, p. 11).

In this paper the focus will be on the history of the development of this project: from the early years of its inception to the launch of the spacecraft. Since the first steps in Russian-European cooperation were made before the collapse of the USSR and under the conditions of existing Soviet space science and industry, it is interesting to trace the evolution of the project, which survived several stages of Russia's internal history and the progress of international relations from the end of the Cold War to the late phase of the transition period in Russia. Thus, unlike many other projects, including international ones, INTEGRAL is an example of a "surviving" mission that has gone through all the difficulties of the ending of the USSR, its collapse, and the "roaring nineties" in the new Russia. All these "Russian" issues were superimposed on intra-Western difficulties relating to the development of both the ESA space program and its American partner. Below I will try to make sense of all these political, economic, scientific, organizational, and purely human factors.

## 2. Historical overview

The INTEGRAL is an observatory dedicated to the accurate imaging and fine spectroscopy of celestial gamma-ray sources in the energy range 15 KeV to 10 MeV. Before becoming the INTEGRAL

spacecraft, the mission went through several stages of formation, that without exaggeration could be called symbols of the era in which they developed. Even before its transformation into a European project launched by a Russian rocket with American support from the ground, it went through the stages of the Italian-Soviet-British collaboration on Spektr-RG mission, the purely European GRASP, the European-American initial phase of INTEGRAL's creation, and the European-Russian-American co-operation in the late development phase.

The roots of the INTEGRAL project can be traced back to the late 1970's, when the first scientific contacts between the USSR and Italy began in the wake of the promising Soviet-American project Soyuz-Apollo in 1975 which opened the way, as it seemed to Italian scientists at the time, to rapprochement with the USSR in the field of space research.

The Soviet Spektr-RG with wide international participation began to develop in the USSR under leading astrophysicist, Rashid Sunyaev, in the early 1980s. It was the Italians who took responsibility for the design of one of the main instruments of the future international mission – the Hard-X-ray telescope. As Italian astrophysicist Pietro Ubertini PI of IBIS<sup>1</sup> points out, he had “an agreement with Sunyaev back in 1982 to supply the MART-LIME telescope, with support from IAS<sup>2</sup>” funded by the Italian space program (P. Ubertini, 6.11.23). As Ubertini claims, MART-LIME was a prototype for what was later extended to higher energies for INTEGRAL, “a kind of exercise costing over 10 billion of lire at the time that went up in smoke with the collapse of the USSR” (P. Ubertini, 6.11.23). The scientific Soviet-Italian links established during the work on Spektr-RG also played a major role.

As Thierry Courvoisier, director of ISDC<sup>3</sup> and responsible for the data analysis for INTEGRAL, testifies, “the project INTEGRAL was developed between 1988 and 1991 from the U.K. GRASP project” (Th. Courvoisier, 27.07.2023). The GRASP mission – Gamma-Ray Astronomy with Spectroscopy and Positioning – was originally proposed by U.K. and Italian astrophysicists as a prospective European astronomy mission and was selected by ESA for a detailed assessment study. It was one of the candidates for selection of the first medium-size Scientific Project (M1) within the framework of Horizon 2000. The strong side of the project was the fact that GRASP could use an unmodified XMM<sup>4</sup> platform and so achieve an important reduction in costs. It was the first real case in ESA's Science Programme where one platform would be used for two distinct missions (ESA-12524 1988). Despite this important advantage, international Cassini-Huygens mission was selected over GRASP. Regardless of this failure, the researchers of the project did not give up and decided to unite their efforts with scientists from NASA laying the foundations for the future ESA INTEGRAL mission.

The INTEGRAL project was originally proposed jointly by Jim Mattheson from UCSD<sup>5</sup> and NASA's Goddard Space flight, and a European consortium, more interested in Gamma Space Survey (P. Ubertini, 6.11.23). The main role in the European part of the project was played by British scientist Tony (Antony J.) Dean from Phys. Lab. University of Southampton and Pietro Ubertini from the IAS along with Rüdiger Staubert from the University of Tübingen with strong Nanni (Giovanni Fabrizio) Bignami's support from IFCTR-CNR.<sup>6</sup> As Guido Di Cocco from INAF IASF<sup>7</sup> Bologna recalls, “our British colleague went to great political lengths to help realise the project” (G. Di Cocco, 2.10.23).

INTEGRAL was the second medium-size mission of ESA's Horizon 2000 Space Science Plan. Out of twenty-two proposals received, six were chosen by the Agency's Space Science Advisory

---

<sup>1</sup> Imager on Board the *Integral* Satellite, one of the main instruments of the INTEGRAL observatory.

<sup>2</sup> Institute of Space Astrophysics.

<sup>3</sup> International Scientific Data Center of the INTEGRAL observatory, Geneva, Switzerland.

<sup>4</sup> X-ray Multi-Mirror Mission.

<sup>5</sup> University of California San Diego.

<sup>6</sup> The Institute for Research in Cosmic Physics and Relative Technologies of the National Research Council in Milan.

<sup>7</sup> The Institute for Research in Cosmic Physics in Bologna

Committee (SSAC) for study at assessment level. In 1993 the INTEGRAL won the competition as a joint project between ESA, the Russian Academy of Sciences and NASA (Krige, Russo & Sebesta 2000, p. 222). For the space community INTEGRAL represented a remarkable breakthrough: it was the first space mission to involve all three of the top space powers: EU, U.S., and Russia.

Apart from the pooling of different knowledge and competences, there were also purely material reasons behind the international co-operation on the project: “Although fully justified on scientific grounds, the proposed collaboration was also motivated by the financial limitation imposed on the M2 mission, which was 265 MAU<sup>8</sup> (1988 e.c.)” (ESA-16579 1993, p.1). Moreover, INTEGRAL was considered a mission focused on fundamental scientific research. It consisted exclusively of scientific organizations, which found funding for the project from their own national financial institutions.

Shortly after INTEGRAL was selected according to Courvoisier’s recollection, the U.S. and U.K. sides refused to finance their instruments and withdrew from the project. For ESA, which was interested in the mission, “this was a huge disaster” (Th. Courvoisier, 27.07.23). After the withdrawal of the British and Americans, Roger Bonnet, ESA’s scientific director, had to take matters into his own hands and take steps to save the project. As Ubertini remembers, “Bonnet tried to save the mission by asking us Italians to take over from the U.K., going from spending dozens of times more than the originally agreed-upon amount to build IBIS, and the Germans and French to do the same to replace NAE<sup>9</sup>” (P. Ubertini, 6.11.23).

The probable reasons for U.S. withdrawal from the mission were described by an astronomical journalist Daniel Clery in his article published before their dramatic decision. He highlighted the ESA coherence as attractive to U.S. researchers in the light of their frustrations with NASA. As he sustained, these included “a complex, multi-tiered, long-term planning process, an arcane proposal procedure that is often bewildering to outsiders, and a budget that must be approved by Congress every year, leaving projects prone to delays – or even cancellation – caused by unanticipated budget squeezes” (Clery 1993, p. 540). Apparently, despite the opportunities provided by ESA, internal dynamics at NASA prevented, as in the case of the U.K., the active participation of American scientists.

A different explanation was given by Igor Mitrofanov, Head of the Department of Nuclear Planetology at IKI<sup>10</sup> and a member of the INTEGRAL Scientific Evaluation Committee. Comparing the controversial decision of the Russians to participate in the European project on the terms of delivery of a launch vehicle in exchange for scientific data, he emphasizes the choice of the Americans aimed at the development of domestic science: “unlike us, they decided to withdraw from INTEGRAL and develop their national scientific space with international participation” (I. Mitrofanov, 23.10.23).

### 3. Why Proton?

ESA specialists conducted a detailed analysis of the technical characteristics of three possible rockets (Titan, Proton and Ariane-5) and their compliance with the project requirements. Based on this study, crucial scientific information was expected from the orbit guaranteed by the Proton launcher. Thanks to the higher perigee no trapped proton radiation was presumed, while the higher inclination helped to avoid contamination due to radiation belts. The Proton launcher could deliver the satellite into an orbit consistently above 40000 km, which would offer certain benefits for scientific operations. This contrasted with the Titan orbit when approximately 8 hours per 48-hour orbit were spent below 40000 km where no science observations could be performed. As the authors of the project argued, by using Proton orbit, one could gain at least 15% of science data in any given period (ESA-16579 1993, p. 2).

---

<sup>8</sup> Million Accounting Units; 1 AU= ± 1 US \$.

<sup>9</sup> Nuclear Astrophysics Explorer.

<sup>10</sup> Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences.

Even in technical terms the use of Proton launcher was more favorable. The Proton launcher could deliver INTEGRAL into its orbit with a very comfortable margin. The total spacecraft launch mass was 3643 kg while the Proton capability for INTEGRAL was 4060 kg, leaving a 417 kg margin. The spacecraft was conjectured to be delivered close to its operation orbit so that only a small amount of spacecraft on-board propulsion was required for orbital maintenance.

There were, however, at least two negative points which the European specialists paid particular attention to, but which, at the time, decided not to emphasize. First, it was pointed out that the best interface of the spacecraft would be combined with Ariane-5, because “a key feature of INTEGRAL was its commonality with the ESA X-ray mission (XMM), the second cornerstone of Horizon 2000” (ESA-16579 1993, p. 3).

The second negative point of the “Russian choice” was the unpredictability of Russian social, economic, and political reality. In the case of Proton, this meant the possibility of a governmental situation where it would no longer be possible to launch the rocket. As the authors of the launcher analysis put it, “at the foreseen launch date for INTEGRAL, the Proton might no longer be available at the same conditions if the political context were to change” (ESA-16579 1993, p. 2).

In addition to assessing if Proton met the requirements for a successful INTEGRAL mission, the European’s final decision could not but be influenced by the overall success rate of the rocket. According to estimates quoted in the open press the success rate of the Proton rocket, used in 1996 to launch the famous Inmarsat 3-F2 satellite, had been 96%, extremely high by international standards and better than Ariane at 93% (*Financial Times* 1996, p. 13).

However, since Proton was chosen as the primary launch option for INTEGRAL until its launch, the rocket had crashed four times (Proton archive.org). And the most notable and high-profile failure was the launch of the international scientific mission on the Russian Mars-96 spacecraft in 1996. Obviously, this failed launch caused consternation for the European partners. At a meeting at ESTEC in January 1997, ESA representatives asked the Khrunichev State Research and Production Space Centre’s (hereinafter Khrunichev) managers to provide an update of the Proton launch history as given in the ILS<sup>11</sup> user manual to cover the year 1996. In addition, Alain Fournier-Sicre, Head of Permanent ESA Mission in Moscow, requested the investigation reports from RKA<sup>12</sup> for the two launch failures occurring in 1996.

At the end of the 1990s ESA leadership was still uncertain that the Russian Government would agree to launch the rocket in the interests of the European scientific community. The political and, to an even greater extent, the economic situation of the country also cast doubt on the reliability of the Russian partner. Sunyaev and Albert Galeev, Director of the IKI (1988-2002), did not hide the alarming news about problems with financing the construction of the rocket for INTEGRAL from their European colleagues. Even by the autumn of 1998, the status quo had not changed, and ESA continued to exert pressure on the IKI using all possible channels of influence the Russian political leadership.

In this period the problem of financing the launch of INTEGRAL by the Russian Proton had clearly emerged. Behind the delay in the decision to fund the rocket was a complex internal state of affairs relating to scientific space for Russia during the transition period. With a shortage of funding, a whole struggle for implementation was unleashed within the Academy of Sciences.

According to NASA documents, it was not until 2000 that Rosaviakosmos finally confirmed that a Proton rocket had been designated to launch INTEGRAL. During a meeting held at NASA on September 28<sup>th</sup>, 2000 with representatives of Rosaviakosmos and IKI to discuss current projects, Georgy Polishchuk, Deputy Director General and Deputy Head of Rosaviakosmos, reported that “a

---

<sup>11</sup> International Launch Services.

<sup>12</sup> Russian space agency.



Proton had now been designated for INTEGRAL. Integration was now underway” (NASA-Rosaviakosmos, 2000).

#### **4. Reasons of collaboration**

Discussions on the participation of the Soviet Union in INTEGRAL started before the collapse of the USSR. There were several reasons on both sides to enter into close co-operation on the project. By the beginning of 1990s Soviet scientists knew that their sources of original scientific data were drying up taking into account the lifetime of Granat and Gamma observatories. INTEGRAL was a clear case of the disintegrating USSR spotting the opportunity to keep a source of data flowing and keep their share of observation time in exchange for expensive Proton launcher (Harvey 2021, p. 147).

In addition to the scientific continuity and professional links in astrophysics already established through the Spektr-RG project, another important event preceded the start of the INTEGRAL collaboration: the appearance in 1987 of the Energia launch vehicle on the international market of launchers. Discussions on payloads for the latest Energia rocket started as soon as it became operational and dated back to the late 1980s. Initially Energia was proposed by the Soviets to launch European gamma-ray observatory, subsequently the gamma-ray observatory mission was transformed into the INTEGRAL mission of ESA and launched by Proton, more suitable for the European scientific payload (IKI 1999, p. 35).

With the withdrawal of U.S. participants from the project, ESA could no longer cover the launch costs (both Ariane and Titan were provided on a commercial basis) forcing them to look for the best way out of the situation, which the Russians could provide. Whilst earlier their proposal for a Proton launch had not aroused much enthusiasm, now, left with serious holes in the project’s budget, ESA returned to reconsidering the Russian proposal.

It is very likely that the decision to pay more attention to the Russian offer was influenced not only by the purely economic factor, but also by a fundamental change in the international situation. After Boris Yeltsin came to power in Russia and Bill Clinton to the Presidency of the United States, the new Russia and the U.S. were actively approaching each other.

There was also another factor that was possible to have influenced ESA management’s decision to start effective co-operation with the Proton manufacturers. As early as 1987, following the entrepreneurial spirit of Perestroika and, simultaneously, trying to stay afloat in difficult economic conditions, Khrunichev centre, one of the leading manufacturers of the Soviet space rockets, started diversifying. After 1991 Russia’s space industry launched itself on a new mission of discovery: into the world’s satellite market. In 1995 Khrunichev formed a joint venture with Lockheed Martin, the U.S. aviation group, to sell their launch services. The new company, ILS, aimed at winning 50% of the international commercial launch market by the end of the century using both Russian Proton and U.S. Atlas rockets. The most dramatic sign of Russian’s arrival on the world launching scene came in September 1996 when a Proton rocket blasted off from Baikonur with the Inmarsat-3 telecommunications satellite and successfully deployed it in geo-stationary orbit (Financial Times, 1996, p. 13).

#### **5. Story of Arrangement**

The first draft of Arrangement was ready on July 21<sup>st</sup>, 1994. After a whole series of harmonizations of the texts in Russian and English, the final version was produced in early 1995. In March of the same year the ESA Ministerial Council unanimously approved the draft Arrangement and therefore authorized ESA Director General to sign (ESA-28053).

However, while on the European side the process to draw up and approve the Arrangement did not

encounter any notable difficulties or lengthy bureaucratic delays, the same cannot be said for the Russian partners. The Russian Ministry of Foreign Affairs (MID) was delaying reaction to the signing of the INTEGRAL Arrangement, and the Customs Committee had identified various problems that needed to be sorted out beforehand. The new text modified by the Russian MID and informally sent to ESA by RKA then put European officials in a quandary. The points already agreed with the Russians had been fundamentally revised by the Russian Ministry, which inevitably led to a new round of negotiations and the start of another approval procedure by the ESA Ministerial Council.

The final meeting was held on 18-19 January 1996 in Moscow with MID, RKA, ESA and Academy of Sciences representatives all present. The result was a finalized version of the Arrangement, ready for the approval of the respective authorities: ESA Council and Russian government (ESA-28052 1996). With these conclusions the Russians committed to obtain the necessary governmental approvals within the February/March 1996 timeframe.

It is worthwhile remembering that this interval of consideration for the Arrangement in Russia coincided with the presidential elections of June 16<sup>th</sup>, 1996. It becomes evident (from internal correspondence of ESA officials) that the unstable political circumstances had a significant impact on the process of review and approval of the Russian-European Arrangement on INTEGRAL project (ESA-28052 1996).

This is how Serghey Grebenev, Russian astrophysicist from IKI, explains the reason for the bureaucratic delay in signing on the Russian side: “During the Boris Yeltsin era, governments changed so frequently that the co-operation Arrangement simply did not have time to be signed. The documents had to be prepared for signing five times, starting from the moment when Viktor Chernomyrdin was the Chairman of the Government of the Russian Federation” (S. Grebenev, 10.9.23).

And here we finally come to the end of the match – the final decision to use the rocket in the INTEGRAL project on the Russian side was approved by Vladimir Putin on September 17<sup>th</sup>, 1999, just one month after he became Chairman of the Government. Despite a wide array of rehearsals relating to the signing of the Arrangement, the results of the successful launch fulfilled the calculations and expectations of ESA scientists.

## 6. Scientific collaboration

In parallel with the negotiations on the use of Proton, we should look at the promotion of the scientific cooperation and the inclusion of the Russians preparing the scientific components of the mission, or more precisely, the IKI researchers.

A key issue was the distribution of the data obtained from INTEGRAL which arrived from the telescopes at the INTEGRAL Science Data Centre (ISDC). This primary processing by specialists from the Astronomy Department of the University of Geneva was under the direction of Thierry Courvoisier. All data became publicly available one year after their receipt and processing, as stated in the ESA Science Management Plan. However, during the first year it could normally be used only by the Principal Investigators responsible of the delivery to ESA of the four instruments on board in return of the national space agency investment. By Courvoisier’s definition: “We had to share the skies we observed. Like an Oriental bazaar, ESA and Russian scientists shared the observing time of INTEGRAL telescopes, trying to “bargain” for more time in quantity and also in quality”. As Courvoisier remembers, “Sunyaev had a strong position because ESA could not pay for the use of Ariane, for the launch of which a very high price was offered” (Th. Courvoisier, 27.07.23).

One more important fact is worth highlighting here – in case of the INTEGRAL launch by Proton, the observation time was increased. This also gave weight to Sunyaev’s negotiating position. In Grebenev’s opinion, “the share of observation time and data processed and analyzed by Russian scientists was comparable to observation time obtained when launching a satellite into orbit of Proton

compared to a possible Ariane-5 orbit” (S. Grebenev, 10.9.23). This notion was also confirmed by Ubertini: “The 'business' was in the fact of giving 25% more of the data obtainable from the Proton’s better orbit to Russian colleagues” (P. Ubertini, 6.11.23).

Once the allocation of observation time was finalized, routine work began between European and Russian scientists, characterized by official appointments, exchanges of delegations, project discussions, etc. Summarizing the initial phase of the development of joint actions on the INTEGRAL project, Grebenev emphasizes that “Although the first agreements with the ESA management were reached in heated debates, on the whole it was always a constructive and mutually beneficial co-operation” (S. Grebenev, 10.9.23), that is still ongoing after 20 years of scientific observations.

## 7. Conclusions

Summarizing this article and trying to avoid the obvious conclusions about the complexity and sometimes tragic nature of mutual relations between politicians, engineers, and scientists, which fully depend on specific foreign and domestic political conditions, three key points should be emphasized. They are united by the positive outcome of Russian-European co-operation and although the collaboration was fruitful for both, the focus here is on the significant intangible assets gained by Russia.

The first is that ESA managed to convey to its Russian colleagues a very concrete “good practice” of democracy, about which so much was said in the 1990s and so little was done to transfer and establish it on Russian soil. According to Article 5.6 of the Arrangement the Russian side was obliged to “establish with the Russian Academy of Sciences the Russian Scientific Data Center (RSDC) to support the preparation of Russian observation proposals and the processing of the scientific data return” (ESA-19466 1996). All the scientific data obtained within the Russian observation time quota were (and still are) transferred to the ISDC and then become available for Russian scientists via the RSDC of the INTEGRAL observatory established in the High Energy Astrophysics Department (IKI).

In addition to this experience in democracy, my second point is that the Russians received an even greater bonus from the Europeans and that was trust. A trust built, among other things, on the personal and professional ties of the scientists. Almost twenty years after the described events, one of their participants, Lev Zeleny, drew special attention to the exclusivity and value. “Thanks to our joint efforts, in September 1999 the Russian government issued a decree on the launch of INTEGRAL. We would like to recall with a kind word Roger Bonnet, our great friend, an activist of co-operation with Russia, thanks to whom this difficult period was overcome. [...] The experience of the INTEGRAL project proved to be very important. Colleagues from Europe began to trust us. Since then, Russian scientists have participated in other ESA projects. The Mars Express, Cluster, Venus Express, and ExoMars-2016 were successfully launched into space by our Soyuz-Fregat rockets. So, the co-operation ended up being beneficial not only for scientists, but also for our rocket industry” (Integral Observatory).

Thirdly and finally, scientists contributed, to the best of their ability, to the creation of a positive international climate in which their co-operation had developed. With common scientific and technical goals, independent of the political situation and taking advantage of the freedom in communication of the 1990s, scientists made joint efforts for achievement, simultaneously contributing to the formation of new Russian-European relations. The scientists played a “stabilizing” role in that period, contributing to the construction of new West-East relations. Thus, three key concepts characteristic of the Russian-European cooperation on INTEGRAL can be identified: scientific democracy, professional trust, and space diplomacy. All three went far beyond the scope of a single project creating a broader perspective for further joint efforts.

## Acknowledgments

Sincere thanks to Thierry Courvoisier, Guido Di Cocco, Serghey Grebenev, Leonid Gurvits, Igor Mitrofanov, Pietro Ubertini and Lev Zeleny for their time and willingness to share their memories and suggestions with me. And Gherardo Bonini (HAEU) and Sarah Jenkins (NASA HQ Archives) for their help with archival sources.

## Bibliography

- Clery, D. (1993). "U.S. Space Scientists Look to Europe", *Science*, 261(5121), pp. 540-542. doi: 10.1126/science.261.5121.540.
- Financial Times*, 22 November 1996.
- Harvey, B. (2021). *European-Russian Space Cooperation: From De Gaulle to Exomars*. Chichester: Springer.
- IKI (1999). "Department for High Energy Astrophysics", in Galeev, A. (ed.), *Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences. 35 years*. Moscow: IKI RAN, pp. 36-37.
- Integral Observatory. Available at: [https://prof-ras.ru/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=933:observatoriya-integral-nedremannoe-oko-na-zemnoj-orbite](https://prof-ras.ru/index.php?option=com_k2&view=item&id=933:observatoriya-integral-nedremannoe-oko-na-zemnoj-orbite) (Accessed: 17 July 2024).
- Krige, J., Russo, A. & Sebesta, L. (2000). *A History of the European Space Agency, 1973-1987*, vol. 2. Noordwijk: ESA Publications Division.
- Proton (archive.org). Available at: <https://web.archive.org/web/20080913224630/astronautix.com/lvs/proton.htm> (Accessed: 17 July 2024).

## Archival Sources

- Barbance K. (1996). Letter to V. Nicolae, HAEU, *Collection ESA*, 28052.
- ESA-12524 (1988). Selection of the Next Scientific Project (M1). Historical Archives of the European Union (HAEU), *Collection ESA*, 12524.
- ESA-16579 (1993). Launcher for INTEGRAL. HAEU, Florence, *Collection ESA*, 16579.
- ESA-19466 (1996). Article 5 of Arrangement between the ESA and the RKA concerning cooperation in the INTEGRAL, *Collection ESA*, 19466.
- ESA-28052 (1996). Protocol of a meeting on INTEGRAL space cooperation, HAEU, *Collection ESA*, 28052.
- Lafferranderie G. (1995). Letter to A. Medvedchikov, HAEU, *Collection ESA*, 28053.
- NASA-Rosaviakosmos (2000). NASA-Rosaviakosmos Executive Joint Working Group. NASA HQ Archives, *Marc Allen Strategic and International planning collection*, Box 4.

## Interviews

- Interview with Thierry Courvoisier, 27<sup>th</sup> July 2023.
- Interview with Serghey Grebenev, 10<sup>th</sup> September 2023.
- Interview with Guido Di Cocco, 2<sup>nd</sup> October 2023.
- Interview with Igor Mitrofanov, 23<sup>d</sup> October 2023.
- Interview with Pietro Ubertini, 6<sup>th</sup> November 2023.

# Physics for neuroscience: the story of Hodgkin and Huxley before any interpretation\*

Michał Oleksowicz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Philosophy, Nicolaus Copernicus University in Toruń, Poland, [michaloleksowicz@umk.pl](mailto:michaloleksowicz@umk.pl)

*Abstract:* In 1952, A. L. Hodgkin and A. F. Huxley published what was to become known as the model of the action potential. This model would subsequently be considered a cornerstone of electrophysiology and neuroscience, since it concerned the ionic mechanisms involved in the operation of the nerve cell membrane. The story of the Hodgkin–Huxley (HH) model is, on the one hand, a particular example of the use of a scientific experiment and the laws of physics within life sciences. In the case of the HH model, the total current equation is derived from the laws of electricity (Coulomb’s law and Ohm’s law) under specifiable conditions. On the other hand, the HH story has become a key point of reference for the contemporary philosophical debate on the adequacy of scientific models, especially within the new mechanical philosophy. In his pivotal paper on explanatory models, C. Craver interpreted the HH model as a merely instrumentalist one that only “saves the phenomena” via the application of mathematical formulas. Therefore, the aim of this paper is twofold. First, we will reconstruct the story of the HH model and counterargue the claim that the model does not explain the phenomenon in question. Next, our analysis will demonstrate that the problem with Craver’s reading of the HH model stems from the unwarranted assumption that explanations and descriptions should always proceed hand in hand. Finally, we will conclude that although the HH model has proven to be incomplete in various respects, it does not follow that it was simply inaccurate and non-explanatory.

*Keywords:* Neuroscience, Huxley, Hodgkin, Explanatory models, Phenomenal models, Scientific explanation, Mechanistic explanation

## 1. Introduction

In 1952, A. L. Hodgkin and A. F. Huxley, two physiologists working at the Physiological Laboratory in Cambridge and the Laboratory of the Marine Biological Association in Plymouth, published the first quantitative description of electrical excitability in nerve cells. The publication of their mathematical model of the action potential is commonly viewed as a cornerstone of electrophysiology and neuroscience. The Hodgkin–Huxley (HH) model, as it was later called, is a particular example of the use of a scientific experiment and the laws of physics within life sciences.

In recent philosophical literature, especially that concerning the new mechanical philosophy, the HH model has become the main point of reference when discussing the role of models in scientific explanation. C. Craver (2006) has interpreted the HH model as an example of a non-explanatory, phenomenal model. In other terms, he has treated it as a merely instrumentalist one that only “saves the phenomena” via the application of mathematical formulas. Therefore, the aim of this paper is twofold. First, I will reconstruct the story of the HH model and counterargue the claim that the model does not explain the phenomenon in question. Next, I will argue that mathematical generalisations describing natural regularities in the case of the action potential have played an essential role in constraining the explanatory import of the HH model. Furthermore, I will demonstrate that although the HH model has

---

\* This contribution was presented at the *XLII SISFA Congress*, Perugia, September 26-29, 2022.

proven to be incomplete in various respects, it does not follow that it was simply inaccurate and non-explanatory.

## 2. The story of the HH model before any interpretation

The pore hypothesis became predominant in biology and physiology books in the 1840s, when a number of biophysicists (such as L. Helmholtz and R. DuBois) invoked it in order to explain osmosis. The supposed role of pores was to act as channels, so to say, that pass water and other particles (Hille 1999). Thanks to nineteenth-century physiological investigations (particularly those by S. Ringer, W. Nernst and J. Bernstein), by the late 1930s, scholars had long known that not only was the signalling within neurons electrical in nature, occurring as part of an activity referred to as the action potential, but also that such signalling was stimulated by the flux of ions of potassium and sodium in the vicinity of the neuronal membrane (Hille 2001, pp. 2-5). What was still unknown at the time were the molecular details of the mechanism of the action potential, especially of the proteins known as ion channels. When Hodgkin and Huxley began collaborating on this subject in 1939, new research opportunities arose. In what follows, I will first consider the experimental aspect of their work. Then, I will discuss the main theoretical assumptions of the HH model with a particular emphasis on the application of the physical laws within it.

The new developments with regard to the basic processes underlying the nervous mechanisms began with an experiment conducted by Hodgkin and Huxley in 1939. The two scientists had studied action potentials in the relatively large axons of the squid *Loligo forbesi*, which can grow up to 90 centimetres in mantle length. While most of the nerve fibres were too small to be tested directly, Hodgkin and Huxley succeeded in inserting micro-electrodes into the giant axons and were able to measure electrical changes within the axons, discovering that the membrane potential would momentarily reverse during the action potential (Hodgkin & Huxley 1939).

Moreover, they utilised an innovative experimental technique of the voltage clamp (Schwiening 2012). Since the action potential involves rapid changes in the membrane potential and in the functioning of ion channels, a technique was needed to “freeze” the neuron at particular voltages in order to obtain an understanding of what was taking place. The voltage clamp made it possible to control the desired membrane voltage of the cell by using electrical stimulation and a negative feedback circuit. At this experimental level, the scientists’ calculations were based upon the relation between current intensity, resistance and potential as defined by Ohm’s law. By predetermining the voltage and measuring the current produced in the squid axon, Hodgkin and Huxley calculated the third quantity, namely the resistance of the membrane. The inverse value of the latter was the permeability (conductance) that the experiments were designed to measure.<sup>1</sup> The skills to dissect squid axons acquired by Hodgkin (with K. S. Cole) and the insertion of electrodes using the voltage clamp technique (Cole 1992) were ingenious from an experimental point of view.

The main theoretical contribution of the HH model consists in proving the ionic hypothesis and describing it in a quantitative form. The model shows in an elegant form that depolarisation of the squid axon triggers a rapid inward current carried by  $Na^+$  ions, followed by a slower outward current carried by  $K^+$  ions. Both currents are responsible for generating the action potential. In contrast to these two voltage-dependent channels, there is also a third type of channels described by the HH model, that is, leakage channels. These channels have a low conductance that does not change and are mainly responsible for the resting membrane potential ( $E_m$ ).

---

<sup>1</sup> Conductance, that is, the ease of flow of current between two points, is defined by Ohm’s law in the following way:  $I = gE$ . This means that the current ( $I$ ) equals the product of conductance ( $g$ ) and voltage difference ( $E$ ) across the conductor. The reciprocal of conductance is called resistance ( $R$ ). Thus, Ohm’s law can also be expressed in a more common way using the following formula:  $E = IR$ . From these relations, one can easily note that  $R = 1/g$ .

In essence, the authors described the excitability of the membrane in terms of:

1. fixed parameters:
  - 1.1. membrane capacity  $C_M$ ,
  - 1.2. equilibrium electromotive force for  $Na$  ( $E_{Na}$ ),
  - 1.3. equilibrium electromotive force for  $K$  ( $E_K$ ),
  - 1.4. leakage electromotive force for other ions ( $E_{leak}$ ),
  - 1.5. maximum conductance for sodium ( $\bar{G}_{Na}$ ),
  - 1.6. maximum conductance for potassium ( $\bar{G}_K$ ),
  - 1.7. maximum conductance for other ions ( $\bar{G}_{leak}$ ), and
2. parameters that depend upon the membrane potential:
  - 2.1. the  $m$  variable for the activation of the  $Na$  gate,
  - 2.2. the  $h$  factor for the inactivation of the  $Na$  gate,
  - 2.3. the  $n$  factor for the activation of the  $K$  gate.

To account for the total membrane current, Hodgkin and Huxley divided it into a capacity current and an ionic current:

$$I = C_M \frac{dV}{dt} + I_i \quad (1)$$

In equation (1), the first element of the right-hand side is the capacity current that derives from the property of capacitance. The scholars assumed that cell membranes are capacitors which create a potential difference by means of a separation of charges on the intra- and extra-cellular sides. Qualitatively, the first element says that the current into the membrane is proportional to the size of the capacitance and the rate of change of voltage across it. The second element of the right-hand side of equation (1) is the ionic current that consists of components carried by sodium ions, potassium ions and other ions:

$$I = C_M \frac{dV}{dt} + I_i \quad (2)$$

The individual ionic currents are obtained from the following equations:

$$I_{Na} = G_{Na}(E - E_{Na}); I_K = G_K(E - E_K); I_{leak} = G_{leak}(E - E_{leak}) \quad (3a)$$

In their paper, Hodgkin and Huxley (1952 p. 505) wrote that for a practical application, it is convenient to write the above equations of individual ionic currents in the following form:

$$I_{Na} = G_{Na}(V - V_{Na}); I_K = G_K(V - V_K); I_{leak} = G_{leak}(V - V_{leak}) \quad (3b)$$

It can be noted that equations (3b) derive from Ohm's law. The current is defined by the latter as  $I = gE$ , which means that the current ( $I$ ) equals the product of conductance ( $g$ ) and voltage difference ( $E$ ) across the conductor. The  $V$ ,  $V_{Na}$ ,  $V_K$  and  $V_{leak}$  values were measured by Hodgkin and Huxley directly as displacements from the equilibrium potential due to the following relations:

$$V = E - E_{eq}; V_{Na} = E_{Na} - E_{eq}; V_K = E_K - E_{eq}; V_{leak} = E_{leak} - E_{eq} \quad (4)$$

Set (4) of equations shows that Hodgkin and Huxley introduced the modification to Ohm's law in the form of the factor  $E - E_{eq}$ . The latter is the so-called driving force on the ion, that is, a measure of how far the membrane potential is from the equilibrium potential in question. The formula for finding the equilibrium potential of the ions in question ( $E_{eq}$ ) is given by the Nernst equation, which states that ionic equilibrium potential varies linearly with the temperature and logarithmically with the ion concentration ratio (Hille 1992, pp. 13-18).

Coming back to the fixed parameters 1.1 through 1.7, while 1.1 is provided by the experimental measurements, 1.2 through 1.4 are derived from the Nernst equation for potentials. What about  $G_{Na}$  or  $G_K$ ? Hodgkin and Huxley explained that when specific ion channels are open, such as the whole population of potassium or sodium channels, then the actual conductance ( $G_K$  or  $G_{Na}$ ) will be obtained by using the statistical approach to generate predictions for the probability of channels being open. This probability in the case of  $K$ -channels was assumed to be  $n^4$ . The actual conductance of potassium is then part of the maximum possible  $K$  conductance ( $\bar{G}_K$ ), i.e.,  $G_K = \bar{G}_K n^4$ . The scientists applied similar reasoning to the actual conductance of  $G_{Na}$ , the difference being that apart from rapidly-responding activation gates (the  $m$ -gates), each  $Na$  channel contains a slower-responding inactivation gate (the  $h$ -gate). A combination of these two types of gates explains the increase in  $Na$  conductivity that results from membrane depolarisation. The HH model proposed that the probability of a whole  $Na$  channel being open was  $m^3h$ , and that  $G_{Na} = \bar{G}_{Na} m^3h$ . Since the variables  $n$ ,  $m$ ,  $h$  represented the portion of potassium, sodium and inactivation particles in certain regions, respectively, these variables were voltage- and time-dependent.

Having collected the aforementioned main theoretical assumptions, the scientists expressed them in an equation representing the total current as a function of time and voltage:

$$I = C_M \frac{dV}{dt} + \bar{G}_K n^4 (V - V_K) + \bar{G}_{Na} m^3 h (V - V_{Na}) + \bar{G}_{leak} (V - V_{leak}) \quad (5)$$

### 3. The HH model and the role of empirical laws

The HH model links the microscopic level of ion channels in an elegant way to the macroscopic level of action potentials and currents. It does so thanks to the vast amount of experimental data collected by Hodgkin and Huxley via the use of the voltage clamp technique applied to squid axons. At the same time, the model relies heavily on the application of the simple laws of physics to the study of ion channels, namely Ohm's law and the equilibrium potential as expressed by the Nernst equation.

What is the role of these laws in the HH model? Firstly, they play a crucial role in ensuring that the quantities present in the equation can be measured. In other words, mathematically formulated scientific laws are part of the definition of the HH model and make it effective in predicting and explaining a certain class of phenomena. Secondly, the HH model assumes at least two idealisations. In the case of Ohm's law, it can be noted that it refers to ion channels and other neuronal structures as if they were Ohmic conductors, that is, as if the difference in potential varied uniformly with the current flowing through the ions and with their conductance or resistance. Moreover, Hodgkin and Huxley are explicit that "the membrane capacity was assumed to behave as a 'perfect' condenser" (1952, p. 542). Thirdly, the cell membranes are treated as capacitors that store opposite charges on the intra- and extra-cellular sides. Since the HH model describes the physical model of the opening and closing of gates within a channel, it is entirely reasonable to apply equations describing the movement of charged particles in an electric field. Fourthly, two types of equations seem to be present in the HH model: 1) those essentially empirical but based upon equations that describe the movement of a charged particle in an electric field (which is the case with the equations describing the voltage dependency of transition rate constants with



the use of the factors  $\alpha$  and  $\beta$  (Hodgkin & Huxley 1952, pp. 507-518)); and 2) those directly based on Ohm's law and the Nernst equation (e.g. (3a), (3b) and (4)).

While it is beyond the aim of this paper to discuss the metaphysical status of scientific laws (Psillos 2002, pp. 139-214), a more general philosophical perspective on such laws is needed for the purpose of our further discussion. Scientific laws are usually expressed in equations that represent relations between measurable properties. The formulation of such laws is of crucial importance, since it enables scientists to learn some of the invariant rules, dependencies and relations according to which natural phenomena take place (Dorato 2012). An efficient way to characterise these laws is to say that the laws are intended to express "how things are" or "that something is the case". Laws formulated in a theoretical language are propositions that assert relations established by observation or by experiment. On the contrary, theories or hypotheses essentially attempt to answer the question "why something is the case" (Agazzi 2014, p. 358). With regard to the interpretation of laws within the HH model, the issue stems from the different interpretations of equations embedded in scientific laws. Essentially, there are two ways to read equations: as explanatory equations or as merely descriptive ones. For instance, Snell's law is considered to be a descriptive equation, whereas Newton's law of universal gravitation is considered to be an explanatory equation. Then, there is also the issue of how certain an equation is: there can be certain explanatory equations or uncertain explanatory equations; certain descriptive equations or uncertain descriptive equations. Since the influential contribution by K. Popper, there has been some confusion when it comes to interpreting the role of laws (Agazzi 2014, pp. 353-358). Popper's move to reject any positive certainty from science, including that which is traditionally ascribed to laws, consisted in qualifying laws as being hypothetical ones, that is, as being uncertain. As a consequence, laws are treated as conjectures, considered to be more or less certain, and their role is to state "that is the case". In consequence, they are expected to provide accurate descriptions rather than illuminating explanations. In other words, explanations rely primarily upon hypotheses and only secondarily on laws. For the above reasons, in his comments on the HH model, J. Bogen states that "[the current equation] does not explain; it describes" (2005, p. 403).

#### 4. The HH model and its instrumentalist interpretation

The story of the HH model has become a key point of reference for the contemporary philosophical debate on the adequacy of scientific models, especially within the new mechanical philosophy. In his discussion of this model, C. Craver (2006) interpreted it as being merely instrumentalist. According to him, the HH model was only able to make predictions, to summarize experimental data. It was not an explanatory model on account of being incapable of going beyond the mere description of the action potential by offering a causal interpretation of the underlying molecular mechanism of the *explanandum*. Craver is convinced that his claims about the phenomenal character of the HH model are well justified by what Hodgkin and Huxley stated themselves in their pivotal paper. In fact, there is a long passage in the third part of that paper, in the last section entitled "Discussion", which seems to suggest such an interpretation:

The agreement [between the model and collected data] must not be taken as evidence that our equations are anything more than an empirical description of the time-course of the changes in permeability to sodium and potassium. An equally satisfactory description of the voltage clamp data could no doubt have been achieved with equations of very different form, which would probably have been equally successful in predicting the electrical behaviour of the membrane. It was pointed out in Part II of this paper that certain features of our equations were capable of a physical interpretation, but the success of the equations is no evidence in favour of the mechanism of permeability change that we tentatively had in mind when formulating them (1952, p. 541).

Hodgkin and Huxley in fact insisted that they had “no evidence” in favour of the mechanism of permeability. At the beginning of their paper, they discussed various models of such a mechanism. They invalidated the hypothesis that the charged particles acted as carriers for sodium and instead opted for the hypothesis that the particles allowed sodium and potassium to pass through the membrane when they occupied particular sites in the membrane (1952, p. 502). The point is that, on the one hand, Hodgkin and Huxley were well aware that changes in the membrane potential were to be explained in terms of permeability changes. For instance, they wrote that “one of the most striking properties of the membrane is the extreme steepness of the relation between ionic conductance and membrane potential” (1952, p. 503). On the other hand, they clearly stated that sodium movement depended on the presence of charged molecules:

Details of the mechanism will probably not be settled for some time, but it seems difficult to escape the conclusion that the changes in ionic permeability depend on the movement of some component of the membrane which behaves as though it had a large charge or dipole moment (1952, p. 504).

One may ask: if they had “no evidence” in favour of the precise mechanism of permeability, why did they, at the same time, claim that it was “difficult to escape the conclusion” that ionic permeability depended on the movement of some components of the membrane? Hodgkin and Huxley struggled with the characterisation of the effects produced by the unknown molecular mechanism, but they nevertheless described relations among electrical quantities in a way that was sufficient to offer an explanation of a wide range of phenomena (including the refractory period, subthreshold, threshold, action potential and speed of propagation). In the background of their model, there was the fundamental idea of the charged particles moving in the electric field. The general agreement between predictions derived from the HH model and experimentally established values of the relevant quantities was a strong confirmation that the model was working correctly and that the details of the assumed mechanism of ion flux across the membrane was still to be determined.

Although the HH model incorporated equations that did not constitute an explanation of the underlying molecular processes, the scientists put essential temporal and spatial constraints in place to guide any further consideration of the possible mechanism. While working on the quantitative representation of the changes in conductance as a function of time and voltage, Hodgkin and Huxley found a certain shortcoming in their equations. It was the case that “the equations governing the potassium conductance do not give as much delay in the conductance rise on depolarization (e.g., to the sodium potential) as was observed in voltage clamps” (1952, p. 542). Trying to resolve this “discrepancy puzzle”, they explained that it was the fourth power of the potassium variable ( $n^4$ ) and the third power of the sodium variable ( $m^3$ ) that provided a better fit of the theoretical solutions of the equations to the voltage clamp data. Their intuition of the underlying mechanism of the movement of some components of the membrane was much more than simply having found accurately simple equations fitting the experimental data.

## 5. Conclusions

The HH model should be distinguished from phenomenal models by virtue of the fact that it correctly guided further investigation on the underlying structures of the action potential thanks to its representational and interpretational capabilities. In fact, the HH model was able to identify the most relevant components in the action potential mechanism; it correctly represented their spatial and temporal organisation and provided a sufficiently quantitatively accurate description of the interaction and activities of the components. Although both actual references and unknown molecular elements were part of the model, the model’s interpretation gave cues on the modes of interaction between causal

factors which were still poorly understood. Therefore, an interpretation of the more or less successful explanatory role of the HH model requires keeping its descriptive and explanatory roles distinct rather than conflated while recognising that they work together. The struggle to unravel the underlying mechanism of the action potential can be characterised as an articulated process through which the iterative relations between the *explanans* and the *explanandum* were present.

### Acknowledgments

I would like to sincerely thank Mateusz Chwastyk for reading the manuscript and suggesting valuable improvements.

### Bibliography

- Agazzi, E. (2014). *Scientific Objectivity and Its Contexts*. Cham-Heidelberg: Springer.
- Bogen, J. (2005). “Regularities and Causality; Generalizations and Causal Explanations”, *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 36(2), pp. 397-420. doi: 10.1016/j.shpsc.2005.03.009.
- Cole, KS. (1992). “Neuromembranes: Paths of Ions”, in Worden, F.G., Swazey, J P. & Adelman, G. (eds.) *The Neurosciences: Paths of Discovery, I*. Boston, MA: Birkhäuser, pp. 143-157.
- Craver, C.F. (2006). “When mechanistic models explain”, *Synthese*, 153, pp. 355-376. doi: 10.1007/s11229-006-9097-x.
- Dilworth, C. (2006). *The Metaphysics of Science. An Account of Modern Science in Terms of Principles, Laws and Theories*. Boston Studies in the Philosophy and History of Science 173. Dordrecht, NL: Springer.
- Dorato, M. (2012). “Mathematical Biology and the Existence of Biological Laws”, in Dieks, D. et al. (eds.) *Probabilities, Laws, and Structures*. London: Springer, pp. 109-121.
- Hille, B. (2001). *Ionic Channels of Excitable Membranes*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Hille, B., Armstrong, C.M. & MacKinnon, R. (1999). “Ion channels: from idea to reality”, *Nature Medicine*, 5(10), pp. 1105-1109. doi: 10.1038/13415.
- Hodgkin, A.L. & Huxley, A.F. (1939). “Action Potentials Recorded from Inside a Nerve Fibre”, *Nature*, 144, pp. 710-711.
- Hodgkin, A.L. & Huxley, A.F. (1952). “A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve”, *The Journal of Physiology*, 117, pp. 500-544.
- Psillos, S. (2002). *Causation and Explanation*. Stocksfield, UK: Acumen.
- Schwiening, C.J. (2012). “A brief historical perspective: Hodgkin and Huxley”, *The Journal of Physiology*, 590(11), pp. 2571-2575. doi: 10.1113/jphysiol.2012.230458.



# Bruno Rossi and the Art of Jumping on the Sputnik Bandwagon

Luisa Bonolis<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Max Planck Institute for the History of Science

*Abstract:* The launch of the first Russian satellite and the advent of the space age did not catch a stellar scientist like Bruno Rossi unprepared. Through a long experience in the study of cosmic rays, and especially during the 1950s, he had acquired a sense of outer space as a space populated by high-energy particles, radiation, and magnetic fields that now could be studied in their primary form, beyond the Earth's atmosphere. I will show the significant aspects which, during this articulated path, have contributed to the evolution of his multifaceted scientific personality, ensuring that, at the moment of the creation of NASA in early 1958, Rossi was already fully aware of what the potential deriving from the new cosmic dimension could be and, notably, of which should be the scientific goals to be achieved in the immediate future. In record time, he championed the well-known projects that gave rise to scientific space enterprises that led to the launch of the satellite that first detected cosmic gamma rays, to the construction of a probe that systematically explored the space plasma and provided the first concrete clues of the existence of the solar wind, and to the launch of the rocket that discovered the first extrasolar source of X-rays, Scorpius X-1, and inaugurated the great season of X-ray astronomy.

# Italian Physics in the International Organization of Science: The Case of IUPAP

Roberto Lalli<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politecnico di Torino, roberto.lalli@polito.it

*Abstract:* To commemorate its centenary, the International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP) initiated a historical endeavor to comprehend the evolving roles of the institution in fostering international collaboration in physics from the 1920s until the present day. Drawing upon the findings of this historical project, this presentation offers a critical overview of Italy's involvement in the IUPAP. By examining pivotal events and notable individuals, the study demonstrates that Italy's participation in the IUPAP underwent major reconfigurations, heavily influenced by changing political circumstances both domestically and internationally. Following the reformation of the National Research Council (CNR) in 1927, the newly constituted CNR board of directors viewed the IUPAP as an obstacle rather than a facilitator of international physics cooperation. Conversely, in the immediate aftermath of World War II, Italian physicists in prominent positions within national science policy-making circles recognized the IUPAP as an opportunity to pursue two interrelated objectives: the internationalization of Italian physics and the restoration of Italy's central role in the emerging international physics community. This convergence of motives resulted in a privileged alliance between Italian physicists and the IUPAP, culminating in the election of Edoardo Amaldi as President during the IUPAP general assembly held in Rome in 1957. Following Amaldi's presidency, the Italian Physical Society remained committed to fostering an internationalist outlook. While increasingly focusing on the European context, Italian physicists remained actively engaged in the IUPAP, actively influencing some of its major objectives.

# Free-Energy Calculations in Soft and Hard Matter: From Hamiltonian Thermodynamic Integration to Early Applications of Umbrella Sampling

Daniele Macuglia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università di Pechino, [daniele@pku.edu.cn](mailto:daniele@pku.edu.cn)

*Abstract:* Free energy is a thermodynamic potential that plays a pivotal role in comprehending the behavior of energy processes and transformations in matter. However, the development of accurate methods to calculate it has been a significant challenge for scientists involved in analytical and computer simulation approaches, spanning several generations. This presentation seeks to provide an analysis of the most significant works related to free-energy calculations, along with a chronology and primary-source collection that is valuable for gaining historical insights. The period under review commences with the analytical studies of John Kirkwood in 1935, which laid the foundations for the Hamiltonian thermodynamic integration, and extends to the emergence of umbrella sampling in 1977. The focus will be on simulative techniques and the major challenges that molecular simulation practitioners faced. Despite some references in natural-science literature, a systematic documentation of the history of free-energy calculations is lacking. Hence, this talk aims at presenting the initial few strides made in this direction.

# Celestial Micro-mechanics 1916-17: Einstein vs. Schwarzschild, Sommerfeld, Epstein

Alexander Afriat<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Bretagne Occidentale, afriat@gmail.com

*Abstract:* I compare two research programmes from the late years (1916-) of the old quantum theory. In three texts from 1917, Einstein proposes an apparently Hamiltonian micro-mechanics – on a torus designed to ‘Riemannize away’ problematic dynamical multi-valuedness – characterised by surprisingly modern invariances: ‘point’ (diffeomorphic) and homotopic. The rival programme (Schwarzschild, Sommerfeld, Epstein etc.), which is genuinely canonical, produces its own tori through action-angle variables and uses perturbations (Zeeman, Stark, relativity) to eliminate awkward coordinate ambiguities which would affect quantisation itself.



# Bernardo Dessau. Physicist, Scientist, Teacher

Giovanni Carlotti <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Fisica e Geologia - Università di Perugia, giovanni.carlotti@unipg.it

*Abstract:* This talk intends to retrace the human and scientific affair of Bernardo Dessau, a scientist of German origin and of Jewish tradition, who lived in Italy between the late 1800s and mid-1900s. From the degree in physics with Kundt in Strasbourg in 1886 to the research work on the generation and detection of electromagnetic waves and on wireless telegraphy, as assistant of prof. Augusto Righi, at the University of Bologna, for fifteen years. Here he acted as a very efficient link between German physics and Righi's research in Bologna and obtained his habilitation in 1897. Then he got the position of professor of experimental physics and moved to University of Perugia in 1904. It is important to underline his fame as a scientist and popularizer, his contribution to the development of Italian physics and the CNR, his ability to accompany as a great teacher, not only university students, but also the general public, the amazing discoveries and innovations on the front of atomic physics, quantum mechanics and telecommunications. Alongside scientific successes, however, he had to suffer vicissitudes and discrimination due to his German origin and his being Jewish, experiencing the impact of the tragic events that shook the "short century", on both himself and his family members. The above aspects will be explored during the seminar, trying to do some justice to a largely forgotten and underestimated scientist, who died alone and ill in 1949, and wanted the following inscription on his grave: "Bernardo Dessau. Physicist, scientist, teacher".

# Fermi's Early Work on Quantum Mechanics

Paolo Rossi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Fisica - Università di Pisa, [paolo.rossi@unipi.it](mailto:paolo.rossi@unipi.it)

*Abstract:* Fermi's approach to quantum mechanics passes through the study of collision processes. He obtains a first important result in 1924, still within the framework of the old quantum theory, but anticipating the method of virtual photons. In 1926, following, within a few months the advent of wave mechanics, and exploiting his knowledge of diffraction gratings, Fermi finds an elegant quantum solution of a rigid rotator scattering problem.

# HISTORY AND EPISTEMOLOGY OF PHYSICS



# Logical Interpretation of 1894 Pierre Curie's Paper about Symmetries in Theoretical Physics

Antonino Drago<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università "Federico II" di Napoli, drago@unina.it

*Abstract.* Curie's 1894 paper is examined through its use of propositions of intuitionist logic. Its metaphysical and theoretical aspects are made manifest. Its metaphysical part turns out to be insufficient. Its theoretical organization is not an axiomatic organization as it appears at first sight, but a problem-based organization, composed by doubly negated propositions, *ad absurdum* proofs and the application of the principle of sufficient reason. Or better, its organization is a mixture of the characteristics features of both kinds of theoretical organization. In an Appendix a great part of the intuitionist propositions of Curie's paper are listed and their theoretical impact is discussed.

*Keywords:* Symmetries, Curie's principle, Heuristic principles, Doubly negated propositions, Problem-based organization, *Ad absurdum* proofs, Principle of sufficient reason, Constraints on the theory of symmetries

## 1. Pierre Curie's paper on symmetries: its essential content

The present paper examines in details Curie's paper (Curie 1894) aimed at transferring the knowledge on symmetries acquired by crystallography into theoretical physics. Previous partial examinations are those of (Radicati 1987, p. 201) and (Castellani & Ismael 2006, sect. 2).

Let us start with a characterization of his kind of mathematics. About this topic he writes: "Nous ne nous occuperons ici que d'un système limité" (Curie 1894, p. 394); as a fact, he makes use of the mathematics of finite groups. It is clear that, since this theory is entirely finite, his mathematics is without idealistic notions; hence, Curie's choice is for the potential infinity, in alternative to the metaphysical kind of infinity, the actual one.

The paper is composed by seven sections:

[p. 393 :] I. [Introduction]. [p. 394 :] II. Opérations de recouvrement [= transformations] et éléments de symétrie. [p. 398 :] III. Les groupes d'opérations de recouvrement. [p. 400 :] IV. Dissymétrie [= aujourd'hui appelée asymétrie] caractéristique des phénomènes physiques [(champ gravitationnel, champ électrique, champ magnétique)]. [p. 409 :] V. Superposition des causes de dissymétrie [données par deux distincts phénomènes] dans un même milieu. [p. 412 :] VI. Liaisons [non absolues] entre les symétries caractéristiques des divers milieux. [p. 414 :] VII. En RESUMÉ [les principes métaphysiques de cause et effet dans le sujet traité].

These titles and their order of illustration lead to think that the paper is finalized to present some practical considerations on symmetries, by starting from the well-established knowledge of symmetries in crystallography. But Curie adds a theoretical framework. For instance, at the starting of sect. IV he abruptly states five "propositions" whose contents are highly theoretical in nature:

*La symétrie caractéristique d'un phénomène est la symétrie maxima compatible avec l'existence du phénomène. / Un phénomène peut exister dans un milieu qui possède sa symétrie caractéristique où celle d'un des intergroupes [= sous-groupes] de sa symétrie caractéristique. / Autrement dit, certains*

éléments de symétrie [du milieu] peuvent coexister avec certains phénomènes, mais ils ne sont pas nécessaires. Ce qui est nécessaire, c'est que certains éléments de symétrie n'existent pas. *C'est la dissymétrie qui crée le phénomène... / Lorsque certaines causes produisent certains effets, les éléments de symétrie des causes doivent se retrouver dans les effets produits. Lorsque certains effets révèlent une certaine dissymétrie, cette dissymétrie doit se retrouver dans les causes qui lui ont donné naissance* (pp. 400-401; here and in the following the Italics are in the quotation of Curie's text).

Then he interprets through symmetries some physical phenomena concerning mechanical motion, light phenomena, and some physical fields (gravitational, thermal, electric and magnetic ones).

At last (sect. VII) Curie says that he summarizes (“En RÉSUMÉ”) the results of his illustration (“conclusions”). Also this final part is not consonant with the modest titles (listed in the first quotation) of the seven sections of the paper. Here, he presents as his results two propositions which are highly theoretical in physics and even metaphysics: *Il n'est pas d'effet sans causes... / Il n'est pas de cause sans effets* (p. 414).

Hence, his introduction of some usual ideas of crystallography into theoretical physics wants to suggest not only some pragmatic rules of phenomenological nature, but also a framework of theoretical and even metaphysical nature.

## 2. The metaphysical part of Curie's paper. Is it a preparation of an axiomatic-deductive theoretical organization of his physical theory?

Curie's paper includes the following theoretical notes: two theoretical parallelisms, five theoretical “propositions”, three *ad absurdum* arguments and two “conclusions” on the metaphysics of cause-effect concerning symmetries. They are inserted in the sections I, IV, V, VI, VII. These theoretical notes are interspersed in the text without an order which is foreseeable by the reader. Does the complex of such notes constitute a systematic theory?

Let us examine the paper according to the characteristic features of the traditional kind of a theoretical organization, the deductive-axiomatic one (hereinafter referred to as AO), possibly equipped with a metaphysical premise. The paradigmatic theory of Curie's time, Newton's mechanics, was based on metaphysical notions: absolute space and time, force-cause and universal gravitational force intended as God's intervention on the world. Curie reiterates this philosophical attitude by introducing since the second page (Curie 1894, p. 394) a distinction of the physical phenomena in two groups, called “causes” and “effects” and then wants to connect them together.

Being metaphysical in nature, the words “cause” and “effects” have to be conceived as premises of a physical theory, which is organized as a set of propositions drawn from some metaphysical and physical principles. Curie does not worry of committing his illustration to the metaphysics of the notion of “cause”. But we know that in theoretical physics a connection cause-effect is problematic, since there is no way to experimentally verify whether a phenomenon is the cause of another one or not (Andreas and Guenther 2021). Anyway, the presented metaphysics connection is strange. At the end of the paper, in sect. VII, Curie suggests some metaphysical considerations:

Les premières sont des conclusions fermes mais négatives, elles répondent à la Proposition incontestablement vraie : *Il n'est pas d'effet sans causes*. [...] Les considérations sur la symétrie nous permettent encore d'énoncer une deuxième sorte de conclusions, celles-ci de nature positive, mais qui n'offrent, pas la même certitude dans les résultats que celles de nature négative. Elles répondent à la proposition : *Il n'est pas de cause sans effets*. [...] les prévisions ne sont pas des prévisions précises comme celles de [curieusement, pas de la Mécanique, mais] de la Thermodynamique. On n'a aucune idée de l'ordre de grandeur des phénomènes prévus: on n'a même qu'une idée imparfaite de leur nature exacte. Cette dernière remarque montre qu'il faut se garder de tirer une conclusion absolue d'une expérience négative (p. 414).

Hence, exactly the most interesting metaphysical connection from cause to effects (in agreement with the typical logical path of an AO) is not accurate. It is a remarkable fact that he locates as second the “conclusion” expressing this typical relationship of metaphysics; whereas he locates as first the proposition going the other way around, i.e. that “going back” from effect to causes. But Curie remarks that the latter proposition sometimes fails, i.e., it is not so certain as the former one. Hence, he is well aware of this inversion of the natural order. If he had presented as first the second proposition he had to admit since his first “conclusion” that, although enounced as a metaphysical proposition, this connection cannot determine its effects as certain effects. Therefore, he is obliged to present as a premise of his physical theory a metaphysics of causes which fails to determine with certainty the effects. In the traditional metaphysics this imprecision of causes was surely unusual.

However, in previous times theoretical mechanics met a similar metaphysical imprecision. In 18<sup>th</sup> century, a force-cause acting against the direction of the caused motion was considered as an oxymoron. Hence, theoretical mechanics of that time did not deal with the notion of passive force, as friction or other resistances to the motion are. At the end of 18<sup>th</sup> century, Lazare Carnot took into account this kind of forces whose angle with velocity is obtuse. Of course, a contradictory metaphysics of force cause resulted. Notwithstanding, a physical theory was still possible because Carnot developed his mechanics after having suppressed the notion of force-cause as a “metaphysical and obscure” notion; his forces have an accurate physical definitions as weights (Carnot 1783, sect. XXXI); and later the Newtonian theoretical framework allowed to translate a passive force into a mathematical notion by merely adding in the mathematical expression of the force a new argument concerning velocity:  $F(x, g(v), t)$ .

Also Curie seems to look for a mathematical characterization of his metaphysical propositions when suggesting a parallelism (“de même” = similarly) between the metaphysical link cause-effect and the mathematical connection between the physical quantities composing an equation representing a phenomenon, like the equation  $f = ma$ .

Enfin, lorsque certaines causes produisent certains effets, les éléments de symétrie des causes doivent se retrouver dans les effets produits. De même, dans la mise en équation d'un phénomène physique, il y a liaison de cause à effet entre les grandeurs qui figurent dans les deux membres (Curie 1894, p. 394).

Notice that this parallelism may be contested because he refers to the specific case of an equal number of symmetries in the cause and in the effect, although we have learnt that the effects may have more symmetries than the cause (see the above quotation of p. 414); i.e., a dissymmetry causing a phenomenon of symmetry attributes a role of a cause to what metaphysics cannot take into account: a shortage (of symmetries).

In conclusion, Curie's paper presents a defective relation between “cause” and “effect”; these notions lack of a clear logical connection (and a mathematical translation); hence, they represent an odd and partial metaphysics. Therefore, Curie's above parallelism suggests a hint for further speculations, not a translation of the metaphysical part of his paper into a mathematical part of a physical theory.

Moreover, let us remark that he calls these propositions “conclusions”. This word suggests that the metaphysical part of Curie's paper wants to acquire certain propositions to be put as premises to a physical theory of symmetry; instead Curie's metaphysical “conclusions” are partially disconnected from his physical theory of symmetry; they cannot play the role of assured metaphysical premises of a physical theory. This disconnection was a reason of the obscurity of his paper whose interpretation was debatable along a century and more.

Last, but not least, after Einstein's 1905 “revolution” in the foundations of theoretical physics we should overlook all metaphysical notions of Curie's paper as influential ones for focusing the physical contents of his paper.

### 3. Is the theoretical organization of Curie's physical theory an axiomatic-deductive one?

Owing to the similar metaphysical attitude of the original Newton's theory, also Curie's paper seems to illustrate an AO theory, as Newton's theory is. As a fact, almost all scholars have seen as "laws" Curie's two "conclusions". Nevertheless, Curie does not qualify as "laws" or "axioms" what he rather modestly calls "propositions" and "conclusions"; moreover, in pp. 409 and 410 he refers to merely "les conditions de symétrie". All these Curie's words do not conform to an AO.

Now let us investigate on the five "propositions" starting the theoretical part of the paper (pp. 400-401). They are introduced by Curie without any justification,<sup>1</sup> although they are not evident propositions; at most, they may be considered as plausible propositions. Are they the axioms of a physical theory? But the most important logical feature of all these "propositions" is that they are not affirmative proposition, but modal ones; they include the modal words: "compatible, peut, nécessaire, créer, doivent se retrouver, doit se retrouver" (pp. 400-401). Hence, the content of each one is not circumscribed. Owing to this fact the "propositions" cannot work as axiomatic principles of an AO theory.<sup>2</sup>

Worst, the "conclusions" have no unique link with physical notions; the word "cause" is specified by Curie as representing different physical notions: dissymmetry, medium, etc.; a theoretical physicist has to recognize case by case the physical connection between the stated cause and a physical notion.

In conclusion, although some propositions are expressed in an apodictic style (e.g. "*C'est la dissymétrie qui crée le phénomène*"), the presentation of Curie's paper does not conform to an AO theory.

### 4. The problem-based organization in Curie's paper

A previous paper (Drago 2023) showed that the notion of symmetry is equivalent to a double negation; as such it belongs to non-classical logic, in particular intuitionist logic. This fact alone suggests that Curie's paper on symmetries cannot be entirely formulated according to an AO which is managed by classical logic. Let us examine whether it may be interpreted as representing a problem-based organization (henceforth indicated with PO), which is illustrated in the paper (Drago 2012).

The first step of the theoretical development of a PO is to declare its basic problem, whose solution is found out through a new scientific method invented by the following part of the theory. As a fact, Curie does not explicitly state a problem. However, it is clear that the general problem met by the paper is whether there exist some parts of theoretical physics which present symmetries in a parallel way to those of crystallography. Moreover, a first specific problem occurs in Sect. IV: Which are the groups of symmetry of three physical fields.<sup>3</sup> Then in sect. V one more problem (how multiple dissymmetries overlap in a same medium) occurs.

The second step of the theoretical development of a PO is an *essential* use of its typical propositions, i.e. the doubly negated propositions whose corresponding affirmative ones are lacking of evidence (DNPs); hence in these cases the double negation law fails, as it is true within intuitionist logic. As a fact, by ingenuousness Curie made use of a lot of DNPs. In the Appendix of present paper a substantial part of them are listed and discussed. It is shown that author's arguing essentially relies on the use of DNPs.

As third step of the theoretical development of a PO an author not only makes use of intuitionist logic through the DNPs, but also reasons within this kind of logic: he composes through DNPs *ad absurdum*

<sup>1</sup> They are introduced by means of a proposition oddly expressed in the future time: "Nous énoncerons les propositions suivantes...". Is this future time an implicit admission of their lack of evidence?

<sup>2</sup> Do Curie's modal words represent an improper way of speaking? No translation of all modal words into affirmative ones is apparent. For example, in the first one "proposition" the words "comparable avec l'existence du" can be replaced by the words "associé au", that however are again modal ones.

<sup>3</sup> Castellani and Ismael (2016, p. 1003) recognize the following problem: "His analysis was centered on the question: Which phenomena are allowed to occur in a given physical medium having specific symmetry properties?"



arguments (AAAs) whose conclusions are again DNPs.<sup>4</sup> Curie's text presents three AAAs. Let us quote them.

Donc le champ de l'attraction newtonienne pourra se rencontrer dans un milieu possédant la symétrie de (c) ou un de ses intergroupes ; du reste, on ne peut imaginer que la symétrie puisse être supérieure à (c), car elle devrait être dans ce cas la symétrie du groupe cylindrique (a) ou celle du groupe sphérique (19) et [ça c'est absurde, parce que] le champ n'aurait pas de sens et il en serait de même des forces et des vitesses (Curie 1894, p. 403).

Le groupe (a) à symétrie cylindrique et le groupe (19) à symétrie sphérique sont les seules ayant pour intergroupe (c). Il n'est donc pas vraisemblable que le champ électrique puisse avoir une symétrie supérieure à (e). Ce dernier point peut du reste être démontré rigoureusement si l'on admet, comme nous l'avons vu plus haut, que la force agissant sur un corps pondérable a elle-même pour symétrie caractéristique le groupe (c). Supposons, en effet, qu'une sphère conductrice chargée d'électricité soit isolée dans l'espace, puis que l'on fasse naître un champ électrique par une cause quelconque. Une force agira sur la sphère dans la direction du champ. La dissymétrie des effets doit se retrouver dans les causes qui lui ont donné naissance; la force ne possédant pas d'axe de symétrie normal à sa direction, le système de la sphère chargée et du champ ne doit pas non plus posséder cet élément de symétrie. Mais la sphère chargée, considérée isolément, possède des axes d'isotropie dans toutes les directions; la dissymétrie en question provient donc du champ électrique qui ne doit pas posséder [= c'est absurde qu'il possède] d'axe de symétrie normal à sa direction. Le champ électrique ne peut donc pas avoir la symétrie cylindrique ou sphérique, et sa symétrie caractéristique est celle du groupe (e) (p. 404).

On voit qu'un champ de symétrie peut posséder un plan de symétrie normal à sa direction. Le champ magnétique est, au contraire, incompatible avec la présence d'un axe binaire normal à sa direction. Pour le prouver, nous allons nous servir des phénomènes d'induction. Considérons, par exemple, un fil rectiligne animé d'une certaine vitesse normale à sa direction. Un pareil système possède un axe binaire dans le sens de la vitesse. Supposons maintenant qu'un champ magnétique existe dans la direction normale au fil et à la vitesse de déplacement; une force électromotrice d'induction naîtra dans le fil. Ce phénomène est incompatible avec [= ça c'est absurde à cause de] la présence d'un axe binaire dirigé dans le sens du déplacement, c'est-à-dire normal au fil. La dissymétrie des effets doit se retrouver dans les causes; la disparition nécessaire de l'axe binaire dont nous avons parlé ne peut provenir que de la présence du champ magnétique, celui-ci ne peut donc pas avoir d'axe binaire normal à sa direction (p. 406).

