



Società Italiana degli Storici  
della Fisica e dell'Astronomia

**Proceedings of the SISFA 42<sup>nd</sup> Annual Conference**

**Perugia, 26-29 September 2022**

edited by

**Paolo Bussotti, Danilo Capecchi, Pasquale Tucci**





# **42<sup>nd</sup> National Conference 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.

## **Organizing and Scientific Committee**

Salvatore Esposito, University of Naples Federico II  
Ivana Gambaro, University of Genoa  
Mauro Gargano, INAF-Astronomical Observatory of Capodimonte, Naples  
Roberto Lalli, Max Planck Institute for the History of Science, Berlin  
Adele La Rana, University of Verona  
Roberto Mantovani, University of Urbino  
Flavia Marcacci, Pontifical Lateran University  
Giancarlo Truffa, SISFA, Independent scholar  
Valeria Zanini, INAF-Astronomical Observatory of Padova

## **Local Organizing Committee**

Marco Bizzarri, University of Perugia  
Mateusz Bawaj, University of Perugia  
Giovanni Carlotti, University of Perugia  
Sara Cutini, INFN Perugia  
Daniele Fioretto, University of Perugia  
Flavia Marcacci, Lateran University, Rome  
Francesco Millucci, University of Perugia  
Francesca Palatta, Lateran University, Rome  
Sara Palmerini, University of Perugia  
Daniele Puleio, Lateran University, Rome  
Alessandra Anna Passeri, University of Perugia

## **Sponsor:**

**Municipality of Perugia - Assessorato alla cultura**  
**Perugina-Nestlé**  
**Fondazione Cassa di Risparmio of Perugia**

## **Patronage:**

**Municipality of Perugia - Assessorato alla cultura**



Comune di  
**PERUGIA**



Società Italiana degli Storici  
della Fisica e dell'Astronomia

**Proceedings of the SISFA 42<sup>nd</sup> Annual Conference**

**Perugia, 26-29 September 2022**

**Department of Physics and Geology. University of Perugia**

edited by

**Paolo Bussotti, Danilo Capecchi, Pasquale Tucci**

**P L S A**  
UNIVERSITY  
PRESS



Società italiana degli storici della fisica e dell'astronomia

Proceedings of the 42. annual conference : Perugia 26-29 September 2022 / Società italiana degli storici della fisica e dell'astronomia ; edited by Paolo Bussotti, Danilo Capecchi, Pasquale Tucci. - Pisa : Pisa university press, 2023.

530.9 (23.)

I. Bussotti, Paolo <1966- > II. Capecchi, Danilo III. Tucci, Pasquale <1943- > 1. Astronomia - Storia - Atti di congressi 2. Fisica - Storia - Atti di congressi

CIP a cura del Sistema bibliotecario dell'Università di Pisa

**UPI**  
UNIVERSITY  
PRESS ITALIANE

Peer reviewed work  
in compliance with  
UPI protocol

*On the cover:*

Model of Mercury Planet built by Girolamo della Volpaia (1530-1614) in 1575. Perugia, Dept. of Physics and Geology of the University of Perugia. A description of the instrument can be found in these proceedings: Giancarlo Truffà, The models of the orb of Mercury made by Girolamo Della Volpaia: Perugia and Chicago.

© Copyright 2023

Pisa University Press

Polo editoriale - Centro per l'innovazione e la diffusione della cultura

Università di Pisa

Piazza Torricelli 4 · 56126 Pisa

P. IVA 00286820501 · Codice Fiscale 80003670504

Tel. +39 050 2212056 · Fax +39 050 2212945

E-mail [press@unipi.it](mailto:press@unipi.it) · PEC [cidic@pec.unipi.it](mailto:cidic@pec.unipi.it)

[www.pisauniversitypress.it](http://www.pisauniversitypress.it)

ISBN 978-88-3339-879-2



The Editor remains available to the right-holders with whom it has not been possible to communicate, for whatever omissions or requests from subjects or entities which may have demonstrated rights to the reproduced images. Photocopies for personal use may be made within the limits of 15% per volume/periodical file in return payment to SIAE provided for in art. 68, (4 and 5) of Law No 22, April 19th, 1941, 633. Reproductions made for professional, commercial or commercial purposes, or otherwise, for non-personal purposes may be made following a specific authorization issued by SIAE.

# Program of the Conference

## ***Session: From Herschel to Hubble: A long debate: Part 1***

Conveners: Leonardo Varasano; Fausto Elisei; Salvatore Esposito

Key note lecturer

**KRAGH, Helge**

Cosmology in about 1958: The Solvay conference KRAGH, Helge

**SALVIA, Stefano**

The End of Greatness: A Brief History of the Hierarchical Universe (c. 1700-2000)

**DI GIACOMO, Federico**

From Santini to GAIA: the improvement of the modern astrometric data with the use of XIX century stellar catalogues

**MACCHIA, Giovanni**

Jacques Merleau-Ponty, a pioneer of a historical-philosophical approach to cosmology

## ***Session: Planetary theories and astronomical instruments: mechanizations and visualizations between geocentrism and heliocentrism (1400-1700): Part 1 Masterpiece makers: the role and legacy of the Della Volpaia family in the production of scientific instruments in the Renaissance***

Conveners: Giovanni Carlotti

**TAGLIALAGAMBA, Sara**

The models of the orb of Mercury made by Girolamo Della Volpaia: Perugia and Chicago

**TRUFFA, Giancarlo**

Mercury, the different models of the cosmos, the theoricae of Girolamo della Volpaia

**MARCACCI, Flavia**

Models for Mercury and the *theorica* of Girolamo della Volpaia

## ***Premio SISFA***

Conveners: Salvatore Esposito

## ***Session: Astronomy and Physics in Perugia: Part 1***

Conveners: Patrizia Cenci; Mario Squadroni; Sara Palmerini

**PALMERINI, Sara**

Today physics in Perugia

**BUSSO, Maurizio**

Passato e presente dell'Astronomia e dell'Astrofisica a Perugia

**MAOVAZ, Marco**

For a history of physics in the University of Perugia: between specialization, cultural policy and relations with other disciplines

***Session: Astronomy and Physics in Perugia: Part 2***

Conveners: Sara Palmerini; Gino Tarozzi

**MANTOVANI, Roberto**

Natural philosophy and surviving instruments (1730-1850): the case of physics cabinet at Perugia university

**CARLOTTI, Giovanni**

The renewed exposition of the instruments of the historical “Gabinetto di Fisica” of UNIPG

***Visit to the old teaching collection of instruments in Perugia***

Conveners: Giovanni Carlotti

***Presentazione al museo POST del libro “Da via Panisperna all’America: I Fisici Italiani e la Seconda Guerra Mondiale” a cura di Battimelli, De Maria, La Rana***

Presenters: BATTIMELLI, Giovanni; LA RANA, Adele

***Session: Physics and diplomacy: a chain reaction: Part 1***

Conveners: Adele La Rana

**CLAVARINO, Lodovica**

“We must opt for survival”. Alcune riflessioni sull’impegno civile dei fisici nucleari durante la guerra fredda: il caso italiano

**ROSSI, Paolo**

I fisici italiani e la bomba atomica

***Session: History and didactics of physics and astronomy: Part 1***

Conveners: Ivana Gambaro

**RAMPAZZO, Roberto**

C’erano una volta le nebulose. Episodi del viaggio oltre i bastioni della Galassia

**MONTI, Francesca**

Introdurre la cosmologia come scienza sperimentale e osservativa intrecciando storia ed esperimenti: dalla scarica dell’elettroscopio alla camera di Wilson

**GILIBERTI, Marco**

Principles and Equations of Physics

***Session: Physics and diplomacy: a chain reaction: Part 2***

Conveners: Paolo Rossi

**IENNA, Gerardo**

Physicists and Vietnam

**LALLI, Roberto**

From diplomacy to physics and back again: The changing roles of IUPAP in the second half of the 20th century

**LA RANA, Adele**

Nuclear encounters: Italian and German physicists during WWII

***Session: Planetary theories and astronomical instruments: mechanizations and visualizations between geocentrism and heliocentrism (1400-1700): Part 2***

Conveners: Flavia Marcacci

**KOREY, Michael**

Of anomalous planets and heavenly mechanisms: Realizing true Ptolemaic motion with wondrous gearing

***Session: Women, Sciences, Scenario: Part 1 Co-organized by SISS***

Conveners: Erminia Irace

**FOCACCIA, Miriam**

Raffaella Simili: in memoriam

**FAVINO, Federica**

Caterina Scarpellini (1808-1873): a woman astronomer on the Campidoglio

**BATTIMELLI, Giovanni**

Daria e Nella: due donne nella fisica romana del Novecento

***Session: Early modern Physics and astronomy***

Conveners: Lucio Fregonese

**ROSSI, Elisabetta**

The unpublished physical and astronomical notes of the Accademia del Cimento

**LOVISETTI, Luisa**

Venus moon: an astronomical tale of illusions and deceptions

**BUSSOTTI, Paolo**

The concept of inertia in Huygens

***Session: Women, Sciences, Scenario: Part 2 Co-organized by SISS***

Conveners: Valeria Zanini

**FOCACCIA, Miriam**

Bologna in the eighteenth century: a 'Paradise' for women

**ANTONELLI, Francesca**

Between the salon and the laboratory (and beyond). The "new chemistry" of Marie-Anne Paulze-Lavoisier (1758-1836)

**CAMPANILE, Benedetta**

"Qui siamo tutti astronomi"?

***Session: Planetary theories and astronomical instruments: mechanizations and visualizations between geocentrism and heliocentrism: Part 3***

Conveners: Giancarlo Truffa

**STRANO, Giorgio**

What is an "armillary sphere" and what it is not: The case of the great armillary instrument by Antonio Santucci of 1588-1593

***Session: Twentieth Century Physics and Astronomy: Part 1***

Conveners: Giancarlo Truffa

**TUCCI, Pasquale**

Historical reconstruction and personal recollections in the Memoirs of Dilworth/Occhialini

**GIANNETTO, Enrico**

On Eduardo R. Caianiello's cybernetic physics

***Session: Collections, exhibitions and material culture for the history of physics and astronomy: Part 1 (11:10-12:25)***

Conveners: Roberto Mantovani

**CORRADINI, Elena**

A possible future for the Physics museums in Italy: the National museum system

**IANNONE, Vincenzo**

About the collections and exhibitions of physics and astronomy at the Museum of science and technology in Milan (MUST)

**GASPERINI, Antonella**

A "Cosmic Touch": a project for the enhancement of INAF's historical astronomical atlases

***Session: Planetary theories and astronomical instruments: mechanizations and visualizations between geocentrism and heliocentrism (1400-1700): Part 4***

Conveners: Fabrizio Bonoli

**ERCOLI, Simonetta**

Father Egnatio Danti and Perugia

**AMABILE, Alessandro**

A new look at the Antikythera mechanism

**CIOCCI, Argante**

Federico Commandino and Ptolemy's De analemmate

***Session: Physics and other sciences***

Conveners: Enrico Giannetto

**CAPECCHI, Danilo**

Between acoustics and music: Two letters of Giovanni Battista Benedetti to Cipriano de Rore

**OLEKSOWICZ, Michal**

Physics for neuroscience: the story of Huxley and Hodgkin before any interpretation

**COMOTTI, Francesco**

The noise/disturbance uncertainty as a paradigm of scientific controversy

**DRAGO, Antonino**

The hidden history of classical symmetries: their link with intuitionist logic

**ESPOSITO, Salvatore**

Subterranean electric fire: Giuseppe Saverio Poli and the first Italian way to scientific studies of seismology

***Session: Twentieth Century Physics and Astronomy: Part 2***

Conveners: Roberto Lalli

**GASCO, Enrico**

The model of thin shell in general relativity

**BUZZONI, Alberto**

Luigi G. Jacchia: from the starry skies of Loiano to the American Moon race of the 60's

**FURLAN, Stefano**

Trespassing Boundaries in Tartu, 1962: Pontecorvo, Zel'dovich and the future of astrophysics

**NADDEO, Adele**

On Stanley Deser's role in the development of quantum gravity

**DI MAURO, Marco**

A Glimpse into Feynman's contributions to the debate on the foundations of quantum mechanics

***Tavola Rotonda. Quale futuro per la storia delle discipline scientifiche? Prospettive e sinergie tra cultura, scuola e ricerca***

Presenters: Borgato, Maria Teresa; Esposito, Salvatore; Fano, Vincenzo; Martelli, Matteo; Michelini, Marisa

***Session: History and didactics of physics and astronomy: Part 2***

Conveners: Salvatore Esposito

**PAGANO, Angelo**

Apparenza e realtà della forza centrifuga: una questione didattica ancora attuale

***Session: Collections, exhibitions and material culture for the history of physics and astronomy***

Conveners: Anna Giatti

**STRAULINO, Samuele**

Rossi's coincidence circuit: a reconstruction for educational purposes, with period instruments

**FRIGO, Andrea**

Ancient collection of scientific instruments from Franciscan's didactic laboratories in Umbria: how Franciscan friars taught physics and astronomy from the early 19th century until now

**ADDABBO, Claudia**

Astronomy and Physics in the photographs of the National Exhibition of the History of Science of 1929

***Session: Physics and technology***

Conveners: Luca Gammaitoni

**DE FRENZA, Lucia**

Evolution of induction machines technology in the Nineteenth Century

**PINTO, Fabrizio**

The Johansson blocks: Guns, cohesion, and market disruption

**DURLO, Andrea**

Carbon Nanotubes Studies into Historiography of Nanoscience-Nanotechnology



## Preface

The normalisation of the difficult health situation, which had suggested holding the National Congress 2020 online and reducing participation at the 2021 Congress, finally made it possible to fully resume the tradition of annual meetings of the SISFA, Società italiana degli storici della fisica e dell'astronomia (Italian Society of Historians of Physics and Astronomy). We picked up right where we left off, namely the organisation of the Society's 42<sup>nd</sup> National Congress at the University of Perugia, an organisation that had already been started (for the previous conference) shortly before the outbreak of the COVID 19 pandemic. The special dedication of the organisers – first and foremost the local committee – has produced the right atmosphere that has always characterised our annual meetings, leaving indelible marks in the socio-cultural sphere of the Perugia area, as is the tradition of SISFA conferences.

As a matter of fact, the special event *Dalle sfere armillari alle onde gravitazionali–Antichi e nuovi strumenti scientifici nel Gabinetto di Fisica di Perugia (From armillary spheres to gravitational waves – Ancient and new scientific instruments in the Physics cabinet of Perugia)* not only brought to light the ancient collection of scientific instruments of the Perugia Studio (including an armillary sphere by Girolamo della Volpaia from 1575, which is a true jewel), but also created the conditions for this collection to be exhibited to the public: students, lecturers and researchers from the Department of physics and geology that guarded these treasures. A special session on astronomy and physics in Perugia then revealed to all participants the rich scientific and cultural heritage that the Umbrian city has exhibited over time to the present day.

The organisation of the 42<sup>nd</sup> SISFA congress in Perugia, however, also made it possible to acquaint the entire citizenry with some important moments in the history of science both locally and nationally: I will only mention here that moving evening public event at the Museo archeologico nazionale dell'Umbria (National archaeological museum of Umbria) on the work and vicissitudes of the physicist Bernard Dessau, who saw the city of Perugia as a major player in the early part of the 20th century.

In a more strictly 'canonical' sphere for the scholars of the history of physics and astronomy who attended the meeting, the numerous anniversaries of the year 2022 stimulated several special sessions. First of all, the one dedicated to the transition from geocentrism to heliocentrism (on the occasion of the Copernican anniversary), with a particular focus on the role played by astronomical instruments between the 15th and 17th centuries and on the broader social, cultural and political contexts. The role of instruments and observations in the evolution of the understanding of the cosmos was, on the other hand, the subject of another special session, dedicated to studies on cosmological theories before and after Hubble. The interrelations between astrophysics and cosmology in the 20th century were highlighted. The anniversary of the first realisation of a controlled nuclear chain reaction then provided an opportunity to reflect on the role of physics and physicists in international relations after the Second World War, with particular reference to so-called *nuclear diplomacy*. In this regard, the presentation at the POST Museum of the new edition of the volume *Da via Panisperna all'America: I fisici italiani e la seconda guerra mondiale* also revived – with the presence of the volume's editors – the knowledge of the disastrous situation for Italian science at the end of the devastating war.

The long-standing collaboration with the SISS (Italian society for the history of science) has resulted in the organisation of a special session at this conference on Women, science, scenarios focusing on a number of female figures (or groups) of female scientists, from the ones who worked in Bologna in the 18th to the women of Roman physics in 20th century and beyond. A moving remembrance has been dedicated to the dear departed historian of science Raffaella Simili, who recently passed away.

The richness of our Conferences, however, is not limited to special sessions, and the reader of these proceedings will be able to grasp the variety and depth of the research and studies presented at the 42<sup>nd</sup> National Congress. They ranged over all the traditional areas in which SISFA usually operates, not forgetting the interactions between teaching and the history of physics and astronomy. And not forgetting the now traditional SISFA degree prize, which shows time and again that talented young scholars in the history of physics and astronomy exist in our country, despite the intrinsic difficulties experienced by all.



Collateral social events were proposed once again in full force after the forced stop of the past two years. These events finally fostered and consolidated those interpersonal relations that have uninterruptedly expressed the vitality of our Society and of the studies that members and sympathisers (of all ages and backgrounds) pursue with undiminished passion, and which can only partially be savoured in reading these pages. The most heartfelt thanks go, therefore, to all those who made the technical and scientific organisation of this conference possible, starting with the Local Committee and ending with all those who contributed in various ways to the success of the Congress, not least the members and participants. To all of them I would like to express the gratitude of the society, of its board and my own personal gratitude.

Finally, it is probably superfluous to mention that the historical memory of our congresses is also perpetuated thanks to the substantial work of the editors of the proceedings. Therefore, I feel it is my particular duty here to thank Paolo Bussotti, Danilo Capecchi and Pasquale Tucci for their indispensable work on behalf of our community. All that remains, then, is to leave you with the result of their work and wish you a good read!

*Salvatore Esposito*  
SISFA President

# Table of Contents

## FROM HERSCHEL TO HUBBLE: A LONG DEBATE

### From Santini to GAIA:

#### the improvement of the modern astrometric data with the use of XIX century stellar catalogues

Di Giacomo Federico, Zaggia Simone, Zanini Valeria..... 2

### Jacques Merleau-Ponty, pioniere di un approccio storico-filosofico alla cosmologia moderna

Macchia Giovanni..... 10

## PLANETARY THEORIES AND ASTRONOMICAL INSTRUMENTS: MECHANIZATIONS AND VISUALIZATIONS BETWEEN GEOCENTRISM AND HELIOCENTRISM (1400-1700)

### Federico Commandino and the Latin edition of Ptolemy's *De analemmate*

Ciocchi Argante..... 19

### Padre Egnatio Danti e Perugia

Ercoli Simonetta..... 27

### Models for Mercury and the *theorica* of Girolamo della Volpaia

Marcacci Flavia..... 32

### The models of the orb of Mercury made by Girolamo Della Volpaia: Perugia and Chicago

Truffa Giancarlo..... 40

## ASTRONOMY AND PHYSICS IN PERUGIA

### Between physics and astronomy in Perugia's history. Part I: The first centuries

Busso Maurizio, Conti Lino..... 49

### Between physics and astronomy in Perugia's history.

#### Part II: The Galilean revolution and its echo in Umbria

Conti Lino, Busso Maurizio..... 58

### Il Congresso SISFA 2022:

#### una stimolante opportunità per il Dipartimento di fisica e geologia dell'Università di Perugia

Carlotti Giovanni..... 65

### Per una storia della Fisica a Perugia:

#### tra specializzazione; politica culturale e rapporti con le altre discipline

Maovaz Marco..... 69

## PHYSICS AND DIPLOMACY: A CHAIN REACTION

### "We must opt for survival.

#### No substitute for negotiation".

### Alcune riflessioni sull'impegno civile dei fisici nucleari durante la guerra fredda: il caso italiano

Clavarino Lodovica..... 77

### I fisici italiani e la bomba atomica

Rossi Paolo..... 88

## HISTORY AND DIDACTICS OF PHYSICS AND ASTRONOMY

### Principles and equations of physics

Giliberti Marco ..... 94

### La formazione degli insegnanti: un urgente impegno a cui assolvere

Michelini Marisa ..... 101

### Appearance and reality of centrifugal force: A still current educational question

Pagano Angelo, Pagano V. Emanuele ..... 109

### C'erano una volta le nebulose... Episodi del viaggio oltre i bastioni della Galassia

Rampazzo Roberto, Zanini Valeria ..... 116

## WOMEN, SCIENCES, SCENARIO (CO-ORGANIZED BY SISS)

### “Qui siamo tutti astronomi”? *Les petites mains*

Campanile Benedetta ..... 125

### Donne e scienza a Bologna nel XVIII secolo

Focaccia Miriam ..... 134

## EARLY MODERN PHYSICS AND ASTRONOMY

### Huygens's concept of inertia

Bussotti Paolo ..... 141

### Venus moon: an astronomical tale of illusions and deceptions

Loviseti Luisa ..... 147

## TWENTIETH CENTURY PHYSICS AND ASTRONOMY

### Luigi G. Jacchia: From the starry skies of Loiano to the American moon race of the 60's

Buzzoni Alberto, Bònoli Fabrizio, Mandrino Agnese, Pisana Giuseppe ..... 156

### A glimpse into Feynman's contributions to the debate on the foundations of quantum mechanics

Di Mauro Marco, Esposito Salvatore, Naddeo Adele ..... 163

### On Stanley Deser's role in the development of quantum gravity

Di Mauro Marco, Naddeo Adele ..... 170

### Trespassing boundaries in Tartu, 1962: Zel'dovich, Pontecorvo and the future of astrophysics

Furlan Stefano ..... 177

### The model of thin shell in general relativity

Gasco Enrico ..... 183

### Sulla fisica cibernetica quantistica di Eduardo R. Caianiello

Giannetto R.A.C. Enrico ..... 190

### Historical reconstruction and personal recollections in the Memoirs of Dilworth/Occhialini

Tucci Pasquale ..... 197

## COLLECTIONS, EXHIBITIONS AND MATERIAL CULTURE FOR THE HISTORY OF PHYSICS AND ASTRONOMY

### Il futuro dei musei di Fisica: il Sistema museale nazionale

Corradini Elena ..... 205

<b>About the collections and exhibitions of physics and astronomy at the Museum of Science and Technology in Milan (MUST)</b>	
Iannone Vincenzo.....	214
<b>Rossi's coincidence circuit: a reconstruction for educational purposes, with period instruments</b>	
Carlà Marcello, Giatti Anna, Poggi Giacomo, Straulino Samuele .....	222
<b>PHYSICS AND OTHER SCIENCES</b>	
<b>Between acoustics and music: Two letters of Giovanni Battista Benedetti to Cipriano de Rore</b>	
Capecchi Giulia, Capecchi Danilo.....	231
<b>The other side of the history of symmetries. Their link with intuitionist logic</b>	
Drago Antonino.....	239
<b>PHYSICS AND TECHNOLOGY</b>	
<b>Evolution of induction machines technology in the Nineteenth Century</b>	
De Frenza Lucia.....	247



# Proceedings



## FROM HERSCHEL TO HUBBLE: A LONG DEBATE



# From Santini to Gaia: the improvement of the modern astrometric data with the use of XIX century stellar catalogue

Federico Di Giacomo<sup>1</sup>, Simone Zaggia<sup>2</sup>, Valeria Zanini<sup>3</sup>

<sup>1</sup> INAF – Osservatorio Astronomico di Padova, [federico.digiacomo@inaf.it](mailto:federico.digiacomo@inaf.it)

<sup>2</sup> INAF – Osservatorio Astronomico di Padova, [simone.zaggia@inaf.it](mailto:simone.zaggia@inaf.it)

<sup>3</sup> INAF – Osservatorio Astronomico di Padova, [valeria.zanini@inaf.it](mailto:valeria.zanini@inaf.it)

*Abstract:* Hipparcos and GAIA missions have revolutionized modern astrometry. With EDR3, GAIA allowed milliarcsec accuracy on positions, parallaxes, and proper motions for over 1 billion objects over  $\sim 15$  mag of dynamic range. However, GAIA offers poorer astrometry for the brightest sources ( $G < 5$ ). A possible way to improve the astrometric knowledge about these objects is to analyze historical astrometric catalogues with a long baseline time ( $> 150$  yr.). In this framework, the five Paduan Catalogues, obtained by Giovanni Santini from 1836 to 1863, can play an important role. These catalogues, one of the most important works of classical astronomy accomplished during the XIX century in Italy, collect the positions and visual magnitudes of over 10,000 stars down to magnitude 10, observed with the Starke’s Meridian Circle of the Padua Observatory. In this paper, we will describe the analysis conducted on these catalogues, already praised for their great precision at the time. The first results show that the data collected by the Paduan astronomers were very accurate and could now make it possible to update the positions and proper motions of the brightest stars observed by GAIA. Furthermore, it will be possible to carry out a specific study about some stars which show variability or anomalous movements from the mid-XIX century to the present.