Notice that these AAAs concern not one problem of a general theory of symmetries, but three distinct problems: which is the symmetry group of each of three fields: gravitational, electric and magnetic field?<sup>5</sup> Hence, we have three distinct physical PO theories, each one about the specific group of symmetry pertaining to a particular physical field. The occurrences of these AAAs give decisive evidence for attributing a PO to each of the three theories presented by Curie's paper.

In each of these three cases Curie matches the axes and planes of symmetry of the field at issue with those of a set of groups of symmetry. In each comparison Curie suggests an AAA for recognizing the specific group to be attributed to the physical field at issue. In the first case he states that the gravitational field “pourra se rencontrer dans un milieu possédant la symétrie de (c)” (p. 403). In the other two cases Curie makes use of another modal word, not “pourra”, but “compatible” (pp. 404 and 405 for the electric

<sup>4</sup> A prejudice on the *ad absurdum* proof is to maintain that this kind of proof is invertible in a direct proof; yet, this inversion is possible in classical logic by translating its last proposition, which is a DNP, into the corresponding affirmative one through the double negation law, which instead fails in intuitionist logic.

<sup>5</sup> Curie does not attempt of showing the symmetry of the electromagnetic field, because this symmetry is the conformal group, which was beyond the scientific knowledge of Curie's time.

field and pp. 405 and 406 for the magnetic field)<sup>6</sup>; hence, Curie makes an essential use of DNPs; also the conclusion of each AAA, since a modal proposition corresponds to a DNP: “It is not true that the field  $x$  does not have the group of symmetry  $y$ ”. Notice that this proposition excludes different groups from the previously suggested one, but it does not enjoys certainty.

### 5. The principle of sufficient reason within a PO development and Curie’s paper

The fourth step of the development of a PO theory is the application of the principle of sufficient reason (PSR) to the final predicate (a DNP) of a possibly chain of AAAs, in order to obtain a proposition of affirmative kind, the only kind of proposition which then can be accurately tested with reality and hence validated or not.<sup>7</sup>

Curie does not explicitly apply the PSR. However, in the first case of study Curie states the thesis to be proved through the following proposition: the symmetry of gravitational field, “C’est la symétrie du champ (c)”. (p. 403). The result of the application of PSR to the conclusion of the first AAA is exactly the same proposition. Curie may have considered annoying to reiterate this same proposition after the end of the AAA. In the second case after the second AAA, Curie precisely states the affirmative version of the DNP which expresses the result of the AAA: “Le champ électrique [a pour] symétrie caractéristique celle du group (c)” (p. 404). His conclusion of the third AAA, the DNP “Le champ magnétique est donc seulement compatible avec le group (d) et ses intergroups” (p. 406), is not translated into an affirmative proposition (“Le champ magnétique a...”); however, a reader grasps exactly the meaning of the corresponding affirmative proposition thorough Curie’s use of the enhancing word “seulement” in the latter proposition. In conclusion, Curie substantially applied three times the PSR, although two times in an implicit way.

In sum, Curie’s paper presents three little theories, each substantially conforming to the model of a PO. Under this light, the first three “propositions”, (p. 400) which are based on modal words (and which hence are DNPs), are to be considered as methodological principles to be applied to a inductive research for finding out a symmetry group.<sup>8</sup> Both following fourth and fifth “propositions” play a theoretical role which are apparent from their applications within the argumentations of respectively the second and third problems (pp. 404, 406); both are methodological principles addressing the new search for the resolution of the given problem.<sup>9</sup>

### 6. Speculations on the intellectual path of Curie

Let us recall that at the end of the paper Curie suggests theoretical “conclusions” generalizing at the highest possible theoretical levels the previous contents. Let us speculate upon Curie’s intellectual path for achieving these metaphysical “conclusions” from his physical research.

<sup>6</sup> Notice that the S4 model of modal logic is equivalent to the intuitionist logic (Hughes and Cresswell 1996, pp. 224 ff.). Hence, a modal word is equivalent to a DNP.

<sup>7</sup> Notice that in the past PSR was a considered a metaphysical principle leading to uncertain consequences. For this reason, it is not surprising that Curie does not mention it. According to a PO theory its translation of the final DNP of an AAA performs a trespassing from a hypothetical world, expressed by the DNPs, into the real world expressed by affirmative propositions; of course, this principle, based on the rationality of the world, it not enough for establishing this trespassing to reality. Markov (1971, p. 5) suggested that its correct application is assured when the predicate is subjected to two constraints: 1) to be derived from an AAA and 2) to be decidable. In the case of Curie’s paper both constraints are clearly fulfilled.

<sup>8</sup> The use of DNPs for stating Curie’s propositions persists also in Castellani (2000, pp. 67 and 71). Also in Rosen (1995, pp. 191-192) most of his many articulated versions of Curie’s principle are DNPs.

<sup>9</sup> The paper includes also elementary arguments for proving that in a same medium the different dissymmetries add (Sect. V), plus general considerations on the relative character of a symmetry with respect to a medium (Sect. VI). Instances of characteristic phenomena of the various examined symmetries are added in Sect.s IV-VI.

His basic task was to attribute a group to each of three physical fields. I suppose that, after having obtained the conclusions of three respective AAAs, he by induction generalized these conclusions into a single, general proposition: “No physical field without a specific group of symmetry”. Furthermore, Curie was looking for an axiom principle of a theoretical framework that was more general than a single physical theory. Theoretical physicists of his time well-known the metaphysics of cause-effect in Newton’s mechanics; therefore, in order to make acceptable his physical theory, Curie tried to model the wanted principle within a similar metaphysics.

The notion of “physical field” is now the “cause” and the specific group is the “effect”. However, Newton’s metaphysics suggested a translation of the notion of “cause” into a physical notion, “force”, which then becomes a mathematical function of position and time. Instead, Curie’s metaphysics is a defective one and moreover does not have an accurate translation into physical and mathematical notions. Hence, he only presented the verbal formulas of both the first two “propositions” and his “conclusions” which he formulated like to the celebrated, verbal formula of PSR. As a result, all his propositions have the same logical formula of the PSR ( $\neg \exists x \neg r(x)$ , where  $r$  stands for “reason”).<sup>10</sup> But Curie jumped from the specific physical notions previously examined by him to the word “cause” in an unsupported way, because in some cases the causes are not determined.

In conclusion, Curie’s introduction of a specific metaphysics of his set of symmetries has to be considered as a Curie’s unsuccessful attempt of enhancing his physical theory at a level of metaphysics which is comparable with that of Newton’s mechanics of his time and also Leibniz metaphysics of the PSR.

One more my hypothesis is that he perceived that, in order to make acceptable the results of his research by scientists’ community of his time, he tried to model his theory according to an AO. However, being constrained to remain faithful to the inductive nature of his language, he also referred to the intuitionist arguing; in particular, he essentially relied on DNPs, AAAs and the application of the PSR. As a result, Curie’s text mixed the two kinds of theoretical organization, an AO, partially prepared by a specific metaphysics, and a PO including all its components. This intricate mixture is a second reason why along one century and more the interpretation of his paper represented a great problem.

### **Appendix: The relevance of doubly negated propositions in theoretical physics and in Curie’s text**

Already in previous sect. 4, we remarked that many of Curie’s propositions are modal and hence DNPs. It would be long to list all them. I confine myself to those of the two most significant parts of the paper: the introduction of his “propositions” and the final summary (For each DNP the corresponding affirmative proposition is added within square brackets in order to make easy to the reader to establish their inequivalence.

1. *La symétrie caractéristique d’un phénomène est la symétrie maxima compatible avec l’existence du phénomène.*
2. *Un phénomène peut exister dans un milieu qui possède sa symétrie caractéristique où celle d’un des intergroupes de sa symétrie caractéristique.*
3. *Autrement dit, certains éléments de symétrie peuvent coexister avec certains phénomènes,*
4. *mais ils ne sont pas nécessaires.*
5. *Ce qui est nécessaire, c’est que certains éléments de symétrie n’existent pas.*
6. *C’est la dissymétrie qui crée [= donne naissance de rien ≠ la symétrie implique] le phénomène.*

<sup>10</sup> This connection was recognized by several scholars; e.g. Roche (1987, pp. 19-20). In the verbal version of PSR Leibniz refers to “reason”, which is not a metaphysical word (although in some other versions of this principle he also refers to the word “cause”). Instead Curie refers to the word “cause”: therefore, deliberately he is transcending to metaphysics. Moreover, Curie refers to the word “effects,” which is an operational term; whereas Leibniz refers to the word “nothing” which is a metaphysical notion; unless it means “nothing belonging to a scientific research”. In sum, whereas Leibniz’s version of the PSR seems to avoid metaphysical words, Curie manifestly wants to refer to metaphysics through the word “cause”.

- [...] Here a long note on the preference between the dictions dissymmetries and symmetries].  
 On peut encore voir que quand plusieurs phénomènes de natures différentes se superposent dans un même système, les dissymétries s'ajoutent.
7. Il ne reste plus alors comme éléments de symétrie dans le système que [ $\neq$  restent] ceux qui sont communs à chaque phénomène pris séparément.
  8. *Lorsque certaines causes produisent certains effets, les éléments de symétrie des causes doivent se retrouver dans les effets produits.*
  9. *Lorsque certains effets révèlent une certaine dissymétrie, cette dissymétrie doit se retrouver dans les causes qui lui ont donné naissance.*
  10. La réciproque de ces deux propositions n'est pas vraie, au moins pratiquement, c'est-à-dire que les effets produits peuvent être plus symétriques que les causes.
  11. Certaines causes de dissymétrie peuvent ne pas avoir d'action sur certains phénomènes ou du moins avoir une action trop faible pour être appréciée, ce qui revient pratiquement au même que si l'action n'existait pas (Curie 1894, p. 401).

Notice that the number of DNPs of this very short text is 11 and they summarize the logical thread of the discourse. Therefore a rhetorical use of the non-classical logic has to be excluded.

Let us now consider the "conclusions".

- 1) *Il n'est pas d'effet sans causes* [ $\neq$  tous les effets ont de causes].
- 2) Les effets, ce sont les phénomènes qui nécessitent toujours [dérivent de], pour se produire, une certaine dissymétrie.
- 3) Si cette dissymétrie n'existe pas, le phénomène est impossible [ $\neq$  Si cette dissymétrie existe, il y a le phénomène].
- 4) Ceci nous empêche souvent de nous égarer à la recherche de phénomènes irréalisables [ $\neq$  adresse notre recherche].
- 5) Les considérations sur la symétrie nous permettent encore d'énoncer une deuxième sorte de conclusions, celles-ci de nature positive, mais qui n'offrent pas la même certitude dans les résultats que celles de nature négative [= offrent la même certitude dans les résultats que celles de nature positive].
- 6) *Il n'est pas de cause sans effets* [ $\neq$  toute cause a ses effets].
- 8) Les effets, ce sont les phénomènes qui peuvent naître [ $\neq$  naissent] dans un milieu possédant une certaine dissymétrie.
- 9) on n'a même qu'une [ $\neq$  on a une] idée imparfaite de leur nature exacte.
- 10) Cette dernière remarque montre qu'il faut se garder de tirer une conclusion absolue [= non relative] [ $\neq$  on tire une conclusion relative; i.e. physique] d'une expérience négative<sup>11</sup> (Curie 1894, p. 414).

It is remarkable that the set of these DNPs includes almost all the propositions of his summary. However, not all the above propositions are interesting: the no.s 2, 4, 5, 9, 10 do not refer to physical situations but to the rhetorical use of the double negations. However, the sequence of the remaining ones is meaningful; it substantially preserves the contents of Curie's illustration. This fact shows that Curie's use of DNPs is not a rhetorical one; rather it plays an essential role within the theory.

<sup>11</sup> Here the word "negative" negates something external to the sentence, it is purely indicative of a subject of the discourse; therefore, it should not be counted among the negations of the sentence.

## Bibliography

- Andreas, H. & Guenther, M. (2021). “Regularity and Inferential Theories of Causation”, in Zalta, E.N. (ed.) *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Available at: <https://plato.stanford.edu/entries/causation-regularity/> (Accessed: 18 July 2024).
- Carnot, L. (1783). *Essai sur le Machines en général*. Dijon: Defay.
- Castellani, E. (2000). *Simmetria e Natura*. Bari: Laterza.
- Castellani, E. & Ismael, J. (2016). “Which Curie Principle?”, *PhilSci-Archive*, 83, pp. 1002-1013.
- Curie, P. (1894). “Sur la symétrie dans les phénomènes physiques, symétrie d’un champ électrique et d’un champ magnétique Curie”, *Journal de Physique*, 3<sup>me</sup>, serie 3, pp. 393-415.
- Drago, A. (1989). “The Birth of Symmetries in Theoretical Physics: Lazare Carnot’s Mechanics”, in Darvas, G. & Nagy, D. (eds.) *Symmetry of Structure*. Budapest: Hungarian Academy of Sciences, pp. 98-101.
- Drago, A. (2012). “Pluralism in Logic. The Square of opposition, Leibniz’s principle and Markov’s principle”, in Béziau, J-Y. & Jacqueline D. (eds.) *Around and Beyond the Square of Opposition*. Basel: Birkhauser, pp. 175-189.
- Drago, A. (2023). “The other side of the history of symmetries. Their link with intuitionist logic”, in Bussotti, P., Capecchi, D. & Tucci, P. (eds.) *Proceedings of the 42<sup>nd</sup> Annual Conference SISFA*, Perugia, 26-29 September 2022. Pisa: Pisa University Press, pp. 239-246. doi: 10.12871/978883339843332
- Hughes, G.E. & Cresswell, M.J. (1996). *A New Introduction to Modal Logic*. London: Routledge.
- Markov, A.A. (1962). “On constructive mathematics”, *Trudy Matematicheskogo Instituta Steklova*, 67, pp. 8-14; also in *American Mathematical Society Translations* (1971), 98(2), pp. 1-9.
- Radicati, A. (1987). “Remarks on the early notion of symmetry breaking”, in Doncel, M.G. *et al.* (eds.) *Symmetry in Physics (1600-1980)*. Barcelona: Universidad Autonoma de Barcelona, pp. 195-207.
- Roche, J.J. (1987). “Symmetry from Galileo to Newton”, in Doncel, M.G. *et al.* (eds.) *Symmetry in Physics (1600-1980)*. Barcelona: Universidad Autonoma de Barcelona, pp. 1-28.
- Rosen, J. (1995). *Symmetry in Science: An Introduction to the General Theory*. Berlin: Springer.



# The Rise of Multi-messenger Astrophysics and the Pro-social Function of Models

Luca Guzzardi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Milano, [luca.guzzardi@unimi.it](mailto:luca.guzzardi@unimi.it)

*Abstract:* Following Ian Hacking's (1989) investigation in the history of gravitational lensing, many studies have considered the role of models in astrophysics, particularly the so-called "models of data", i.e., the use of numerical methods to infer an expected output from statistics about an input dataset. This has led to emphasize that much research appears "model driven": models shape the researchers' expectations, support their guesses about which objects they will observe next and suggest what kind of experiments is needed to check the guesses and to expand the theory.

In this paper, I argue that the emergent field of multi-messenger astrophysics — i.e., the combined study of radiation from the cosmos conveyed by mediators different in nature: neutrinos, photons in all frequencies, gravitational waves, and cosmic rays — allows to appreciate a special feature of models that has largely been overlooked. Here not only models shape theoretical expectations and guide the experimental effort. They also suggest that experiments will generally need a plurality of cooperating researching actors, thus narrowing the scientists' choice about what kind of social behavior they should adopt to pursue their research. With that, models in multi-messenger astrophysics exemplify an intriguing case in which the scientists' attitude toward cooperation is not mainly due to social or economic constraints but motivated, not to say determined, by epistemic requirements.

# Scientific Phenomenological Realism and the Physics of Unobservables: Einstein, Husserl, and Neelamkavil

Ruth Castillo<sup>1</sup>, Jose Raphael Neelamkavil<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi RomaTre- Universidad de Alicante, chebichev@gmail.com

<sup>2</sup> Independent Researcher, raphynj@gmail.com

*Abstract:* In this paper, it will be discussed the work of two important scholars, Nicolaus Copernicus and Amerigo Vespucci, and their possible relation. Copernicus was born in Poland and studied in Italy, and Vespucci was born in Italy and worked in Spain and Portugal. Copernicus became a medical doctor and an astronomer and finally prepared the way toward a heliocentric world system. Vespucci became an explorer of big parts of the American East coast. America was named after Amerigo Vespucci. In the last years of his life, he started to organize the systematic Castilian explorations. In comparison to Columbus, he was not an admiral or a military expedition leader but a “private man” who had enough money to organize his activities. This is somehow the general picture and the starting point of my presentation which will be a discussion of how far these two scholars and their work are related to each other and to other scholars of the time in Italy and other European countries. Copernicus represents the East of Europe in connection to Italy whereas Vespucci connects Italy to the Iberian Peninsula and further to the shores of America. Copernicus who came to Italy as a student of medicine became the astronomer who made the earth move and the sun stand still. Vespucci as the son of a banker became the inventor of a “Novus Mundus” and the first who really could study the southern sky.



MUSEUMS, ARCHIVES, AND SCIENTIFIC  
COLLECTIONS OF PHYSICS AND ASTRONOMY IN  
ITALY AND ABROAD



# **Il *Bureau des longitudes* (1795-1932), un'accademia di scienze astronomiche aperta all'internazionale**

Martina Schiavon<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Archives Henri Poincaré - Philosophie et Recherches sur les Sciences et les Technologies (UMR 7117 CNRS - Université de Lorraine - Université de Strasbourg), [martina.schiavon@univ-lorraine.fr](mailto:martina.schiavon@univ-lorraine.fr)

*Abstract:* Created during the French Revolution, the Bureau des longitudes still exists nowadays. Initially composed of ten members (2 surveyors, 4 astronomers, 2 ex-navigators, 1 geographer and 1 'artist'), it functioned as a small "academy of astronomical sciences", covering fields such as the celestial mechanics, metrology, geodesy and earth sciences, etc. and acting as a spokesman for French science and technology for the international scene. However, it's still little known to the public and even to historians. Research carried out within the framework of the ANR-project (French funding agency for project-based research) BDL 1795-1932, from October 2016 to March 2022, has enhanced the minutes of its meeting: this archival corpus consists of 21,602 sheets, now available with its transcriptions and others digital tools, on a dedicated website (<http://bdl.ahp-numerique.fr/>). In this paper, I aim to consider the traces of 'Italians' (i.e., unified Italy) in the minutes of the Bureau des longitudes. Who are they? Why mention them? What can we learn by their study? By dwelling on a few emblematic cases, I will show the richness of these archives and highlight the possibility of developing research in the history of science from a perspective that takes into account different societies and cultural contexts.

*Keywords:* French academic institution, Astronomical sciences, Heritage

## **1. Introduzione**

Il 7 messidoro dell'anno III, nel calendario rivoluzionario francese il 25 giugno 1795, la *Convention nationale*, promulga la creazione di un Bureau des longitudes. L'assemblea legislativa approva dunque la mozione dell'abbé Grégoire, più conosciuto come il fondatore del *Conservatoire des arts et métiers*, di "riprendere il controllo del mare agli Inglesi". Allo stesso tempo, Grégoire affida al Bureau des longitudes il compito di gestire l'Osservatorio astronomico di Parigi, celebre sede del sapere scientifico e indispensabile all'amministrazione dello Stato. Il Bureau des longitudes avrà dunque il compito di pubblicare la *Connaissance des temps*, l'effemeride astronomica e nautica francese necessaria alla navigazione "au long cours", e un *Annuaire*, che fornirà delle informazioni utili alla nazione (Boistel, Le Lay & Schiavon 2024).



**Fig. 1.** Antica sala di riunione del Bureau des longitudes © Bureau des longitudes

Dal 1795, il Bureau des longitudes si riunirà dapprima all'Osservatorio di Parigi (fino al 1854, anno in cui le due istituzioni si separano) fino a stabilirsi, nel 1875, all'Institut de France (23 quai de Conti, vedi Fig. 1). Questa posizione centrale, dove risiede tuttora, permetteva a tutti i suoi membri, prestigiosi accademici, ufficiali navali e militari, stimati ingegneri e fabbricanti di strumenti scientifici, di frequentarne le riunioni settimanali.

In questa comunicazione, dopo aver introdotto il Bureau des longitudes tra il 1795 e il 1932, si presenterà il progetto di ricerca ANR coordinato da Martina Schiavon, “Le Bureau des longitudes (1795-1932). De la Révolution française à la Troisième république”, che ha permesso la creazione di un *ecosistema numerico* interamente disponibile sul sito web “Le Bureau des longitudes (1795-1932). Un patrimoine numérisé” (<http://bdl.ahp-numerique.fr/>). Si introdurrà infine un work in progress su un gruppo di persone citate nei verbali del Bureau des longitudes: gli Italiani del periodo post-unitario.

## 2. Il Bureau des longitudes tra il 1795 e il 1932

Cos'è il Bureau des longitudes? Rispondere a questa domanda non è semplice, soprattutto perché il Bureau des longitudes, che esiste tutt'oggi, è continuamente evoluto dalla sua creazione. Un'altra difficoltà viene dal suo nome, Bureau des longitudes, e dal riferimento al *Board of Longitude* britannico. Creato nel 1714, il *Board of Longitude* aveva la funzione di ricompensare chiunque trovasse una soluzione al problema della determinazione della longitudine in mare con una certa precisione. Inizialmente costituito da membri scelti secondo la loro funzione (che non sempre erano le stesse persone), si riuniva irregolarmente a Londra per esaminare le diverse proposte. Un'analisi sul tempo lungo proverà che il *Board*, composto di esperti riconosciuti in materia di navigazione, astronomia e strumentazione scientifica, contribuì al progresso scientifico e tecnologico, partecipando alla creazione di un Impero coloniale britannico.<sup>1</sup> La referenza di Grégoire al *Board* britannico, riconosciuto allora come commissione tecnica altamente specializzata, toglie quindi ogni ambiguità alla creazione francese, e propone una riorganizzazione scientifica e istituzionale. La Rivoluzione aveva infatti abolito l'Académie royale des sciences (*Convention d'août 1793*), e l'astronomia francese era completamente disorganizzata, dato che l'Osservatorio di Parigi non aveva più un direttore. La creazione di un Bureau des longitudes, inteso come una “accademia di scienze astronomiche”, doveva dunque controbilanciare questi disfunzionamenti. Tra i membri che compongono il primo Bureau troviamo delle grandi personalità scientifiche: i due geometri Joseph-Louis Lagrange e Pierre Simon de Laplace; i quattro astronomi Jean Dominique Cassini o Cassini IV, Jean-Baptiste Delambre, Jérôme de Lalande e Pierre Méchain; i due “anciens navigateurs” Louis Antoine de Bougainville e Jean-Charles de Borda; il geografo Jean-Nicolas Bouache. La vera novità è comunque costituita dalla posizione di “artista” (nel senso latino di colui che pratica un mestiere) degli strumenti d'astronomia occupata da Noël Simon Caroché, che secondo Grégoire dovrà diventare “l'Herschel francese”.<sup>2</sup> La presenza di Delambre e Méchain (come pure di Borda) afferma un altro compito del Bureau, quello di diffondere il sistema metrico rivoluzionario.<sup>3</sup>

Il Bureau des longitudes rappresenta un luogo privilegiato di incontro di diverse comunità accademiche, militari e professionali: il numero ristretto, mai superiore ad una quindicina di membri, permette non solamente di esaminare questioni tecnico-scientifiche complesse, ma anche di discutere e

<sup>1</sup> Si veda: Schiavon (2012) e Dunn & Higgitt (2017).

<sup>2</sup> Grégoire propone degli ateliers per la fabbricazione di cannocchiali “à Brest, où l'on peut presque toujours se procurer par des prises anglaises le flint-glass nécessaire à leur confection”, (Collectif 1909, p. 12). L'Herschel a cui fa riferimento Grégoire è William; vedi anche: Feurtet (2005). Sul ruolo del Bureau des longitudes nello sviluppo della strumentazione scientifica: si veda: Soulu & Schiavon (2022).

<sup>3</sup> Delambre e Méchain sono gli autori della misura di un arco di meridiano terrestre che permise di definire teoricamente il metro (come la quaranta milionesima parte della lunghezza dell'arco), utilizzando sul terreno il cerchio meridiano ripetitore fabbricato dal Borda.

armonizzare i punti di vista contrastanti. Nel 1854, allorché è minacciato di abolizione, il Bureau des longitudes è separato dall'Osservatorio e riesce a mantenere le sue missioni proprio perché, riunendo il mondo scientifico, militare e della produzione strumentale, è la sede di un "potere a geometria variabile" indispensabile per promuovere e diffondere scienza e tecnologia francesi. Alla fine del XIX secolo, allorché già copre una gran varietà di discipline (meccanica celeste, cosmologia, geodesia, scienze fisiche, metrologia), elargisce le sue competenze alla fisica del globo e alla geodesia dinamica. Nel 1875, con l'aiuto del dipartimento della Marina e della Guerra, crea un osservatorio astronomico nel parco di Montsouris, a Parigi, nel quale formare esploratori e osservatori sia militari che civili, sostenendo così la Francia imperialista (Boistel 2010). Le ricerche e le missioni realizzate nell'osservatorio del parco Montsouris saranno irregolarmente pubblicate, fino al 1946, negli *Annales du Bureau des longitudes*. Alla fine del XIX secolo, il Bureau rifornisce di strumenti scientifici gli osservatori creati in provincia e nelle colonie. È pure suo il ruolo di organizzazione di alcune grandi spedizioni scientifiche, la creazione di un centro nazionale e poi internazionale di emissione e trasmissione dei segnali orari, l'indizione di grandi conferenze internazionali sulle costanti astronomiche, le effemeridi e il tempo, così come la partecipazione alla creazione (inizialmente richiesta dall'Associazione internazionale di geodesia) di un *Bureau international des poids et mesures* a Sèvres (Parigi), o ancora la creazione delle Unioni internazionali alla fine della Prima Guerra mondiale.<sup>4</sup>

Durante il periodo 1795-1932, possiamo dunque dire che il Bureau des longitudes fu un'accademia di scienze astronomiche essenziale per lo Stato francese. Lavorando in maniera complementare all'Académie des sciences, se ne distingue per le sue dimensioni più tecniche e specialistiche, per l'assimilazione dei migliori fabbricanti di strumenti, e per costituire un cenacolo più intimo per l'amministrazione delle scienze e delle tecnologie francesi di cui fu portavoce sulla scena internazionale. Il fatto stesso che il Bureau des longitudes esiste tuttora, conferma che non funzionò mai come il *Board* britannico, essendo stato quest'ultimo abrogato nel 1828.

Perché il Bureau des longitudes è stato lungamente ignorato dagli storici della scienza?

Si è visto che il Bureau des longitudes fu descritto dal suo stesso creatore, l'abbé Grégoire, come l'analogo al *Board* britannico perché doveva giustificare l'esistenza di un'*assemblée savante* in un periodo critico della storia francese. Senz'andar oltre questa analogia, molti storici hanno dato troppa importanza al periodo di tutela dell'Osservatorio parigino realizzato dal Bureau des longitudes tra il 1795 ed il 1854. Lo stesso François Arago è stato descritto come il "direttore dell'osservatorio", quand'era invece, come membro del Bureau, "direttore delle osservazioni" (era dunque incaricato di scegliere coloro che avrebbero potuto accedere all'osservatorio al fine di eventualmente intraprendere un percorso di formazione come astronomo).

Di fatto, il Bureau des longitudes è stato raramente considerato un'istituzione a sé stante, capace di una sua propria autonomia rispetto all'osservatorio di cui aveva la tutela, senza considerare che troppa poca attenzione fu dedicata al periodo posteriore la sua separazione dall'Osservatorio parigino. Peggio, il Bureau des longitudes è stato spesso considerato, prima del 1854, come secondario rispetto all'Osservatorio e, dopo il 1854, come secondario rispetto all'Académie des sciences. Una fonte problematica risiede in Guillaume Bigourdan (1851-1932). Verso il 1920, quest'astronomo ci ha tramandato una storia del Bureau des longitudes che ne illustra esclusivamente i 59 anni di direzione dell'Osservatorio parigino, senza spiegare gli anni posteriori al 1860 quando il Bureau, allora presieduto da Hervé Faye, sviluppò le scienze della Terra e la geodesia francesi. Un'altra fonte problematica è Urban Le Verrier, che qualificava le riunioni del Bureau come delle "coquilles vides et sans intérêt" e l'appartenenza al Bureau come una posizione ben retribuita per un lavoro intellettualmente scarso. Ora, reinserendo queste affermazioni nel loro contesto storico, si vede che, avvalendosi della credibilità acquisita dalla scoperta di Nettuno, Le Verrier cercava soprattutto di far discreditarlo il Bureau agli occhi

<sup>4</sup> Riferirsi a: Schiavon (2021), Schiavon & Rollet (2021), Schiavon & Le Lay (2022).

del governo al fine di assumere la direzione dell'Osservatorio. Per attuare il suo progetto, Le Verrier dovrà comunque attendere la morte di François Arago (1853). Secondo l'interpretazione di Le Verrier, dunque, il Bureau des longitudes era un'istituzione in declino e dunque inutile; come scrisse più tardi lo storico Crowland, che si appoggia sulla testimonianza di Le Verrier, il Bureau rappresentava una specie di doppione dell'Académie des sciences.<sup>5</sup> Questa visione suggerirebbe dunque una scarsa capacità di amministrazione da parte del governo francese, che avrebbe ricompensato due volte i suoi esperti scientifici (al Bureau e all'Académie). Come l'ha invece osservato nelle sue ricerche Jean Marie Feurtet, questa visione, che incoraggia una visione della scienza come un gioco di vincitori e di perdenti in cui il Bureau occuperebbe il secondo ruolo, non rende giustizia al lavoro compiuto dal Bureau des longitudes (Feurtet 2005).

Fondato sugli archivi composti dai verbali delle riunioni del Bureau, e reinserendoli nel loro contesto storico, il progetto ANR si è proposto di studiare, sul tempo lungo, il Bureau des longitudes come istituzione indipendente, che funzionò con le sue proprie regole, facendosi eco delle pratiche scientifiche e degli avvenimenti scientifici internazionali, come si vedrà nel prossimo paragrafo.

### **3. Il progetto ANR “Le Bureau des longitudes (1795-1932), de la Révolution française à la Troisième république” (ottobre 2016 - marzo 2022)**

L'Agence nationale de la recherche (ANR, ente amministrativo pubblico sotto l'autorità del Ministero dell'Istruzione superiore, della Ricerca e dell'Innovazione francese) ha finanziato per 48 mesi (con un'estensione dovuta alla pandemia Covid), il progetto ANR BDL 1795-1932, “Le Bureau des longitudes (1795-1932), de la Révolution française à la Troisième république”. Il progetto ha riunito le tre istituzioni: Maison des Sciences de l'Homme Lorraine e Archives Henri Poincaré (entrambe parte dell'Université de Lorraine), e il Bureau des longitudes. Un aiuto essenziale per la riuscita delle diverse azioni di ricerca è stato portato da tre membri del Centre François Viète.<sup>6</sup>

Il progetto ANR ha esplorato un archivio eccezionale: i verbali (procès-verbaux) delle riunioni settimanali dei membri del Bureau des longitudes dal 1795 fino al 1932, ovvero circa ventiduemila fogli manoscritti, ora disponibili sul sito web: “Les procès-verbaux du Bureau des longitudes (1795-1932). Un patrimoine numérisé”. Un video ne illustra i principali risultati (<http://bdl.ahp-numerique.fr/>). Per esaminare un corpo archivistico talmente vasto e composto da circa tre milioni di parole, è stato necessario utilizzare strumenti digitali. Ciononostante, non avendo la possibilità di utilizzare dispositivi di automatizzazione – i tre quarti circa del finanziamento ANR è stato destinato al reclutamento di un ingegnere progettista per quattro anni e di un post-dottorando per due anni – la trascrizione dei verbali è stata interamente fatta manualmente.<sup>7</sup>

Dalla trascrizione dei verbali, si sono realizzati quattro database:

- a. la banca dati dei 274 membri del Bureau des longitudes dal 1795 al 1970;
- b. la banca dati delle persone citate nei verbali, più di cinquemila persone;

<sup>5</sup> “Indeed one suspects election to many posts in the Bureau as becoming little more than a sinecure, although there was a revival of activity in the 1860s” (Crosland 2002, p. 144). Riferirsi anche a: Schiavon (2016).

<sup>6</sup> I ricercatori principali che hanno animato il progetto ANR sono: Martina Schiavon (Coordinatrice del progetto, Maison des Sciences de l'Homme Lorraine & Archives H. Poincaré), Nicole Capitaine (Bureau des longitudes), Laurent Rollet (Archives H. Poincaré). Colette Le Lay, Guy Boistel e Frédéric Soulu (Centre François Viète), e Julien Muller (Maison des Sciences de l'Homme Lorraine).

<sup>7</sup> Per il periodo 1795-1854 abbiamo potuto disporre delle trascrizioni realizzate da Jean-Marie Feurtet; quelle del periodo 1855-1932 sono state realizzate da Julien Muller.

- c. due banche dati sugli strumenti citati nei verbali (circa 760 strumenti ben identificati durante il periodo 1795-1895).<sup>8</sup>

Una versione semplificata di queste banche dati, adatta per una consultazione online, è disponibile sul sito web dei verbali (<http://bdl.ahp-numerique.fr/index>). Inoltre, le banche dati possono essere scaricate, con licenza Creative Common (CC-BY-SA 4.0.FR) sulla piattaforma DOREL (Données de recherche Lorraine), uno strumento proposto dall'Université de Lorraine per referenziare le banche dati prodotte nelle sue unità di ricerca e come spazio di back-up, eventualmente su embargo (<https://dorel.univ-lorraine.fr/dataverse/univ-lorraine/?q=Bureau+des+longitudes>).

L'*ecosistema digitale* prodotto durante il progetto ANR BDL 1795-1932, comporta ancora delle pubblicazioni cartacee o ibride, destinate agli specialisti e al grande pubblico (vedi la rubrica 'Sources' e il sito del progetto ANR, <https://histbdl.hypotheses.org/>). Tra esse, il museo digitale presenta le schede e alcuni video di 5 strumenti di cui i membri del Bureau des longitudes si sono occupati nel periodo 1795-1895, e la rubrica *Focus*, contenente più di cinquanta articoli tematici corti, è destinata ad un largo pubblico.

In più di 200 anni, il Bureau des longitudes ha conosciuto una grande evoluzione amministrativa e scientifica. Le sue attribuzioni si sono dunque evolute nel corso del tempo, e così pure lo stato sociale e le funzioni occupate dai suoi membri. La banca dati membri è stata costruita sulle informazioni tratte dall'*Inventaire des archives manuscrites du Bureau des longitudes* di Michelle Chapron-Touzé (1998), alle quali si sono aggiunte diverse rubriche (stato civile dei membri e quando possibile la condizione sociale della loro famiglia, la formazione, lo status dentro la comunità scientifica, le orientazioni politiche, ecc.); una rapida analisi rivela che tutti i membri erano di nazionalità francese, ma che una grande parte di essi, i membri "corrispondenti", erano stranieri. La loro condizione era tuttavia particolare, nel senso che non erano retribuiti ed avevano un voto consultivo quando presenti alla riunione (cosa che avveniva di rado).<sup>9</sup>

Lo status di membro del Bureau des longitudes è evoluto nel tempo. La posizione di *artiste* fu attribuita per esempio ai più importanti fabbricanti di strumenti ed orologiai. Il Bureau ebbe infatti una politica strumentale fin dalla creazione, quando si reclutò Noël-Simon Caroché, specialista nella fabbricazione del vetro ottico. In seguito, tra il 1795 e il 1946, 21 artisti si succedono al Bureau des longitudes. Tra questi Etienne Lenoir, Jean Noël Lerebours, Jules Carpentier, Amédée Jobin o ancora il grande fabbricante di cronometri per la marina Abraham Louis Breguet.<sup>10</sup> Dopo la separazione dall'Osservatorio parigino, si aggiunsero due membri rappresentanti del dipartimento della Guerra e della Marina: molti ufficiali "dell'armée savante", ovvero ingegneri idrografici, ammiragli, artiglieri, ingegneri, ebbero un ruolo chiave nello sviluppo degli strumenti di precisione in Francia. La loro importanza si capisce quando, nel 1890, tre posti vennero loro riservati come "membri in servizio straordinario". Notiamo infine che sui 274 membri nominati tra il 1795 e il 1970, circa il 69% (163) fu membro dell'Académie des sciences: 9 persone furono elette lo stesso anno nelle due istituzioni, 82 prima all'Académie e poi al Bureau. Tra i 74 membri eletti prima al Bureau e poi all'Académie, troviamo soprattutto i membri in "service extraordinaire" o "astronomes-adjoints". Sui 69 presidenti del Bureau, solo 4 non saranno membri all'Académie des sciences, cosa che illustra i legami complementari tra le due istituzioni scientifiche.

---

<sup>8</sup> Sulla banca dati membri: Muller *et al.* (2023); sulla banca dati persone citate: Schiavon & Le Lay (2022); sulle banche dati strumenti: Soulu (2021) e Soulu & Schiavon (2022).

<sup>9</sup> Schiavon, M., "Sur le statut de membre correspondant du Bureau des longitudes", *Les procès-verbaux du Bureau des longitudes (1795-1932). Un patrimoine numérisé*. Available at: <http://bdl.ahp-numerique.fr/focus-acteurs-ms-statut-correspondant> (Accessed: December 2023).

<sup>10</sup> Riferirsi all'articolo di Rossella Baldi e Richard Stenning, "Prudence, Génie et Précision: la pendule 'pyramide' du Bureau des longitudes", in: Schiavon & Le Lay (2022, pp. 127-141).

Scritto dal segretario (o da chi ne fa le veci) per essere trasmesso al ministero di tutela del Bureau, il verbale resta un documento ufficiale: se gli argomenti scottanti che divisero i membri sono spesso taciuti, lo storico troverà comunque gli indizi utili a chiarire la discussione poiché saprà quali altri archivi o biografie consultare. Un verbale, dunque, ci offre degli indizi preziosi ma che bisogna saper contestualizzare ed interpretare.

Dal punto di vista materiale, un verbale si presenta come un manoscritto (più tardi dattiloscritto) con una data e il nome del presidente (o di chi ne fa le veci). Segue poi un rituale: la lista delle lettere e dei libri ricevuti, una lista dei destinatari delle pubblicazioni del Bureau, e infine una ricostruzione degli argomenti discussi durante la seduta. Non è raro imbattersi, tra un verbale e il successivo, in documenti inediti quali: lettere e dossier scientifici, discussioni su temi tecnico-scientifici, amministrativi, o ancora di diplomazia scientifica, rapporti tecnici, ricerca strumentale (vedi Fig. 2).

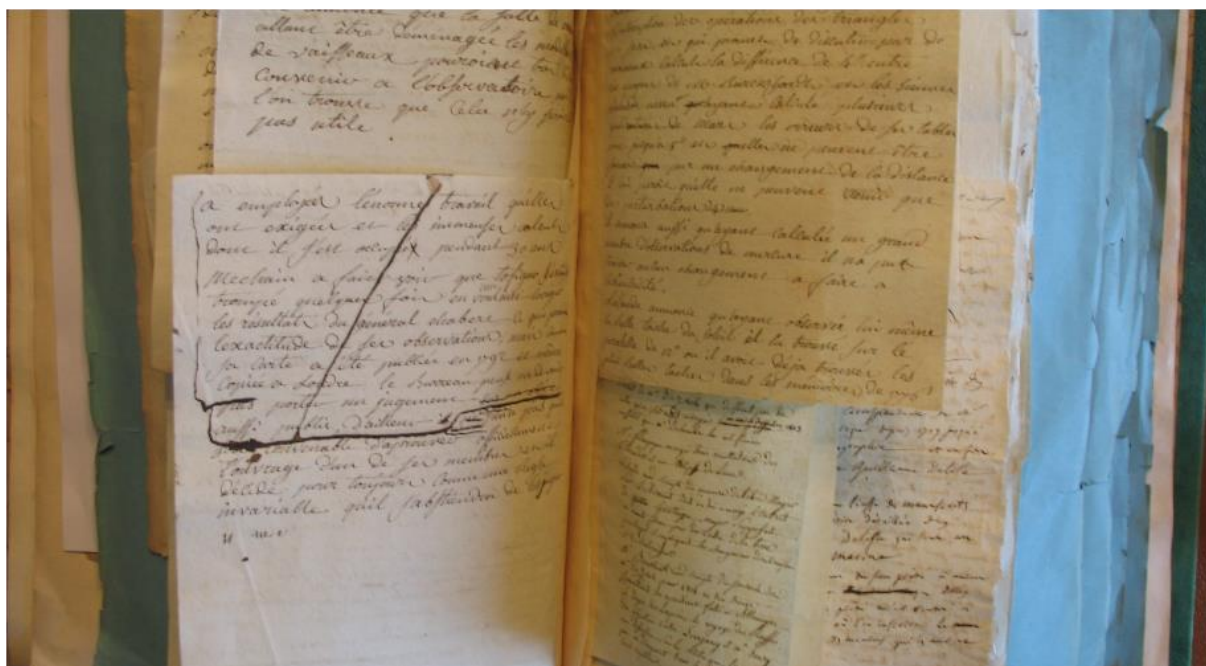


Fig. 2. Foto dei verbali © Bureau des longitudes

Notiamo che un verbale non sempre contiene l'originale ricevuto o la risposta di una corrispondenza, ma una recente scoperta archivistica fatta in luglio 2017 nei sottosuoli dell'Institut de France ha permesso di portare alla luce circa 30 metri lineari d'archivi attualmente in corso di inventario. Da una prima analisi, possiamo dire che questo fondo contiene tutta la corrispondenza ricevuta e spedita dal Bureau des longitudes durante il secolo XIX.

Consultando i verbali del Bureau des longitudes, lo storico delle scienze può completare il percorso scientifico dei suoi membri,<sup>11</sup> esplorare i diversi domini disciplinari, trovare gli indizi di altri archivi da consultare (dal nome dell'istituzione, del personaggio, della data ecc.). I verbali ci fanno per esempio capire come i suoi membri abbiano potuto appoggiare (oppure no)<sup>12</sup> alcune ricerche scientifiche e incoraggiare alcuni percorsi professionali, sviluppare certi strumenti favorendone la circolazione pure all'estero (Schiavon *et al.* 2021). È mia opinione che i verbali costituiscano una buona fonte archivistica per scrivere una storia sociale delle scienze al cui centro c'è soprattutto l'essere umano e le sue strategie

<sup>11</sup> Per Henri Poincaré vedi: Schiavon (2018).

<sup>12</sup> Vedi l'articolo di Olivier Sauzereau "Le contrôle des chronomètres de Marine dans les ports français, le rôle du Bureau des longitudes (1795-1900)" in Schiavon & Rollet (2021).



per acquisire una posizione professionale, scientifica e sociale. Si può dunque, dalla lettura dei verbali, studiare le scienze storiche senza separarle dal loro contesto sociale, culturale e politico, o ancora scrivere una storia delle scienze che ci parli anche di nozioni di potere e prestigio, in relazione all'evoluzione dello stato socio-professionale di un attore.<sup>13</sup> Inoltre, i verbali ci permettono di ricostruire la “rete sociale” (personale, collettiva o istituzionale) dei membri, e mettere alla luce quale prestigio ed influenza scientifica possedeva un individuo, non solamente all'interno del Bureau ma anche all'esterno, verso l'intera comunità scientifica e la società, ed ancora considerare di quali azioni di diplomazia scientifica internazionale i suoi membri sono stati gli artefici.<sup>14</sup> Scrivere la storia o meglio *le storie* del Bureau des longitudes significa dunque chiedersi come i suoi membri siano riusciti a dare collettivamente un senso al loro agire, quale fu la sua identità amministrativa, scientifica ed istituzionale a seconda del periodo considerato, e tutto ciò tenendo in conto la diversità della condizione professionale di ciascuno. Farlo in un tempo lungo permette di vedere che, in funzione del periodo considerato, il Bureau des longitudes è stato, successivamente o simultaneamente, un'accademia scientifica, un gruppo influente al servizio dello Stato francese o di diverse amministrazioni del governo, o ancora la sede di una rete di autorità scientifica e diplomatica. Non ci stupiremo dunque di leggere che, nel 1917, il segretario della *Royal Geographical Society*, Arthur Hinks, chiese più volte ai membri del Bureau des longitudes di informarlo sul funzionamento del Bureau:

There is now in this country no such institutions as the French Bureau des Longitudes in which representatives of the War Office and Admiralty, the Ordnance Survey, the Greenwich Observatory, the Nautical Almanac, the National physical laboratory, and some of the scientific societies might co-operate for the improvement of those States services in which all are interested but no one primarily responsible [...] accurate time service throughout the British Empire, official handbook of technical data and statistics for which one searches so long and so often in vain – magnetic declination, value of gravity, tidal constant, initial latitudes and longitudes of the surveys, figure of the Earth on which they are computed, state of the surveys, projections used in the maps, chief climatological data, weights and measures.<sup>15</sup>

Dopo aver considerato il ruolo svolto dal Bureau des longitudes durante la Prima Guerra mondiale, Hinks considerava dunque necessario, in Gran-Bretagna, di ricreare un *Board of Longitudes* (dove il plurale sta probabilmente ad indicare un più largo spettro di attribuzioni, come per l'accademia francese di scienze astronomiche).

#### 4. Italiani al Bureau des longitudes

In questo paragrafo descriveremo le grandi linee di una ricerca attualmente in corso sugli “Italiani” citati nei verbali del Bureau des longitudes. Si sono qui considerate le persone vissute a cavallo dell'unificazione del nostro paese (1861). Tra questi italiani, non ci si stupirà di trovare i nomi di molti astronomi: essi scambiarono informazioni sulla determinazione delle effemeridi e sulle diverse osservazioni di fenomeni astronomici. Ciononostante, notiamo diversi nomi poco conosciuti, soprattutto nella banca dati delle persone citate nei verbali. Si tratta di attori che una certa storiografia ritiene di un ruolo “secondario” ma che ci insegna come si costruì il sapere scientifico ad un preciso momento storico.

---

<sup>13</sup> Sulla questione riferirsi per esempio alla nozione di “politica della vita quotidiana” introdotta da Giovanni Levi, e alla nozione di “economia morale e politica” introdotta da Dominique Pestre.

<sup>14</sup> Si veda per esempio il caso della ricostruzione di un'associazione internazionale di geodesia dopo la Prima Guerra mondiale in: Schiavon (2021).

<sup>15</sup> Estratto da un articolo di Hinks pubblicato nel *Geographical Journal* e presentato nella seduta dell'11 luglio 1917 (“Bureau des Longitudes - Procès-verbal de la séance du 11 juillet 1917”, 1917-07-11, Les procès-verbaux du Bureau des longitudes, consulté le 18 décembre 2023, Available at: <http://purl.oclc.org/net/bdl/items/show/6445>).

Per esempio, l'itinerario di un semplice calcolatore o calcolatrice delle *Connaissance des temps*, un marinaio che riporta i registri di viaggio, un ufficiale militare incaricato di una missione geodetica, un fabbricante di strumenti, un custode, guardiano, impiegato, oppure le circa 130 donne citate nei verbali, ci permette di capire quale immagine delle scienze ha potuto veicolare il Bureau des longitudes nella società, quali influenze reciproche esistevano tra una comunità scientifica e le attività sociali e culturali ad un preciso momento storico (Schiavon & Le Lay 2022). I verbali permettono infatti di conoscere non solo le modalità diverse nelle nomine dei membri, ma pure le strategie professionali, l'instaurazione di politiche sociali, i destini umani troppo spesso ignorati dalla storiografia, e darci indicazioni, attraverso l'itinerario di grandi e piccoli attori, del ruolo che la comunità scientifica e la società attribuirono al Bureau des longitudes. Nel caso degli Italiani, possiamo anche farci un'idea di cosa rappresentava il Bureau des longitudes sulla scena scientifica internazionale.

Consideriamo la banca dati dei membri statuari del Bureau: chi furono i membri italiani del Bureau des longitudes? Ne contiamo quattro: Giuseppe Luigi Lagrangia (o Lagrange), Giovanni Boccardi, Augusto Righi e Vito Volterra. Eccetto il primo, che è citato moltissimo nei verbali ma nel periodo preunitario (e qui escluso dall'indagine), gli altri tre furono tutti "corrispondenti". Abbiamo già detto che i membri stranieri furono tutti "corrispondenti": essi sono anche i più numerosi (126 su 274), e, in media, i più giovani.

Augusto Righi (1850-1920) è citato 13 volte nei verbali: la prima volta, nel luglio 1898, si riporta una sua esperienza sul fenomeno 'Zeeman'. In seguito, dopo la sua elezione a corrispondente (1919), nel marzo 1919 chiese, per esempio, ai membri del Bureau des longitudes di organizzare una conferenza internazionale dell'ora, senza ricevere una risposta. Come precisato nel verbale, questa tardava perché bisognava attendere che Emile Picard si intrattenesse dapprima in "alcune conversazioni officiose" con gli alleati inglesi (Schiavon 2021). Noteremo che il Righi era stato eletto corrispondente dell'Académie des sciences, nella sezione di fisica generale, già nel 1913.

Il caso di Volterra (1860-1940) è più interessante: i membri del Bureau lo citano (46 volte) soprattutto durante la Prima Guerra mondiale e il primo dopoguerra. Grande diplomatico scientifico, Volterra aveva molti contatti di vecchia data con alcuni matematici parigini:<sup>16</sup> nel marzo 1903, era infatti stato eletto membro corrispondente della sezione di geometria dell'Académie des sciences, di cui divenne "associé étranger" nel dicembre 1917. Il fatto curioso è di ritrovarlo tra i membri del Bureau des longitudes in un momento in cui la sua fama di uomo scientifico e politico è riconosciuta nei grandi circoli accademici francesi: eletto corrispondente nel 1923, si conferma così che il Bureau des longitudes rappresentò, rispetto all'Académie des sciences, un "cenacolo più intimo" dove discutere di argomenti scientifici sensibili. Infatti, in quel periodo, le discussioni vertevano sul progetto, portato dal Bureau, di stabilire una rete mondiale di longitudine controllata dalla Francia. Si era interessati ad assicurarsi il sostegno del Volterra presso il governo italiano nella scottante questione della riorganizzazione delle Unioni internazionali del dopoguerra, in cui si prevedeva di escludere i paesi germanofili. Inoltre, nello stesso momento in cui Volterra entrò al Bureau des longitudes, divenne membro del *Comité international des poids et mesures* (che cumulava con la funzione di vicepresidente). Come già detto, il Bureau des longitudes ebbe un ruolo essenziale nella diffusione del sistema metrico,<sup>17</sup> ed il caso Volterra testimonia l'intensa attività di diplomazia scientifica realizzata sia in materia di metrologia che di riorganizzazione della comunità internazionale postguerra: i verbali provano che queste negoziazioni furono lungamente

---

<sup>16</sup> Riferirsi agli studi di Laurent Mazliak e Rossana Tazzioli.

<sup>17</sup> Riferirsi ai contributi di Pierre Bäuer e Suzanne Débarbat "Le Mètre, de l'Académie royale des sciences au Bureau des longitudes" in Schiavon & Rollet (2021, pp. 135-139); Céline Fellag Ariouet "Charles-Edouard Guillaume, l'étalon et l'invar. Une illustration des relations entre le Bureau des longitudes et le Bureau international des poids et mesures" in Schiavon & Rollet (2021, pp. 167-199).

preparate e discusse nel piccolo cerchio del Bureau des longitudes, e non solamente all'Académie des sciences.<sup>18</sup>

L'ingegnere ed abate Giovanni Boccardi (1859-1936) è citato 54 volte nei verbali: il primo riferimento porta la data di aprile 1908 e riguarda la pubblicazione della *Connaissance des temps*. In quanto direttore dell'osservatorio di Torino, Boccardi partecipò al congresso delle effemeridi organizzato dal Bureau des longitudes tenutosi a Parigi nell'ottobre 1911.<sup>19</sup> Ciò spiega la sua presenza alla riunione del 25 ottobre 1911, in cui si discusse della creazione di un servizio internazionale dell'ora. Boccardi si avvale poi del contatto stabilito al Bureau des longitudes per avanzare le sue richieste al governo italiano (e formulate durante il congresso), che consistevano nella partecipazione dell'osservatorio di Torino attraverso gli "Annuari astronomici", la rivista da lui pubblicata. I verbali ci informano dei sussidi successivamente ricevuti dal Boccardi per questa pubblicazione. L'abate cercò chiaramente di mantenere dei solidi contatti con i membri del Bureau: per esempio, li informò di alcuni problemi riscontrati nelle osservazioni allo strumento meridiano e che sembravano attribuirsi a fenomeni sismici (7 febbraio 1912), chiese informazioni sull'ora dell'alba e del tramonto; trasmise le osservazioni fatte all'osservatorio di Pino Torinese sul senso di oscillazione del polo terrestre (11 agosto 1915), e chiese pure il loro intervento in una discussione avuta con alcuni astronomi italiani su una questione scientifica (1917) – in questo caso, pur accordando la loro fiducia a Boccardi, i membri del Bureau non consentirono di prender parte a "queste discussioni tra astronomi italiani". Il 22 dicembre 1920, Boccardi fu eletto membro corrispondente del Bureau, e il verbale aggiunge che il suo nome è fatto "en indiquant qu'il n'y a pas d'autres italiens possibles". L'abate colse l'occasione per chiedere l'appoggio del Bureau ad una richiesta fatta al governo italiano: l'installazione di una stazione di telegrafia senza fili all'osservatorio di Torino. Ma i membri del Bureau non risposero; stavano allora studiando un progetto portato dall'ufficiale militare Gustave Ferrié di stabilire una rete mondiale di longitudini (Schiavon, 2022), progetto che non prevedeva delle stazioni in Italia ma, inizialmente, una rete fondamentale tra Parigi, Shangai e San Francisco. Come annunciato dall'ingegnere Charles Lallemand, "si installerà il centro geodetico a Parigi, quello meteorologico a Londra e quello oceanografico in Italia".<sup>20</sup> Boccardi riformulò ancora la sua richiesta, aggiungendo la proposta di calcolare la differenza di longitudine tra Parigi e Torino. In giugno 1921 fece pure intervenire l'amministrazione del ministero francese delle Poste e telegrafi, a cui il Bureau dovette rispondere. Ma i membri non ne fecero parola col Boccardi. Nel 1923, quando un'irreversibile perdita della vista rese obbligatorio il suo ritiro, l'abate si trasferì in Francia. Partecipò quindi alle riunioni del Bureau des longitudes e il 23 aprile 1923 richiese di realizzare il calcolo della differenza di longitudine con Torino, e la conseguente installazione di una stazione senza fili per l'osservatorio. Insistette sui motivi "patriottici" che considerava legati all'operazione scientifica e la frase riportata nei verbali: "depuis longtemps on a créé une légende, c'est qu'en France on ne sait pas faire de bonnes différences de longitude", sembra persino una sorta di provocazione. Gli anni precedenti la morte, passati tra la Francia e l'Italia, Boccardi continuò a spedire al Bureau le sue correzioni alle effemeridi pubblicate nei cataloghi tedesco e nord-americano.

Consideriamo infine la banca dati delle persone citate nei verbali: una statistica generale indica 138 italiani (2,7%), che si trovano dunque al quarto posto dopo i francesi (1590), gli inglesi (333) ed i tedeschi (284). Noteremo comunque che, nel 41 % dei casi, la nazionalità delle persone citate resta sconosciuta (2075): si tratta infatti di insegnanti o ancora di semplici cittadini, per i quali le fonti storiche sono difficili da trovare, soprattutto all'estero.

<sup>18</sup> Per le referenze sulla questione vedi Schiavon (2021).

<sup>19</sup> Su questo congresso vedi l'articolo di Nicole Capitaine "Le rôle du Bureau des longitudes dans l'organisation des grandes conférences liées aux constantes astronomiques, éphémérides et temps. (1895-1920), in Schiavon & Le Lay (2022, pp. 41-55).

<sup>20</sup> Verbale di luglio 1919. Vedi: Schiavon & Rollet (2021) e Schiavon (2022).

Al primo posto della base delle persone citate troviamo Boccardi di cui si è già parlato. Seguono gli astronomi Giovanni Santini (1787-1877), Lorenzo Respighi (1824-1889), Antonio Abetti (1846-1928) e Pietro Tacchini (1838-1905).

Considerando gli italiani vissuti posteriormente all'unificazione d'Italia, si contano attualmente 77 nomi. Non saranno qui studiati, ma segnaliamo rapidamente i motivi per i quali furono citati nei verbali del Bureau des longitudes durante il periodo 1861-1970. Nella maggioranza dei casi (39%, ovvero 28/77), si tratta di riportare un'informazione: si cita dunque il risultato di una ricerca o di una teoria scientifica, si trasmette la richiesta di una pubblicazione scientifica, si annuncia una scoperta astronomica o si completa una determinazione geodetica. Talvolta, si tratta di una semplice citazione di un libro post-mortem, come nel caso di Galileo. Al secondo posto, nel 25% dei casi (18 su 77), la citazione riguarda: la correzione o l'aggiunta di un dato o di un'osservazione astronomica in una pubblicazione, la ricezione di un articolo, di un libro, di una cartina geografica o ancora alcune informazioni riguardanti la vita di alcuni osservatori. Al terzo posto (19%, cioè 14 su 77) troviamo le relazioni istituzionali e gli annunci di nomine. Segue, al quarto posto, 14% (10 su 77), la corrispondenza su questioni scientifiche diverse (citazione di ricerche, osservazioni astronomiche e geodetiche, richiesta di informazioni, notifica di esperienze e missioni scientifiche). Infine, nell'ultima posizione, due citazioni (3%) riguardano la costruzione o la richiesta di strumenti: si tratta di Giovanni Battista Amici e Giuseppe Piazzi.

Il libro *Le Bureau des longitudes en société (1795-1932)*, in cui si sono studiati gli itinerari di alcuni gruppi di persone non membri, ci ha permesso di interrogare, attraverso la loro stessa presenza nei verbali, l'inserzione di questa piccola accademia di scienze astronomiche nelle strutture sociali, economiche e culturali della società francese. Espandendo lo studio ai gruppi di persone straniere, come quello attualmente in corso sugli italiani, potremo allora chiarire il ruolo che il Bureau ha occupato in una dimensione più internazionale.

## Bibliografia

- Boistel, G. (2010). *L'observatoire de la Marine et du Bureau des longitudes au parc Montsouris*. Paris: IMCCE/E-Dite éditions.
- Boistel, G., Le Lay, C. & Schiavon, M. (2024). "Trois journaux pour un même maître d'œuvre: le Bureau des longitudes (1795-1932)", in Gispert H., Nabonnand P. & Peiffer J. (eds.) *Circulation mathématiques dans et par les journaux – Histoire, territoires et publics*. Londres: College Publications, in press.
- Collectif (1909). *Lois, décrets, ordonnances, arrêtés et décisions concernant le Bureau des longitudes*. Paris: Imprimerie nationale.
- Crosland, M. (2002). *Science under Control: The French Academy of Sciences 1795-1914*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dunn, R. & Higgitt, R. (2017). "The Bureau and the Board: change and collaboration in the final decades of the British Board of Longitude", in Schiavon, M. & Rollet, L. (eds.) *Pour une histoire du Bureau des longitudes (1795-1932)*. Nancy: PUN-Edolor, pp. 195-219.
- Feurtet, J.-M. (2005). *Le Bureau des longitudes (1795-1854). De Lalande à Le Verrier* (Tesi per il diploma di archivista-paleografo). Parigi: Ecole nationale des Chartes.
- Muller, J., Rollet L. & Schiavon, M. (2023). "Être membre du Bureau des longitudes. Une approche prosopographique (1795-1970)", in Menger P.-M. & Verschueren P. (dir.) *Le Monde des mathématiques*. Paris: Seuil, pp. 403-443.
- Schiavon, M. & Le Lay, C. (eds.) (2022). *Le Bureau des longitudes en société (1795-1932)*, Vol. 12, Collection du Bureau des longitudes. Available at: <http://hdl.ahp-numerique.fr/files/original/6c053f28ea12963c590a35ceae975ff4.pdf> (Accessed: December 2023).

- Schiavon, M. & Rollet, L. (eds.) (2017). *Pour une histoire du Bureau des longitudes (1795-1932)*. Nancy: PUN-Edulor.
- Schiavon, M. & Rollet, L. (eds.) (2021). *Le Bureau des longitudes au prisme de ses procès-verbaux (1795-1932)*. Nancy: PUN-Edulor.
- Schiavon, M. (2012). “The English Board of Longitude (1714-1828) ou comment le gouvernement anglais a promu les sciences”, *Archives internationales d’histoire des sciences*, 62/1-168, pp. 177-224.
- Schiavon, M. (2016). “The Bureau des longitudes: An Institutional Study”, in Dunn, R. & Higgitt, R. (eds.) *Navigational Enterprises in Europe and Its Empires, 1730-1850*. Cambridge Imperial & Post-colonial Studies. Basingstoke and New York: Palgrave-Macmillan, pp. 65-87.
- Schiavon, M. (2018). “Découvrir le Bureau des longitudes, institution méconnue, à travers la géodésie et Henri Poincaré”, *Actes du 7<sup>o</sup> Encontro Luso-Brasileiro de Historia da Matematica*, Sociedade Portuguesa de Matematica (eds.), pp. 211-250.
- Schiavon, M. (2021). “International geodesy in the post-war period, as seen by the French Bureau des longitudes (1917-1922)”, in Mazliak L. & Tazzioli R. (eds.) *Mathematical Communities in the Reconstruction after the Great War (1918-1928)*. *Trends in the History of Science*, Cham: Springer Nature Switzerland, pp. 151-189.
- Soulu, F. & Schiavon, M. (2022). “Tracer le parcours d’un objet scientifique avec les bases instruments du projet Bureau des longitudes”, *Artefact. Techniques, histoire et sciences humaines*. Available at: <https://journals.openedition.org/artefact/13195> (Accessed: December 2023).
- Soulu, F. (2021). “A Database of Scientific Instruments from the Minutes of the Meetings of the Bureau des longitudes”, *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, 50, pp. 12-18.



# Un percorso geo-storico: tracce della misurazione del tempo nei luoghi di Padova

Luigi Marcon<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ricercatore indipendente, marcon.luigi56@gmail.com

*Abstract:* Within Padua's historic center, there are several prestigious and lesser-known clocks and sundials, some easily visible, while others remain hidden from the inattentive observer. This study aims to identify a route through Padua's historic center, where one can pause and observe the timekeeping instruments. It examines sundials, meridians, and clocks found on the city walls, carefully studying their construction characteristics. Each instrument's history is considered, along with the history of the building it is housed in, as well as the practical and social functions for which it was built. Furthermore, the study delves into the scientific and technological advancements at the time of its creation.

*Keywords:* Clocks, Sundials, Meridians

## 1. Orologi, meridiane ed altro sui muri di Padova: un percorso geo-storico per ritrovare i luoghi del tempo

La città è un luogo artificiale costruito e nel tempo stratificato, anno dopo anno, cosa sopra altre cose. La città modellata dagli uomini, agli uomini si è adattata, cambiando fisionomia e seguendo le trasformazioni dei suoi abitanti, mutando secondo le loro necessità. Ogni oggetto nella città è artificiale, non è lì casualmente ma è stato costruito, trasportato, voluto, pensato. Ogni manufatto ha una storia, non come un masso erratico che viene trasportato giù nella valle dal ghiacciaio, bensì una storia di uomini, di fatiche e di invenzioni, che può essere svelata e raccontata. La passione per la storia, per la gnomonica e più in generale per l'astronomia porta ad osservare, in questo lavoro, gli oggetti legati alla misura del tempo con uno sguardo più attento, cercando le tracce del passato diluite nel tessuto del presente. Ecco allora che i palazzi, le strade, le torri, statiche nello spazio, possono diventare un palcoscenico per raccontare una città viva in continua evoluzione. Camminare nelle sue vie significa immergersi in un viaggio dinamico nella storia, come visitare un museo, però con oggetti inseriti in uno spazio vivo dove il tempo non si è fermato, ma continua a scorrere, a consumare e a rinnovare.

Costruire un percorso significa comporre un racconto dove le varie tappe sono parte della narrazione e portano il visitatore a spostarsi immerso nella storia seguendo un filo fatto di strade e marciapiedi. Un nastro breve che ritorna e si chiude al punto di partenza adatto ad una visita didattica, per una scolaresca o per un gruppo di appassionati, o anche per un singolo visitatore solitario per rivivere il piacere della scoperta nello spazio urbano e consolidare con approfondimenti, tappa dopo tappa, le proprie conoscenze.

## 2. L'orologio di Piazza dei Signori.

La macchina occupa tre dei cinque piani interni della torre, gli altri due erano destinati all'abitazione del temperatore. È composta da una gabbia con due treni di ingranaggi e due pesi motore, uno più leggero per il quadrante e uno più pesante per la suoneria. Tutta la torre, quindi, era una grande macchina del tempo e il temperatore era parte della macchina; a lui il compito di osservare giornalmente l'istante del tramonto e regolare l'orologio di conseguenza. Non era un compito difficile in quanto le variazioni erano

minime, in certi periodi in prossimità dei solstizi quasi non percepibili. Più impegnativo era il compito di riavvolgere i pesi motore più volte al giorno. Se è vero che la macchina funzionava ad energia gravitazionale è altrettanto vero che l'energia potenziale doveva fornirla lui riavvolgendo le corde sui tamburi ogni volta che i pesi si avvicinavano al fine corsa. Esternamente il quadrante raccontava della ciclicità del tempo nel quale tutta la città regolava la vita. Raccontava di un tempo a misura di uomo con il giorno che moriva al tramonto. L'orologio rappresenta un sistema tolemaico con la terra al centro del quadrante: una grossa emisfera, non un disco, è posta al centro e Luna, Sole e stelle ruotano intorno. Il primo cerchio è il cielo della Luna, rappresentata da un disco vicino al bordo. Nel disco si vedono rappresentate le fasi mutevoli del nostro satellite dal quale si dipartono linee di figure geometriche. Queste rappresentano le varie configurazioni astrali, che la Luna assume con il Sole, viste da Terra, molto utili a quel tempo quando l'astrologia rivestiva forte importanza nella cultura popolare. Esse sono: la linea retta che indica la congiunzione quando Sole e Luna si trovano dalla stessa parte del quadrante rispetto alla Terra e sono quindi proiettati sulla stessa costellazione, oppure l'opposizione quando i due astri si trovano in due punti diametralmente opposti con la Terra al centro; il triangolo che indica il trigono con i due astri separati nel cielo da  $120^\circ$ ; il quadrato che indica la quadratura con i due corpi a  $90^\circ$ ; infine l'esagono che indica il sestile cioè un rapporto angolare di  $60^\circ$ . La corona esterna del disco riporta l'età della Luna. Tutto il disco compie un giro in ventinove giorni e mezzo, corrispondenti al periodo sinodico. L'età della Luna viene indicata da una lancetta che esce dal disco del Sole splendente. L'anello successivo rappresenta il cielo del Sole. Costituito da 3 anelli concentrici che rappresentano: i mesi; i giorni di ciascuna casa dello zodiaco raggruppati a decine; i 365 giorni dell'anno. Questi ultimi sono fatti da tanti settori alternativamente bianchi e neri per meglio contrastarli e quindi facilitarne la lettura, che comunque rimane molto difficile vista la distanza dal suolo.

La lettura si effettua osservando il giorno indicato dalla piccola mano che si trova vicina alla coda dello Scorpione. Il disco dei mesi completa un giro in ventiquattro ore e nello stesso tempo avanza di uno spazio sul disco della Luna; per questo motivo risulta adatto a contenere gli indici dell'età della Luna e delle ore del giorno. Il compito di sorreggere gli indici è affidato al Sole che, agganciato a questo disco perennemente sopra il mese di novembre, porta due indicatori: uno breve e come già detto rivolto verso l'interno ad indicare l'età della Luna, e uno lungo che, attraversando gli altri anelli, va ad indicare le ore sulla circonferenza più esterna. Il Sole nel suo moto si sposta sopra lo zodiaco indicando così la sua posizione reale nel cielo dell'eclittica. Questo anello completa un giro in ventiquattro ore, giorno solare, e quindi in un anno compie 365,25 giri. Procedendo verso l'esterno troviamo la corona del cielo dello zodiaco: divisa in dodici case di trenta gradi ciascuna, essa rappresenta le costellazioni sulle quali si muove il sole durante un anno. Questa compie un giro in 23h 56m, giorno sidereo, e quindi in un anno solare compie 366,25 giri, un giro in più della corona attigua.

### 3. Tre meridiane

#### 3.1 Meridiana di via Brondolo

Sulla facciata di uno dei tanti palazzi di via Brondolo, si trova un particolare quadrante solare, molto grande, che è tra i più caratteristici tra i pochi visibili nel centro di Padova. La superficie vera e propria dello strumento inizia con due cerchi concentrici al punto di inserzione dello stilo nel muro, da dove si irradiano tutte le linee orarie che continuano fino al bordo interno della cornice. L'insieme dà l'idea di un sole splendente che riempie tutto il riquadro dell'orologio. Tutte le linee orarie convergono in un punto che coincide con il piede dello stilo, si tratta quindi di ore francesi o oltremontane.

Sono tracciate sia le linee delle ore sia quelle delle mezze ore, tutte allo stesso modo, tanto da non essere distinguibili e senza numerazione; sembra quasi che chi ha costruito la meridiana abbia scelto di rivolgersi ad un pubblico già avvezzo alla lettura di questi strumenti. Per di più, tutte le ore sono



leggermente spostate rispetto all'ora solare, lo si vede bene dalla linea del mezzodì che non è perpendicolare ma leggermente inclinata e spostata di un po' sulla sinistra rispetto alla perpendicolare. Questo significa che sono rappresentate le ore con la correzione geografica, cioè l'orologio è tarato sul tempo medio del fuso. La meridiana, quindi, dovrebbe essere datata ai primi anni del '900 o in date successive: l'Italia ha adottato infatti il C.E.T. dal 1893.

Sulle linee orarie delle 9, delle 12 e delle 15 sono stati riportati i numeri romani rispettivamente: III, VI, IX. Questa annotazione, che richiama le ore temporarie, è incoerente con il sistema orario usato nell'orologio, ma resta comunque comprensibile sia perché a volte usato da qualche gnomonista sia perché è normale trovarlo in un ambiente legato alla chiesa, dove riveste una particolare importanza il richiamo alla passione di Cristo e alla preghiera. La meridiana riporta inoltre tre curve di declinazione, sono cioè tracciati i percorsi diurni della macchia di luce uscente dal disco forato nei giorni degli equinozi e nei giorni dei solstizi. Se si osserva con attenzione, si può notare una leggera asimmetria nelle due curve e una leggera inclinazione nella retta degli equinozi, dovuta alla parete leggermente declinante verso est.

### ***3.2 Meridiana della Casa del Clero***

Sulla facciata sud del grande fabbricato è posta una meridiana moderna di grande pregio e di altrettanta grandi dimensioni. Si tratta di un quadrante ricavato da un pezzo unico di lamiera traforata. La meridiana è stata disegnata al computer e poi ritagliata da una macchina a taglio laser. Ha uno stilo polare saldato su alcuni sostegni solidali al quadrante, che termina con una piccola sferetta che fa da gnomone. Stilo e quadrante sono sospesi ad una decina di centimetri dal muro in modo che la luce del Sole passante attraverso i disegni traforati si proietti con un piacevole gioco di luci ed ombre sul muro sottostante. Lo strumento riporta le tre solite curve di declinazione dei solstizi e degli equinozi.

Sotto alla iperbole del solstizio d'estate, in una stretta fascia adiacente, vi è traforato il motto: "HOMINI HORA AETERNITAS DEO". La facile traduzione può essere interpretata con: "per gli uomini i momenti, le cose effimere, brevi, passeggiere; a Dio l'eterno".

Le linee orarie sono state sostituite dalle lemniscate delle equazioni del tempo corrette dello scostamento geografico. In questa meridiana dovrebbe essere possibile leggere l'ora dell'orologio, ma forse in questo modo si complicano troppo le cose semplici.

### ***3.3 Meridiana di ponte Sant'Agostino.***

Il quadrante attuale mostra un orologio completo, probabilmente la soluzione più corretta, particolareggiata e allo stesso tempo pulita fra tutte le meridiane presenti nel centro storico di Padova.

Il muro è fortunatamente poco declinante a est e quindi la meridiana ha un aspetto quasi perfettamente simmetrico. Sopra un piccolo sfondo azzurro è stata tracciata la linea dell'orizzonte ad indicare la rappresentazione di un cielo ribaltato sulla superficie del muro, quindi tutto quello che sta sopra a questa linea rappresenta quello che sta sotto all'orizzonte reale e sotto invece vi è rappresentato il cielo con i percorsi del sole. Sono state disegnate tutte le curve di declinazione del Sole corrispondenti al cambio di segno, quella equinoziale in rosso, ognuna con il proprio simbolo zodiacale corrispondente; la meridiana assume quindi anche la funzione di calendario.

Le linee orarie segnano l'ora solare locale espressa in numeri romani. L'ora civile la si può calcolare osservando il diagramma posto appena sotto la meridiana e grossolanamente protetto da un riquadro in plexiglass. In esso è rappresentata la curva dell'equazione del tempo sommata alla correzione geografica. Basta quindi aggiungere o togliere i minuti segnati nel diagramma all'ora segnata dalla meridiana per ottenere l'ora dell'orologio. L'insieme dei tre motti afferma che il tempo, riferito al sole, scappa, l'acqua scorre ed il silenzio parla.

#### 4. Il castello

Da un punto di via San Tomaso si nota una piccola torre fatta costruire nel 1945-46 che appena si eleva al di sopra delle alte pareti del recinto carcerario e su questa un anonimo orologio rivolto verso il cortile interno. Questo orologio, posizionato sul segmento più alto della piccola torre, ha un aspetto abbastanza consueto, con il quadrante diviso in dodici ore e due lancette per ore e minuti. Questo è forse l'unico orologio pubblico dedicato ad una ristretta cerchia di persone ed invisibile al resto della città. Un orologio per segnare il tempo della reclusione, il tempo dell'attesa, l'ora d'aria da passare con i compagni di sventura e le lunghe ore notturne aspettando la ronda degli agenti, ma anche le ore del lavoro a costruire biciclette e le ore delle guardie che per lavoro dovevano controllare la reclusione dei carcerati.

#### 5. Il Salone

Alla fine del Settecento i tempi stavano cambiando inesorabilmente e le spinte verso il cambiamento, anche nel modo di contare le ore, giungevano supportate dai progressi della tecnologia e ormai erano inevitabili. Il primo novembre del 1788 Padova adottava per la prima volta il nuovo sistema orario alla francese (Bo Live 2019, p. 60). La giornata non era più suddivisa in ventiquattro ore a partire dal tramonto del Sole, ma in due parti di dodici ore ciascuna, con riferimenti precisi a Mezzogiorno e a Mezzanotte. Il nuovo orologio installato sul Palazzo della Ragione aveva un quadrante diviso in dodici ore, con una sola lancetta che lo percorreva completando il giro due volte al giorno. Lo stesso meccanismo azionava – e ancora aziona – anche un altro orologio, dentro al Salone, posto sulla stessa parete in corrispondenza di quello esterno. Nello stesso periodo si decise di fare anche una meridiana ad ore astronomiche affiancata all'orologio, in modo da aiutare i cittadini ad interpretare questo nuovo sistema: probabilmente vedere il Sole concorde con l'orologio poteva essere convincente anche per i più diffidenti.

Il nuovo quadrante solare venne calcolato e costruito nel 1793 dall'abate Bartolomeo Toffoli. Questo quadrante è enorme, doveva essere visibile dalla piazza del mercato, completamente bianco, privo di fronzoli e scritte; esso è comunque complesso da leggere a causa delle tante suddivisioni che lo rendono denso di linee. Ha segnate le ore, dalla VIII alla XII al mattino e poi fino alla IV nel pomeriggio, identificate da una linea nera che termina con una freccia sopra il numero corrispondente. Le mezze ore hanno la stessa grafica solo che la freccia è più lunga ed esce dal bordo del quadrante; anche i quarti d'ora hanno la stessa freccia, con la linea leggermente più fine, che però è rivolta all'incontrario verso il piede dello stilo. L'unica linea di declinazione è l'equinoziale, leggermente inclinata: denuncia chiaramente l'inclinazione di 5 gradi verso est della parete. È tracciata con un doppio segno, molto debole, fatto appositamente per individuare con precisione il momento dell'equinozio, che si verifica quando la macchia di luce si trova a passare tra le due rette. Sopra alla linea, i simboli dell'Ariete e della Bilancia sono l'unica concessione lasciata in uno spazio altrimenti rigorosamente austero.

#### 6. L'orologio del Bo

In via VIII febbraio si trova il palazzo del Bo, sede dell'Università dal 1493. Le parti più antiche del palazzo e della sua torre risalgono al Duecento mentre a metà del Trecento già esisteva *hospitium bovis*, l'albergo che dà origine al nome (Autizzi 2021, pp. 122-123).

Del suo orologio si hanno notizie dal 1440 quando l'attuale sede universitaria era ancora albergo. Probabilmente la macchina è opera dello stesso Giovanni delle Caldiere che in quel periodo aveva costruito l'orologio della Piazza dei Signori e che ne divenne il primo *temporatore*. Dopo l'acquisizione da parte dell'Università, i lavori di ampliamento interessarono anche la torre che in quegli anni venne

innalzata per due terzi. Altri lavori seguirono sulla sommità della torre tanto che l'orologio venne rimosso e poi riposizionato nel 1572 sotto la guida di Paolo Mazzoleni (Bo Live 2019, p. 58).

Pochi anni dopo, nel 1581 la lanterna della torre venne completata con una sfera armillare, a sottolineare lo spirito scientifico dell'università. Adornata da una banderuola e dal leone Marciano, la torre raggiungeva i cinquantacinque metri di altezza, seconda della città, superata solo dalla torre degli anziani. L'altezza considerevole è stata causa di tanti problemi di stabilità e si dovette provvedere più volte a restauri per sostenere la muratura con catene e rinforzi. Nel 1756 un fortunale, lo stesso che aveva scoperciato il salone, mise in serio pericolo tutta la struttura (Bo Live 2019, p. 59). Turbini e temporali destavano sempre molta apprensione e tutta quella ferramenta su nella cima sembrava attirare i fulmini con particolare efficienza. Per proteggerla dalle saette l'abate Giuseppe Toaldo installò sulla torre un parafulmine nel 1777, il secondo della città dopo quello collocato nella specola quattro anni prima (Toaldo 1838).

Ormai i tempi erano maturi per l'introduzione del computo delle ore oltremontane, di cui si iniziava a discutere soprattutto negli ambienti universitari e, tra favorevoli e contrari, fu proprio l'orologio del Bo il primo nella Serenissima a sperimentare l'ora francese il primo novembre del 1788. L'abate Giuseppe Gennari annotava: "Questa mattina l'orologio del Bo, così volendo il procuratore Pesaro Riformatore, cominciò a battere le ore alla francese; il popolo ignorante ride!" (Bo Live 2019, p. 60). Il popolo, i nobili e il clero continuarono a non capire e continuavano a far segnare le ore italiane ai loro orologi, così dopo sei anni di resistenze, nel 1794, si tornò all'ora italiana ma ormai il cambiamento era inarrestabile e il trenta maggio 1797 si stampavano gli avvisi alla popolazione dove tra le altre novità portate da Napoleone comparivano le istruzioni su come suonare i rintocchi delle campane (Martin 2021, p. 126). Fu un altro decreto, ma questa volta del Re, nel 1914 (Bo Live 2019, p. 60), a ordinare la demolizione della parte alta della torre a due terzi dell'altezza. Ormai era evidente che il tempo e la gravità stavano danneggiando la muratura, con crepe e infiltrazioni, in modo irreparabile. A seguito della riduzione, la sfera armillare e la banderuola di San Marco hanno trovato posto nelle sale dell'Università mentre l'orologio rimasto sulla torre è fermo ormai da molto tempo. Quell'orologio visibile solo dal vecchio cortile interno del Bo appena sopra al tetto del doppio porticato, ora è sistemato con un quadrante azzurro privo delle ore su una corona circolare bianca. Desolatamente fermo, con l'unica lancetta pendente verso il basso, sembra in attesa che qualcuno si ricordi della sua secolare presenza.

## 7. Boulevard

La macchina a vapore è stata l'invenzione che ha dato il via alla prima rivoluzione industriale e ha trasformato in maniera profonda e irreversibile il sistema produttivo, e con esso tutto il sistema economico e l'intera struttura sociale. Quantità abbastanza consistenti di energia a disposizione proprio nel punto dove servivano erano la condizione ideale per una serie pressoché infinita di applicazioni. La conseguente invenzione della locomotiva cambiò per sempre il mondo dei trasporti e in pochi anni una rete di binari fu distesa a connettere le città. Tra Mestre e Padova fu stesa la prima ferrovia del Veneto nel 1842 (Grossi & Jori 2019, p. 221), ma poi molto velocemente la strada ferrata continuò verso Milano e successivamente verso Bologna (Organte 2020, p. 194). Attorno alla stazione si insediarono le prime industrie, soprattutto metalmeccaniche, creando un nuovo polo produttivo nella periferia della città, sui margini della Campagna padovana. Nel primo decennio del secolo scorso, l'amministrazione comunale dell'epoca ideò un rettilineo di collegamento tra il centro storico e la Stazione. Si decise di creare nuovi quartieri e di demolire vecchie costruzioni.<sup>1</sup> La fisionomia della città ne uscì stravolta. Fu costruito un nuovo ponte sul Piovego sufficientemente ampio da permettere anche il passaggio del tram, una vera

---

<sup>1</sup> Si veda: [www.padovaoggi.it/blog/vivipadova/palazzo-zuckermann-storia-del-monumento-e-del-cavaliere-che-ne-ha-dato-il-nome.html](http://www.padovaoggi.it/blog/vivipadova/palazzo-zuckermann-storia-del-monumento-e-del-cavaliere-che-ne-ha-dato-il-nome.html) (ultimo accesso: 30 giugno 2024).

novità per Padova e per i padovani, abituati fino a quel momento ad una città cresciuta nel medioevo tra vicoli e portici. Il nuovo asse viario fu fatto passare a fianco dell'arena e incuneato dentro a piazza Garibaldi, abbattendo le case del lato nord. Con l'occasione furono progettati e realizzati i Giardini dell'Arena, preservando un po' di verde pubblico all'interno del centro storico. Con questo intervento così radicale il Comune intendeva favorire l'espansione economica della città collegando in linea retta il Bo, sede dell'università, con la nascente zona industriale. Il nuovo viale era destinato ad accogliere le dimore della nuova borghesia e le sedi delle forze economiche emergenti. In fondo alla strada non altre strade, ma la nuova stazione, miraggio del progresso e testimonianza della rivoluzione che stava promettendo una nuova era. I nuovi palazzi dovevano testimoniare ricchezza e potenza economica, con strutture solide di ordine gigante; infondere ammirazione, con decorazioni esterne, rappresentare il lavoro e il risparmio, con simbologie e richiami quali statue e fontane. Dovevano infondere fiducia e trasparenza con facciate luminose, ampie finestre e con l'inserimento di lesene e marcapiano per aumentare l'aspetto monumentale. Tra le abitazioni borghesi e i nuovi spazi commerciali si inserirono presto le banche, pronte a sfruttare il nuovo viale per mettere in evidenza il proprio prestigio e per attrarre una folta clientela che sembrava crescere in continuazione. La vicinanza del Bo e del Caffè Pedrocchi, tradizionale ritrovo di studenti, professori e commercianti, fece delle piazze prospicienti al viale il fulcro della vita cittadina e proprio sugli edifici che si affacciavano a quelle piazze furono posizionati i grandi orologi che segnavano per primi l'ora civile, quella che usiamo tuttora (Benacchio *et al.* 2015, p. 47). Fino ad allora la vita si svolgeva quasi esclusivamente in ambito locale e le comunicazioni tra le varie città distanti tra loro erano difficili e lente. Il trasporto era prevalentemente a trazione animale e proprio dalla piazza della Paglia, ora piazza Garibaldi, partivano le diligenze. Con la ferrovia tutto diventava più veloce e le distanze sembravano accorciarsi.

Per far funzionare correttamente i treni bisognava adottare un orario comune per tutte le località interconnesse. Inizialmente si cercarono soluzioni regionali, soprattutto sul territorio Napoletano e Lombardo Veneto, poi su base nazionale con un decreto regio del 1866 (Benacchio *et al.* 2015, p. 49) nel quale si individuava come tempo base il tempo medio di Roma. Nel frattempo, si era diffuso l'uso del telegrafo e quindi si decise che tutti gli orologi dovevano essere sincronizzati da questo nuovo sistema via cavo. Con un altro decreto regio dell'agosto 1893 fu adottato per l'intero territorio nazionale il tempo del fuso orario centrato sul meridiano numero 15 e valido per tutta l'Europa centrale. Oramai gran parte della borghesia possedeva un orologio da tasca o da polso e quindi installando questi grandi orologi all'esterno delle stazioni o sui palazzi statali si abituava la comunità a sincronizzarsi con l'ora ufficiale dello stato. Il primo di questi orologi posizionato su un fastigio sopra il cornicione della stazione è andato perso nei bombardamenti della Seconda guerra mondiale, ma ancora è visibile in riproduzioni di vecchie cartoline, mentre altri due sono ancora funzionanti lungo il boulevard. Di questi due, uno si trova inserito nella facciata di un palazzo, ora di proprietà di una banca (Benacchio *et al.* 2015, p. 47), in via VIII febbraio, proprio di fronte al Caffè Pedrocchi. Lo si può vedere in alto, proprio al centro, tra due finestre del terzo piano.

L'orologio si presenta di aspetto molto semplice, essenziale, come voleva lo stile dell'epoca, con lancette per ore e minuti appena un po' sagomate, ha il grande quadrante traslucido per essere retroilluminato e quindi visibile anche di notte, diviso in 12 ore con le 60 tacche dei minuti ben visibili dal piano stradale. Non presenta altri ghirigori, nemmeno all'esterno, e ben si adatta allo stile liscio e pulito del palazzo.

L'altro orologio si trova sul palazzo delle poste, all'incrocio tra via Garibaldi e largo Europa. Il palazzo, costruito nel 1913 contemporaneamente al vicino Palazzo Zuckermann su progetto dell'architetto Alessandro Peretti,<sup>2</sup> esibisce evidenti rifiniture in stile Liberty. L'edificio è enorme e dà

---

<sup>2</sup> Si veda: [www.padovaeilsuoterritorio.it/wp-content/uploads/2008/10/Padova-e-il-suo-territorio\\_101b.pdf](http://www.padovaeilsuoterritorio.it/wp-content/uploads/2008/10/Padova-e-il-suo-territorio_101b.pdf) (ultimo accesso: 30 giugno 2024).

una idea di forza e maestosità con bugnature, lesene, marcapiani e cornici. In alto il cornicione è sostenuto da una serie consistente di mensole adornate da motivi floreali. Sopra a tutto, un fastigio con ghirlande, fiori e foglie d'acanto sormontato dallo scudo con la croce simbolo della città e protetto da una corona gemmata da cinque fioroni. Al centro un grande orologio con il quadrante diviso in 12 ore contraddistinte da numeri romani. Anche le lancette sono elaborate, sebbene da terra non si noti molto, con arrotondamenti e piccoli lobi a ricordare motivi vegetali.

## 8. Arredo urbano

Dopo la metà del secolo scorso gli orologi da tasca furono sostituiti con modelli da polso e velocemente si diffusero tra la popolazione; poi nel nostro tempo, l'elettronica e l'informatica hanno consentito di inserire un orologio in quasi tutti gli oggetti di uso quotidiano. Quando ci spostiamo per la città non ci accorgiamo di quanti sono gli orologi che ci circondano, non perché gli orologi sono diventati più discreti, ma banalmente perché ci siamo abituati ad averli continuamente a portata di sguardo.

Nell'arredamento dello spazio urbano essi sono sempre presenti, non più con costose forme monumentali, ma con molto più economiche creazioni industriali. Girando per Padova ne troviamo a decine, sparsi nell'estrema periferia dove sono più radi, distribuiti nelle zone maggiormente frequentate e poi gradatamente più fitti in prossimità del centro storico. Svolgendo lo sguardo a 360° ne possiamo vedere tre o quattro nello spazio di un incrocio. Sono orologi analogici, bifacciali, in stile moderno con un quadrante semplificato con poche tacche e pochi numeri di colore nero su un quadrante opaco bianco; il contrasto è gradevole e sono facilmente leggibili anche da lontano. Hanno una cassa ermetica, impermeabile alla polvere e all'umidità, illuminata dall'interno per essere letti anche di notte. Questi orologi, tutti uguali tra di loro, sebbene non tutti dello stesso colore, probabilmente sono frutto di installazioni diverse o nel tempo sono stati sostituiti quelli rotti o incidentati senza uniformarli a quelli già presenti; sono alimentati dalla linea dell'illuminazione pubblica e hanno una batteria interna che li mantiene in funzione durante il giorno quando i lampioni sono spenti; infine, segnano tutti la stessa ora, precisa, poiché evidentemente hanno un dispositivo di sincronizzazione via cavo o più probabilmente via radio.

A sorreggerli, questi orologi, vi è un palo tondo in acciaio, cilindrico senza rastremature né elementi intermedi: a volte capita di vederne qualcuno un po' sghembo, di questi pali, piegato da un lato o con entrambi i quadranti leggermente storti: in effetti sono su un marciapiede e devono subire qualche colpo involontario e a volte anche qualche goliardia da parte di qualche scalmanato.

Su tutti, tra palo e quadrante si trova una tabella bifacciale composta da una intelaiatura in metallo che sostiene due lastre rettangolari traslucide in plastica. È questo il motivo della presenza di tanti orologi. Nella tabella si possono inserire degli appositi pannelli in polycarbonato stampati con la pubblicità di qualche prodotto o di qualche attività commerciale. Segnare il tempo sembra una scusa, l'orologio deve semplicemente sostenere uno spazio pubblicitario. In effetti l'idea non è nuova, la pubblicità abbinata ad un orologio fu sperimentata in Germania già nel 1891 (Magnago Lampugnani 2021, p. 144). La comparsa della pubblicità nelle città europee ebbe una vera e propria diffusione selvaggia dopo l'invenzione della litografia nel 1796 (Magnago Lampugnani 2021, p. 195) e per contrastarla furono prese varie iniziative, tra le quali quella di costruire degli spazi a pagamento adatti sui quali attaccare i cartelloni.

Nelle nostre campagne di pubblicità selvaggia ce n'è ancora tanta, su certi muri ci sono strati su strati di manifesti e comunque gli spazi pubblicitari lungo le strade sono veramente sovrabbondanti, tanto da storpiare il paesaggio, ma in città è difficile trovare posto per la réclame. Da qui l'idea di creare degli oggetti utili e gradevoli alla vista, dove piazzare spazi pubblicitari da vendere ai potenziali clienti. Tuttavia, anche quel mondo è cambiato, ed ora l'offerta supera di molto la domanda, così tante tabelle sono vuote: alcune desolatamente bianche, altre occupate da qualche scarabocchio.

## 9. Conclusione

Il nastro si chiude alla stazione ferroviaria, quello che ad alcuni potrebbe sembrare un non-luogo per definizione, apparentemente indistinguibile da altri posti simili di altre città.

Anche il suo orologio, a ben guardare, è particolare rispetto agli altri osservati: posizionato a mezza altezza sulla facciata, si vede da lontano per la luce rossa dei suoi led. Si tratta di un orologio digitale di grandi dimensioni con il quadrante che cambia e alterna informazioni diverse, quali la data, la temperatura e naturalmente anche l'ora. Il motivo del calendario e dell'orologio, la causa per la ricerca di tanta precisione, sta nella città e nella rete di città che tutte assieme si collegano, ma sta anche nella velocità degli spostamenti e quindi nel progredire tecnologico della società. La necessità di vivere tutti con lo stesso ritmo per lavorare, per incontrarsi, per viaggiare, ha richiesto sempre maggior precisione e sincronizzazione. L'orologio a led sulla facciata della stazione, dunque, rappresenta una sintesi di questa nuova esigenza di precisione dettata dalla società contemporanea.

Padova ha una storia millenaria: nella sua geografia che cambia con il ritmo lentissimo dei fenomeni naturali e nella sua architettura che in certi punti si è preservata nei secoli, conserva, sui suoi muri e dentro gli edifici, molti esempi di strumenti per la misurazione del tempo: quadranti solari e meridiane di precisione, orologi antichi e astrari, orologi moderni e strumenti di altissima precisione che sono stati oggetto di questa indagine e del percorso di esplorazione dello spazio urbano che si è provato a tracciare. Molti altri strumenti sono stati tralasciati, essenzialmente per non allungare troppo il percorso ed anche questo lavoro

## Bibliografia

- Bo Live (ed.) (2019). *La scienza nascosta nei luoghi di Padova*. Padova: Padova University Press.
- Benacchio, L., Cappelli, V. & Di Benedetto, C. (2015). *Padova seconda stella a destra*. Pergine Valsugana (TN): Publistampa Arti grafiche.
- Autizi, M.B. & Autizi, F. (2019). *Palazzo della Ragione di Padova*. Treviso: Editoriale Programma.
- Autizi, M.B. (2021). *I palazzi di Padova*. Treviso: Editoriale Programma.
- Benacchio, L. (2019). *Le parole del cielo*. Trento: Publistampa.
- Governa, F. & Memoli, M. (2015). *Geografie dell'urbano*. Roma: Carocci editore.
- Grossi, T. & Jori, F. (2019). *Storia di Padova*. Pordenone: EBI.
- Magnago Lampugnani, V. (2021). *Frammenti urbani*. Torino: Bollati Boringhieri editore.
- Martin, R. (2021). *La torre degli Anziani a Padova*. Padova: Cleup Padova.
- Nuvolati, G. (2013). *L'interpretazione dei luoghi*. Firenze: Firenze University press.
- Organte, L. (2020). *Il giro di Padova e dintorni in 501 luoghi*. Roma: Newton Copton Editori.
- Rohr, R.J.R. (1988). *Meridiane*. Torino: Ulisse Edizioni.
- Toaldo, G. (1838). *La meridiana del salone di Padova. Memoria di Giuseppe Toaldo*. A cura di Sorgato, G. Padova: Tipografia del Seminario.

# Quando la stampa 3D e la computer grafica incontrano il patrimonio storico

Marco Dima<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INAF-Osservatorio Astronomico di Padova, marco.dima@inaf.it

*Abstract:* 3D printing and graphics play a crucial role in the conservation and dissemination of historical and museum assets in the astronomical field. Indeed, these technologies make it possible to make usable instruments and places of historical interest that would otherwise be inaccessible. Examples of the potential of these technologies are the three-dimensional reconstruction of the Paduan observatory and the animation of the Meridian Room.

The three-dimensional reconstruction of the observatory, based on the original projects, was made possible thanks to 3D printing, which faithfully reproduced the eighteenth-century architectural structure. The animation of the Meridian Room showed that it is not only a building but also a complex astronomical instrument. These visual representations help viewers better understand the functionality and use of the building in the astronomical context. 3D printing and graphics also offer the opportunity to make the museum experience more inclusive. For example, original instruments replicated with 3D printing can be explored and touched by blind visitors, offering them sensory engagement. Additionally, 3D printing and graphics are indispensable for visualizing past, present, and future astronomical concepts. In fact, these technologies make it possible to create three-dimensional models of celestial bodies, planetary systems, and complex astronomical phenomena, facilitating their understanding by the non-expert public and stimulating interest and curiosity in the astronomical field.

In conclusion, if properly directed, 3D printing and graphics can play a strategic role in the conservation and enhancement of historical and museum heritage.

*Keywords:* 3D printing; Computer graphics; Historical heritage

## 1. La computer grafica (CG)

La computer grafica 3D è quel ramo dell'informatica che permette di produrre e visualizzare disegni tridimensionali sintetici. Tali modelli sintetici vengono utilizzati in molti ambiti: la progettazione meccanica, la produzione cinematografica, i giochi per Consol. In ambito astronomico, oltre che per la costruzione di strumenti, si utilizza la CG, per visualizzare le ricostruzioni stereogrammetriche di superfici di pianeti o asteroidi, ottenute dalle varie missioni spaziali, o mostrare come funziona uno strumento o un principio fisico.

Una volta realizzato il modello tridimensionale, il processo di creazione dell'immagine è delegato a quel processo informatico chiamato *rendering*.

Quest'ultimo permette di ottenere immagini, o sequenze di immagini, che poi visualizziamo su un monitor o al cinema. Il processo di *rendering* serve ad ottenere principalmente due categorie di immagini: quelle a scopo raffigurativo, e immagini *ray-tracing*.

Le immagini raffigurative hanno lo scopo di mostrare un concetto con un certo stile grafico che può avere una natura di tipo artistica, tecnica, ecc. Il *ray-tracing* invece simula i processi fisici di interazione tra luce e materia/materiali (plastica, legno, acciaio, rame...), al fine di mimarne rifrazione, diffusione, assorbimento, e ottenere immagini verosimiglianti.

Se confrontiamo la qualità grafica dei film di animazione agli esordi, con quelli di oggi, ci rendiamo subito conto degli sforzi fatti in ambito software, relativamente al *ray-tracing* o alle simulazioni in ambito fisico. A titolo di esempio, si pensi alle interazioni tra gli oggetti solidi e fluidi nel film della serie de *L'era glaciale*: la simulazione dei capelli, i movimenti articolari dei personaggi, sempre più armoniosi e meno meccanici (Fig. 1).



**Fig. 1.** Immagini tratte dai film: *L'era glaciale* (2002), a sx e *L'era glaciale - in rotta di collisione* (2016), a dx. Si può notare la differenza di risoluzione della pelliccia di Manny.

Tutti questi risultati sono il frutto del processo evolutivo avvenuto in campo hardware e software, negli ultimi anni. Un ruolo importante lo hanno avuto certamente il cinema e il gaming.

Nel corso degli anni, all'Osservatorio di Padova siamo stati attenti all'evoluzione di questo settore in tutte le sue forme e diramazioni, individuando nella CG un valido alleato per la divulgazione dei concetti. Nel tempo abbiamo acquisito computer e schede grafiche prestanti, per la produzione video e il *rendering*. Ci siamo dotati di visori come gli Oculus, abbiamo creato applicazioni per smartphone in *Virtual Reality* (VR) ed *Augmented Reality* (AR), allestito una stanza di *green-screen* e siamo rimasti aggiornati sulle varie evoluzioni software di modellazione 3D, in particolare per quanto riguarda il software Blender. Senza dilungarsi troppo sugli aspetti tecnici di questo programma, basti sapere che esso permette la modellazione, la produzione di animazioni e il *rendering*.

Grazie a queste attrezzature è stato possibile produrre molto materiale utile alla divulgazione, e nel caso specifico alla terza missione.

### **1.1 La Sala dei Pappagalli**

La sala dei Pappagalli era una grande sala al primo piano dell'antico Castello Carrarese, oggi sede dell'Osservatorio Astronomico di Padova, nella quale Francesco da Carrara, Signore della città, si incontrava con le sue truppe e con gli ospiti per banchettare. Dopo la trasformazione da Castello ad Osservatorio, avvenuta tra il 1767 e il 1777, gli spazi sono stati significativamente modificati creando più stanze e modificando la quota dei solai.

Di quel remoto periodo rimangono delle testimonianze sotto forma di affreschi, alcuni dei quali si conservano, frammentati, sulle pareti dell'ufficio che oggi ospita la Direzione. Dopo una attenta elaborazione grafica attraverso il software Photoshop, è stata ricostruita l'immagine intera originale (Fig. 2) e, dalla rilevazione eseguita nelle varie stanze del piano terra e del primo piano, è stato possibile individuare quale fosse l'aspetto primitivo della sala dal punto di vista della pittura. Grazie ai disegni del progetto di Domenico Cerato, l'architetto che trasformò la torre maggiore del Castelvecchio in Osservatorio Astronomico, è stato possibile capire come fosse strutturata la stanza, che presentava delle porte, un camino e due bifore. Attraverso Blender essa è stata quindi ricreata, costruendo un video che mostra quale fosse il probabile arredamento e realizzando delle immagini per la visione tramite Oculus, in modo da generare una esperienza immersiva (Fig. 3).





**Fig. 2.** Ricostruzione dell'immagine dei pappagalli eseguita tramite il software Photoshop da A. Satta.



**Fig. 3.** Immagine equirettangolare per visori Oculus realizzata con Blender. L'immagine mostra una possibile interpretazione di come si presentasse la Sala dei Pappagalli nel XIV secolo.

## 2. Esperienza di Realtà Aumentata (AR) e Realtà Aumentata (VR)



**Fig. 4.** Uno dei primi test effettuati per verificare l'AppOlo.

Sin dalla loro prima comparsa, gli smartphone hanno aperto le porte ad un nuovo mondo. La potenza di calcolo di questi congegni, il mondo delle applicazioni che ne è scaturito, l'evoluzione delle fotocamere e l'internet *mobile*, hanno fatto di questi telefoni una nuova propaggine del nostro corpo, ormai quasi insostituibile. Questo apparecchio è indubbiamente una macchina dalle forti inclinazioni divulgative, e come Osservatorio non potevano sottrarci alla nuova sfida comunicativa che, con esso, il mondo ci aveva sottoposto.

Nel 2019, anno del cinquantenario dello sbarco sulla Luna, tra le varie proposte di divulgazione che abbiamo offerto alla comunità padovana, vi è stata anche la creazione di una applicazione di AR, chiamata AppOlo (Fig. 4). Essa era fruibile in associazione con un tappeto, delle dimensioni di 3x3 metri, che raffigurava la faccia visibile della Luna. Attraverso la fotocamera del cellulare e dei target opportunamente posizionati sui punti di interesse della superficie lunare, era possibile materializzare sul telefono o sul tablet, i modelli 3D del LEM, della Moon Buggy, del Saturn V, ma anche di alcuni crateri e di *lava tube*.

Sempre nel contesto dei festeggiamenti del 2019, è stata sviluppata un'esperienza in VR per visore Oculus, grazie alla quale l'utente, immerso in un ambiente virtuale, era messo nelle condizioni di poter vedere sia la Specola di Padova, con la sua torre a base quadrata di 10 metri e l'altezza di 50, sia il SaturnV, con i suoi 110 metri di altezza e 10 di diametro al primo stadio.

### 2.1. Ricostruzione della sala Meridiana

Nel corso degli anni il nostro Osservatorio ha prodotto molti video di divulgazione sia scientifica, che di outreach. Essi sono stati presentati nel corso di conferenze nazionali e internazionali, ma sono stati utilizzati anche per servizi giornalistici regionali e nazionali e sono stati inseriti in programmi televisivi di Rai Educational o all'interno della trasmissione Focus.

Chiaramente non poteva mancare la ricostruzione virtuale della stessa Specola e delle stanze storiche, come la sala Meridiana. Il video prodotto, visionabile su YouTube,<sup>1</sup> mostra com'è fatta la stanza, attraverso un volteggio della telecamera virtuale, e quali strumenti essa conservi, ossia il settecentesco quadrante murale e la linea meridiana con il suo analemma, e testimonia come l'intera stanza sia essa stessa uno strumento (Fig. 5).



**Fig. 5.** Un frame tratto dal video che riproduce virtualmente il funzionamento della Sala Meridiana (©Marco Dima 2011).



**Fig. 6.** Modello 3D della Specola di Padova, così come si presenta allo stato attuale (©Marco Dima 2016).

<sup>1</sup> Il video è disponibile al seguente link: [www.youtube.com/watch?v=0no1Io5vg3o](https://www.youtube.com/watch?v=0no1Io5vg3o)



Avendo a disposizione tutta la documentazione storica, l'intera torre dell'Osservatorio è stata oggetto della ricostruzione 3D. Partendo da rilevamenti sul posto e dalle misure effettuate sui disegni originali dell'architetto Cerato, abbiamo ricostruito la specola in 3D sia per come è oggi, sia per come era nel 1777, sia per come si presentava ai tempi del Castello Carrarese (Fig. 6).

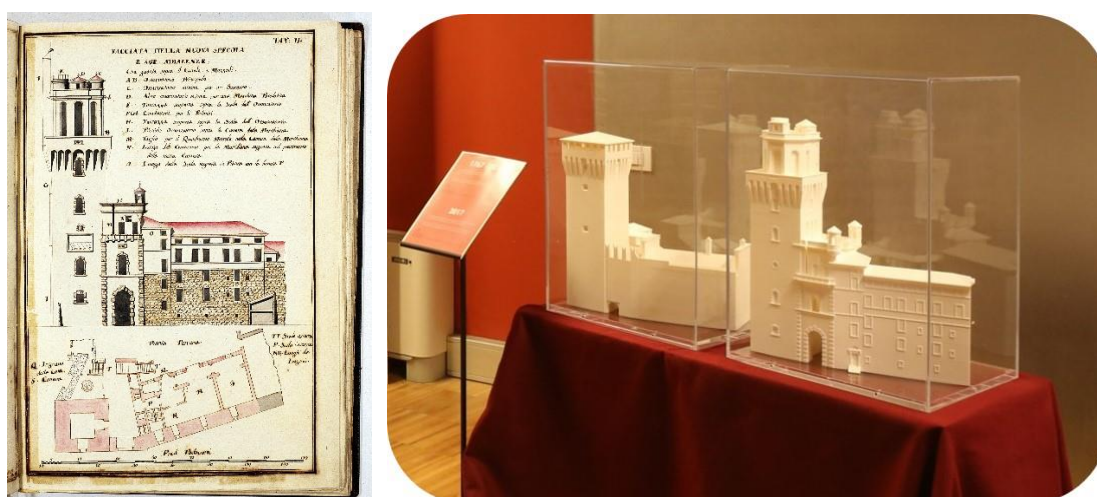
### 3. La stampa 3D

Se la CG3D è quell'insieme dei processi che porta alla costruzione di un modello sintetico tridimensionale, la Stampa 3D (S3D) è quel procedimento che consente di produrre materialmente il modello. Esistono svariate tecniche di prototipazione rapida, e tale sistema produttivo abbraccia l'utilizzo di vari materiali tra i quali: la plastica, i metalli e le resine. La S3D utilizza la tecnica della stratificazione additiva, ossia, il modello sintetico viene 'tagliato' in tante fette, di spessore pari alla capacità risolutiva della macchina che andrà poi a riprodurre l'oggetto modellizzato proprio riproducendo, per strati, ogni singola fetta. Lo spessore degli strati può andare da pochi decimi di millimetro a decine di micrometri. La stampante poi, si occupa di spalmare il materiale di ogni sezione, strato dopo strato, fino a coprirne tutto il suo sviluppo verticale.

All'Osservatorio di Padova i primi passi con questa tecnologia sono stati mossi nel 2014, grazie all'acquisto di una stampante 3D di tipo FDM. Le stampanti FDM (Fused Deposition Modeling) sono macchine che fondono un filamento plastico di 2 millimetri di diametro; un estrusore, che riduce questo diametro, deposita quindi il materiale che produce la stampa. La risoluzione dello strato depositato dalla macchina arriva fino a un decimo di millimetro. Nel corso degli anni, è stata accumulata una certa esperienza nella prototipazione di *mockup* di strumenti, edifici e attrezzatura a supporto dei laboratori di ottica. Una delle peculiarità di questo tipo di stampa è la resistenza meccanica del materiale, ABS in questo caso, un tipo di plastica largamente impiegato per gli involucri di elettrodomestici, i mattoncini LEGO e molto altro.

Grazie a queste attrezzature, e soprattutto grazie all'esperienza acquisita, nel 2017, in occasione dei festeggiamenti per il 250esimo anniversario della fondazione del nostro Osservatorio, siamo riusciti a riprodurre materialmente in scala 1:100 la Specola di Padova, così come essa si presentava nel 1777.

La ricostruzione grafica è partita da rilievi eseguiti manualmente con metro laser e con l'ausilio dei disegni di progetto planimetrici realizzati dall'architetto Domenico Cerato e collaboratori attorno al 1766.



**Fig. 7.** A sx., uno screen shot dei progetti del Cerato; a dx. i modelli in scala 1:100 del Castelvecchio (aspetto degli inizi del XVIII secolo) e della Specola del 1777.

Grazie ai progetti del Cerato è stato possibile ricostruire anche il castello Carrarese, nelle condizioni in cui esso si trovava prima di essere trasformato in Specola (Fig. 7). Attualmente questi modelli sono esposti al Museo *La Specola*, la sezione museale dell'Osservatorio. Nel corso delle visite, quindi i visitatori possono comprendere quali trasformazioni abbiano interessato questo edificio in circa due secoli e mezzo di storia.

Nel 2022 l'Osservatorio ha acquistato una seconda S3D, ma questa volta si è orientato su di una Inkjet, una macchina con una risoluzione dello strato fino a 16 micron, che stampa a colori e con vari materiali polimerici. La stampante nebulizza opportunamente una resina e attraverso una lampada ultravioletta la solidifica. Grazie a questa macchina, capace di stampare anche materiali trasparenti, stiamo cercando di indagare la possibilità di produrre ottiche e specchi.

Usando i dati che ci giungono dalle varie missioni spaziali, come la Mars Global Surveyor e la missione Osiris Rex, siamo riusciti a riprodurre le stampe 3D a colori del pianeta Marte e dell'asteroide Bennu (Fig. 8). I dati sono stati trattati con il software Blender e le stampe riprendono fedelmente le proporzioni delle strutture che caratterizzano i vari soggetti mettendo alla luce, come nel caso di Marte, le dimensioni del Monte Olimpo e del grande canyon Valles Marineris rispetto alle dimensioni del pianeta.



**Fig. 8.** Riproduzione 3D a colori di Marte (a sx., diametro 11cm) e di Bennu (a dx., diametro 7cm). Bennu è un asteroide near Earth con un diametro medio di 500 metri.

#### 4. Conclusioni

Grazie a queste attrezzature negli ultimi 15 anni siamo riusciti a produrre video e stampe 3D che ci hanno permesso di diffondere informazioni tecnico-scientifiche sia nel settore professionale che nel settore divulgativo che nel settore storico museale.

In particolare, sotto il profilo del patrimonio culturale, il risultato di questo processo evolutivo da un punto di vista tecnologico, dà la possibilità di aumentare la platea degli uditori e dei fruitori del patrimonio stesso. Grazie ai visori e ai telefoni integrabili in visori, è possibile infatti trasportare gli individui in posti e luoghi inaccessibili creando inclusività, basti pensare alle persone con disabilità motorie.

Anche la stampa 3D porta con sé un grande potenziale di inclusività in quanto grazie ad essa possiamo stampare oggetti come pianeti, satelliti, asteroidi e renderli accessibili al pubblico più variegato. Proprio in quest'ambito dell'inclusività, abbiamo stampato varie galassie nella banda dell'UV e dell'IR, in modo tale che persone ipovedenti e non vedenti potessero meglio percepire come le varie bande consentano di rilevare le varie strutture degli oggetti che si osservano.

È chiaro dunque che queste tecnologie, sempre più alla portata di tutti, sono oramai indispensabili non solo in campo tecnologico ma anche nella terza missione, ed è nostro compito e dovere usarle al meglio, in modo da abbracciare una platea sempre più ampia di pubblico.

### **Bibliografia**

- Dima, M. *et al.* (2010). "Handling complex adaptive optics concepts including the third and fourth dimensions", *SPIE Digital Library*, 7736, 77365I. doi: 10.1117/12.857354
- Dima, M. *et al.* (2014). "From 3D view to 3D print", *SPIE Digital Library*, 9143, 91435E. doi: 10.1117/12.2056502
- Dima, M. *et al.* (2016). "A display model for the TOU of PLATO: just a cool toy or a benchmark of opportunities?", *SPIE Digital Library*, 9904, 990432. doi: 10.1117/12.2232938.
- Dima, M. & Di Giacomo, F. (2023). "Stampa di tavolette tattili per il Festival di Astronomia di Castellaro Lagusello", *Rapporti tecnici INAF*. Available at: <http://hdl.handle.net/20.500.12386/33835> (Accessed: 30 giugno 2024).
- Zanini, V., Di Giacomo, F. & Dima, M. (2020). "Tour virtuale del Museo *La Specola*, il Museo dell'Osservatorio Astronomico di Padova". Available at: <http://hdl.handle.net/20.500.12386/32867> (Accessed: 30 giugno 2024).

# Le prime osservazioni astronomiche in fotografia e le immagini conservate nell'archivio Inaf-Osservatorio Astronomico di Roma. Studio preliminare a supporto del restauro conservativo

Tiziana Macaluso<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INAF-OAR, tiziana.macaluso@inaf.it

*Abstract:* The first astronomical images, preserved at Inaf-OAR archive, are three daguerreotypes taken by Angelo Secchi in 1851 on the occasion of the total solar eclipse, at the Collegio Romano Observatory. During the same eclipse, at the Royal Observatory of Koenigsberg in Prussia, Julius Berkowski obtained the first daguerreotype of the totality.

Afterwards, in 1857, Angelo Secchi undertook to photograph the different phases of the Moon, obtained with the Collegio Romano Merz equatorial telescope. They used collodion glass plate negatives printed on albumen paper.

The *Fasi lunari* photographs represent the first photographic atlas of the Moon, presented on 28th August 1858 to the *Parisian Academie des Sciences*, and then to the London Observatory of Greenwich.

In 1860, Angelo Secchi observed the solar eclipse, during an expedition to Las Palmas de Gran Canaria. During the eclipse, he found three solar prominences and it was the first proof of their existence. The image of the totality of the solar eclipse was fundamental to prove that the corona belonged to the Sun rather than to the Moon.

These photographs, salted papers, albumen prints, daguerrotypes, collodion glass plate negatives, are the first historical photographic technique, as well as among the first astronomical observations through photography.

Historical study and diagnostic analyses of these photographs, to characterize the nature of the compounds and the state of degradation, will enrich knowledge both in historical and scientific fields, and it will support the future restoration, that it will take place according to some collaboration with universities, teaching on conservation.

*Keywords:* Angelo Secchi, Astronomical photography, Conservation

## 1. Le fotografie di Angelo Secchi nel Fondo iconografico Inaf-Osservatorio Astronomico di Roma

Il padre gesuita e astronomo Angelo Secchi (1818-1878) fu pioniere nell'utilizzo in campo scientifico dei procedimenti fotografici delle origini, per fotografare e studiare il Sole e la Luna.

Alcune delle immagini che produsse tra il 1851 e il 1860 sono conservate nel fondo iconografico Inaf-Osservatorio Astronomico di Roma e sono testimonianza delle prime osservazioni del cielo attraverso il mezzo fotografico. Queste immagini sono parte di un vasto archivio, che comprende documenti che testimoniano la storia dell'astronomia principalmente a partire dal XIX secolo, costituito dal patrimonio ereditato dalle due più importanti specole romane, l'Osservatorio del Collegio Romano, di cui Angelo Secchi fu anche direttore, e l'Osservatorio del Campidoglio.

La documentazione archivistica include lettere di scienziati italiani e stranieri, manoscritti, fogli di osservazioni e di calcoli, registri, opuscoli a stampa, a cui si aggiunge un Fondo iconografico composto da opere d'arte su carta, stampe e fotografie dal XVII al XX secolo. Le immagini raffigurano ritratti di astronomi e strumenti scientifici, tavole di documentazione scientifica, momenti di spedizioni astronomiche ottocentesche, oltre a materiali iconografici vari (atlanti, calendari). A questo nucleo, si

aggiungono anche i materiali raccolti dallo studioso polacco Artur Wolynski (1844-1893), che nel 1873 donò allo stato italiano le collezioni dedicate a Copernico e volle fermamente la costituzione di un Museo astronomico e Copernicano. Oggi, il Museo ha sede a Villa Mellini, sulla collina di Monte Mario, sede dell'allora Osservatorio astronomico di Roma.

## **2. Il Sole e la Luna in dagherrotipia prima di Angelo Secchi, qualche immagine giunta fino a noi.**

Pochi giorni prima che il procedimento fotografico di sua invenzione fosse presentato il 9 gennaio 1839, Louis Jacques Mandé Daguerre (1787-1851) tentò di riprendere la Luna in dagherrotipia. Della Luna di Daguerre si conserva la riproduzione, essendo l'originale andata perduta durante un incendio che distrusse il suo studio (Bajac 2000, p. 11).

Quindi, la prima immagine della Luna giunta ai nostri giorni è un dagherrotipo di John William Draper (1811-1882) che raffigura la Luna nell'ultimo quarto, ripresa il 26 marzo 1840 dai tetti dell'osservatorio della New York University, con tempo di esposizione di 20 minuti, in cui risulta capovolta con 2,5 cm di diametro (Zannier & Olatiz 2004, p. 6).

Il Sole, invece, venne fotografato in dagherrotipia con maggiore difficoltà, per via dell'eccesso di luce che sovraesponneva la lastra. Armand Hippolyte Louis Fizeau (1819-1896) e Léon Foucault (1819-1868) riuscirono in questa impresa e il 2 aprile 1845, alle 9h 45m, ripresero il Sole presso l'Osservatorio astronomico di Parigi (Bajac 2000, p. 13). L'immagine, conservata presso il Musée des Arts et Métiers, venne fotografata in 1/60 di secondo e in essa sono visibili le macchie solari.

## **3. L'eclissi di Sole del 28 luglio 1851 in dagherrotipia**

Nel 1843, Angelo Secchi e l'allora direttore del Collegio Romano, suo predecessore, Francesco de Vico (1805-1848) avevano tentato di fotografare la Luna in dagherrotipia, senza il successo sperato.

Secchi tentò nuovamente qualche anno più tardi e il 28 luglio del 1851, mentre era direttore dell'Osservatorio astronomico del Collegio Romano, dalla torre Calandrelli riuscì a fermare l'eclissi totale di Sole su lastra dagherrotipica. Con il cannocchiale Cauchoix, produsse per la prima volta, con un buon risultato, tre dagherrotipi, in cui trovò anche testimonianza della corona solare. I dagherrotipi furono montati in cornice lignea insieme a nove negativi al collodio su lastra di vetro, in modo da documentare l'eclissi nelle sue fasi.

Dopo questi tentativi non sò che siansene fatti altri fino all'epoca dell'eclissi del 1851 agli 8 luglio in cui vennero con gran successo prese al Collegio Romano diverse fasi del Sole eclissato, allo stesso cannocchiale di Cauchoix applicando all'oculare una camera oscura, nella quale si accoglieva l'immagine del Sole ingrandita dall'oculare. Queste fatte con diaframma grande di 60 millim. vennero perfettissime e la precisione fu tale da render sensibili le montagne lunari proiettate sul disco solare (Secchi 1859, p. 158).

L'immagine ingrandita dall'oculare ha sulla lamina un diametro di 75 millim. Un poco di vento agitando il cannocchiale ha prodotto qualche sfumatura ai contorni, ma non tanta da nuocere alla precisione dell'immagine, talché sono visibilissime nell'orlo interno della fase le scabrezze del corpo lunare proiettate sul disco del sole. Non è mia cognizione che siasi finora applicato il dagherrotipo ad osservazioni astronomiche in tempo di eclisse, ma parmi che potrebbe trarsene qualche vantaggio [...]. Le conseguenze fisiche che si deducono da queste esperienze sono interessanti.

La tinta dei dagherrotipi turchinicia al centro, e bianco rosata agli orli mostra la forza chimica esser più efficace al centro che alla circonferenza del disco solare[...]. Più prove con questo strumento danno l'orlo della luna impressi nettissimamente (Secchi 1852, p. XIII).





**Fig. 1.** Angelo Secchi, *Eclissi di sole*, 1851. Dagherrotipi e negativi al collodio su vetro. Roma, Inaf-OAR.

Nello stesso momento, l'Osservatorio Reale Prussiano a Königsberg commissionò al dagherrotipista Johann Julius Friedrich Berkowski (1810-1892) di fotografare l'eclissi. Con una esposizione di 84 secondi dopo la totalità ottenne un'immagine in cui si notavano la corona solare e le protuberanze.

Anche John Adams Whipple (1822-1891) e George Philips Bond (1825-1865), particolarmente attivi nella ripresa dei corpi celesti in quegli anni, fotografarono l'eclissi nella parzialità. Il dagherrotipo, di formato 121x110 mm, è conservato presso l'Osservatorio del Collegio di Harvard (Bajac *et al.* 2000, pp. 115-116).

Il rilievo scientifico di queste immagini risiede nell'evidenziare per la prima volta l'esistenza della corona solare e delle protuberanze come fenomeni fisici appartenenti al Sole, ipotesi che a quel tempo però non accomunava la comunità astronomica.

#### **4. Il primo atlante lunare su carta all'albumina, 1858: A. Secchi *Mappe fotografiche delle principali fasi lunari***

Qualche anno dopo, nel 1857, Angelo Secchi, in collaborazione con il farmacista Francesco Barelli, appassionato di fotografia, si accinse a fotografare la Luna. Questa volta si scelse un procedimento fotografico su carta sensibilizzata all'albumina sulla quale si stamparono le fasi lunari riprese su lastra negativa al collodio umido. Il negativo raffigurante le fasi lunari fu ottenuto con la camera oscura applicata al telescopio equatoriale Merz del Collegio Romano, che seguiva il movimento della Luna per mezzo di un sistema combinato automatico e manuale.

Le sette immagini costituiscono il primo atlante lunare,<sup>1</sup> che il 28 agosto 1858 fu presentato presso l'*Académie de Sciences de Paris*, e successivamente all'Osservatorio astronomico di Greenwich. Alcune fotografie furono anche proposte con successo in occasione dell'Esposizione Nazionale di Firenze del

<sup>1</sup> In precedenza, nel 1838, François Jean Dominique Arago auspicava di realizzare una mappa lunare con la dagherrotipia (Bajac 2000, p. 20).

1861 e Francesco Barelli, per la partecipazione allo studio e alla realizzazione delle fotografie, fu premiato e insignito di una menzione per merito scientifico (Chinnici 2020, p. 53).

L'album contiene un'introduzione a stampa e otto tavole con stampe all'albumina delle fasi lunari che corrispondono al 4°, 5°, 6°, 7°, 8°, 10°, 12° giorno della fase e al 14° (o plenilunio).



**Fig. 2.** Angelo Secchi, *Fasi lunari*, 1857. Stampe all'albumina. Roma, Inaf-OAR.

Le stesse fotografie furono montate anche su un cartone ed esposte in cornice, conservate presso Inaf-Osservatorio Astronomico di Roma. In queste immagini, la Luna è ripresa in età di 4, 5, 6, 8, 10, 12 giorni, così come si evince dalle iscrizioni manoscritte di Secchi. Sono collocate secondo una sequenza di lettura antioraria che dovrebbe iniziare dalla prima in basso, a sinistra.

Le immagini sono particolarmente dettagliate e restituiscono la morfologia lunare. Rispetto ai disegni lunari disegnati fino a quell'epoca, queste fotografie della Luna, con nitidezza realistica e fedele, sono immagini normalizzate e comparabili.

Due copie di piccolo formato furono inviate al professore di matematica Bernardino Catelani che le donò al medico e botanico Paolo Terrachini (1812- 873), e sono oggi conservate in cornice presso la biblioteca Panizzi di Reggio Emilia (Chinnici 2020, p. 51).

### 5. L'eclisse di Sole del 18 luglio 1860 su carta salata

Nell'estate del 1860, Angelo Secchi partecipò alla spedizione osservativa in Spagna per l'eclisse di Sole del 18 luglio, invitato dal direttore dell'Osservatorio di Madrid Antonio Aguilar (1820-1882), con il supporto finanziario di Papa Pio IX. Stabilì la stazione osservativa presso il convento dei Carmelitani Scalzi nel deserto di Las Palmas de Gran Canaria. Con il telescopio Cauchoix, trasportato per l'occasione e la collaborazione con il prof. José Monserrat, chimico all'Università di Valencia, per l'assistenza fotografica, ottenne nove negativi stampati su carta salata comprensivi della totalità dell'eclissi (Chinnici 2022). Le immagini riportano annotazioni manoscritte di Angelo Secchi, per indicare la posizione delle protuberanze.

Nella stessa occasione, la Royal Navy mise a disposizione il veliero Himalaya per il trasporto da Bilbao a Santander di circa sessanta astronomi con la loro strumentazione, tra i quali Warren de la Rue (1815-1889) astronomo, chimico e fotografo, l'astronomo George Biddell Airy (1801-1892) e l'astronomo Otto Struve (1819-1905) da Pulkovo. Warren de la Rue si stabilì a Rivabellosa e, con l'aiuto di George Biddell Airy e un fotoeliografo costruito in collaborazione con John Herschel, riprese quaranta immagini dell'eclisse su carta albuminata, di cui sette conservate presso la Royal Astronomical Society (Bajac *et al.* 2000, p. 117).

Successivamente, in una lettera del 15 settembre del 1860 (Chinnici 2020, p. 99) Warren de la Rue concordò con Angelo Secchi sul risultato delle osservazioni e dal raffronto delle immagini da loro prodotte si confermò definitivamente l'appartenenza della corona al Sole come fenomeno fisico e l'esistenza delle protuberanze. Queste fotografie funsero, quindi, da tramite per questa rilevante scoperta scientifica.



**Fig. 2, sinistra.** Osservazione dell'eclissi di Sole del 18 luglio 1860 a Las Palmas de Gran Canaria, 1860. Carta salata, Roma, Inaf-OAR.

**Fig 2, destra.** Angelo Secchi, *Eclisse di Sole del 18 luglio 1860*, 1860. Carte salate, Roma, Inaf-OAR.

## 6. I procedimenti fotografici delle origini nelle osservazioni astronomiche di Angelo Secchi

Le immagini riprese da Angelo Secchi testimoniano come, nel periodo che intercorre tra l'invenzione della fotografia nel 1839 e il trentennio successivo, le conferme e le scoperte scientifiche astronomiche progredirono con l'evolversi della tecnologia fotografica.

Agli albori della nuova tecnologia di rappresentazione della realtà, lo scienziato e astronomo François Jean Dominique Arago (1786-1853) affermò:

I reattivi scoperti da Daguerre accelereranno i progressi di una delle scienze che di più onorano la mente umana. Con il loro aiuto lo scienziato potrà procedere per via di intensità assolute [...]. Se sarà utile, lo stesso quadro gli darà delle tracce dei raggi abbaglianti del Sole, dei raggi della Luna, trecentomila volte più deboli, dei raggi delle stelle (Zannier & Olatiz 2004, p. 4).

Lo stesso Angelo Secchi, nel saggio *Fotografie lunari e degli altri corpi celesti* pubblicato nel 1859, scrisse a proposito: “La fotografia, questa bella conquista della moderna chimica, che tanti servizi ha reso allo studio delle belle arti e della fisica, non poteva restare inoperosa nelle mani degli astronomi una volta che fossero arrivati a rendersene padroni” (Secchi 1859, p. 158).

Queste prime immagini celesti ai sali d'argento, che precedettero le tecniche fotografiche moderne, furono definite dall'astronomo francese Hervé Faye (1814-1902) “portrait d'astres” (Bajac 2000, p. 15) a evidenziare la funzione ritrattistica del nuovo strumento espressivo. Qualche decennio più tardi, però, con l'avvento della produzione su scala industriale intorno al 1880, la fotografia fu riconosciuta

pienamente come metodo di indagine scientifica e “Dépassant le simple système solaire où elle était confinée, la photographie peut enfin partir à la conquête de l’Univers” (Bajac 2000, p. 21).

Di seguito, in ordine cronologico di invenzione, sono indicati i procedimenti che furono utilizzati e sperimentati da Angelo Secchi, che seguì scelte dettate anche dalla loro innovazione. Infatti, proprio in quegli anni se ne perfezionava la resa dei dettagli e si acceleravano i tempi di realizzazione.

### **6.1 Dagherrotipo: eclissi di Sole del 28 luglio 1851**

La scoperta di una tecnica per dipingere con la luce fu pubblicata il 6 gennaio 1839 sul quotidiano *Gazette de France* e il 19 gennaio sul *Literary Gazette*. L’annuncio e il brevetto del dagherrotipo, inventato da Louis Jacques Mandé Daguerre, furono presentati il 9 gennaio 1839 dallo scienziato François Jean Dominique Arago, presso l’Académie des Sciences de Paris.

Il periodo di produzione del dagherrotipo durò circa venti anni e fu utilizzato soprattutto per la ritrattistica in studio. Le caratteristiche principali erano quelle di essere un positivo diretto, unico e irriproducibile e di apparire negativo o positivo se riflesso su una superficie chiara o scura.

Il metodo originario di Daguerre, infatti, era realizzato su una placca di rame argentata di dimensioni che variavano dalla lastra intera (165x215 cm) alle sue frazioni. La lastra veniva lucidata a specchio con polveri abrasive sempre più fini e sensibilizzata all’interno di una scatola contenente cristalli di iodio che, reagendo con l’argento, formavano ioduro d’argento sensibile alla luce. La successiva esposizione per alcuni minuti nella camera oscura creava un’immagine *latente* che era sviluppata con vapori di mercurio emessi per riscaldamento, formando così, nelle zone esposte alla luce, un amalgama opaco e bianco di argento e mercurio. L’immagine, per essere stabilizzata, era fissata con cloruro di sodio, in seguito sostituito dall’iposolfito di sodio che non si limitava a stabilizzare l’immagine, ma scioglieva anche i sali d’argento residui. L’immagine ottenuta risultava essere particolarmente delicata e, per proteggerla da possibili abrasioni o dagli agenti ambientali, si preservava all’interno di un montaggio che, a seconda del luogo di produzione, si distingue in francese o americano.

### **6.2 Carta salata: l’eclissi di Sole del 18 luglio 1860**

Il 25 gennaio 1839 William Fox Talbot (1800-1877) presentò il procedimento fotografico negativo su carta, alla Royal Society, il calotipo, che era stampabile in positivo su carta in infinite copie.

Il procedimento su carta salata prevedeva il trattamento del foglio per galleggiamento con una soluzione diluita di cloruro di sodio e con una soluzione concentrata di nitrato d’argento. Il foglio sensibilizzato era esposto alla luce del Sole a contatto con un calotipo, in un torchio fotografico. Una volta impressa l’immagine, era lavato in acqua per eliminare l’eccesso di nitrato d’argento. Infine, era necessario il fissaggio con una soluzione di iposolfito di sodio per eliminare le particelle di argento che non avevano ricevuto la luce e in questo modo si stabilizzava l’immagine.

L’immagine della carta salata è direttamente sul foglio di carta e per questo motivo ha una scarsa definizione dell’immagine, che si confonde tra le fibre.

Le proprietà dell’iposolfito di sodio in fotografia furono scoperte da un altro illustre scienziato astronomo, John Frederick William Herschel (1792-1871), di cui, nelle collezioni Inaf-OAR, si conserva un ritratto su carta all’albumina della fotografa inglese pittorialista Julia Margaret Cameron (1815-1879).

### **6.3 Carta all’albumina: Mappe fotografiche delle principali fasi lunari**

Nel 1850, Louis-Désiré Blanquart-Evrard (1802-1872) introdusse il procedimento su carta all’albumina con il quale si potevano ottenere immagini più contrastate, brillanti e definite rispetto alla stampa su carta salata. L’immagine, infatti, non era inglobata tra le fibre della carta e quindi confusa nelle irregolarità dei filamenti fibrosi, ma veniva isolata da uno strato di albumina contenente cloruro di sodio sul quale, al momento dell’utilizzo, veniva steso nitrato d’argento.

La carta, di ottima qualità e sottile, era fatta galleggiare sull'albumina, ottenuta dall'albume d'uovo, che veniva filtrata e addizionata di cloruro di sodio. Una volta asciutta e stagionata per alcuni giorni, era fatta fluttuare sul nitrato d'argento in modo da dare origine al cloruro d'argento, sensibile alla luce. Il foglio sensibile era esposto alla luce all'interno di un torchietto fotografico.

L'immagine, ottenuta per annerimento diretto, si fissava con iposolfito di sodio e generalmente si virava all'oro, per donare tonalità più gradevoli delle originarie.

Sulla superficie, già di per sé abbastanza lucida, poteva essere stesa una vernice che la rendeva ancora più brillante e spesso venivano montate su cartoncino per evitare che si arrotolassero, a causa della sottigliezza del supporto cartaceo.

## 7. Tutela e valorizzazione

Sui beni cartacei e fotografici conservati presso l'Osservatorio astronomico di Roma sono state condotte, e sono in corso, operazioni di tutela per preservare e valorizzazione queste significative testimonianze storiche e scientifiche.

Come attività iniziale, è stata eseguita una revisione conservativa dei materiali in modo da determinare la mappatura dello stato conservativo dei manufatti e sono stati analizzati gli ambienti di conservazione, per migliorare gli spazi conservativi.

Il fondo iconografico è stato catalogato su schede ICCD (OA e F), con il software gestionale Sicapweb. I dati raccolti sono relativi alla descrizione analitica dei beni, con le informazioni sugli aspetti fisici e di contenuto, l'analisi e la contestualizzazione storica e topografica, il monitoraggio dello status fisico e amministrativo dei beni.

Sono in corso, anche, interventi di restauro che hanno come obiettivo la stabilizzazione dello stato conservativo dei beni con modalità di minimo intervento, dove possibile, inteso come valutazione critica e scelta delle operazioni meno invasive, in modo da arrestare o rallentare i fattori di deterioramento e recuperare la leggibilità delle immagini (Brandi 1963).

Sono stati effettuati approfondimenti interdisciplinari in modo da rilevare lo stato di conservazione e definire la fenomenologia di deterioramento, con l'individuazione delle cause dirette e indirette dei principali degradi (fisici, chimici, biologici) di tipo intrinseco, legati principalmente ai costituenti dei manufatti, di carattere antropico e di carattere ambientale (derivanti dall'esposizione a fonti deteriorene esterne quali T, UR, luce, contaminanti dispersi nell'aria).

In particolar modo, sono state necessarie alcune indagini diagnostiche per caratterizzare la tecnica esecutiva, la natura dei costituenti e dei degradi chimici e biologici.

Le attività sono state svolte, anche, attraverso docenze e tirocini a seguito di convenzioni con istituti e università che si occupano di formazione sui beni culturali (Università degli Studi di Torino, Università degli Studi di Palermo, corsi di laurea in Conservazione e Restauro dei Beni Culturali, Centro Conservazione e Restauro "La Venaria Reale", SAF-Icpal).