*Keywords:* Astrometry, Gaia, Meridian circle

## 1. Introduction

Astrometry is a branch of astronomy that involves precise measurements of the positions and movements of stars and other celestial bodies. The history of astrometry is a long and complex chronicle, which has its origins in the first astronomical observations made more than two thousand years ago, extending to the most modern observations made from space. Over the past four centuries, during which position accuracy has grown logarithmically over time, the distances to the nearest stars were triangulated, making use of the extended measurement baseline given by the Earth’s orbit around the Sun. This led to quantifying the extraordinary vast scale of the Universe, to a determination of the physical properties of stars, and the resulting characterization of the structure, dynamics, and origin of our Galaxy (Perryman, 2012).

Astrometry has been entirely revolutionized by the modern ESA space missions Hipparcos (active from 1989 till 1993) and Gaia (launched in 2013 and still active). With the recent release of EDR3, Gaia allowed milli-arcsec (mas) precision on the positions, parallaxes and proper motions of more than 1 billion objects down to a faint limiting magnitude of  $\sim 20$ . However, in Gaia stars brighter than  $G \sim 5$  are saturated on the detectors. The huge dynamical range of  $\sim 15$  mag from the brightest to the faintest sources has been obtained thanks to the adoption of several different techniques: different readout modes, called window classes, and even different exposure times, which are implemented through “gatings”. Even with these different approaches, Gaia offers poorer astrometry for the bright sources ( $G < 5$ ) which is mainly reflected in a systematic offset of the reference frame. One way overcome this problem has been proposed with the UBAD catalogue which used neutral density filters with up to 12.5 mag of attenuation to obtain astrometric positions of bright objects with a median positional error of

1.9mas in both right ascension and declination (Munn *et al.* 2022). This approach is limited because it is coeval to the Gaia measurements and does not give a long-term monitoring of the stellar motions. A different approach is based on the analysis of historical astrometric catalogues with a long-term baseline (>170 years) which may help to improve astrometric parameters of the stars. In this case, the availability of the five Paduan catalogues carried out by Santini in the nineteenth century with the Meridian Circle of the Padova Observatory over 30 years of observations could help improve our long-term knowledge on the specific quantities provided by modern astrometric catalogues.

## 2. The Paduan Catalogue

From 1836 until 1863, Giovanni Santini (1787-1877), the director of the Astronomical Observatory of Padua, and his assistant astronomer Virgilio Trettenero (1822-1863), used the Meridian Circle to carry out the observations which led to the five Paduan Catalogues, published in the *Atti dell'Accademia di Padova* and in the *Memorie dell'Istituto Veneto di Scienze, Lettere e Arti*.

The first of the five Paduan catalogues was published in 1840, and the later in 1847, 1857, 1862 and 1870. All the catalogues include the position, magnitude, and annual variation for precession for more than 10,000 stars up to 10th magnitude, at a maximum declination of  $\pm 15^\circ$  around the celestial equator. Only the early death of Trettenero prevented the completion of the work for the entire celestial vault visible from Padua.

The main reason that prompted the director of the Observatory of Padua to undertake this long and meticulous work was that Santini did not have a catalogue that provided him with accurate coordinates for enough reference stars to calculate the motion of comets, asteroids, or planets. Indeed, the orbit of a celestial body was determined by measuring its distance, in right ascension and declination, from the background stars it was approaching during its motion in the sky. For these reasons, Santini decided to start a long-term survey to create a high-precision positional stellar catalogue of stars.

The observations were made by dividing the sky into zones of declination spanning two degrees, then proceeding in right ascension from 0 to 24h for each zone, so that at least one star was encountered every 7 or 8 minutes for each declination. Each star was observed for three successive evenings, recording its passage for each of the five threads of the micrometer and reading the corresponding height measurement on all four verniers. The right ascension measurements were provided by a pendulum clock, set to sidereal time, which had been made in 1825 by the mechanic of the Observatory Giuseppe Stefani. The systematic correction to the measurement of time deduced from the observations of the fundamental stars was applied to the average of the five threads passages. In this way the apparent right ascensions were determined. The mean value of the four verniers, instead, was corrected for atmospheric refraction, calculated with the Carlini<sup>1</sup> tables, and for the systematic error of the spirit level. The zenithal distance thus obtained, after the comparison with the position of the instrumental pole deduced from the observations of the Polar Star and of the fundamental stars of that day, then provided the apparent declination.

The whole observing procedure was repeated constantly every possible night. The observations began shortly after sunset and lasted about a couple of hours, making it possible to determine the positions for about twenty stars in the evening. At the end of the observation phase, all the measurements were brought back to the true position and reduced to a fixed epoch, January 1, 1840, for the first two catalogues and January 1, 1860, for the remaining ones. The observational and the reduction processes are accurately described in the introduction of the first excerpt of the catalogue (Santini, 1840).

---

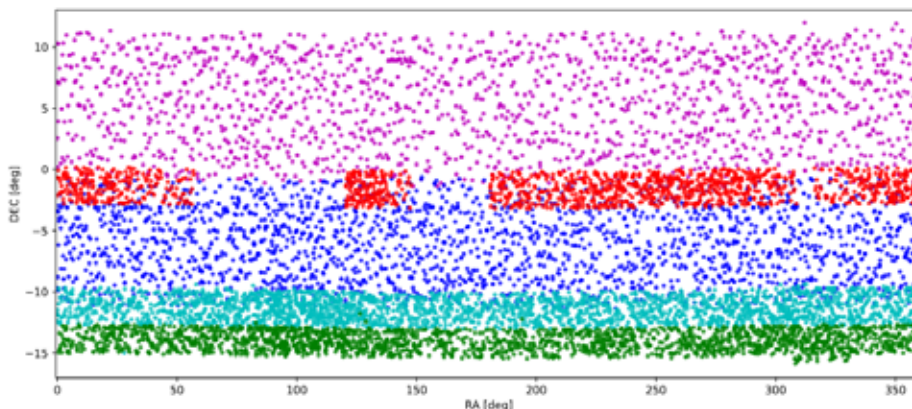
<sup>1</sup> Francesco Carlini (1783-1862) was astronomer at the Brera Astronomical Observatory and was in charge of the *Astronomical Ephemeris* of Milan.

### 3. The data analysis

#### 3.1 General analysis of the Paduan catalogue

The first step of our analysis was the study of the characteristics of the catalogues. In this paper, we will analyze separately the observations made directly by Santini from those of Trettenero. Santini operated between 1837 and 1846 and observed 4153 stars with an average magnitude of 7.53. Trettenero worked between 1855 and 1863, observing 6379 stars with an average magnitude of 8.37. Another difference between the two astronomers was that Trettenero observed each star only 2 times on two different nights; instead, Santini observed each star 3 times on 3 different nights. Nevertheless, the precision of the observations remained very high thanks both to Trettenero’s ability and to a series of instrumental upgrades done on the meridian circle, such as the use of 4 micrometers to read the alidade, the replacement of the air bubble level with a new one, a new lighting system for observing the faintest stars and two additional wires to the micrometer.

The data obtained by the Paduan astronomers, already digitized, were downloaded from the German Astrophysical Virtual Observatory (GAVO).<sup>2</sup> In Fig. 1, the distribution of the stars observed in the various Paduan catalogues, in different colours, is visible. In the last catalogue (red dot), we can see regions without points because Trettenero died before completing his observations.



**Fig. 1.** Distribution of the stars observed in the various Paduan catalogues. The colours represent the different catalogues: purple first catalogue (1837-1840), blue second catalogue (1840-1846), cyan third catalogue (1856-1858), green fourth catalogue (1857-1861) and red fifth catalogue (1861-1863).

#### 3.2 The method

To analyse the precision and scientific content of the Paduan catalogues, we compared them with the Gaia EDR3 data. The EDR3 is equal to the DR3 from an astrometric point of view and contains positions of 1.8 billion stars up to  $G \sim 20.7$ . Furthermore, the radial velocities, the parallaxes and the colour index  $G_{bp} - G_p$  are also known for about 1.5 billion of these stars.

We extracted five sub-catalogues from the entire Gaia catalogue, one for each of the five Paduan ones. To make Gaia’s data comparable with those of the Paduan astronomers, it was necessary to correct the position of the stars for precession and proper motion effects. This was done using the *Astropy library*, a software package written in the Python programming language and designed for use in astronomy. The Gaia data were precessed to the relative reference epoch of Santini (1840 for the first and second catalogues, 1860 for the others). Then both right ascension and declination were corrected for the Gaia proper motions.

<sup>2</sup> <https://dc.zah.uni-heidelberg.de/arigfh/katkat/q/form>

At the end of these transformations, the present-day data of Gaia were in the same reference system as the Paduan ones. A search of all the associations between the two catalogues, with a circular confidence radius of 5 arcsec, was performed starting from this data. Table 1 shows the number of associations between Gaia and Paduan catalogues.

**Table 1:** Paduan catalogues – Gaia Association

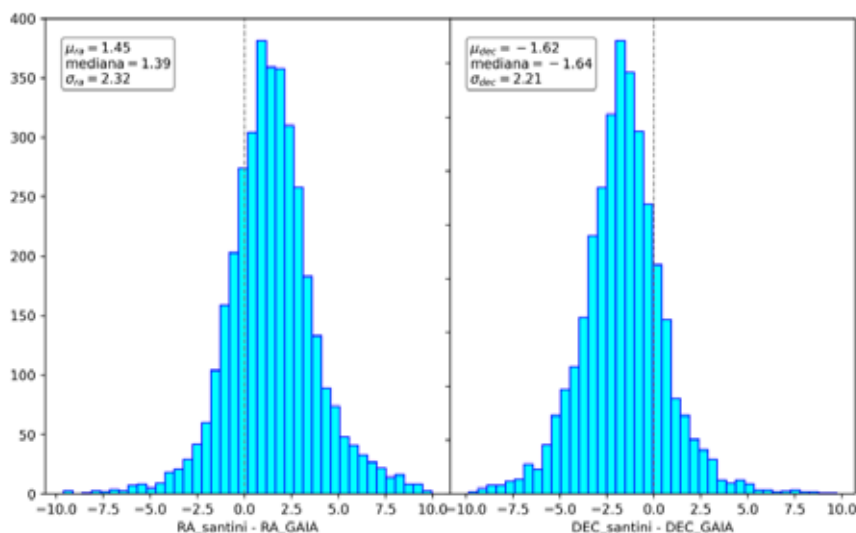
	n. of stars	n. of stars with association	n. of stars without association
Santini	4153	3624	529
Trettenero	6379	6178	201

### 3.3 The data analysis

#### 3.3.1 Santini data

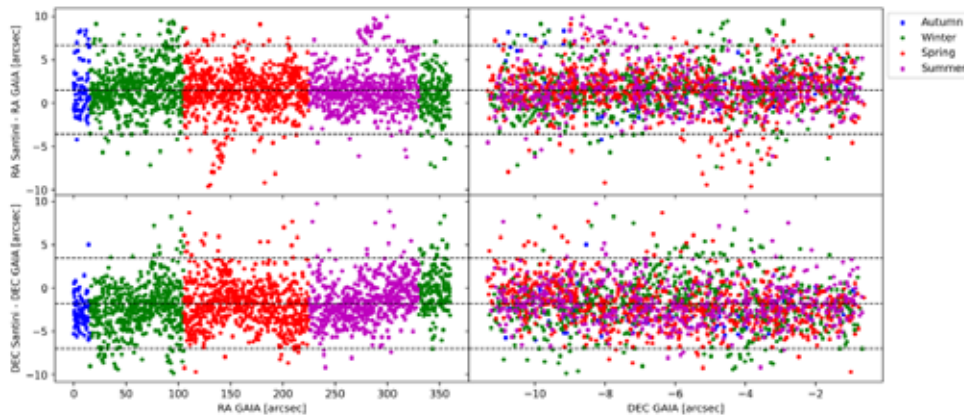
In the first part of our work, we analyse the residuals (the difference between Santini’s coordinates and the Gaia ones) in the first and second Paduan catalogues performed directly by Santini.<sup>3</sup>

Fig. 2 shows the distribution of the residuals in Right Ascension (RA) and Declination (DEC). As we can see, both histograms follow a Gaussian distribution but there is a detectable offset in both RA and DEC. Precisely,  $\Delta RA = +1.35''$ , and  $\Delta DEC = -1.46''$ . We carried out other plots that show the distribution of the residuals as a function of both coordinates and season (Fig. 3) for exploring the causes of these offsets. The graph shows that the greatest residuals occur in the transition from the cold to the hot season. This suggested the presence of some seasonal effects. However, applying the same analysis to the Piazzzi and Weiss catalogues, made in different periods and other places, a similar trend is highlighted, so this first hypothesis was discarded. A second hypothesis, currently under study, is that Santini, unlike Gaia, did not use any standard coordinate system (FK or ICRS). The lack of a standard reference system by Santini and a possible error in the determination of the reference stars and/or in the transformation constants could explain this trend.



**Fig. 2.** Distribution of the residuals for right ascension (left plot) and declination (right plot).

<sup>3</sup> In the last part of the second catalogue, Santini, who had just lost his wife, was replaced by his assistant Gaetano Pietropoli. This change of observer affected the precision of the observations as this second catalogue is the one with the greatest error (about 2’’).



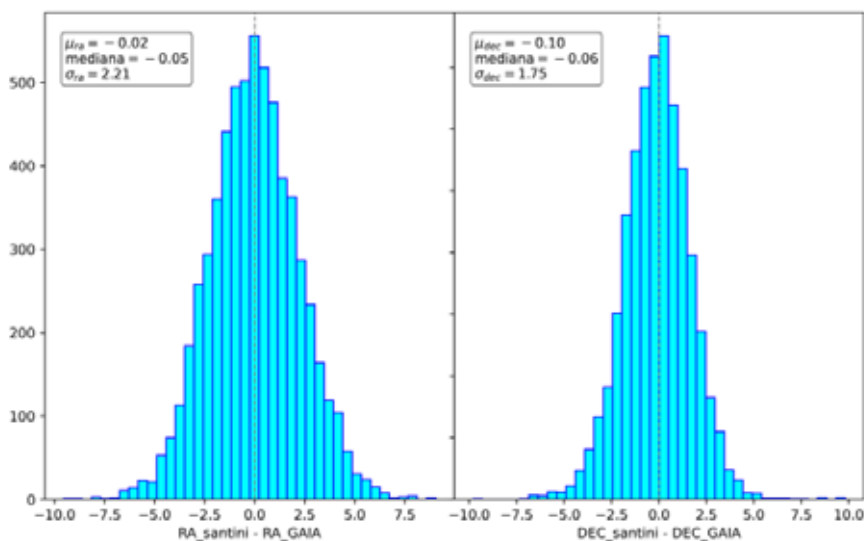
**Fig. 3.** Distribution of the residuals as function of RA (left plot) and DEC (right plot). The different colours represent the different seasons - see the legend on the top right.

After determining and analysing the offsets, we provided to eliminate the systematics from the observational data, so we applied a cubic spline. Finally, the sigma-clipping method, with a 2.0 sigma cut, has been applied to calculate the true error. Adding in quadrature the two sigmas, we obtained an overall rms=1.68".

Comparing this value with those obtained by Lequeux (2014) for the catalogues of Bradley and Piazzini, we can see that Bradley has an error of 3.59" while Piazzini shows an error of 4". For this reason, we can say that the Santini catalogues would be more accurate than Piazzini's and Bradley's ones by an arcsec and a half. The conditional should be applied since the analysis by Lequeux was made on a sample of the two historical catalogues with the astrometric measurements of the Hipparcos mission.

### 3.3.2 Trettenero data

Between 1855 and 1863, Trettenero made the observations which form the third, fourth and fifth Paduan catalogues. The same analysis previously described was performed for them. Fig. 4 shows the distribution of residuals. Both histograms follow a Gaussian distribution with a very little offset:  $\Delta RA = -0.02''$  and  $\Delta DEC = -0.10''$ .



**Fig. 4.** Distribution of the residuals for right ascension (left plot) and declination (right plot).



Comparing these data with those of Santini, we see a similar distribution of the residuals but with a much smaller offset. This is probably due to the instrumental implementations made at the meridian circle (Santini 1857a). In addition, Trettenero used the London *Nautical Almanac* to determine both the instrumental pole and the clock correction. Santini, instead, used the stars of the Bessel catalogue. This could explain the lower residuals in the data of Trettenero compared to Santini.

As before, these offsets were subtracted in both RA and DEC to determine the errors in the data obtained by Trettenero. Lastly, the sigma clipping method was applied to calculate the final error on these data. Using the same equation described before, we obtain an overall error of  $1.74''$ . Comparing these data with those obtained by Santini, we can see that the error is similar,  $1.68''$ , but with a nearly zero offset of the Trettenero catalogues.

Overall, the precision of the measurements reached by Santini and Trettenero observations performed over 30 years are the testimony of the maximum precision achievable with the best instrumentation available at the time and testify the care and attention with which the Paduan astronomers carried out their work.

### 3.4 The proper motion analysis

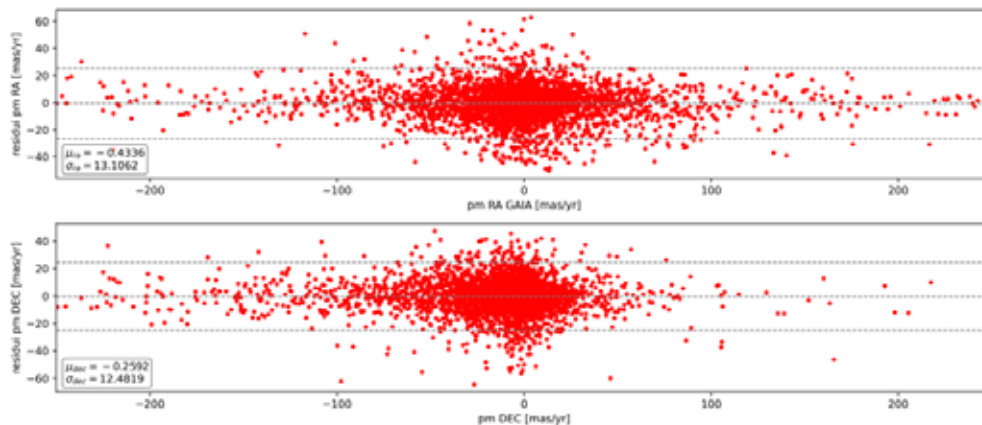
Having been characterized the content and the precision of the catalogues of Santini and Trettenero, we performed a very simplified analysis of the proper motions (pm). To obtain the pm of each star we compared the position given by Santini/Trettenero with the position measured by Gaia precessed at the epoch of the Paduan catalogues divided by the difference between the two epochs as in the following equation:

$$pm(RA, DEC) = \frac{[Santini (epoch 1840.0) - Gaia (epoch 2016.0)]}{176.0}$$

for the first and second catalogue, and

$$pm(RA, DEC) = \frac{[Santini (epoch 1860.0) - Gaia (epoch 2016.0)]}{156.0}$$

for the other catalogues. Of course, the positions of Santini and Trettenero were corrected for the systematic offsets before calculating the pm.



**Fig. 5.** Distribution of the proper motion residuals vs proper motion measured by Gaia.

In Fig. 5, we show the comparison of the pm obtained with the previous formulas with the pm given by Gaia. We can see that the measurements obtained with values larger than  $|pm| > 40$  mas/yr are in good

agreement with those measured by Gaia. Indeed, with a positional error of  $\sim 1.7''$  for the five Paduan catalogues and the very long-term difference of the two observational epochs of  $\sim 170$  years it will be possible to obtain a pm with a median error of  $\sim 10$  mas/yr.

There can be margins of improvements if more data from other historical catalogues, such as that of Bessel or Piazzi, are used together creating a model that describes the motions of the stars, allowing us to obtain a more stable solution over the long term. Furthermore, using a database of over 150 years old there is an interesting opportunity to investigate the positions of the brightest stars and the presence of possible particularities in their proper motion, allowing an improvement of current astrometric data.

#### 4. Conclusion

The results of the analysis presented here demonstrate the high quality of the observations made by Santini and Trettenero, obtained with the state-of-the-art instrumentation and observational techniques of the epoch, without any photographic aid and reduced with only manual calculations. The Santini and Trettenero precision of  $\sim 1.7''$  after correcting for systematics, underlines that the data obtained by the Paduan astronomers are better than those of Bessel (with typical errors above  $2''$ ) but with significantly improved systematic offsets (especially the catalogues of Trettenero). Fig. 6 follows Lequeux and shows the astrometric accuracy of star catalogues in the last 700 years. Here, we add the position of the Paduan catalogue, and it can be seen that this is in line with the contemporary ones.

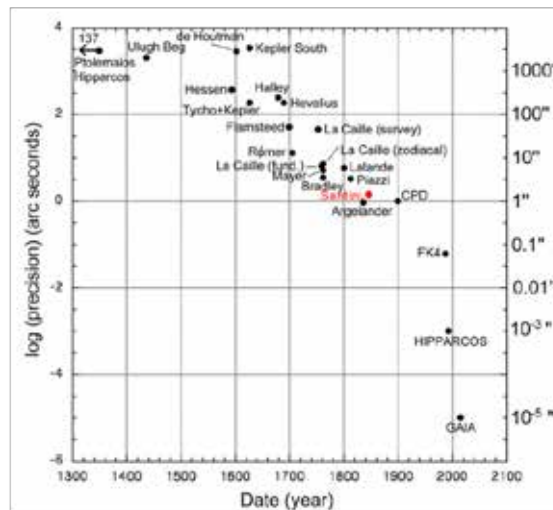


Fig. 6. Accuracy of astrometric catalogues as a function of time.

In the future the same approach can be applied to other historical positional astrometric catalogues, as was done only marginally by Lequeux who compared a limited sub-sample of the objects in those catalogues with Hipparcos. The availability of several different catalogues of various epochs can indeed improve our knowledge of the motions of the brightest stars: having the data of Santini, Bessel, Piazzi and others properly characterized together with modern epoch Hipparcos and Gaia it could be possible to create a model to calculate the proper motions. In conclusion, applying this analysis to historical datasets could improve the astrometric parameters of the stars, specifically the brightest ones, revealing the presence of possible particularities in their proper motion and allowing an improvement of current astrometric data.