## Bibliografia

- Adamo, M., Mate', D. & Rossi L. (2016). *Fotografie, orientamenti sulla conservazione*. Firenze: Nardini.
- Bajac, Q., De Gouvion Saint-Cyr, A. & Canghaiem, D. (2000). *Dans le champ des étoiles. Les photographes et le ciel: 1850-2000*. Parigi: Edition de la Réunion des musées nationaux.
- Calisi, M. (2000). *Storia e strumenti del museo astronomico e copernicano di Roma, guida alle collezioni*. Roma: Osservatorio Astronomico di Roma.
- Chinnici, I. & Consolmagno, G. (2021). *Angelo Secchi and Nineteenth Century Science: The Multidisciplinary Contributions of a Pioneer and Innovator*. Cham: Springer.

- Chinnici, I. (2022). *Appunti di un gesuita scienziato. I diari di viaggio di Angelo Secchi SJ 1860-1875*. Firenze: Leo S. Olschki.
- Chinnici, I. (ed.) (2020). *Tra cielo e Terra. L'avventura scientifica di Angelo Secchi*. Napoli: Prisma editrice.
- D.M. 10 maggio 2001. *Atto di indirizzo sui criteri tecnico- scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei* (Art. 150, comma 6, del D.Lgs. n. 112 del 1998).
- Gasparini L. (1990). "Padre Angelo Secchi e l'applicazione della fotografia nelle osservazioni astronomiche", *Fotologia*, 12, pp. 34-47.
- Gasparini L. (1999). "Fotografie e astronomia. Gli esperimenti di Padre Angelo Secchi", in *Fotografia e astronomia nelle immagini degli Archivi Alinari e dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri*. Catalogo della mostra. Firenze: Alinari.
- Lavedrine, B. & Gandolfo, J.-P. & Monod, S. (2007). *(re)Connaître et conserver les photographies anciennes*. Parigi: CTHS.
- Residori, L. (2009). *Fotografie, materiali fotografici, processi e tecniche, degradazione, analisi e diagnosi*. Padova: Il Prato.
- Scaramella, L. (1999). *Fotografia. Storia e riconoscimento dei procedimenti fotografici*. Roma: De Luca.
- Secchi, A. (1852). *Memorie dell'Osservatorio dell'Università Gregoriana del Collegio Romano diretto dai PP. della Compagnia di Gesù. Anno 1851*. Roma: Tipografia delle Belle Arti.
- Secchi, A. (1859). "Fotografie lunari e degli altri corpi celesti", in Secchi A. (ed.) *Memorie dell'Osservatorio del Collegio Romano. Nuova Serie dell'anno 1857-1859*. Roma: Tipografia delle Belle Arti, pp. 158-160.
- Zannier, I. & Olatiz L. (2004). "Fotografia astronomica e pionierismo veneto", *Fotostorica*, 29/30, pp. 4-13.

# La costruzione di specole per gli osservatori astronomici nel Novecento: le realizzazioni A. Bombelli

Lorenzo Savio<sup>1</sup>, Tanja Marzi<sup>1</sup>, Daniela Bosia<sup>1</sup>, Virginia Bombelli<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politecnico di Torino, Dipartimento di Architettura e Design, lorenzo.savio@polito.it, tanja.marzi@polito.it, daniela.bosia@polito.it

<sup>2</sup> Associazione A. Bombelli 1889, virginia.b@bombelli.org

*Abstract:* Many of the architectures of the first and second half of the 20th-century are characterized by technological innovations that modify the architectural lexicon, the appearance and functioning of the buildings and require a new organization of the design activity and the construction process. The evolution of observation instruments and the need to find places uncontaminated by urban light pollution led, during the 20th-century, to the construction of new astronomical observatories. The contribution presents, through the documentation of case studies and unpublished archival materials, some realizations of 'A. Bombelli', a metal construction company founded in Milan in 1889 and active, in the historic Lambrate site, since the 1920s. Throughout the years the company has specialized in the construction of the structures of astronomical domes, with different movement and opening systems, in perfect design and construction synergy with the needs of the astronomers. Inside Bombelli's plant there was a specific building, called *Specole shed*, which was dedicated exclusively to the assembly and testing of the mechanical efficiency and movement functioning of these technological systems. Between 1919 and 1963, A. Bombelli built about 14 domes in Italy, many of which are still preserved and functioning in the main observatories (among these: Brera, Merate, Capodimonte, Arcetri, Rome Monte Mario, Monte Porzio Catone, Campo Imperatore, Pino Torinese, Trieste, Castel Gandolfo). The study intends to investigate some constructive-technological aspects relevant also for the protection and enhancement of this special architectural heritage.

*Keywords:* Astronomical domes, 20th-century architectural heritage, Construction and building materials, Steel structures

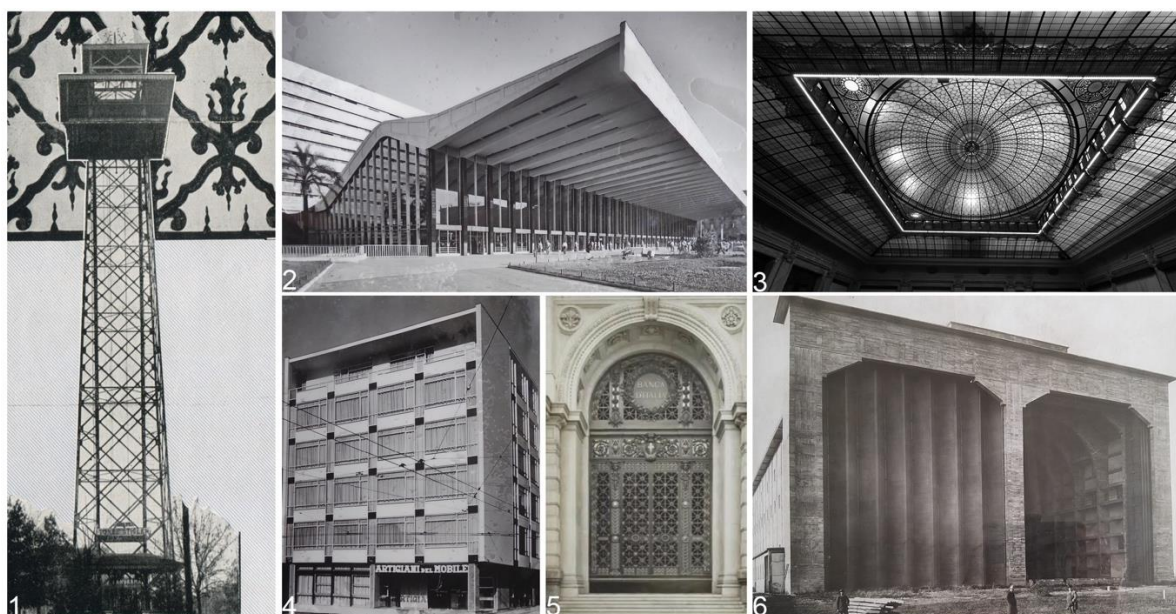
## 1. I sistemi tecnologici della A. Bombelli: un secolo di attività nel settore delle costruzioni metalliche

Molte delle architetture del primo e secondo Novecento sono caratterizzate da innovazioni tecnologiche che trasformarono il lessico architettonico, l'aspetto e il funzionamento degli edifici e resero necessaria una nuova organizzazione dell'attività progettuale e del processo costruttivo. Più che nel passato, l'architetto necessitava delle conoscenze specifiche degli uffici tecnici delle imprese costruttrici per definire a livello esecutivo soluzioni architettoniche innovative. L'esperienza di stretta collaborazione con i professionisti aiutò le imprese ad intercettare le esigenze del mercato e a brevettare con successo prodotti e sistemi tecnologici. È il caso della A. Bombelli, impresa specializzata in costruzioni metalliche fondata a Milano nel 1889 e attiva, nella storica sede di Lambrate, dagli anni Venti del Novecento a fianco di progettisti come Luca Beltrami, Giuseppe Momo, Gio Ponti, Marcello Piacentini, Piero Portaluppi, in importanti opere riconosciute oggi come patrimonio culturale (Fig. 1). Fin dall'inizio dell'attività, la Ditta "Francesco Villa di Angelo Bombelli" (che prenderà il nome "Angelo Bombelli" dal 1907) è fornitrice della Real Casa Savoia, ricevendo nel 1906 il Diploma di Primo Grado all'Esposizione Internazionale di Milano e nel 1910 il Diploma d'Onore all'Esposizione Internazionale di Buenos Aires.

L'archivio della A. Bombelli è costituito principalmente da progetti esecutivi di sistemi tecnologici forniti per le diverse commesse. Oltre alle "cartelle" nominate per opera, sono presenti raccolte di



progetti suddivisi per i diversi “sistemi tipo”, come serramenti, facciate continue, cancellate, specole per osservatori astronomici. Tra questi troviamo alcune tecnologie molto particolari, che prevedono speciali meccanismi di azionamento e di movimentazione, in cui la ditta si specializzerà con numerosi brevetti (Savio *et al.* 2022), sviluppando soluzioni originali e innovative, come le cancellate con sistema saliscendi o le aperture a pacchetto scorrevoli su binari per hangar di dirigibili (Savio, Marzi & Bosia 2022). La cancellata saliscendi del complesso monumentale del Vittoriano, lunga 39 metri, realizzata nel 1911 con uno speciale sistema idraulico di sollevamento, è sicuramente la prima grande opportunità della ditta per essere riconosciuta a livello nazionale, garantendo nei decenni successivi numerose commesse per gli istituti bancari, le stazioni ferroviarie e le nuove infrastrutture dello Stato Vaticano. La ricerca incrociata tra i documenti conservati presso l’Archivio A. Bombelli e gli archivi dei progettisti ha consentito di ricostruire la storia dell’impresa e di alcune principali opere.<sup>1</sup>



**Fig. 1.** Esempi di opere metalliche realizzate dalla A. Bombelli: 1. Estratto da volantino pubblicitario degli anni '40 del Novecento con la struttura in alluminio della Torre Branca (Milano, 1933, Gio Ponti, C. Chiodi, E. Ferrari) e cancellata decorativa; 2. Struttura e serramenti del ristorante della stazione ferroviaria Termini (Roma, 1950); 3. Velari per Palazzo Edison (Milano, 1922); 4. Facciata in struttura metallica del Palazzo del Mobile (Cantù, 1959, G. Moscatelli); 5. Cancellata per il Palazzo della Banca d'Italia (Milano, 1907-1912, L. Broggi, C. Nava); 6. Sistemi di apertura per hangar di dirigibili (Parma, 1917) (Archivio A. Bombelli).

## 2. Cupole astronomiche A. Bombelli: principali tipologie e realizzazioni

Un sistema tecnologico in cui la ditta Bombelli si specializza riguarda le specole per l’osservazione astronomica. Si tratta di architetture speciali, dinamiche, che si muovono quasi come delle macchine. La forma è strettamente connessa alla funzione che si svolge all’interno: le dimensioni sono dettate dalle misure esatte degli strumenti astronomici che devono contenere e i sistemi di apertura sono studiati in base ai movimenti degli strumenti necessari per le diverse osservazioni astronomiche, garantendo la possibilità di direzionarli in un qualsiasi punto della semisfera sul piano d’osservazione.

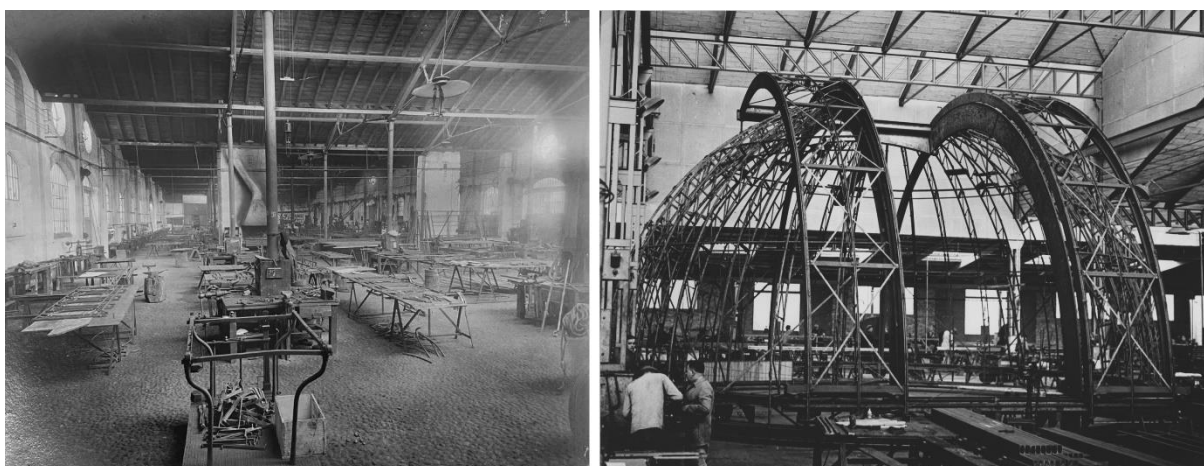
Come nel resto d’Europa, anche in Italia, a partire dall’unificazione, vi è un periodo di forte diffusione di strutture moderne per l’osservazione astronomica. In particolare, l’evoluzione degli

<sup>1</sup> Lo studio rientra nell’ambito di un Accordo Collaborativo di Ricerca (2020-2026), tra Associazione A. Bombelli e DAD-Politecnico di Torino per studiare il ruolo che l’impresa A. Bombelli ha assunto nello sviluppo del linguaggio architettonico moderno in Italia. Gruppo di ricerca DAD: D. Bosia, T. Marzi, L. Savio (coord.).



strumenti di osservazione e la necessità di trovare luoghi non contaminati dall'inquinamento luminoso delle città portarono, nel corso del Novecento, alla realizzazione di nuovi osservatori, alla cui costruzione la ditta Bombelli contribuì in perfetta sinergia progettuale e realizzativa con le esigenze degli astronomi. Tra il 1919 e il 1963 la A. Bombelli costruisce in Italia circa 14 cupole, molte delle quali ad oggi conservate e funzionanti.<sup>2</sup> Tra gli osservatori in cui realizza le proprie opere, vi sono: il Regio Osservatorio Astronomico di Brera a Milano e la stazione succursale di Merate, gli Osservatori Astrofisici di Arcetri-Firenze, Trieste, Capodimonte-Napoli, Bologna, Monte Mario-Roma, Monte Porzio Catone, Campo Imperatore-L'Aquila, Pino Torinese, il Royal Observatory Helwan in Egitto e la Specola Vaticana di Castel Gandolfo. In particolare, la ditta Bombelli si specializza nella realizzazione delle strutture delle cupole, con differenti sistemi di movimentazione e apertura, identificabili in quattro tipologie principali: specole girevoli e apribili, specole semisferiche girevoli e apribili, specole meridiane semi-cilindriche scorrevoli e apribili, specole per torri solari.

Nell'Archivio A. Bombelli si trovano cartelle di repertori con “modelli tipo” delle cupole. Qui è conservata la documentazione relativa alla realizzazione delle specole suddivise per tipologie (con diversi diametri e sistemi di apertura) ed è possibile ricostruire le fasi del processo costruttivo e le esigenze di progetto collegate all'ergonomia, alla funzionalità e alla smontabilità del sistema che vengono di volta in volta perfezionate e progettate in stretta collaborazione con i direttori degli osservatori astronomici, come testimoniato dalla cospicua corrispondenza presente in archivio.



**Fig. 2.** Alcuni reparti delle officine A. Bombelli e maestranze all'opera all'interno del “Capannone Specole” durante la costruzione della cupola per il telescopio rifrattore Merz-Repsold del Regio Osservatorio Astronomico di Brera-stazione succursale di Merate, 1936 (Archivio A. Bombelli).

La struttura è solitamente composta da centine a traliccio metallico principali e secondarie che divideranno la superficie semisferica della cupola in spicchi sui quali verrà applicata la copertura con un sistema a libera dilatazione. Il manto di copertura è realizzato con lastre in alluminio fissate su un supporto continuo costituito da un assito di legno, generalmente pioppo o larice. All'interno della ditta era presente un ufficio tecnico che si occupava non solo dei disegni esecutivi, ma anche delle verifiche strutturali, come testimoniato da documenti che riguardano proprio il “Calcolo della specola”.

Un aspetto particolarmente interessante è che queste cupole astronomiche vengono interamente costruite presso la sede dell'impresa dove sono presenti diversi reparti, che consentivano di fornire un prodotto finale completo, inclusa la lavorazione del legno necessaria per la copertura interna delle specole (Fig. 2). Nello stabilimento di Lambrate vi è addirittura uno specifico “Capannone specole”, che

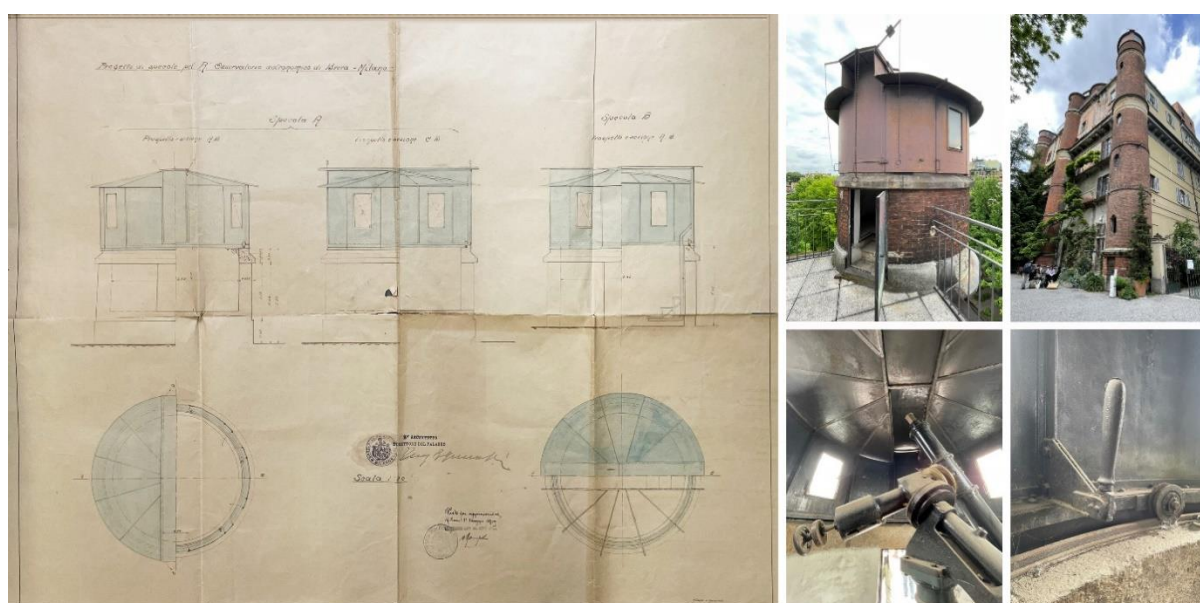
<sup>2</sup> La ricerca rientra nel Protocollo d'Intesa tra Associazione A. Bombelli 1889 (ref. V. Bombelli) e l'INAF-Istituto Nazionale di Astrofisica (ref. A. Gasperini), per la valorizzazione della documentazione relativa alla costruzione degli Osservatori Astronomici italiani, con particolare riferimento alle relazioni con l'impresa Bombelli, 2022-2024.

viene dedicato esclusivamente al montaggio e alla verifica del funzionamento meccanico dei sistemi di apertura e rotazione. Il montaggio della struttura della cupola in officina era completo, mentre veniva montata solo una campionatura per le parti in legno e per la copertura in alluminio.

### 3. Specole per il Regio Osservatorio Astronomico di Brera – Stazione succursale di Merate

Uno degli osservatori in cui è possibile ritrovare le diverse tipologie di specole realizzate dalla A. Bombelli è il Regio Osservatorio Astronomico di Brera a Milano con la sua sede succursale di Merate.

La prima specola realizzata risale al 1919: un cupolino di soli 2,5 metri di diametro posizionato sul terrazzo occidentale dell'Osservatorio di Brera che ospita un piccolo telescopio rifrattore. Si tratta di una struttura semplice, con la parte inferiore fissa e quella superiore mobile, grazie a una rotaia che corre lungo tutta la sezione circolare della cupola e a un sistema di movimentazione manuale. La copertura è di tipo conico con apertura a spicchi (Fig. 3).



**Fig. 3.** Disegno in scala 1:20 per la specola del Regio Osservatorio Astronomico di Brera, Milano, 1919 (Archivio dell'Osservatorio Astronomico di Brera). Viste attuali e sistema di apertura (foto T. Marzi, 2023).

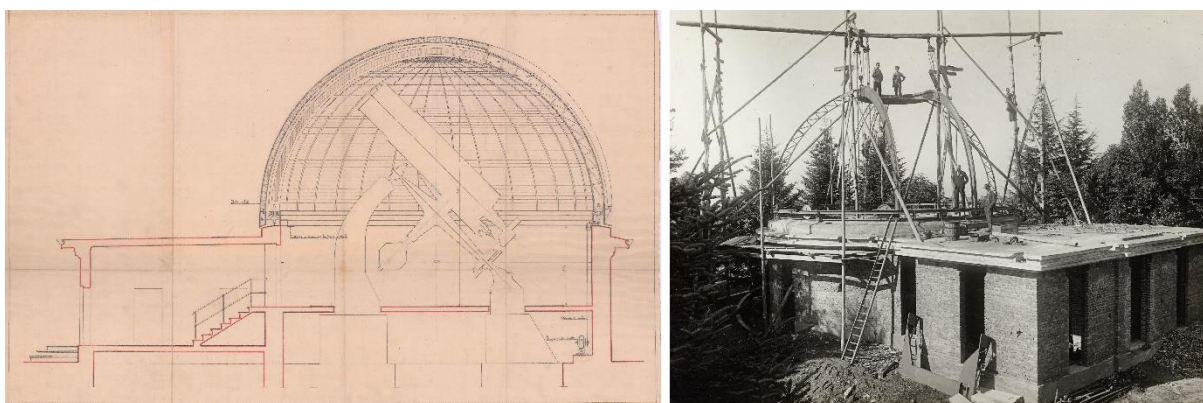
La produzione più intensa della Bombelli riguarda le specole emisferiche girevoli e apribili. Con il continuo incremento delle dimensioni degli strumenti si presentano non pochi problemi nella realizzazione di cupole con diametri sempre maggiori: devono essere strutture leggere per poter girare con facilità e rapidità, rigide e indeformabili di fronte alle pressioni del vento e alle variazioni di temperatura e completamente stagne per consentire la protezione degli strumenti dalle inclemenze meteorologiche. Un'ulteriore difficoltà deriva dal fatto che l'osservatore, per poter dirigere lo sguardo in tutte le direzioni, non solo è costretto a spostarsi in qualsiasi posizione della cupola, ma anche ad alzarsi ed abbassarsi a seconda della posizione di osservazione. Diverse soluzioni vennero quindi elaborate, come tribune mobili con differenti sistemi di movimentazione, o pedane mobili in cui l'intero pavimento della cupola diventa una sorta di grande montacarichi azionato da motori elettrici.

Nel 1923 l'Osservatorio di Brera acquisì una nuova sede fuori città, sulle colline di Merate, in Brianza, a una trentina di chilometri a nord-est di Milano, su un sito adibito a convalescenziario durante la guerra. La realizzazione della succursale iniziò con Emilio Bianchi, direttore della Specola a partire dal 1922. Merate venne identificata come posizione più opportuna per altitudine, atmosfera limpida, giornate di sole, in grado di risolvere i problemi della sede di Brera legati alla crescente illuminazione

elettrica della città di Milano e alle dense nebbie della pianura lombarda (Bianchi 1941; Zagar 1954; Broglia, D'Avanzo 2005). La sede venne inaugurata nel 1925 e fu equipaggiata con un telescopio riflettore Zeiss giunto a Merate in conto danni di guerra, del diametro di 102 cm, dotato di uno spettrografo che costituiva all'epoca il più grande telescopio italiano (Buccellati 2000; Carpino 2010).

Nell'Archivio A. Bombelli e nell'Archivio dell'Osservatorio Astronomico di Brera numerose fotografie documentano alcune fasi di cantiere relative alla costruzione dell'Edificio del Riflettore e costituiscono una preziosa testimonianza per comprendere come queste strutture venissero realizzate (Fig. 4). La cupola, di diametro 10,5 m, è una delle prime specole semisferiche girevoli realizzate dalla Bombelli e costituirà un modello di riferimento per le successive realizzazioni della ditta. I principali elementi che costituiscono la struttura della cupola, come riportato nei documenti d'archivio, sono:

- una guida su rotaia o anello di scorrimento con appoggio sopra la banchina della muratura
- carrello di base circolare munito di ruote portanti in acciaio del diametro di circa 25 cm tornite in forma tronco conica montate sull'anello circolare a mezzo di supporti a sfere e di speciale costruzione con gli assi di rotazione concorrenti al centro della cupola, posto sul piano della rotaia
- 2 centine principali parallele a traliccio poste in asse della cupola e fissate alla loro estremità inferiore al carrello, collegate tra loro in alto
- 25 centine secondarie a traliccio dell'altezza di circa 30 cm alla base rastremate verso la sommità della cupola e collegate in basso al carrello e in alto alle centine principali. Tutte le centine sono a loro volta collegate orizzontalmente tra di loro e controventate.



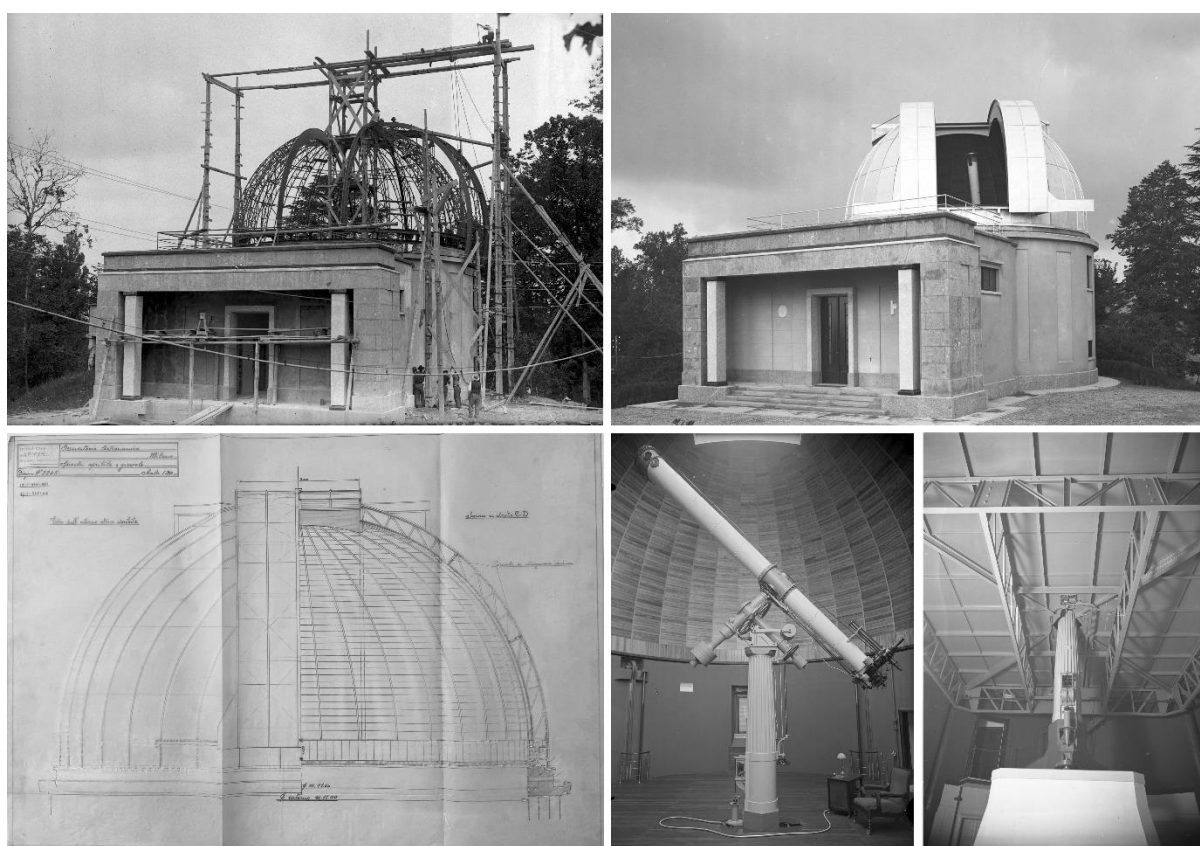
**Fig. 4.** Cupola del telescopio riflettore Zeiss presso la stazione succursale di Merate, 1925: sezione longitudinale e fotografia della cupola in costruzione (Archivio dell'Osservatorio Astronomico di Brera).

Sempre a Merate venne trasferito, dalla sede di Brera, il grande telescopio rifrattore Merz-Repsold da 18 pollici. Fortemente voluto da Giovanni Schiaparelli, direttore dell'Osservatorio Astronomico di Brera dal 1862 al 1900, questo telescopio, all'indomani dell'Unità d'Italia, rese l'Osservatorio tra i più avanzati al mondo. Per il rifrattore, nel 1936, venne costruita appositamente una nuova cupola a Merate (Fig. 5).

All'interno della cupola, di diametro 11,3 m, il telescopio rifrattore Merz-Repsold, lungo oltre 7 metri, è sorretto da una struttura a colonna alta quasi 5 metri. La solida base fissa in calcestruzzo armato su cui appoggia il telescopio, oltre a sorreggere il grande peso doveva essere completamente isolata dalla cupola e dal piano del pavimento, aspetto fondamentale affinché non venissero trasmesse allo strumento le vibrazioni prodotte dal movimento dell'osservatore sull'impalcatura del pavimento. Una delle particolarità di questa specola è la platea mobile: il pavimento del locale di osservazione ha un meccanismo che permette il suo sollevamento ad altezze diverse, in modo che l'osservatore abbia un facile accesso all'oculare del telescopio indipendentemente dall'altezza sull'orizzonte a cui il telescopio è puntato. È interessante rilevare che la cupola venne realizzata grazie a una donazione della Società

Edison, a cui si deve, a partire dal 1883, l'avanguardistico impianto di illuminazione elettrica di Milano, che aveva reso necessario il trasferimento degli strumenti di osservazione in un'area priva di inquinamento luminoso quale era in quell'epoca Merate. E proprio per la Società Edison la ditta Bombelli aveva già realizzato numerose opere, tra cui i grandi velari per Palazzo Edison a Milano, sede centrale della ditta a partire dagli anni Venti (Fig. 1).

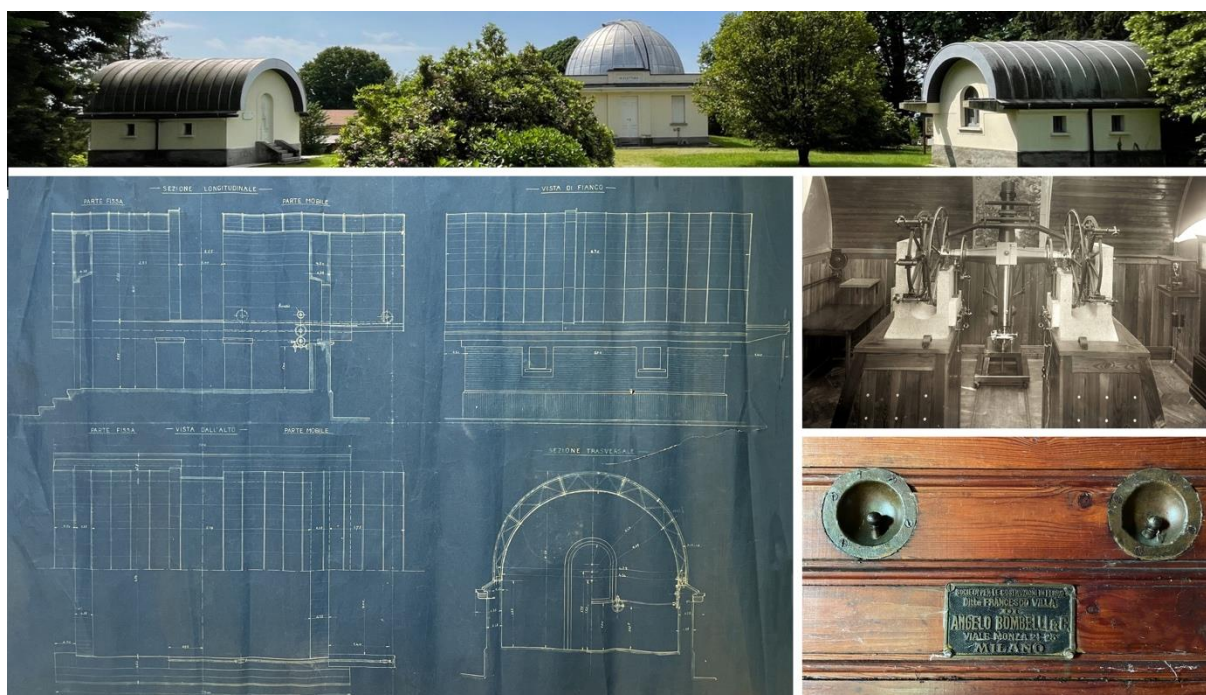
Un'altra tipologia in cui si specializza la A. Bombelli riguarda le specole meridiane, in cui l'osservazione, prevalentemente della posizione dei transiti stellari, avviene tramite strumenti, come il circolo meridiano, che prevedono la rotazione dello strumento unicamente sull'asse meridiano. Non è quindi necessaria una rotazione della cupola ma è invece prevista un'apertura a scorrimento orizzontale. La forma è quella di un semi-cilindro con le generatrici disposte normalmente al piano di osservazione astronomica. Tra le principali realizzazioni troviamo i due padiglioni meridiani presso l'osservatorio di Merate (Fig. 6). In queste specole, così come in molte altre, è ancora presente all'interno una targa metallica della "Società per le costruzioni in ferro Angelo Bombelli" che ne attesta l'esecuzione.



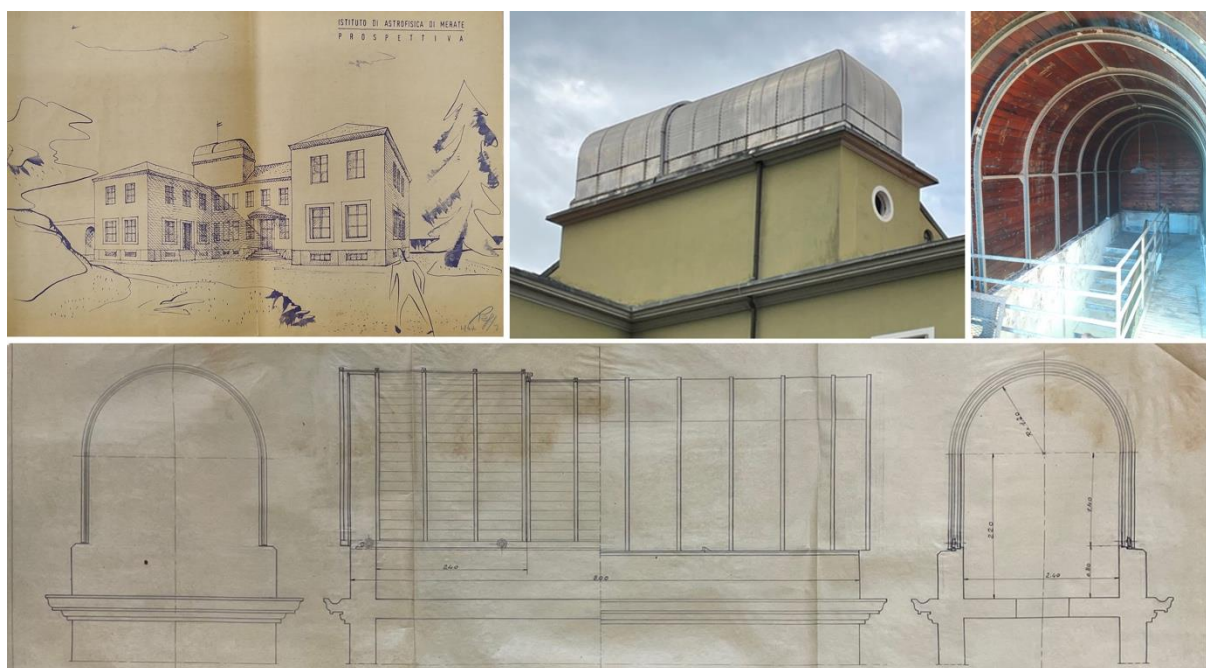
**Fig. 5.** Cupola del telescopio rifrattore Merz-Repsold presso la stazione succursale di Merate, 1935-36: il cantiere di costruzione e l'edificio ultimato; viste dell'interno della cupola con la pedana mobile (Archivio dell'Osservatorio Astronomico di Brera); disegno della specola apribile e girevole in scala 1:20, prospetto e sezione in alzato, 1935 (Archivio A. Bombelli).

Infine, un'ultima tipologia di sistemi tecnologici realizzati dalla Bombelli in ambito astronomico, riguarda le cupole per le torri solari. Risale al 1948 il progetto relativo alla specola della torre solare posta sulla sommità del Nuovo Edificio destinato ai laboratori della stazione succursale di Merate (Fig. 7). La A. Bombelli realizzerà in seguito anche la cupola della torre solare dell'Osservatorio Astronomico di Roma Monte Mario che entrerà in funzione nel 1958 (Cimino 1964).





**Fig. 6.** Vista dei due padiglioni meridiani, Merate (foto T. Marzi, 2023). Progetto, viste e sezioni, 1923 (Archivio A. Bombelli). Interno del padiglione e circolo meridiano di Ertel (Archivio dell'Osservatorio Astronomico di Brera). Targa "Società per le costruzioni in ferro Angelo Bombelli" (foto T. Marzi, 2023).



**Fig. 7.** Torre solare situata sulla sommità del Nuovo Edificio destinato ai laboratori della stazione succursale di Merate: prospettiva, 1947 (Archivio dell'Osservatorio Astronomico di Brera); viste esterne e interne (foto T. Marzi, P. D'Avanzo, 2023); sezioni e prospetti della specola semicilindrica, 1948 (Archivio A. Bombelli).

#### 4. La conservazione dei sistemi tecnologici originali.

Le architetture presentate rappresentano uno straordinario esempio delle continue innovazioni tecnologiche che hanno caratterizzato il Novecento. Dalle diverse realizzazioni della ditta Bombelli,

emerge come gli archivi d'impresa costituiscano una fonte preziosa per comprendere sistemi tecnologici che diventano sempre più complessi (Bosia, Marzi, Savio, Bombelli 2022). Nel caso delle cupole astronomiche, la stretta collaborazione tra impresa e astronomi è stata in molti casi il vero motore dell'innovazione tecnologica. Si tratta di un approccio multidisciplinare fondamentale per lo studio di queste opere anche in vista di una loro valorizzazione e tutela (Wolfschmidt 2009).

Molti materiali e tecnologie utilizzati nell'architettura del Novecento non sono più in produzione e spesso è quasi impossibile riprodurli poiché in alcuni casi si trattava di materiali sperimentali, o realizzati "su misura" per esigenze specifiche (Cupelloni 2017). In alcuni casi le imprese originarie hanno cessato la loro attività e i loro archivi sono scomparsi, o rischiano di scomparire. Gli speciali sistemi tecnologici realizzati dalle officine Bombelli per le cupole astronomiche, straordinariamente ancora esistenti, funzionanti e in uso in molti osservatori, rappresentano quindi una testimonianza da tutelare, valorizzandone i materiali e le tecnologie costruttive originali e la loro evoluzione nel tempo.

### Ringraziamenti

Si ringrazia Agnese Mandrino, responsabile dell'Archivio storico dell'Osservatorio astronomico di Brera, per il prezioso aiuto e per la disponibilità nella consultazione dell'archivio. Mario Carpino e Paolo D'Avanzo per i sopralluoghi alle sedi INAF di Brera e Merate, per le informazioni e le immagini fornite.

### Bibliografia

- Bianchi, E. (1941). "La R. Specola di Merate e le sue ricerche", *Contributi del R. Osservatorio Astronomico di Milano-Merate*, Nuova serie, n. 10, pp. 1-12 con XV tav.
- Bosia, D. et al. (2022). "Collaboration Between Architects and Companies in the Development of a Modern Architecture Lexicon: Bombelli's Technological Systems", in Bartolomei C., Ippolito A. & Vizioli S.H.T. (eds.), *Digital Modernism Heritage Lexicon*. Cham: Springer International Publishing, pp. 899-922.
- Brogli, P. & D'Avanzo, P. (2005). "Stazioni e succursali dell'Osservatorio di Brera", *Giornale di Astronomia*, 3, pp. 33-45.
- Buccellati, G. (a cura di) (2000). *I cieli di Brera. Astronomia da Tolomeo a Balla*, Milano: Hoepli.
- Carpino, M. (2010). *Breve storia dell'Osservatorio Astronomico di Brera attraverso i suoi strumenti*. Milano: Osservatorio Astronomico di Brera, 2010. Disponibile a: [www.brera.inaf.it/utenti/carpino/didattica/](http://www.brera.inaf.it/utenti/carpino/didattica/) (Ultimo accesso: 30 giugno 2024)
- Cimino, M. (1964). "The Rome Astronomical Observatory", *Contributi scientifici dell'Osservatorio Astronomico di Roma*, Serie III, n. 25, pp. 1-32.
- Cupelloni, L. (a cura di) (2017). *Materiali del Moderno. Campo, temi e modi del progetto di Riquilificazione*. Roma: Gangemi Editore.
- Savio, L. et al. (2022). *Bombelli 1889. The legacy: passavamo sulla terra geniali, laboriosi*. Torino: Politecnico di Torino.
- Savio L., Marzi T. & Bosia D. (2022). "I sistemi tecnologici innovativi della A. Bombelli per l'industria militare: strutture metalliche e porte per hangar", in *Stati generali del patrimonio industriale 2022*. Roma: Marsilio, pp. 1827-1844.
- Wolfschmidt, G. (ed.) (2009). *Cultural Heritage of Astronomical Observatories. From Classical Astronomy to Modern Astrophysics. Proceedings of the International ICOMOS Symposium, Hamburg, October 14-17, 2008, Monuments and Sites, XVIII*. Berlin: Hendrik Bäbler-Verlag.
- Zagar, F. (1958). *L'Osservatorio Astronomico di Merate*. Pavia: Industria Grafica Mario Ponzio.

### Fonti d'archivio

- Archivio A. Bombelli, Fondo "Regio Osservatorio Astronomico di Brera".
- Archivio dell'Osservatorio Astronomico di Brera, *Archivio amministrativo e scientifico*, Cart. 229-232.

# Scientific Instruments and the Neglect of Teaching in the History of Physics

Roland Wittje <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Indian Institute of Technology Madras, roland.wittje@gmail.com

*Abstract:* While historians of science are mainly interested in the history of research, many if not most of the objects in physical cabinets and other historical scientific instrument collections emerged from a teaching context. I argue that we need to relocate education from the periphery of the history of science and technology to its centre. I claim that it is essential to study science education in its entirety and complexity if we want to understand the generation, reproduction, circulation and transformation of scientific and technological knowledge, practices, practitioners and objects inside and outside of scientific institutions and communities. Deborah Warner has suggested that the most common use of philosophical apparatus in the eighteenth century was in pedagogy. Since then, the relationship between research and teaching, and research and teaching instruments have changed considerably. For the last decades, the historical study of scientific instruments and collections has received a boost in Europe through the efforts of many of those involved to preserve the material heritage of universities, which had become endangered by institutional restructuring. Changes in research and teaching practices made these objects obsolete for current scientific activities and transformed them into historical objects. The material cultures and teaching practices related to these instruments, and their relation to research and other scientific practices, need to be studied.

# **The Copernican and Astronomical Museum of the INAF-Astronomical Observatory of Rome: Heritage and Research**

Giangiaco<sup>1</sup> Gandolfi *et al.*

<sup>1</sup> INAF-Osservatorio Astronomico di Roma, [giangiaco.gandolfi@inaf.it](mailto:giangiaco.gandolfi@inaf.it)

*Abstract:* It was 1873 when the Roman celebrations of the 4th centenary of the birth of Copernicus were organized at La Sapienza University. Domenico Berti, professor of Philosophy, proposed to Minister of Education Antonio Scialoja the foundation of a museum dedicated to the astronomer. It was to be hosted by the Observatory of Collegio Romano and directed by the Polish historian Artur Wołyński, an exile and scholar of Copernicus and Galileo. The man possessed a collection of materials related to those astronomers and encouraged his countrymen to donate Copernican relics to the new Institution. Among donors there were renowned artists such as Viktor Brodzki, Aleksander Lesser and Henryk Siemiradzki. Wołyński, appointed conservator of the Museum, donated his collection to the Italian state in 1882. In 1935, the Copernican Museum and its Historical Archive and Library were transferred in Rome Astronomical Observatory in Monte Mario and since then they have been preserved there, enriched by the instrumentation and the documents of Roman Astronomy. After a period of renovation and a pandemic pause, the Museum has reopened on March 2023 to the public, re-establishing a connection between Rome and the Father of Modern Astronomy. We will present the main holdings of the original collection, illustrating even some Copernican research recently done at the Observatory.



DIALOGUE BETWEEN  
HISTORY, TEACHING AND DISSEMINATION  
IN PHYSICS AND ASTRONOMY



# After the Abbé Nollet, the Teaching of Physics in “Lycées” in France

Françoise Khantine-Langlois<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université Claude Bernard Lyon 1, France; f.khantine-langlois@orange.fr

*Abstract:* Abbé Nollet is known as the first professor of experimental physics in France in the 18th century. However, at that time, some technical school provided already an excellent technical education. But physics teaching in general education really took shape after the revolution and with the creation of the *lycées* by Napoleon. Curricula were then published, along with lists of equipment to be used in the *lycées*. This administrative organization still exists in France. The *Ecole Normale de l'an III* was responsible, during four months, for training teachers for these new establishments. Professors were the greatest scientists of that time. The mineralogist René-Just Haüy was commissioned to write the first physics textbook. During this period all the *grandes écoles* were created. At the same time, in 1808, the *baccalauréat* and the *agrégation* were introduced. However, it was not only at the middle of the 19th century that a scientific curriculum was created, separated from that of the humanities. Also, during this period, the scientific *baccalauréat* becomes compulsory for medical studies. However, it was not before 1880 that Camille Sée created *lycées* for girls. With the development of printing, many of the teachers published their lectures in textbooks for their students. Together with the official texts, these books and the collections of apparatus preserved in historical high schools provide us with information on the physics taught in the 19th century.

*Keywords:* Teaching, Physics, France 19th century

## 1. Introduction

Nobody can understand the scientific teaching in France without knowing the various French administrative structures during the 19th century and the importance of *l'Ecole de l'an III*. Together with the official texts, textbooks and collections of apparatus preserved in historical high schools provide us information on the physics taught in the 19th century. Two debates occupied this century:

- the place of the physical sciences in general secondary education
- the relationship between mathematics and physics

## 2. The situation at the end of 18th century

In the mid-18th century, the well-known abbé Nollet popularised experimental physics. So that, in 1752, a chair of experimental physics was created for him at the *college de Navarre* in Paris. He did experiments like shows, mainly for the Parisian high society and few students in some other cities.

At that time, Physics was taught mainly in Jesuit colleges, which were the most opened to new scientific ideas. This teaching, always in Latin, took place at the end of the cycle, as part of philosophy courses and very much influenced by scholasticism. Nevertheless, Jesuits set up cabinets equipped with the most recent scientific tools. However, in 1763, the Jesuits were excluded from France and their colleges closed or given to other religious society not so influenced by the new ideas. After 1770, French replaced Latin in study, excepted for medicine courses.

On the other hand, mathematics played an increasingly important role. It was used as a selection tool for military or naval officers, mainly from the nobility, for whom important scientific high schools were founded. For example, the *École royale du Génie de Mézières* where Monge and Borda were students in 1767. But, though Etienne Bezout wrote a *Cours complet de mathématiques à l'usage de la marine et de l'artillerie*, mathematics was not applied to physics.

However, scientists and politics were aware of the poor situation of the science teaching in France. For example, in the Encyclopedie's college article d'Alembert was very critic. "Enfin dans la Physique on bâtit à sa mode un système du monde; on y explique tout, ou presque tout; on y suit ou on y réfute à tort & à travers Aristote, Descartes, & Newton" (d'Alembert 1753, p. 635).

### 3. The French revolution and its consequences

#### 3.1 The Condorcet's report

The French revolution will speed things up. During this period, an administrative reorganisation occurred, France was divided into departments, and an *Ecole Centrale* was created in each department for the secondary teaching. On 7 vendémiaire an III (28 september 1794), was founded the *Ecole Centrale des Travaux Publics* (later *École Polytechnique*). The curriculum written by Gaspard Monge was essentially based on mathematics and will influence the scientific teaching during the following centuries.

In April 1792, Condorcet presented to the *Assemblée Législative* a project for the organisation of public education with a large place devoted to sciences (Fig. 1, left). He wrote:

Plusieurs motifs ont déterminé l'espèce de préférence accordées aux sciences mathématiques et physiques. D'abord, pour les hommes qui ne se dévouent point à de longues méditations, qui n'approfondissent aucun genre de connaissances, l'étude, même élémentaire, de ces sciences est le moyen le plus sûr de développer leurs facultés intellectuelles, de leur apprendre à raisonner juste, à bien analyser leurs idées. [...]. C'est que dans les sciences naturelles, les idées sont plus simples, plus rigoureusement circonscrites; c'est que la langue en est plus parfaite, que les mêmes mots y expriment plus exactement les mêmes idées. [...]. Il n'est pas d'enfant, s'il n'est absolument stupide, qui ne puisse acquérir quelque habitude d'application, par des leçons élémentaires d'histoire naturelle ou d'agriculture. Ces sciences sont contre les préjugés, contre la petitesse d'esprit, un remède sinon plus sûr, du moins plus universel que la philosophie même. Elles sont utiles dans toutes les professions; et il est aisé de voir combien elles le seraient d'avantage, si elles étaient plus uniformément répandues. [...] les progrès des sciences physiques doivent produire une heureuse révolution dans les arts; et le plus sûr moyen d'accélérer cette révolution est de répandre ces connaissances dans toutes les classes de la société, de leur faciliter les moyens de les acquérir<sup>1</sup> (Belhoste 1995, pp. 67-69).

The *Ecole Centrale* did not strictly apply the Condorcet's report, but some of its ideas have been retained and each school must have a physics and chemistry teacher and a cabinet of physics instruments. But

<sup>1</sup> All the translations have been done by the author.

First, for those who are not prone to long pondering, to furthering any kind of knowledge, even an elementary study of those sciences is the surest way to develop their intellectual faculties, to learn to reason right and to analyze their ideas well. [...] That is because in the natural sciences ideas are simpler, more rigorously circumscribed; because their language is more perfect, and the same words convey more exactly the same ideas. [...] There is not a child, unless he is a complete idiot, who cannot gain some habit of rigour from elementary lessons in natural history or agriculture. Those sciences are a more universal if not surer remedy against prejudice, against narrow-mindedness, even than philosophy. They are useful to all trades; and it is easy to see how even more useful they would be if they were more widespread. [...] the progress in physical sciences must beget a fortunate revolution in the arts: and the surest way to accelerate this revolution is to spread that knowledge to all the social classes and to facilitate their acquiring.

during the first part of 19th century the general teaching remained always classical, based on a solid study of Latin and literature. It concerns the children of the educated bourgeoisie and had no professional objective. Hence special schools for technical education were created but they did not provide access to the *baccalaureat* and university.



**Fig. 1, left:** D’Alembert’s report; **right:** Ecole An III report. (Source: gallica.bnf.fr / BnF)

### 3.2 The Ecole Normale de l’an III

With the creation of *Ecoles Centrales*, a lack of teachers occurred. So, the *Ecole Normale de l’an III* was missioned to train teachers quickly. This school took place, in Paris, during 4 months, from *1<sup>er</sup> pluviôse de l’an III* (20 January 1795) to *30 floréal de l’an III* (19 May 1795). 1500 students came from the whole France, then had to return to their own city and open an *Ecole Normale*, where they had to pass on what they have learned.

Their professors were well known: Mathematics: Joseph-Louis Lagrange et Pierre-Simon Laplace; descriptive geometry: Gaspard Monge; Physics: René Just Haüy; Natural sciences: Louis Jean-Marie Daubenton; Chemistry: Claude Louis Berthollet.

Teaching consisted in 15 lessons and 10 debates; experiments were also carried out such as Newton’s tube or Magdebourg hemispheres. It is worth noting that the entire 8th debate was devoted to Atwood’s machine. The teacher also answered to questions from the audience and to questions sent by post from far away, for example from St Gaudens, a city near the Pyrénées. All the debates were immediately printed. (Fig. 1, right). As noted by Etienne Guyon, Haüy thus asserted the need of using mathematics in physics but delivered an essentially descriptive course without any recourse to mathematical formalism or any explicit use of the mathematics lessons given at the same time. He used experiments to confirm the theory rather than making a show (Guyon 2006).

### 3.3 Napoleon’s reorganisation of teaching

The most important administrative organisation was settled in 1802 (11 floréal an X) under the government of Napoleon Bonaparte. It still exists in France.

In the secondary level, *lycées* replaced *écoles centrales* but even if their names change several times depending on the political regime, the administrative organisation remained the same.

Then, in 1808, Napoléon I organised the Université: the baccalauréat, the agrégation and the inspector’s position were introduced. Nowadays, according to the French law, the *baccalauréat* is still the first academic degree and the *agrégation* remains a competitive examination for civil service in the French public education system.

A commission including Laplace, Monge and Lacroix wrote, in 1802 (11 floréal an X), the first national curriculum and gave a list of the books to be used for teaching. We note that all the members of this commission were mathematicians and no physicists.

Table 1 summarizes the study plan, indicating the books prescribed by the commission (in italic). We see several books for mathematics but only one for physics (from Haüy).

**Table 1:** Study plan 1802

1stYear	2nd Year	3rd Year	4thYear	5th Year	6th Year
latin	latin	latin	litterature latin /french	litterature latin /french	latin
	maths arithmetic <i>Lacroix, Bezout, Bossut</i>	maths geometry <i>Lacroix, Legendre</i>	maths algebra <i>Lacroix, Biot</i>	integral maths <i>Lacroix, Lagrange</i>	maths differential equation <i>Lacroix</i>
	little physics first part <i>Haüy</i>	astronomy <i>Biot</i>	chemistry <i>Adet, Lavoisier, Berthollet</i>		mechanics <i>Francoeur Fischer</i> high physics second part <i>Haüy</i>

There will be many other changes all over the first part of the century. For example, since 1826, all the physics teachings were gathered during the two last years only.

### 3.4 The Haüy's textbook

As the last edition of the Polinière's textbook was in 1733, Haüy was designed to write the first physics textbook. "La commission n'ayant pas trouvé de livres propres à l'enseignement des sciences physiques dans les lycées propose [...] d'inviter le citoyen Haüy à écrire les Traités de physique; et si ce savant ne pouvait s'en charger, le citoyen Biot serait indiqué pour faire ce travail"<sup>2</sup> (Belhoste 1995, p. 81).

The table of contents of Haüy's treatise included a first part with general properties of bodies, attraction, heat, water, air and a second part with electricity, magnetism and light. The first part was directly a copy of the an III lessons, since Haüy explained that he had to write the book very quickly and noted that: "Les Maîtres habiles qui l'auront entre les mains, plus faits que personne pour sentir la difficulté d'un pareil travail, le jugeront d'une part avec moins de sévérité, suppléeront de l'autre à ce qui pourrait y manquer" (Haüy 1803).<sup>3</sup> As an example, Haüy explained the new system of units and how to determine the new kilogramme but in his book, he still used the old units. This book contained engraved sheets with pictures essentially devoted to geometrical crystal structures or geometrical optics, but without any algebraic formulae.

### 3.5 Equipment and books

Haüy did not give any instruction about the equipment of the *lycées*. It was only in 1821 that a list of devices to buy (when having enough money) was given (Fig.2).

<sup>2</sup> The commission, having not found any suitable book for teaching the physical sciences in high schools, proposed to invite citizen Haüy to write the Treatises of Physics; and if this scientist is unable to undertake the task, citizen Biot would be proposed to do it.

<sup>3</sup> The skilled masters who will have this book in hands, will be able to complete it.

<i>Principales machines pour le cours de physique des collèges royaux</i>	
	en francs
Machine d'Atwood (Pixii) .....	650
Balance, servant de balance hydrostatique (Pixii) .....	240
Petite machine de Fortin à diviser le verre .....	100
Machine pneumatique avec ses récipients (Pixii) .....	500
Machine pneumatique de compression .....	500
Un mètre en cuivre (Lenoir) .....	"
Compas à mesurer les diamètres et autres longueurs (Fortin) .....	"
Tube pour la chute dans le vide (Pixii) .....	40
Ballon à peser l'air (Fortin) .....	36
Baromètre (Richer) .....	60
Tube de Mariotte (Frérot) .....	12
Deux modèles de pompes .....	200
Fontaine de compression, servant de chalumeau et d'appareil pour les eaux gazeuses (Pixii) .....	160
Fontaine intermittente (Pixii) .....	40
Aréomètre à pompe (Pixii) .....	60
Aréomètre de Nicholson (Pixii) .....	15
Niveau (Fortin) .....	24
Fontaine de Héron en verre (Pixii) .....	25
Double baromètre dans un récipient (Pixii) .....	30
Quatre thermomètres (Frérot) à 3 F .....	12
Thermomètre de Leslie (Frérot) .....	12
Appareil pour la dilatation des solides (Pixii) .....	50
Petit modèle de pendule compensateur (Pixii) .....	20
Deux miroirs (Pixii) .....	150
Cube à face de différents métaux (Pixii) .....	60
Cube à faces peintes (Pixii) .....	10
Appareil pour montrer l'inégale conductibilité (Pixii) .....	25
Appareil pour le maximum de densité de l'eau (Pixii) .....	10
Appareil pour le mélange des vapeurs avec les gaz (Fortin) .....	120
Hygromètre à cheveu (Fortin ou Richer) .....	100
Appareil pour déterminer les quantités de chaleur dégagés dans la combustion (Pixii) .....	120

**Fig. 2.** The equipment of the lycée in 1821 (Belhoste 1995, p. 99).

These devices are a part of the heritage collections of historic *lycées* in Paris and major cities, for example lycée Guez de Balzac (Angoulême) (Fig. 3, left) or lycée Ampère (Lyon) (Fig.3, right).



**Fig. 3, left:** Lycée Guez de Balzac ; **right:** Lycée Ampère Lyon.

Concerning books, during the first part of the 19th century, some others existed apart the official Haüy's one. They give ideas of the different opinions and situations. For example, already in 1804, Pierre Jacotot published his treatise in Paris and sold it, in Dijon, 12 francs which was equivalent to 4 days of a worker's salary (Jacotot 1804). The lessons of Pierre Flaugergues were printed in Troyes at the expense of its students (Flaugergues 1837) (Fig. 4).

Depretz and Biot are more known authors. Biot who was also selected to write the first official book

had a real different point of view concerning the mathematics.<sup>4</sup> “Ce n’est pas toutefois sans quelques regrets que je me suis résolu à présenter aux élèves un ouvrage où la physique est dépouillée de ce qui fait sa principale utilité et sa certitude, je veux dire les expressions et les méthodes mathématiques” (Biot 1824, p. vi). For their part Depretz and Jacotot didn’t hesitate to use clearly algebraic formulae.

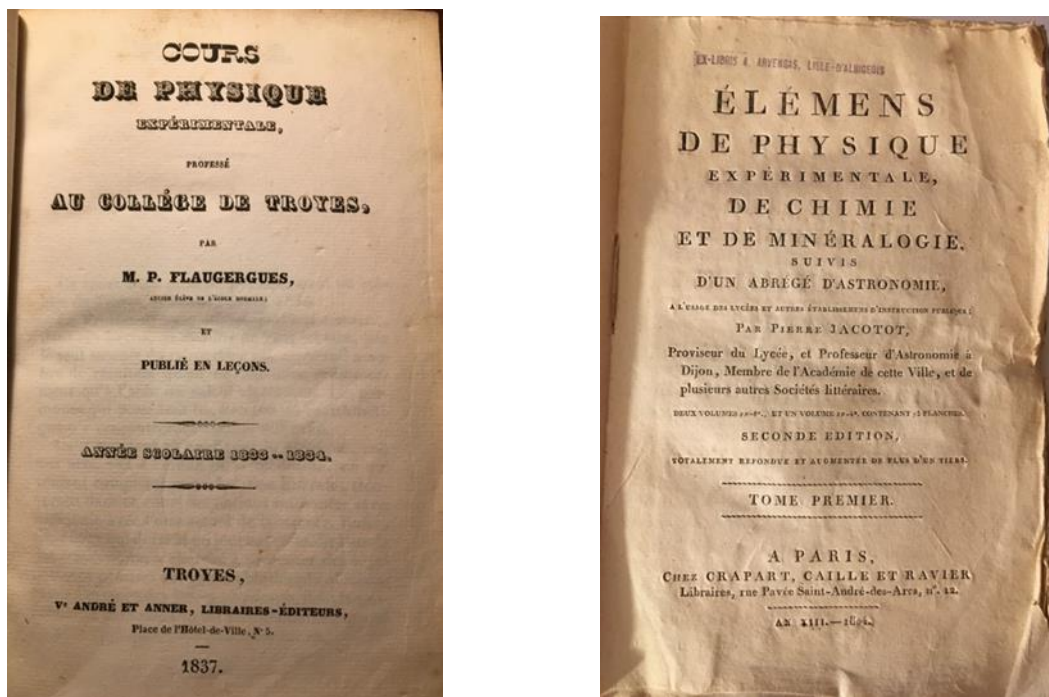


Fig. 4, left: Flaugergues’s textbook; right: Jacotot’s textbook

All these books contained pictures on large, engraved sheets which were not easy to use. For example, in the Depretz’ book it is difficult to see that the pipes on the left are to be used with the organ on the right and the snow crystal have nothing to do here (Fig. 5).

### 3.6 The reality

In fact, in the little towns, the situation was not very satisfying. We can have an idea with the letters sent by Adolphe Ganot to the minister from his college Bourbon-Vendée at La Roche-sur-Yon.

J’obtins à la fin de 1829, la chaire de mathématiques du collège de Bourbon Vendée cet établissement mérite, il est vrai, d’être mis au rang des premiers collèges [...] par les bourses dont il est doté, mais sans livres, sans laboratoire dans une des moindres villes de France il ne m’offrirait aucune ressource pour parvenir à l’agrégation (Ganot 1834).<sup>5</sup>

The *baccalauréat* took also an important place because it was impossible to attempt University without *baccalauréat-ès-lettres*. Created in 1808, *baccalauréat-ès-sciences* was clearly dependent on *baccalauréat-ès-lettres*. Nobody will be awarded a bachelor’s degree in the faculty of sciences until he has obtained the same degree in the faculty of literature, and until he has answered questions on

<sup>4</sup> It is not without some regret that I have decided to present to pupils a work in which physics is stripped of that which makes it most useful and certain, that is to say mathematical expressions and methods.

<sup>5</sup> At the end of 1829, I obtained the chair of mathematics at the Collège de Bourbon-Vendée, an establishment which, it is true, deserves to be ranked among the top colleges in France [...]; but with no books and no laboratory in one of the smallest towns in France.



arithmetics, geometry, trigonometry, algebra and its application to geometry (Sonnet, Saiget & Delafosse 1846, p. X). There was no Physics, consequently the *baccalauréat-ès-sciences* attracted little interest because it was only required to become a simple teacher since there was no physics at entry in the *Polytechnique* school.

For example, in 1812: 24 diploma *ès-sciences* vs 1632 *ès-lettres* had been delivered.

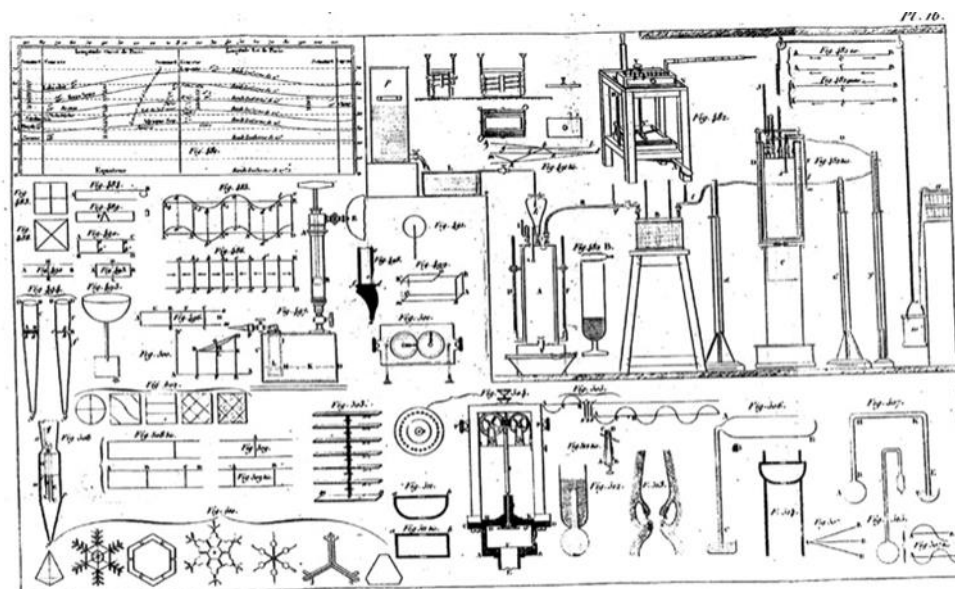


Fig. 5. Copperplate 16 in Depretz' book

## 4. The bifurcation

### 4.1 A new organisation

As Nicole Hulin has clearly shown, throughout the first half of the 19th century, there were many debates in favour of teaching together humanities and sciences or introducing two different options; thus, the place of physics teaching often changed (Hulin-Jung 1989).

Several important scientists such as Jean Baptiste Dumas, claimed for more science already at the secondary level. Conceived by Fortoul, the *bifurcation* (1852) established a common secondary curriculum for the younger students in the lycées (up to and including the 4<sup>o</sup>); thereafter, it imposed a choice between a predominantly literary curriculum, based on study of the ancient languages and literature, and another one that stressed scientific and modern subjects.

The 1852 syllabus did not change very much for physics; it remained experimental and the only change was the introduction of mechanics in physics. However, the *baccalaureat es science* still included a written Latin version.

Moreover, big criticisms appeared in official reports, such as, in 1863, without mathematics, you can only produce physics of poor quality. In 1854, the use of instruments was also discussed. The report mentions, on the one hand, that the huge price of apparatus leads students to think that physics should be reserved to rich people bearing a largely equipped cabinet and on the other hand that the professors don't take the risk to teach a class of phenomena when an apparatus, often devised by Parisian builders, is missing from their cabinet.

Finally, this reform did not succeed but in 1866, in addition to traditional teaching, a new one is created: *l'enseignement secondaire special* which was without latin and gave an important place to

science and its applications.

The students can leave this teaching after the first three years. Concerning physics, the teacher must not forget that all algebraic formulae must be banned and that teaching must be purely experimental.

At that time also, the Falloux's Laws allowed schools outside the supervision of the University. They created a mixed system, with public (mostly secular) schools and private ones (mostly catholic). In 1867, Victor Duruy also proposed the creation of a secondary education for girls. The law was signed by Camille See in 1880 and became effective in 1882. Obviously, the curriculum without Latin was different than that for boys, (until 1924) and was much lighter in science.