## Bibliography

- Gaia collaboration, (2021). “Gaia Data Release 3: Summary of the content and survey properties”. *A&A* 43940(22), pp. 1-23.
- Lequeux, J. (2014). “From Flamsteed to Piazzzi and Lalande: new standards in 18th century astronomy”, *A&A* 567, A26, pp. 1-9.
- Perryman, M. (2012). “The history of Astrometry”, *EPJ h* 37, pp. 1-52.
- Santini, G. (1840). “Posizioni medie delle stelle fisse ridotte al principio dell’anno 1840 disposte in zone di 2° in 2° gradi rapporto alle loro declinazioni per servire alla formazione di un nuovo catalogo dedotte dalle osservazioni fatte nell’I. R. Osservatorio di Padova”, *Nuovi saggi dell’Accademia di Padova*, V, pp. 50-112.
- Santini, G. (1840). “Continuazione della Memoria inserita nel Volume precedente”, *Nuovi Saggi dell’Accademia di Padova*, VI, pp. 233-312.
- Santini, G. (1840). “Posizioni Medie di 2706 Stelle pel 1° Gennajo 1860 distribuite nella Zona Compresa fra 10° e 12° 30’ di declinazione australe dedotte dalle Osservazioni fatte negli Anni 1856-57-58, nell’I. R. Osservatorio di Padova”, *Memorie dell’I.R. Istituto Veneto di Scienze Lettere e Arti*, VII, pp. 311-392.
- Santini, G. (1840). “Posizioni Medie di 2246 Stelle nella Zona Compresa fra 12° 30’ e li 15° di declinazione Australe dedotte dalle Osservazioni fatte dal Sig. Trettenero nell’I. R. Osservatorio di Padova negli Anni 1857-58-59-60-61”, *Memorie dell’I.R. Istituto Veneto di Scienze Lettere e Arti*, X, pp. 231-308.
- Santini, G. (1840). “Posizioni Medie di 1425 Stelle pel 1° Gennajo 1860 distribuite nella Zona Compresa fra 0° e 3° di declinazione australe dedotte dalle Osservazioni fatte dal defunto prof. Trettenero nel R. Osservatorio di Padova a datare dal 18 aprile 1861 fino al 3 febbrajo 1863”, *Memorie dell’I.R. Istituto Veneto di Scienze Lettere e Arti*, XV, pp. 329-374.
- Zanini, V. & Zaggia, S. (2016). “Giovanni Santini, the Meridian Circle and the Paduan Catalogues: the top of classical astronomy in the XIX century in Italy”, in *Atti del XVIII Congresso nazionale SISFA*, Napoli, 4-7 ottobre 2016. Pavia: Pavia University Press, pp. 233-241.



## Jacques Merleau-Ponty, pioniere di un approccio storico-filosofico alla cosmologia moderna

Giovanni Macchia

Università di Urbino, [giovanni.macchia@uniurb.it](mailto:giovanni.macchia@uniurb.it)

*Abstract:* Jacques Merleau-Ponty (1916-2002) was a French philosopher and historian of science, professor of epistemology at the University of Paris X-Nanterre since 1967, for years president of the French Philosophical Society, and a great supporter of the dialogue between philosophy, history and science. Attracted from physics from his early studies, he, on the advice of his more famous cousin Maurice, turned to philosophy to face the physics revolutions of the twentieth century, entering, in particular, the school of science which in the 1950s was the newest and challenging: relativistic cosmology. And he did it in 1965 with a book born from his doctoral thesis: *Cosmologie du XX<sup>e</sup> siècle. Étude épistémologique et historique des théories de la cosmologie contemporaine*. In this text, of rare and elegant historical-scientific-philosophical competence, the most recent cosmological hypotheses dialogue in a masterly way with philosophical thought, in an authentic exchange, focusing on the epistemological status of this peculiar science, on the methodologies of its protagonists, on the ontological consequences of its concepts. Unfortunately, this text has not received the deserved international recognition, perhaps due to some unfortunate editorial contingency, since it has never been translated into English, but only in Italian and Spanish. Actually, much of his most recent work (on the history of physics and astronomy as well) has remained confined to the French sphere. This is a serious shortcoming for a field of research that, by its nature, requires a deep historical-philosophical understanding, which is often lacking. I think we should recover this scholar.

*Keywords:* Jacques Merleau-Ponty, Cosmology, History and Philosophy of Cosmology

### 1. Jacques Merleau-Ponty: cenni biografici

Jacques Merleau-Ponty nasce il 26 luglio 1916 a Rochefort-sur-Mer, un comune nel sud-ovest della Francia. Attratto fin dai primi suoi studi dalla fisica, su consiglio del più noto cugino Maurice Merleau-Ponty (1908-1961), di otto anni più grande, esponente di rilievo della fenomenologia francese, si rivolge alla filosofia per affrontare proprio le rivoluzioni della fisica del Novecento, entrando all'École Normale Supérieure di Parigi, dove ottiene l'agrégation in filosofia. Purtroppo, il suo progetto di inserirsi nella "scuola della scienza" che negli anni Cinquanta era la più nuova, difficile e per certi versi instabile, ossia la cosmologia relativistica, viene ritardato dalla guerra.

Infatti, viene mobilitato nel 1939, prima di terminare gli studi, per partecipare alla Seconda guerra mondiale. Nel 1940 è ufficiale di fanteria dell'esercito francese. Nello stesso anno viene fatto prigioniero di guerra, ma riesce a fuggire. Tornato a Parigi, entra a far parte, con la moglie France, di una rete della Resistenza, la rete di fuga Comète delle Forze Francesi Libere. La coppia era incaricata di accogliere gli aviatori alleati caduti nel territorio occupato sotto il fuoco della contraerea o paracadutati in missione, per poi ospitarli clandestinamente nella loro casa. Catturato e arrestato dalla Gestapo, viene condannato a morte dalle autorità di occupazione tedesche e rimane rinchiuso per quasi un anno nella prigione di Fresnes. Viene poi graziato e rilasciato in extremis solo nell'agosto del 1944, grazie all'intervento, a favore dei prigionieri politici, del console svedese Raoul Nordling, zio di sua moglie. Per la loro coraggiosa azione, che ha salvato e aiutato gli aviatori alleati, Jacques e France Merleau-Ponty saranno

insigniti di un encomio nell'ordine delle Forze di Sbarco Alleate, firmato dal comandante in capo, il generale Eisenhower.

Subito dopo la Liberazione, egli intraprende una breve carriera come giornalista presso l'Agenzia *France-Presse* e il giornale francese *Combat* (erede di giornali clandestini della Resistenza francese), e poi come insegnante di filosofia al *Lycée de Beauvais* e poi al *Lycée Louis-le-Grand* di Parigi. In seguito viene nominato ricercatore associato presso il *Centre national de la recherche scientifique* (CNRS), dove prepara la sua tesi di dottorato in filosofia. Da questa risultano i due seguenti libri, entrambi pubblicati nel 1965: la tesi principale, discussa alla Sorbona il 19 giugno 1965, *Cosmologie du XX<sup>e</sup> siècle. Étude épistémologique et historique des théories de la cosmologie contemporaine* (pubblicato da Gallimard), e la tesi secondaria, *Philosophie et théorie physique chez Eddington* (*Les Belles Lettres*). Viene poi nominato docente presso la Facoltà di Lettere dell'Università di Besançon, quindi, ottiene una cattedra di epistemologia all'Università di Paris X-Nanterre, dove insegna fino al suo pensionamento, guidando un dinamico gruppo di dottorandi e ricercatori in epistemologia, filosofia e storia della scienza.

Ha inoltre pubblicato i seguenti libri: *Les trois étapes de la cosmologie* (in collaborazione con l'astronomo Bruno Morando, 1971), *Leçons sur la genèse des théories physiques : Galilée, Ampère, Einstein* (1974), *La Science de l'Univers à l'âge du positivisme. Étude sur les origines de la cosmologie contemporaine* (1983), *Le Spectacle cosmique et ses secrets* (1988), *Einstein* (1993), oltre ad altri articoli, alcuni dei quali in particolare forniscono il materiale per l'ultimo suo volume postumo sulla filosofia e la storia della cosmologia: *Sur la science cosmologique. Conditions de possibilité et problèmes philosophiques* (2003).

Muore a 86 anni, il 7 giugno 2002 a Cepoy, un piccolissimo comune nel centro-nord della Francia.

## 2. *Cosmologia del secolo XX: l'origine del suo capolavoro*

L'opera di Merleau-Ponty, in generale, non ha purtroppo ricevuto i riconoscimenti e la notorietà a livello internazionale che avrebbe meritato. Infatti, i suoi scritti, in originale in francese, non solo non sono stati tradotti in italiano<sup>1</sup>, ma quel che è più spiacevole, almeno per i ricercatori di questo campo di studi che solitamente frequentano testi del mondo accademico anglosassone, nemmeno in inglese<sup>2</sup>. Per questo è molto raro trovarlo citato nei lavori in questa lingua, anche se scritti da studiosi competenti. Questa mancanza, è bene sottolinearlo esplicitamente, non è certo dovuta, per così dire, a deficit di qualità nella sua opera, ma solo a qualche imperscrutabile contingenza editoriale che ha relegato i suoi scritti prevalentemente all'ambito francese, dove invece il loro valore è stato da sempre riconosciuto, anche dopo la sua morte, sia con convegni che con studi specifici<sup>3</sup>. Una vera perdita culturale, in particolare per *Cosmologie du XX<sup>e</sup> siècle* che meriterebbe internazionalmente, ben oltre i confini delle sole Francia e Italia, lo status di classico, anche perché esso è ritenuto essere il capolavoro di questo insigne e appassionato studioso.

Forse nessuno meglio di lui ha potuto misurare la rivoluzione scientifica avvenuta nel ventesimo secolo con l'avvento della cosmologia relativistica. Se si considera, infatti, che il suo primo lavoro di

<sup>1</sup> Sono a conoscenza soltanto di due suoi saggi in italiano, cioè Merleau-Ponty (1972; 1982), oltre a *Cosmologie du XX<sup>e</sup> siècle* che fu tradotto nel 1974 da Il Saggiatore di Milano col titolo di *Cosmologia del secolo XX*. Ormai introvabile, fortunatamente l'editore Mimesis ha deciso di ristamparlo, e quanto state leggendo è un estratto riadattato della mia introduzione.

<sup>2</sup> Solo il suo libro *Les trois étapes de la cosmologie* (scritto con Bruno Morando, Éditions Robert Laffont, Paris, 1971) è stato tradotto in inglese: *The Rebirth of Cosmology*, A. A. Knopf, New York, 1976. Sempre in inglese esistono soltanto, per quanto io ne sappia, tre suoi articoli: Merleau-Ponty (1966; 1977; 1978). È da sottolineare che *Cosmologie du XX<sup>e</sup> siècle* è stato anche tradotto in spagnolo, col titolo: *Cosmología del siglo XX. Estudio epistemológico e histórico de las teorías de la cosmología contemporánea*, Gredos Editorial, Madrid, 1971.

<sup>3</sup> Si vedano, ad esempio, Seidengart e Szczeciniarz (2000), Robredo (2010).

ricerca risale al 1945, quando la cosmologia si stava sviluppando grazie a contributi teorici e avanzamenti osservativi, si può dire che egli abbia partecipato quasi direttamente, attraverso le sue analisi epistemologiche, a questa rivoluzione. Va però sottolineato che, quando egli intraprese i suoi studi per la tesi di dottorato, la cosmologia non era ancora quella scienza accattivante e diffusa che diventerà nei decenni successivi; pochissimi scienziati la padroneggiavano e ancora meno filosofi l'affrontavano epistemologicamente. Il suo progetto, insomma, non era per niente banale: bisognava capire e pensare le scoperte di questa scienza anche piuttosto anomala, non solo perché sostanzialmente nuova nel suo approccio, ma perché si era, per così dire, imposta non solo all'umanità ma agli stessi addetti ai lavori, visto che la "scienza del tutto" era stata, per più di tre secoli, designata come impossibile e perfino proibita dagli stessi scienziati. Infatti, dall'epoca in cui maturò la separazione delle scienze sperimentali dalla speculazione genericamente filosofica, aveva imperato, come aspetto del metodo scientifico, ciò che lo stesso Merleau-Ponty chiama «uno dei più rigorosi comandamenti del catechismo scientifico» (M.-P. 1965, p. 10), al quale la ragione aveva dovuto sottomettersi: «'Non parlare del Tutto' – il diritto cioè di emanar leggi sull'Universo, di tracciarne *a priori* la configurazione, di ricostruirne, al di là del visibile, l'edificio, partendo da suoi elementi opportunamente pensati e misurati» (*ibid.*). Questo divieto era maturato perché i successi delle scienze della natura (soprattutto della fisica) parevano esser dovuti proprio alla capacità di isolare settori della realtà in modo da poterne fare oggetti di studio in condizioni controllate.

Non solo, quindi, la cosmologia era ancora un'iniziativa periferica e pretenziosa nel suo voler parlare dell'intero universo, vale a dire del "tutto", ma anche la relatività generale di Einstein, dai più ritenuta come il suo fondamento fisico, dalla fine degli anni Venti fin verso la fine dei Cinquanta, veniva ancora considerata da molti fisici, inclusi i fisici teorici, come "esoterica", troppo astratta, matematicamente complicata e piuttosto eccentrica rispetto al *corpus* principale della fisica, sempre più incentrato sulla meccanica dei quanti. Per affrontare la cosmologia bisognava, allora, impadronirsi della matematica molto elaborata della geometria differenziale costitutiva della relatività generale, ma anche della fisica atomica e della termodinamica, senza trascurare di comprendere i fenomeni e i dati astronomici più recenti. Insomma, ci volevano grandi competenze, passione, curiosità, coraggio intellettuale e intelligenza per osare avventurarsi in essa, soprattutto provenendo dalla filosofia pura.

Merleau-Ponty, possedendo tutte queste caratteristiche, tipiche del grande studioso, aveva quindi ben capito che per esplorare il territorio della cosmologia con gli strumenti del filosofo bisognava prima dotarsi delle più dettagliate mappe, sia fisiche che storiche, di quel territorio, allo scopo di farne non solo un'analisi epistemologica appropriata, ma anche al fine di estendere poi quell'indagine agli insegnamenti più generali, a livello propriamente filosofico, sulla natura della conoscenza e del mondo. In questo egli fu un vero pioniere, e *Cosmologia del secolo XX* ne è preziosa testimonianza, come ora cercheremo di mostrare attraverso alcune delle questioni che esso tratta.

### 3. Alcune tematiche fisico-filosofiche affrontate da Merleau-Ponty

Se vogliamo riassumere i contenuti di questo libro in una frase, possiamo dire che esso analizza uno dei più profondi mutamenti attuatosi nella concezione umana dell'universo: il passaggio da una visione statica del cosmo, che nemmeno la rivoluzione copernicana aveva intaccato, a una dinamica, all'idea assolutamente inedita, cioè, di un universo che ha avuto un inizio, un'evoluzione e forse anche una fine. D'altronde, l'espansione cosmica, che è il cuore di questa concezione, è per Merleau-Ponty il «più prodigioso fenomeno astronomico mai osservato» (M.-P. 1965, p. 68).

Di quei primi cinquant'anni di cosmologia, egli distingue essenzialmente due grandi tappe: la prima riguarda le ricerche svolte sullo slancio del modello e delle concezioni relativistiche di Einstein, la seconda una cosmologia più indipendente dalla relatività generale. L'aspetto filosoficamente significativo è che queste due tappe non esprimono soltanto differenti modalità fisico-teoriche tese a

modellare scientificamente il nostro universo, ma istanziano al contempo due differenti epistemologie – induttiva, la prima tappa, deduttiva, la seconda – le cui tante conseguenze s’insinuano nell’ossatura del libro, soprattutto nelle sue parti riguardanti i primi anni di quel periodo. Affrontiamo brevemente quelle due tappe.

Secondo il metodo positivista, la scienza si fonda su osservazioni ed esperimenti, e siccome questi riguardano sempre fenomeni localizzati e particolari, sarebbe dovere della scienza estendere la sua indagine induttivamente, dal particolare al generale, quindi dai fenomeni locali a quelli via via che avvengono in domini più estesi. Era essenzialmente questo l’approccio seguito, a partire da Einstein, dai cosmologi della prima generazione (A. Friedmann, G. Lemaître, H. P. Robertson...), i quali, al di là delle differenze che li dividevano, erano d’accordo sul fatto che le equazioni della relatività generale dovessero costituire la base indispensabile alla costruzione dell’edificio cosmologico. Dunque, il modello di universo che cercavano rimaneva sostanzialmente un’operazione di estrapolazione e induzione a partire da una teoria locale quale la relatività generale.

Questo approccio, però, si scontrava con seri interrogativi: le nostre induzioni fino a che punto sono valide? Riescono ad esserlo per quelle zone dell’universo irraggiungibili per le nostre osservazioni, e addirittura per il cosmo intero? E se l’universo e tutta la sua struttura, inclusa quella geometrica, si trasformano espandendosi, in che senso potrà esser valida una qualsiasi inferenza che oltrepassa il presente? Insomma, una induzione che parta da osservazioni locali, per poi trarne proposizioni riguardanti la globalità dell’universo, non poteva rivendicare una grande attendibilità. Non è infatti possibile “mettere assieme” l’universo, per così dire, pezzo per pezzo, regione per regione: anche se si pensa all’astrofisica, che permette di conoscere dei sottosistemi dell’universo (dalle stelle alle galassie), questa graduale estensione “verso il globale”, osservativamente e matematicamente, sarebbe un compito fattualmente improponibile. Per questo l’approccio induttivo doveva necessariamente impiegare delle ipotesi, o convenzioni, specificamente cosmologiche, che potessero almeno garantire *ab initio* la possibilità di parlare dell’universo come un tutto e quindi di applicarsi a una cosmologia coerente. Però, tali ipotesi – non necessariamente contemplate dalla fisica locale, ma riguardanti proprietà con un valore fisico globale e perciò non soggette a un vero controllo empirico/osservativo – non potevano che essere di fatto estranee al metodo induttivo. Il cosiddetto principio cosmologico, già introdotto da Einstein nel 1917 – ossia un’assunzione di uniformità in base alla quale l’universo doveva essere, su scale opportunamente grandi, omogeneo (tutti i suoi punti indifferenziati) e isotropo (tutte le sue direzioni indifferenziate) – serviva proprio a questo.

Scontenti di ciò, alcuni autori, già a partire dai primi anni Trenta, proposero una strada differente, di stampo deduttivo. I protagonisti di questa «nuova cosmologia», come Merleau-Ponty (1965, p. 105), la chiama, furono E. A. Milne, il cui lavoro trovò compimento nella teoria della relatività cinematica, sostenuto anche dai suoi principali collaboratori, G. J. Whitrow e A. G. Walker, e poi, negli anni Cinquanta, H. Bondi e T. Gold, presto seguiti da F. Hoyle, i quali, riprendendo il programma di Milne e basandosi su principi epistemologici abbastanza simili, costruirono una teoria differente, la teoria dello stato stazionario.

L’approccio deduttivo rovesciò l’ordine sia delle operazioni (riguardanti quali costrutti fisici porre a fondamento nell’elaborazione dei modelli d’universo), sia dei valori epistemologici: le equazioni della relatività generale non erano più necessarie a livello cosmico, e le ipotesi di uniformità introdotte nell’approccio induttivo, nel quale avevano pure uno statuto epistemologico piuttosto incerto, diventarono dei veri e propri assiomi. Questa nuova cosmologia si proponeva lo scopo di essere davvero assiomatica e deduttiva, costruita in modo tale che la struttura metrica dello spaziotempo dell’universo, e il concetto stesso di universo, non risultassero da estrapolazioni di osservazioni, o constatazioni sperimentali, locali, né da principi empiristici, ma nascessero *a priori*, sulla base appunto di assiomi epistemologici e metodologici, per poi procedere in modo deduttivo confrontando i dati dell’esperienza con il modello elaborato.

Il dibattito fra queste due fazioni fu in certi momenti molto acceso, come mostra il libro di Merleau-Ponty, ma di fatto la cosmologia deduttiva non fu mai accolta con favore dalla prevalenza degli addetti ai lavori, anche prima che le sue teorie venissero pressoché definitivamente accantonate su basi osservative a metà degli anni Sessanta. Per Merleau-Ponty, però, questo nuovo approccio rivestì un ruolo scientifico e filosofico importante, in quanto ebbe il merito, per almeno tre decenni, di mettere al centro del dibattito appunto lo *status* epistemologico della cosmologia, in specie il suo grande dilemma metodologico a lui tanto a cuore: come porre la ricerca cosmologica in relazione alle altre teorie fisiche: per così dire, al primo o all'ultimo posto?

Mentre nell'approccio induttivo l'essenza della cosmologia emergeva nell'ultimo termine (perlomeno in linea teorica) di un'estrapolazione che comunque avveniva all'"interno" della fisica, nell'approccio deduttivo la cosmologia assumeva un ruolo più fondamentale in quanto diveniva la scienza prima dal punto di vista logico, collocandosi all'"inizio" (o "prima") della fisica stessa: le leggi fisiche (quelle "locali", basate su sperimentazioni) e i loro principi dovevano essere dedotti sulla base della cosmologia e della sua descrizione del cosmo.

Oltre a questo grande dibattito, Merleau-Ponty affronta, naturalmente da filosofo ma senza mai dismettere la loro essenza scientifica, altri interrogativi cosmologici di rilievo.

La questione della totalità, ad esempio: la particolarità della cosmologia di essere la scienza del tutto, fisicamente inteso, cioè di quell'unico "oggetto" che è l'universo, la poneva subito al di fuori, o comunque ai margini, delle norme costitutive del pensiero scientifico: nella scienza un oggetto singolo viene compreso razionalmente per mezzo di una legge naturale, ma questa presuppone più individui (non nel senso di persone, ma di entità singolari) per rendere possibile il confronto o un'analisi statistica: data la singolarità dell'universo dobbiamo, allora, presumere che esso sia solo uno dei casi parziali (irrealizzati?) di qualche legge più generale, oppure che esistono strane leggi dipendenti soltanto da un individuo? E per giunta, qual è la natura di queste leggi: sono espressione della contingenza dell'universo (pertanto sono "frutto" del cosmo), oppure in qualche maniera ne regolano l'esistenza perché risiedono in una sorta di iperuranio platonico, essendo dotate di un'essenza *a priori* rispetto alla mera evenienza del cosmo (dunque, stavolta, sarebbe quest'ultimo un loro effetto, perlomeno dal punto di vista del suo "comportamento" fisico)?

Conseguentemente, quali sono le proprietà essenziali e quali quelle accidentali dell'universo? Come decidere se una caratteristica della struttura cosmica appartenga di necessità all'universo o sia una sua mera congiuntura? D'altronde, non è possibile conoscere l'effetto di una eventuale variazione di qualcuna di queste proprietà cosmiche sulla nostra esperienza locale (sulle nostre leggi di natura validate) per risalirne alla tipologia, né tantomeno sono realizzabili esperimenti scientifici per supporre come l'universo si sarebbe potuto evolvere a partire da condizioni iniziali differenti, saggiandone così l'eventuale sviluppo di altre caratteristiche. Insomma, anche nel caso delle proprietà (se vogliamo un sottocaso del caso poc'anzi visto riguardante la singolarità dell'ente che le istanzia: qui, appunto, l'universo), il confronto fra quei due tipi di proprietà ontologicamente differenti, e che se fossero posseduti da più individualità sarebbe realizzabile persino su mere basi osservative, risulta ovviamente impossibile.

D'altronde, persino il concetto stesso di universo è di non facile definizione e piuttosto dubbio, anzi «non è altro che una congettura aleatoria» (M.-P. 1965, p. 51): «Nel mondo può esistere un numero infinito di cose tra le quali non è concepibile alcuna interazione: di per se stesso il concetto di universo non comporta alcuna condizione strutturale determinata [...]. Può esservi un sistema nel quale si entra e si passa» (*ibid.*, p. 63), vale a dire un sistema che non permane in qualche modo simile a sé stesso. Sebbene, allora, le apparenze che noi ricaviamo sembrano fondate su delle regolarità strutturali, in realtà potrebbe non esserci, magari a scale di distanza sufficientemente grandi (per noi), un ordine razionale precostituito in grado appunto di sostanziare propriamente un singolo ente fisico con i crismi basilari di

un'identità strutturale (o perlomeno di una cosiddetta genidentità, ossia di un'identità di un individuo che rimane identica al passare del tempo e/o nel cambiamento).