#### 4.2 New textbooks

The Bifurcation and the Falloux's law coincided with a great development of printing, thanks to growing industrial paper. Then many textbooks were published for the *Baccalauréat* and the preparation to high schools, such as *École Polytechnique*. These books covered all the physics taught at the *Baccalauréat* level. The authors were numerous, the professors published their courses as we write documents for our students. Apart from Adolphe Ganot, the authors of the textbooks were former students of the *École Normale Supérieure*, who became teachers in the major *lycées* or inspectors.

Thanks to Falloux's law, Ganot taught in a private school, in Paris without *agrégation*. We don't know if it was the reason why Ganot decides to include many pictures in his book. For this purpose he introduced, in physics textbooks, a new technic for the pictures: he used the wood's end grain while the older technique employing the softer side grain or copperplates. It allows more detailed images and wood-engraved blocks could be used on conventional printing press. Moreover, text and images were gathered on the same page (Fig. 6). With such technics for pictures, Ganot was able to show the apparatus exactly. So, if the school didn't have this object, it was not so important. This book was a great success, 255 500 treatises were sold in 30 years and abbé Moigno wrote:

Ce qui distingue ce nouveau traité élémentaire et le place au premier rang, ce sont les illustrations dont chaque page est enrichie. [...] Dans le livre de M. Ganot, les figures ne sont point la reproduction éternelle des vieux dessins qui remontent à l'époque de l'abbé Nollet, de Sigaud de Lafond, de Brisson, souvent même aux temps primitifs<sup>6</sup> (Moigno 1853, p. 644).

Successive editions of Ganot's textbook constitute an invaluable corpus for studying the evolution of teaching in relation with scientific and social developments. Each edition stated that it has been 'augmented with new engravings and the most recent works on the various branches of physics'. Thus, we went from an edition in 1866 with a 'Caloric' section to the 1872 edition where the same section became 'Heat' with a paragraph entitled History of the dynamic theory of heat.

Technical innovations were added as they became available and were described in detail on the front page. Ganot wrote a book with few mathematics but many practical applications: for example, home heating, telephone, telegraph, lightning conductor, microscope.

All the authors quickly copied the Ganot's book. Louis Figuier wrote in the newspaper *La Presse* the 23 March 1862:

La librairie parisienne entreprend une rude guerre contre le traité de physique en faveur depuis plusieurs années dans les lycées et les écoles, c'est à dire le traité de physique de M. Ganot si connu de notre jeune génération. M. Victor Masson d'une part, M. Dunod d'autre part, viennent de lancer [...] deux traités élémentaires de physique qui vont faire singulièrement pâlir le livre de M. Ganot.

---

<sup>6</sup> What sets this new treatise a part and places it at the fore front are the illustrations on every page. [...] In Ganot's book, the figures are not eternal reproductions of the old drawings dating back to the time of Abbé Nollet, Sigaud de Lafond, Brisson, and often even to primitive times.

Chacun de ces deux ouvrages émane de professeurs de l'Université. MM. Drion et Fernet sont les auteurs du traité de physique élémentaire publié par M. Victor Masson, MM. Boutan et Ch. D'Almeida ont rédigé le cours élémentaire de physique publié par M. Dunod. C'est assez dire que la composition de ces livres doit parfaitement répondre au programme des études universitaires, qu'elle doit être mesurée, et, pour ainsi dire, calquée sur les besoins de l'enseignement particulier des lycées ou des écoles professionnelles.<sup>7</sup>

These books used the same pictures as the Ganot's one and didn't use much more mathematics. In 1884, when the Ganot' book was taken over by Hachette and revised by Maneuvrier, who strongly mathematized it (Ganot Maneuvrier, 1882). Ganot complains that there are too many mathematical formulae, which is intended above all for students, who have little love of mathematics but who should be spared, since it is that has made the book's fortune.



**Fig. 6, left:** the Atwood's machine (Ganot 1855); **right:** the organ (Ganot 1859)

## 5. 1902, a real change

Finally, the big change took place in 1902 with a big reform that introduce lab work for the students. The official instruction indicates:

Le professeur se contentera d'exposer les faits tels que nous les comprenons aujourd'hui sans se préoccuper de l'ordre historique. On lui demande de débarrasser l'enseignement de beaucoup de vieilleries que la tradition y a conservées: appareils surannés, théories sans intérêt, calculs sans réalités. Il n'entrera point dans la description minutieuse des appareils ni des modes opératoires [...] Evitant les développements mathématiques, il doit toujours être fondé sur des expériences, mais pour ses démonstrations expérimentales, le professeur emploiera le moins possible des appareils spéciaux; il cherchera à les réaliser avec les moyens les plus simples et les plus à portée, s'attachant bien plus à

<sup>7</sup> Parisian bookshops were waging a fierce war against the physics treatises that have been popular for several years in lycées and schools, i.e. the physics treatise by Mr Ganot so well known to our younger generation. Mr Victor Masson on one hand, and Mr Dunod on the other, have just launched almost one after the other [...] two elementary physics treatises which will make Mr Ganot's book pale in comparison. Each of these two works was written by university professors. Mrs Drion and Fernet were the authors of *Traité de physique élémentaire*, published by Victor Masson; Mrs Boutan and Ch. d'Almeida wrote *Cours élémentaire de physique*, published by Dunod. It is enough to say that the composition of these books must correspond perfectly to the university syllabus.

l'esprit des méthodes qu'aux détails techniques d'exécution; il utilisera fréquemment les représentations graphiques, non seulement pour mieux montrer aux élèves l'allure des phénomènes, mais pour faire pénétrer dans leur esprit les idées si importantes de fonction de continuité; enfin par des applications numériques toujours empruntées à la réalité et réduites aux formes les plus simples, il habituera les élèves à se rendre compte de l'ordre de grandeur des phénomènes et à discerner dans quelles limites de précision une même correction peut être nécessaire ou absurde<sup>8</sup> (Belhoste 1995, p. 600).

In conclusion we can say that, in France, during the 19th century, the teaching at secondary level was still a classical teaching where the science was not important. The *baccalauréat es lettres* was always compulsory for studying at the University and the scientists were trained at the *école polytechnique*, with focused on mathematics.

### Bibliography

- Belhoste, B. (ed.) (1995). *Les Sciences dans l'enseignement secondaire français: 1789-1914*, Paris: INRP/Economica.
- Biot, J.B. (1824). *Précis élémentaire de physique expérimentale*. Paris: Déterville, 3<sup>e</sup> éd.
- Boutan, A. & De Almeida, J.C. (1862). *Cours élémentaire de physique*. Paris: Dunod.
- d'Alembert, J.B. (1753). *Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des Métiers*, Tome Troisième. Paris: Briasson, David, le Breton, Durand.
- Despretz, C. (1836). *Traité élémentaire de physique*. Paris: Méquignon-Marvis.
- Drion, C. & Fernet, E. (1861). *Traité de physique élémentaire*. Paris: Masson et fils, 2<sup>e</sup> éd.
- Figuier, L. (1862). "Bibliographie scientifique", *La Presse*, 23 March.
- Flaugergues, P. (1837). *Cours de physique expérimentale professé au collège de Troyes*. Troyes: Ve Andre et Anner.
- Ganot, A. (1855). *Traité de physique*. Paris: chez l'auteur-editeur, 4<sup>e</sup> éd.
- Ganot, A. (1859). *Cours de physique*. Paris: chez l'auteur-editeur.
- Ganot, A. (1884). *Traité de physique*. Paris: Hachette.
- Guyon, E. (2006). *L'école normale de l'an III leçons de physique et de chimie d'histoire naturelle*. Sous la direction ENS rue d'Ulm
- Häüy, R.J. (1803). *Traité élémentaire de physique*. Paris: Delance & Lesueur.
- Hulin-Jung, N. (1989). *L'organisation de l'enseignement des sciences*. Paris: Editions du C.T.H.S.
- Jacotot, P. (1804). *Elémens de physique expérimentale, de chimie et de minéralogie*. Paris: Crapart, Caille et Ravier, 2<sup>e</sup> éd.
- Moigno, F.-N. (1853). "Traité élémentaire de physique expérimentale et appliquée, et de météorologie, par M. A. Ganot (Review)", *Cosmos: revue encyclopédique hebdomadaire des progrès des sciences*, 3(II), pp. 643-644.
- Sonnet, M.L., Saiget, J. & Delafosse, G. (1846). *Manuel du baccalauréat es sciences...* Paris: Hachette.

<sup>8</sup> The teacher will be content with setting out the facts as we understand them today without worrying about the historical order. He will be asked to rid of teaching of a lot of the old things that tradition has preserved: outdated apparatus, uninteresting theories, calculations that have no reality. [...] Avoiding mathematical developments, it must always be based on experiments. Paying much more attention to the spirit of the methods than to the technical details of execution; he will make frequent use of graphical representations, not only to show to the pupils the course of the phenomena, but also to instil in their minds the very important idea of the continuity function; finally, by numerical applications which are always borrowed from reality and reduced to the simplest forms, he will accustom the pupils to realise the order of magnitude of the phenomena and to discern within what limits of precision the same correction may be necessary or absurd.

# L'eredità scientifica di via Panisperna. Storia, esperienze e prospettive del Museo Enrico Fermi.

Miriam Focaccia<sup>1</sup>, Marco Garbini<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Museo Storico della Fisica e Centro Studi e Ricerche 'Enrico Fermi', miriam.focaccia@cref.it

*Abstract:* The Enrico Fermi Museum traces the important steps in Fermi's life and discoveries through an innovative combination of traditional objects and panels with modern multimedia technologies. The visit is particularly interesting for those who want to understand how the study of matter was intertwined with the historical events of the 20th century. Persuaded of the centrality of the concept of 'citizen science', our goal is to popularize science in a new and appealing way, combining diverse and innovative outreach and museum activities.

*Keywords:* Museology, Outreach, Enrico Fermi

## 1. Alle origini del Museo Enrico Fermi

Nato come una mostra itinerante, prima esposta a Genova, in occasione del Festival della Scienza nel 2015, quindi allestita a Bologna, nell'ex chiesa di San Mattia l'anno seguente, dall'ottobre del 2019 il Museo Enrico Fermi ha trovato la sua sede permanente in via Panisperna, in quella che è stata la sede del Regio Istituto di Fisica dell'Università di Roma, a sua volta inaugurato negli anni '80 dell'Ottocento e dove Enrico Fermi e i suoi collaboratori condussero negli anni Trenta del Novecento i famosi esperimenti sulla radioattività indotta da neutroni, fondamentali per la comprensione della struttura del nucleo atomico e che valsero a Fermi l'attribuzione del Premio Nobel per la Fisica del 1938.

Oggi la palazzina di via Panisperna, restituita dopo un lungo e filologico restauro alla fine del 2018, è sede non solo del Museo, ma anche del Centro Studi e Ricerche 'Enrico Fermi' (CREF),<sup>1</sup> un moderno ente pubblico di ricerca, nato nel 1999 grazie a una legge parlamentare bipartisan allo scopo di dare nuovamente una funzione scientifica al complesso monumentale di via Panisperna.

Un ente giovane, nato con una duplice missione: da un lato, nello spirito che ha contraddistinto le attività di Enrico Fermi, si propone di sviluppare linee di ricerca originali e interdisciplinari; dall'altro, intende offrire un'ampia diffusione e comunicazione della vita e delle scoperte di Enrico Fermi, grazie all'installazione nella sede di un moderno Museo e ad una forte attività di *outreach*.

Il Museo Enrico Fermi, ospitato al piano terra della Palazzina, nasce dalla volontà di preservare e diffondere la memoria storica di Enrico Fermi e dei suoi collaboratori e, in generale delle vicende storiche e scientifiche che qui furono protagoniste, in un periodo in cui la fisica italiana fu al centro del panorama della scienza internazionale.

Attraverso l'identificazione di una dozzina di passaggi, vengono presentate le tappe più significative della vita di Fermi e delle sue scoperte, combinando in maniera innovativa oggetti e pannelli tradizionali con moderne tecnologie multimediali.

La stessa palazzina, con particolare riferimento alla cosiddetta 'Fontana dei pesci rossi' (collocata nel cortile interno del complesso), primo sito storico italiano della European Physical Society inaugurato nel 2012, è essa stessa parte integrante del percorso museale. Così come di particolare interesse è la

---

\* Per la Collaborazione E.E.E.

<sup>1</sup> <https://museum.cref.it>

scalinata d'accesso all'Ente, immortalata in un'immagine ormai iconica del 1931 e scattata in occasione del primo Congresso Internazionale di Fisica Nucleare che si tenne presso il Regio Istituto di Fisica e che fu organizzato dallo stesso Fermi, con Guglielmo Marconi presidente onorario e Orso Mario Corbino presidente effettivo. Fu quella l'occasione per i 'ragazzi di via Panisperna' di affacciarsi per la prima volta ad un panorama internazionale.



**Fig. 1.** Convegno di Fisica Nucleare, Roma, 1931. Immagine digitalizzata dal Sistema Bibliotecario Sapienza, ed estratta dalla risorsa digitale della Sapienza Digital Library (URI: ZANCHI0091). La foto originale è conservata presso l'Archivio personale dei Fisici dalla Biblioteca del Dipartimento di Fisica - Fondo Lodovico Zanchi.

## 2. Il Museo Enrico Fermi oggi

Riaperto effettivamente nel marzo del '22, all'indomani della pandemia Covid 19, oggi il Museo Enrico Fermi sta conoscendo un successo e una notorietà eccezionali.

Nel marzo del 2022 è stato ufficialmente istituito un Comitato tecnico formato da ricercatrici e ricercatori dell'Ente il quale si occupa dell'organizzazione, implementazione e gestione del Museo.

Il continuo rapporto con il personale scientifico e la particolare natura dell'Ente, ha presto portato i temi della comunicazione, dell'accessibilità e della inclusività al centro delle proposte e dei progetti che coinvolgono il Museo. Senza ovviamente perdere di vista le fondamentali questioni della ricerca e della conservazione, oggi l'obbiettivo che perseguiamo è quello di porre al centro delle nostre attività la didattica, in un dialogo continuo con la storia e la divulgazione della scienza.

Persuasi della centralità del concetto di 'citizen science', vogliamo divulgare la scienza in maniera diversificata per avvicinare il pubblico a contenuti scientifici in maniera semplice e accattivante. Sosteniamo dunque percorsi di apprendimento stimolanti e coinvolgenti; condividiamo certamente il



modello di una “educazione aperta”, attraverso un approccio integrato e multidisciplinare che possa migliorare le esperienze di apprendimento di tutti, a partire dagli studenti e dalle studentesse. Infatti, le esperienze museali risultano di straordinario impatto e rimangono impresse nella memoria divenendo, quindi, un volano per l’apprendimento.

Il pubblico d’elezione del Museo sono le Scuole, ma la mostra è aperta a tutti. La visita è infatti di particolare interesse per tutti coloro che sono interessati a capire come le esplorazioni della materia si sono intrecciate con gli avvenimenti storici del ’900.

Il nostro obiettivo è rendere la visita al Museo, che ha sede in questo luogo della memoria storica, un’esperienza unica, in un dialogo continuo tra storia, didattica e divulgazione della scienza.

Centrale, in questa fase di rilancio, è stato il ruolo della comunicazione, il cui compito è stato quello di riuscire a creare una identità forte come punto di riferimento per la diffusione della storia e della ricerca legata a Enrico Fermi e al gruppo di via Panisperna.

A tale scopo, sono state ideate diverse proposte formative di alto livello, rivolte sia alle scuole sia al pubblico generico interessato ai temi della scienza. Cicli di conferenze, affidate a storici della Scienza e della Fisica; presentazioni di libri e proiezioni di film sulla storia della fisica del ’900 legata all’eredità di via Panisperna; progetti di *outreach* rivolti innanzitutto alle studentesse e agli studenti. ([www.museum.cref.it](http://www.museum.cref.it))

Come dimostrano le oltre 2300 presenze registrate da gennaio 2023 a giugno 2023, di cui l’80% rappresentato dalle scuole, l’interesse per il Museo Fermi è in continua crescita. Questi dati sono estremamente significativi: il Museo è aperto alle Scuole una mattina a settimana e accoglie i cittadini una volta al mese, in occasione di speciali Open Day. Tali risultati sono resi possibili dal lavoro continuo e appassionato del personale di ricerca del CREF che sta rendendo fattibile la scoperta del Museo Enrico Fermi da parte di fasce di visitatori sempre più vaste.



**Fig. 2.** Foto di una delle installazioni all’interno del Museo Enrico Fermi.

### 3. Prospettive future

L'obbiettivo per il futuro è riuscire ad accogliere un numero sempre maggiore di visitatori con un'offerta formativa adeguata e di alto valore educativo.

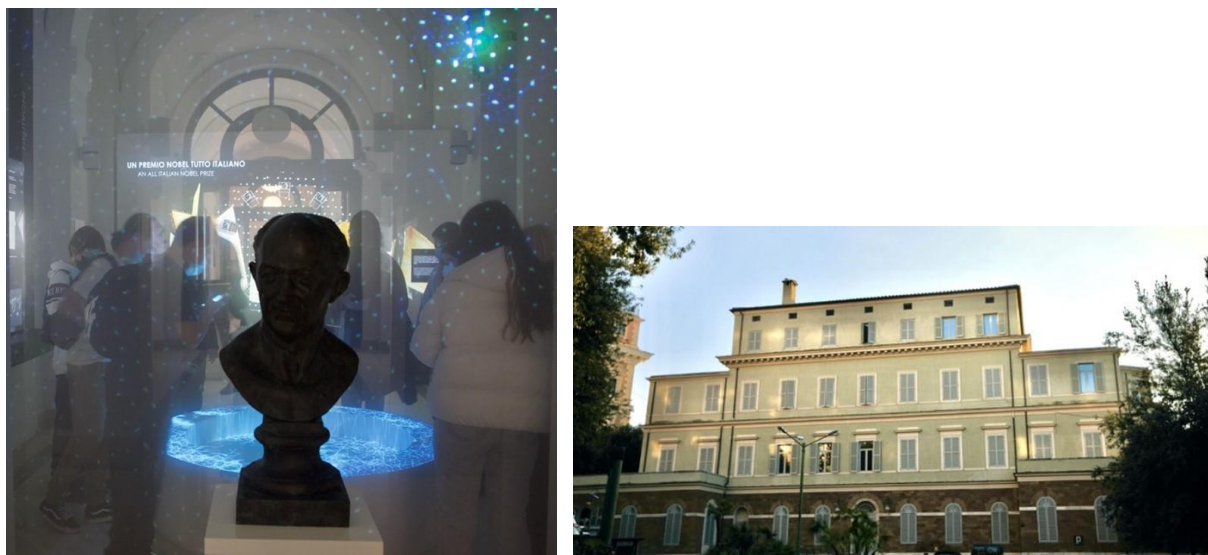
Per questo stiamo iniziando a creare una rete di contatti e collaborazioni, a partire dall'adesione alla Associazione Musei Scientifici Italiani (AMSI), per inserire il Museo sempre più all'interno di un network per la diffusione della museologia scientifica in Italia e di creare collegamenti con le Istituzioni e gli operatori interessati, attraverso uno scambio di opinioni e di notizie.

Il Museo è infatti partner di diversi enti il cui *core* è la promozione della divulgazione scientifica: dal Festival della Scienza di Genova alla Maker Faire di Roma, sino al network ScienzaInsieme, che unisce i principali Enti di Ricerca e alcune Università del territorio laziale per promuovere e organizzare la Notte europea dei Ricercatori.

Il Comitato tecnico del Museo Enrico Fermi sta fattivamente lavorando per implementare e aumentare le sezioni all'interno del Museo, sia con proposte che riguardano nuovi allestimenti, sia con progetti e programmi di divulgazione ed educazione scientifica che hanno al loro centro studentesse e studenti.

Da pochi mesi è stato ridisegnato l'ingresso del Museo e installata una *timeline*, in italiano e in inglese, con le tappe più importanti della storia della Palazzina. Quest'ultima installazione è particolarmente utile per orientare il visitatore all'interno del periodo storico, politico e scientifico che ha caratterizzato la storia della fisica legata all'eredità di via Panisperna dall'Unità d'Italia sino alla metà degli anni '30 del Novecento.

All'interno del nostro ente sono inoltre presenti alcuni laboratori, che sono utilizzati attivamente in percorsi di apprendimento stimolanti negli studi scientifici integrati. Il dialogo cioè prosegue attraverso l'attiva partecipazione dei ricercatori e delle ricercatrici dell'ente attraverso progetti di *outreach* e altre originali iniziative rivolte agli studenti e alle studentesse.



**Fig. 2, sinistra:** Museo Enrico Fermi, interno: **destra:** Palazzina di via Panisperna, oggi.

### 4. Le attività di *Outreach* del Centro Ricerche Enrico Fermi

Data la duplice missione il CREF offre un'ampia gamma di attività di *outreach*: è impegnato in un esperimento sui raggi cosmici in collaborazione con le Scuole secondarie italiane, il Progetto Extreme Energy Events (E.E.E.) (Zichichi 2005); organizza una serie di eventi divulgativi a carattere storico-



scientifico all'interno dei propri locali; le visite al Museo sono arricchite (su richiesta) con le visite ai laboratori presenti all'interno della palazzina. Sono poi in corso di attivazione vari Progetti per le Competenze Trasversali e l'Orientamento (P.C.T.O.) da svolgere in collaborazione con le Scuole superiori italiane. Alcuni dettagli di tali le attività sono forniti di seguito.

#### 4.1 Il Progetto *Extreme Energy Events* – “*La Scienza nelle Scuole*”

Il Progetto *Extreme Energy Events* (E.E.E.) – “*La Scienza nelle Scuole*” (Garbini, 2022) è un esperimento per la misura e studio al suolo della radiazione cosmica, con un forte ed innovativo programma di diffusione della cultura scientifica.

Presentato nel 2004 al CERN ha poi avviato con una fase pilota operativa nel 2005 e, ad oggi, rappresenta un esempio unico a livello nazionale ed internazionale per il grado di coinvolgimento e partecipazione delle Scuole Superiori italiane in un esperimento di Fisica dei Raggi Cosmici.



**Fig. 3, sinistra:** distribuzione dei telescopi del Progetto E.E.E. (cerchi rossi e arancioni) e delle scuole aderenti (cerchi blu).

**Fig. 3, destra:** uno dei telescopi della rete.

Dalla data di inizio delle attività, il numero di scuole superiori italiane coinvolte è costantemente cresciuto e ad oggi consiste in una rete di circa 80 scuole partecipanti e 60 telescopi per raggi cosmici installati, (Fig. 3, destra). Tali numeri lo rendono il più esteso osservatorio per raggi cosmici basato sulla tecnologia dei rivelatori Multigap Resistive Plate Chamber (MRPC).

In Fig. 3 (sinistra) è mostrata la distribuzione geografica delle scuole partecipanti oggi al Progetto E.E.E.: i cerchi rossi ed arancioni indicano la collocazione dei telescopi scolastici mentre i cerchi azzurri indicano le scuole aderenti al progetto senza telescopio.

Vista la diffusione in Italia del Progetto E.E.E. ogni anno partecipano alle sue attività più di *mille studenti e professori* delle scuole superiori italiane.

L'obiettivo del Progetto E.E.E. è di coinvolgere i giovani studenti e favorire quindi la diffusione della cultura scientifica; gli studenti sono i protagonisti di tutte le fasi dell'esperimento, dalla costruzione dei rivelatori alla loro installazione a scuola, la loro messa in funzione e mantenimento nonché nell'analisi dei dati.

Il Progetto E.E.E. negli anni è cresciuto diventando una rete estesa di scuole in stretto contatto tra loro grazie alle attività proposte dai ricercatori che partecipano ad E.E.E. L'emergenza sanitaria legata al COVID-19 ha portato all'interruzione delle attività sperimentali ma il Progetto E.E.E. ha continuato ad organizzare riunioni mensili da remoto inserendo nel programma degli incontri anche seminari su temi non direttamente connessi alle attività del Progetto E.E.E. Una lista (non completa) degli incontri e dei temi affrontati nel 2022 è mostrata in Fig. 4.

Evento	Data	Modalità	Presenze	Main Focus
Run Coordination Meeting	24/05/2023	Online	500	School Reports on Cosmic Box measurements
Run Coordination Meeting	26/04/2023	Online	500	La fisica nucleare nella vita di ogni giorno
Run Coordination Meeting	15/03/2023	Online	500	Intelligenza Artificiale: promesse, rischi e opportunità per il futuro
Run Coordination Meeting	25/02/2023	Online	500	Live broadcast from the Alice Run Control Center at CERN!
Run Coordination Meeting	14/12/2022	Online	400	School reports
International Cosmic Day -	22/11/2022	Online	500	School reports & AMS: cosmic rays in space
Run Coordination Meeting	26/10/2022	Online	400	PolarquEEEst: cosmic ray rate vs. latitude
Run Coordination Meeting	28/09/2022	Online	400	Restart of EEE telescopes inside schools
Run Coordination Meeting	25/05/2022	Online	200	School reports from students
Run Coordination Meeting	16/03/2022	Online	350	Material Science
Run Coordination Meeting	16/02/2022	Online	350	Physics with Arduino
Run Coordination Meeting	26/01/2022	Online	380	Detection of Hunga-Tonga shock wave with POLAR set up at Ny Ålesund
Run Coordination	15/12/2021	Online	220	Ripartenza con nuove miscele di gas
Meeting EEE Project a Erice	17-19/11/21	Presenza-online	50/250	Masterclass sulle nuove miscele di gas
International Cosmic Day	10/11/2021	Online	300	Analisi dati della missione PolarquEEEst

Fig. 4. Elenco degli incontri mensili con le scuole, tema trattato e numero di partecipanti.

Come evidenziato il Progetto E.E.E. rappresenta un esempio unico, a livello nazionale e non solo, di attività di *outreach* nella quale il CREF e i suoi ricercatori sono impegnati sin dalla nascita dell'ente. Nell'ambito di E.E.E. sono molteplici le attività che vedono ricercatori studenti lavorare fianco a fianco: dalle iniziative per il grande pubblico durante le quali sono gli studenti stessi a portare la loro esperienza, ai progetti delle singole scuole inquadrati nei Progetti per le Competenze Trasversali e l'Orientamento. Tra le varie iniziative nate all'interno del Progetto EEE c'è anche la Missione PolarquEEEst (Garbini 2019) per la quale sono stati costruiti ed installati, alle isole Svalbard, presso la stazione Dirigibile Italia del CNR, tre rivelatori compatti per lo studio e monitoraggio del flusso dei raggi cosmici a latitudini estreme. Per tale missione sono state coinvolte nella costruzione dei rivelatori anche scuole superiori Norvegesi e Svizzere. Il rivelatore compatto e versatile si presta a misure anche in itinere e oltre a varie campagne di misura in auto sono state effettuate e saranno effettuate in futuro misure anche a bordo della Nave Scuola "Amerigo Vespucci" (Fig. 5).



**Fig. 5.** I rivelatori del Progetto PolarquEEEst a bordo dell’Amerigo Vespucci.

Sono in programma campagne di misura a latitudini variabili in Nord Europa, accompagnate da eventi di *outreach* con il coinvolgimento di scuole locali.

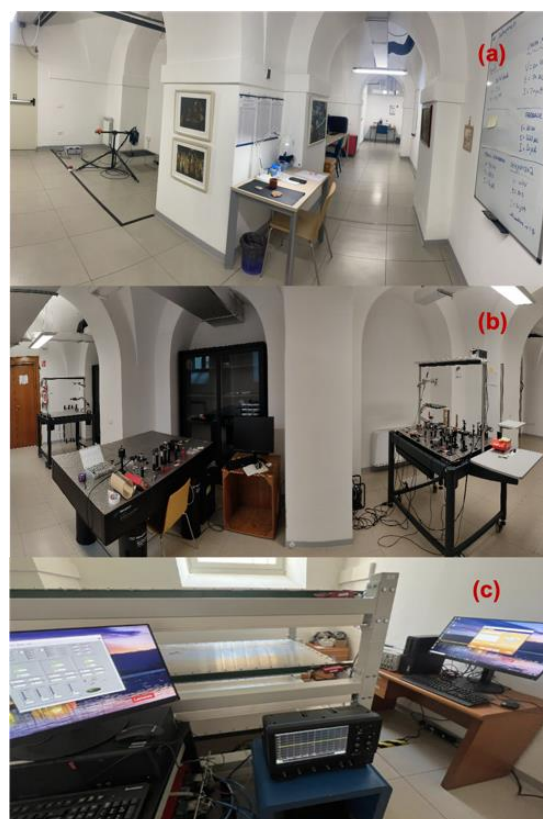
#### 4.2 Visite ai Laboratori del CREF

I laboratori del CREF sono infrastrutture situate nel seminterrato (piano -1) dell’edificio storico di via Panisperna e sono attivi nell’ambito delle seguenti attività di ricerca sperimentali: il laboratorio di Beni Culturali, il laboratorio di Fisica Computazionale e il laboratorio di Extreme Energy Events (E.E.E.) (Fig. 6).

Negli ultimi tre anni si è proceduto all’allestimento e alla messa a regime dei laboratori, che sono ora funzionanti e produttivi. Una volta entrati in funzione, i laboratori sono diventati una naturale estensione delle visite al Museo che permette un’ulteriore avvicinamento del pubblico alle tematiche studiate al CREF: i ricercatori, infatti, cercando il continuo dialogo con il pubblico, accompagnano i visitatori, studenti o grande pubblico, alla scoperta delle attività che si svolgono all’interno della Palazzina.

Ad esempio, nel laboratorio di Fisica applicata ai Beni Culturali il visitatore può capire come tramite strumenti e metodi propri delle discipline scientifiche, sia possibile indagare quale fosse la ricetta di preparati e medicinali utilizzati in epoche passate o in che modo antichi popoli forgiavano il metallo.

La visita al laboratorio di fotonica computazionale avvicina il visitatore ad un laboratorio sperimentale di



**Fig. 6.** I laboratori del CREF: laboratorio di Fisica per i Beni Culturali (a), il laboratorio di Fisica Computazionale (b) e il laboratorio E.E.E. (c).



fotonica quantistica che ha ottenuto importanti risultati scientifici nello sviluppo di nuovi computer.

Il laboratorio del Progetto E.E.E., infine, ospita uno dei telescopi per la rivelazione dei raggi cosmici della rete.

I laboratori, infine, sono al centro di attività legate a Progetti per le Competenze Trasversali e l'Orientamento (P.C.T.O.) in collaborazione con le scuole secondarie.

### ***4.3 Progetti per le Competenze Trasversali e l'Orientamento***

Il Centro Fermi offre alle scuole secondarie la possibilità di svolgere attività inquadrata in Progetti per le Competenze Trasversali e l'Orientamento (P.C.T.O., ex Alternanza Scuola Lavoro).

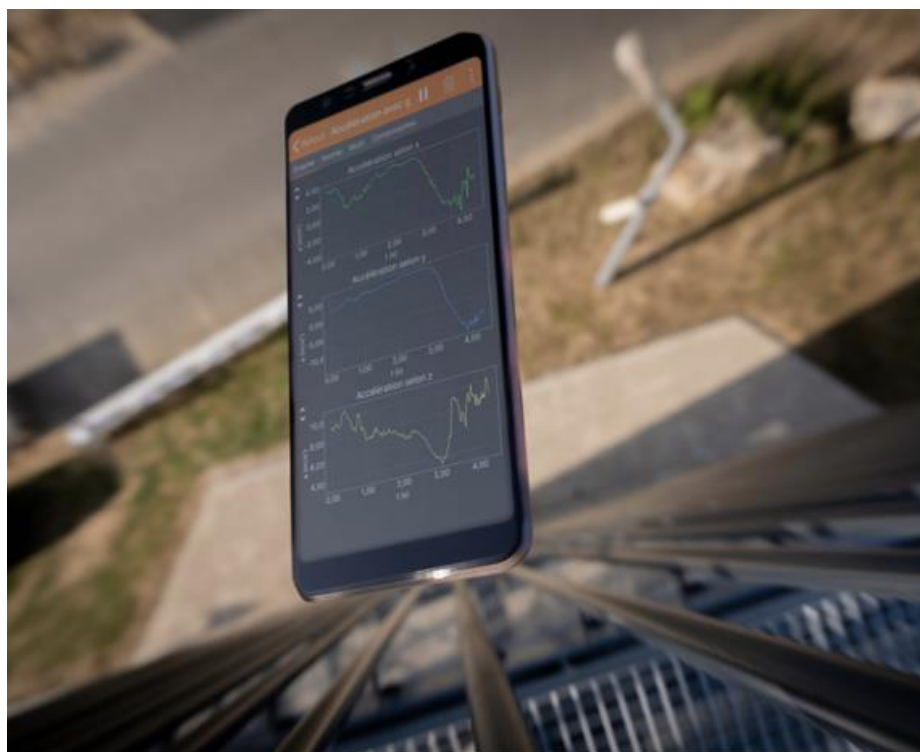
Alcuni esempi sono i P.C.T.O. legati al Progetto E.E.E. che riguardano tutte le attività svolte per il Progetto, dall'analisi dati al monitoraggio dei rivelatori, dalle campagne di misura della radiazione cosmica con rivelatori portatili alle Masterclass organizzate dalla collaborazione.

Altri P.C.T.O. sono in fase di avvio nell'ambito della Fisica applicata ai Beni Culturali ed infine nel corso dell'anno scolastico 2023-2024 il CREF avvierà un Progetto legato alle cosiddette discipline STE(A)M, "The Smartphone Physics Challenge" (Fig. 7) con l'obiettivo primario di coinvolgere alunni e alunne in attività che prevedono di effettuare misure attraverso l'utilizzo di uno smartphone come strumento scientifico.

L'attività consente di introdurre il concetto di misura scientifica e di illustrare le problematiche connesse alla sua interpretazione, ma anche di parlare delle abilità dello scienziato di congegnare procedure e dispositivi capaci di eseguire tali misure.

Non solo gli studenti (ed anche i professori) saranno messi di fronte alla possibilità di utilizzare un oggetto della vita quotidiana per effettuare una misura ma saranno anche chiamati a riflettere e ideare la maniera di effettuare la misura e, utilizzando materiali semplici, costruire materiale di supporto e corredo per la misura stessa.

Anche in queste attività i ricercatori del CREF sono coinvolti attivamente in prima persona.



**Fig. 7.** "The Smartphone Physics Challenge", immagine di copertina.

## 5. Conclusioni

Comunicazione, accessibilità, inclusività: sono queste le parole chiave su cui ci si sta concentrando nel programmare e disegnare le proposte di ricerca e i progetti legati al Museo Enrico Fermi.

L'obiettivo è rendere questo museo un luogo di dialogo e di scambio, dove competenze e professionalità tra loro differenti, ma complementari, si possano unire e insieme collaborare a creare percorsi di apprendimento in un dialogo continuo con la storia, la ricerca e la divulgazione della scienza.

Un dialogo che vede protagonisti i visitatori del museo, spesso rappresentati da giovani studenti e studentesse che stanno organizzando e programmando le proprie scelte per inserirsi nella società. Futuri cittadini che sempre più devono potersi avvicinare alla scienza in maniera critica e consapevole per orientarsi nella nostra società della conoscenza. Una consapevolezza che porta con sé curiosità, apertura mentale e spirito critico.

Un percorso che prosegue con progetti e attività di *outreach* ad ampio spettro rivolte ad un pubblico sempre più ampio di studenti con l'obiettivo di avvicinarli alla scienza e renderli protagonisti di percorsi di apprendimento e approfondimento unici.

## Bibliografia

- Focaccia, M. (2020). "The 'practical school' of Physics at via Panisperna: from the lecture theatre to the laboratory", *Physis*, 55, pp. 400-414.
- Focaccia, M. (2020). "The role of place in engagement with science: the new seat of "Enrico Fermi Historical Museum of Physics and Study and Research Centre", in La Rana, A. & Rossi, P. (eds), *Atti del XXXIX Congresso nazionale SISFA*, Pisa, 9-12 settembre 2019. Pisa: Pisa University Press, pp. 425-33. doi: 10.12871/978883339402261
- Garbini, M. *et al.* (the EEE Collaboration) (2019). "The PolarquEEEst mission: Measuring the cosmic ray flux at the North Pole", *Proceedings of the 104° Congresso della Società Italiana di Fisica*, Rende (CS), Italy, September 17-21, 2018, *Il Nuovo Cimento C*, 42(5), 229. doi:10.1393/ncc/i2019-19229-0
- Garbini, M. *et al.* (the EEE Collaboration) (2022). "Outreach activities of the EEE Project", *Proceedings of the 41st International Conference on High Energy physics - ICHEP2022*, Bologna, Italy, July 6-13, 2022, *Proceedings of Science*, ICHEP2022, 380. doi: 10.22323/1.414.0380
- Zichichi, A. (2005). "Progetto "La Scienza nelle Scuole". EEE-Extreme Energy Events", Italian Physical Society. Disponibile al link: [https://eee.centrofermi.it/images/EEE-PaperAZ/EEE\\_Paper\\_AZ-2017.pdf](https://eee.centrofermi.it/images/EEE-PaperAZ/EEE_Paper_AZ-2017.pdf) (Ultimo accesso: 30 giugno 2024).



# “LOOK UP!” A Virtual Exhibition about the Historical Astronomical Atlases

Federico Di Giacomo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INAF-Astronomical Observatory of Padova, federico.digiaco@inaf.it

*Abstract:* The new technologies are changing every aspect of our life, socially and workwise. In the same way, digital tools are becoming increasingly important to protect, preserve, and valorise cultural heritage. The digitalization of the archive's documents and ancient books, the realization of augmented reality apps for museums, or even the creation of virtual realities set in cultural or landscape environments that are protected or not open to visitors, are examples of the use of the new technology in the field of cultural heritage.

In this context, the projects “Cosmic Pages” and “Touch Sky” were developed. One of the main goals of these projects was the realization of the virtual exhibition “Look Up!”. It is an effective virtual tool aimed at enhancing and giving maximum dissemination of the collection of the star atlases, cometographies, and selenographies preserved in the Observatories of the Italian National Institute for Astrophysics. This virtual exhibit was conceived and realized allowing the visitors to discover, explore, and understand how our knowledge of the cosmos, the Moon, and the planets has evolved and changed with the time. Using the most advanced technologies, virtual reality, 3D models, videos, etc., visitors can explore the scientific and cultural contents of the star and cartographic atlases.

*Keywords:* Celestial atlas, Virtual Museum, Astronomical heritage, Virtual reality, Educational activities

## 1. Introduction

According to UNESCO, heritage is the value of “Cultural legacy which we receive from the past, which we live in the present and which we will pass on to future generations”<sup>1</sup> and includes the inheritance of tangible (books, buildings, landscapes, monuments) and intangible (folklore, knowledge, language, and traditions) assets of a group or society, and which must be protected, preserved, and valued, for future generations to be inspired.

The increasing advances in digital technologies are impressive and ever-growing, from 3D technology to artificial intelligence and virtual/augmented reality. The possibilities offered by all these tools can be used both to ensure preservation, and to capture the imagination of the youngest. Today, ideas like virtual museums or virtual exhibitions are eagerly adopted (practiced), fuelled by the idea that if visitors cannot get physically to the museum, the museum goes to visitors (Paolini *et al.* 2000). Especially during the Covid-19 pandemic, many institutions expanded their digital offers by creating virtual tours, and apps for smartphones, like MAUTO - the app of the *Museo dell'Automobile* of Turin<sup>2</sup> - or Depot - an augmented reality app of the *Boijmans Museum* in Rotterdam.<sup>3</sup> The National Institute for Astrophysics has also contributed with the creation of virtual tours of historical buildings, 3D models of the astronomical instruments preserved in the Italian Astronomical Observatories, operated by INAF, and virtual exhibitions. All these gimmicks allow virtual visitors, comfortably seated on their sofas, to

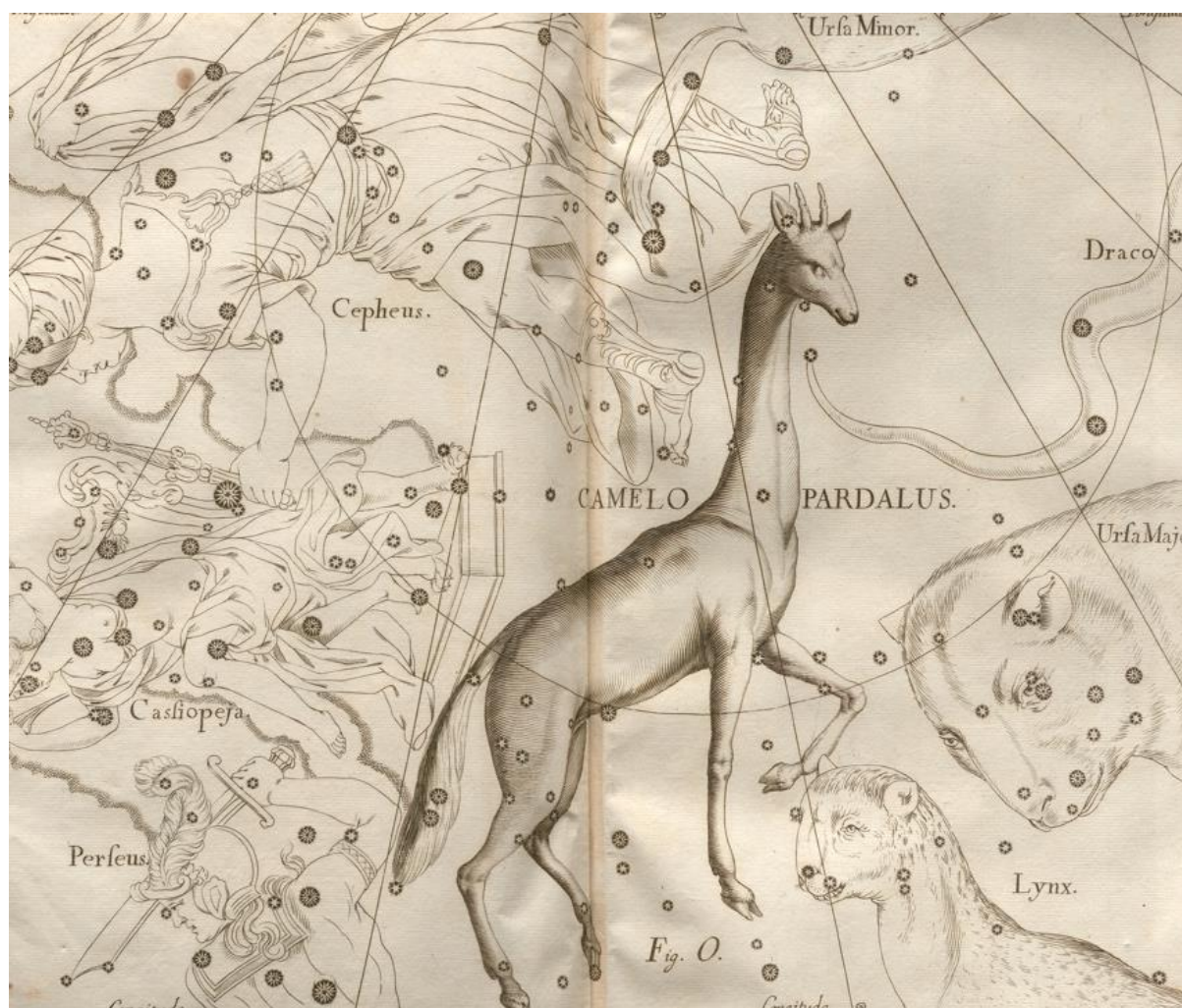
---

<sup>1</sup> Definition of the Cultural and Natural Heritage, adopted by UNESCO on 16 November 1972

<sup>2</sup> <https://www.museoauto.com/app/>

<sup>3</sup> <https://www.boijmans.nl/en/depot/app>

follow the programming of the main cultural institutions. Furthermore, new technologies play a fundamental role in the protection, conservation, restoration, research, dissemination and promotion of tangible and intangible cultural assets, coming from all types of cultural institutions (museums, galleries, libraries, archives, monuments and sites). Using this approach, many of the rare books preserved in the Italian Astronomical Observatories were digitised and are now available in the *Teca digitale*<sup>4</sup> of the website *Polvere di stelle* (Fig.1). In this context, digital tools or virtual technologies cannot replace the real experience of visiting a museum or archaeological area, but they can increase knowledge and improve the promotion of cultural heritage.



**Fig. 1.** Constellation of the Giraffe. Detail from Johannes Hevelius, *Prodromus astronomiae* (1690), available on the INAF *Teca Digitale*. Courtesy “Santini” Library, INAF-OAPd.

## 2. The Celestial Atlases preserved in the INAF Observatories

Observing and interpreting the sky has always been one of man’s fundamental instincts. Recognizing the cyclical nature of time and astronomical events were actions of great importance, even practical, started by the Chaldeans and Babylonians and reached us. Fixing and rediscovering myths, heroes and fantastic figures on the celestial vault has characterised ancient cultures and traditions. Between the second half of the 16th century and the beginning of the 17th, illustrated scientific books spread

<sup>4</sup> <https://www.beniculturali.inaf.it/teca-digitale>



throughout Europe. Starting from 1609, moreover, astronomical observations were no longer conducted with the naked eye but utilising the telescope. The celestial world thus revealed a lot of details, illustrated with painstaking care in works of rare beauty, especially the Atlases, which merged art, mythology and science. Johann Bayer's *Uranometry* opens the so called "golden age" of the history of celestial cartography, thanks to the greater accuracy of the positions of the stars derived from the catalogues written by the best observers, such as Tycho Brahe, and to the spectacular aesthetic achieved in the representation of the figures of the constellations. With the development of astronomical technologies, atlases were enriched with stars, as evidenced by the marvellous works of Andreas Cellarius, Johannes Hevelius, Johann Gabriel Doppelmayr, John Flamsteed or Johann Elert Bode. Just the Bode's *Uranographia* (1801) marks the XIX century separation between atlases for professional astronomers and those for the wider audience of astronomy lovers. The great stellar surveys, carried out between the nineteenth and twentieth centuries, opened the way to the most complete stellar investigation realised nowadays with satellites and space telescopes. Through the atlases, therefore, you can follow the historical developments of astronomical science and technology and the advancement of man's knowledge about real constitution and true dimensions of the universe.

Together with research activities in different fields of astrophysics, and in astronomical technologies, INAF promotes projects to preserve and valorise its bibliographic, archival and instrumental heritage. The INAF observatories, the most ancient scientific institution in Italy, hold more than 7000 rare books, including 19 incunabula and 30 manuscripts. Moreover, the Italian observatories safeguard over 1200 astronomical instruments, dated from the 11th century to the first half of 1900, as well as INAF preserves over 3 million documents in its historical archives. Within the INAF cultural heritage the collection of celestial atlases plays an important role for the history of modern culture, due to their painstaking care, these volumes are works of uncommon beauty merging art, mythology and science.

### 3. The project

Within the INAF cultural heritage the collection of celestial atlases plays an important role for the history of modern culture. Atlases show the evolution of the human vision of the cosmos through the ages accurately. The timeline starts from the 1022 stars in the Ptolemy's *Almagest*, moves through the observations made at the beginning of telescope era, and arrives to the great stellar surveys realised in the last two centuries, which precede the most complete ones carried out today with satellites, such as Gaia and Kepler. To enhance and give maximum dissemination to this rich collection of celestial atlases, cometographies and selenographies preserved in the various INAF observatories, the projects "Cosmic Pages" and "Touch Sky" have been developed.

#### 3.1 Digitalization

INAF researchers, technologists and technicians with complementary skills participated in these two projects: astronomers, librarians, historians of astronomy, experts in scientific communication to carry out segments of activities and cultural events that reach different audiences of users.

First, we proceeded with the systematic cataloguing of all the celestial atlases preserved in the INAF libraries, identifying a particularly relevant nucleus of these volumes capable of providing a coherent vision of the development of scientific knowledge on the Universe, on the Moon and on bodies of the Solar system. Subsequently, with the help of a spin-off from the University of Bari, we digitized, using the most innovative data scanning and metadating techniques, the celestial atlases selected and preserved in the INAF libraries.

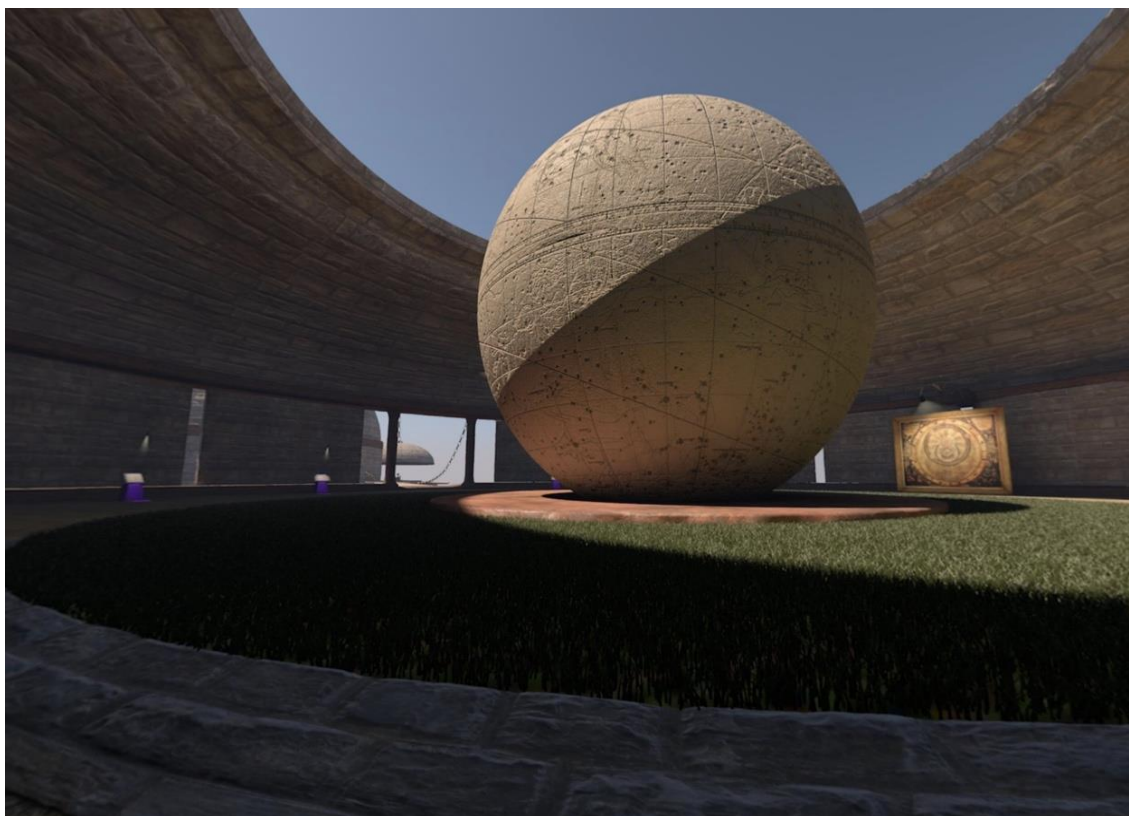
All digitalisations have been integrated into the INAF cultural heritage portal *Polvere di Stelle* for consultation. In this way anyone, in any part of the globe can study, read, analyse the various celestial atlases preserved in the INAF observatories.

### 3.2 The virtual exhibition “Look up!”

Experimenting with new technologies to communicate the value and importance of historical heritage means reaching a large audience and creating new educational opportunities. These are the bases for the virtual exhibition *Look up!* (Di Giacomo *et al.* 2022), which aims to show and give maximum dissemination to the rich collection of celestial atlases preserved in the various Italian astronomical observatories.

*Look up!* is a virtual exhibition, accessible from any device (PC, Tablet, Smartphone, Oculus), whose primary goals are to enhance, describe and give maximum dissemination of the entire collection of the stellar atlases, cometographies and selenographies preserved in the INAF Observatories. As described in the previous section, the collection of celestial atlases plays an important role in the history of modern culture and represents a real milestone in the scientific revolution. Indeed, rare star atlases, including cometographs and selenographs, such as those by Hevelius, Doppelmayr, Flamsteed and Bode, reveal a variety of details accurately showing the evolution of human vision of the cosmos through the ages.

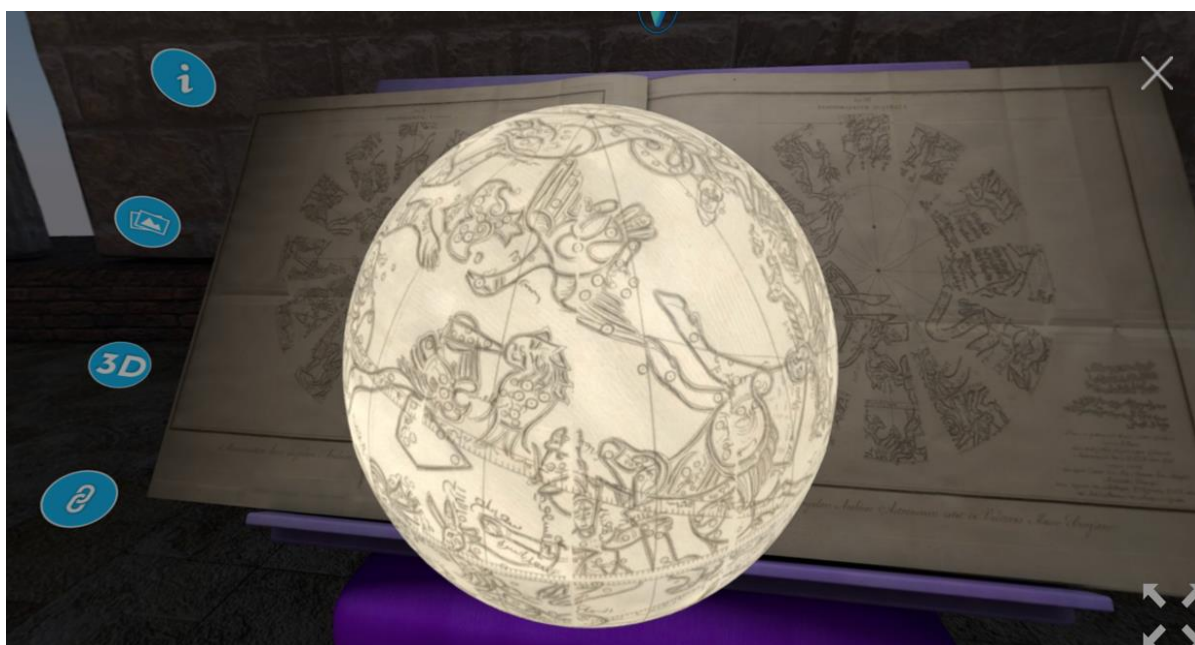
In the first phase of the work, we have realised a detailed storyboard containing both the description of the virtual environment (structure, characteristics, mobility, etc.) and all the interactions and content to be provided to users. The virtual environment, created and modelled ad hoc, is divided into three distinct rooms, each dedicated to one of the main themes of the exhibition: the stars, the Moon and the Solar system. All the rooms have a circular structure where the various atlases are arranged on appropriate lecterns along the walls, while in the centre there is a distinctive element of the room (a celestial globe for the star room, a moon for the related room and a modern representation of Mars for the room dedicated to the Solar system). Each room is self-consistent and connected to the others so that the user can freely choose whether to explore a single room or follow a path that takes him through each room (Fig. 2).



**Fig. 2.** The first room of the Virtual Museum *Look up!* where the visitors can explore the evolution of our knowledge of the sky.

Thanks to a series of hotspots the users can move around and approach the various atlas present in the exhibition. In addition, they can browse the different volumes and interact with them and obtain a series of information and contents related to the atlas under analysis, its characteristics and the cultural background in which it was created (Fig. 3). For this purpose, we have made a series of videos, infographics and 3D models regarding various celestial objects. For example, in Bayer's *Uranometria*, the users can observe and analyse the 3D model of the Tycho's Supernova remnant, the rest of a stellar explosion that occurred in 1572. In addition, thanks to a video, the users can have much more information about this object. In the same way we introduced many other models and videos in order to show, e.g., the Saturn Ring described by Huygens, or the lunar phases and the lunation phenomena presented by Hevelius in his *Selenography*, etc.

Finally, to guide users through the different rooms and describe the characteristics of the various atlases, we have created a virtual guide, named Lu. Lu's voice is that of the Italian actor and voice actor Luca Violini. Lu's main task is to guide users around the exhibition, suggesting how to interact with the various atlases on display and providing visitors with information and content about the objects.



**Fig. 3.** In the exhibition we have inserted different 3D models that show different astronomical objects like celestial globe, supernovae remnants, Moon, comets, etc.

### 3.3 The visual identity

In addition to working directly on the exhibition and creating the various video, audio, and 3D contents, we also have studied and created the graphic layout of the entire project.

First of all, we have realised a logo, containing the three basic elements of the exhibition: stars, moon and solar system. Then we have also chosen a colour code to identify the three different rooms and all the other graphic and visual elements inherent to the different environments (hotspots, lecterns, buttons, etc.). In this way the exhibition is easily recognisable, and the user can immediately identify its various sections. The colors chosen are part of a harmonic trio and are:

- a. Purple (#9300F4) for the room of stars.
- b. Green (#00F493) for the room of Moon.
- c. Orange (#F49300) for the room of Solar system.

All this information was then codified in a Visual Identity manual created and published on the project website.

### 3.4 The educational workshop

Using the contents conveyed within the exhibition, we have realised six educational workshops, two for each section of the exhibition (two workshops are regarding the stars and the constellations; two are dedicated to the Moon and lunar phases; finally, two are devoted to the planets, especially Mars). The main objective of these activities is to raise awareness of scientific development, even in areas of greater social fragility and early school leaving. Indeed, these activities have been developed in partnership with *Save the Children Italia* and were carried out in their 'Light Points'. Light Points are places developed to guarantee a future for children living in at-risk suburbs and most disadvantaged areas of cities through free education and support to educational communities.

These activities started in November 2023 and involved seven Light Points spread across the entire national territory (Turin, Milan - Quart Oggiaro, Marghera (Ve), Rome - Ponte di Nona, Naples - Sanità, Palermo - Zen, Catania). More than 300 children aged between 6 and 15 took part in the various activities (Fig. 4).

To evaluate both the degree of satisfaction and the level of learning of the various workshops proposed, all participants were given a simple survey, before and after the activity, with a few questions regarding the topic covered (Fig. 5). By analysing the data obtained from this analysis it was possible both to understand the level of knowledge of the participants and to improve some of the activities making them more engaging and efficient. In general, all the children found the activities extremely interesting and by comparing the pre-activity and post-activity questionnaires, an adequate understanding of the various concepts examined was seen.



**Fig. 4.** Some children during one of the educational workshops



So, the workshops aim to reach that segment of the school population that suffers from greater social fragility, promoting and supporting the individual's self-determination and self-expression, regardless of personal condition, gender, social status, or culture of belonging. In doing so, they use the cultural heritage of Italian astrophysics as a tool for growth and an opportunity to develop new skills and passions.

## La scatola delle fasi lunari

Cosa sono le fasi lunari?

QUANDO VEDIAMO LA MEZZA LUNA E LA LUNA PIENE

---

Noi vediamo sempre la stessa faccia della Luna?

Si  
 No

Ogni quanto si ripetono le fasi lunari?

Circa 28 giorni  
 Circa 30 giorni  
 Ogni settimana

Perchè  
Ti sei divertito/a?

Si  
 No

Perché?

PERCHÉ HO SCOPERTO DELLE COSE NUOVE È ERA BELLO ↓

Fig. 5. Example of the final test

### 3. Conclusion

The virtual exhibition “Look up!” represents an important tool for spreading scientific culture and enhancing the very rich historical heritage of the Italian Astronomical Observatories.

In addition to the virtual exhibition, a selection of the most significant atlases has also been collected in a catalogue entitled *Cosmic Pages: stellar atlases in Italian astronomical observatories* (Chinnici & Gargano 2022), published by Arte'm.

Finally, the two projects, “Touch Sky” and “Cosmic Pages”, gave rise to the documentary film *Touch sky carte mappe atlanti stellari*, edited by Davide Coero Borga and Marco Cantini; this is the first documentary film promoted and produced by the National Institute of Astrophysics which was broadcast on 11 July by Rai Cultura and is currently available on RaiPlay.

The main reason that prompted us to focus our attention on this particular type of bibliographic material lies in the fact that the exact representation of the sky is not a scientific enterprise that ended in the past: it marks contemporary research and also the near future. The valorisation and study of this extraordinary historical heritage constitutes a further important element for the knowledge of the numerous treasures which are conserved in Italian observatories and give an admirable sign of continuity towards the contemporary research of the most noble and sublime of sciences, which is astronomy.

Despite the formal closure of the two projects, we are still working on adding new contributions and translating the entire exhibition into other languages to be able to reach users in every part of the globe, helping to enhance and protect the past to make it available and usable for all present and future generations.

### **Acknowledgments**

Thanks to all the people who contributed and collaborated in the creation of the “Look up!” exhibition.

### **Bibliography**

- Chinnici, I. & Gargano, M. (2022). *Cosmic pages: Atlanti stellari negli osservatori astronomici italiani*. [Napoli]: Arte'm.
- Di Giacomo, F. *et al.* (2022): *Look up! Sfoglia il cielo con un dito*. Available at: [www.lookup.inaf.it](http://www.lookup.inaf.it) (Accessed: 3 August 2024).
- Paolini, P. *et al.* (2000). “Visiting a Museum Together: how to share a visit to a virtual world”, *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 51(1), pp. 33-38.

# Old Quantum Physics for Cultural Education

Marco Giliberti<sup>1</sup>, Luisa Lovisetti<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Physics “Aldo Pontremoli”, University of Milan - marco.giliberti@unimi.it

<sup>2</sup> Department of Physics “Aldo Pontremoli”, University of Milan - luisa.lovisetti@unimi.it

*Abstract:* Personal culture can be considered as that rich knowledge that makes people able of a broad vision, new ideas, and personal reflections about reality. With social culture, instead, we mean those habits, values and behaviours adopted by a given society. But we can also consider disciplinary culture, *i.e.*, the one “identified” by a disciplinarily differentiated group, like physicists. It is from this last point of view that often scientists complain of a lack of diffuse scientific culture. This fact comes from the observation that, indeed, few people think physics is able to touch, besides people’s minds, also people’s hearts. However, even scientists themselves rarely wonder why, and in what sense, science should really be a cultural part of the whole society. The Physics Education Research Group of the University of Milan strongly believes that awareness of the importance of cultural aspects of physics should be highlighted, and placed at the base of physics education. In this talk, we will mainly focus on our work on the historical-philosophical-educational aspects related to the birth of quantum physics, the challenges it generates and the perspectives it opens up for a general overview of the problem. We will discuss motivations, proposed methods, and tools to manifest physics as culturally strongly intertwined with the vision of the world and of life of each of us.

*Keywords:* Physics education, History of physics, Cultural understanding

## 1. Introduction

The indicator number 1 of the success of the initiatives implemented by the Italian PNLS – Piano Nazionale Lauree Scientifiche (National Plan for Scientific Degrees) 2023-2025 is given by the percentage of students enrolling in the second year of physics having acquired at least 40 CFU (Crediti Formativi Universitari – University Course Credits). In this way, the university is encouraged to increase the number of students keeping up with the courses - and this encouragement is certainly positive: in fact, we know that today, in Milan, the percentage of students who drop out of the bachelor’s degree is as much as 50%. But how can we do it? And how will it be done? Will we simplify the content of the courses, or will we increase student evaluations in exams? Or will we, as teachers, find a way to be more effective and higher in our objectives without the need to lower the bar? Will we make it?

However, perhaps the problem is not that of lowering the bar. Perhaps the problem is that what we want and what we could do depends on the profiles we hope students will have upon graduation. From this point of view, there are many possible dimensions of action:

- we could propose a profile that emphasizes knowledge in various fields of physics or one that is highly specialized in a single sector;
- we could propose a profile where the ability to create connections and parallels between different areas of knowledge is important;
- we might focus on a highly cultural profile of the outgoing student in its most concrete manifestations, for example, with its connections to technology;
- we could work for a high cultural profile on historical, philosophical, and epistemological aspects;

- we could work for a high capacity of judgment, since independent thinking might appear more important;
- we might choose a profile for our students with non-trivial collaborative abilities in group work;
- we may also look for specific communicative skills in our students, given the society we live in;
- we might propose a curriculum aimed at developing metacognitive reflection skills, fundamental, for example, for teaching.

The crucial point is: will we be able to propose various profiles so that each student can choose the one that suits them best? And how is it possible that teaching methods have changed so slowly over the years despite, on the one hand, school demands in terms of national guidelines and, on the other hand, university demands, essentially if all fronts have evolved a lot in recent decades? In this regard, what can research in physics education say?

## 2. Science without art (nor part)

In the XXI century, the relationship between physics and the arts, as well as the humanities in general, has become increasingly intense and fruitful. However, in major theatres, it is still challenging to see scientific performances on the bill; they are often presented in *matinees* for schools and expressly have a (pseudo) educational value, serving as essentially informative communication tools rather than works of art.

Moreover, in the world's leading art galleries, there are no beautiful and important paintings inspired by physics on display; and as far as we know, no poet has received the Nobel Prize for poems related to physics. In reality, few people believe that science is capable of touching the hearts (as well as the minds) of people, containing fundamentally non-rational, emotional aspects, as one expects art to do.

Returning to the earlier examples, “The Potato Eaters” and not “Physicists in the Laboratory” is a painting by Van Gogh. On the other hand, “Broken Symmetries” is a famous physics paper by Goldstone, Salam, and Weinberg (Goldstone, Salam & Weinberg 1962), even though it could be the title of a bestseller about the relationship between men and women; it could, but it is not. Do any of us know a poem or a show titled “Invariant Lagrangians”? Probably not.<sup>1</sup>

Indeed, scientific theatre, as well as scientific painting or scientific music, struggle to emerge from an artistic perspective. Scientific theatre shows generally attract a considerable audience and, perhaps not always, but very often, they are indeed interesting. However, it is difficult to consider them artistically beautiful.

As we are accustomed, the almost total absence of science in major artworks appears unreasonable. In fact, science is a cultural product of humanity and the society in which she lives, constituting an important part of the social framework, significantly contributing to changing our worldview and our perception of our place in the world we live in. As Feynman said, “Why do the poets of the present not speak of it?” (Feynman, Leighton & Sands 1963, p. 3-6).

Moreover, the situation is completely symmetrical in the scientific field as well. We find very little theatre,<sup>2</sup> very little painting (indeed, we could say no painting at all) and no poetry in university physics courses. In fact, it is even difficult to imagine that things could be different and that a true interdisciplinary construction of knowledge could be useful and productive not only for the formation of a mature person but also for the understanding of the disciplinary aspect itself. Yet, the offering of so-called scientific exhibitions, events that combine art and science, is extensive. Still, how many of these

<sup>1</sup> But in case you do, please let us immediately know!

<sup>2</sup> The only example known to us, is the use of theatre to enhance the understanding of physics in the course of Didactic Experimentation Preparation for the master's degree in mathematics, at the University of Milan, held by one of the authors (M.G.) with the collaboration of the other one (L.L).



events truly manage to combine art and science in a way that enhances both and does not impoverish them in operations that are merely trendy?

### 3. It is a question of culture

It is thus all a matter of culture, and what is meant by this word.

Culture can manifest itself in many aspects; for example, there is rich personal culture, the one that enables individuals to have a broad vision, new ideas, personal reflections on reality, to open new perspectives, and find new paths.

However, there is also social culture, the set of habits, values, and behaviours adopted within a specific society, in its relations with other societies, with other values and also with other cultures. Then there is, perhaps most importantly, disciplinary culture, the one identified by a distinct disciplinary group, such as physicists or chemists, or scholars of literature or musicians. From this perspective, it is often lamented, especially by scientists, that there is a lack of sufficiently widespread scientific culture within society, within schools, within institutions, and within cultural events.

Yet, when the topics discussed are meaningful to people – for example, because they are perceived as useful, beautiful, fascinating, or because they contribute to well-being, or because they create conditions of greater productivity and effectiveness –, well, in those cases, interest, attention, the desire to understand, the willingness to listen, and sometimes even the pleasure to get involved are generally much greater.

However, culture is often discussed in a different sense, almost as if it were a citizen's obligation, spoken of as a civic duty. Sometimes, culture is discussed as a social elevator. But what, in our opinion, is the most important and defining element of culture is often left aside: culture speaks to what is deep within us; that's why it touches our soul, modifies our worldview, our vision of life, gives us the opportunity to experience the pleasure of exploration and the significant, yet often overlooked, pleasure of understanding.

Perhaps we could say this: culture is the pleasure of an endless exploration, a tool for understanding, and, therefore, often also for action.

### 4. Physics as culture

Indeed, one of the main cultural aspects inherent to physics lies in its significant push to transcend common thought, to transgress the usual interpretation of reality, and to understand that questions that have seemed important and meaningful for centuries are, in fact, devoid of meaning. It is the culture of physics that proposes entirely new questions, so different that they wouldn't have made sense before. It's a matter of perceiving the sense. Prototypical in this regard is the question of whether the Earth is stationary or in motion. It took at least two millennia to understand that the notions of motion and rest are equivalent; an extensive effort was required, ultimately leading to the principle of inertia formulated by philosophers, scholars, physicists, and finally by Newton, before grasping the depth and importance of this concept. The same thing happened to the inertia principle as what Weinberg wrote about the cultural significance of quantum mechanics,

The historical importance of quantum mechanics lies not so much in the fact that it provided answers to a number of old questions about the nature of matter – much more important is that it changed our idea of the questions that we are allowed to ask (Weinberg 1993, p. 51).

It is often said that the important thing is to ask questions, while the aspect of what questions are appropriate is sometimes overlooked. Not every question is a sign of understanding; a first step toward understanding precisely consists in being able to ask meaningful questions and understanding that some

questions simply do not have answers. Posing them is like carrying burdens that are historically heavy and do not take us far. Understanding what new questions are permissible to ask, even without necessarily obtaining answers, is perhaps the most important thing that school could teach.

In fact, the knowledge we have acquired in recent centuries far surpasses that obtained in all previous millennia. Therefore, each student's knowledge will inevitably be a very small set, almost negligible, compared to the total, even if she/he focuses on a specific field of study. However, her/his education will not necessarily be vain – despite her/his small amount of knowledge – if it is not primarily based on knowledge but, as is rightly fashionable to say, based on actual skills. If the student understands what she/he can do with such a new knowledge, where it comes from, how it was obtained, who obtained it and why, how these new insights can truly change our lives and theirs, and why these pieces of knowledge are genuinely important for us, for each of us, for everyone.

### **5. Cultural Pedagogical Content Knowledge**

So, again, let us ask ourselves: can research in physics education be useful? It is from educational research that we know the traditional structure of disciplinary knowledge is not the most effective framework for learning. To motivate study and facilitate understanding, a profound revision of the structures shaping our knowledge of the world is necessary – and the world of physics is our main focus here. Alongside this deep revision, it is crucial to reflect profoundly on the mediating role that the teacher must play; the teacher who works with students, as it happened in the art workshops of the Renaissance when education was imparted by peers and gradually, through imitation, followed the Master's school, eventually reaching maturity.

This is why educational proposals should unequivocally highlight the model-like nature of knowledge, the humanistic nature of modelling, and help students gradually develop new scientific ways of looking at the world, systematically comparing the complexity of abstract concepts with the complexity of real facts.

The context from which physical ideas and descriptions emerge must be meaningful, both for the student and evidently for the teacher proposing it. It must be rich enough, not devoid of context and meaning – contrary to what often happens. Indeed, the younger or less experienced the student, the more the presentation is usually simplified, whereas it is advisable for it to be richer and less simplified, placed in a broad context.

When we think about common knowledge – or rather, what we awkwardly term “common knowledge” (awkward in the sense that we would not even be able to define it broadly) – and disciplinary knowledge and we consider them as two mountains, we should not view education as a path leading from one summit to another, leaving us so much time in the valley between them. Instead, we should see it as a Tibetan bridge connecting the two peaks without passing through the valley of minimal knowledge, otherwise we no longer know how to use “good” common sense nor even structured disciplinary knowledge, as often happens (just think of the senseless statements heard in physics orals or the nonsensical notions about wave-particle duality). We must address human development by combining common knowledge with disciplinary knowledge. Our action must be both-and, not either-or. Teaching is often sterile, with cultural aspects left entirely to physics communication and popularization. This is why cultural aspects should be intrinsically present in disciplinary teaching in synergy with what happens and with the disciplinary aspects of other subjects.

Not only should teachers pedagogically understand disciplinary constructs, i.e., possess the so-called Pedagogical Content Knowledge (PCK), but they should also be able to integrate this knowledge into a broader cultural environment. The vastness of the cultural environment, in synergy with the aspects related to methodologies handed down by decades of research in education, constitutes the driving force

of both disciplinary and cultural education for teachers. That is why we consider it crucial for teachers training to adopt a perspective of Cultural PCK.

In the past, physics education has mainly focused on the most effective methods to achieve an appropriate understanding of disciplinary knowledge. Only recently the question has arisen of how this knowledge can be integrated in a global perspective that is culturally meaningful for students. For instance, it is widely known that the first principle of dynamics is particularly challenging for everyone, including students. In the past, physics education research has studied and now knows methods and tools that are useful and effective in improving the learning of dynamics principles; methods that allow students a deeper appropriation of dynamic concepts. The result of all this is that students following educational paths based on research that has led to these results respond much better, for example, to the force concept inventory (Hestenes, Wells & Swackhamer 1992). In a sense, we could say that they understand dynamics better than those who have not followed these paths and, therefore, may respond with fewer errors to this inventory.

However, these methods that aid understanding are not generally capable of improving the cultural comprehension of dynamics principles and allowing students to frame them both historically and philosophically in a context that fills them with wonder and changes at least part of their worldview. In short, what will these fundamental dynamics concepts mean to them? What values will they have for them, and in what ways will they change their lives?

From this perspective, even active learning (crucial to ensure teaching), is not a "mere" strategy to improve understanding but a didactical tool for that active appropriation of skills that we call culture. Indeed, for active learning to lead to personal cultural appropriation, it must be placed in a network of relationships that confront it with other perspectives: historical, philosophical, epistemological, technological, and emotional.

## **6. The central role of university in educational improvement**

So, have we to start in order that, in addition to pedagogical and disciplinary knowledge, besides active learning knowledge, we can also discuss a way of learning able to incorporate disciplinary aspects into a broad cultural framework? Our idea is that we must start from the university and university cultural education; we must start from the university because, otherwise, we will have physics graduates who, as well-prepared as they may be in their discipline, will not know how and why physics truly fits into the culture of a country and of a society.

Phenomena, whether physical or social, are all like the tip of an iceberg (Ludwig & Thurler 2007, p. 4) and culture is the set of connections we make to hypothesize the underwater shape of the iceberg. From this perspective, history and philosophy of science are fundamental for teaching. The approach to teaching must be epistemologically well-founded and give great consideration to what is called the Nature of Science. Indeed, knowledge, typically scientific knowledge, results from a very complex process that allows us to identify both how ideas evolve and their current state. Knowledge of the evolution of these ideas helps identify the epistemological and ontological barriers that must be overcome to understand.

A cultural structure of this kind allows the construction of teaching approaches that help avoid paths based on imprecise, blurry, or overly simplistic perspectives. From a concrete standpoint, there also needs to be significant synergy with non-formal and informal tools for approaching culture: the student certainly does not live only at school, and we must learn to manage, convey, and exploit the information and cultural aspects that come from every direction and every hour of the day.

The university must be the pivot and at the same time the engine of this revolution in the teaching approach.

## 7. Educational research as support for history and knowledge

The idea that history can help education is a well-known fact (although perhaps not widely utilized in teaching). However, what we would like to highlight is a less known aspect, namely that education can also assist history in focusing on interpretative problems. In fact, along with history, education, by its nature of studying ways of understanding and learning, can aid in constructing and exploring paths and conceptual syntheses that benefit all branches of physics. It can lead to considering problems from perspectives different from those of specialists and help historians ask questions they might not be accustomed to. In general, education can help physics become culture for people, facilitating an understanding of past comprehension problems and, therefore, promoting historical interpretation from a different perspective. In any case, it can foster the appropriation of physics as culture in various sectors.

It is from this perspective, the research work initiated about three decades ago by the Physics Education Research Group of the University of Milan, focusing on the teaching of quantum mechanics, takes shape. This research involves conceptual aspects, learning nodes, deepening certain aspects of the foundations of quantum physics, proposing experiments, teacher training within the national scientific degree plan, as well as non-formal or informal aspects like scientific theatre. The aim is always to overcome the dichotomy sometimes present between history and logical-didactic reconstruction.

Lately, this work has consciously structured itself as research on the cultural presentation of quantum mechanics. In this context, “cultural” is understood as the opposite of chatty, discursive, confused, or purely explanatory. But “cultural” is also understood as the “right” level, a level that can speak to people according to who they are; not placing itself in the valley of minima, not halfway between disciplinary culture and common thinking, but in a reconstruction of knowledge that considers both these mountains. This reconstruction seeks to think about teaching quantum mechanics with the perspective of being concretely useful, starting from concrete facts such as how it is currently taught in schools, how it is taught in Italy, how it is taught in Europe, how it is taught worldwide with the various diversity of approaches found.

The epistemological and historical aspects are always kept in mind. Studying Thomson’s atomic model or matrix mechanics, or discovering the difference between Schrödinger’s waves and de Broglie’s ones will serve to reflect on the physical meaning of what we are dealing with and will not be a mere historical erudition. Discussions conducted on these bases with expert colleagues, teachers, secondary school students, and university and doctoral students help us greatly to place this meaning in a network of knowledge and relationships that changes our way of seeing ourselves in the world with personal, social, and ethical consequences. But for this, one must not stay in the valley of minima: not in between and not on the hills.

## 8. Quantum physics for cultural education

Therefore, in our work, it is crucial to rely mainly on primary sources because secondary sources are more useful for obtaining interpretation, a general overview. However, primary sources highlight the personal aspects or style and focal points of the author, allowing for a more detailed interpretation of what is being read. Knowledge of primary sources enables a broader and more detailed view; however, secondary sources help form an overall picture that depends on the secondary source itself: without them, it would be difficult to have frames of reference and far-reaching interpretations.

In addition to use both primary and secondary sources (more than 800), the study derived from research on learning is fundamental. This allows an understanding of conceptual nodes, disciplinary nodes, learning nodes, epistemological difficulties, the social framing of quantum mechanics in the current view, and the perspectives presented in books, documentaries, or popular science lectures.

It is also important to develop detours on another level: the pedagogical one. This involves offering clarifications that emerge only with today’s perspective and start from current issues. These

clarifications should mix pedagogical considerations and push towards personal views, so that the cultural proposal does not exhaust itself in purely disciplinary learning but opens up to a network of meaningful connections. If not explored explicitly, these connections may fall prey to some popular science presentations with excessively imaginative and dubious cultural interpretations. To achieve this, we must free ourselves from decades of rigid science education based solely on rationality, so that personal observations and comments, proximal to the purely scientific area of interest, become possible. To clarify, if we do not observe and comment that  $\hbar$  is (more or less) the symbol of Saturn, we should not be surprised if extremely extravagant books fill the need to bring together different aspects of knowledge, with cultural operations that we may not agree upon.

With these four points together – the use of primary sources, the use of secondary sources, the development of pedagogical aspects starting from nowadays, and the promotion and explicit discussion of personal opinions and the attribution of meaning, all framed within the results obtained and the still-open questions from educational research on learning – we allow the construction of an approach to quantum mechanics that follows the model of educational reconstruction and leads to continuous refinements based on research and proposed as Cultural Pedagogical Content Knowledge.

This approach, briefly outlined here, allows ample freedom to proceed within its structure, much like the metric structure of the sonnet has seen in the history of poetry the writing of very different verses. Freedom of proposals, methods, and approaches can emerge almost limitlessly. Moreover, it allows for the introduction of usually neglected issues, such as the changing meaning of symbols and words in history: today's electron is certainly not the electron of the late XIX century; today's quantum mechanics is certainly not that of Heisenberg, not only because it has enriched with discoveries but because it identifies different aspects of knowledge.

For the study of a discipline to be useful to personal development, it needs to help the effective construction of personal meaning attribution tools based on structured knowledge from the discipline. In particular, for our research on the teaching of quantum physics, this way of thinking and practicing educational research helps quantum mechanics become culture, which is precisely what we need in schools. However, as mentioned earlier, this way of understanding practices and research starts from the university. Cultural presentations of physics must find more and more space at the university. This is why, for example, with the friend and colleague Nicola Ludwig, we conducted a 30-hour doctoral course entitled “Tools and methods for a cultural presentation of physics” within the PhD courses at the University of Milan. But starting from the PhD is certainly not the main way; it is necessary to start much earlier. Starting from the first year of university is necessary to educate people and, therefore, future teachers. For this, we should also have the courage to seek the help of professionals from other disciplines, something we have already experimented with when we enlisted the help of Flavio Albanese, an actor, who helps us read poems, literary passages, and develop connections in the activities of the PNLIS, student orientation, and teacher training in the second-level Master's Degree IDIFO. But this requires a lot of work: every hour of joint intervention of the authors of this paper and Albanese needed from 20 to 30 hours of preparation.

It is no longer possible to remain halfway, in a neutral middle ground; “in medio stat virtus” does not mean a trivial departure from both common thinking and scientific thinking but active work, an “et, et” approach. In light of these considerations, we have concretely proposed an orientation didactic workshop entitled “Old (but Gold) Quantum Theory – Discovering the early quantum physics through the original papers of its protagonists”. The activity was developed through face-to-face meetings with 9 teachers and 36 students of the last two years of high school, by means of 5 afternoon sessions of 3 hours each. During the course, the cultural impact generated by the gradual and troubled birth of quantum theory was discussed in a multidisciplinary view, in order to frame the conceptual proposals of the old quantum theory in a culturally resonant context, for today's students, for today's society. This involved the use of transversal tools useful for a critical assessment of what was proposed in a strategy of active and participatory learning. Working in small groups, students read and commented original texts, even in

the original language, and discussed their meaning, observing the difference in questions posed a century ago. This allowed them to frame today's issues in a less absolutist and more prejudice-free perspective.

In October 2023, a broader online course has started, consisting in 11 meetings of 2 hours each. The path begins from the old quantum theory and leads, step by step, to the construction of the axiomatic structure of quantum mechanics (Lovisetti, Organtini & Giliberti 2023) and their use for understanding some aspects of the real physical world. The activity is attended by 144 high school students and 84 teachers. At the end of each meeting, students are given a Google Form with several questions and exercises related to their learning, allowing us for an assessment of their learning problems, their cataloguing and overcoming. The meetings are extremely participatory, with numerous and continuous questions even well beyond the scheduled end time. All questions are noted, catalogued, and monitored in a research effort on the effectiveness of the course.

Always within this cultural dimension, within the international Physics Education Research Group GIREP, the thematic group "Cultural Understanding of Physics" (CUP) was created by us.

## 9. Conclusions

It is essential that the approach to physics becomes much more cultural than what is normally done. For this reason, it is important to bring together disciplinary, epistemological, and historical aspects, in an active learning approach and in a broad cultural perspective, which connect physics to other disciplines.

It is precisely in this way that both the cultural and disciplinary aspects can be strengthened, without remaining at a level of superficial understanding that makes the disciplines "unsavoury". Here, therefore, is our attempt based on such an approach which aims to arrive at a culturally significant presentation of quantum mechanics in a much more in-depth manner than is usually done. The results obtained so far (Lovisetti, Organtini & Giliberti 2023) are extremely encouraging, and push us to insist in this direction.

Finally, we believe that it is essential – as well as we hope – that approaches of this type are also pursued at university, starting from the early years; otherwise, it will be difficult for physics graduates to have perceived the cultural depth and importance for life and society of what they have studied.

## Bibliography

- CUP (2023). *Cultural Understanding of Physics: instruments and methods*. GIREP thematic group. Available at: <https://www.girep.org/thematic-groups/cultural-understanding-of-physics-instruments-and-methods/> (Accessed: 30 June 2024)
- Feynman, R., Leighton, R.B. & Sands, M. (1963). *The Feynman Lectures on Physics*. Vol. 1. Boston: Addison-Wesley Publishing Company.
- Giliberti, M. & Lovisetti, L. (2023). "Quousque tandem?", *Giornale di Fisica*, 64(3), pp. 191-211. doi: 10.1393/gdf/i2023-10527-2
- Goldstone, J., Salam, A. & Weinberg S. (1962). "Broken Symmetries", *Physical Review*, 127(3), pp. 965-970. doi: 10.1103/PhysRev.127.965
- Hestenes, D., Wells, M. & Swackhamer, G. (1992). "Force Concept Inventory", *The Physics Teacher*, 30(3), pp. 141-151. doi: 10.1119/1.2343497
- Lovisetti, L., Organtini, G. & Giliberti, M. (2023). "Inducing the construction of formal axioms of Quantum Mechanics and fostering their comprehension by high school students: The effectiveness of a conceptual approach", *Il Nuovo Cimento C*, 46(6), 200. doi: 10.1393/ncc/i2023-23200-1
- Ludwig, G. & Thurler, G. (2007). *A New Foundation of Physical Theories*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Weinberg, S. (1993). *Dreams of a Final Theory*. London: Vintage.

# Macchine e meccanismi in fisica e in matematica

Giancarlo Artiano<sup>1,2</sup>, Emilio Balzano<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli, giancarlo.artiano@unicampania.it

<sup>2</sup> Università degli Studi Suor Orsola Benincasa, giancarlo.artiano@unisob.na.it

<sup>3</sup> Università degli Studi di Napoli Federico II, emilio.balzano@unisob.na.it

*Abstract:* Identification and characterization of the interacting systems in the analysis of physical phenomena is a teaching strategy that facilitates: the examination of the significant variables in the evolution of a phenomenon; the distinction between state and interaction variables; the recognition of cause-and-effect relationships. We present educational activities that we have been experimenting with for years at school and university based on the use and design of machines and mechanisms. The activities are framed in a didactic strategy that aims to recognize mathematical and physical principles. Analysis of geometric and motion transformations (i.e. linear vs circular) and transduction processes constitute an opportunity for students to master key concepts of mathematics and physics and to develop, at the same time, articulated technological skills. In mathematics, mechanical drawing machines are useful tools for the study of remarkable curves such as conic sections. In physics, the analysis of the internal working of machines and measurement devices is a great opportunity to clarify the relationship between theoretical entities and measurement processes. In the modeling process, familiarity with machines (old and contemporary) and transducers has a great cognitive value: the mechanical metaphor lies at the heart of every cause-and-effect reasoning and is of the highest importance in physics.

*Keywords:* Transduction, Physics, Mechanism

## 1. Introduzione

Il termine *meccanica*, sia in senso comune, sia in senso teorico-scientifico che pratico-applicativo, ha come referente diretto la *macchina*, in particolare il tipo di operazione univocamente determinata che essa compie (Micheli 1995). L'origine della macchina è certamente empirica e nasce dalle esigenze della vita pratica di facilitare il soddisfacimento dei bisogni e della curiosità degli esseri umani.

Un'espressione con riferimento diretto alla macchina si trova anche in matematica. Nella geometria greca, il termine "meccanico" era usato per riferirsi a un processo particolare che faceva uso di strumenti per la costruzione di figure e la soluzione di problemi. Nel corso della storia, le macchine si sono evolute di pari passo con la tecnologia e la creatività umana. Che si tratti di sollevare un peso con una leva, di misurare la distanza da un corpo invisibile alla nostra vista o di eseguire un gran numero di calcoli in pochissimo tempo, in tutti i casi una macchina è progettata per rendere possibile qualcosa che altrimenti ci sarebbe stato impossibile. La tecnologia, quindi, aumenta le nostre percezioni, il che ci spinge alla ricerca di macchine capaci di arricchire sempre più la nostra esperienza empirica. Le macchine funzionano trasformando *qualcosa in qualcos'altro* attraverso un processo di *trasduzione*. Comprendere questo processo, cioè l'interazione dinamica della macchina con l'utente, i suoi componenti e il modo in cui sono assemblati, significa in generale farne un modello: discretizzare aspetti, parti, funzioni, collegamenti, quindi ricostruire cognitivamente correlazioni e cause di ciò che accade (Arcà & Guidoni 1987). In questo lavoro presentiamo delle proposte didattiche che sperimentiamo da anni a scuola e all'università e che si inquadrano in una strategia didattica che mira al riconoscimento di principi matematici e fisici basati sull'uso e la progettazione di macchine e meccanismi. Siamo interessati, come

attività di ricerca, a comprendere in che misura l'insegnamento dei principi di funzionamento di base di una macchina, recuperandone anche l'evoluzione storica, favorisca un uso critico e non alienante della tecnologia. Pensiamo che l'importanza di approfondire lo studio del meccanismo di una macchina possa facilitare l'accesso a concetti fisici e matematici trasversali come ad esempio le trasformazioni, le relazioni tra grandezze e i processi di linearizzazione.

### ***1.1 Pensare con gli oggetti***

Un aspetto essenziale del rapporto tra lo sviluppo scientifico e l'impiego di macchine (cioè tra tecnologia e strumenti di misura) è la sua bidirezionalità. Se, da un lato, la progettazione consapevole di nuove macchine deve basarsi su un modello teorico, dall'altro la storia della scienza mostra come molto spesso le rappresentazioni dei modelli teorici che descrivono i fenomeni naturali siano derivate dalla tecnica. In altre parole, l'uomo sembra avere una naturale tendenza a descrivere il mondo nei termini della propria tecnologia, in un sottile capovolgimento che, nel corso della storia, ha assunto forme di volta in volta diverse: nel Settecento era comune la metafora del *Dio orologiaio*, associata al meccanismo newtoniano. Nell'Ottocento, gli studi di termodinamica legati alla prima rivoluzione industriale si concentrarono sui concetti di lavoro e di scambio di energia. Nel XX secolo, gli studi di informatica e di cibernetica hanno reso la teoria dell'informazione un nuovo linguaggio unificante.

La nostra domanda è capire come, in chiave didattica, lo studio di macchine e i loro relativi meccanismi possa migliorare la comprensione dei concetti scientifici di base. Ricerche nel campo delle scienze cognitive (Ackerman 2004) confermano che la manipolazione di oggetti (meccanici o elettronici, analogici o digitali) è un importante aiuto nel processo di modellazione, sia nei bambini che negli adulti. Leggere la natura attraverso la lente della tecnologia, che si è sviluppata parallelamente allo studio della natura stessa, sembra essere un ottimo stimolo nel supportare i processi cognitivi. In altre parole, le macchine servono sistematicamente come modelli generativi di metafore per comprendere i fenomeni naturali. Pensare a cosa dovrebbe fare un oggetto significa giocare al *come se*, cioè il modo in cui da bambini pensiamo di fare scienza con il nostro corpo e la nostra mente (Papert 1986). Secondo il costruzionismo di Papert, il processo di apprendimento è facilitato se ci concentriamo sul legame affettivo che il discente può stabilire nell'esperienza di costruire, giocare ed esplorare un meccanismo.

Non avevo ancora due anni che ero già affascinato dalle automobili. Nel mio primo vocabolario presero un posto importante i nomi dei pezzi delle macchine: il sistema di trasmissione, il cambio, e ancora di più, il differenziale [...] Credo che l'aver tanto giocato con i differenziali sia stato più efficace per la mia comprensione della matematica di tutto quello che mi è stato insegnato alla scuola elementare. Gli ingranaggi, servendomi da modelli, hanno fatto entrare nella mia mente idee che altrimenti sarebbero rimaste astratte. [...] Sono convinto che queste assimilazioni hanno contribuito, per me, a dotare la matematica di una carica affettiva positiva che può essere rintracciata nelle mie esperienze infantili con le automobili. [...] Si può "essere l'ingranaggio", si può capire come funziona un motore "mettendosi al suo posto" e immaginare di girare insieme" (Papert 1986, pp. 10-12).

## **2. Lo studio dei meccanismi di trasduzione e il processo di misura**

Non è un'esagerazione se pensiamo alla scienza, in particolare alla fisica, come a una disciplina basata sul concetto di trasduzione e sul processo di misura. La prima interfaccia tra noi e la realtà sono i nostri sensi, le parti sensibili ai segnali provenienti dall'ambiente circostante. Questi segnali vengono trasdotti dagli organi di senso (ad esempio, le onde di pressione nell'aria fanno vibrare gli ossicini nelle nostre orecchie, la radiazione luminosa passa attraverso il sistema di cristalli nel nostro occhio e si concentra sulla retina, ecc.) in segnali elettrici e trasmessi attraverso canali speciali (i nervi) a un computer centrale (il cervello). Il computer manipola ulteriormente il segnale, lo rende percepibile (cioè lo porta alla coscienza in una certa forma) e, se necessario, lo immagazzina in memoria sotto forma di dati che sono



successivamente accessibili (la memoria). Attraverso i sensi, tuttavia, il massimo che possiamo sperare di fare è confrontare aspetti di realtà che appaiono diversi in contesti diversi. Ad esempio, possiamo confrontare direttamente la lunghezza di un tavolo e di una matita con i nostri occhi, il peso di un'arancia e di una nocciolina con le nostre mani, la nitidezza del suono emesso da un trombone e da un violino, e così via. Ci sono, naturalmente, molti casi in cui possiamo essere interessati a confronti che non sono immediatamente praticabili, ad esempio tra l'altezza di un edificio e la lunghezza dei nostri piedi, o altri casi in cui certe osservazioni sono completamente precluse alla nostra percezione diretta. In tutte queste situazioni, siamo costretti ad utilizzare strumenti e procedure che fungono da *intermediari* e, attraverso una misura, ci permettono di stabilire rapporti di ordine ed equivalenza tra le diverse variabili considerate. In generale, quindi, misurare significa assegnare numeri alle variabili attraverso procedure sperimentali ben definite. Quando un certo aspetto di un fenomeno è stato associato in modo univoco a una variabile per mezzo di un certo protocollo di misura, si dice che la quantità fisica corrispondente è stata *definita operativamente*. Una variabile di un sistema che non può essere misurata da operazioni di confronto basate sull'equivalenza tra il sistema in esame e un numero intero di unità di sistema prese ripetutamente è detta *intensiva*. Per assegnare numeri (interi o razionali) a variabili intensive, è necessario ricorrere a processi di trasduzione mediante i quali le variazioni di una variabile intensiva (ad esempio la temperatura di un sistema) corrispondono sistematicamente alle variazioni di una particolare variabile estensiva (ad esempio il volume di liquido racchiuso in un termometro all'equilibrio termico con il sistema studiato). Le misurazioni delle variabili intensive con sistemi di trasduzione sono onnipresenti nella tecnologia che utilizziamo quotidianamente. Ogni scambio, ogni connessione tra sistemi e parti di sistemi avviene attraverso strutture specifiche (macchine e meccanismi), atte a realizzare selettivamente quell'interazione. Queste macchine, semplici o complesse che siano, possono essere schematizzate secondo un modello molto generale di *strutture di interfaccia*: qualcosa, cioè, che si colloca funzionalmente tra due diverse realtà in interazione. Le interfacce svolgono la funzione di connessione (unidirezionale o bidirezionale) in quanto sono in grado di trasformare l'informazione (segnale o stimolo), relativa ad uno stato o ad un cambiamento di un sistema, in informazione atta a determinare o modificare lo stato di un altro sistema. Ogni interfaccia è quindi particolarmente sensibile alla modifica di una variabile mentre ogni trasformazione è quindi mediata da specifiche strutture di interfaccia (macchine), caratterizzate da operazioni proprie che si trovano a diversi livelli nel corso di un processo, contemporaneamente o in successione nel tempo. Concentrarsi, dal punto di vista delle pratiche d'insegnamento, sul meccanismo di trasduzione implicato in qualsiasi misura fisica equivale, più in generale, ad adottare un punto di vista operativo sui concetti, in linea con un approccio caratteristico della fisica (Bridgman & Somenzi 1977).

## 2.1 Macchine e Meccanismi

Di seguito, presentiamo due esempi di attività didattiche documentate in dettaglio nel nostro sito web [www.les.unina.it](http://www.les.unina.it). Nello sperimentare le attività non adottiamo una sequenza rigida predeterminata bensì cerchiamo di farle aderire il più possibile al contesto specifico nel quale operiamo. Tuttavia, la struttura che generalmente adottiamo è la seguente:

1. Presentiamo i fenomeni con video, disegni, e testi che qualitativamente li descrivono;
2. Riproduciamo esperienze in aula che coinvolgono direttamente gli studenti, sia nella modellizzazione dei fenomeni oggetto di studio che nella pratica laboratoriale;
3. Condividiamo resoconti e materiali di approfondimento sulle esperienze vissute;
4. Coinvolgiamo gli studenti nello svolgimento di attività a casa condividendo materiali sul sito web del progetto LES.

### 2.1.1 Esempi di attività didattiche

Nelle nostre attività, diamo molta importanza allo studio di dispositivi, sia analogici che digitali. In matematica, ad esempio, le macchine da disegno sono strumenti utili per lo studio di curve come le sezioni coniche. In molti casi, la geometria del dispositivo rispecchia le proprietà che definiscono le curve, che vengono quindi percepite in modo dinamico. Una digressione storica a questo proposito: Isaac Newton inventò infatti il calcolo infinitesimale (e la dinamica) attraverso lo studio cinematico delle curve geometriche. Nel XVII secolo, questo approccio era chiamato geometria organica, dove organica deriva dal greco e significa meccanico. Quindi, in un certo senso, lo studio meccanico delle curve era una pietra miliare per lo sviluppo del calcolo moderno. In fisica, l'analisi del funzionamento interno delle macchine e dei dispositivi di misura è una grande opportunità per chiarire aspetti importanti del metodo di indagine, come il rapporto tra entità teoriche e processi di misura. Nel processo di modellizzazione, la familiarità con le macchine e i meccanismi ha anche un grande valore cognitivo poiché la metafora meccanica è al centro di ogni ragionamento di causa-effetto ed è della massima importanza in fisica. Inoltre, nella fisica moderna le definizioni operative che specificano come deve essere misurata una grandezza fisica sono state riconosciute come un modo efficace per evitare incongruenze e ottenere informazioni sui concetti fondamentali.

#### La bilancia dinamometrica

Una questione centrale in meccanica è la definizione univoca di forza. Poiché la parola forza deriva dal linguaggio di tutti i giorni, sia con gli adulti che con i bambini, di solito iniziamo questo argomento con una discussione aperta sulla varietà di contesti in cui la parola viene usata, sia letteralmente che metaforicamente. Per procedere, ci basiamo sulla nozione intuitiva di forza come stress muscolare e analizziamo i possibili effetti che possono essere osservati esercitando una forza di contatto su un corpo a riposo. Questi sono essenzialmente due: il movimento, se il corpo è approssimativamente libero, e la deformazione, se è vincolato. Ci concentriamo su quest'ultimo, facendo una distinzione tra comportamento rigido, plastico ed elastico. Le forze sono invisibili e, con i bambini, i materiali elastici funzionano efficacemente come dinamometri. Dopo un'esplorazione qualitativa delle proprietà elastiche di diversi oggetti, introduciamo il problema del confronto delle forze tra loro e l'idea di dinamometro. Le operazioni coinvolte nella costruzione di un tale dispositivo portano naturalmente alla legge di Hooke, la relazione empirica che esprime la proporzionalità diretta tra la forza applicata e la deformazione di una molla. Osserviamo che nella nostra trattazione, la legge di Hooke non è data a priori, ma è la sintesi idealizzata di misure reali. Con gli adulti, ci soffermiamo in una discussione dettagliata sui principi di funzionamento del dinamometro a molla, toccando molti dei concetti trasversali che stanno alla base del nostro corso: sistemi e interazione tra sistemi, equilibrio, misura, variabili e rappresentazioni. C'è una chiara distinzione tra il sistema di misura e il sistema che viene misurato, interagendo tra loro, e la misura stessa si basa su un equilibrio tra di loro. La procedura di calibrazione evidenzia il fatto che, in ultima analisi, qualsiasi misurazione è un confronto tra sistemi, con il dispositivo di misura che funge da mediatore per questo confronto. Parlando di misura in generale, il dinamometro a molla è anche un perfetto esempio di sistema di trasduzione, ovvero un sistema che opera una conversione da una grandezza all'altra attraverso un processo controllato. Questo tipo di trasduzione, come è noto, è inevitabile quando misuriamo grandezze intensive. A questo proposito, è utile sia con bambini e con adulti fare un paragone tra la misurazione della forza (con un dinamometro) e la misurazione della temperatura (con un termometro): in entrambi i casi, tutto ciò che possiamo osservare è l'effetto provocato su un dispositivo adatto da una variazione della grandezza da misurare. Le proprietà elastiche di una molla svolgono lo stesso ruolo delle proprietà di dilatazione di un liquido termometrico e, in entrambi i casi, la scala graduata dipende dalla loro scelta arbitraria. Infine, sia il dinamometro a molla che il termometro a liquido possono essere utilizzati per dare una definizione

operativa di forza e temperatura, liberandoci dall'ambiguità del linguaggio ordinario. Partendo dalla definizione operativa di forza, diventa più facile capire perché possiamo usare la stessa parola forza per descrivere fenomeni diversi come la gravità, il magnetismo o l'interazione di contatto: hanno lo stesso effetto su un dispositivo scelto convenzionalmente che può essere utilizzato per fare un confronto quantitativo tra di loro. Con una chiara percezione di ciò, tutti i successivi studi delle forze in condizioni statiche possono essere eseguiti con l'aiuto di dinamometri a molla in modo significativo. Per entrare in contatto con l'esperienza di tutti i giorni, durante la discussione, facciamo spesso riferimento a una bilancia da cucina, un buon esempio di dinamometro a molla che è familiare alla maggior parte degli studenti. È interessante osservare le differenze tra i processi di trasduzione che operano in un dinamometro a molla standard e in una bilancia da cucina. Nel primo caso, la forza deve essere una trazione e la grandezza di uscita da leggere sulla scala è una lunghezza; In quest'ultimo, devi spingere e la forza applicata viene convertita in un angolo su un quadrante. L'ispezione dell'interno di una bilancia da cucina mostra che oltre alla molla, il processo di trasduzione coinvolge altri due componenti: una ruota dentata e un parallelogramma articolato. Insieme, operano una trasformazione geometrica che converte la traslazione della piastra nella rotazione di un puntatore. Sottolineiamo qui l'importanza della proporzionalità diretta, cruciale per il corretto funzionamento della maggior parte dei dispositivi di misura: vogliamo che uguali allungamenti della molla corrispondano ad angoli uguali tracciati dall'indice, e questo è possibile solo se la trasformazione da lunghezza ad angolo è lineare. Per estendere il discorso anche agli adulti, è interessante analizzare anche la bilancia pesalettera, un dispositivo sensibile il cui principio di funzionamento è l'equilibrio tra i momenti di forza. Infine, discutiamo i vantaggi e i limiti di questi dispositivi in termini di sensibilità, precisione, portata e praticità d'uso.

#### Il sensore di moto

Nello studio del movimento e delle sue rappresentazioni, facciamo un grande uso di Rilevatori di Movimento (RD) basati su microsistemi elettromeccanici che misurano le distanze mediante eco-localizzazione, un processo utilizzato anche da delfini, pipistrelli e persone ipovedenti come sostituto della vista. La magnitudo misurata direttamente in eco-localizzazione è l'intervallo di tempo  $\Delta t$  tra l'emissione e la ricezione di impulsi ultrasonici, dal quale, data la velocità del segnale  $v$ , si calcola la distanza dell'ostacolo riflettente  $d$  come  $d = v \cdot \Delta t / 2$ . Se invece la distanza dell'ostacolo viene misurata in modo indipendente, invertendo questa formula, la RD può essere utilizzata per stimare la velocità di propagazione del suono. I RD sono estremamente utili per esplorare la cinematica. Spostando gli oggetti davanti all'RD si ottengono grafici in tempo reale che possono essere analizzati per evidenziare le corrispondenze tra il movimento reale e le sue rappresentazioni grafiche. Un'attività interessante per i bambini è disegnare un grafico spazio-tempo con il proprio corpo, camminando avanti e indietro in direzione del RD. Attraverso questa esperienza, viene chiaramente percepito il significato matematico-cinematico delle caratteristiche del grafico come punti stazionari, pendenze e intercetta. Con gli adulti, la generazione di grafici in tempo reale è utile per discutere le connessioni tra grandezze cinematiche come distanza, velocità e accelerazione. Passando al processo di misurazione effettuato dal RD, da un punto di vista operativo, la distanza misurata dall'eco-localizzazione è qualcosa di diverso dalla distanza misurata da un righello, e il problema della loro consistenza può essere discusso. Inoltre, l'eco-localizzazione si basa su alcune assunzioni sulla propagazione del suono: usare la semplice formula di cui sopra per la distanza dell'ostacolo equivale infatti ad assumere un modello corpuscolare in cui gli impulsi si muovono uniformemente in linea retta. È importante discutere i limiti di questo modello e le sue connessioni con il modello ondulatorio, un aspetto che può essere toccato anche in altre attività. Una caratteristica interessante di molti RD è che sono completamente programmabili dall'utente. Ispezionare il codice è come guardare l'ingranaggio di un meccanismo nascosto, poiché la sua struttura rispecchia le operazioni svolte dal dispositivo e il modello teorico su cui poggiano. Questo codice può essere

modificato liberamente e armeggiare con esso è un modo eccellente sia per gli adulti che per i bambini di integrare in modo significativo la codifica, il ragionamento matematico e la modellizzazione fisica.

### 3. Discussione

Lo studio delle macchine e dei meccanismi nella pratica didattica è promosso dalle linee guida nazionali del Ministero dell'Istruzione già dalla scuola dell'infanzia e dalla scuola primaria (Cerini 2012, pp. 29-30). Una riflessione sullo stato dell'insegnamento nel nostro Paese, d'altra parte, ci dice che la scuola e l'università non sono in grado di sfruttare appieno le potenzialità di una esplicitata integrazione didattica tra scienza e tecnologia nate e sviluppatasi in stretta connessione reciproca. Discipline come la matematica, la fisica, la tecnologia e la storia, anche se necessariamente distinte come discipline nell'insegnamento scolastico, formano in realtà un sistema culturale organico che dovrebbe essere colto con una visione unitaria. A nostro avviso, sarebbe auspicabile trasmettere ai nostri studenti il significato profondo di questa unità, immaginando percorsi che intreccino argomenti di matematica, fisica e storia all'interno delle singole unità didattiche. Realizzare tale integrazione nel contesto scolastico non è affatto facile, se si tiene conto che anche i modelli didattici con cui si sono formati molti insegnanti fanno esplicito riferimento alla separazione tra teoria e pratica sperimentale (si pensi alla didattica nei licei e a quella negli istituti tecnici e professionali). C'è ancora molto lavoro da fare in questo senso, soprattutto nella formazione iniziale e continua degli insegnanti (Amabile *et al.* 2022). Un obiettivo di questo lavoro è quindi quello di contribuire alla riflessione sul tipo di formazione che potrebbe consentire a docenti e ricercatori di sviluppare attività didattiche interdisciplinari, arricchendole con le potenzialità, non ancora del tutto esplorate, dello studio delle macchine e dei meccanismi.

### Bibliografia

- Ackermann, E.K. (2004). "Constructing knowledge and transforming the world", in Tokoro, M. & Steels, L. (eds.) *A learning zone of one's own: Sharing representations and flow in collaborative learning environments*. Amsterdam: IOS Press, pp. 15-37.
- Amabile, A. *et al.* (2022). "Experimentation and Research in the Physics Course for the Preparation of Primary School Teachers in Naples", *Education Sciences*, 12(4), 241. doi: 10.3390/educsci12040241
- Arcà, M. & Guidoni, P. (1987). *Guardare per sistemi, guardare per variabili: un approccio alla fisica e alla biologia per la scuola dell'obbligo*. Torino: Emme Edizioni.
- Aristotele (2000). *Problemi Meccanici*. Soveria Mannelli (CZ): Rubbettino, Studia Aristotelica.
- Bridgman, P.W. & Somenzi, V. (1977). *La logica della fisica moderna*. Torino: Boringhieri.
- Cerini, G. (2012). *Indicazioni nazionali per il curriculum della scuola dell'infanzia e del primo ciclo d'istruzione*. Firenze: Le Monnier.
- Micheli, G. (1995). *Le origini del concetto di macchina*. Firenze: L.S. Olschki.
- Papert, S. (1986). *Mindstorms: bambini, computers e creatività*. Milano: Emme edizioni.
- Università di Napoli-LES. *Laboratorio per l'Educazione alla Scienza*. Disponibile a: [www.les.unina.it](http://www.les.unina.it) (Ultimo accesso: 18 luglio 2024).

# On the Grimaldi Phenomenon

Salvatore Ganci<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Independent Researcher, museodellascienza.s.ganci@gmail.com

*Abstract:* This paper deals with a short but exhaustive historical development of two different viewpoints about the diffraction phenomenon. This foreword to introduce the first and dramatic phenomenology observed since the end of the XVII century. Pedagogical observations are revisited about this first phenomenon observed. Impetus to this paper was given by a critical question posed by a student when Author was teaching some Optics experiments.

*Keywords:* Theories of Diffraction, Scalar Theory, Half Plane Sommerfeld's solution, "Reality" in Physics

## 1. Introduction

The beginnings in Physical Optics start with the monumental book of Father Franciscus Maria Grimaldus (Grimaldi 1665) who had the misfortune to begin his investigations starting with the more complex phenomenon: the diffraction of light. In the historical development of the diffraction theories, two approaches to the problem are found.

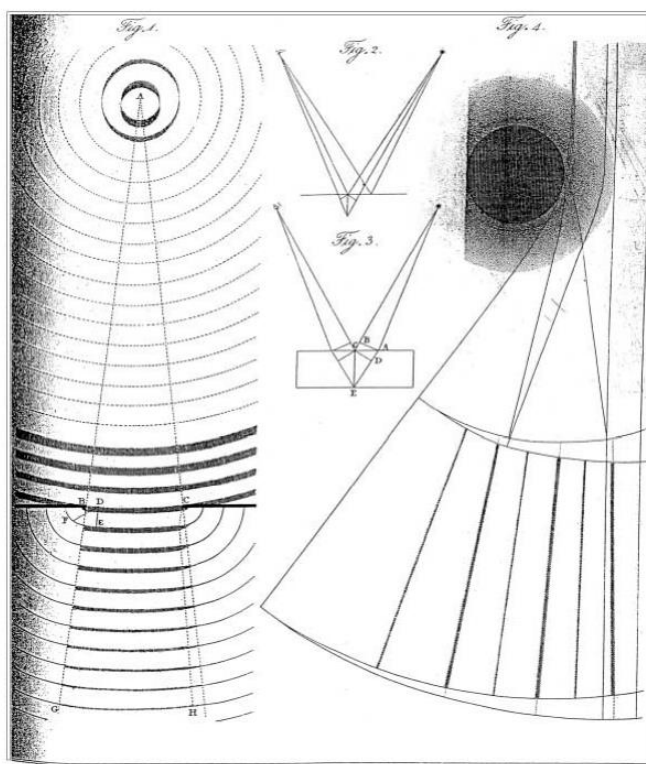
A first viewpoint considers the diffraction as an edge effect. The "edge effect" means that the edge acts as a secondary source of light and that waves from the secondary source is the interfering with the unperturbed waves from the original source at the viewing screen. in the domain above the geometrical shadow edge. A second and successive viewpoint consider the propagation of the light and the diffraction as a superposition of elementary wavelets in agreement of the Huygens principle (Huygens 1690). The first approach is usually attributed to Thomas Young (Young 1802; 1804) in the context of the wave theory of light. Before Thomas Young, the idea of considering the diffraction as an edge-phenomenon was not new as the concept was previously employed in emissive theory, see for example the work of Du Tour (Du Tour 1774) and De Mairan (De Mairan 1740) where the problem is referred to as a refraction problem<sup>1</sup> in agreement with the Newtonian viewpoint (Newton 1730). The 1802 paper of Young seems to reflect an uncertainty about the edge effect. At first, he refers to "a kind of reflection at the edge" and later in the same paper he changes and introduces an aether atmosphere around the edge giving rise to an enhanced deviation of the ray closer to the edge than the deviation it inflicts on more distanced rays. This is illustrated by Young in his 'Table A' (Fig. 1), by the sketch at the far-right hand side of his *Fig. 1*.

Omnipresent in Young's thought is the analogy between sound and light. So, the point source of light in first sketch in the left-hand side of Fig. 1, shows the effect of a source point of light as propagating reminiscent of illustration of sound waves emanating from a tuning fork. The word diffraction appeared

---

<sup>1</sup> From the paper of M. De Mairan: "Je crois donc être fondé à regarder la Diffraction comme une véritable Réfraction; & cela par la grande Regle de M. Newton même, qu'il ne faut point multiplier sans nécessité des causes des effets amenées". To explain the greater size of the shadow both M. De Mairan and M. Du Tour claim that this shadow is the geometrical shadow of an (unspecified) atmosphere surrounding a hair or a fibre ("mais d'un autre milieu invisible, & vraisemblablement de cette petite atmosphère que mille expériences démontrent, qui environne des corps"). Neither M. De Mairan nor M. Du Tour reported on or referred about these experiments. Any reference to the superposition principle is not found in M. De Mairan or in M. Du Tour papers.

the first time only in his 1804 paper while usually the (Newtonian) word “inflection” predominantly appears in the 1802 and 1804 papers.



**Fig. 1.** ‘Table A’ is a compendium of Figures 1 to 4 in Young’s 1802 paper (Young 1802). These are referred to as *Fig.1*, *Fig.2*, etc. in the text.

After virulent personal attacks by Lord H. Brougham in the *Edinburg Review* and because of difficulties in describing the edge effect in a mathematical form, Young’s theory was forgotten for about 80 years.

The young A. Fresnel (1866) started his investigation adopting the basic idea of diffraction as an edge-effect independently from knowledge of Grimaldi’s book and T. Young’s papers. A careful control of the influence of edge parameters (material and cross-sectional geometry of the edge), led to a modification of his approach to a systematic treatment of the superposition of Huygens wavelets to obtain a successful description of the phenomenon. Therefore, during the first half of the XIX century Young’s theory was forgotten. Huygens principle was the only mathematical tool for diffractive phenomena, but both Young’s idea and Huygens-Fresnel theory did not have any theoretical support.

Fresnel’s arguments received a firmer theoretical foundation when the Helmholtz and Kirchhoff integral formula (Kirchhoff 1883) was applied to the concepts of spherical wavelets superposition and the addition of a somewhat arbitrary factor in the form an “obliquity” factor to account for the absence of a wave propagating in the negative direction. This formula, in the context of the Scalar Theory, integrates the elementary wavelets on the surface of an aperture in an adsorbing screen.

Independently from the idea to validate Young’s arguments, G. A. Maggi was able to transform the Helmholtz-Kirchhoff integral formula by an integral formula to obtain a line integral around the edge of an aperture at an opaque screen (Maggi 1888). The papers by A. Rubinowicz (1917; 1924; 1957, 1966) can be considered as the first direct to validate Young’s viewpoint of edge boundary wave theory as edge effect. Assuming a conical frustum in free space (Born & Wolf 1980, pp. 449-453) having the source as vertex of the cone and the surface of the aperture as base, the Helmholtz and Kirchhoff integral

formula is converted into a line integral around the edge of an aperture in an opaque screen. The general formula holds for both spherical and plane waves. Therefore, the integration over a surface becomes an integration along a simple closed line  $\Gamma$  forming the boundary of the aperture.

As is well known, the fundamental law of the mechanics of Galilei-Newton, which is known as the law of inertia, can be stated thus: A body removed sufficiently far from other bodies continues in a state of rest or of uniform motion in a straight line.

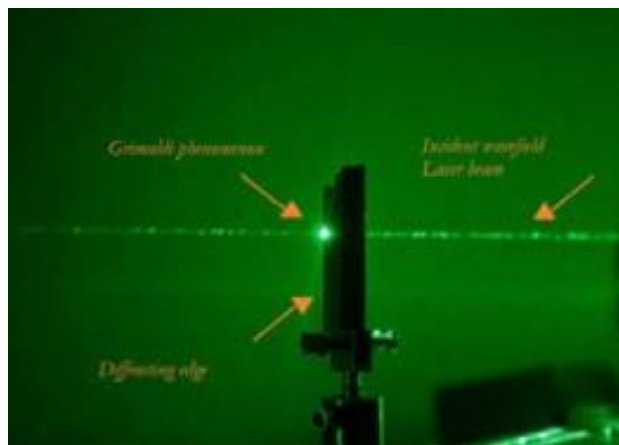


Fig. 2. Grimaldi's phenomenon: the brilliant spot of light at/near the edge.

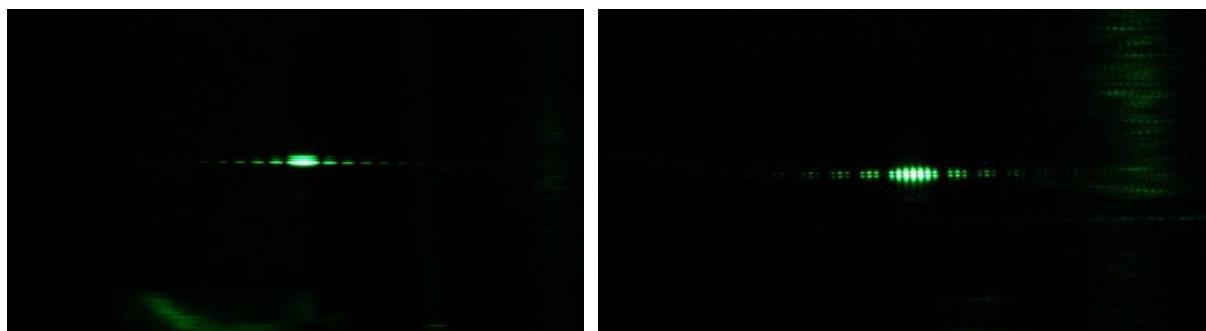
## 2. Experiments

Fig. 2 shows what is intended for “Grimaldi's phenomenon: the shining at the edge of a half plane. This phenomenon appeared unnoticed in I. Newton's *Opticks* (Newton 1730). In T. Young paper of 1804 reference to knowledge of Grimaldi's book is quoted three times (Young 1804).

In the special case of diffraction by a half plane this phenomenon is explicitly analyzed by A. Sommerfeld in his “exact” solution of diffraction by a perfectly (electrical) conducting half plane and considered as an optical illusion (“optische täuschung”) because he considered the edge does not emit and nor adsorb energy (Sommerfeld 1954, par. 38). The phenomenon is well observed in all directions of observation; (Fig. 2) it is “real” in the sense that the bent light around/at the edge gives phenomenon of diffraction and interference first noticed by G. Burniston Brown (1963) using old pointolite lamps. In addition, a pair of papers (Ganci 1989; 2012).

To reveal the Grimaldi phenomenon a new razor blade is illuminated by a source. While a pointolite light was used in (Burniston Brown 1963) a laser source was considered to be more convenient and coherent. The center of the beam was positioned orthogonally to the edge, and it was confirmed that this shining attribute was visible from all direction of sight. Also, no significant intensity variations at various angles of sight was discernable by naked eye. In spite of being of good quality razor blade edges has sharpening marks orthogonal to the edge giving rise to spurious effects. Remembering Sommerfeld's remarks about the shining being an optical illusion, a trivial experimental is serves to refute that: Fig.1 shows a photograph taken with Canon Camera EOS2000D with standard 18-55 mm objective from a camera position behind the blade. The light from the blade image forms a real image through a lens so the shining features indicated as the Grimaldi effect are thus not due to an optical illusion. In the particular condition employed, spurious scattering and diffraction effects due to the blade sharpening marks are avoided. Viewing the shining edge through a single slit or a double slit, it was confirmed that the typical Fraunhofer diffraction patterns relevant to such slits are seen. Photographs given in Fig. 3 show Fraunhofer diffraction through a single slit of width  $lx$  while Fig. 4 and Fraunhofer diffraction through a double slit of width  $lx$  at a slit separation of  $d$ . The effect noticed is strong and the fringe

contrast high. Same effects are visually observed if the “edge source” is viewed through a transmission or reflecting grating held near the eye.



**Fig. 3, left.** Fraunhofer diffraction through a single slit.

**Fig. 3, right.** Fraunhofer diffraction through a double slit. Photographs were taken with Canon Camera EOS2000D with standard 18-55 mm objective. The solid state Laser employed (nominal wavelength 632 nm) was at a distance 0.7 m from the blade. Image taken assembling a single slit (Leybold –Heraeus 459 93 system of slits) in front of the camera lens. Distance from Camera lens and edge 0.45 m. The good quality blade, never used, shows a kind of multiple pattern: the edges is not straight as would be assumed. Slit width  $l_x = 0.12$  mm

### 3. Conclusions

These observations on the Grimaldi phenomenon emphasizes critical aspects and doubts when Physical Optics is discussed in General Physics courses, where Huygens wavelets-superposition is presented as the only approach. In general, such teachings leave students confused. A typical question from a student with the elementary form of Huygens’ Principle perspective only was: “why can we not see the Huygens source-points inside an aperture?” The normal answer that these “are virtual sources” was not received with conviction. Certainly, no light is seen in the aperture of a large single slit (say 0.8-1.5 mm) if the sight is not in the direct propagation, while the unique phenomenological effect seen in the plane of aperture is the Grimaldi phenomenon at each edge.

General Physics textbooks explain Fraunhofer diffraction of a single slit as an interference of light-source points in the single slit aperture, taken at a pair in symmetrical position to the center and the explication works for the minima (Halliday, Resnick & Walker 1993, pp. 1077-1082; Wolfson & Pasachoff 1987, chap. 3). Minima formula can be equally explained taking two “edge sources” having opposite phases in agreement with Boundary Diffraction Theory.

### Bibliography

- Born, M. & Wolf, E. (1980). *Principles of Optics*. 6th ed. Oxford: Pergamon.
- Burniston Brown, G. (1963). “A new treatment of diffraction”, *Contemporary Physics*, 5, pp. 15-27.
- De Mairan, M. (1740). “Troisieme Partie des Recherches Physico-Mathematiques sur la Reflection des Corps”, *Memoires de l’Academie Royale des Sciences pour l’année 1738*, pp. 1-65.
- Du Tour, M. (1774). “De la Diffraction de la Lumière, Second Memoire”, *Memoires de mathematique et de physique presentés a l’Academie Royale des Sciences*, VI, pp. 19-42.
- Fresnel, A. (1866). *Ouvvres Complètes d’Augustin Fresneel*, Tome 1. Paris: Imprimerie Imperiale.
- Ganci, S. (1989). “An Experiment on the physical reality of edge-diffracted waves”, *American Journal of Physics*, 57, pp. 370-374.
- Ganci, S. (2012). “On the physical reality of edge sources”, *Optik*, 123, pp. 100-123.



- Grimaldi, F.M. (1665). *Physico-mathesis de lumine, coloribus, et iride, aliisque adnexis libri duo, in quorum primo afferuntur noua experimenta, & rationes ab ijs deductae pro substantialitate luminis. In secundo autem dissoluuntur argumenta in primo adducta, & probabiliter sustineri posse docetur sententia peripatetica de accidentalitate luminis. ... Auctore P. Francisco Maria Grimaldo Societatis Iesu. Opus posthumum.* Bononiae: ex typographia haeredis Victorij Benatij.
- Halliday, D., Resnick, R. & Walker, J. (1993). *Fundamentals of Physics*. 4th ed. New York: Wiley & Sons.
- Huygens, C. (1690). *Traité de la Lumière*. A Leide: Chez Pierre Vander Aa, Marchand Libraire.
- Kirchhoff, G. (1883). “Zur Theorie der Lichtstrahlen”, *Wiedemann Annalen*, 18, pp. 663-695.
- Maggi, G.A. (1888). “Sulla propagazione libera e perturbata delle onde luminose in un mezzo isotropo”, *Annali di Matematica*, 16, pp. 21-48.
- Newton, I. (1730). *Opticks*, Liber 3. London: W. Innis.
- Rubinowicz, A. (1917). “Die Beugungswelle in der Kirchhoffschen Theorie der Beugungserscheinungen”, *Annalen der Physik*, 53, pp. 257-278.
- Rubinowicz, A. (1924). “Zur Kirchhoffschen Beugungstheorie”, *Annalen der Physik*, 73, pp. 339-364.
- Rubinowicz, A. (1957). “Thomas Young and the Theory of Diffraction”, *Nature*, 180, pp. 160-162.
- Rubinowicz, A. (1966). *Die Beugungswelle in der Kirchhoffschen Theorie der Beugung*. 2nd ed. Berlin: Springer.
- Sommerfeld, A. (1954). *Optics*. New York: Academic Press.
- Wolfson, R. & Pasachoff, J. (1987). *Physics*. Boston: Little Brown.
- Young, T. (1802). “On the Theory of Light and Colours”, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 92, pp. 12-48.
- Young, T. (1804). “Experiments and Calculations Relative to Physical Optics”, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 94, pp. 1-16.



# Esperimenti di Galileo con Arduino

Matteo Torre<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Liceo Scientifico “G. Peano” di Tortona (AL), matteo.torre1984@gmail.com

*Abstract:* Galileo’s experiments are fascinating examples of how the scientific method works. Despite this, some scientists and historians assert that Galileo did not make experiments. During the school year 2022-23 in a III Liceo class, talking about classical physics and Galileo, I proposed an analysis of one of Galileo’s fundamental experiments, in a modern interpretation through the use of Arduino. In 1607 Galileo talks about motion with a manuscript (Folio 116v) in which he reports some experimental results whose interpretation is very important: Galileo assumes that velocity is a continuously variable quantity and is proportional to time and asserts that the speeds of bodies, falling from a certain height, are in the same ratio as the square roots of the distances. This result is fundamental for classical physics. The experimental device used by Galileo, and reconstructed with Arduino by a group of students, was a plane 30° inclined placed at a height of 828 points (77.7 cm) with respect to the reference. This height allows to have, for a fall on the inclined plane from 300 points height, a range of 800 points. The attempt results of some launches are marked in the manuscript both by a calculated value (“*doveria*”) and by a measured value, evidence that the experiment was carried out by Galileo. The study of this original source has allowed the students to relive a key moment of science history and the birth of experimental method through Galileo’s works, impossible to exclude from any high school path.

*Keywords:* Galileo, S. Drake, Physics education, History of physics in education, Arduino

## 1. Introduzione

L’insegnamento della fisica tramite esclusivamente i libri di testo o esperimenti “tradizionali” si riduce spesso alla sola trasmissione dei risultati trovati e accettati dalla comunità scientifica. Con questo modo di procedere, l’aspetto più importante della scienza, la ricerca, viene completamente ignorato. La storia della scienza può costituire un utile correttivo: la lettura degli articoli originali e la ricostruzione di esperienze così come sono state storicamente effettuate ci mostra concretamente come sono stati affrontati e risolti complessi problemi, talvolta seguendo linee di ricerca contrapposte. Il conoscere i contesti storico-culturali e le motivazioni dei dibattiti scientifici stimola inoltre, a mio giudizio, l’entusiasmo negli studenti verso l’apprendimento della scienza. La presentazione di questo percorso didattico su un “caso storico” delle opere di Galileo, che utilizza la lettura e il commento puntuale di memorie originali sia teoriche che sperimentali, non ha la presunzione di offrire nuove interpretazioni, ma vuole far comprendere come l’analisi dei testi originali unita ai recenti risultati della ricerca in didattica della fisica possa costituire una valida alternativa alle “tradizionali” pratiche di classe. Molte difficoltà incontrate dagli studenti nell’apprendimento della meccanica sono, infatti, dovute perlopiù a preconcezioni di senso comune che compaiono anche nelle opere dei filosofi della natura pregalileiani. Affrontare il dibattito scientifico che ha caratterizzato il periodo di transizione tra la fisica aristotelica e quella newtoniana potrebbe, quindi, aiutare a far emergere negli studenti tali preconcezioni e a confutarle efficacemente. Per provare a lavorare in questa direzione, durante l’anno scolastico 2022-23 in una III Liceo Scientifico ho affrontato il tema del moto parabolico e di un proiettile lanciato orizzontalmente esaminando alcuni scritti originali di Galileo che non solo testimoniano come lo stesso abbia realmente svolto esperimenti, ma fanno emergere questioni logiche ed epistemologiche importanti perché la

soluzione proposta da Galileo rappresenta uno dei primissimi esempi di uso cosciente del principio di sovrapposizione.

Il progetto didattico ha avuto una durata complessiva di 7 ore curricolari durante le quali si sono alternati momenti di spiegazione e riflessione collettiva e momenti laboratoriali in cui alcuni studenti hanno costruito un apparato sperimentale sul moto parabolico con materiali poveri, mentre un altro gruppo ha rielaborato l'esperimento descritto nel Folio 116v arricchendolo di un'interpretazione moderna tramite Arduino. Nel seguito descriverò il percorso didattico e le fasi laboratoriali, riportando alcuni dettagli delle fasi costruttive.

## 2. Il contesto storico che fa da sfondo alla progettazione

Una diffusa concezione pone Galileo come il padre fondatore della fisica classica e ne mette in rilievo il ruolo di rottura rispetto alla fisica aristotelica. In molti libri di fisica per le scuole superiori, infatti, si parte dagli errori di Aristotele per poi affermare che Galileo avrebbe costruito *ex novo*, sulle macerie della fisica aristotelica, la cosiddetta fisica classica. Aristotele è diventato così, nell'immaginario scientifico, il simbolo negativo e l'immagine stessa del peso autoritario di una tradizione di pensiero puramente speculativa e aliena dall'esperienza che a lungo avrebbe ostacolato e ritardato il progresso scientifico con i suoi dogmi, mentre Galileo appare come un eroe che si scaglia contro una millenaria e obsoleta tradizione di pensiero fino ad abbatterla.

La condanna dell'aristotelismo è nata agli albori del pensiero moderno e quasi tutti i maggiori autori del pensiero moderno: Giordano Bruno, Campanella, Bacone, Cartesio, fino a Galileo, hanno condannato e combattuto l'aristotelismo. Tuttavia, un simile giudizio, in parte comprensibile nell'epoca in cui nacque, si è cristallizzato e stratificato nel tempo fino a diventare una sorta di luogo comune e, banalmente, non solo non rende giustizia ad Aristotele ma rende anche incomprensibile la stessa grandezza di Galileo. Scrive al riguardo Koyré:

La fisica aristotelica è falsa, lo sappiamo bene. Ha irrimediabilmente perduto ogni valore. Ma è tuttavia una fisica, cioè una teoria profondamente, benché non matematicamente, elaborata. Non è né un prolungamento rozzo e verbale del senso comune né una fantasia puerile, bensì è una teoria, cioè una dottrina che, partendo dai dati del senso comune, li sottomette ad un'elaborazione sistematica estremamente coerente e rigorosa (Koyré 1976, p. 12).

In realtà il cammino che portò da Aristotele a Galileo fu lungo e complesso e a Galileo va dato il merito di aver riportato l'interesse per le opere della scienza ellenistica, come ci ricorda Lucio Russo:

L'ambiziosissimo obiettivo di Galileo era stato quindi il recupero, dopo tanti secoli di abbandono, del metodo scientifico ellenistico, consistente nell'elaborazione di sistemi ipotetico-deduttivi in cui inquadrare i fenomeni naturali. Il suo spirito critico gli fa individuare con chiarezza i propri modelli nei grandi scienziati del periodo aureo (Archimede, Apollonio, Euclide), senza che la sua evidente ammirazione sconfini in reverenza per una "Antichità" indifferenziata. Galileo non esita a dissentire sia da Aristotele sia da Tolomeo. [...] Galileo riuscì in effetti a riprendere dai suoi lontani maestri sia l'idea del metodo sperimentale sia quella del metodo dimostrativo (Russo 2021, pp. 428-430).

Questa è la permessa storica discussa in classe, in 2 ore di lezione, con l'obiettivo di affrontare in maniera critica e consapevole lo studio della fisica classica.

## 3. Il percorso didattico

Dopo l'introduzione storica, il percorso didattico è proseguito in classe con la seguente scansione:

- presentazione teorica del moto parabolico e del lancio orizzontale di un proiettile (2 ore);
- discussione dei contributi di Stillman Drake su Galileo, risultati centrali della ricerca storiografica contemporanea, e analisi di alcuni scritti originali di Galileo (2 ore);
- costruzione di alcuni esperimenti sul moto parabolico e sul lancio orizzontale di un proiettile con materiali poveri e con l'uso di Arduino (svolta a gruppi in orario pomeridiano);
- presentazione alla classe dei vari gruppi con commenti critici sul lavoro svolto (1 ora).

Le ore dedicate alla costruzione dei vari esperimenti, seppur svolte in orario pomeridiano, sono state supervisionate tramite videochiamata in cui gli studenti mi illustravano i loro progressi e io davvo loro eventuali feedback per migliorare o implementare i loro esperimenti. Questa prassi, oltre che per responsabilizzare i studenti, è risultata decisiva per capire il loro grado di comprensione.

Nel seguito descriverò le varie fasi del percorso didattico, omettendo la trattazione teorica del moto parabolico e del lancio orizzontale di un proiettile.

La discussione sui contributi di S. Drake relativi agli esperimenti di Galileo è stata molto apprezzata dagli studenti perché è servita loro per capire meglio la centralità degli esperimenti descritti nel lavoro di Galileo: prima di Galileo, infatti, sono stati scritti molti volumi sul moto da studiosi che non avevano mai misurato realmente nessun movimento di corpi in caduta. Dopo Galileo, eseguire misurazioni con grande cura e assoggettare i risultati all'analisi matematica divenne l'attività principale degli scienziati.

Fino agli anni '70 del XX secolo, in assenza di documenti su ciò che egli aveva fatto, gli storici della scienza che scrivevano su Galileo potevano unicamente speculare su ciò che aveva detto nei suoi ben noti scritti. Il più influente di questi storici, Alexandre Koyré, concluse che "Galileo non aveva fatto nulla", se non con il cannocchiale; per il resto, inclusa tutta la sua fisica, aveva soltanto "pensato" (Koyré 1976). Koyré non biasimava Galileo per questo, anzi considerava ciò come il massimo contributo di Galileo alla scienza. Pensare matematicamente intorno ai fenomeni fisici andava contro il carattere aristotelico e Koyré attribuiva a Galileo il merito di aver posto la fisica sulla "giusta strada", segnata a suo tempo da Platone. Allo stesso tempo, Koyré credeva di aver dimostrato che Galileo non poteva aver misurato i movimenti concreti così accuratamente da arrivare alla legge della caduta dei gravi.