Un altro dei temi più appassionanti per Merleau-Ponty, che egli affronterà anche in seguito, è quello dell'ipotesi del tempo cosmico, ossia di quella scala temporale unica che consentirebbe di datare oggettivamente ogni evento nell'universo: egli lo ritiene uno dei più fondamentali e ardui della cosmologia, sia dal punto di vista fisico, ma anche filosofico, non essendo chiaro il suo significato e il suo *status*, se postulato autonomo, se conseguenza dell'isotropia spaziale, o altro.

Strettamente connesso al divenire cosmico, ci sono poi i problemi legati all'origine dell'universo e della sua eventuale fine. Sebbene essi siano antichi quanto forse la civiltà umana stessa, ovviamente declinati nelle infinite forme delle nostre culture, nella moderna cosmologia assumono una veste nuova, fisicamente e metafisicamente nuova, nota Merleau-Ponty, poiché «non si tratta più soltanto del divenire delle cose nello spazio, bensì del divenire dello spazio e della stessa essenza del tempo. Il contenuto del tempo non è separabile dal tempo più di quanto il contenuto dello spazio non lo sia dallo spazio» (M.-P. 1965, p. 278). Infatti, nella relatività generale, spazio e tempo non sono più entità fisse e immutabili come nella fisica newtoniana, ma sono dinamiche, quindi cambiano prendendo parte al gioco stesso del divenire. In un tal quadro, la permanenza stessa delle leggi di natura diviene problematica: le descrizioni dell'universo primordiale dei cosmologi, per esempio, si basano sull'universalità e persistenza delle leggi che noi conosciamo, ma la supposizione che esse siano le stesse in tutti i tempi e luoghi come si spiega se l'universo è in evoluzione globale e irreversibile?

Anche il concetto di creazione, tipicamente filosofico e da tempo abbandonato, rinasce con la cosmologia moderna, stavolta anche su basi, almeno potenzialmente, scientifiche, sebbene l'ipotesi di un inizio singolare dell'universo (e del tempo) è di fatto concepito da Merleau-Ponty se non come assurdo ma comunque fisicamente indefinibile: si ha un'idea scientifica della storia dell'universo abbastanza delineata ma questa storia inizia con qualcosa d'incomprensibile.

E ancora, quali fatti osservativi possono interessare la cosmologia? Sicuramente quei fatti, probabilmente pochi e non facilmente distinguibili, a cui si può attribuire con certezza un significato universale (si pensi al *redshift cosmologico*, cioè quello spostamento relativo delle frequenze nella radiazione pressoché di tutti i corpi celesti a grandissime distanze e che è espressione dell'espansione cosmica). La cosmologia non può, però, trascurare il fatto che alcune caratteristiche globali dell'universo possano manifestarsi anche in qualche fenomeno locale, dunque di base essa dovrebbe interessarsi a qualsiasi osservazione e a qualsiasi esperienza di laboratorio, appunto perché queste potrebbero rivelare inaspettatamente un qualche collegamento con la struttura a larga scala dell'universo. *A priori*, però, essa non è in grado di sapere quale di queste osservazioni locali possano essere in tal senso illuminanti.

Per concludere questa rapida e del tutto incompleta rassegna, possiamo dire che le problematiche finora accennate possono in fondo racchiudersi in un quesito epistemologico generale, di stampo kantiano, fondamentale nell'ottica di Merleau-Ponty: come è possibile la cosmologia? Ossia, quali sono le condizioni di possibilità della sua conoscenza? In fondo, sebbene essa sia un'impresa scientifica razionale ed efficace, al contempo non è una scienza dai profili "smussati" come le altre: come la metafisica per Kant, la cosmologia in un certo qual modo è una scienza dei limiti della ragione umana, sia nel senso di dove quest'ultima può arrivare nella comprensione, perlomeno riguardo all'estensione spaziotemporale del mondo circostante, sia nel senso di una propria conoscenza di quest'ultimo, in quanto la cosmologia tende per sua natura ad andare "oltre", superando, o comunque continuamente rinegoziando, quel divisorio costitutivo, benché intrinsecamente sfumato, del discorso scientifico fra il possibile per la scienza e l'impossibile per l'esperienza.

#### 4. La sua eredità oggi

Nonostante le incertezze, le diatribe e persino gli equivoci che persistono sui suoi fondamenti, metodi e rapporti con la fisica in generale, oggi la cosmologia ha raggiunto dei risultati strabilianti e impensabili anche solo fino a pochi anni fa, diventando un'area di ricerca centrale nella fisica fondamentale, e non più un suo sottocampo trascurato come lo era stato fino a metà degli anni Sessanta. Eppure, l'opera pionieristica di Merleau-Ponty rimane ancora unica e impareggiabile, per nulla invecchiata nella sua forza e fascino, e piena di spunti e riflessioni filosofiche valide attualmente.

Il punto è che, come ben sanno in generale i filosofi della scienza (e pure gli psicologi), la maturazione dei risultati di una scienza (lo sviluppo corporeo di un adolescente) non corrisponde automaticamente a una sua più salda chiarificazione epistemologica e filosofica (la maturazione psichica di quell'adolescente). Insomma, la cosmologia, scienza di fatto ancora "giovane", resta peculiare, perennemente di frontiera, sia perché non ha ancora risposto ai grandi quesiti epistemologici poc' anzi visti che nel profondo tentano di definirla (riguardo alle sue metodologie e al suo oggetto di studio), sia perché pone ancora le stesse tradizionali domande di stampo filosofico (sullo spazio, tempo, finitezza o infinitezza dell'universo, sulla sua origine, totalità, ciclicità, ecc.). Quindi tornare agli scritti di Merleau-Ponty non equivale a volgersi al passato, ma a cominciare a costruire gli studi della storia futura della cosmologia, che in questo secolo si preannuncia straordinariamente ricca di scoperte, sulle solide fondamenta delle sue profonde riflessioni epistemologiche e filosofiche.

Se ci chiedessimo come approcciarsi filosoficamente alla cosmologia oggi, la risposta la potremmo trovare affidandoci alle parole di un suo scritto più recente, che di fatto non fanno altro che sintetizzare i due percorsi da lui concretamente seguiti nelle pagine di *Cosmologia del secolo XX*:

Il primo è quello di interrogarsi sulle caratteristiche specifiche di questa scienza, sui suoi metodi, sulle sue relazioni con il suo oggetto, l'Universo, e sul suo posto tra le altre scienze; ci si chiede poi che tipo di scienza sia la cosmologia, se non incontra problemi specifici che è difficile affrontare completamente secondo i metodi delle altre scienze, la cui applicazione è tuttavia indispensabile. Il secondo [...] consiste nell'interessarsi direttamente ai risultati da essa acquisiti in epoca contemporanea e nel collocarli in un quadro più generale, senza essere troppo esigenti nei confronti del grado di certezza che essi comportano (M.-P. 1990, p. 189).

Mutuando le considerazioni di un altro importante storico della scienza, Helge Kragh, possiamo etichettare questi due tipi di percorsi filosofici verso la cosmologia, rispettivamente, come filosofia *della* cosmologia e filosofia *nella* cosmologia<sup>4</sup>: laddove il primo approccio costituisce un'analisi tipicamente oggi perseguita dai filosofi della scienza nei confronti di una certa disciplina, quindi, in tal caso, sui metodi e le possibilità di ottenere una vera conoscenza dalla cosmologia, nonché sul suo oggetto di studio, il secondo è ancora uno studio filosofico ma più incentrato sugli aspetti fisici dei fenomeni in studio dalla cosmologia stessa, quindi più interno ai suoi specifici risultati scientifici, alle loro previsioni, interpretazioni e fondamenti concettuali, in un'ottica che è oggi più tipicamente seguita dai filosofi della fisica.

Lungo questi due crinali, che appunto uniscono, rafforzandoli, i versanti fisici e filosofici della cosmologia, qualcosa si è sicuramente mosso negli ultimi anni, visto che in alcuni dipartimenti di filosofia che studiano i fondamenti della fisica, soprattutto in ambito anglosassone, si è fatta largo una nuova disciplina all'interno del dominio più a vasto raggio della filosofia della fisica: la filosofia della cosmologia (in senso generale, includente quindi i due approcci appena visti di Kragh e Merleau-Ponty). Scritti tematici hanno cominciato ad apparire nelle riviste specializzate, nei libri e in qualche programma di ricerca filosofico: si pensi a quello dell'Università di Oxford, che guarda alla possibilità di studiare

---

<sup>4</sup> Si veda Kragh (1997, p. 22).

filosoficamente i fondamenti di tutte le teorie fisiche (dalla relatività generale alla meccanica quantistica, termodinamica, ecc.) non più singolarmente, ma proprio all'interno del perimetro unitario della cosmologia, visto che essa ormai contiene e usa pressoché il loro intero apparato di risorse concettuali, sperimentali, matematiche, in modo tale da rendere la filosofia della cosmologia, oltretutto una branca estesa della filosofia della fisica, un approccio interdisciplinare alla cosmologia stessa. Certo, la filosofia della cosmologia rimane ancora una disciplina notevolmente di nicchia, e questo è comprensibile se si alza lo sguardo al *corpus* generale di tutti i saperi per valutare in esso lo spazio, decisamente esiguo, occupato non solo dalla filosofia della fisica ma anche dalla multidisciplinare filosofia della scienza. D'altronde, fra i filosofi stessi in generale, il credo professionale prevalente è purtroppo ancorato a una filosofia che si sostanzia *a priori*, cioè che trascura – con maggiore o minore presuntuosa sufficienza, ma con la stessa, a mio parere, insensatezza gnoseologica di fondo – i risultati della scienza. Meno comprensibile – è questa posizione di nicchia della filosofia della cosmologia, dicevo – se invece si resta all'interno della filosofia della scienza (e perché no, anche della storia della cosmologia *tout court*, visto che la storia di una qualsivoglia scienza difficilmente non è intrinsecamente contaminata perlomeno dalle istanze filosofiche dei suoi protagonisti e del loro tempo), ambito che potrebbe esser reso ancor più fruttuoso da una scienza come la cosmologia più costitutivamente filosofica di altre, così di frontiera nel suo essere tanto prossima ai confini sia dell'ontologia, cioè del sapere umano su ciò che esiste nel mondo e nell'universo fisico, sia dell'epistemologia, ossia sui modi di cogliere quel sapere.

### Ringraziamenti

Lavoro sostenuto finanziariamente dal MIUR - Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca - tramite il programma PRIN 2017 "The Manifest Image and the Scientific Image", prot. 2017ZNNW7F\_004.

### Bibliografia

- Kragh, H. (1997). "On the History and Philosophy of Twentieth-Century Cosmology", in Tucci, P. (ed.), *Atti del XVI Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia*. Como: Comune di Como, pp. 13-33.
- Merleau-Ponty, J. (1965), *Cosmologie du XX<sup>e</sup> siècle*. Parigi: Éditions Gallimard. Trad. ital.: *Cosmologia del secolo XX*. Milano: Il Saggiatore, 1974.
- Merleau-Ponty, J. (1966). "Problems of Physical Time", *Diogenes*, 14(56), pp. 115-140.
- Merleau-Ponty, J. (1972), "La cosmologia", in Pecker, J.-C. (ed.), *Guardiamo l'universo. La nuova astronomia*. Milano: Feltrinelli, pp. 304-315.
- Merleau-Ponty, J. (1977). "Laplace As a Cosmologist", in Yourgrau, W. & Breck, A.D. (ed.) *Cosmology, History, and Theology*. New York: Plenum Press, pp. 283-291.
- Merleau-Ponty, J. (1978). "Ideas of Beginnings and Endings in Cosmology", in Fraser, J.&T., Lawrence, N. & Park, D. (ed.) *The Study of Time III*. New York: Springer, pp. 333-350.
- Merleau-Ponty, J. (1982). "Le trasformazioni del concetto di cosmo nella filosofia e nella scienza", in Toraldo di Francia, G. (ed.), *Il problema del cosmo*. Roma: Istit. della Encicl. Ital., pp. 39-50.
- Merleau-Ponty, J. (1990). "La cosmologie. Le point de vue du philosophe", in Merleau-Ponty, J., *Sur la science cosmologique*. Parigi: EDP-Sciences, 2003, pp. 189-211.
- Robredo, J.-F. (2010). *Le sens de l'univers. Essai sur Jacques Merleau-Ponty*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Seidengart, J. & Szczeciniarz, J.J. (eds.) (2000). *Cosmologie et philosophie. Hommage à Jacques Merleau-Ponty. Épistémologiques*, I (1-2). San Paolo: Discurso Editoria.



PLANETARY THEORIES AND ASTRONOMICAL INSTRUMENTS:  
MECHANIZATIONS AND VISUALIZATIONS BETWEEN  
GEOCENTRISM AND HELIOCENTRISM (1400-1700)

# Federico Commandino and the Latin edition of Ptolemy's *De analemmate*

Argante Ciocci

Seminario di Storia della Scienza (Università di Bari), [argante1971@gmail.com](mailto:argante1971@gmail.com)

*Abstract:* In his Latin editions of the Greek classics, Commandino cleverly integrated his philological skills with the mathematical ones. The two disciplines, moreover, nurtured each other. In this article, I analyze the manuscripts and the printed edition of Ptolemy's *De analemmate* to evaluate the interaction between philology and mathematics, but also to highlight the role of the Latin edition of Ptolemy's work in the renaissance of modern gnomonics.

*Keywords:* Ptolemy, Commandino, Sundials, Analemma

## 1. Περὶ ἀναλήματος

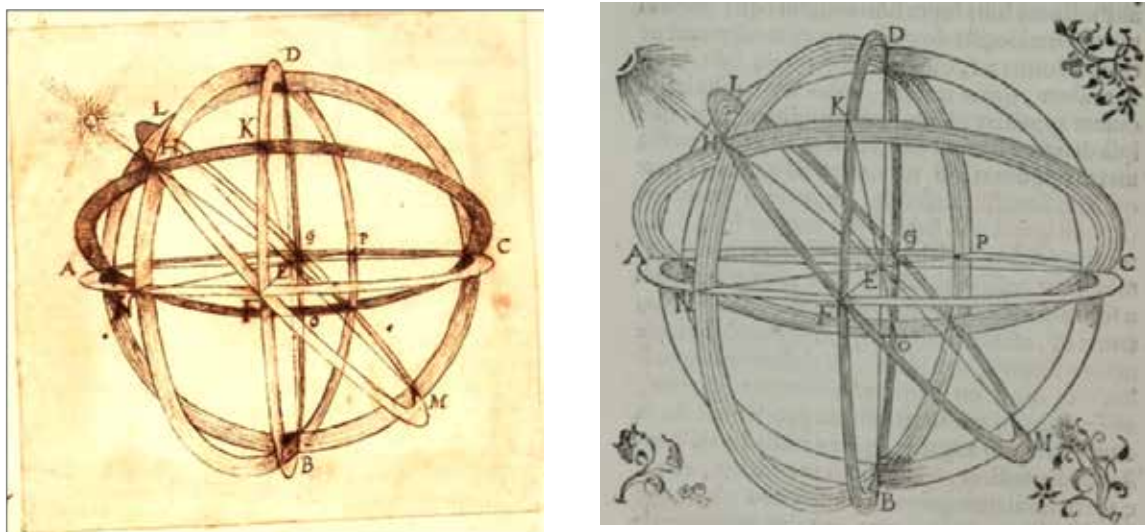
Ptolemy's *De analemmate* is the most authoritative scientific text on gnomonics, which has come down to us from ancient Greek mathematics (Sinisgalli-Vastola 1992, pp. 27-55). During the Middle Ages and the early Renaissance, of this scientific discipline only the indirect witness of Vitruvius remained. In fact, in book IX of *De architectura*, Vitruvius taught how to build sundials empirically and without the support of the necessary mathematical demonstrations (Losito, 1989).

In the dedication to Cardinal Ranuccio Farnese, Commandino is perfectly aware of his mission of recovering ancient knowledge for the rebirth of gnomonics, buried by centuries of oblivion. However, he does not hide the linguistic and conceptual difficulties that he had to overcome in order to understand Ptolemy's text (Ptolemy, 1562).

After all, the book *De analemmate* is not a simple text. The work presents a mathematical model that allows you to define the positions of the Sun in every place on the globe to build sundials suitable for any latitude. In the letter of dedication to Siro, Ptolemy alludes to his predecessors who tried to define the angles considered to establish the position of the gnomon. But, above all, he insists on the opportunity for natural philosophy and mathematics to integrate each other. Ptolemy affirms that "natural philosophy needs a certain more mathematical imprint, and, similarly, mathematical science needs a certain more natural imprint". Moreover, his geometric model claims to describe a physical reality. Therefore, based on the philosophical belief that the world is spherical, he proposes a system of spatial coordinates consisting of the intersection of three perpendicular planes; "since only three can be straight lines positioned at the right angles to each other". In the celestial sphere, the three planes identified by Ptolemy are the horizon (the circle *agcf* in Fig. 1), which separates the hemisphere below the earth from the one above it; the meridian (the circle *adcb*), which divides the western from the eastern hemisphere; and the vertical (the *dfbg* circle) that separates the northern and southern hemisphere.

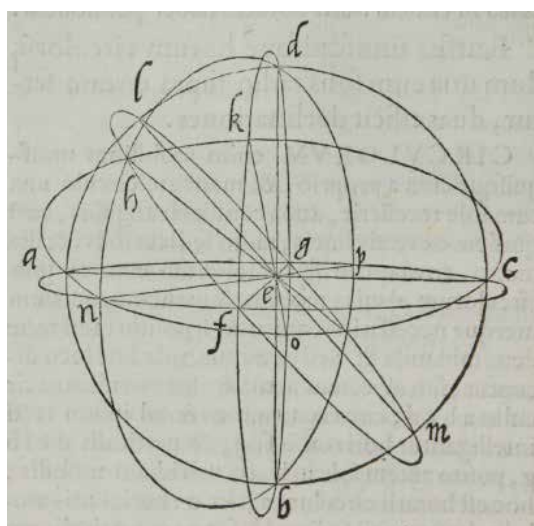
Three axes arise from their intersection: the equinoctial line (*fg*), which is the section of the vertical and horizontal circle; the meridian line (*ae*), which is the section of the horizon and the meridian circle; and the gnomon (*ed*), section of the meridian and the vertical circle. To identify the position of the Sun on the celestial sphere, Ptolemy rotates each of the three fixed planes around an axis: the motion of the horizon (the circle *agcf*) around the equinoctial diameter (*fg*) generates the circle that Ptolemy calls *heptemorium*, for the fact that it indicates the height of the Sun at the sixth hour; the

motion of the meridian (the circle  $adcb$ ) around the meridian line ( $ae$ ) produces the circle called hourly circle since it is associated with the interval of the individual hours; the motion of the vertical (the circle  $dfbg$ ) around the gnomon ( $ed$ ) generates the descending circle, so called because it indicates the descent of the Sun from the highest to the lowest position.



**Fig. 1.** Figure drawn by Commandino to illustrate the Ptolemaic coordinate system, in the Urbino manuscript (BUU, envelope 120, f. 228) and in (Tolomeo 1562), f. 8v.

Through the rotation of the three mobile circles, Ptolemy manages to intercept the position of the Sun ( $h$ ) on the surface of the sphere and its radius ( $he$ ) passing through the centre of the sphere, by determining two angles: the dihedral angle that each of the mobile circles forms with the original fixed plane and the acute angle between the radius and the axis of rotation.



**Fig. 2.** Figure drawn by Commandino to illustrate the Ptolemaic coordinate system (Tolomeo 1562), f. 7v.

Therefore, Ptolemy's coordinate system uses six angles.

Two of them derive from the motion of the hourly circle and they are:

- the hour angle  $ae h$ , contained by the radius  $he$  and the diameter of the sundial  $ae$ ;
- the angle on the vertical  $ked$ , given by the inclination of the radius on the meridian circle.

Two angles derive from the motion of the *heptemorium* circle:

- the heptemorium angle  $feh$ , formed by the radius  $he$  and the equinoctial diameter  $fg$ ,
- the angle on the meridian  $ael$ , defined by the motion of the heptemorium circle on the horizon.

Finally, two angles derive from the motion of the descending circle and they are:

- the descending angle  $hed$ , contained by the radius  $he$  and the gnomon  $ed$ ,
- the angle on the horizon  $nef$ , contained by the rotation of the descending circle  $dhn b$  around the vertical  $dfbg$ .

At the end of this first part (chapters 1-5), dedicated to the definitions of the coordinate system used by Ptolemy to define the position of the Sun, the treatise *De analemmate* demonstrates the way to overturn all the characteristic angles of the celestial sphere on the meridian plane. Firstly, Ptolemy deals with the case in which the Sun rotates on the equator; secondly, when the Sun rotates on a northern monthly parallel. The *analemma* is nothing more than the geometric construction obtained from the orthographic projection of the celestial sphere on the local meridian. Ptolemy accomplishes it using: 1) the projection of the Sun on the meridian plane and its distance from it; 2) the sections with the meridian plane of the two semicircles passing through the Sun and parallel to the horizon and the vertical plane respectively (Chapters 6-8).

The analemma, like an astrolabe, could be used as a calculation tool; indeed, the value of the six gnomonic angles, expressed in meridian arcs, can be established by ruler, compass and graduated scale. However, Ptolemy does not simply want to illustrate a technical handbook for use by sundial manufacturers; as he has a scientific aim. Therefore, he provides a geometric method to calculate the values of the angles in question. Once known the hourly arc, the elevation of the pole on the horizon, and the declination of the Sun are known, Ptolemy calculates all the gnomonic angles. By using trigonometry - based on the correspondence between the arcs and the subtended chords - Ptolemy deals when the Sun rotates around the equator but also when it moves on any other northern or southern parallel. Ptolemy expresses all the calculations as a function of his unit of measurement, constituted by the one hundred and twenty parts of the meridian diameter (chapters 9-10).

The theoretical proof is the presupposition and foundation of the practical use of the analemma, which is illustrated in the final part of the work (chapters 11-14). In this part, Ptolemy distinguishes the elements that remain invariable in the analemmatic projection (the meridian plane, the diameter of the equinoctial, the monthly parallels) and those that vary in relation to the position of the observer (the diameter of the horizon and that one of the vertical, which coincides with the gnomon).

There is not a hint of how to build a sundial. Nonetheless, the reader can learn a quick method to calculate the characteristic arcs for any position of the Sun. Besides, in the analemma, it is possible to draw the gnomonic angles with a ruler and a compass. The treatise stops on the threshold of the workshop of a sundial manufacturer. But, you can apply the theory thanks to the tables that close the work, in which Ptolemy expresses the astronomical data according to the latitudes that report the maximum hours of light calculated in advance for each zodiac sign.

## 2. The restoration of a work without Greek witnesses: a masterpiece by Commandino

Around 1550, following Cardinal Ranuccio, Commandino was introduced to the refined humanistic culture of the Roman court of the Farnese's family, frequented by intellectuals such as Annibal Caro, Baltasar de Torres and Fulvio Orsini. In mid-1500s, Commandino met Marcello Cervini, the future Pope Marcellus II (1555), humanist and bibliophile, cardinal librarian of the Vatican Library and interested in the texts of Greek mathematics. Cervini appreciated Commandino's extraordinary philological and

mathematical skills and he asked him to prepare a corrected Latin edition of the two books *De iis quæ vehuntur in aquae* by Archimedes and the *De analemmate* by Ptolemy. No Greek codex was extant of these two works in the sixteenth century, but only the Latin translation made in the early 1270s by William of Moerbeke (Ott. Lat. 1850).

At his initial reading of the Latin version that William of Moerbeke had made of *De analemmate*, Commandino faced a linguistic and mathematical trouble. He notes that to derive the meaning of some corrupted passages, it needed a soothsayer rather than an interpreter. The difficulty in understanding the subject was caused not only by the blunders present in the version handed down by the two manuscripts at his disposal but also by the abstruseness of the matter and by a text, sometimes elliptical and obscure, which needed additions and comments and possessed a graphic kit of little help for the reader.