Drake, invece, dimostrò tramite un'accurata analisi linguistica e scientifica degli appunti di Galileo (Drake 1981) che egli giunse alla legge dei quadrati dei tempi agli inizi del 1604 scoprendo dapprima la legge del pendolo, mettendola in relazione con la caduta dei gravi e alla proporzionalità tra la velocità e la radice quadrata delle verticali dall'origine. Tutti questi principi furono messi alla prova congiuntamente da nuovi esperimenti, come mostrato dal Folio 116v, documento chiave per il nostro percorso didattico. Dopo una parentesi dedicata a problemi di astronomia, nel 1607 Galileo ritorna ai problemi del moto. È di questo periodo un manoscritto (Fig. 1) che presenta dei risultati sperimentali la cui interpretazione è del massimo interesse: Galileo suppone che la velocità sia una quantità proporzionale al tempo e asserisce che le velocità dei corpi che cadono da una certa altezza sono nello stesso rapporto che le radici quadrate delle distanze percorse. Giunti a questo risultato, fondamentale per la fisica classica, si è scelto di analizzare il manoscritto (Fig. 1), suggerendo agli studenti un primo possibile sviluppo pratico-laboratoriale. Il Folio 116v si può interpretare nel modo seguente: una pallina viene fatta rotolare su un piano inclinato a partire da altezze  $H$  differenti. L'estremità inferiore del piano è curvata "a trampolino" per trasmettere alla pallina lungo una direzione orizzontale la velocità acquisita nel moto di caduta lungo il piano inclinato. La pallina inizia quindi un moto di caduta libera da un'altezza prefissata con velocità iniziale orizzontale. Si ottiene così la composizione di un moto verticale e di un moto orizzontale e si può misurare la distanza  $D$  (gittata) percorsa in direzione orizzontale tra l'istante di stacco e l'istante di impatto della pallina con il piano di riferimento. Come primo suggerimento è stato chiesto a un gruppo di studenti di verificare che la gittata è proporzionale al valore della velocità orizzontale iniziale, verificando anche così che la velocità di caduta di una biglia lungo il piano inclinato è proporzionale alla radice quadrata dell'altezza del piano inclinato.

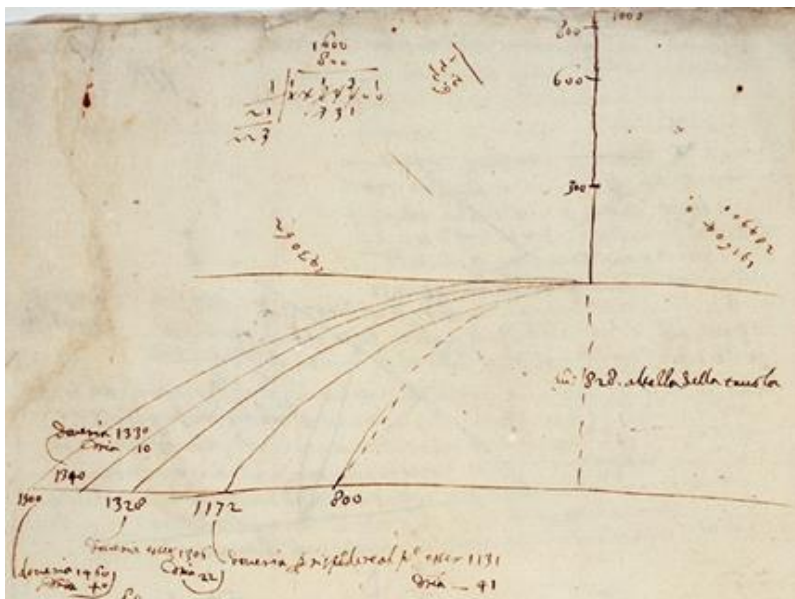


Fig. 1. Folio 116v, vol. 72 (mss galileiani, Biblioteca Nazionale, Firenze)

Per verificare quanto detto, è stata suggerita la costruzione di un trampolino di lancio agganciato a un sostegno (Bonera 1995) che permette di variare l'altezza  $h$  rispetto al piano d'appoggio (Fig. 2). La successiva presentazione in classe di questo esperimento e la discussione sui risultati ottenuti è stata di importanza chiave per fissare ancora una volta quanto già detto nella lezione teorica sul moto parabolico sul principio di composizione dei moti. Infatti, se lasciamo cadere una biglia dal punto più alto del piano inclinato (si veda Fig. 2), essa acquista a fine corsa la stessa velocità orizzontale  $v_0$  in ogni lancio e quindi la gittata ( $x = v_0 t$ ) può essere utilizzata per misurare il tempo di caduta verticale dall'altezza  $h$ . Dall'analisi dei risultati ottenuti dagli studenti si vede, con discreta precisione, che la gittata  $x$  è proporzionale alla radice quadrata dell'altezza  $h$  del trampolino.

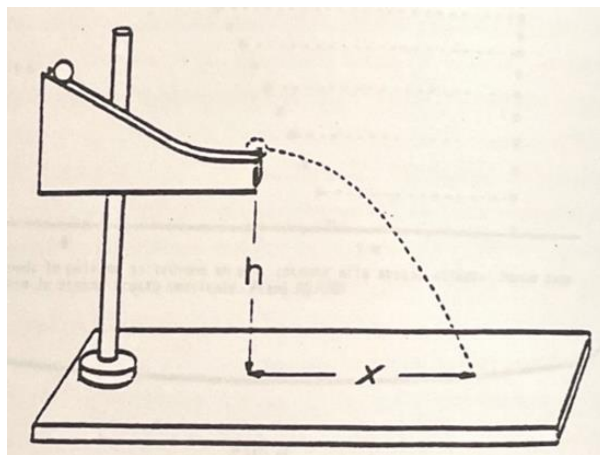


Fig. 2. Trampolino mobile per esperienza di laboratorio (Bonera 1995, p. 132).

Un secondo esperimento, svolto da un altro gruppo di studenti, che utilizza sempre il trampolino descritto in precedenza (Fig. 2) per valutare il legame tra la posizione di partenza della pallina e la velocità al termine del piano inclinato. Al gruppo è stato chiesto di fissare il trampolino a un'altezza  $H$  dal piano d'appoggio e di lasciare cadere la biglia da diverse posizioni lungo il trampolino.

Tenendo fissa l'altezza del trampolino il tempo di caduta verticale sarà sempre lo stesso ( $t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$ .)

Agli studenti è stato quindi chiesto di verificare la proporzionalità tra la gittata e la velocità raggiunta dalla biglia al termine della discesa lungo il trampolino e di confermare tale predizione al variare dell'altezza  $H$  del trampolino e al variare del punto di partenza della biglia. Gli studenti hanno inoltre determinato, con la notazione moderna, la velocità di uscita della biglia dal trampolino e verificato con un altro trampolino di diversa inclinazione che essa, a parità di altezza di caduta, non dipende dall'inclinazione. L'attenzione del gruppo classe è poi stata posta sull'analisi delle parabole di caduta riportate sul manoscritto di Galileo (Fig. 1) ed è stata proposta loro la duplice interpretazione che Drake suggerisce in merito ai dati riportati sul Folio 116v: i dati riportati potevano servire a Galileo per verificare l'ipotesi di un moto rettilineo uniforme in assenza di attriti, cioè di un moto inerziale (usando gli stessi ragionamenti che abbiamo fatto anche nel nostro percorso didattico); oppure l'esperimento poteva essere stato un tentativo di verificare il principio di composizione dei moti, grande novità concettuale rispetto alla fisica aristotelica (Drake 1992).

Un gruppo di studenti ha utilizzato i dati del manoscritto per ripercorrere le tappe storiche dell'esperimento di Galileo, sfruttando un trampolino come quello di Fig. 2 e la trascrizione del Folio 116v ad opera di S. Drake (Fig. 3). In particolare, secondo le ricerche storiografiche di Drake, il dispositivo utilizzato da Galileo era probabilmente simile al trampolino già descritto (Fig. 2) e avente un piano inclinato di circa  $30^\circ$  posto ad un'altezza di 828 punti (77,7 cm) rispetto al piano di riferimento. Sul Folio 116v Galileo aveva tracciato due rette orizzontali che rappresentavano il suolo e la superficie di un tavolo. Sopra il tavolo, lungo una linea verticale, segnò le altezze di 300, 600, 800 e 1000 punti. Dall'estremità del tavolo al suolo disegnò delle curve rappresentanti le traiettorie di una biglia, indicando il valore sia calcolato che misurato della gittata per ciascuna altezza. Ad eccezione del lancio dall'altezza di 300 punti (e conseguente gittata di 800 punti), gli altri dati sono contrassegnati sul manoscritto dall'annotazione "doveria" (avrebbe dovuto essere), che per Drake è sinonimo inequivocabile che Galileo aveva dapprima calcolato e poi misurato, ovvero che avesse svolto il procedimento sperimentale disegnato nel Folio 116v. Gli studenti hanno provato a realizzare l'esperimento assegnando il valore di 9,38 cm al punto di Galileo, come sostenuto da Drake (Drake 1992).

Al quarto e ultimo gruppo è stato assegnato lo studio della composizione dei moti e la loro verifica laboratoriale tramite la costruzione di altri trampolini che permettono di mostrare l'indipendenza del moto di caduta libera dal moto orizzontale e viceversa, nonché il moto parabolico come la composizione di questi due moti (Fig. 4).

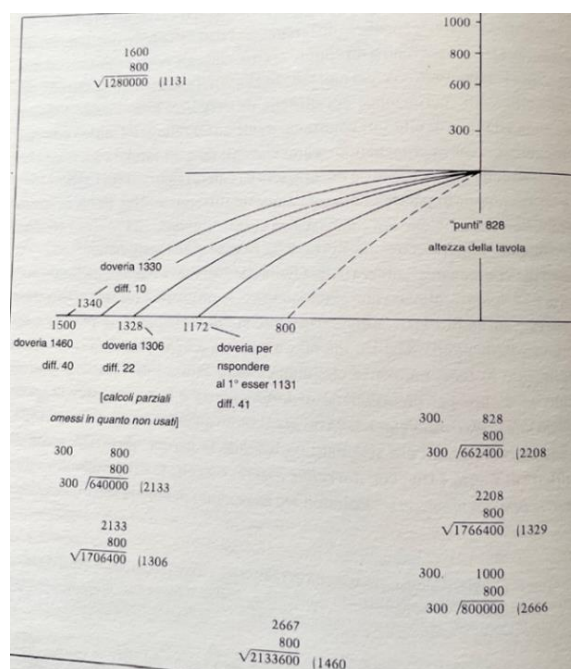


Fig. 3. Parziale trascrizione del Folio 116v di Galileo fatta da S. Drake (Bonera 1995, p. 185).

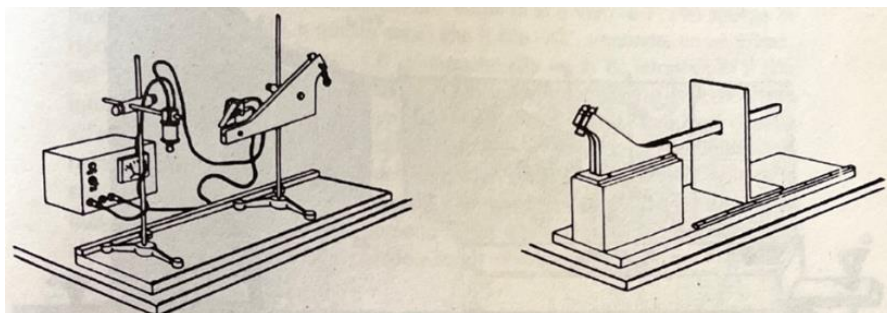


Fig. 4. Apparato per lo studio del principio di composizione dei moti (Bonera 1995, p. 135).

Per mostrare che la componente orizzontale è indipendente da quella verticale si usa il dispositivo in Fig. 4: si lasciano cadere due biglie nello stesso istante dal punto più alto di due guide inclinate identiche; dopo un tratto orizzontale, una biglia inizia la caduta mentre l'altra prosegue il suo moto lungo un prolungamento orizzontale della guida. Entrambe le biglie hanno la possibilità di urtare contro un piano verticale che può essere spostato a distanze diverse dal punto in cui una delle biglie abbandona la guida. Nei vari tentativi realizzati dagli studenti per differenti posizioni del piano verticale, si è percepito un unico colpo per l'arrivo delle biglie contro la parete verticale. Gli studenti hanno quindi potuto dedurre che le biglie, pur percorrendo traiettorie differenti impiegano lo stesso tempo e si spostano in direzione orizzontale con la stessa velocità, fatto che è stato poi anche ribadito dal gruppo durante la presentazione in classe dell'esperimento e che personalmente considero didatticamente centrale per la piena comprensione del moto parabolico. Analogamente, per mostrare che la componente verticale del moto è indipendente da quella orizzontale il gruppo ha utilizzato il dispositivo in Fig. 4: la biglia di cui si studia il moto mentre esce dal tratto orizzontale disattiva un'elettrocalamita che tiene sospesa una seconda biglia alla stessa altezza cosicché entrambe inizino la loro caduta nello stesso istante. Nei vari tentativi realizzati dagli studenti essi hanno percepito un unico colpo per l'arrivo delle biglie sul piano orizzontale. Questo gruppo di studenti, unendo le forze con altri compagni di classe, ha fatto un passo in più e ha realizzato un dispositivo che combinava i due disegni in Fig. 4 in un unico solo aggiungendo ad esso l'automazione tramite Arduino.

Di questa evoluzione tecnico-pratica parlerò nel prossimo paragrafo, ora concludo riportando le fonti storiche lette e discusse in classe a proposito della composizione dei moti. Siamo partiti dai *Discorsi*:

Immagino di avere un mobile lanciato su un piano orizzontale, rimosso ogni impedimento: già sappiamo, per quello che abbiamo detto più diffusamente altrove, che il suo moto si svolgerà equabile e perpetuo sul medesimo piano, qualora questo si estenda all'infinito; se invece intendiamo [questo piano] limitato e posto in alto, il mobile, che immagino dotato di gravità, giunto all'estremo del piano e continuando la sua corsa, aggiungerà al precedente movimento equabile e indelebile quella propensione all'ingiù dovuta alla propria gravità: ne nasce un moto composto di un moto orizzontale equabile [uniforme] e di un moto deorsum [verso il basso] naturalmente accelerato, il quale [... moto composto] descrive una linea semiparabolica (Galileo 1980, p. 268).

L'indipendenza del moto uniformemente accelerato di caduta libera dal moto orizzontale uniforme viene illustrato da Galileo nel *Dialogo* con un'esperienza successivamente realizzata con successo dai membri dell'Accademia del Cimento dalla torre del porto di Livorno:

[...] quando in cima di una torre fusse una colubrina livellata, e con essa si tirassero tiri di punto bianco, cioè paralleli all'orizzonte, per poca o molta carica che si desse al pezzo, si che la palla andasse a cedere ora lontana mille braccia, or quattro mila, or sei mila, or dieci mila, etc., tutti questi tiri si spenderebbero in tempi eguali tra di loro, e ciascheduno eguale al tempo che la palla consumerebbe a venir dalla bocca del pezzo sino a terra, lasciata, senz'altro impulso, cadere



semplicemente giù a perpendicolo. Or par meravigliosa cosa che nell'istesso breve tempo della caduta a piombo sino in terra dall'altezza, verbigrazia, di cento braccia, possa la medesima palla, cacciata dal fuoco, passare or quattrocento, or mille, or quattromila, ed or diecimila braccia, si che la palla in tutti i tiri di punto bianco [cioè orizzontali] si trattenga sempre in aria per tempi eguali. SALV. La considerazione per la sua novità è bellissima, e quando l'effetto sia vero, è meraviglioso: e della sua verità io non ne dubito; e quando si lasciassero cadere un'altra dalla medesima altezza giù a piombo, ambedue arriverebbero in terra nel medesimo istante, ancorché quella avesse camminato diecimila braccia di distanza, e questa cento solamente intendendo che il piano della Terra fusse eguale, che per sicurezza si potrebbe tirare sopra qualche lago (Galileo 1980, p. 397).

#### 4. Arduino: un nuovo approccio laboratoriale

Come detto precedentemente, il quarto gruppo ha implementato i due dispositivi sperimentali (Fig. 4) unificandoli in un unico dispositivo e inserendo un'automazione con Arduino (Fig. 5).



Fig. 5. Studio della composizione dei moti con Arduino

Arduino è una piattaforma hardware composta da una scheda elettronica dotata di un microcontrollore e di una serie di connessioni per poter comunicare con l'esterno, ideata e sviluppata nel 2003 da alcuni membri del Interaction Design Institute di Ivrea. Proprio grazie ai microcontrollori si può realizzare con Arduino una vasta gamma di progetti, raccogliere dati provenienti da altri dispositivi (sensori di temperatura, di movimento, di luce), pilotare motori elettrici, il tutto attraverso un ambiente di sviluppo integrato che utilizza di un linguaggio di programmazione semplificato simile al C++. Il gruppo di studenti ha voluto sfruttare le numerose potenzialità e individualità presenti nella classe per realizzare un dispositivo in grado di unire in un unico artefatto tutti gli esperimenti del progetto usando Arduino, scrivendo un programma in grado di calcolare teoricamente le gittate (per poi confrontarle con i risultati sperimentali) e riprodurre la situazione descritta da Galileo nel Folio 116v. Mi ritengo indubbiamente molto soddisfatto di avere il piacere di lavorare in una classe così didatticamente stimolante e, quando ho appreso della volontà di tale gruppo di realizzare un qualcosa di nuovo, ho incentivato e supportato i ragazzi nella realizzazione del dispositivo perché esso è in grado di coniugare la storia della scienza con le nuove tecnologie, binomio che reputo fecondo e didatticamente molto efficace. Infatti, l'utilizzo di dispositivi elettronici interattivi come Arduino, permette agli studenti di vivere in prima persona un'esperienza attraverso cui mettere in pratica quanto studiato e averne al tempo stesso un riscontro pratico, verificando le leggi matematiche che regolano i fenomeni fisici. In questo modo gli studenti vengono resi partecipanti attivi del processo di apprendimento, costruendo la conoscenza e dandole un significato più profondo e, al tempo stesso, stimolando il potenziale creativo dei ragazzi.

Valore aggiunto del progetto è, a mio giudizio, l'uso consapevole di una nuova tecnologia ai fini di una pratica pedagogica ancora troppo poco utilizzata nella scuola secondaria italiana: l'integrazione della storia della scienza nella didattica della fisica. Se a ciò si aggiunge che, anche grazie ad Arduino che costituisce una nuova frontiera nel concepire il laboratorio di fisica, gli studenti hanno potuto approcciarsi agli esperimenti da protagonisti e non da spettatori, possiamo senza dubbio affermare che il progetto ha avuto una buona ricaduta didattica.

## 5. Conclusioni e prospettive future

L'esigenza di un approccio storico nella didattica della fisica nasce dalla consapevolezza, sempre più avvertita, che i metodi tradizionali di insegnamento si sono rivelati spesso insufficienti e inadeguati. Le riflessioni epistemologiche, a partire quanto meno da quelle di Thomas Kuhn (Kuhn 2000), hanno messo in evidenza che nemmeno la scienza, pur presentando caratteristiche proprie (replicabilità degli esperimenti, ricerca di leggi e costanti atemporali), risulta pienamente comprensibile ove la si astragga dalla sua dimensione storica. Soltanto in questo modo infatti è possibile afferrare la dinamica che caratterizza la pratica scientifica, ossia l'intersoggettività dei risultati del dibattito scientifico e la natura complessa dei modelli in campo, piuttosto che la ricerca linearmente cumulativa di una "verità" finale. L'aver affiancato alla storia della scienza l'uso di tecnologie informatiche come Arduino non ha portato però a un sovraccarico cognitivo, cioè non ha compromesso la corretta e completa acquisizione delle conoscenze obiettivo dell'attività, perché la sua introduzione è arrivata spontaneamente dagli studenti e quindi essi non hanno dovuto imparare a utilizzare Arduino, aspetto che probabilmente avrebbe compromesso la buona riuscita del progetto. Sono, infatti, concorde con Antonio Calvani (Calvani 2013) quando sostiene che le nuove tecnologie siano da inserire come supporto didattico, purché utilizzate in maniera consapevole e con un preciso intento didattico. Al tempo stesso penso come sostiene John Hattie (Hattie 2016) che la lezione più efficace è quella interattiva e a feedback immediato: esperimenti laboratoriali con Arduino rientrano esattamente in questa categoria di lezione, in quanto lo studente ha la possibilità di interagire con l'oggetto di studio e sia lui sia l'insegnante possono avere immediatamente un ritorno di ciò che è stato fatto e in caso di errori o inesattezze l'allievo è messo in condizione di poter rivalutare le sue scelte e di correggersi attivando percorsi mentali duraturi. Nel prossimo anno scolastico la mia intenzione è quella di continuare sulla strada tracciata proponendo nella stessa classe un altro percorso didattico che sfrutti il proficuo connubio tra storia della scienza e Arduino anche al fine di offrire lezioni di fisica sempre più efficaci e didatticamente rilevanti.

## Bibliografia

- Amaldi, U. (2020). *L'Amaldi per i licei scientifici. blu*. Vol. 1. Bologna: Zanichelli.
- Bonera, G. (1995). *Galileo oggi*. Pavia: Goliardica Pavese.
- Calvani, A. (2013). "Qual è il senso delle tecnologie nella scuola? Una 'road map' per decisori ed educatori", *Italian Journal of Educational Technology*, 21(1), pp. 5-57.
- Drake, S. (1981). *Galileo at work – His Scientific Biography*. Chicago: Chicago Press.
- Drake, S. (1992). *Galileo Galilei pioniere della scienza*. Padova: Franco Muzzio Editore.
- Galilei, G. (1980). *Opere di Galileo Galilei*. Torino: UTET.
- Hattie, J. (2016). *Apprendimento visibile, insegnamento efficace*. Trento: Erickson.
- Koyré, A. (1976). *Studi galileiani*. Torino: Einaudi.
- Kuhn, T. (2000). *Dogma contro critica. Mondi possibili nella storia della scienza*, a cura di Gattei S. Milano: Raffaello Cortina Editore.
- Russo, L. (2021). *La Rivoluzione dimenticata*. Milano: Feltrinelli.

# Immagini di Scienza. Reinventare la scienza in un mondo in continua evoluzione

Erika Bercigli<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università di Bologna, erika.bercigli@studio.unibo.it

*Abstract:* Anciently, science was defined as “knowledge”, but nowadays it is associated with pragmatism, dogmatism and technological advance within itself. Something, some people say, impossible to reach. In 1623, Galileo thought of creating a widespread scientific community where everyone could make science freely. But how can someone teach and divulge science in an ultra-technological world and moreover, fight a continuous loss of interest from students and a narrow mindset given by universities? How can someone spread and share curiosity and passion for science and history too whilst pseudoscience is gradually making a comeback? How can science address itself towards learning disabilities, ADHD, gifted, and autism audiences? Through the stories and experiences of Dr. Carl Sagan, Dr. Stephen Hawking, and Dr. Margherita Hack alongside a first-hand museum experience towards physics and astronomy, we will try to understand how to shape up and reinvent the scientific world so one day it can build within dreams, leaving out the dogmas of our society.

*Keywords:* Mental health, Neurodivergent, History of science, Astronomy, Physics.

## 1. La stranezza della scienza

Cosa ci fa appassionare alla scienza? Il desiderio di avere un riconoscimento importante per una scoperta? La sfida nello scavalcare confini imposti dai “titani” di queste materie? Oppure, al solo sentirla pronunciare, ci fa battere il cuore come se mai fossimo cresciuti?

Nei secoli, la scienza ha fatto passi da gigante e in questo nuovo millennio si trova a fare i conti con tantissime sfide davanti a sé; una delle più importanti è rappresentata non tanto dalla scoperta di nuovi pianeti o di nuove teorie fisiche, ma dall’arrivare al cuore delle nuove generazioni attraverso la divulgazione della stessa, soprattutto se queste sono neurodivergenti. Ma da dove nasce questo problema importante? Quali sono le ripercussioni che sta dando sia ai giovani che muovono i primi passi nella scuola sia agli adulti che faticano a trovare la loro strada all’interno della scienza?

Eppure, come ci dimostrano le biografie dei grandi scienziati, anche queste grandi menti avevano delle peculiarità a livello neurobiologico che, nonostante le difficoltà, li ha portati a rivoluzionare letteralmente il mondo scientifico. Un caso interessante è dato dal fisico statunitense Richard Feynman, che soffriva di ADHD (Attention Deficit Hyperactive Disorder), ma ciò non gli impedì di vincere un Premio Nobel per la fisica nel 1965.

### 1.1 Neurodivergenza e scienza: un binomio impossibile?

In un mondo ipertecnologico, la divulgazione scientifica sta cambiando volto per cercare di stare al passo con i tempi; eppure, nonostante gli sforzi, essa sta lasciando indietro una fetta considerevole di studenti: i neurodivergenti.

Ma che cos’è la neurodivergenza?

Questo è un termine cappello per definire un funzionamento differente del cervello umano, specie in persone che presentano delle peculiarità neurobiologiche. Queste possono tradursi in diverse forme che

danno vita a disturbi che vanno a toccare anche l'apprendimento; tra le tante note possiamo citare, l'ADHD o sindrome di iperattività, la dislessia, la discalculia, lo spettro autistico e persino la plusdotazione.

Ogni peculiarità, termine con il quale ci riferiremo a queste problematiche in quest'articolo, porta con sé delle difficoltà ma anche dei punti di forza in chi ne è affetto. Spesso, però, negli anni formativi si fa fatica a riconoscere la sintomatologia collegata perché chi ne è affetto può portare dentro di sé anche due peculiarità creando così una comorbidità ossia la coesistenza delle stesse all'interno dell'individuo. Ma è nella scuola che avviene la grande difficoltà nell'inserirsi anche con i propri coetanei.

### *1.1.1 Menti brillanti sottovalutate*

La crescita esponenziale delle diagnosi sia nei ragazzi sia negli adulti ha fatto sì che gli psicoterapeuti e gli psichiatri prendessero in considerazione l'idea di creare una serie di lavori e di programmi fatti apposta per queste menti particolari all'interno dell'ambito scolastico.

Sebbene gli studi ad essi collegati fossero già noti sin dagli inizi degli anni '30, non era mai stata presa in considerazione l'idea di creare dei percorsi scolastici che potessero aiutare queste persone ad esprimere il loro potenziale.

Nonostante le buone intenzioni, questi percorsi sono risultati essere un'arma a doppio taglio che ha, di fatto, rinforzato l'esclusione sociale dal tessuto scolastico di queste persone. Ciò si ritrova anche nella formazione degli insegnanti che, spesso, sottovalutano il potenziale dei loro studenti etichettandoli come "buoni a nulla" ed escludendoli a priori per mancanza di una formazione mirata e aggiornata.

E nel caso della scienza?

L'articolo dei dottori Villanueva, Taylor, Therrien e Hand intitolato "Science education for students with special needs" (2012), ha evidenziato uno scarto importante del 50% dell'apprendimento scientifico in questi ragazzi a livello mondiale. E indicano questi percorsi separati come uno dei principali fattori dell'esclusione di questi ragazzi con bisogni educativi speciali, persino dalle classi di scienze. Secondo gli autori dell'articolo, diversi sono i fattori che contribuiscono a questo enorme divario come le poche ore di studio delle materie scientifiche a disposizione dei ragazzi SNE (Special Needs Education) o i libri di testo inaccessibili per la loro comprensione.

Già, da subito, quindi si può notare come anche un semplice libro di testo possa causare una forma di abilismo, un tipo di discriminazione che riguarda sia le persone diversamente abili sia le persone con un funzionamento cognitivo diverso dalla norma.

Sebbene quest'articolo contenga dei limiti importanti per via della scarsa comunicazione tra gli ambiti educativi e scientifici americani, ha segnato, di fatto, un punto cardine fondamentale nel cercare di stabilire un inizio di una ricerca interdisciplinare per cercare di dare a queste menti uno spazio importante all'interno del contesto scolastico e anche scientifico.

E in Italia?

Come paese, l'Italia è talmente aggiornata sulla ricerca di una possibile integrazione di questi ragazzi a scuola che l'ultimo rapporto ufficiale MIUR è del 2017!

Nonostante con la legge Basaglia del 1978 si sia tentato di normalizzare il malato mentale facendolo reintrodurre nella società, nel caso di questi ragazzi bisognerà aspettare gli anni '90 per avere un primo piano di sostegno per i ragazzi BES e DSA, anche se siamo ancora lontani da una piena integrazione.

Questa mancanza è una delle cause principali dell'abbandono scolastico da parte di questi ragazzi. Anche se recentemente stanno nascendo dei piani di studio mirato verso i BES e i DSA, inclusi i plusdotati, nel caso della Francia, è nato nel 2003 un programma denominato Cogito Z voluto fortemente dalla neuropsichiatra francese Jeanne-Siaud Facchin che si pone l'obiettivo di aiutare, con interventi mirati di psicoterapia e attività, i ragazzi con BES, DSA e plusdotazione, divenendo, poi, parte del programma di scolarizzazione del governo francese.

Un piccolo focus va riservato ai ragazzi e alle ragazze con plusdotazione: sebbene noi tutti siamo portati a credere che siano coloro che prendono i voti migliori a scuola, in realtà sono ragazzi e ragazze che vengono letteralmente sottovalutati dall'ambiente scolastico. Ciò che spesso guardiamo è l'intelligenza numerica, ma come mostra la dottoressa Facchin nel suo libro "Troppo intelligenti per essere felici?", la plusdotazione si ritrova in tantissimi ambiti come quello emotivo e chi la possiede ha, spesso, una visione fin troppo lucida del mondo.

Come può quindi una potenzialità importante come la plusdotazione essere un problema nell'apprendimento scientifico?

Sebbene mettano in discussione qualsiasi cosa, quando si ritrovano a fare domande ai loro insegnanti, quest'ultimi fanno fatica a rispondergli perché non sanno come fare a sopperire a questa loro richiesta causando, così, un conflitto tra le due parti che porta il ragazzo a sentirsi completamente escluso e a conformarsi.

Nell'ambito scientifico scolastico, questi ragazzi hanno difficoltà ad uniformarsi con i programmi che gli vengono proposti perché la loro mente va oltre ciò che gli è proposto dai docenti, cercando così di saziare la loro curiosità con i libri degli scienziati e dei divulgatori.

Ed è qua che entrano in gioco i divulgatori: esperti nel loro campo di studi, ma che poi sono diventati nel corso del tempo, attori.

I nuovi mezzi tecnologici come i social media hanno contribuito, in questo caso, a creare un aumento del fenomeno dei divulgatori, un tempo legati soltanto alla sfera dei documentari come Superquark o degli addetti ai lavori in ambito universitario. Sebbene molti di loro sappiano come raccontare una storia, attraendo così una folta schiera di ammiratori, ciò che emerge è la perdita di aderenza al loro lavoro di storici e scienziati.

Purtroppo, se da un lato non fanno altro che creare curiosità, dall'altra alimentano la mitizzazione di certe figure come Galileo o Maria Skłodowska, perdendo così di vista il metodo scientifico della ricerca storica. Nel caso, invece, della ricerca scientifica è diverso perché non soffre della problematica della mitizzazione, ma si può rischiare una semplificazione delle teorie e delle scoperte scientifiche per un pubblico di non addetti ai lavori, quasi tenendo per l'ambito accademico una grossa fetta della conoscenza.

Un primo esempio di questa semplificazione si può trovare dentro agli stessi testi scolastici di Scienze. Ad esempio, se io volessi parlare della legge della gravitazione universale teorizzata da Sir Isaac Newton nel 1687, probabilmente citerei la formula, spiegando brevemente a cosa serve nella parte legata alla stessa.

Ma se, ipoteticamente, questo libro venisse letto da un ragazzo o da una ragazza affetta da BES o DSA scatenerebbe nella sua mente una serie di domande tipo "Perché Newton l'ha scoperta?" o "In che modo è stata dimostrata?", accendendo, di fatto, la sua curiosità. Questo per mostrare quanto una mente particolare possa vedere dettagli che, spesso, vengono tralasciati da questa semplificazione scientifica.

Ciò avviene perché, spesso, si tende a sottovalutare il potenziale creativo e immaginativo dei ragazzi, anche di coloro affetti da BES, DSA, ADHD e plusdotazione, non rendendosi conto che possono dare molto. Questa svalutazione causa così una reazione a catena che porta a tre fattori principali dell'esclusione di questi ragazzi con peculiarità: programmi personalizzati e non adeguati alle loro esigenze, svalutazione e demolizione delle capacità da parte degli insegnanti e, in alcuni casi, anche da parte dei genitori e sensazione di essere un pesce fuor d'acqua con i propri coetanei che può portare anche a situazioni di bullismo.

Ken Robinson (1950-2020), pedagogista inglese e autore di diversi libri sul rapporto scuola-diversità-creatività, spiegò in un TED Talk del 2013 e poi successivamente in un altro del 2015 come riconoscere che il sistema scolastico non si deve basare su test standardizzati bensì sulle capacità creative dei propri allievi.

Aiutarli ad immaginare. E ciò ci porta verso tre scienziati che hanno fatto dell'immaginare la loro bandiera anche di divulgazione verso le nuove generazioni: Margherita Hack, Stephen Hawking e Carl Sagan.

## 2. Immaginare la scienza: dai divulgatori del passato alle idee di un futuro fuori dagli schemi

Come mai citare Hack (1922-2013), Sagan(1934-1996) e Hawking(1942-2018) come casi di divulgazione scientifica che è riuscita a colpire nei cuori e nelle menti dei giovani anche con peculiarità?

Sono riusciti a dare voce ad una scienza che, di per sé, poteva risultare invisibile. Carl Sagan, primo di questi scienziati, era convinto che bisognasse raccontare e spiegare il sapere scientifico alle nuove generazioni così da ispirarle e da incuriosirle e, così, a suo modo, usando i mezzi di comunicazione diede vita alla serie televisiva Cosmos nel 1980.

Da lui, sono nati una schiera di divulgatori come la stessa Margherita Hack che lavorò dal 2002 al 2008 al programma televisivo Screensaver tenendo una rubrica di astronomia, o anche Stephen Hawking. Il caso di Hawking è particolare perché non soltanto è diventato un'icona pop per via delle sue molteplici apparizioni in serie televisive, ma, a causa della sua malattia, si è fatto portavoce per i diritti delle persone diversamente abili e anche con peculiarità. Ma bisogna anche dire che i suoi studi sui buchi neri e la singolarità spazio-temporale che Hawking sviluppò dalle teorie di Penrose, ha fatto sì che ispirassero nuove generazioni a studiare le meraviglie del cosmo.

Quale fu, quindi, il segreto del loro successo verso anche questi ragazzi con peculiarità?

Esso si può riassumere in tre punti cardine: l'immaginazione, la curiosità e la fluidità del discorso.

Come abbiamo visto prima, oggi giorno tantissimi divulgatori sanno raccontare una storia ma ciò che viene persa è l'aderenza alla loro formazione da storici. Spesso, possiamo notare che vengono persi dettagli importanti di una storia che ci fanno comprendere a fondo come certi processi o certi eventi si siano svolti creando una *longue durée* di legoffiana memoria.

Nel caso di Margherita Hack, di Hawking e di Sagan, il loro punto di forza non è stato solo la loro forte aderenza al loro essere astrofisici ma anche l'aver raccontato, con uno stile fluido e comprensibile, tematiche complesse dell'astrofisica come i buchi neri o la teoria della relatività di Einstein.

Tutti e tre erano concordi che i ragazzi debbano essere liberi di immaginare e di esplorare con curiosità il mondo attorno a loro. Quest'immaginazione, però, può andare scemando se s'incontrano delle condizioni non favorevoli all'interno del sistema scolastico e lo stesso si può dire anche della curiosità che, nonostante in molti predicano un suo mantenimento, lentamente lascia il posto ad un forte conformismo per poter compiacere gli insegnanti.

Ma tutti e tre gli astrofisici concordano nel voler, inoltre, mettere in discussione le teorie e farsi domande volendo, in questo modo, dare maggiore accesso alle domande e alla nascita di un pensiero critico.

Quest'idea cardine si può ritrovare all'interno anche de "Il Saggiatore" (1623) di Galileo Galilei, al cui interno, lo scienziato pisano aveva dato vita al moderno metodo scientifico, fatto di domande e di dimostrazioni. Inoltre, Galilei desiderava la creazione di una comunità scientifica entro la quale si poteva parlare e discutere di scienza liberamente, soltanto per il gusto di fare scienza. Desiderio che si è realizzato in parte, anche se di strada ce n'è ancora tanta da fare.

Quindi, arrivando al punto focale di quest'articolo, come si può migliorare sia la divulgazione sia la relazione scolastica scientifica verso le persone con peculiarità di neurodivergenza, in particolare gli studenti?

Per cercare di migliorare e di costruire un nuovo modo di fare scienza che possa aiutare questi ragazzi ad esprimere il loro potenziale, creando nuove immagini, possiamo utilizzare 5 punti cardine: l'ironia, la musica, la creatività, Flipped e peer to peer classroom ed infine il "Metodo Laura Bassi".

L'ironia è un potente strumento fatto per smorzare una situazione seria, senza mai cadere nel sardonico; in questo caso, può essere usata per allentare la serietà dell'insegnante e scatenare le risate negli studenti.

Nei ragazzi con peculiarità, usare l'ironia aiuta loro a creare nuove connessioni neuronali, migliora il processo di memorizzazione che nei ragazzi con spettro autistico è portata a livelli di memoria eidetica e rende lo studio altamente piacevole. Infatti, essa fa anche alzare la concentrazione nei ragazzi affetti da ADHD.

Un caso di racconto ironico può essere dato dal raccontare l'esperimento delle rane di Luigi Galvani del 1790, aggiungendo una scenetta di tipo familiare con la moglie Lucia Galeazzi che, in dialetto bolognese, chiama il marito a vedere la scintilla che sarà la scoperta del fluido intrinseco elettrico e che diventerà l'odierno sistema linfatico.

Il secondo punto è dato dalla musica; è risaputo che in moltissimi studi neuropsichiatrici come quelli effettuati dal dottor Oliver Sacks che la musica è un potente calmante, anche in soggetti affetti da schizofrenia ed è consigliato alle puerpere, in gravidanza, di far ascoltare al feto una serie di musiche per stimolare la crescita cerebrale.

Oltre a potenziare le connessioni cerebrali come nel caso dell'ironia, essa è un calmante per i ragazzi con ADHD che li fa rilassare e potenzia la creatività se si abitua i ragazzi da piccoli. Però può essere deleteria nei ragazzi rientranti nello spettro autistico e che presentano una forte sinestesia auricolare: in questo caso, le onde della musica potrebbero causare dei forti problemi ai loro delicati padiglioni auricolari.

Arriviamo poi al terzo punto dato dalla già ormai citata creatività: sin da piccoli immaginiamo mondi e creiamo avventure, ma quando cresciamo è come se un interruttore si attivasse e, per molti, si passa da uno stato di pura creatività ad uno stato di grigiore completo. Mantenere questo motore e quest'energia è, quindi, essenziale non soltanto per mantenersi attivi anche a livello cerebrale ma anche per coltivare un pensiero divergente.

Questa tipologia di pensiero è importante perché nei soggetti con peculiarità è fortemente presente ma non sufficientemente incoraggiata, anche in ambito scolastico perché, spesso, può aiutare nella comprensione di teorie altamente complesse. Anche gli insegnanti hanno bisogno di aumentare il loro potenziale creativo, tramite la coltivazione di un hobby o di un'attività preferibilmente manuale che possa alleviare lo stress della scuola e favorire nuove connessioni neuronali.

Il quarto punto ci porta ad una soluzione proveniente dai paesi anglofoni: la flipped classroom e il peer to peer.

Questi due metodi sono due metodologie di integrazione che potrebbero essere usufruiti anche dai ragazzi con peculiarità.

La flipped classroom vede un cambio di ruoli con lo studente che diventa maestro, mentre l'insegnante supervisiona ai lavori dando il materiale da preparare per la lezione almeno 1 o 2 settimane prima della lezione. I ragazzi, così, sono invogliati a parlare e a spiegare al pubblico venendo, nel contempo, incoraggiati a confrontarsi con i loro coetanei creando così uno spazio per la creazione di un pensiero condiviso.

Caso contrario è il peer to peer: rispetto al metodo precedente, crea un gruppo di studio e di aiuto tra coetanei.

Rispetto ad una spietata competizione, questa metodologia incoraggia la collaborazione favorendo nel contempo un sano scambio di idee e di abilità cognitive divergenti che possono arricchire le giovani menti e gli insegna ad avere più fiducia nei propri mezzi accrescendo così anche l'autostima.

L'ultimo metodo è stato definito "Metodo Laura Bassi" e prende ispirazione dalla metodologia di lavoro utilizzata dalla fisica bolognese Laura Bassi (1711-1788).

Durante i suoi anni di insegnamento all'Istituto delle Scienze e delle Arti di Bologna, Laura Bassi decise di adottare un metodo particolare per insegnare ai suoi allievi coniugando la teoria con la pratica di laboratorio.

Esso si rivelò efficace per la trasmissione delle teorie fisiche di Newton che, grazie a lei e al suo maestro Jacopo Bartolomeo Beccari, poterono attecchire a Bologna divenendo così un polo fondamentale d'attrazione internazionale per la scienza settecentesca.

Arrivati alla conclusione, ci chiediamo quindi se un connubio tra le neurodivergenze e la scienza possa mai avvenire e se questi ragazzi e ragazze con queste peculiarità potranno trovare il loro posto all'interno di questo mondo in continuo cambiamento.

Purtroppo, la società non si cambia in un giorno, così come la scuola ma cercare di cambiare prospettiva verso queste peculiarità e chi le possiede sarà una sfida che in molti, sia i genitori, sia gli stessi ragazzi e anche diversi scienziati, potranno affrontare.

Questo mondo è relativamente nuovo ed ancora inesplorato, ma sono sicura che, grazie alla creazione di nuove immagini e di nuove prospettive della scienza, si potrà arrivare finalmente a coronare il sogno di Galileo: una comunità scientifica senza barriere e senza divisioni, unita solamente dal piacere della scoperta e da nuove ed entusiasmanti immagini della scienza.

### Ringraziamenti

Scrivere questo lavoro è stato stimolante perché mi ha permesso di incontrare nuove prospettive e anche di conoscere in maniera approfondita la parte più strana di me che, da anni, era assopita. Ringrazio con tutto il cuore i professori Mantovani, Esposito, Zanini, Balzano, Umbriaco, Amabile, Artiano e Galimberti per il loro sostegno, la loro guida e i loro preziosissimi consigli, tutti i membri del SISFA che hanno ascoltato questo lavoro come intervento al Congresso a Padova, alle colleghe Rossi e Verduci per il preziosissimo scambio di vedute e consigli in merito ad un argomento non facile, ai miei genitori che mi supportano e mi sopportano nella creazione e nello svolgimento di queste idee folli, a Macchia, mio instancabile compagno peloso, per il suo sostegno ed infine un grandissimo grazie ai miei amici che, ogni giorno, mi fanno vivere un'avventura, accogliendomi nelle mie stranezze e peculiarità.

### Bibliografia

- Bongarzone, E. & Marzocchi, G.M. (2019). *Disattenti e iperattivi*. Bologna: Il Mulino Editore.
- De Grandis, C. (2007). *La dislessia. Interventi della scuola e della famiglia*. Trento: Edizioni Erickson.
- Facchin, J.-S. (2018). *Troppo intelligenti per essere felici? La plusdotazione intellettuale: riconoscerla, comprenderla, conviverci*. Milano: Bur Rizzoli.
- Feynman, R. (2007). *Sto scherzando Mr. Feynman! Vita e avventure di uno scienziato curioso*. Bologna: Zanichelli.
- Frith, U. (1996). *Autismo. Spiegazione di un enigma*. Bari: Laterza.
- Gliozzi, M. (2005). *Storia della fisica*. Torino: Bollati Boringhieri.
- Hack, M. (2002). *Vi racconto l'astronomia*. Roma: Laterza.
- Hand, B., Taylor, J.C. & Therrien, W.J. (2012). "Science education for students with special needs", *Studies in Science Education*, 48(2), pp. 187-215. doi: 10.1080/14703297.2012.737117
- Hawking, S. (2013). *Breve storia della mia vita*. Milano: Mondadori.
- Hoskin, M. (2001), *Storia dell'astronomia di Cambridge*. Milano: Bur Rizzoli.
- Powers, M. (1994). *Autismo*. Milano: Raffaello Cortina Editore.
- Verdet, J.-P. (1995). *Storia dell'astronomia*. Milano: Longanesi.



## C. Bonfanti's Book Collection

Giuliano Klun<sup>1</sup>

<sup>1</sup> DMIF, Università di Udine, giuliano.klun@uniud.it

*Abstract.* In this paper we shed light on some aspects of the Corrado Bonfanti's book collection held at "I.T.S. Alessandro Volta" in Trieste. We will focus on four books. Two concern quantum mechanics, one relativity and one television. All these texts date back to the first three decades of the twentieth century. The two books on quantum mechanics (written by Antonio Carrelli and Enrico Persico in 1932 and 1936, respectively) show the great advances made in understanding the structure of the atomic nucleus after the discovery of the neutron by James Chadwick in 1932. The book about general relativity is the second Italian edition (from 1922) of a translation of the 1920 text *Das Weltbild der Relativitätstheorie. Allgemeinverständliche Einführung in die Einsteinsche Lehre von Raum und Zeit*. The book provides a fairly complete introduction to the subject and remains accessible to a wide audience. It is one of the first informative works on relativity. The last book is *Televisione, le basi fisiche del radiovedere* by Gaetano Castelfranchi, published by Hoepli in Milan in 1931. This book offers an introduction to the history and the development of the scientific discoveries that made possible the creation of the first apparatus for the transmission of moving images by means of electromagnetic waves. These texts provide a deep insight into the history of physics and its teaching since they were written when the fields they cover were not yet fully developed.

*Keywords.* History of Mathematics, Mathematical tools, I.T.S. Volta, Corrado Bonfanti.

### 1. Introduction

Since 2012 I.T.S. A. Volta of Trieste has hosted the PSIC (Percorsi Storici dell'Informatica e del Calcolo) exhibition, created by Corrado Bonfanti and sponsored by AICA. After the death of professor Bonfanti in 2019, the school inherited his entire calculating devices collection and his book collection. The latter is important as it contains several antique books printed before to 1830, some of which date back to the period from the 16<sup>th</sup> to the 18<sup>th</sup> century, as for example Federico Commandino's translation of Euclid's *Elements* and a copy of the treatise *Analyse des infiniment petits pour l'intelligence des lignes courbes* by the Marquis de l'Hôpital.

The book collection can be divided into several macro-sections. The first one deals with the history and the development of the calculating devices. It is linked to the PSIC exhibition and, more generally, to professor Bonfanti's devices collection. The second part, partially overlapping with the first is dedicated to the history of mathematics. The third section focuses on the history of the most important Italian and international IT companies, such as IBM, HP and Olivetti. Two other sections complete the collection: a large number of programming languages manuals and Hoepli manuals covering a wide range of subjects from mathematics to physics and engineering. Each section is composed of both theoretical and popular works.

I will focus on four books, two on quantum mechanics, one on relativity and one on television, each dating back to the twenties and the thirties of the 20<sup>th</sup> century. For these books give a clear picture of some of the key discoveries in the history of physics.

## 2. History of the I.T.S. Volta

The origins of the Alessandro Volta Technical School can be traced back to the “Staatsgewerbeschule” of Trieste, in turn heir to the “Scuola triestina di disegno”. The latter was founded in 1850 on the initiative of Pasquale Revoltella and Francesco Gossleth with the aim of training a class of skilled workers to be employed in the industries of the region. From the preserved yearbooks we can deduce which courses were activated at the end of the 19<sup>th</sup> century. They were:

- 1) “Scuola superiore di costruzione navale” in 1896/97.
- 2) “Scuola industriale superiore edilizia e meccanica”.
- 3) “Scuola per capi d’arte” divided into sections for painting, sculpture and woodwork.
- 4) “Scuola di ricamo e lavori in merletto”.
- 5) “Scuola domenicale e serale per apprendisti”.

The First World War partially disrupted school activities that were reactivated during 1918-1919 despite the Spanish flu pandemic. Until 1922 the region remained under military administration and then under extraordinary civil administration. During the twenties, the school became part of the Italian Industrial Schools. Therefore the Italian school system was applied. At the end of the decade the school changed its name in “Scuola quadriennale di tirocinio”. Later on, denomination became “Regio Istituto Industriale” and in 1932, “Regio Istituto Tecnico Industriale”. In 1934-35 the structure of courses was reformed with the creation of a two-year general course and a two-year specialisation course with three fields of study namely construction, mechanics and electronics. In the same year the school was dedicated to Alessandro Volta. During the Second World War, the school’s activity was again interrupted, especially during the German occupation.

In 1948 new five-year courses were started, and ten years later a branch of the school was opened in Gorizia. During the sixties, new courses were activated, together with an evening school for surveyors. In 1972 the school moved to its present location in Monte Grappa Street. (AA.VV. 1987; Iona 1996; Caroli 1999)

## 3. Corrado Bonfanti: his life and legacy

Corrado Bonfanti was born in Tripoli (then part of the Italian colony of Libya) in 1940. He graduated in Physics at University of Rome (La Sapienza) and worked for many Italian IT companies such as IBM Italia, Finsiel Group; with Italsiel in Rome, with Insiel in Trieste (where he lived for more than 30 years), and abroad in Bucharest as a General Director of Finsiel-România. During his career he wrote more than 20 articles on the history of calculating tools and of computer science and was invited as a speaker in several seminars on this subject in Italy. He held numerous teaching positions at the Universities of Rome, Milan, Bari, Trieste and Udine.

He was an honorary member of AICA (Associazione Italiana per l’Informatica ed il Calcolo Automatico, namely Italian Association for Computer science and Automatic calculation) since the ’80s and directed the “Gruppo di Lavoro di Storia dell’Informatica” in AICA and the AICA-History of mathematics project. He was a member of the scientific committee of the “Mondo Digitale” (a journal published by AICA) since its foundation. His role in the series of AICA courses on the history of mathematics, which involved twelve universities over three years starting from the academic year 2005-2006, was remarkable. Along his career, he collected more than 300 calculating tools and antiquities related to the history of mathematical instruments. The PSIC exhibition, host at I.T.S. A. Volta, collects only a small part of his collection. The permanent exhibition is divided into several sections, each dedicated to a specific period and/or a particular family of calculating devices.



Fig. 1, left. An integraph.  
 Fig. 1, right. A planimeter.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	MOLT
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	← × 1
0	2	4	6	8	0	2	4	6	8	← × 2
0	3	6	9	2	5	8	1	4	7	← × 3
0	4	8	2	6	0	4	8	2	6	← × 4
0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	← × 5
0	6	2	8	4	0	6	2	8	4	← × 6
0	7	4	1	8	5	2	9	6	3	← × 7
0	8	6	4	2	0	8	6	4	2	← × 8
0	9	8	7	6	5	4	3	2	1	← × 9

DIV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	resto
:2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
:3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
:4	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
:5	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
:6	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
:7	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
:8	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
:9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0

Fig. 2, left. Genaille’s rods for multiplication (reproduction).  
 Fig. 2, right. Genaille’s rods for division (reproduction).



**Fig. 3, left.** Specimens of table abacus tokens, minted by wealthy bankers and merchants of various northern European cities.

**Fig. 3, right.** A Russian abacus (schoty).

Following an almost chronological order, the exhibition traces the evolution of calculating devices from the 17<sup>th</sup> century to the end of the 20<sup>th</sup> century, starting with the abaci and other elementary tools for numerical calculations then moving on to slide rules and other tools for analogical computations. Another part of the collection is devoted to mechanical calculators and electromechanical calculators. Mechanographic systems and punched cards, together with the origins of the desktop PC, form another important part of the exhibition. Attention is focused on newer technologies such as pocket calculators, magnetic core memories, thermionic valves, floppy and hard disks.

It should be noted that the collection also includes some very peculiar calculating devices. For example there is a modern reproduction of the Genaille-Lucas rulers (also known as Genaille's rods) for multiplication and division, and a reproduction of Napier's bones are on display. Other remarkable devices are an integrator, namely a mechanical tool used to trace the integral curve of a given function, and a planimeter, namely a tool used to measure the area of a plane figure with an irregular boundary (See e.g. Fig.1). Parts of his collection of mathematical tools have been displayed in two temporary exhibitions:

- 1) "Numeri e macchine: breve storia degli strumenti di calcolo", held in two successive editions at the University of Udine from 7 to 26 February 2000 and from 6 to 16 March 2001. The exhibition was conceived and designed by Paolo Giangrandi who also edited the catalogue.
- 2) "Per fili e per segni. Ingegno italiano e società dell'informazione". First national exhibition held in Genoa from 10 November to 30 December 2004, promoted by AICA and FIDA Inform (Federazione Nazionale delle Associazioni Professionali di Information Management) devoted to the past and the future of Information and Communication Technology.

#### 4. *La teoria dei quanti*

The first book we will describe is *La teoria dei quanti* by Antonio Carrelli (1900-1980), published in Rome in 1932 by Paolo Cremonese. Antonio Carrelli was an Italian physicist whose main interest was matter physics. The book is part of "Collezione Omnia", a large series of books on subjects ranging from literature to history and physics.



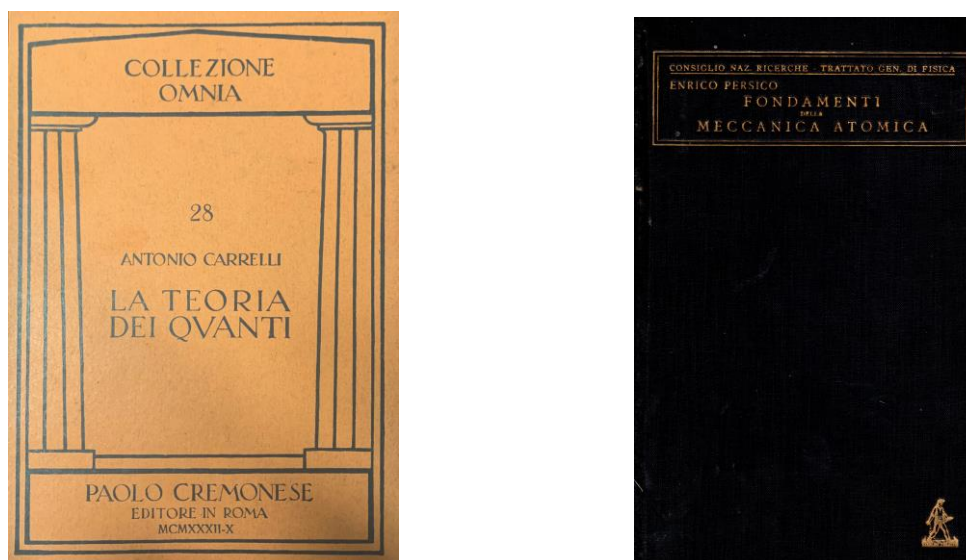
After a brief introduction to matter structure down to the atomic level the author summarises the kinetic theory of gases and the wave theory of light with some references to interference phenomena. Carrelli supports the so-called nuclear electron hypothesis.

He then moves on to the description of the electromagnetic spectrum and in particular to Wien's law and Stefan-Boltzmann's law which underlie the contrasts that arise from the application of the equipartition theorem of classical statistical mechanics to the study of the blackbody emission. Planck's and Bohr's theories are thus presented together with the notion of energy quantum. The orbit quantization postulate, although rather arbitrary, correctly explains the stability of the hydrogen atom. The theory presented here is sometimes called "Old quantum theory". It includes several extensions of the Bohr model, the most famous being the Bohr-Sommerfeld theory, now part of the so-called semi-classical approximation. The first part of the book is concluded by an account on Stern-Gerlach experiment, the photoelectric effect, Compton effect and the Frank-Hertz experiment. The next two chapters present respectively the main criticism and the most recent interpretations of quantum theory. The author recalls the arbitrariness of quantum postulates, emphasizing that the development of the theory relies heavily on an application of classical mechanics in a quantum framework and that the results agree with observations only for the hydrogen atom. Afterwards he presents De Broglie theory (the wave-particle dualism) and the Schrödinger theory, introducing the wave function which explains that the quantized orbits are the only possible solutions to the Schrödinger equation for negative energies. In particular he expounds Born's interpretation of Schrödinger's  $\psi$  function. Finally, Carrelli analyses the consequences of the quantum theory and underlines that, when dealing with quantum mechanics, the motion of a particle cannot be predicated without any uncertainty. The classical example of the observation process for the motion of an electron along a straight line is thus presented. The last part of the book describes the most recent experiments in support of quantum mechanics (the Davisson-Germer and George Paget Thomson experiments), together with some physical and chemical phenomena that can only be explained by quantum mechanics, and ends with some open problems. This text is very technical, especially in the last parts. A good knowledge of quantum mechanics, at least at an introductory level, is required to fully understand it.

### **5. *Fondamenti della meccanica atomica***

The second book here presented is the first edition of the treatise on atomic physics by Enrico Persico (1900-1969), published by CNR in 1936. This text expounds the most recent developments in atomic and nuclear physics. The book is the first Italian handbook in this field and was used in Italian universities for decades. It is divided into three parts.

In the first part (consisting of four chapters), the author gives an introduction to matter structure describing the most important experiments (from Rutherford's experiment to Chadwick's discovery of the neutron) and then moves on to the theory of light quanta giving a detailed account of the experiments that demonstrate the impossibility of a purely undulatory or purely corpuscular theory of light. Therefore, the photoelectric effect, the Compton effect and the experiments of Taylor, Dempster and Batho are explained. The exposition continues with a complete discussion of atomic spectra and their interpretation in the light of the Bohr's quantization principle. A complete account of the experiment supporting the theory is given, going into detail of the anomalous Zeeman effect and the Ramsauer effect, both of which require a quantum explanation. The first part ends with an introduction to the Heisenberg matrix method, where the notion of "observable" is central. Here, the De Broglie theory (wave – particle dualism) is presented and the main experiments on diffraction patterns for electrons are described. Persico concludes this part underlining that in quantum mechanics, physical concepts need to be defined in an operational way.



**Fig. 4, left.** Antonio Carrelli's book *La teoria dei quanti*.

**Fig. 4, right.** Enrico Persico's book *Fondamenti della meccanica atomica*.

The second part describes the wave mechanics of a particle. Persico starts with the theory of linear second order differential equations and Fourier series. The attention of the author then shifts to the probabilistic approach for problems at atomic scale. From this point of view the superposition principle and the uncertainty principle for both photons and massive particles are derived together with the Schrödinger equation. The results developed in the first chapters of the second part are then applied to the study of the one-dimensional problems for the particle motion derived from the application of Schrödinger equation (free particle, step potential and confined particle problems). The last chapters of the second part are focused on a discussion of the Bohr-Sommerfeld model and of various methods to find approximate solutions to the Schrödinger equation.

The third part of the book begins with the mathematical tools to study quantum mechanics, such as Hilbert spaces, the algebra of linear operators and their matrix representation, and an introduction to the Dirac delta function. The discussion then shifts to the notion of “observable” and to the compatibility criterion. Matrix methods and their application to perturbation theory are also discussed. Electron spin, fine structure for spectral lines, and the nature of antimatter complete the exposition.

The book presents the state of the art of the subject at the time and describes all the most important experiments that marked the development of quantum mechanics from its origins until to the mid-1930s. The book is complete and modern in its exposition, although the main interest lies in the complete account of the main experiments that mark the development of quantum mechanics.

## 6. *La prima conoscenza della Relatività dell'Einstein alla portata di tutti*

This book by Harry Schmidt (1894-1951) was published in Italy in 1922 by Hoepli. It is the second Italian edition of an Italian translation of the 1920 text *Das Weltbild der Relativitätstheorie. Allgemeinverständliche Einführung in die Einsteinsche Lehre von Raum und Zeit* also translated into English in 1921 under the title *Relativity and the universe. A popular introduction to Einstein's theory of space and time*, published by Methuen in London.

After a brief introduction to the life of Albert Einstein, the first four chapters present an introduction to the history of physics from its origins to the beginning of the 20<sup>th</sup> century. The author recalls some of the most important experiments in the history of physics such as the Cavendish experiment and the Foucault pendulum experiment. With regard of to the atomic structure the author presents a description

consistent with the nuclear electron hypotheses. This part of the book is concluded by a discussion of the Galilean relativity principle.

The next part of the book deals with the propagation of light in vacuum. Starting from the fact that a mechanical wave needs a medium to propagate, the author analyses the origin of the ether hypothesis and the problems that arise from its existence. The exposition continues with a detailed account of the Michelson–Morely experiment of 1879 and its interpretation by Lorentz who postulates a contraction of any object in the direction of motion. The author then introduces the postulates of relativity namely the constancy of light speed and the invariance of physical laws under uniform rectilinear motion. The following chapters analyse the notion of simultaneity and the operativity of the measurement process, as well as the structure of space. To explain the deformation of space-time, the author introduces non-Euclidean geometries presenting a model of hyperbolic geometry taken from *La science et l'hypothèse* by Poincaré: the classical conformal disk model.

The last part of the book begins with an introduction of the general relativity principle and its comparison with the special relativity principle, in particular as regards to the influence of gravitational fields. Indeed, massive objects induce a deformation of spacetime that must be taken into account when calculating the motion of both particles and photons. The main phenomena in support of relativity theory were recalled (the perihelion precession of Mercury, light deflection by gravity and gravitational redshift of light). A summary of relativity theory and a small notice on the figure of Johann von Soldner who was the first to hypothesise deflection of light by massive objects such as the Sun, completes the book.

This work is accessible although the total absence of formulae makes the reading complicated.

### **7. Television: Le basi fisiche del “radiovedere”**

*Televisione, le basi fisiche del “radiovedere”* by Gaetano Castelfranchi (1892-1965), was published by Hoepli in Milan in 1931. The author wrote many books about physics and engineering. This text offers a complete introduction to the history and the development of the technology necessary for the transmission of moving images by means of electromagnetic waves. The title of the book itself can be translated into English as *Television: physical basis of “radio-seeing”*.

The first two chapters describe the state of the art on the television transmitting techniques (in 1931) with particular attention to the most advanced country (the United States), and a complete account on the pioneering studies by Marconi, Fessenden, Vanni and many others. Generation and propagation of electromagnetic waves is discussed, focusing in particular on the properties of each part of the electromagnetic spectrum. The functioning of transmitting and receiving parts (namely antennas and microphones) is explored in details.

The next two chapters describe selenium and photoelectric cells respectively. Here the author provides a complete history of the studies on the use of selenium cells to transmit images. He also explains how the development of photoelectric cell studies is linked to several important experiments in the history of physics (such as the mass-charge ratio for the electron and, of course the photoelectric effect). The internal structure of several specific cells is also examined in detail.

Chapter five address various methods of transmitting static images, namely the phototelegraphy. Several devices are described, from the older ones to the most recent. Each description is accompanied by the corresponding electric diagram. The next two chapters deal with the Nipkow’s disk and with the history of pioneers of the “true television”. The author uses this expression to indicate an instrument that is able to produce moving images. The works of Szczepanik, Rosing (who invented the cathode ray tube), Mihaly and many others are described.

In the following chapters, the author describes the most common techniques used for image exploration and signal modulation, with a careful analysis of the maximum resolution achievable with the various techniques. A major problem is highlighted: the maximum resolution also depends on the

bandwidth available on each transmitting channel. To improve signal propagation TV stations operate (with rare exceptions in the LW or lower SW bands) mainly in the medium wave band and therefore are subject to the same limitations of radio stations (namely the 9 kHz bandwidth). This section is concluded by a description of the main devices used to convert electrical signals into light.

The last part of the book begins with a portrait of the inventor of television, John Baird, and then shifts to the description of the most recent developments in the transmission of moving pictures. The problem of synchronisation between transmitting and receiving stations is analysed, together with amplification techniques. The book then ends with a brief description of the most recent developments, namely colour television and even stereoscopic television.

The book is particularly interesting because it gives a complete account of the development of television at the very beginning of the 1930s. Although it is rather technical, it provides a complete series of illustrations, which are very helpful for comprehension.



**Fig. 5, left.** Harry Schmidt's book *La prima conoscenza della Relatività dell'Einstein alla portata di tutti*.  
**Fig. 5, right.** Gaetano Castelfranchi's book *Televisione, le basi fisiche del "radiovedere"*.

## Bibliography

- AA.VV. (1987). *Istituto tecnico industriale statale Alessandro Volta. Una scuola triestina per la cultura Europea 1887–1987*. Trieste: Italo Svevo.
- Caroli, A. (1999). *Poli Museali: I.T. Nautico Tomaso di Savoia, I.T.I. A. Volta di Trieste*. Vol. I. Trieste: Tipografia Adriatica.
- Carrelli, A. (1932). *La teoria dei quanti*. Roma: Paolo Cremonese.
- Castelfranchi, G. (1931). *Televisione, le basi fisiche del "radiovedere"*. Milano: Hoepli.
- Iona, M.L. (1996). "Una scuola peculiare per Trieste: dalla "Gewerbeschule" all'Istituto Volta". *Atti del convegno "La lavagna nera. Le fonti per la storia dell'istruzione nel Friuli-Venezia Giulia"*, Trieste-Udine, 24-25 novembre 1995. [Trieste: Stella], pp. 113-121.
- Persico, E. (1936). *Fondamenti della meccanica atomica*. Bologna: Zanichelli.
- Schmidt, H. (1922). *La prima conoscenza della Relatività dell'Einstein alla portata di tutti*. Milano: Hoepli.



# The Role of History of Science in Enhancing Physics and Chemistry Education

María-Gabriela Lorenzo<sup>1</sup>, Teresa Quintero<sup>2</sup>, Andrea Soledad Farré<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Buenos Aires. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina, [glorenzo@ffyb.uba.ar](mailto:glorenzo@ffyb.uba.ar)

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Río Cuarto, Facultad de Ciencias Exactas, Fco-Qcas y Naturales, Argentina, [tquintero@exa.unrc.edu.ar](mailto:tquintero@exa.unrc.edu.ar)

<sup>3</sup> Universidad Nacional de Río Negro, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina, [asfarre@unrn.edu.ar](mailto:asfarre@unrn.edu.ar)

*Abstract:* Contemporary education research underscores the significance of integrating historical insights into university-level Physics and Chemistry instruction. Traditional pedagogical approaches, rooted in a static 20th-century view of science, are being challenged. This study explores the dynamic nature of scientific knowledge by investigating the historical evolution of key concepts in these disciplines. By understanding the parallelism between historical knowledge construction and students' own learning experiences, it aims to address their learning challenges. Emphasising metascientific knowledge and the dynamic character of science, the findings advocate for the incorporation of historical perspectives to enrich comprehension and improve educational practices in these fields. Future research in this area holds the potential to further enhance science education at the university level.

*Keywords:* Scientific Knowledge, External Representations Development, Thermodynamics.

## 1. Introduction

The teaching of Physics and Chemistry at the university level has traditionally been presented as a static and definitive view of science that was established in the early 20th century.

Within the realm of modern science education, a resounding emphasis resonates on the intrinsic worth of historical insights and the metascientific knowledge, serving as the bedrock for the enhancement of pedagogical approaches.

Exploring the evolution of taught concepts reveals the dynamic nature of knowledge creation and its profound impact on the challenges encountered in student learning. This study delves into this phenomenon by conducting a meticulous documentary analysis within two distinct research areas. The first area scrutinises the historical development of some aspects of Organic Chemistry, focusing specifically on the evolution of the benzene structure and resonance concept. In the second case, it explores into the historiography of thermodynamics laws in order to trace the foundational influence of eminent scientists as Planck and Fermi. These figures marked the inception of thermodynamics instruction in classical textbooks and their work continues to endure as essential study materials in Physics classrooms.

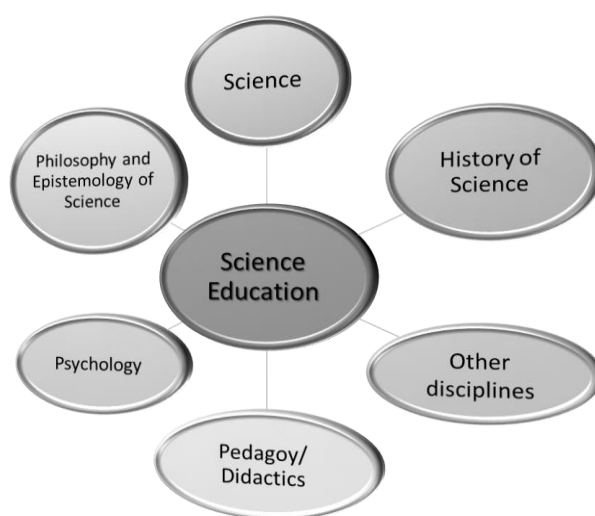
This paper recovers the outcomes obtained in the framework of two postgraduate studies (Farré 2013, Quintero 2021) which underscore the pivotal importance of integrating historical perspectives in university-level Physics and Chemistry education. By doing so, students' comprehension will be enriched, providing them with a broader context for the concepts they must study, and effectively addressing the learning obstacles they may encounter along their educational journey.

This work aims to examine the role of the history of science to emphasise the importance of merging historical perspectives into Physics and Chemistry education at the university level. By reviewing the historical evolution of taught concepts, we gain insight into the dynamic nature of scientific knowledge construction and its implications for student learning. Simultaneously, it provides an opportunity to understand some of the learning difficulties that students face due to a certain parallelism between historical construction of scientific knowledge and personal construction of scientific knowledge by individuals (Farré & Lorenzo 2012).

## 2. Contribution of History of Science to rethink Science Teaching

Science education involves the systematic dissemination of scientific knowledge, principles, and methodologies within planned frameworks at formal educational levels and informal contexts, such as museums and science clubs. It encompasses various disciplines, including Physics, Chemistry, Biology, and Earth Sciences, with the goal of instilling a comprehensive understanding of scientific concepts and fostering analytical thinking. The overarching objective is to cultivate a scientifically literate populace capable of contributing to advancements in research, technology, and innovation, thereby playing a pivotal role in societal progress and addressing complex global challenges. Given its substantial societal implications, scientific research in science education has emerged as an indispensable field of study.

In this manner, Science Education constitutes an expansive domain of knowledge that has undergone significant development since the latter half of the twentieth century. It incorporates contributions from a myriad of specific disciplines, as illustrated in Fig. 1, forming a metascientific realm of knowledge.



**Fig. 1.** Disciplines related to Science Education (figure created by the authors).

Particularly, the history of science serves as a source of understanding about the origin of crucial concepts, events, political influences, controversies, among other aspects. Moreover, history contributes to recognizing science as a collection of human and social activities with a dynamic nature, offering significant insights for teaching and learning processes. To achieve this perspective, the history of science should be presented with a contextualised vision that avoids reinforcing common sense stereotypes.

A valuable source of historical occurrences lies within the disciplinary textbooks used in classrooms.

However, traditional manuals often accentuate a Whig historiography. Hence, it is crucial to establish some criteria for scrutinising the historical aspects within textbooks collaboratively with teachers to facilitate enhanced and enriched instruction.

In university practice, textbooks are frequently regarded as supporting independent learning. Consequently, engaging with a science textbook implies possessing sufficient knowledge to comprehend the significance of new semantic categories and various modes of presentation.

Our research, conducted through the examination of particular textbooks on the presentation, description, and explanation of some specific scientific topics over a certain period identified key points for collaboration with science teachers in a progressive reformulation of their educational practices, considering the incorporation of historical events. Among the indicators that enable an analysis of the portrayal of science in textbooks are the inclusion of historical references, allusions to scientific research, the modes of validating knowledge presented, the stated purpose of science, and the type of language employed.

The following paragraphs seek to delineate two distinctive case studies concerning scientific textbooks, shedding light on the consequential impact of historical perspectives as strategic tools to enhance science education. In examining specific scientific textbooks, we delve into the historical underpinnings embedded within them. Scrutinising the integration of historical perspectives in these cases, we aim to showcase how a nuanced consideration of historical contexts contributes to the pedagogical richness of the educational material. These instances serve as illustrative examples, demonstrating the potential of historical perspectives to enhance the educational experience.

### ***2.1 History beneath science textbooks: The Benzene' case***

In the particular case of Organic Chemistry, the first textbook that played a relevant role in teaching this discipline was the one published by Armstrong in 1874. It treated each family of compounds by describing some particular substances in-depth, and it didn't differentiate compounds into aliphatic or aromatic families. Otherwise, the book by Perkin Jr. and Kipping, published ten years later, distinguished both compounds' series. It included first the aliphatic compounds and later the aromatic ones (Wheeler & Wheeler 1982). Nowadays, textbooks follow the Armstrong tradition without differentiating the aliphatic and aromatic series. In particular, we can find the topic of aromatic compounds in the middle of the book, before the treatment of the topic of carbonyl compounds. The chapters corresponding to aromatic compounds include approximately twice as many reactions as complete mechanisms, and the problems and exercises focus on reaction product predictions, followed by those on synthesis pathways (Houseknecht 2010).

As Niaz (2005) indicated, almost twenty years ago, Chemistry textbooks used a "rhetoric of conclusions". Generally, they present knowledge as it is definitive, without explanation of the scientific endeavour. However, textbooks usually present benzene and aromatic compounds studies using a brief historical introduction. Likewise, the importance given to historical aspects varied according to the textbooks and their year of edition (Farré & Lorenzo 2010, Lorenzo & Farré 2014). Among eighteen books published between 1920 and 2008 which are detailed in Table. 1, we found that only four presented a too-brief version of the history. Contrarily, textbooks by Fieser & Fieser, in both the 1948 and 1966 editions, presented a chapter specifically dedicated to treating the topic. Therefore, most of the authors narrated past events to contextualise the topic, meanwhile Fieser & Fieser used history as a rhetorical and argumentative instrument.

Generally, a historical narrative communicates the elucidation process of the actual benzene structure. That could be auspicious, although it should be analysed the historical narrative used (Chamizo 2007, de Rezende & Silva 2007):

- Diachronic history: This narrative implies a contextualised vision of science, which considers at

the same time the temporal-spatial, social, political and cultural dimensions. It tells the past from the past.

- Whig or anachronic history: It is the opposite case; the narrative imposes the patterns of the present on the past. It appears as if current scientific knowledge evaluates the science of past times. Also, this type of narrative shows a linear cumulative continuity of scientific knowledge, which speaks of an advance of science in positivist terms.
- Recurrent history: To reach a complete version of past events is an unrealizable ideal because the judgments of historical actors are inaccessible. Therefore, an intermediate way to deal with this limitation is this type of narrative. It reveals how concepts emerge from each other through a sequence of corrections or rectifications. When a new concept appears, it introduces a reorganisation of the field of study and an evaluation of previous knowledge.
- Pseudo-history: This is a common-sense history. In this narrative, events are oversimplified or distorted. Also, common stereotypes about science and scientific work are reinforced. Examples of this situation are exaggeration of scientific discoveries' drama, selection of some facts and protagonists and not others, and representation of some scientists as "heroes". Furthermore, in this narrative style, current ideas and theories appear as they are inevitable, constituting an "objective truth" achieved through "the scientific method".

**Table 1:** Textbooks reviewed

Year of Spanish edition	Author(s)	Editor/ Publisher	Printing location	Analysed pages
1920	Holleman, A.	Marín	Barcelona	336-342
1942	Holleman, A. & Richter, F.	Marín	Barcelona	413-420
1943	Schlenk, W.	Ediciones Morata	Madrid	Vol. II, 1-7
1945	Karrer, P.	Marín	Barcelona	428-437
1948	Fieser, L. & Fieser, M.	Atlante	México	513-524
1960	Klages, F.	Editorial Reverté	Barcelona	Vol. I, 125-129
1966	Fieser, L. & Fieser, M.	Ediciones Grijalbo	Barcelona	1105-1123
1969	Brewster, R. & McEwen, W.	Médico-Quirúrgica	Buenos Aires	539-547, 573-574
1976	Allinger, N., Cava, M., De Jongh, D., Johnson, C., Lebel, N. & Stevens, C.	Reverté	Buenos Aires	317-345, 488-492
1985	Morrison, R. & Boyd, R.	Fondo Educativo Interamericano	México	574-591
1994	Mc Murry, J.	Grupo Editorial Iberoamérica	México	499-526
1999	Carey, F.	McGraw Hill	Madrid	370-405
2000	Fox, M. A. & Whitesell, J.	Pearson Education	México	64-71
2004	Mc Murry, J.	Thomson	México	498-507
2004			Madrid	679-694
2006	Carey, F.	McGraw Hill	México	432-472
2008	Mc Murry, J.	Cenage Learning Editores S.A.	México	516-538
2008	Bruice, P. Y.	Pearson Educación	México	287-311, 640-651

The historical narrative staged in the textbooks changed over the years. Books' authors included passages that evaluate, judge and reinterpret past events in the historical accounts presented in the textbooks, as is shown in the subsequent cites (translation is ours):

Not all early deductions were so sure and some even turned out to be wrong (Fieser & Fieser 1948, p. 517).

Kekulé suggested (incorrectly) that there was a rapid equilibrium interconverting the two isomers of 1,2-dichlorobenzene (Wade 2004, p. 679).

However, in all cases, the authors described the problem of structural elucidation of benzene as a challenge that chemists had to face. This situation was evident in the first six texts (published between 1920 and 1960). In the pages of these books and three others published until 1976, it was possible to read how some hypotheses arose and the reason for refuting them. In addition, from reading Allinger et al. book, we could infer that the interpretation of the same experimental data can vary, and scientists can propose different hypotheses or models from the same data. So, the oldest books (except Klages 1960) presented a recurrent historical narrative. Its narrative allowed us to see how some concepts emerge from others and the rectifications and corrections that occur in the development of science.

From Brewster & McEwen (1969) onwards, elements of pseudo-history began to predominate, such as the simplification or distortion of some events. This pseudo-history narrative was notable in the Morrison & Boyd (1985) textbook.

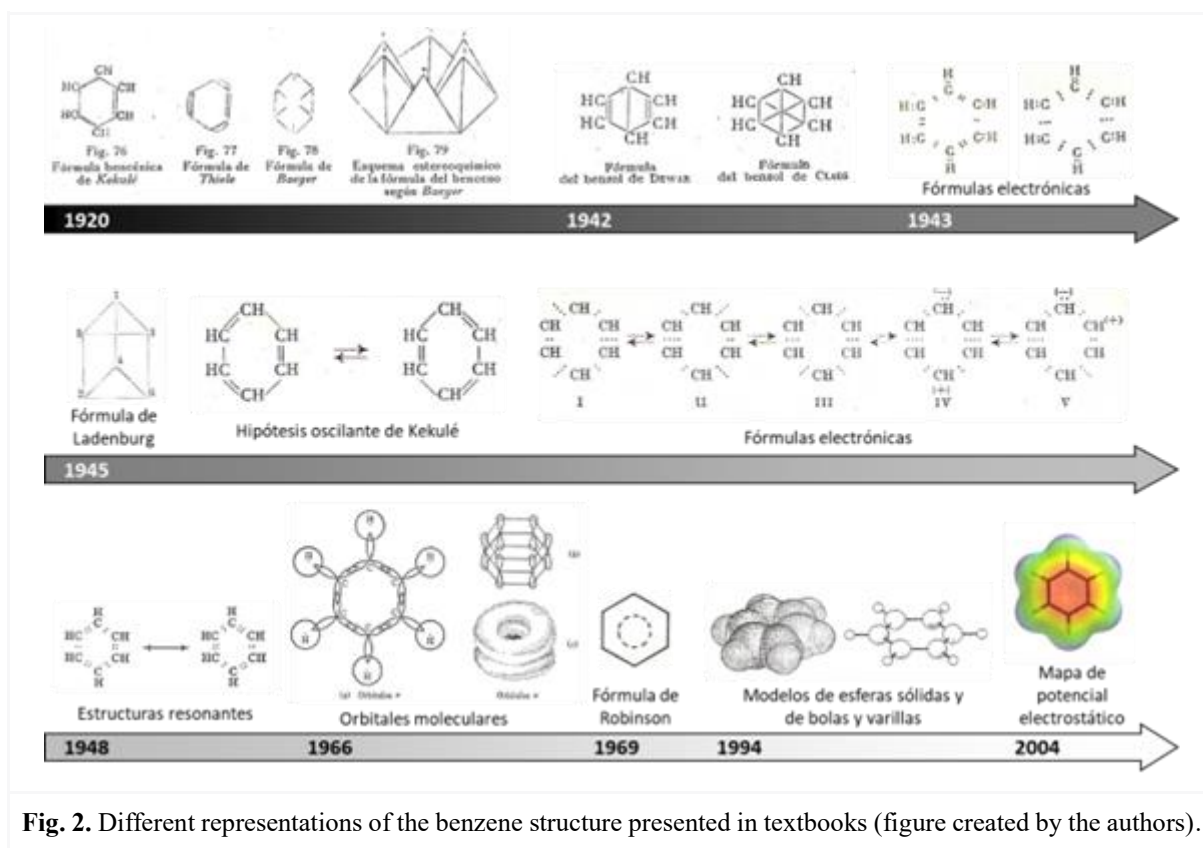
On the other hand, some believe that Kekulé intuitively anticipated our modern concept of delocalised electrons by some 75 years [...] (Morrison & Boyd 1985, p. 577).

Another example was that Kekulé's oscillating hypothesis was put forward in 1865 instead of 1872. Furthermore, in its pages, Thiele was attributed the formula that had been put forward by Robinson. In the same way, Bruice explicitly stated that:

In 1865, the German chemist Kekulé suggested a way to resolve this dilemma. He proposed that benzene is not a single compound but rather a mixture of two compounds in rapid equilibrium (Bruice 2008, p. 289).

Then, starting with McMurry (1994), textbooks presented elements of Whig historiography, in which a linear advancement of science predominates. As an example of the latter, we can point out the exclusion of the ozonolysis experiments of *o*-xylene. In this way, authors selected information when constructing the historical account to avoid controversies and prioritise an image vision of science that advances linearly and inexorably towards the truth.

A special mention should be made of the included formulas in the different textbooks. In general, they were consistent with the importance given to historical narrative. Likewise, there was a logical dependence on the development of the topic at the time of publication of the book. Therefore, in the oldest books, the representations of benzene were closer to the empirical developments of the time and, consequently, have a hypothetical character. In later texts, the formulas fundamentally were part of the story and presented consensual knowledge. The latter was fundamentally evident from 1966 onwards, when authors used multiple representations to account for the structure of benzene (Fig. 2).



## 2.2 The case of the Thermodynamics

This section highlights the significant influence of eminent scientists as architects of the mode of comprehension through the integration of scientific research and its adaptation to textbooks for instructional purposes.

The case under consideration pertains to the subject of thermodynamics, given its paramount importance in comprehending phenomena in Physics and Chemistry. Simultaneously, it poses numerous challenges for teaching and, more significantly, for learning. Thermodynamics is a branch of science dedicated to the macroscopic realm and foundational concepts of Physics, encompassing energy. These principles enable the explanation and prediction of a wide array of phenomena. This understanding is crucial for comprehending unification processes, as it unveils connections between seemingly unrelated fields. Moreover, it is indispensable for analysing socio-scientific issues related to the use of natural resources and the impact on both the environment and society (Doménech *et al.* 2007).

Furthermore, thermodynamics plays a central role in the production, conservation, and transfer of all forms of energy, extending beyond chemical reactions. Consequently, it is imperative for aspiring science professionals to grasp its principles, given their relevance to pressing global issues of our time, including the energy crisis, pollution, and global warming. The laws of thermodynamics are fundamental when considering alternative forms of energy and the efficiency of their conversion processes.

Max Planck and Enrico Fermi established seminal works in formulating thermodynamic laws, marking the inception of thermodynamics education. These foundational contributions persist as essential study materials for this crucial topic in Physics and Chemistry, retaining their relevance to the present day. Classical thermodynamics examines phenomena in systems from a macroscopic perspective, with physical properties such as temperature or pressure being observable and measurable factors. These relationships form the cornerstone of thermodynamics, known as its fundamental laws. They include the Zero Law – also named as the Zeroth Principle or Thermodynamic Equilibrium – the

First Law – which involves the Conservation of Energy Principle – the Second and the Third Law. These distinguished physicists were the authors of the first textbooks for teaching on thermodynamics, and those texts continue to serve as fundamental references in university education. Table 2 presents the initial two textbooks on thermodynamics, which were the subjects of the documentary analysis in this study.

**Table 2:** Textbooks considered

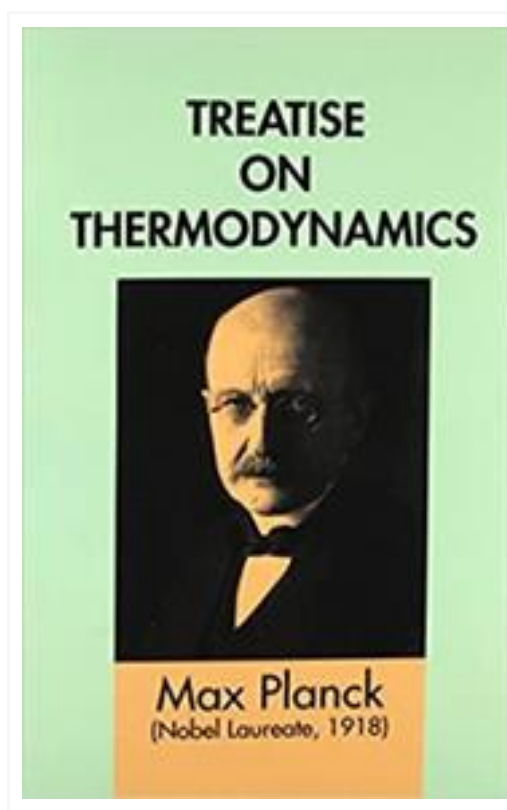
Year edition	Author(s)	Title of the book	Printing location: Editor/ Publisher
1897	Max Planck	Wärmelehre	Leipzig: Verlag Von Veit & Comp (German)
1903		Treatise on Thermodynamics	London: Longmans, Green, And Co (English).
1945			New York: Dover publications, (English, analyzed version).
1936	Enrico Fermi	Thermodynamics	New York: Prentice-Hall (English)
1985		Termodinámica	Buenos Aires: EUDEBA (Spanish, analysed version)

Max Planck’s German book on thermodynamics is titled “Wärmelehre”, translating to “Theory of Heat” or “Treatise on Thermodynamics” in English. In Spanish it is known as “Tratado de Termodinámica”. Planck’s work is widely recognized as a seminal publication in the instruction of thermodynamics. This piece signifies a pivotal moment in the evolution of thermodynamics education and is invaluable for those interested in its development. In the preface to the original 1897 edition, the author acknowledges frequent requests to summarise their work on thermodynamics, rendering this text particularly significant. Planck meticulously revised all the material in his notes, providing detailed and clear evidence to augment the concise descriptions. His objective was to present thermodynamics consistently in a textbook that also serves as a lucid introduction to the subject for students. It’s worth noting that Rudolf Clausius had previously adapted his renowned work “Die Mechanische Wärmetheorie” (1876) as a textbook.

There are three approaches to presenting thermodynamics. Firstly, the kinetic theory of heat, pioneered by Joule, Clausius, and Maxwell and significantly expanded by Boltzmann, offers a comprehensive exploration of heat movement. Secondly, the Helmholtz method relies on general assumptions about the mechanical motion of heat. Finally, a third method, not explored in this text, is favoured by Planck. He advocates for an inductive representation that references the mechanical nature of heat while commencing with simple empirical facts. These include the foundational principles of thermodynamics, from which a multitude of statements about Physics and Chemistry phenomena can be derived. The book initiates with a discussion on empirical evidence concerning heat transfer among bodies attempting to achieve equilibrium. The author provides a structured analysis, demonstrating that the feature of thermal equilibrium in bodies is transitive, and employs this to introduce the notion of temperature.

The second crucial term is the quantity of heat, evident from empirical observations. When bodies of different materials, but with the same temperature, come into contact with a reference body, they

induce varying temperature fluctuations in this body. Temperature and heat quantity, along with the mechanical properties of bodies, constitute the conceptual foundation of Planck's heat theory. The final section of the book explores the practical applications of the theory, considering homogeneous systems, systems with varying aggregate states, gaseous systems, and dilute solutions. Lastly, Nernst's theorem is discussed, providing absolute values for entropies. Planck's book presents the theory in an easily understandable and concise manner, offering verbal explanations that connect the background and context of the developed theory with physical phenomena. The cover of Planck's book, distributed by Dover Publications, is depicted in Fig. 3.



**Fig. 3:** The Cover Page of 'Treatise on Thermodynamics' Published by Dover (Source: Dover, 1945).

The preface of Fermi's *Thermodynamics* reveals that it was compiled from notes taken during a course taught by Enrico Fermi at Columbia University in New York during the summer of 1936. Fermi presents it as an introductory treatise on thermodynamics, with some references to statistical thermodynamics anticipated. In comparison to the worldview of pure classical thermodynamics, the perspective established by statistical thermodynamics differs significantly. It involves the transition from macroscopic variables to a viewpoint that considers variables related to the average of quantities associated with a vast number of particles. This shift is from a deterministic perspective to one that encompasses a statistical viewpoint, where probabilities become apparent. It is assumed that the reader is acquainted with the basic principles of thermometry and calorimetry to adequately comprehend the subject matter. The author provides minimal contextual information, only indicating the university and date of the lecture, and expresses gratitude to Dr. Lloyd Motz, a professor at the institution who reviewed the manuscript and provided notes.

In the introduction to Fermi's text, the author defines thermodynamics as the study of the



transformation between heat and mechanical work, and vice versa, a crucial concept to bear in mind in the context of this 1936 course. It is noteworthy that physicists had only recently established that heat is a form of energy convertible into other forms. Previously, scientists conceived of heat as an immaterial fluid that remained unchanged, with heating considered the transfer of this fluid between bodies. The author explores two distinct theories that held a place in the history of Physics. This topic is intriguing as Physics textbooks often present fundamental concepts as facts without acknowledging superseded theories or alternative explanations from other historical periods.

The author underscores the importance of acknowledging the contributions of French engineer Sadi Carnot (1796-1832), who, employing the theory of caloric fluid, successfully elucidated the constraints of transforming heat into work in 1824, commonly known as the Second Law of Thermodynamics, as previously mentioned. Fermi anticipates addressing this topic in Chapter III. Regarding the author's observation, it is noteworthy how a fluid perspective on heat allowed for an explanation of the limitations in transforming it into mechanical work, despite this being considered inadequate from our present understanding. Furthermore, Fermi notes that R. J. Mayer, in 1842 (as used by the author), discovered the equivalence between heat and mechanical work and formulated the principle of conservation of energy, the first law of thermodynamics.

Fermi further states that in his day, the explanation for the equivalence between heat and dynamic energy had to be interpreted kinetically, reducing thermal phenomena to the disordered movements of atoms and molecules, and considering the study of heat as a specific branch of mechanics. At this juncture, the model of particles is introduced explicitly. In the mechanics of such a massive collection of particles, the intricacies of their individual states and movements become insignificant. Only the average properties of a large number of particles should be considered. This leads to a submicroscopic understanding of the world, with a focus on atomic and molecular kinetics that is associated with statistics. This leads to a submicroscopic understanding of the world, with a focus on atomic and molecular kinetics that is associated with statistics. It is worth noting that, although it states an intention to address pure thermodynamics, there are references to atomic-molecular and statistical models.

Fermi highlights that the approach in pure thermodynamics differs significantly; the fundamental laws are taken as postulates based on experimental evidence, from which conclusions are drawn without considering the kinetic perspective of phenomena. Additionally, it is advantageous because it is independent of the simplified assumptions used in statistical mechanics, resulting in extremely accurate conclusions in pure thermodynamics. Although, according to him, obtaining results without being able to see the processes can sometimes be unsatisfactory, which is why he proposes supplementing the results of thermodynamics with an approximate kinetic interpretation. Furthermore, it is noted that while the first and second laws have their statistical basis in classical mechanics, the third law, introduced by Nernst, can only be interpreted statistically in terms of quantum mechanics. It is anticipated that the third law will be addressed in the final chapter. From the reading of the last paragraphs of the Introduction, it is possible to glean the experimentalist approach the author will adopt to present the theory.

On the other hand, Thermodynamics is a complex field that incorporates a range of abstract concepts. These concepts are organised in various external systems of representation, such as mathematical notations, physical equations and graphs, and are expressed in a specialised technical vocabulary. Thus, the subject can prove challenging. Thermodynamic knowledge, with its own specialised language and a wide array of fundamental concepts, including energy, heat, temperature, enthalpy, entropy, state functions, and thermodynamic potentials, among others, significantly contributes to the comprehension of various natural phenomena (Bain *et al.* 2014, Baran & Sozibilir 2018, Tarsitani & Vicentini 1996).

### 3. Final reflections

The analyses conducted on the Chemistry textbooks at the university level revealed that earlier textbooks commonly featured a historical introduction at the commencement of each new topic. However, during the 1980s, these introductions were omitted, only to be reintroduced after the year 2000.

Concurrently, in university texts within disciplines such as Pharmacology, Pharmacognosy, and Immunology, older textbooks exhibited more historical references compared to contemporary ones. Despite this, one might speculate that these university-level textbooks would follow a trajectory similar to that observed in secondary level textbooks, with historical aspects potentially being reincorporated into topic-specific explanations.

In concluding our exploration, we underscore that textbooks, often concealing more than evident to novice readers, necessitate a recursive reading strategy to unveil their profound content. This approach serves as a crucial tool for those seeking to delve deeper into the complexities of the text.

Our research highlights the importance of studying historical developments across various texts within a specific timeframe. This method proves instrumental in understanding how ideas metamorphose into established scientific facts, thereby providing profound insights into the trajectory of scientific progress.

Contrary to conventional histories of science, our focus transcends mere historical investigation. Instead, we concentrate on the intersection of science and education, demonstrating how historical contexts enrich educational practices. We advocate for a renewed emphasis on the act of reading textbooks as a strategic tool for the ongoing professional development of in-service teachers.

Aligned with the contemporary demand for scientific research to be both transferable and transformative, we contend that science education cannot exist in isolation. Our pedagogical approach seeks to bring about transformation within the classroom by actively engaging with the teaching process. Our aspiration is to cultivate teachers as critical and reflective professionals, empowering them to grapple with the outcomes and inquiries arising from educational research. In this way, our work contributes to the broader endeavour of nurturing educators who possess not only a deep understanding of their subject matter but also the capacity to navigate the evolving landscape of science education in our dynamic society.

This has not been an exploration of the history of science, but rather an inquiry into how education can be significantly enriched by its historical dimensions.

### Acknowledgments

This work was carried out as part of the following project grants: PIP CONICET 11220210100203CO, UBACYT N° 20020170100448BA and PICT 2021-0295.

### Bibliography

- Bain, K. *et al.* (2014). "A review of research on the teaching and learning of thermodynamics at the university level", *Chemistry Education Research and Practice*, 15, pp. 320-335. doi: 10.1039/C4RP00011K
- Baran, M. & Sozbilir, M. (2018). "An Application of Context- and Problem-Based Learning (C-PBL) into Teaching Thermodynamics", *Research in Science Education*, 48, pp. 663-689, doi: 10.1007/s11165-016-9583-1
- Chamizo, J. A. (2007). "Teaching Modern Chemistry through 'Recurrent Historical Teaching Models'", *Science & Education*, 16(2), pp. 197-216. doi: 10.1007/s11191-005-4784-4
- de Rezende, C. & Silva, C.C. (2007). "History and nature of science in Brazilian Physics textbooks: some findings and perspectives", *Ninth International History & Philosophy of Science Teaching*

- Group Conference*, pp. 24-28. Available at: <http://www.ucalgary.ca/ihpst07/proceedings/IHPST07%20papers/2122%20Silva.pdf> (Accessed: 26 August 2024).
- Doménech, J. *et al.* (2007). “Teaching of energy issues: A debate proposal for a global reorientation”, *Science & Education*, 16, pp. 43-64, doi: 10.1007/s11191-005-5036-3
- Farré, A. & Lorenzo, M. (2012). “De la construcción del conocimiento científico a su enseñanza. Distintas explicaciones sobre la estructura del benceno”, *Educación Química*, Número Monográfico, pp. 1-9. doi: 10.1016/S0187-893X(17)30154-4
- Farré, A. & Lorenzo, M. G. (2010). “Aportes de la historia, la epistemología y la filosofía en los libros de texto universitarios de química orgánica. Un estudio sobre el benceno”, in de Andrade, M. *et al.* (eds) *Filosofia e História da Ciência no Cone Sul*. Campinas: AFHIC, pp. 110-119.
- Farré, A.S. & Lorenzo, M.G. (2013). “Evolución de la naturaleza de la ciencia en los libros de texto de Química Orgánica de nivel superior”, *Enseñanza de las Ciencias N° especial*, pp. 1181-1187. Available at: [http://congres.manners.es/congres\\_ciencia/gestio/creacioCD/cd/articulos/art\\_376.pdf](http://congres.manners.es/congres_ciencia/gestio/creacioCD/cd/articulos/art_376.pdf) (Accessed: 30 June 2024).
- Farré, A.S. & Lorenzo, M. G. (2018). “¿Cómo elegir un libro de texto para nuestras clases teniendo en cuenta la naturaleza de la ciencia?”, in Lorenzo, M.G., Ortolani, A. & Odetti, H.S. (eds.) *Comunicando la Ciencia. Avances en Investigación en Didáctica de la Ciencia*. Santa Fé, Universidad Nacional del Litoral, pp. 81-106. Available at: [http://www.fccb.unl.edu.ar/media/Institucional/Publicaciones/ODETTI\\_digital.pdf](http://www.fccb.unl.edu.ar/media/Institucional/Publicaciones/ODETTI_digital.pdf) (Accessed: 30 June 2024).
- Farré, A.S. (2013). *Estructura y Reactividad del Benceno. Su Enseñanza y Aprendizaje en un Curso Universitario de Química Orgánica* [Tesis de doctorado]. Universidad de Buenos Aires.
- Houseknecht, J.B. (2010). “Topic Sequence and Emphasis Variability of Selected Organic Chemistry Textbooks”, *Journal of Chemical Education*, 87(6), pp. 592-597. doi: 10.1021/ed100168t
- Lorenzo, M.G. & Farré, A.S. (2014). “Epistemología, Historia y Filosofía de las ciencias: Un puente entre la investigación didáctica y la enseñanza de las ciencias”, in Arellano, M., Merino, C. & Adúriz-Bravo, A. (eds) *Avances en Didáctica de la Química: Modelos y lenguajes*. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile, pp. 167-182.
- Niaz, M. (2005). “¿Por qué los textos de química general no cambian y siguen una ‘retórica de conclusiones’?”, *Educación Química*, 16(3), pp. 410-415. doi: 10.22201/fq.18708404e.2005.3.66104
- Quintero, T. (2021). *Estudio de las Prácticas Educativas para la Enseñanza de la Termodinámica en la Universidad*. [Tesis de Maestría no publicada]. Universidad Nacional de Río Cuarto, Facultad de Ciencias Humanas.
- Tarsitani, C. & Vicentini, M. (1996). “Scientific mental representations of thermodynamics”, *Science & Education*, 5, pp. 51-68.
- Wheeler, D.M.S. & Wheeler, M.M. (1982). “Trends in the Teaching of Organic Chemistry: A survey of some textbooks”, *Journal of Chemical Education*, 59(10), pp. 863-865. doi: 10.1021/ed059p863



# **Bologna Bottles Revisited with Unexpected Links to War Events\***

Marco Taddia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università di Bologna ‘Alma Mater’

*Abstract:* The interest in physical properties of glass is a constant in scientific literature and when the United Nations General Assembly declared 2022 to be the International Year of Glass, a number of researches gained new impetus. Material scientists paid increasing attention to some curious glass behaviors, known for centuries and apparently of historical interest, being now possible to obtain useful information for studying non-equilibrium phenomena thanks to modern techniques. An example is that of the so-called ‘Dutch or Batavian tears’ or drops of Prince Rupert (PRD), known since the seventeenth century, resistant to hammer blows but which are pulverized by breaking the tail. Other curiosities of the same period have much in common with the “drops”, such as for example the ampoules (also called philosophical vials or bottles) of Bologna, less known than the PRD but, according to an 1825 city guide, “well known to physicists”. Apparently unbreakable if struck from the outside, they shatter by introducing a grain of flint inside. Starting from their discovery, perhaps fortuitous, for more than two centuries they were the subject of academic debates, encyclopaedia articles, learned exchanges of letters, and magic tricks (the bottles of the Devil) to arrive at today’s educational laboratories. The PRD have been discussed in a recent paper, but the ‘Bologna Bottles’, related history and the theories explaining their mechanical behavior will be exposed in the course of the present communication, together with some unexpected comparisons with current events.

\* This communication by the late Prof. Marco Taddia (1947-2023) is available on the SISFA YouTube channel, at this link: [www.youtube.com/watch?v=tjsjBO1SIXk](https://www.youtube.com/watch?v=tjsjBO1SIXk)

# Real-world Phenomena as Useful Tools in Physics Teaching

Roberto De Luca<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Fisica “E. R. Caianiello” - Università degli Studi di Salerno, rdeluca@unisa.it

*Abstract:* Some real-world phenomena may capture students' attention and trigger their curiosity. The rolling of a can on a conveyor belt in the supermarket; the observation of the optimal angle in a weight-throwing competition; the running of a sprinter; the trajectory of a ball or a water droplet in the air; a coloured line appearance on a CD or a DVD under white light; the kinematics of fireworks; the spectacular dance sun glints on the shallow waters by the seashore: all these phenomena can be proposed to students in the “engagement” phase of a lesson which uses the Inquiry-Based Learning approach.

In this talk, we propose all these examples along with a brief justification of the observed phenomena, based on the elementary principles of classical physics.

# Gravitation: A Project for Secondary School Students using History of Physics and Museum Instruments

Paola Bagno<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Liceo Scientifico “I. Nievo” di Padova e DFA-Università di Padova (ATENA), paolab910@gmail.com

*Abstract:* Starting from the ideas developed in the Asiago TEachers’ Network on Astrophysics (ATENA), a teaching-learning sequence has been organized to introduce the topic of gravitation to 16 years old students in a Liceo Scientifico. A major role was played by the instruments belonging to the collection of the School Physics Laboratory some of which are historical instruments. Examples are the Cavendish apparatus and the Foucault pendulum. The teaching-learning sequence can be divided into three parts. The first one started with an Object Based Learning activity and then developed in the study of different historical models for planetary motion from the Ptolemaic to the Keplerian system. The central part consisted in classroom lessons with explanatory exercises about forces, energy and the dynamics of planets and satellites in the solar system. Interactive simulations complemented the lessons and the work on instruments. In the third part, students worked in groups with the aim of producing either a video or a presentation about the history of an instrument or of an experiment related to gravitation. The conclusion was the organization of a visit to the School Museum offered to several guests in which students described some of the instruments and their role in the construction of knowledge about the Universe.





## **Tavola rotonda: *Come può essere utile la storia alla didattica della fisica e dell'astronomia?***

### **1. *La fisica è la sua storia***

**Enrico Giannetto, Università di Bergamo**

La storia è necessaria alla didattica della fisica e dell'astronomia, perché l'astronomia e la fisica non sono discipline immutabili che dispensano verità immutabili, ma sono attività umane storiche, che si dipanano nel tempo. Molti mis-concetti sorgono però perché non viene spiegata anche la fisica aristotelica (basata sull'esperienza, come la fisica ingenua degli studenti e delle studentesse) che precede la fisica moderna (basata sugli esperimenti). Si deve utilizzare un approccio storico, perché è l'unico che permette di fare comparazioni tra la fisica di un'epoca e la fisica di un'altra. Per rendersi conto dell'identità di una cosa, bisogna conoscere le differenze con un'altra. Così, si può comprendere la fisica moderna solo quando la si compara con qualcosa che l'ha preceduta. La prospettiva storica è fondamentale per la didattica della fisica. Si deve chiarire allora primariamente la differenza fra la fisica moderna e la fisica aristotelica. Il sapere della fisica antica ha lo stesso presupposto filosofico antico: quello di voler rappresentare i fenomeni fisici e naturali da un punto di vista razionale, per dare una rappresentazione oggettiva della realtà. In Grecia, vi fu un fiorire di teorie fisiche e cosmologiche alternative fra loro. La fisica aristotelica alla fine fu quella dominante, ma un'altra fisica fu più importante di altre, la fisica degli atomisti, che verrà ripresa da quella moderna. Ad ognuna di queste fisiche corrispondono una certa concezione della *Physis*, della Natura e una certa concezione della relazione fra uomo e Natura. Tuttavia, al di là delle differenze che sussistono fra queste varie teorie fisiche, la caratteristica comune di costituire un sapere filosofico, intellettuale, teoretico, rinvia a un modo di vivere, all'*èthos* di una vita contemplativa, in cui la contemplazione intellettuale e distaccata, imperturbabile, è considerata superiore all'azione, quale stato di perfezione divina garante di felicità nella prospettiva della cura di sé. Anche le filosofie-fisiche-cosmologie orientali sono legate all'*èthos* di una vita contemplativa volta alla cura di sé. L'immagine della Natura che ne conseguì in Grecia è strettamente legata a questo ideale di vita contemplativa.

La diffusione del cristianesimo nell'Occidente non riuscì a mutare subito la prospettiva greca dominante. Seppure sin da subito ci furono contrapposizioni, bisogna aspettare la "rivoluzione francescana" del XII e del XIII secolo perché l'immagine aristotelica della Natura sia messa radicalmente in discussione. L'epistemologia francescana evidenziò che - se l'universo era la creazione della volontà di Dio, essendo questa imperscrutabile - non si poteva conoscere né a priori con la pura ragione né con l'esperienza come fosse fatta la Natura, se fosse un cosmo chiuso o infinito, se avesse una struttura matematica o seguisse qualche ordine ignoto, se avesse una finalità umana o finalità più alte sconosciute. Né l'esperienza né la ragione erano più sufficienti per una comprensione della Natura, né la fede poteva più costituire il fondamento di una ricostruzione razionale dell'universo. La contemplazione intellettuale distaccata, l'imperturbabilità non caratterizzavano più né Dio né un corrispondente ideale umano: il Dio cristiano non restava imperturbabile di fronte alle sofferenze del nostro mondo, non restava distante, ma addirittura vi partecipava assumendo forma corporea e materiale facendosi prossimo. L'ideale etico non stava più in una vita contemplativa, ma in una vita attiva, qualificata da un amore attivo che si prende cura degli altri facendosi prossimo a qualsiasi creatura. La volontà di Dio si comprende nel compierla, nell'azione, e quindi anche la conoscenza della Natura non poteva realizzarsi attraverso una contemplazione passiva, ma piuttosto scaturiva da una ricerca attiva. Con l'Umanesimo e il Rinascimento si ebbe una rivalutazione dei saperi pratici, delle arti e delle tecniche con un loro nuovo fiorire: si comprese via via che anche le arti cosiddette servili e le tecniche

potavano svolgere un ruolo nella comprensione della Natura e potevano essere svincolate dalle finalità puramente pratiche a cui da sempre erano state legate. Si poteva usare un cannocchiale non solo per avvistare prima l'arrivo di nemici, ma anche per guardare meglio il cielo: ci faceva prossimi anche al cielo, alle stelle e a tutti i possibili corpi celesti, rendendoli quasi toccabili con mano, abolendo in qualche modo quella distanza che li rendeva possibili oggetti solo di una contemplazione visiva e intellettuale, o rendendo visibile l'invisibile per l'occhio umano. Si poteva usare un cannone non per colpire un nemico ma per studiare il moto e la traiettoria di un corpo lanciato con una certa forza e con una certa angolatura. Perfino le macchine belliche potevano essere de-funzionalizzate dai loro fini pratici militari ed essere usate per la comprensione della Natura: i fenomeni meccanici prodotti con strumenti tecnici potevano anzi far superare i limiti dell'esperienza, e nella loro ripetibilità e nella loro mimesi dei fenomeni naturali si prestavano alla possibilità di uno studio metodico e sistematico dei fenomeni naturali legati a un loro accadere non controllabile, o irripetibili o comunque non certamente ripetibili a volontà. Si delineò così l'orizzonte di una nuova filosofia della Natura, di una nuova fisica moderna e invero di tutta una nuova forma di scienza. A una fisica della ragione e dell'esperienza si sostituì una nuova fisica dell'esperimento, cioè di un'indagine sperimentale attiva, metodica e sistematica, effettuata con strumenti tecnici che superano i limiti dell'esperienza e della ragione umana: i telescopi permettono di vedere l'invisibile a distanza come con Galileo i satelliti di Giove; i microscopi permettono di vedere l'invisibile in un ambito microscopico, le provette di mercurio o le pompe pneumatiche permettevano di produrre e scoprire il vuoto di materia che non si dà alla nostra esperienza. L'esistenza del vuoto non può più essere oggetto di dispute filosofiche astratte, ma diviene provabile sperimentalmente. La struttura ordinata dell'universo, la sua struttura matematica non si può affermare più a priori come un presupposto metafisico di perfezione di forme geometriche, ma, se esiste, deve essere scoperta attraverso le misure effettuate con strumenti tecnici, entro certi limiti, precisi. La fisica moderna implica quindi una dedizione specifica, competenze pratiche e tecniche, competenze matematiche, una vita di ricerca attiva, in cui l'immaginazione riacquisisce un ruolo nel considerare situazioni che non si danno all'esperienza umana, e in cui le arti tecniche, meccaniche sono ridefinite come mezzi per estendere la nostra comprensione della Natura, al di là dei fini pratici a cui prima erano legate. La meccanica diventa parte fondamentale della fisica, dell'indagine sperimentale, metodica e sistematica, e della costruzione teorica. La fisica moderna è parte di un nuovo *èthos* non più della contemplazione distaccata, ma del curarsi attivo delle cose e della prova dei pensieri nelle azioni che sole ci permettono un accesso alla realtà oltre il pensiero. La fisica ci consegna un'immagine della Natura e questa immagine è specchio della relazione dell'umanità con la Natura, o più propriamente di un'etnia, come in questo caso quella greca, e poi più ampiamente delle varietà etniche e storiche che compongono una cultura e una civiltà come quelle occidentali, è specchio cioè di un *èthos*, di un modo di vivere. La fisica, allora, non costituisce solo un sapere erudito su una serie di fenomeni a cui si potrebbe essere, individualmente, più o meno interessati, ma ci restituisce una sorta di auto-comprensione collettiva, di un'epoca ovvero di una varietà storica o di una varietà etnica, della vita dell'umanità nell'universo: un'auto-comprensione che guida e orienta, consciamente o inconsciamente a livello individuale, il nostro modo di vivere.

## **2. *Fisica, storia e cultura scientifica***

**Adele La Rana, Università di Macerata & INFN-Sezione di Roma**

Il seguente è un piccolo diorama del mio personale approccio culturale alla didattica della fisica, nella scia dell'*approccio connettivo* di Gerald Holton e del quadro metodologico che Igal Galili ha definito il *cultural content knowledge*.

Un poeta inquieto e coltissimo affronta, assieme al suo venerato maestro, una discesa negli abissi infernali. Cerchio dopo cerchio, in un imbuto sempre più angusto di dannazione e dolore, Dante e Virgilio raggiungono il punto più profondo, riservato ai traditori degli amici, e si trovano al cospetto di

Satana in persona, immerso per metà nel ghiaccio che delimita l'ultima frontiera dell'Inferno, al centro esatto della Terra. Qui i due letterati si arrampicano lungo le gambe villose di Lucifero, passaggio necessario per superare l'abisso e incominciare l'ascesa verso la superficie. Arrivati all'altezza dei fianchi di Satana, con fatica i due si capovolgono e, in un improvviso e sorprendente ribaltamento di prospettiva, poggiano i piedi al suolo. Lucifero ora appare sottosopra, sospeso con i piedi in alto. A Dante, disorientato dal ribaltamento, Virgilio spiega che insieme hanno oltrepassato il punto verso cui tutti i gravi si muovono, ossia " 'l punto al qual si traggon d'ogne parte i pesi" (Inf., XXXIV 103-08).

I due poeti sperimentano – usando un linguaggio moderno - un'inversione dell'accelerazione di gravità. Galileo Galilei, che alla "figura, sito e grandezza" dell'Inferno di Dante aveva dedicato due dissertazioni scientifiche,<sup>1</sup> aveva immaginato un esperimento in cui un profondissimo pozzo attraversasse da parte a parte la Terra, passando per il suo centro.<sup>2</sup> Secondo Galileo, la palla avrebbe accelerato fino al centro della Terra e poi da lì decelerato avvicinandosi agli antipodi, compiendo lungo una retta il moto che il pendolo compie lungo un arco.

L'idea di un tunnel, una voragine che passa la terra da parte a parte è ben più antica di Galileo e di Dante. Una traccia risale già al I-II secolo d.C. e si trova in un'opera di Plutarco, il *De facie in Orbe Lunae*. Qui Plutarco scrive che "se gli oggetti fino al centro sono 'sotto' e quelli sotto il centro tornano a stare 'sopra', ciò equivale a capovolgere e scompigliare il mondo tanto che un uomo che venisse a far coincidere spazialmente il centro della terra col suo ombelico si troverebbe con la testa e i piedi contemporaneamente all'insù".

L'idea del centro della Terra e di questi 'esperimenti mentali' scaturisce di fatto dal concepire la Terra come una sfera, verso il cui centro – per dirla alla Dante – "si traggon d'ogne parte i pesi". Non poteva sfuggire all'osservazione degli antichi che la simmetria sferica era propria anche della Luna e del Sole: è una somiglianza tra mondo sublunare e mondo celeste che in nuce poteva mettere in discussione la divisione aristotelica tra cielo e Terra.

La forma sferica della Terra è già oggetto di alcuni studi di Archimede. Nell'opera *Sui corpi galleggianti*, Archimede fonda di fatto l'idrostatica e tratta anche la questione della superficie dei liquidi a riposo. Postula che in ogni fluido la parte meno compressa cede a quella più compressa. Da questo principio, Archimede deduce che la superficie dei liquidi a riposo fa parte di una superficie sferica il cui centro è il centro della Terra. Da ciò consegue che il livello del mare è lo stesso dappertutto. Ma anche la Terra è stata fluida in origine, secondo alcune teorie circolanti all'epoca di Archimede, e allora anch'essa, consolidandosi, ha mantenuto una simmetria di sfera. Per queste ricostruzioni, si rimanda ai lavori di Lucio Russo.

I ragionamenti di Archimede sull'equilibrio dei liquidi mostrano come la gravità sia responsabile della forma sferica della Terra. Inducono inoltre a pensare che anche la Luna e il Sole abbiano forma sferica non in virtù della natura perfetta del mondo celeste, ma perché anch'essi hanno la loro propria gravità. Questa visione non-aristotelica è espressa da Plutarco con grande chiarezza del *De facie in orbe Lunae*:

se ogni corpo pesante converge verso lo stesso punto e insiste con tutte le sue parti sul proprio centro, la Terra si approprierà i gravi (nella misura in cui questi le appartengono) piuttosto come insieme unitario che come centro dell'universo; e la tendenza al basso degli oggetti in caduta sarà sì una

<sup>1</sup> Galilei G. (1588). *Due lezioni all'Accademia Fiorentina circa la figura, sito e grandezza dell'Inferno di Dante*. In *Le opere di Galileo Galilei*, Edizione Nazionale (20 vols.), a cura di Favaro A. (1890-1909). Firenze: Barbera, Vol. IX, pp. 29-57.

<sup>2</sup> [Salviati, alter ego di Galileo nel Dialogo] "Di qui parmi (discorrendo con una certa convenienza) di poter credere, che quando il globo terrestre fusse perforato per il centro, una palla d'artiglieria scendendo per tal pozzo acquisterebbe sino al centro tal impeto di velocità che trapassato il centro la spignerebbe in su per altrettanto spazio quanto fusse stato quello della caduta, diminuendo sempre la velocità oltre al centro con decrementi simili a gl'incrementi acquistati nello scendere; ed il tempo che si consumerebbe in questo secondo moto ascendente credo che sarebbe eguale al tempo della scesa" in: Galilei G. (1632). *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*. Firenze: Landini, pp. 222-223.

prova, ma non della sua centralità rispetto al cosmo bensì di una sorta di affinità e naturale coesione da parte di corpi che le si sono sottratti e che ora ad essa ritornano. Infatti come il sole attrae a sé le parti di cui è composto, così la Terra accoglie come sue le rocce dotate dell'intrinseca proprietà di inclinare verso di essa.

Dal dialogo immaginato da Plutarco nel *De facie in orbe Lunae* emerge che la gravità è una proprietà della materia. Ma è una proprietà che si manifesta solo tra parti di materia affine. Molti secoli dopo, Copernico citerà esplicitamente Plutarco nella prefazione del *De revolutionibus orbium coelestium*, esprimendosi sulla natura della gravità in termini di “un certo appetito naturale impiantato nelle parti dalla Divina Provvidenza del creatore di tutte le cose affinché queste, raccogliendosi in forma di globo, possano congiungersi nella loro unità e completezza”. Copernico ritiene inoltre plausibile che “questa disposizione sia propria anche del Sole, della Luna e degli altri corpi lucenti dei pianeti, e che per mezzo di essa conservino la forma rotonda”.

E ancora, poco tempo dopo, Keplero definirà la gravità in *Astronomia Nova*, come “una reciproca disposizione dei corpi tra loro affini a unirsi o avvicinarsi”. Di conseguenza, i corpi pesanti sono attirati verso il centro della Terra non perché è il centro del mondo, ma perché è il centro di un corpo sferico affine.

Questo dialogo attraversa le epoche e mostra alcuni tentativi di definire la gravità e comprenderne la natura: un processo che è ancora in atto, mentre assistiamo alla nascita dell'astronomia a onde gravitazionali, all'esplorazione dei segnali gravitazionali emessi da collisioni di buchi neri, alle verifiche sempre più stringenti della teoria della relatività generale di Einstein. La natura della gravità continua a essere oggetto di ricerche di frontiera, lampante esempio di come il pensiero scientifico e i suoi metodi di indagine si evolvano nel corso del tempo.

### **3. Ricostruzione di esperimenti storici in classe**

**Samuele Straulino, Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze**

La conoscenza dello sviluppo storico delle scoperte scientifiche permette agli studenti di comprendere che il percorso della scienza è stato in molti casi tortuoso, quasi mai progressivo e lineare; per ragioni di semplicità della narrazione e di coerenza interna, i manuali scolastici seguono spesso un percorso abbreviato, ignorando contributi minori ma determinanti.

In alcuni casi, anche gli esperimenti fondamentali nel percorso storico sono descritti in una versione semplificata e ‘normalizzata’; è interessante e istruttivo capire quale fosse l'approccio originale e quali le motivazioni che giustificavano le scelte operative dello scienziato. Inoltre, se facciamo ripetere l'esperimento in classe con una procedura vicina a quella originale (e ciò talvolta può essere possibile con gli esperimenti galileiani), gli studenti hanno l'opportunità di riflettere sulla sua fattibilità, in termini di ripetibilità e di precisione della misura. Un approccio alla storia della scienza nel contesto didattico può avvenire in numerose modalità, per esempio per illustrare agli studenti la definizione di una grandezza fisica o per riflettere su un esperimento cruciale nella storia della scienza. Propongo alcuni semplici esempi, facendo riferimento a testi galileiani, in seguito agli stimoli ricevuti prevalentemente dal testo di Arons.<sup>3</sup>

Il moto di caduta libera, che gli Aristotelici chiamavano ‘moto naturale’, avviene sotto l'azione di una forza costante ed è dunque uniformemente accelerato, fintanto che l'attrito dell'aria si possa considerare trascurabile. È sicuramente utile discutere insieme agli studenti lo sviluppo storico di questa idea, in particolare utilizzando quanto si trova negli scritti di Galilei. Per esempio il testo seguente, preso

<sup>3</sup> Arons A.B. (1992). *Guida all'insegnamento della fisica*. Bologna: Zanichelli.

dai *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*,<sup>4</sup> è perfettamente moderno nella descrizione della tipologia del moto, ma ancora aristotelico nella ‘spiegazione’ delle cause. Possiamo infatti far notare agli studenti che nel brano si individua un progressivo, non ancora completo, superamento della fisica aristotelica (a cui si richiama il testo in neretto) verso la nuova fisica (frasi in corsivo):

Dico per tanto che un corpo grave ha da natura **intrinseco principio** di muoversi verso 'l **comun centro de i gravi**, cioè del nostro globo terrestre, con *movimento continuamente accelerato*, ed accelerato sempre egualmente, cioè che *in tempi eguali si fanno aggiunte eguali di nuovi momenti e gradi di velocità*. (*Discorsi*, giornata prima)

La padronanza della comprensione e della descrizione del moto di caduta in Galilei risulta ancora più chiara quando egli introduce l'attrito viscoso dell'aria. Contrariamente ad Aristotele che riteneva l'aria un elemento imprescindibile per permettere la caduta dei corpi (e nei *Discorsi* si ricorda la sua argomentazione riguardo alla impossibilità del movimento nel vuoto), Galilei intuisce che su un oggetto che cade in aria interviene una forza opposta alla gravità e di intensità variabile, perché dipendente dalla velocità. Nella caduta l'intensità della forza di attrito cresce, fino a quando si raggiunge una situazione di regime, in cui il bilanciamento delle forze impedisce un'ulteriore accelerazione del corpo:

Il mezzo, benché fluido cedente e quieto, si oppone con resistenza or minore ed or maggiore, secondo che lentamente o velocemente ei deve aprirsi per dar il transito al mobile; il quale, perché, come ho detto, si va per sua natura continuamente accelerando, vien per conseguenza ad incontrar continuamente resistenza maggiore nel mezzo, e però ritardamento e diminuzione nell'acquisto di nuovi gradi di velocità (*Discorsi*, giornata prima)

Si percepisce facilmente quanto questo esempio sia utile per la profonda comprensione del principio di inerzia (e del secondo principio). Nella mia esperienza ho riscontrato che alcuni studenti sono tentati di concludere che l'oggetto in caduta, sottoposto a un complesso di forze che alla fine si fanno equilibrio, si ferma (!) anziché proseguire a velocità costante. Possiamo costruire una sequenza di affermazioni desunte dal testo galileiano, che consentono di comprendere e descrivere correttamente la fisica del problema:

- superamento dell'*horror vacui*;
- presenza di attrito viscoso, dipendente dalla velocità;
- moto di un corpo in assenza di forze attive;
- equilibrio dinamico di forze non costanti.

D'altra parte, bisogna ricordare che il concetto di inerzia non è ancora maturo in Galilei; a tal proposito potrà essere utile riprendere la *Seconda lettera al sig. Marco Velsari sulle macchie solari*,<sup>5</sup> in cui si afferma:

rimossi tutti gl'impedimenti esterni, un grave nella superficie sferica e concentrica alla Terra sarà indifferente alla quiete ed a i movimenti verso qualunque parte dell'orizzonte, ed in quello stato si

<sup>4</sup> Galilei, G. (1638). *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*. In: *Le opere di Galileo Galilei*, Edizione Nazionale (20 vols.), a cura di Favaro A. (1890-1909). Firenze: Barbera. Vol. VIII, pp. 41-313.

<sup>5</sup> Galilei, G. (1612). “Seconda lettera del Sig. Galileo Galilei al Sig. Marco Velsari delle macchie solari”, in *Le opere di Galileo Galilei*, Edizione Nazionale (20 vols.), a cura di Favaro A. (1890-1909). Firenze: Barbera. Vol. V., pp. 116-141.

conserverà nel qual una volta sarà stato posto; cioè se sarà messo in stato di quiete, quello conserverà, e se sarà posto in movimento, verbigrazia verso occidente, nell'istesso si manterrà.

Discuteremo con gli studenti che la presunta similarità con il principio di inerzia newtoniano si basa in realtà sull'assunzione galileiana di un 'moto circolare inerziale': i corpi collocati "nella superficie sferica e concentrica alla Terra", trovandosi a distanza costante dal centro del globo (il "comun centro de' gravi"), non si spostano né verso l'alto, né verso il basso e per questo dovrebbero muoversi con moto uniforme.

Un grande progresso di Galilei nella descrizione del moto è costituito dalle indagini sperimentali con il piano inclinato, utilizzato come strumento che permette di 'rallentare' la caduta della sfera di metallo, dilatando il tempo di discesa e permettendo misure più agevoli anche grazie all'utilizzo dell'orologio ad acqua. La lettura del testo estratto dalla terza giornata dei *Discorsi* ("In un regolo, o voglian dir corrente, di legno...") è molto istruttiva; è innanzi tutto un modello di 'relazione di laboratorio', nella quale si descrive l'apparato strumentale e si riportano i risultati delle misure, con pregevole linguaggio scientifico (e qui torna alla mente l'affermazione di Italo Calvino, che vedeva Galilei come "il più grande scrittore della letteratura italiana di ogni secolo"). È interessante discutere con gli studenti l'uso di rapporti adimensionali, prima che fosse comune trattare grandezze 'dimensionali' come la velocità; facendo riferimento a spazi  $s$  percorsi *ex quiete* sul piano inclinato in tempi  $t$  diversi, Galilei afferma che:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{t_1^2}{t_2^2}$$

Faremo notare agli studenti che, per trasferire questa informazione in una 'legge oraria', è necessario introdurre una costante  $k$  con le dimensioni di una accelerazione:

$$s = kt^2$$

Da questi semplici esempi dovrebbe risultare evidente che la storia della fisica, oltre a fornire informazioni sull'origine e lo sviluppo di un concetto, può dare l'occasione al docente per approfondire e discutere con gli studenti la loro comprensione *attuale* di un fenomeno o di una legge fisica.

#### **4. Lo studio dell'Universo di ieri e di oggi per una didattica più efficace (abstract)**

**Caterina Boccatto, INAF-Istituto Nazionale di Astrofisica**

L'apprendimento dell'Astronomia, e dell'Astrofisica, è sicuramente reso più efficace nel momento in cui riusciamo a contestualizzare, per gli studenti, le diverse scoperte scientifiche. Dal forte legame che Galileo Galilei aveva con la "tecnologia" del '600, ossia con le botteghe degli ingegnosi artigiani della Padova di allora, che gli permise di appropriarsi di un cannocchiale, e poi di perfezionarlo, per scoprire un universo fino ad allora inedito, ai primi spettrografi dell'800 che, abbinati ai telescopi, hanno sancito il passaggio dall'Astronomia di posizione allo studio della fisica dei corpi celesti, ossia all'Astrofisica.

Il connubio didattica e storia della scienza, in INAF, si è concretizzato in diverse attività che rispecchiano quanto appena detto: presso le aule e gli spazi museali della Specola di Padova si sono proposte delle attività di riproduzione di strumentazione astronomica del passato da un lato e dall'altro le visite ai nostri laboratori di tecnologia di frontiera dove si testano le ottiche di satelliti dell'Agenzia Spaziale Europea. Seguendo lo stesso approccio, negli spazi di diversi altri musei, condivisi con gli istituti attuali dell'INAF, sparsi in tutta Italia, abbiamo proposto anche ricostruzioni teatrali della storia astronomica del '900 e l'abbiamo poi messa a confronto con i risultati ottenuti negli ultimi 20, 30 anni.

Questi approcci si sono dimostrati efficaci perché, in primis, danno la “dimensione umana” di una scienza così apparentemente slegata dalla vita quotidiana. Ma mostrano anche la realtà e cioè che la scienza non segue un percorso lineare, è costellata di errori tanto quanto di intuizioni corrette, di momenti di stallo tanto quanto di periodi di grandi scoperte.

### **5. La storia che insegna: progetti didattici (e divulgativi) su percorsi storici definiti (abstract)**

**Salvatore Esposito, Dipartimento di Fisica “Ettore Pancini”, Università di Napoli & INFN-Sezione di Napoli**

L’obiettivo di far imparare la fisica praticando la scienza può essere raggiunto delineando dei percorsi ben definiti (su argomenti specifici), che seguano da vicino la realtà storica. L’intento non è quello di riprodurre a posteriori i processi mediante i quali i fisici costruiscono e applicano una data conoscenza, ma piuttosto quello di produrre processi reali mediante i quali gli scienziati del passato hanno costruito e applicato quella conoscenza. Alcuni progetti sviluppati negli ultimi anni, in contesti didattici differenti, mostrano quanto questa prospettiva sia particolarmente fruttuosa, soprattutto quando si considerano percorsi storici di origine prettamente sperimentale.

### **6. Quante storie... ovvero: come fare buon uso della storia nella didattica della fisica? (abstract)**

**Matteo Leone, Università di Torino**

Quante storie. Quelle raccontate nelle storie dei manuali di fisica della scuola secondaria o dell’università: medaglioni di scienziati e poco altro, esperimenti mai fatti o fatti e mai raccontati, teorie avulse da un contesto.

Quante storie. Quelle che vorrebbero imparare, scoprire, applicare, i docenti di fisica della scuola secondaria consapevoli del valore culturale e motivazionale della storia della loro disciplina.

Quante storie. Quelle che la storia della fisica ci riserva, quasi a presagire, anticipare, la fisica “spontanea” degli studenti.

Per ognuna di queste storie si porteranno esempi fondati su ricerche storiche e/o empiriche attinenti al rapporto tra storia e didattica della fisica.

### **7. La storia in percorsi concettuali per l’apprendimento (abstract)**

**Marisa Michellini, URDF, DMIF-Università di Udine**

Lo scopo principale della didattica è produrre quell’apprendimento che corrisponde ad un’appropriazione dei contenuti e dei metodi disciplinari, che il soggetto sa utilizzare in diversi contesti. La letteratura di ricerca ci ha insegnato che ciò viene favorito se il soggetto che apprende ha un ruolo attivo in cui si mette in gioco con lo stile proprio di apprendimento in esperienze significative. La fisica richiede interpretazione a diversi livelli e spesso con prospettive diverse di contesti fenomenologici. La comprensione di potenzialità e limiti di ciascuno richiede un’elaborazione concettuale, spesso ricostruendo pezzi di realtà in esperimenti di laboratorio. Ecco che la più importante conquista nell’apprendimento della fisica è quella dell’appropriazione concettuale, che implica quella epistemica. Essa costruisce diverse competenze, che accanto a creatività e fantasia, crescono mettendo in campo strategie basate su ipotesi, esperimenti e confronto dei risultati con le ipotesi, identificazione di concetti e argomentazioni che li correlano e vi danno senso. Sono passi spesso compiuti nel percorso storico di chiarificazione concettuale in fisica. In percorsi concettuali coerenti basati su attività sperimentali abbiamo evidenza che hanno un ruolo fertile esperienze di costruzione concettuale vissute nella storia della fisica. Ecco che sfruttare idee ed argomentazioni di scienziati del passato per costruire esperienze in cui gli studenti vivono (non sentono raccontare) come nascono relazioni, modelli e interpretazioni offre loro gli elementi artigianali del costruire conoscenza in fisica. Nella nostra esperienza abbiamo

costruito percorsi che hanno favorito il cambiamento concettuale in meccanica, nella fluidodinamica, in termodinamica, elettromagnetismo ed ottica mettendo nelle mani degli studenti situazioni carismatiche di Newton, Fourier, Ampere e Balmer. L'autenticità delle problematiche e dati storici hanno attivato ragionamenti ed argomentazioni capaci di costruire appropriazione concettuale di interpretazioni attuali. La storia vissuta fa acquisire consapevolezza dei nodi concettuali, offre padronanza di modalità di lavoro e, mentre costruisce conoscenze, offre competenze di identità fisica.

### **8. *Il ruolo dei musei scientifici nell'insegnamento della fisica e dell'astronomia (abstract)***

**Ornella Pantano, DFA-Università di Padova**

Il gruppo di ricerca in didattica della Fisica e Astronomia dell'Università di Padova da diversi anni collabora con il Museo di Storia della fisica 'G. Poleni' e il Museo 'La Specola' dell'INAF nello sviluppo di percorsi didattici che integrano attività laboratoriali e visite tematiche presso i Musei. In particolare, saranno presentate alcune esperienze fatte con insegnanti in formazione e in servizio di scuola primaria e scuola secondaria. Gli obiettivi dei progetti sviluppati sono vari: far sperimentare agli insegnanti dei percorsi da riproporre a scuola, adattandoli ai diversi bisogni formativi dei propri studenti; stimolare una riflessione su come i musei scientifici possono essere usati per motivare gli studenti e favorire l'apprendimento di alcuni temi disciplinari; riconoscere la relazione tra strumenti ed evoluzione della conoscenza scientifica; fornire esempi di insegnamento integrato di fisica e astronomia.





*Questo volume contiene gli Atti del XLIII Convegno annuale della Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia (SISFA), svoltosi a Padova nel settembre 2023, che ha registrato la presenza di oltre 100 studiosi di storia della scienza italiani e stranieri. Il congresso ha affrontato una molteplicità di argomenti, che spaziano dalla storia della fisica e dell'astronomia del XVIII-XX secolo, all'epistemologia, al dialogo tra storia e didattica, fino ad affrontare le questioni relative alla gestione e conservazione del patrimonio storico. Sono state tre le sessioni speciali: Copernico e il nuovo Cosmo, in occasione dei 550 anni dalla nascita di Copernico; Il Saggiatore e la nascita della scienza moderna, in occasione dei 400 anni dalla pubblicazione del "Saggiatore"; Giuliano Romano, per ricordare il contributo dato alla scienza astronomica e alla storia dell'astronomia da questo importante studioso, a 100 anni dalla nascita e a 10 dalla morte.*

This volume contains the Proceedings of the 43<sup>rd</sup> Congress of the Italian Society of Historians of Physics and Astronomy (SISFA), held in Padua in September 2023 and attended by over 100 Italian and foreign historians of science. The Congress covered a wide range of topics, ranging from the 18th-20th centuries history of physics and astronomy, to epistemology, dialogue between history and education, and issues related to the management and preservation of the historical heritage. There were three special sessions: *Copernicus' Changeover From the Old to the New Cosmos*, on the occasion of the 550th anniversary of the birth of Copernicus; *"The Assayer" and the Birth of Modern Science*, on the occasion of the 400th anniversary of the publication of *The Assayer*; and *Giuliano Romano*, to commemorate this important scholar and his contribution to astronomical science and the history of astronomy, 100 years after his birth and 10 years after his death.

**Marco Di Mauro** obtained a PhD in theoretical physics at the university of Salerno and is currently postdoctoral researcher in history of physics and physics education research at the University of Trento. His research interests include the history of XX century theoretical physics and the teaching of modern physics at the high school level.

**Luigi Romano** obtained a PhD in history of physics at the University of Bari and is currently a physicist at ARPA Puglia. His research interests include the history of XX century, mainly focusing on foundations of quantum mechanics and relativity theory as well as their related philosophical and socio-political context.

**Valeria Zanini**, First Research-Technologist INAF, is involved in local and national projects for the preservation of astronomical heritage; she is Lecturer of History of Astronomy, and a Council Member of the SISFA. Her current research interests focus on the history of astronomy in the 17th-19th centuries and on the scientific instruments of the same period.

ISBN 978-88-6887-256-4

DOI 10.6093/978-88-6887-256-4

ISBN 978-88-6887-256-4



9 788868 872564