In the letter of dedication to Ranuccio Farnese, Commandino tells us not only the obstacles that he had to overcome, but also the pride for having restored a fundamental work for the rebirth of gnomonics:

Cum hæ difficultates consilium meum impedire, aut certe retardare potuissent: tamen, ut in tam honesta, tam fructuosa disciplina, eorum, quos supra scripsi, commodis inservirem, hoc onus mihi omnino suscipiendum esse duxi. Quamobrem primum, ne subiectæ rei obscuritas, & interpretis inscitia quemquam ab huius libri lectione deterrere posset, obscuriores locos commentariis quibusdam *illustravi*; depravatos, quantum coniectura sum assecutus, restitui, ac *correxi*; deinde quæcunque deerant, iis *supplevi*, quæ cum antecedentibus Ptolemæi sententiis consentire indicavi (Tolomeo 1562, *Preface*, p. 3 n.n.).

Commandino describes his philological work on *De analemmate* by the verbs *illustravi*, *correxi*, *supplevi*. Of this edition of Ptolemy's work, the manuscript sheets 214r-223v of envelope 120 of the University Library of Urbino retain a preliminary version, prepared for printing, and accomplished in Rome in 1562 (Ciocci, 2018). His interventions on the medieval Latin version concerned: the elucidation of some obscure passages through historical and erudite references to ancient authors and texts; the correction of some corrupted texts in Moerbeke's Latin version by using geometric reconstruction adopted by Ptolemy; the integration of the text with proofs of theorems, omitted by the author of the *De analemmate*. These philological interventions were carried out starting from the preliminary mathematical understanding of Ptolemy's work and the subsequent linguistic restitution.

The interaction between historical, philological and mathematical skills is evident in the textual corrections and integration carried out by Commandino. The comments perform various functions, which we can summarize through the three verbs that Commandino uses to indicate to the reader his interventions in Ptolemy's text: *illustravi*, *correxi*, *supplevi*.

The function of illustrating and explaining the text is performed by those erudite comments that refer to other classical texts useful for fully understanding the meaning of Ptolemy's sibylline phrases; as when, for example, Commandino refers to Simplicius' commentary on the first book of Aristotle's *De caelo* to illustrate Ptolemy's thesis that the dimensions of a body are only three. For this explanatory function, Commandino adds all those comments useful to clarify difficult passages of the *De analemmate*. This is the case of the explanation of Ptolemy's coordinate system, which Commandino illustrates through two splendid three-dimensional drawings, used to define the six Ptolemaic angles (Figure 1). The illustrative comments include those concerning the use of the analemma and the calculations useful to construct the *analemma* at the latitude of Rome. A similar function is performed by the quotation on the method described by Vitruvius in the IX book *De architectura* on the diversity of colors to distinguish the variable elements in the *analemma* from the fixed ones; and on the techniques for applying wax to the tympanum to fix the colors; or also from the clarifications on the difference in the denomination of the gnomonic angles between Ptolemy and the ancients.

On other occasions, the comments fall into the category of *correxi*, as they explain the corrections made on the original translation. Those glosses are functional to amend the Latin text. Through Greek

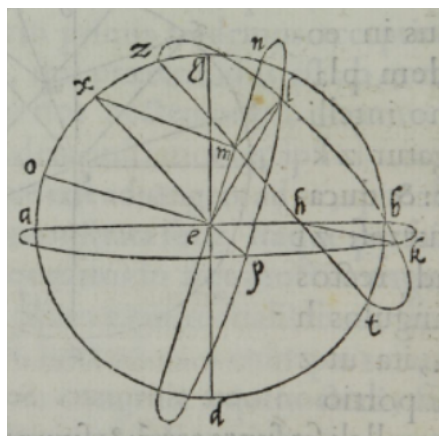
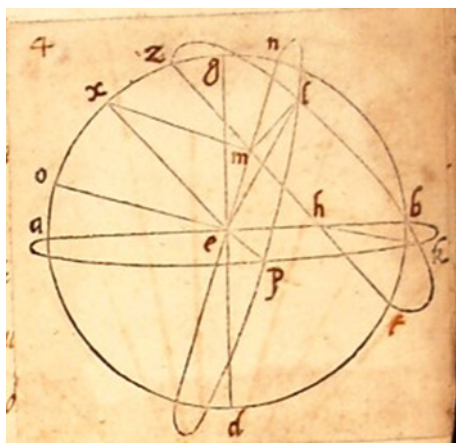
sources, Commandino corrects the Latin lexicon used by William of Moerbeke. The most striking case is the term '*hctemoron*', present in Ottob. Lat. 1850, which becomes *hctemorion* since Olympiodorus, in the Commentaries to the third book of Aristotle's *Meteors*, mentions this circle by calling it precisely  $\acute{\epsilon}\chi\tau\eta\mu\acute{o}\rho\iota\omicron\nu$ .

Commandino makes some corrections starting from a geometric reconstruction of the proof carried out by Ptolemy. In these cases, his mathematical competence is fundamental for the philologically correct restitution of the text. The first example of this kind is on page 14v of the printed edition, when Commandino warns the reader that the translation available to him presents a corrupt place in correspondence with the passage that states: *est enim el æqualis ex; et ml ipsi mx*. In the Latin version that Commandino had available (Ottob. Lat. 1850, f. 62v; Barb. Lat. 304, f. 153r), the proof that the angle *xeo* is equal to the angle *lep*, presented more than one anomaly: the deductive passages, in addition to being elliptical, also revealed uncertainties in the syntactic structure and this fact led Commandino to hypothesize a corruption of the Latin text.

Although he does not have any Greek manuscript at his disposal, on this occasion, he demonstrates an extraordinary philological *acribia*, enhanced by his mathematical skills. Faced with the corrupt place, he chooses to keep in Ptolemy's text only the indications of the equalities between the angles involved in the proof and to bring back in his commentary the divination of what he thinks must have been the original passages of the demonstration.

After adding a new supplementary figure to that drawn by Moerbeke (Fig. 3), Commandino proceeds to return the text of the authentic Ptolemaic proof in this way:

Quoniam enim æquales sunt *el*, *ex*, quod a centro ad circumferentiam ducuntur, et ipsæ *ml*, *mx* æquales ex positione; communis autem utrique *em*: angulus *mex* angulo *mel* est æqualis, et angulo *eml* recto æqualis et ipse rectus *emx*. Et quare et reliquus *exm*, reliquo *elm*. Sed cum æquidistant inter sese *xm*, *oe*; itemque *ml*, *ep*, quod anguli *meo*, *mep* etiam recti sunt: angulus *xeo* æqualis angulo *exm*, et *lep* angulus ipsi *elm*. Angulus igitur *xeo* angulo *lep*, est æqualis (Tolomeo 1562, 14v-15r).



**Fig. 3.** (left) Additional figure drawn by Commandino (BUU, envelope 120, f. 217r).  
(right) Additional figure in (Tolomeo 1562, f. 14r).

Compared to William of Moerbeke's version, the passages of the proof are now clearly explained. Thanks to the geometric figure drawn by Commandino and thanks to the use of three propositions of Euclid's *Elementa* (28.I, 6.XI, 29.I), the reconstruction of this proof appears mathematically perspicuous. Therefore, the result of the restitution of the text of the *De analemmate*, in this, as in other cases, is a masterpiece of philology made possible by Commandino's mathematical skills.

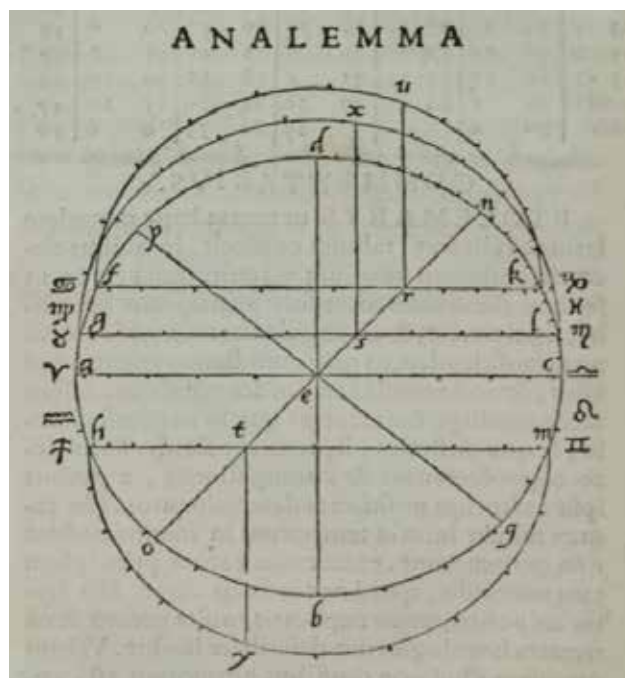
The integrations into the text of Ptolemy are more than the corrections. When Commandino uses the verb *supplevi*, he refers precisely to the reconstruction of the missing geometric demonstrations that Ptolemy implies. In the *De analemmate*, Ptolemy omits some demonstrative procedures to draw the six gnomonic angles on the meridian plane. Commandino hypothesizes that Ptolemy overlooked these geometric demonstrations to no-repeat what his predecessors had already proved. Commandino integrates the work with these proofs to allow the modern reader a better understanding of the text by Ptolemy.

Commandino's divinations of propositions and respective proofs omitted by Ptolemy are numerous and greatly expand William of Moerbeke's translation. To get a rough idea, though only quantitatively, of the additions made by Commandino to the original Latin translation of *De analammate*, it is sufficient to note that the four double-column sheets of William of Moerbeke's autograph (ff.62r-64v) cover 48 front-back sides of the printed edition, for a total of 96 pages!

Commandino is perfectly aware that he has conjecturally rewritten the original text of Ptolemy: so much that in the dedication to Ranuccio Farnese, he apologizes to the readers who might condemn for arrogance his work of reconstruction. His purpose, however, is to revive an ancient mathematical discipline. For this aim, he accompanies the edition of *De Analemmate* with his *Liber de horologiorum descriptione*.

### 3. Commandino's gnomonics and the description of sundials

The link between the Ptolemaic theory of *De analemmate* and the technical application described in Commandino's *Liber de horologiorum descriptione* is constituted precisely by the drawing of the analemma, which acts as the *explicit* of the first work and the *incipit* of the second, both contained in the same volume, published by Paolo Manuzio in Rome in 1562.



**Fig. 4.** Figure drawn by Commandino to illustrate Ptolemy's analemma (Tolomeo 1562, f. 48v).

Following the theoretical indications by Ptolemy, Commandino draws the orthographic projection of the celestial sphere (Fig. 4): the circle *abcd* is the meridian with centre *e*. He plots the diameters *ac* and *db*



at right angles, and he divides the quadrant  $cd$  into 90 equal parts (degrees). From point  $a$  to  $d$ , Commandino draws the arcs  $af$  and  $ag$  so that  $af$  is 23 degrees and 30 minutes; and  $ag$  of 11 degrees and 30 minutes. From point  $a$  towards  $b$ , he draws the arc  $ah$ , of 20 degrees and 12 minutes and he traces the lines  $fk$ ,  $gl$  and  $hm$ , parallel to  $ac$ .

The equinoctial diameter is  $ac$ ; the world axis is  $bd$ ; point  $d$  represents the Arctic pole, and point  $b$  is the Antarctic. The chord  $fk$  is the Tropic of Cancer;  $gl$  is the diameter of the parallel passing through the signs of Taurus and Virgo; and  $hm$  is the diameter of the parallel passing through Sagittarius and Aquarius. The semicircles  $fuk$  and  $gxl$  are drawn around the diameters  $fk$  and  $gl$ , while the circle  $hym$  is drawn around  $hm$ . Commandino divides the semicircle  $abc$  into 12 equal parts, and then he draws the points at which the perpendiculars, conducted up to the diameter  $ac$ , intersect it.

These are the fundamental lines of the analemma required for any latitude. Commandino then proceeds to draw those variables and takes the case of a sundial to be built at the latitude of Rome (42 degrees). Therefore, he traces the line  $neo$  and draws the perpendicular  $p$  and  $q$ :  $no$  represents the diameter of the horizon;  $pq$  is the diameter of the vertical circle, that is, of the gnomon. Where  $no$  intersects  $fk$ ,  $gl$ ,  $hm$ , Commandino marks the points  $r$ ,  $s$ ,  $t$ , from which he leads the perpendiculars to the diameters  $ru$ ,  $sx$ ,  $ty$ . These perpendiculars are the sections of the horizon and parallels.

To build the sundials in the way of Ptolemy, Commandino divides the portions of all the semicircles into six equal parts. He marks the points where the perpendiculars conducted by the divisions to the diameters meet the latter. The section of the horizon and any parallel is the beginning of the first hour and the end of the twelfth.

In addition to the ancient sundials, Commandino proceeds to illustrate the methods of subdivision of the hours also for astronomical, Italic and Babylonian clocks, and he teaches the way to obtain the heptemori, hourly, descensive, meridian, vertical and horizontal angles, necessary to define the hourly lines. The range of the described sundials is almost complete. After the horizontal sundials, Commandino describes the verticals, meridians, equinoctials, inclined horizontals and verticals. It would seem, therefore, that the purpose of Commandino's book is merely technical-applicative. Yet amid his treatment of horizontal clocks (pp. 56v-60r), he inserts refined geometric proofs using the results demonstrated in Apollonius' *Conics*.

The ends of the shadows, generated by the gnomon in a day, travel curves in the plane of the clock. To represent them, Commandino considers that when the Sun crosses the single parallels, a straight cone with two flaps is generated whose vertex coincides with the vertex of the gnomon is generated. At this point, the rays of light converge, forming the cone of light on one side of the Sun; on the other, the shadow cone. The plane of representation of the clock assumes different inclinations to the axis of the cone as a function of latitude, but in any case, it will cut the shadow cone generating conic sections.

In Rome, for example, the plane of the sundial generates two hyperbolas, but by varying the latitude, this plane generates parabolas, ellipses or circles. The drawing of the conics is helpful for the construction of sundials. So, Commandino taught to trace them with both the method of Eutocius and that of Dürer.

This theoretical aspect of Commandino's book is significant to understand the developments of gnomonics between the 16th and 17th centuries. The link between Ptolemy's scientific theory and the construction technique of sundials is represented by the theorems concerning the construction of an ellipse, seen as an orthographic projection of a circle inclined to a given plane (pp. 78r- 81v).

Since the publication of the *Liber de horologiorum descriptione* we have an explosion of modern works of gnomonics. Daniele Barbaro, Giovanni Battista Benedetti, Guidobaldo del Monte and Christopher Clavius followed the path opened by Commandino to revive the studies of this mathematical discipline (Ciocci, 2021). The fact that in the most significant work of gnomonics of the sixteenth century, namely the *Gnomonices libri octo* (1581), Clavius explicitly declares to follow the Ptolemaic way of the



*De analemmate*, constitutes the most convincing historical witness of the fundamental importance of Commandino's work. His philological and mathematical restoration of Ptolemy's *De analemmate* (1562) played a pivotal role in the modern rebirth of gnomonics.

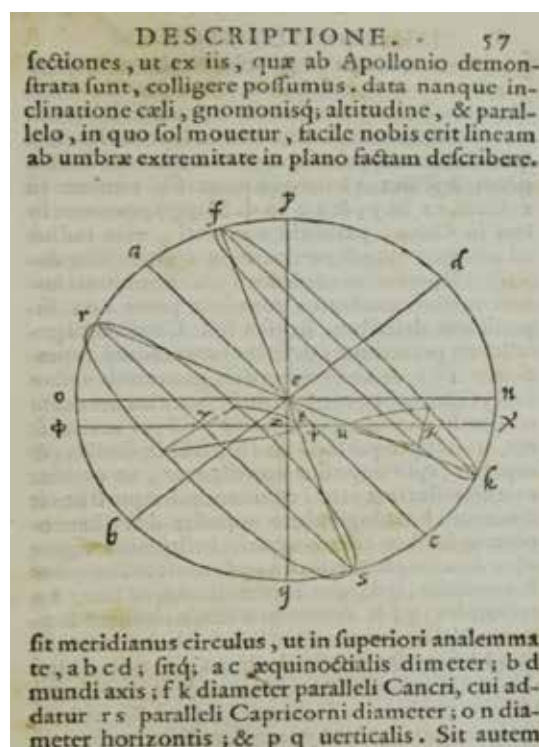


Fig. 5. The two-pitched cone in (Tolomeo 1562, f. 57r).

### Bibliography

- Ciocci, A. (2021). "Federico Commandino filologo e matematico. L'edizione del *De analemmate* di Tolomeo", *Galilaeana*, XVIII, pp. 65-94.
- Ciocci, A. (2018). "I manoscritti urbinati di Federico Commandino: ricognizione delle buste 120 e 121 della Biblioteca Universitaria di Urbino", *Bollettino di Storia delle scienze matematiche*, 38 (2), pp. 237-270.
- Losito, M. (1989) "La gnomonica, il libro X dei Commentari di Daniele Barbaro e gli Studi analemmatici di Federico Commandino", *Studi veneziani*, N.S. n. 18, pp. 177-237.
- Olivares, J.G. (2018). *El Collegio Romano I els orígens de la trigonometria: De l'Analemma de Ptolemeu a la gnomonica de Clavius*. PhD dissertation. Universitat Autònoma de Barcelona, Barcellona.
- Sinisgalli, R. & Vastola, S. (1994). *L'analemma di Tolomeo*. Firenze: Cadmo.
- Sinisgalli, R. & Vastola, S. (1994). *La rappresentazione degli orologi solari di Federico Commandino*. Firenze: Cadmo.
- Tolomeo (1562). *Claudii Ptolemaei liber de Analemmate, a Federico Commandino Urbinate instauratus, et Commentariis illustratus. Qui nunc primum eius opera a tenebris in lucem prodit. Eiusdem Federici Commandini liber de Horologium descriptione*. Romae: Apud Paulum Manutium Aldi F.

### Archival Sources

BUU, Biblioteca Universitaria di Urbino, busta 120, ff. 214r-223v.

## Padre Egnatio Danti e Perugia

Simonetta Ercoli

APS “StarLight, un planetario tra le dita”, [mirusi7678@gmail.com](mailto:mirusi7678@gmail.com) - [info@starlightgroup.it](mailto:info@starlightgroup.it)

*Abstract:* Danti was an exemplary protagonist of the Renaissance homo faber and also author of important treatises on mathematics and optics. Carlo Pellegrino was born in Perugia in 1536 and changed his name to Egnatio when he entered the Dominican Order to take up the priesthood. As a boy with his aunt Teodora, he studied Mathematics, Geometry and Astronomy. Thanks to these studies he taught mathematics and science in Florence and Bologna, was a cosmographer and cartographer, and constructed many astronomical instruments for different types of measurements. It was he who mapped the first topography of the Perugia area and most probably was in contact with Girolamo della Volpaia, whose scientific instruments are well-known. For this and for many other reasons it is important to bring this fellow citizen of ours back to the forefront of science.

*Keywords:* Astronomy, Mathematics, Heritage

### 1. L'uomo

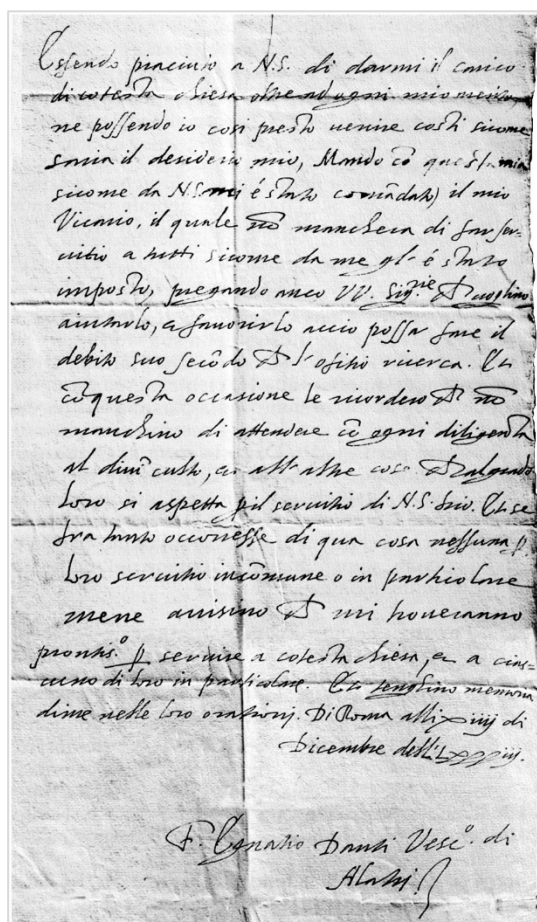
Egnatio Danti fu un protagonista esemplare dell'homo faber rinascimentale; nacque nel 1536 a Perugia; fu battezzato il 29 aprile con il nome di Carlo Pellegrino nella chiesa di S. Domenico, dove cambiò il nome in Egnatio il 7 marzo 1555, quando a 19 anni entrò nell'ordine Domenicano a Perugia.

Il nome originario della famiglia era Rinaldi (o Ranaldi) ma, a partire dal nonno Piervincenzo, paragonato a Dante per la sua cultura, gli eredi furono denominati “filii Dantis” (figli del Dante) per lo spessore culturale della maggior parte dei suoi componenti. Il padre Giulio fu un importante cartografo, che con il matematico Tartaglia ideò un nuovo sistema di rilevazione topografica; come architetto collaborò con Giuliano da Sangallo nella costruzione della Rocca Paolina e con Galeazzo Alessi in quella della Basilica di Santa Maria degli Angeli; ed era un orafo molto ricercato. Il fratello Vincenzo fu un famoso scultore e sue opere sono presenti in diversi musei italiani e stranieri. Il fratello Girolamo collaborò con Egnatio come scultore del cenotaffio in onore della famiglia, conservato all'interno della chiesa di San Domanico in Perugia, e come pittore nella realizzazione di diverse carte geografiche. Il prozio Giovanni Battista fu docente di matematica presso l'università di Padova e fu ideatore di un primo tentativo di volo sopra il lago Trasimeno, che non ebbe però successo. La zia Teodora fu apprezzata poetessa e come pittrice frequentò la bottega del Perugino; fu, inoltre, un'appassionata studiosa di matematica, geometria e astronomia, discipline verso cui avviò il nipote.

Nei primi anni della sua giovinezza Egnatio Danti lavorò presso la bottega di orafo del padre, nella quale affinò le sue conoscenze di meccanica e di disegno e perfezionò le sue abilità nella costruzione di strumenti di vario tipo.

Dal 1562 al 1575 fu a Firenze alla corte di Cosimo I de' Medici, quale insegnante di matematica e di discipline scientifiche dei suoi figli. In questa città lasciò numerose testimonianze dei suoi lavori, in qualità di cartografo e cosmografo, e molto probabilmente fu in contatto con Girolamo della Volpaia. Alla morte di Cosimo I Danti stava lavorando ad un importante progetto: la realizzazione del collegamento di Firenze sia al mare Tirreno che al mare Adriatico, tramite un canale con chiuse, laghi artificiali e perforazioni sotto l'Appennino. Il progetto fu definitivamente abbandonato, in quanto Francesco I, figlio di Cosimo, non gradiva la presenza dell'insegnante a corte, così Danti si trasferì a Bologna. Qui rimase dal 1576 al 1583, ricoprendo quale docente la cattedra di matematica presso

l'università per le classes pomeridiane. L'incarico, della durata di 4 anni, prevedeva l'insegnamento della sfera di Sacrobosco, della teoria dei pianeti, dell'astronomia di Tolomeo e di quella di Euclide. Proseguì anche qui la sua attività di cosmografo e cartografo, lasciando strumenti in diversi palazzi. Dal 1580 si trasferì a Roma, chiamato come matematico pontificio da Papa Gregorio XIII, che gli affidò diversi incarichi tra i quali quello di Vescovo di Alatri (fig.1), che ricoprì fino alla sua morte avvenuta il 19 ottobre 1586.



"Essendo piaciuto a Nostro Signore (il Papa) di darmi il carico di cotesta chiesa oltre ad ogni mio merito, né possendo io così presto venire costì sicome saria il desiderio mio, mando con questa mia, sicome da Nostro Signore (il Papa) mi è stato comandato, il mio Vicario, il quale non mancherà di far servizio a tutti sicome da me gl'è stato imposto, pregando anco Vostre Signorie che vogliano aiutarlo, et favorirlo acciò possa fare il debito suo secondo che l'ofizio ricerca. Et in questa occasione le ricordo di non manchino di attendere con ogni diligenza al divo culto, et all'altre cose. Che [al grado] loro si aspetta per il servizio di Nostro Signore Dio. Che se fra tanto occorresse di qua cosa nessuna per loro servizio incomune o in particolare mene avvisino. Che mi troveranno prontissimo per servire a cotesta chiesa, et a ciascuno di loro in particolare. Che tenghino memoria di me nelle loro orazioni. Di Roma alli xiiii di dicembre del (M D) LXXXIII F. Egnazio Danti Vescovo di Alatri".

**Fig. 1.** La lettera scritta il 14 Dicembre 1583, Archivio Capitolare Cattedrale S. Paolo Alatri.

## 2. Cartografo

Egnazio Danti fu un importante cartografo del '500. Egli applicò la tecnica del traguardo per la rilevazione di misure angolari, distanze, altezze e profondità, utilizzando il Radio latino, strumento da lui stesso costruito, ma ideato da Latino Orsini. Il metodo sviluppato da Danti era quello impiegato anche da altri cartografi contemporanei, quali Gerhard Mercatore (1512 – 1594) e Ortelio (1527 – 1598): precisa denominazione dei luoghi, in greco e in latino; indicazione di latitudine e longitudine; disegno preciso con colori vivaci. Nel 1577 redasse la prima corografia del contado perugino (Fig. 2, sinistra) e della città; l'originale è conservato negli archivi dell'IGM di Firenze e una copia è presente nella biblioteca Augusta di Perugia. A Firenze, presso la corte di Cosimo I, eseguì 53 dipinti cartografici delle regioni del mondo allora conosciuto sui pannelli della Guardaroba di Palazzo Vecchio. Delle 53 cartelle (14 raffiguranti regioni dell'Europa, 11 dell'Africa, 14 dell'Asia e 14 dell'America), 35 furono realizzate da Danti, che le corredò di didascalie recanti le indicazioni della graduazione e il rapporto scalare di

rappresentazione. Questi dipinti sono giunti fino a noi ben conservati poiché, durante il periodo in cui Firenze fu capitale d'Italia, Vittorio Emanuele II, non apprezzando l'opera, fece ricoprire le cartelle con pannellature posticce. A Roma realizzò la Galleria delle Carte geografiche (Fig. 2, destra), lunga 120 metri, voluta da papa Gregorio XIII (1572-1585). Danti realizzò tutti i cartoni di base, che furono dipinti in parte da lui e in parte da suo fratello Girolamo e da Giovanni de' Bonsignori, che aveva collaborato con Danti anche nel lavoro a Palazzo Vecchio a Firenze. L'Appennino è rappresentato dal corridoio quale elemento divisorio delle due lunghe pareti: su di una sono raffigurate le regioni bagnate dai mari Ligure e Tirreno, sull'altra quelle bagnate dall'Adriatico. La Galleria è la più vasta rappresentazione geografica mai realizzata, con una ricchezza di toponimi straordinaria, impreziosita da piante, prospetti di città e animata da grandiose scene di battaglia.

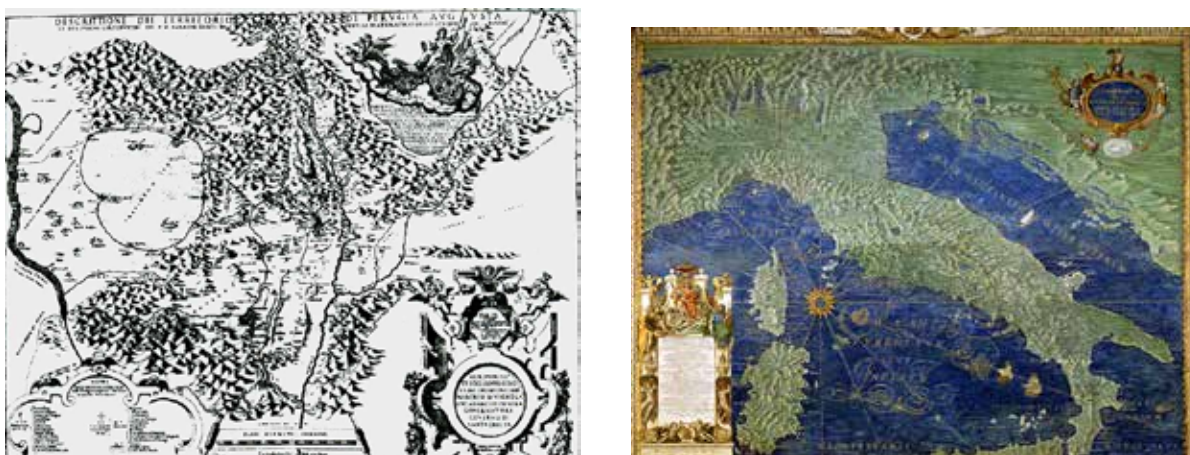


Fig. 2. (sinistra) Italia, Carta corografica del perugino 1577, IGM Firenze. (destra) Italia, Galleria delle Carte geografiche, Musei Vaticani – Roma.

### 3. Il cosmografo

A Firenze Danti svolse un'intensa attività di cosmografo, che lo vide artefice di un'armilla equinoziale e un quadrante marmoreo con otto orologi solari (Fig. 3, destra) per la facciata della chiesa annessa al convento di S. Maria Novella, dove risiedeva. Sulla facciata di questa chiesa aprì un foro gnomonico solidale con la meridiana costruita sul pavimento interno, ma la struttura presentava un errore che è stato corretto solo qualche anno fa. In questa città lasciò molti dei suoi strumenti: mappamondi di varie grandezze, il suo primo anemoscopio verticale per la Villa delle Rose e due astrolabi, costruiti per Cosimo I e per il cardinale Ferdinando. In uno di questi utilizzò uno strumento, l'"Occhiale", realizzato sostituendo i due traguardi ad aletta dell'alidada con due fori in collimazione (Fig. 3, sinistra) per osservare la stella polare e misurarne gli spostamenti, al fine di verificare la teoria eliocentrica copernicana.

A Bologna costruì altri anemoscopi verticali, che vennero installati nel cortile del palazzo arcivescovile per il cardinale Paleotti, nel giardino di Lorenzo Costa, nella villa Bianchetti ad Ozzano e nel chiostro del convento di S. Domenico, dove egli dimorava. Realizzò anche diverse meridiane: una a foro gnomonico nella chiesa di S. Petronio, nel convento di S. Domenico e in una villa di campagna. Tutti questi strumenti sono andati persi, ma ne restano le testimonianze nei numerosi libri da lui scritti.

Quando nel 1577 tornò a Perugia, realizzò due anemoscopi: uno per il palazzo dei Signori e uno per la villa Ghislieri, anche questi andati perduti.

Nel 1586 Giovanni Fontana lo richiamò a Roma da Fiumicino, dove si stava occupando della riparazione del porto, per sovrintendere alle opere di traslazione dell'obelisco vaticano da mettere in



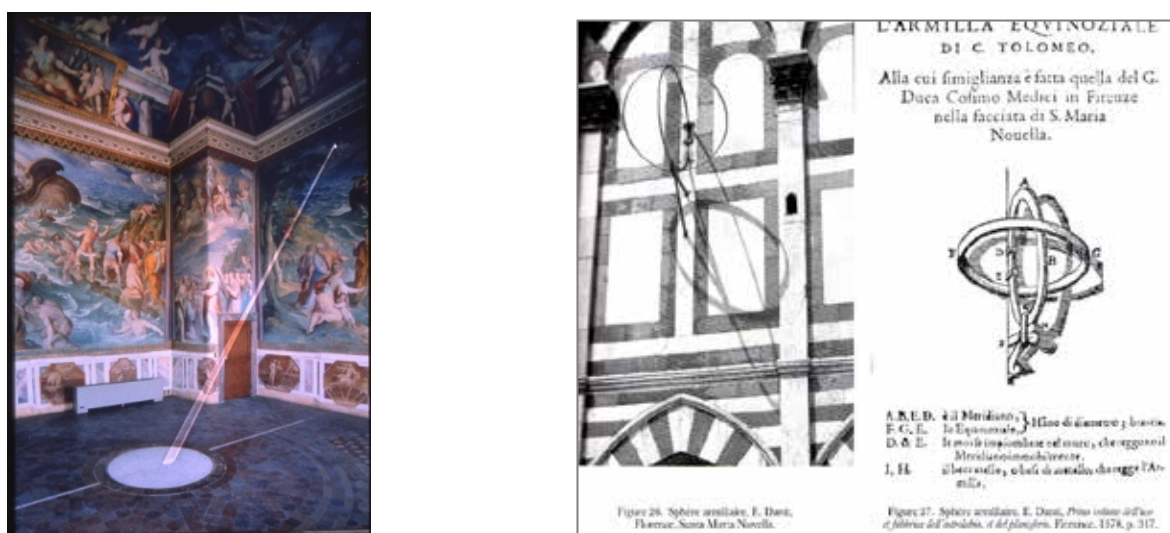
asse con la basilica: utilizzandolo come uno gnomone segnò alla sua base solstizi, equinozi e la rosa dei venti.



**Fig. 3.** (sinistra) Italia, Astrolabio, Museo Galilei – Firenze (destra) Italia, Galleria delle Carte geografiche, Musei Vaticani – Roma.

#### 4. La riforma del calendario

Nel 1574 a Firenze Danti aggiunse sulla facciata di S. Maria Novella un'armilla equinoziale (Fig. 4, destra), per determinare esattamente l'equinozio primaverile e misurare con precisione l'anno astronomico, al fine di calcolare correttamente la data della Pasqua. Grazie ai suoi calcoli, rilevò un errore di 10 giorni nel calendario; l'equinozio di primavera, infatti, cadeva l'11 marzo e non il 21. Da quel momento egli diventò una figura di riferimento importante per la riforma del calendario.



**Fig. 4.** (sinistra) Italia, Stanza della Meridiana, Torre dei Venti Giardini Vaticani – Roma. (destra) Italia, Armilla equinoziale, Santa Maria Novella – Firenze.

Nel 1580 su richiesta di Papa Gregorio XIII, Danti si recò a Roma come cosmografo e matematico pontificio per collaborare alla riforma. Nella parete sud dell'edificio della Torre dei Venti, osservatorio astronomico utilizzato proprio in tale studio, praticò un foro gnomonico solidale con la meridiana in marmo incastonata nel pavimento (Fig. 4, sinistra); con essa dimostrò al Papa la veridicità dei suoi

calcoli. Gregorio XIII, allora, istituì una Commissione di cui facevano parte, oltre a Danti, anche il matematico gesuita Christopher Clavius e il medico calabrese Aloysius Lilius.

Il calendario gregoriano fu promulgato con Bolla Papale “Inter Gravissimas” ed entrò in vigore in Italia e alcuni paesi europei di religione cattolica il 4 ottobre 1582, quando al giovedì 4 ottobre (calendario giuliano) fece seguito venerdì 15 ottobre (calendario gregoriano). Nell’arco di 5 anni tutti i paesi cattolici europei utilizzarono questa nuova scansione temporale. Il calendario gregoriano è quello attualmente adottato dalla maggior parte dei paesi del mondo.

### **Opere scritte da Egnatio Danti**

Ricca fu la produzione bibliografica di Danti, concentrata prevalentemente nei due periodi fiorentino e bolognese, città in cui vennero rispettivamente pubblicate. Numerose sue opere sono presenti nella Biblioteca Augusta della città di Perugia.

Opere del periodo fiorentino:

“Trattato dell’uso e della fabbrica dell’astrolabio” (1569)

“La sfera di Messer Giovanni Sacrobosco... rivista da Frate Egnazio Danti Cosmografo del Granduca di Toscana” (1571);

“La sfera di Proclo Liceo tradotta da maestro Egnazio Danti Cosmografo del Serenissimo Granduca di Toscana, con le annotazioni, et con l’uso della sfera del medesimo” (1573);

“La prospettiva di Euclide ... insieme con la prospettiva di Eliodoro Larisseo” (1573);

“Trattato dell’uso e della fabbrica dell’Astrolabio con la giunta del Planisferio del Roias” (1578).

Opere del periodo bolognese:

“Le scienze matematiche ridotte in tavole” (1577);

“Anemographia M. Egnatii Dantis”, Rossi (1578);

“Usus et tractatio gnomonis” (1578).

“Il Trattato dell’uso de della fabbrica dell’Astrolabio” (ristampa il primo volume), con appendice sulla realizzazione di nove strumenti: l’astrolabio armillare di Tolomeo, la sfera armillare, il quadrante astronomico, l’armilla equinoziale, lo gnomone astronomico e geometrico, l’anemoscopio verticale, il torquetum e la diottra d’Hypparco”.

### **Ringraziamenti**

Si ringrazia la SISFA per l’ospitalità accordata alla presente relazione e in particolare la prof.ssa Flavia Marcacci per l’invito a partecipare a questo prestigioso Congresso 2022.

### **Bibliografia**

Heilbron, J.L. (2005). *Il Sole nella Chiesa. Le grandi chiese come osservatori astronomici*. Bologna: Editrice Compositori.

Capone, G. (1986). *Egnazio Danti. 1536-1586. Perugino dell’ordine dei predicatori. Il suo tempo e la sua opera di artista e di scienziato. Vescovo di Alatri*. Alatri: Arti Grafiche Tofani.

Panini, F.C. (1994). *Mirabilia Italiae, la Galleria delle Carte geografiche in Vaticano*. Modena: Panini.

Bonazzi, L. (1875). *Storia di Perugia dalle origini al 1860*, vol. 1 e 2. Perugia: Vincenzo Santucci.

### **Fonti d’archivio**

Bollettino della regia deputazione di Storia Patria per l’Umbria (1942), volume XXXIX, R. Deputazione di Storia Patria Perugia.

# Models for Mercury and the *theorica* of Girolamo della Volpaia

Flavia Marcacci

Pontifical Lateran University, [flaviamarcacci@gmail.com](mailto:flaviamarcacci@gmail.com)

*Abstract:* After a short discussion about the Ptolemaic troubles with the motion of Mercury and its oval orbit, I will discuss the passage from the two-dimensional to the three-dimensional models for single planets, the so called *theoricae*, on the merit of George Peurbach (1423-1461). Thus, I will look at the *theorica* of Mercury built by the instruments' maker Girolamo della Volpaia (1530–1614) dated 1575 and preserved at the Department of Physics in Perugia.

*Keywords:* Mercury, *theorica planetarum*, History of science

Quis igitur erit motus augis deferentis Mercurij? Motus eius erit mirabilis, et pulchre considerationis.

(Campanus of Novara, *Equatorium planetarium*)

## 1. Introduction

The partial observation of Mercury's positions prevented scholars from understanding some errors inherent in the Ptolemaic scheme with reference to this planet for a long time. Even before the transition to the heliocentric system, astronomers noticed and tried to correct these errors. Peurbach's work, reviewed and commented on by Regiomontanus (*Theorica nova planetarum*, 1472; Malpangotto, 2021), succeeded in making many corrections, and especially in setting up the possibility of making three-dimensional material models of the motions of individual planets, named *theorica*. Mercury proved to be particularly interesting and complicated. Already Ptolemy had added a circular mechanism to “crush” its deferent, and realizing this in an instrument did not have to be easy.

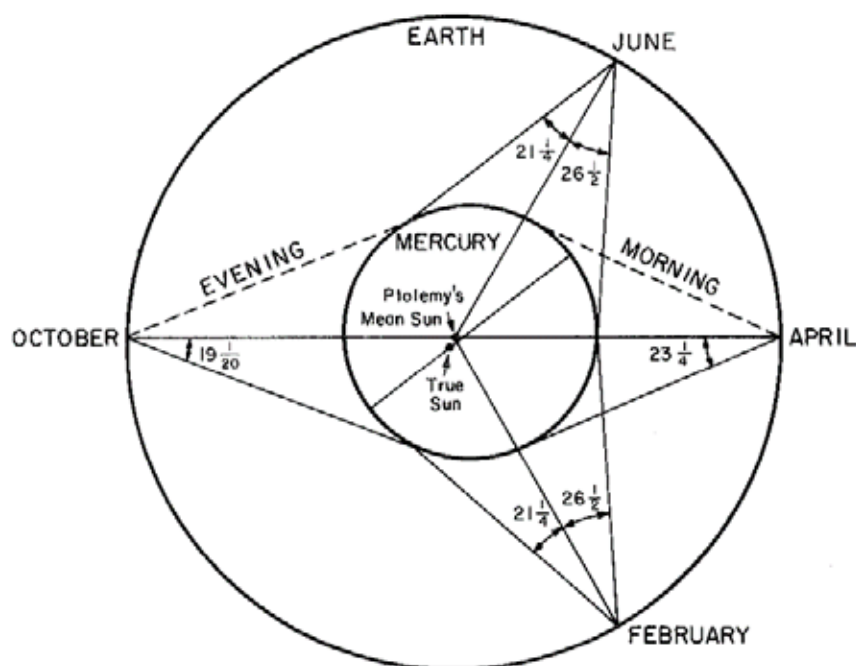
The *theorica* of Girolamo della Volpaia dated 1575 and exhibited in Perugia during the SISFA 2022 congress is the three-dimensional model of Mercury's motion. This paper briefly illustrates some aspects of the representation of Mercury's motion in the passage from the two- to three-dimensional model.

## 2. Ptolemy on Mercury and beyond

In ancient astronomy, Mercury and Venus were named “inferior” because they are closer to the Sun than the Earth. They differ from the “superior” planets Jupiter, Mars, and Saturn for their limited elongation from the Sun (inferior to  $28^\circ$  for Mercury, and  $48^\circ$  for Venus), which is the cause of their motion ahead of and behind the Sun, always in its proximity. Their location between the Earth and the Sun, however, was not unambiguously established: in the so-called Platonic system (Plato, *Republic*, X, 616b-617d), Mercury and Venus goes around the Earth beyond the Moon and the Sun; in the Ptolemaic system, essentially described in the *Almagestum* and other works by Ptolemy, they revolve around the Earth but between the Moon and the Sun. Another solution was advocated in the antiquity for Mercury and Venus, mentioned by some Latin writers as Macrobius and Martianus Capella: their rotation was around the Sun, or rather, around the mean Sun, a fictitious point around which the real Sun also rotated. It was

precisely the inferior planets that provided evidence for switching from the geocentric model to the heliocentric. Nevertheless, even after the publication of Copernicus' *De revolutionibus orbium coelestium* (1543), astronomers continued to use geocentric methods to calculate the positions of celestial bodies for a long time.

In a notable paper, Gingerich (1993) brought into focus what Copernicus had named the "heliostatic" model vis-a-vis not the "heliocentric". This is because the Earth, rather than the Sun, was the center of planetary motions for the calculation. Mercury's motion makes this particularly evident this choice.

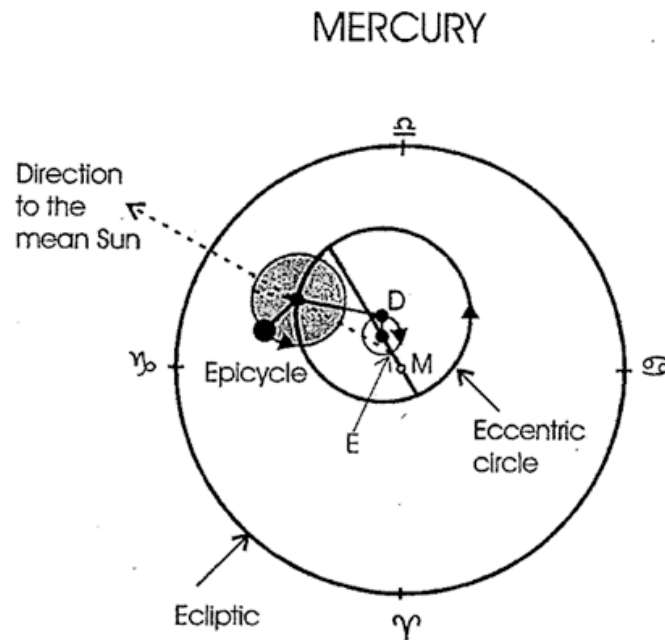


**Fig. 1.** Heliocentric orbit of the Earth and circular orbit of Mercury (Gingerich 1993, p. 380). In the figure, Mean Sun and True Sun are indicated: the former denotes the circular uniform motion of a fictitious body around the Earth, the latter denotes the real Sun's motion. The mean longitude of an inferior planet is equal to the longitude of the mean Sun.

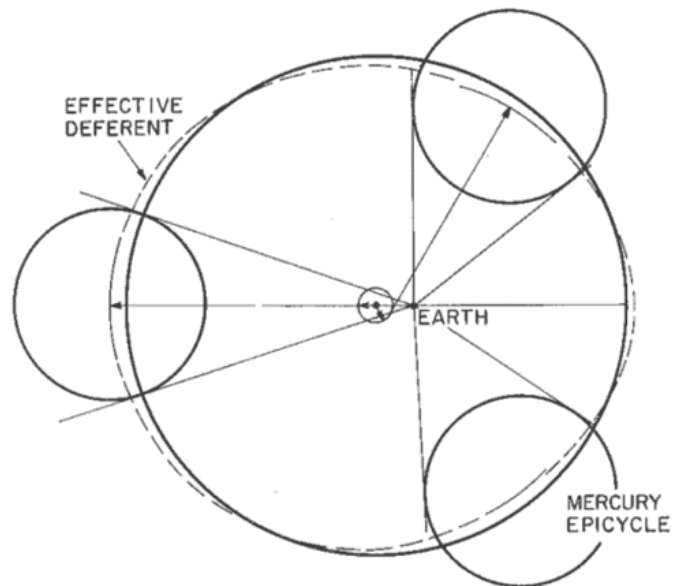
In Fig. 1, Gingerich indicated six observations of Mercury's elongation: elongations in the morning and evening in February (respectively  $26,5^\circ$ ,  $21,25^\circ$ ), morning in October ( $19,5^\circ$ ), morning and evening in June (respectively  $21,25^\circ$  and  $26,5^\circ$ ) and evening in April ( $23,25^\circ$ ). Since Mercury was below the equator and then not visible in the April's sunrise, Ptolemy could not measure the morning elongation, and he supposed the same value of the evening. By similar reasoning, the situation should have been similar in October. So, the total angle in June and February was greater than the angle in April. This conclusion was vitiated by errors incorrigible by Ptolemy. Nevertheless, the error in placing the apsides line (about  $30^\circ$ , line coincident with the horizontal line in Fig. 1), and the apogee and perigee points, worked well until the year 1300.

To confirm the large elongation in June and February and the smaller in October, Ptolemy introduced a little epicycle mechanism (Fig. 2, 3). This small circular mechanism that made the deferent oval (Hartner 1958). The epicycle was moved back and forth along different periods of one year. Precisely understanding this small mechanism concentrated Regiomontanus against Gerard of Cremona so that his master Peurbach's lesson would be correctly understood (Malpangotto, 2013).





**Fig. 2.** Ptolemaic model for Mercury: M is the center of the world, D is the center of the eccentric circle, E is the center of the equant (Dekker 2004, 30).



**Fig. 3.** The little circle is the epicyclet mechanism which makes the effective deferent oval (Gingerich 1993, 382).

Gingerich and Emmanuel Poulle (1967) computed the values referring to the Alfonsine ephemeris from 1300 to 1600 and they showed the errors in longitude for Mercury. Copernicus had to notice those errors. He transformed the geocentric Ptolemaic system into a heliostatic system. He complained of having only a few observations for the elongation of Mercury. It was difficult to immediately move forward a

more mature heliostatic version of the planetary model, so Mercury continued to have that complex mechanism.

Mercury became the obsession of Tycho Brahe, who left many observations with which Kepler corrected the line of the apsides to within  $2^\circ$ . Besides, he successfully predicted a transit of Mercury and Pierre Gassendi (7 November 1631) observed it<sup>1</sup>. Riccioli celebrated this prediction as an evidence of the planet's elliptical orbit. Gingerich concluded that the heliocentric solar system was convincingly established, but he did not take into consideration that Riccioli had inserted Mercury in his geo-heliocentric system with spiral orbs<sup>2</sup>. Thus, his conclusion should be taken up and discussed appropriately.

### 3. Materialized orbits

In the Middle Age the most common planetary “computer” was the bi-dimensional *equatorium*, to establish planetary celestial coordinates with reference to the celestial equator and the point where it crosses the ecliptic (vernal point). Campanus of Novara (1222?-1296) computed the ecliptic longitude on the basis of the Ptolemaic system. In fact, medieval instruments devoted to the description of latitude motions were not so widespread.

Two-dimension geometrical models and calculations passed to the three-dimensionality when the surface of circles was transformed in a spherical representation. That happened during the Renaissance and Georg von Peurbach (1423-1461) was the innovator. He corrected and renewed the original version of the *theorica planetarium* so that his *Theorica nova planetarium* (1454, published posthumously by Regiomontanus in 1474) added precious images and diagrams to the information about the celestial spheres (Pantin, 2012) and a physical approach to models (Malpangotto, 2021). Astronomy became even more “visual” and facilitated the possibility of producing instruments. New three-dimensional instruments were built for each planet, so that each planet had its three-dimensional model, with its stationary and retrograde motions.

Such instruments were a rarity after the publication of the Copernicus *De revolutionibus orbium coelestium* (1543). Even if the diffusion of three-dimension astronomical instruments happened during the XVII century, most of them were developed to make concrete and visible the heliocentric view. Nevertheless, the reference to geocentric system continued for didactic scopes for a long time (Raposo, 2020). Ptolemaic mathematics remained the basis for the following developments. The three kinds of visualized planetary models - Ptolemy's models as mathematical, the brass models, and Peurbach's models as materialized - lived together for a long time and depended on each other.

The description and definition of those instruments has evolved since Gingerich (1977) recognized the first “orbaria” dedicated to the representation of the motion of a single planet. Other following appellatives were “spherical planetarium”, “planetolabium”, and erroneously “armillary spheres” (Dekker, 2004, p. 17). A standard armillary sphere described the planetary motion compared to the fundamental celestial circles mounted on the rotation axis of the celestial poles (equatorial rings, the rings for the Cancer and Capricornus tropics, the ecliptic), added to the ring of the celestial horizon stable on the stand. Instead, a *theorica* combined spherical orbs as they were eccentrics, epicycles, and equants to reproduce of a single planet's motion. Besides, in the brass models, the outer sphere represents the First Mover's daily motion, and its orientation depends on the latitude of the place (an

<sup>1</sup> See *Gassendi and the Transit of Mercury*, 1931. See also van Helden (1976).

<sup>2</sup> Gingerich (1993) quoted Riccioli (1665), p. 348. See also Riccioli (1651): Sectio III “De motu longitudinis Veneris et Mercurii”, Caput IV “De Tychonics seu Longomontana Hypothesi Veneris ac Mercurij, Book VII *Planetarum Mercurii et Veneris in longitudinem*, section III, p. 574.

armillary sphere has it as well). The horizon ring represents the horizon line and is often a part of the stand of the instrument.

#### 4. Materialized Mercury's orbit

The Campanus' *equatorium* assessed four circles for Mercury orbit (see Campanus 1971, pp. 212-215):

1. The circle of the epicycle, whose circumference is the line where the body of Mercury moves along anti-clockwise.
2. Eccentric deferent, whose circumference is the line where the center of the epicycle moves toward East.
3. The little circle (*circulum paruum*), a little circle whose circumference contain the motion of the center of the deferent with uniform motion toward West.
4. The Equans circle, respect whose center the center of the epicycle moves uniformly.

According to Campanus, the last three circles lie on the same plane. The surface of the circle of the epicycle declines variably on that plane. The centers of zodiac, equant and the little circle are on the same line. The direction from the Earth to the epicycle's center coincides with the direction from the Earth to the mean Sun. Planet's revolutions along the epicycle occur in the same direction as the revolutions of the epicycle's center on the deferent.

Passing from the two-dimensional representation to the three-dimensional model, the reproduction of Mercury's motion needs one additional orb. According to Peurbach (1596, p. 70):

De deferente epicyclum. Sed orbis quintus epicyclum deferens, intra duos secundos locatus, mouetur in longitudinem secundum successionem signorum, centrum epicycli deferendo regulariter super centro aequantis, quod quidem in medio est niter centrum mundi, et centrum parui circuli.

The "quintus" additional orb (white in Fig. 4, left) contains all the revolution's space (surface in the bidimensional diagram) of the epicycle between deferents for the apogee of the eccentric.

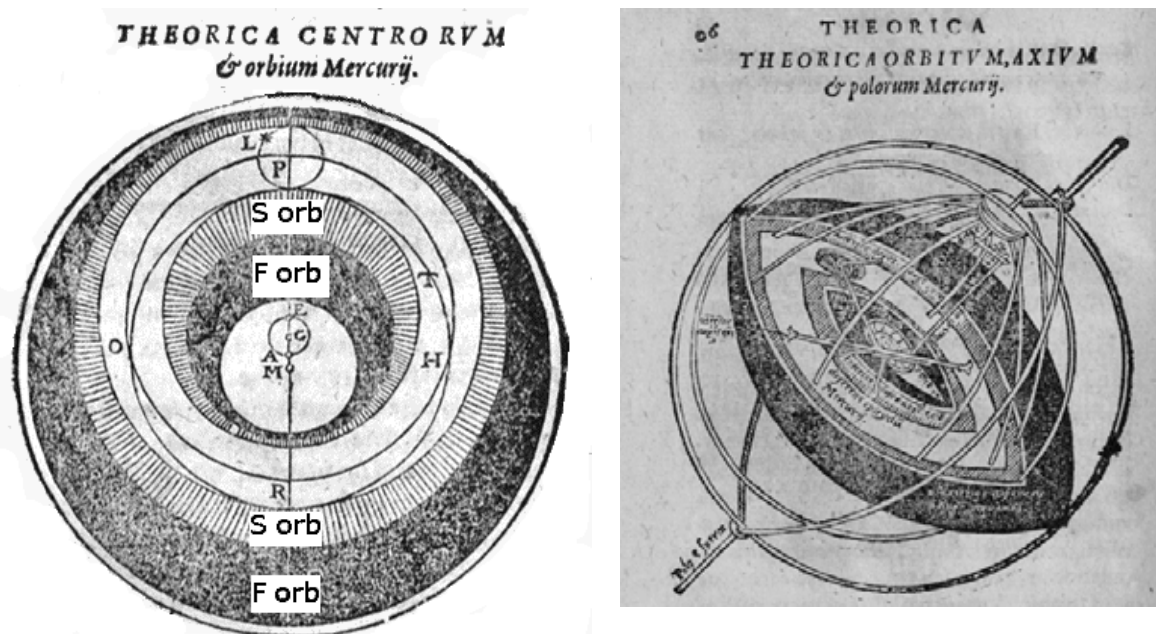
Thus, five orbs totally: two blacks, two dashed, one white. Peurbach transformed the two-dimensional model by using circles instead of circumferences, circles that were meant to represent orbs (that is spheres or shells or rings) in three dimensions.

With reference to fig. 4-left, M, A, C and E are respectively the centers of the cosmos, of the equant, of the little circle, of the mobile eccentric (*theorica centrorum orbium*). Fs are the dark orbs, that is the outermost and the innermost: they are deferents of the apogee of the equant. Two orbs S are deferents for the apogee of the eccentric. The white orb is in the middle: it is the deferent of the epicycle and OPHR is its eccentricus. OTH is the equans, PER is the line of the apogee of the equant.

Peurbach did suggest no rules to put orbs in relation to each other in the three-dimensional space (Fig. 4-right). According to Dekker, he might have retrieved, some Arabic technics by using the medieval tradition, in particular the way to solve some difficulties about the transformation of a geometrical scheme in a three-dimensional device.

The reproduction of the eccentricity of the orbit was the first problem. The eccentric circle and the epicycle on it are fundamental for reproducing the orbits of the Sun, Moon, and planets. The ecliptic plane, both in the plane itself or in the relative perpendicular plane, is the reference for their representation (Dekker, 2004, p. 30). Thus, the eccentric circle is generally reproduced by means of a three-orb-system which, as a whole, it is homocentric and can move all its parts together. However, the shells inside or outside are labeled concentric or eccentric to the eccentric orb. Considering the cross section perpendicular to the ecliptic plane, the inclination of the three-orb-system is or is not there depending on what celestial body is represented, that is the Moon, the Sun or the planets. Two ways for reproducing the eccentricity already occurred in the last Middle age: from one hand, the *eccentricus simpliciter* made by spherical shell of uniform thickness; on the other hand, *eccentricus*

*secundum quid*, as well as spherical shells of non-uniform thickness (Dekker, 2004, p. 17). If superior and inferior planets need of different mechanisms, Mercury's model is particularly complex because it adds a little circle where the center of Mercury's eccentric circle rotates. The center of this little circle is not the center of the universe, as we saw above.



**Fig. 4** Transversal section for Mercury's orbs (left, Peurbach 1596, p. 70). Three-dimensions reproduction for five-orbs system of Mercury (right, Peurbach 1596, p. 72).

Dekker (2004, 17-18) organized the *theoricae* in two groups. In the first group, materialized models reproduce only the longitude motion; the outer sphere has the horizon ring, and it is mounted in a stand. The models of the second group reproduce longitude and latitude motions; the orb-system is mounted in an outer sphere which probably represents the eight sphere and it is oriented on the ecliptic; besides, neither the sphere of the First Mover or the horizon ring are in the brass model.<sup>3</sup> The *theorica* in Perugia (Truffa, 2023, Fig. 2 and 3, in this volume) belongs to the group 1 and reproduces the Mercury motion with epicycles. With reference to figure 5, Girolamo della Volpaia used a five-orb-system (orbs A, B, C, D, E) to reproduce of this mechanism: an outermost supplementary orb is attached on two poles fixed on an axis coincident to the axis of the ecliptic, and an innermost orb is again attached its closer supplementary orb. The five-orbit system's global motion follows the three-orbit system's motion (orbs B, C, D).

In the Peurbach's *theorica* for Mercury the axis of the five-orb-system coincides with the axis of the ecliptic. The outermost supplementary orb rotates around a concentric orb to whom it is attached nearby the poles. The three-orb-system is eccentric: its apogee revolves along the ecliptic. This system, considered as a whole, is connected to the outermost supplementary orb and its motion is connected to whatever motion of the outer supplementary orb. A second motion of the three-orb-system is possible: a motion around an axis through its center and perpendicular to Mercury's orbital plane (orbital plane which coincides with the ecliptic plane in the absence of the latitude). Consequently, to

<sup>3</sup> Giancarlo Truffa (see also Truffa, 2023) is drafting a comprehensive update of the repertoire, considering also the four anonymous models preserved at the Musei Civici di Vicenza (see Carolo, 2022). Another *theorica* is preserved in Rimini and has yet to be studied. Thus, the organization of the *theoricae* into two groups will therefore have to be discussed again.

this motion, the apogee of the inner eccentric orb (that is, the partial orb embedded in the eccentric three-orb-system) revolves in the ecliptic (= orbital) plane.



**Fig. 5.** The five-orb-system and the three-orb-system in the *theorica* of Perugia.

## 5. Conclusion

We have briefly seen the importance of the planet Mercury in understanding the limitations and errors of the Ptolemaic system, which emerged in the transition from two-dimensional to three-dimensional models. To ovalize its orbit, Peurbach reproduced specific mechanisms for the model of Mercury's motion. This fact was interpreted in light of Kepler's later elaboration of elliptical orbits. However, elliptical orbits were integrated into the geoheliocentric system by Riccioli. The issue would certainly merit further study. In any case, Della Volpaia's theory raises questions about the history of astronomy of undoubted interest.

## Acknowledgments

I am delighted to thank my colleagues at the Department of Physics and Geology of the University of Perugia, especially Profs. Giovanni Carlotti and Daniele Fioretto, who decided to enhance the Perugia Collection of Ancient Scientific Instruments by involving me and the Sisfa scholars with confidence and enthusiasm. Special thanks go to Giancarlo Truffa for his irreplaceable advice and invaluable availability about the study of the Della Volpaia's *theorica*.

## Bibliography

Campanus Novariensis, (1971). *Campanus of Novara and medieval planetary theory: Theorica planetarum*. Edited by Benjamin, F.S. & Toomer, G. J. Madison: University of Wisconsin Press.



- Carman, C.C. (2018). “The First Copernican Was Copernicus: The Difference between Pre-Copernican and Copernican Heliocentrism”, *Archive for History of Exact Sciences*, 72(1), pp. 1-20.
- Carolo, A.G. (2022), “Le Sfere Planetarie di Giove, Venere, Luna e Sole & Ottava sfera nei Musei Civici di Vicenza: note relative al loro ritrovamento ed aspetti storico-didattici descrittivi”, *Proceedings of the 41st Annual Conference: Arezzo, 6-9 settembre 2021*. Pisa: Pisa Un. Press, pp. 361-366.
- Copernicus, N. (1543). *De Revolutionibus orbium caelestium libri VI*. Norimbergæ: apud Jo. Petreium.
- Dekker, E. (2004). *Catalogue of Orbs, Spheres and Globes*. Firenze: Giunti-Istituto e Museo di Storia della Scienza.
- Dekker, E. (2004). “Gassendi and the Transit of Mercury”, *Nature* (1931), 128, 787–788. DOI: <https://doi.org/10.1038/128787a0>
- Gingerich, O. (1977). “The 1582 *theorica Orbium* of Hieronimus Vulparius”, *Journal for the History of Astronomy*, 8, pp. 38-43.
- Gingerich, O. (1993). “The Mercury Theory from Antiquity to Kepler”, in Gingerich O. (ed.) *The Eye of Heaven: Ptolemy, Copernicus, Kepler*. New York: American Institute of Physics, pp. 379-387 (reprinted from *Actes du XIIIe Congrès International d’Histoire des Sciences, Paris, 1968*, vol. 3A, pp. 57-64. Paris: Librairie Scientifique et Technique Albert Blanchard, 1971).
- Hartner, W. (1955). “The Mercury Horoscope of Marcantonio Michiel of Venice. A study in the History of Renaissance Astrology and Astronomy”, *Vistas in Astronomy*, 1, pp. 84-138.
- Helden (van), A. (1976). “The Importance of the Transit of Mercury of 1631”, *Journal for the History of Astronomy*, 7, pp. 1-10.
- Malpangotto, M. (2013). “L’univers auquel s’est confronté Copernic: La sphère de Mercure dans les *Theoricae novae planetarum* de Georg Peurbach”, *Historia mathematica*, 40, pp. 262-308.
- Malpangotto, M. (2021). *Theoricae novae planetarum Georgii Peurbachii*. Dans *l’histoire de l’astronomie*. Paris: CNRS Alpha.
- Pantin, I. (2012). “The first phases of the *Theoricae Planetarum* printed tradition (1474-1535): the evolution of a genre observed through its images”, *Journal for the History of Astronomy*, 43, pp. 3-26.
- Peurbach, G. (von) (1596). *Theoricae Novae Planetarum. Quibus accesserunt: Ioannis de Monte Regio Disputationes, Super deliramenta Theoricarum Gerardi Cremonensis*. Basileae: Ex per S. Henricpetri.
- Poullé, E. & Gingerich, O. (1967). “Les positions des planets au moyen âge : application du calcul électronique aux tables alphonsines”, *Académie des inscriptions et belles-lettres comptes rendus des séances*, pp. 531-548.
- Raposo, P. (2020). “Recounting the Orbs Planetary Models and the Idea of Discovery in Astronomy, 1780-1850”, *Nuncius*, 35, 275-299.
- Riccioli, G.B. (1651). *Almagestum novum astronomiam veterem novamque complectens*, 2 voll. Bononiae: Ex Typographia Haeredis Victorij Benatij.
- Riccioli, G.B. (1665). *Astronomiae reformatae tomi duo*. Bononiae: ex Typographia Haeredis Victorij Benatij.
- Truffa, G. (2023). “The models of the orb of Mercury made by Girolamo Della Volpaia: Perugia and Chicago”, in *SISFA Proceedings*, Perugia 2022, to appear.

# The models of the orb of Mercury made by Girolamo Della Volpaia: Perugia and Chicago

Giancarlo Truffa

Independent scholar, membro della SISFA, [truffag@gmail.com](mailto:truffag@gmail.com)

*Abstract:* Girolamo Della Volpaia (1530-1614), member of one of the most important families of instrument and clock makers based in Florence during the Renaissance, made many instruments now disseminated in public and private collections around the world. There are sundials of different kinds, nocturlabes, horary quadrants and armillary spheres, all made with great skill, both technical and artistic. He has also been one of the few makers of a specific category of instruments, the models of the orbs of the planets, or orbaria, a representation in three dimensions of the geocentric universe proposed by Ptolemy and revised by Georg Puerbach in the XV century. In the Department of physics and geology of the University of Perugia the model of the orb of Mercury made by Della Volpaia is preserved while another model for the same planet is extant in the historical collections of the Adler Planetarium in Chicago. In this paper I will consider the origin of these models and the peculiar characteristics of these two instruments.

*Keywords:* Astronomy, History of Scientific Instruments

## 1. Introduction

The representation of planetary motions has been very difficult for any system adopted by the astronomers between classical Antiquity and the Scientific Revolution.

The Geocentric system, first developed by Eudoxus and elaborated by Aristoteles in the IV cen. BCE, was purely homocentric. But this model presented several discrepancies with the observations, and around 200 BCE a combination of eccentric circles, named deferent and epicycle, was introduced to solve these issues.

These geometrical structures were subsequently refined until they became quantitatively predictive and reasonably. The final, influential forms of these planetary hypotheses are found in the works of Claudius Ptolemy of Alexandria (II cen. CE), most crucially in his *Almagest* but also in his *Inscriptio Canobi*, *Canones manuales*, and *Hypotheses planetarum*.

The question of how these hypotheses might be physically realized is not addressed explicitly nor in the *Almagest*, neither in the *Inscriptio Canobi* and the *Canones manuales*. Only in the *Hypotheses planetarum*, Ptolemy shown how the circles of mathematical planetary theory may be incorporated in a spherical cosmos and in book 2 he described two possible ways to build models in three dimensions of his planetary theory (Murschel 1995).

Ptolemy's books were translated first in Arabic and later in Latin. From these texts many compendia were written by Latin scholars to avoid the technical difficulties of the *Almagest*, like the *Theorica planetarum*,<sup>1</sup> sometimes ascribed to a not better specified Gerardus, an introductory text on theoretical astronomy appeared in the XIII century, and the *Theorica planetarum* written by Campanus of Novara (XIII cen.) (Benjamin & Toomer 1971), the main purpose of this work was to describe the construction of an instrument for finding the position of the heavenly bodies, generally called an *equatorium*.

---

<sup>1</sup> Incipit "Circulus eccentricus vel egressse cuspidis vel egredientis centri dicitur..."

The textual history of the *Hypotheses planetarum* is more complex: only the first part of book 1 is still available in Greek; the second part of book 1 and book 2 are only available in Arabic and the first translations in Latin appeared in the XVII century.

Never the less the old, and exceedingly careless, *Theorica planetarum* was superseded in the university courses by a text composed in 1454, and revised in 1460, by the Austrian mathematician and astronomer Georg Peurbach (1423-1461), the *Theoricae Novae Planetarum* (Malpangotto, 2021). This text contains very careful and detailed descriptions of the representations of Ptolemaic planetary models supplemented by diagrams of considerable importance, since parts of Peurbach's text would be unintelligible without them. Peurbach's models remained the canonical physical description of the structure of the heavens until Tycho Brahe (1546-1601) disproved the existence of solid spheres at the end of XVI century.

Paper instruments in two dimensions, commonly named *volvelles*, have been made following the drawings contained in the *Theoricae Novae* and are preserved in several manuscripts. But also drawings of three-dimensional planetary models appeared c.1538, or even before, and were reproduced in the following printed editions.<sup>2</sup>

These drawings have inspired some instrument maker to make demonstrational instruments with the scope to facilitate the visualisation of these planetary models. In Fig.5 the drawing of the mechanism for Mercury from the princeps edition of Peurbach's *Theoricae Novae Planetarum*, Nuremberg c.1473, is compared with the mechanism in the instrument of the Adler Planetarium in Chicago.

The oldest existing instruments signed and dated have been produced by Girolamo Della Volpaia (1530-1614), member of a famous family of clock and instrument makers, active in Florence from the end of XV century until the death of Girolamo, who left no heirs. Currently 22 instruments are known.<sup>3</sup>

- a. Firenze, Museo Galileo, Firenze: model of the Sun (unsigned and undated), model of the Moon (Girolamo Della Volpaia, 1557);
- b. Unknown location, previously Collection dr.Tomba, Milano: model of the Moon (Girolamo Della Volpaia, 1559);
- c. Firenze, Biblioteca Medicea Laurenziana: model of the Moon, Sun and Eight Sphere, with mechanism for the trepidation, model of the superior planets (Mars, Jupiter, Saturn), model of Venus, model of Mercury (made by different makers under the supervision of Antonio Lupicini, c.1574-1575);
- d. Città del Vaticano, Musei Vaticani: model of the Sun, model of the Moon, model of Mars, model of Venus, model of Mercury (unsigned, but attributed to Arsenius' workshop, possibly by Adrien Descroliers, c.1575);
- e. Vicenza, Museo Civico Naturalistico e Archeologico: model of the Sun and Eight Sphere, with the mechanism for the trepidation, model of the Moon, model of Venus, model of Jupiter (unsigned and undated);
- f. Munchen, Deutsches Museum, model of Jupiter, model of Mercury (unsigned, c.1599);
- g. Perugia, Dept. of physics and geology of the University of Perugia: model of Mercury (Girolamo Della Volpaia, 1575);
- h. Chicago, Adler Planetarium: model of Mercury (Girolamo Della Volpaia, 1582);
- i. Prague, Narodni Technicke Muzeum: model of the Sun and the Moon (unsigned and undated);
- j. Rimini, Biblioteca civica "Gambalunga": model of the Moon (unsigned and undated).

<sup>2</sup> I am currently studying the manuscripts with these volvelles and the printed versions of the *Theoricae Novae* with three-dimensional drawings.

<sup>3</sup> Dekker, 2003, pp.17-18, 32-51, mentioned 17 instruments and studied the instruments in the Museo Galileo, in the Biblioteca Laurenziana and in the Musei Vaticani; Carolo, 2022, pp. 361-366, has briefly presented the instruments in Vicenza; the other instruments, especially that in Rimini, deserve specific studies.



Very soon these models will be «dissoluted» by the observations of new stars and comets which demonstrated the inexistence of spherical shells.

## **2. Girolamo della Volpaia's instruments**

Girolamo Della Volpaia (c.1530-1614), son of Camillo (1484-1560 or 1569) and nephew of Lorenzo (c.1446-1512), is the well documented member of this family of clock and instrument makers.<sup>4</sup> Around 30 instruments with his signature or with stylistic similarities are known in public and private collections around the world, including some possible copies made later his death by others.

His production included different types of sundials: horizontal, annular, polyhedric and bowl sundials, nocturnals, horary quadrants, armillary spheres and the models of planetary orbits. He was also active as clockmaker and moderator of public clocks in Florence but this activity is only documented through contemporary witnesses.

Six armillary spheres made by Girolamo are known, three in public collections and three in private,<sup>5</sup> and they are very useful also for the study of the models of planetary orbits because the primary structure of these models is an armillary sphere.

As I reported in the previous list, two models of the motion of the Moon (Dekker 2003, pp. 17, 70-73) and two models of the motion of Mercury made by Girolamo are known. Another instrument, the model of the motion of the Sun and the Moon in the National Technical Museum in Prague<sup>6</sup> (entry “i” in the previous list), has been ascribed to him by some authors, but I tend to exclude it after the analysis of some good picture I received from the curator of the Museum.

In this paper I will present the two models of the motion of Mercury.

## **3. The Model of the Motion of Mercury in Perugia (Fig.2 and 3)<sup>7</sup>**

The brass model of Mercury in Perugia is of unknown origin. It is first documented in the collections of the Department of physics and geology of the University of Perugia in 1925 but how and when it was acquired and mainly if it was commissioned, if it was projected by a mathematician or if it was a personal creation of Girolamo are open questions.

The external diameter of the Horizon Ring is 254 mm while the internal is 200 mm. Three rising quarter-circles support the Horizon Ring and are fixed on top of a simple turned wooden pedestrian. The instrument is signed "HYRONIMVS VVLPARIA FLORENTINVS FA. A.D.M.D.L.XXV" stamped on the underside of the Horizon Ring.

The upper side of the Horizon is divided in 4 concentric circles (Fig.1). Starting from inside:

- the first circle is divided in 4 quadrants, graduated clockwise from N: 90°-0°; 0°-90°; 90°-0°; 0°-90°; numbers every 10°, with division 1°;
- the second circle has the names of the winds in Italian: TRAM(ON)TANA / GRECO-LEVANTE / GRECO / LEVANTE / SIROCCO-LEVANTE / SIROCCO / OS(TR)O / OSTRO-GARBIN / GARBIN / PONENTE / PONENTE-MAESTRO / MAESTRO. On the right of LEVANTE, the word "MIZRACH", “East” is engraved in Hebrew letters and on the right of PONENTE, the word "MA'RAV", “West”;

---

<sup>4</sup> See the studies of Carlo Maccagni mentioned in the bibliography for the different members of Della Volpaia family.

<sup>5</sup> London, Science Museum (1554); Firenze, Museo Galileo (1564); private collection (1571) (Kugel, 2002, pp. 102-105); private collection, (c.1575) (Galluzzi, 2009, pp. 310-311); Bologna, Biblioteca Putti dell'Istituto Rizzoli (1577) (personal inspection); private collection (1598) (Sotheby's, 1989, pp. 62-63)

<sup>6</sup> I thank Ing. Antonin Svejda, who kindly provided me some fine picture of the instrument.

<sup>7</sup> This instrument has previously been illustrated in Levi & Levi Donati, 1991 and in Maovaz & al., 2008, pp.107-108, 124

- the third circle has the names of the winds in Latin: SEPT(E)NTRIO / AQVILO / CECIAS / SVBSO(LA)NVS / VVLTVRNVS / EVRONOTVS / AVS(T)ER / LIBONOTVS / APHRICVS / FAV(ON)IVS / CARVS CORVS / THRASCIAS, names attributed to Seneca. Before SEPTENTRIO is engraved "ZAFON" "North" in Hebrew letters and before AUSTER "NEGHEV" "South";

- the fourth circle has the names of the winds in Greek with the transliteration in Latin in 9 cases.

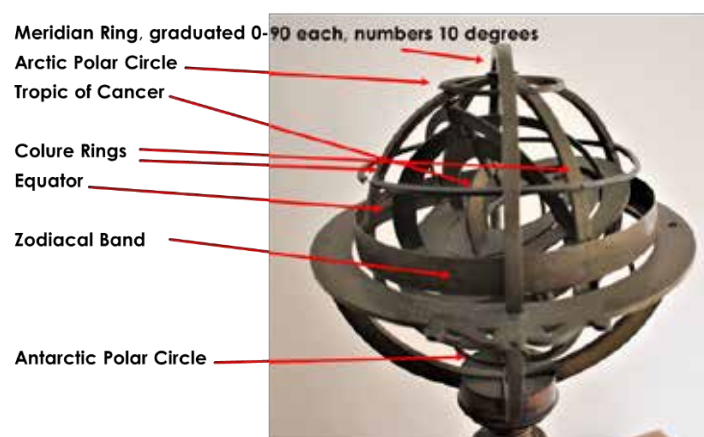
Greek names	ΖΕΦΥΡΟΣ ZEPHYRVS	ΑΡΙΕΣΤΗΣ ARGESTES	ΦΡΑΣΧΙΑΣ	ΑΡΑΡΚΤΙΑΣ APARCTIAS	ΒΟΡΕΑΣ BOREAS	ΚΑΙΚΙΑΣ HELLESPONTIAS
Latin names	FAVONIVS	CARVS CORVS	THRASCIAS	+ SEPTENTRIO	AQUILO	CECIAS
Italian names	PONENTE ++	PONENTE MAESTRO	MAESTRO	TRAMONTANA	GRECO LEVANTE	GRECO
Graduation	15-0, 0-15	15-45	45-75	75-90, 90-75	75-45	45-15
	++ MA'RAV (West)			+ ZAFON (North)		

Greek names	ΑΦΑΙΓΙΤΗΣ APELIOTES	ΕΥΡΟΣ EVRVS	ΦΟΙΝΙΚΙΑΣ	ΝΟΤΟΣ NOTVS	ΛΙΒΟΝΟΤΟΣ	ΛΙΥ LIBS
Latin names	SUBSOLANVS	VVLTVRNVS	EVRONOTVS	AVSTER **	LIBONOTVS	APHRICVS
Italian names	LEVANTE *	SIROCCO LEVANTE	SIROCCO	OSTRO	OSTRO GARBIN	GARBIN
Graduation	15-0, 0-15	15-45	45-75	75-90, 90-75	75-45	45-15
	* MIZRACH (East)			** NEGHEV (South)		

**Fig. 1.** Model of Mercury, University of Perugia, Dept. of physics and geology  
Subdivisions of the Horizon Ring.

The Meridian Ring is perpendicular to the Horizon Ring and it is graduated 0°-90°, every 10°, externally and on each side.

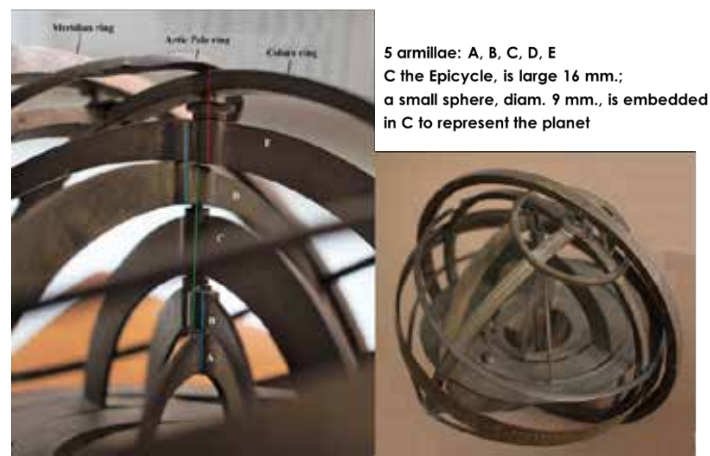
The primary sphere of c.200 mm. of diameter is mounted in the Meridian Ring and it consists of the usual rings of an armillary sphere: the Equator, the Colures, the Tropics and the Polar Circles. A Zodiacal Band is fixed to the Colures, but in a wrong position, because it has been settled to the Equator ring instead to settle it to the cross of the Solstitial Ring and the Tropics. This erroneous mounting has been done during a previous repair. The Band is large 23,5 mm. and divided in 12 parts, graduated 0°-30° each with numbers every 10°, and the Latin names of the Constellations: ARIES / TAVRVS / GEMINI / CANCER / LEO / VIRGO / LIBRA / SCORPIVS / SAGITTARIVS / CAPRICORNVS / AQVARIVS / PISCES.



**Fig. 2.** Model of Mercury, University of Perugia, Dept. of physics and geology  
The rings of the armillary sphere.

Inside the primary sphere are five armillae or partial orbs (Fig.3 and Fig.5), which together represent the orb of Mercury. They are labelled from A to E in Fig.3. The orb in the middle (C) consists of two flat

brass rings of uniform thickness, 16 mm., fixed perpendicularly to each other and one of them carries a small sphere, 9 mm. of diameter, which represents the planet.



**Fig. 3.** Model of Mercury, University of Perugia, Dept. of physics and geology  
The mechanism for the planetary motion.

The orbs B and D, each composed of two flat brass rings, are coupled together, through the axis in green in the figures. Together they represent the deferent orb of the apogee of the eccentric of Mercury. The orbs A and E are also coupled together through the axis in blue in the figures. They represent the deferent orb of the equant of the eccentric of Mercury. The whole system A-E is mounted at the cross of the Solstitial Colure and the Arctic Pole Circle (red lines in the figures). See Marcacci's paper in this volume for a comparison with the model described in Peurbach's *Theoricae Novae Planetarum*.

#### 4. The Model in Chicago (Fig.4 and 5)<sup>8</sup>

The brass model of Mercury in Chicago was purchased at an auction of the Mensing Collection in Amsterdam, in 1924, but its previous history is not well documented.

The height of the instrument with its stand is 1040 mm., while the diameter of the Horizon Ring is 480 mm. It is signed "HIERONIMUS VVLPARIA FACIEBAT FLORENTIAE - FACIEBAT ANNO DOMINI MILLE CINQUECENTO LXXXII DIE JVNI" stamped on the underside of the Horizon Ring. The Horizon Ring is divided in 4 quadrants, graduated 0°-90° each, numbers every 10°, and has the names of the winds in Latin: SEPTENTRIO / AQVILO / VVLTVRNVS / SVBSOLANVS / EVRVS / EVRO AVSTER / AVSTER / AVSTRO AFRICVS / AFRICVS / FAVONIVS / CHORVS / CIRCIVS, following a tradition ascribed to Isidore of Seville.

Of the usual structure of an armillary sphere only Colure Rings remain. Polar circles, Tropics and Capricorn, and Equator are lost. The holes where the Tropic of Cancer and the Equator were fixed are indicated in the detail of Fig.4.

<sup>8</sup> This instrument has previously been illustrated in Gingerich 1977, Turner 1987, pp.34-35; Stephenson & al. 2000, p.115.

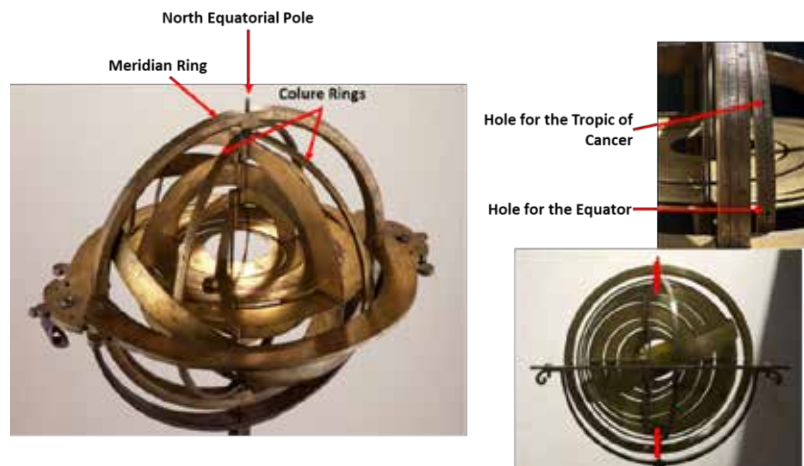


Fig. 4. Model of Mercury, Chicago, Adler Planetarium.

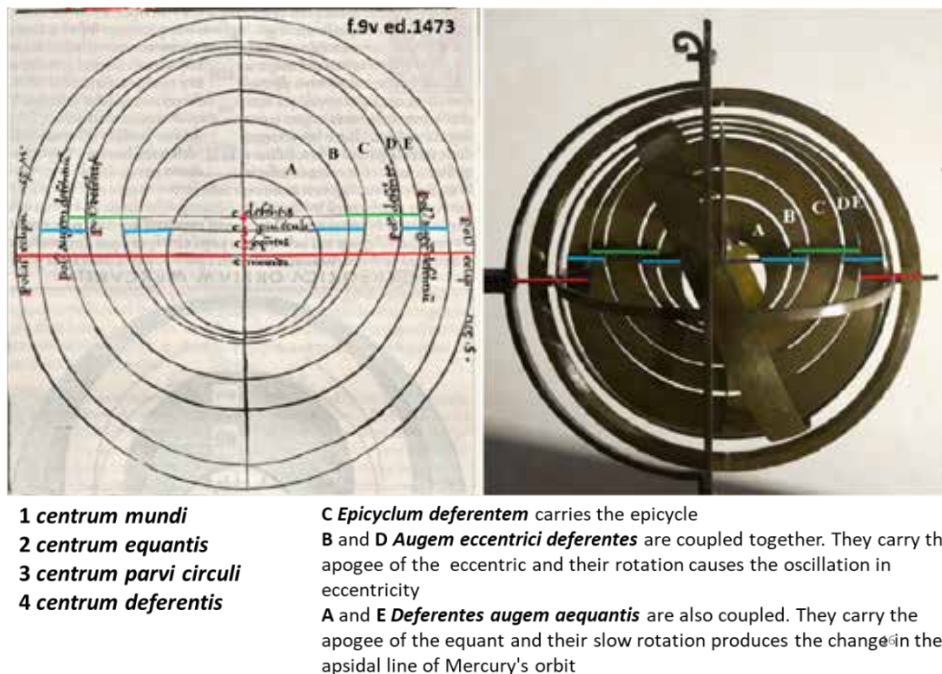


Fig. 5. Model of Mercury, Chicago, Adler Planetarium. The mechanism of the planetary motion: comparison of the instrument with the drawing in Peurbach's *Theoricae Novae Planetarum*.

The Zodiacal Band is divided in 12 parts, graduated  $0^{\circ}$ - $30^{\circ}$  each, with numbers every  $5^{\circ}$ , above or below the fine drawings of the Zodiacal constellations. No name of constellation is added in the Band.

The mechanism for the orb of Mercury made of 5 partial orbs is inside the primary sphere (Fig.5) as in the instrument in Perugia. But it has been wrongly positioned, possibly after a restoration. The poles of the external orb are attached at the North and South Equatorial Poles while they should be connected at the North and South Ecliptic Poles.

## 5. Comparison of the two instruments

The few studies dedicated to armillary spheres and planetary models have accepted the attribution of these instruments to Girolamo Della Volpaia based on the signature present on them and on the stylistic similarities between them: punched and engraved letters and numbers, metal finishing and decorations.

But several important characteristics summarized in Fig.6 are not the same on different instruments and further studies will be necessary to resolve these doubts.

The signatures on the two first instruments “*Hieronymus Camilli Vulpariae*” means they were possibly made when Girolamo was still under the authorship of his father. But later it used “*Hieronimus Vulpariae*” in the Theorica of the Museo Galileo and the armillary sphere in Bologna, while he did a strange error “*Hyronimus Vulparia*” in the instrument in Perugia and strangely repeated the word “*faciebat*” and used the notation “*Mille cinquecento*” in the instrument in Chicago.

Also the Horizon Rings and the Zodiacal Bands are different. No wind names are on the first instrument, in two instruments the names are only in Italian, in two others only in Latin and the instrument in Perugia has three different languages plus the four names in Hebrew. The constellations on the Zodiacal Band are only named in four cases while there are the drawings of the zodiacal signs in two cases plus the armillary sphere of the Museo Galileo where the drawings are on the plate representing the plane of the ecliptic.

Instrument	City	Collection	Inv. No.	Date	SIGNATURE	ZODIAC	WINDS
Armillary Sphere	London	Science Museum	1878-12	1554	HIERONYMVS CAMILLI VVLPARIAE FLORENTIN, F.1554	DRAW	
Theorica - Orb of the Moon	Firenze	Museo Galileo	118	1557	HIERONYMVS CAMMILLI VVLPARIAE FLORENTI FE 1557	NAMES	ITALIAN
Armillary Sphere	Firenze	Museo Galileo	2711	1564	HIERONIMVS VVLPARIAE FLORENTINVS. FA. A.D.M.D.LXIII	NAMES *	ITALIAN
Theorica - Orb of Mercury	Perugia	Università, Dip. di Fisica e Geofisica		1575	HYRONIMVS VVLPARIA FLORENTINVS FA. A.D.M.D.LXXV	NAMES	ITALIAN/ LATIN/ GREEK
Armillary Sphere	Bologna	Istituto Rizzoli, Biblioteca Putti		1577	HYERONIMVS VVLPARIAE FLORENTINVS FA A.D.M.D.LXXVII	NAMES	LATIN
Theorica - Orb of Mercury	Chicago	Adler Planetarium	M-4	1582	HIERONIMUS VVLPARIA FACIEBAT FLORENTIAE - FACIEBAT ANNO DOMINI MILLE CINQUECENTO LXXXII DIE JVNI	DRAW	LATIN
* Drawings of Constellations are on the plate representing the Plane of Ecliptic							

**Fig. 6.** Some characteristics of the Armillary Spheres and the Planetary Models by Girolamo Della Volpaia in public collections.

These differences could be justified by specific request of the client but, since we do not know any client for these instruments, only further researches and direct inspection of the instruments will clarify these points.

## 6. Conclusions

Girolamo’s instruments are the first known three-dimensional models of Ptolemaic orbits and they represent an important example of the ability and quality of Girolamo as instrument maker. Only Elly Dekker studied some of these instruments in her Catalogue of the Spheres and Globes of the Museo Galileo (Dekker 2003) explaining the theories they represent and giving detailed descriptions. I hope further studies and, possibly, some new document will clarify the story behind them.

## Acknowledgments

I would thank the Department of physics and geology of the University of Perugia for the authorization to directly study the instrument in Perugia and dr. Andrew Johnston of the Adler Planetarium who provided me fine pictures of the instrument in Chicago.

A special thanks to prof. Flavia Marcacci who has followed this research from the beginning.

## Bibliography

- Benjamin, F.S. & Toomer G.J. (eds.) (1971). *Campanus of Novara and Medieval Planetary Theory: Theorica planetarum*. Madison: University of Wisconsin Press.
- Carolo, A. (2022), “Le Sfere Planetarie di Giove, Venere, Luna e Sole & Ottava sfera nei Musei Civici di Vicenza: note relative al loro ritrovamento ed aspetti storico-didattici descrittivi”, *Società italiana degli storici della fisica e dell'astronomia. Proceedings of the 41st Annual Conference: Arezzo, 6-9 settembre 2021*. Pisa: Pisa University Press.
- Dekker, E. (2004). *Catalogue of Orbs, Spheres and Globes. Volume 5 of Istituto e Museo di Storia della Scienza, Firenze, Cataloghi di raccolte scientifiche*. Firenze: Giunti.
- Galluzzi, P. (ed.) (2009). *Galileo: immagini dell'universo dall'antichità al telescopio*, Firenze: Giunti.
- Gingerich, O. (1977). “The 1582 Theorica orbium of Hieronymus Vulparius”, *Journal for the history of astronomy*, 8(1), pp. 38-43.
- Kugel, A. (2002). *Spheres: l'art des mécaniques célestes; avec la collaboration du dr. K. van Cleempoel et de J.C. Sabrier*. Paris: J. Kugel.
- Levi, F.A. & Levi Donati, G.R. (1991). “Due strumenti della scienza del Cinquecento custoditi a Perugia”, *Bollettino della Deputazione di Storia Patria dell'Umbria*, 88, pp. 119-129.
- Maccagni, C. (1971). “The Florentine Clock- and Instrument-makers of the della Volpaia family”, *Actes du XIIIe Congres international d'histoire des sciences, Paris 1968*, X, pp. 65-73.
- Maccagni, C. (1993). “Leggere, scrivere e disegnare la ‘scienza volgare’ nel Rinascimento”, *Annali della Scuola Normale Superiore di Pisa. Classe di Lettere e Filosofia*, Serie III, 23, pp. 631-675.
- Malpangotto, M. (2021). *Theoricae novae planetarum Georgii Peurbachii. Dans l'histoire de l'astronomie*. Paris: CNRS Editions.
- Maovaz, M., Pieretti, A. & Romano, B. (eds.) (2008). *Scienza e scienziati a Perugia. Le collezioni scientifiche dell'Università degli Studi di Perugia, Catalogo della mostra (2 aprile 2008-2 giugno 2008)*. Ginevra-Milano: Skira.
- Miniati, M. (ed.) (1991), *Museo di storia della scienza: catalogo*, Firenze, Giunti.
- Murschel, A. (1995). “The Structure and Function of Ptolemy's Physical Hypotheses of Planetary Motion”, *Journal for the History of Astronomy*, 26(1), pp. 33-61.
- Sotheby's, *Fine instruments of science and technology 1500-1900, Catalogue of auction: London Friday 5th May 1989*. London, 1989.
- Stephenson, B., Bolt, M. & Friedman, A.F. (2000). *The universe unveiled: instruments and images through history*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Turner, A.J. (1987). *Early scientific instruments: Europe, 1400-1800*. London: Sotheby's publications.

## ASTRONOMY AND PHYSICS IN PERUGIA



# Between physics and astronomy in Perugia's history. Part I: The first centuries

Maurizio Busso<sup>1,2,4</sup>, Lino Conti<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>FISGEO Department, Università di Perugia, Via Pascoli, I-06123 Perugia [maurizio.busso@unipg.it](mailto:maurizio.busso@unipg.it)

<sup>2</sup>INFN, Sezione di Perugia, via A. Pascoli, I-06123 Perugia, [maurizio.busso@pg.infn.it](mailto:maurizio.busso@pg.infn.it)

<sup>3</sup>FISSUF Department, Università di Perugia, Piazza Ermini 1, I-06123 Perugia, [lino.conti@unipg.it](mailto:lino.conti@unipg.it)

<sup>4</sup>ADSU, Biblioteca Comunale Augusta, S. Matteo d. Armeni, I-06125 Perugia [linoconti@virgilio.it](mailto:linoconti@virgilio.it)

*Abstract:* We briefly outline the early history of Physics (and Astronomy, when pertinent) in the first centuries of the University of Perugia (an Institution established in 1308 by pope Clemens V) and, more generally, in the Umbrian cultural environment up to the Galilean Revolution. Through periods of alternate decline and renewal (these last especially promoted by famous researchers) this old history may now be seen as a remote background for the recent success of the Joint Department of Physics & Geology (as is known, it shared with a few other Italian centres for Physical studies the “Excellence Prize” established by the Ministry of University and Research). The two authors have both concluded their careers in the *Studium* and it looks now as a nice and interesting exercise the one of recalling some fathers who came before us. In this sense, ours is not intended as an exhaustive, rigorous reconstruction, but rather as a collection of eminent figures and periods, which raised for various reasons our interest and curiosity, up the era of the Galilean controversies and their Umbrian echoes. The researchers we mention might have actually contributed to build, collectively, an idea of Science worth remembering in the future.

*Keywords:* Astronomy, Physics, Galileo Galilei, Scientific Heritage

## 1. Prologue: Umbria and its early physical culture

We shall try to illustrate how the rise of interest for a theoretical and experimental approach to sciences, Physics and Astronomy in particular, had important relations with the economic, political and social level of the areas around the town of Perugia and with the foreign prestige acquired by the administrative institutions of the municipality.

In early epochs, the mentioned interests eminently concerned Aristotelian Physics itself, as part of the Faculty of Medicine, where teaching courses with the “Physics” name had been established by the free Perugia *Commune*<sup>1</sup> as early as in the 13<sup>th</sup> century, before the same foundation of what became afterwards known as the *Studium Generalis*. Later, more modern approaches were tenaciously pursued by illuminated teachers. First among others we should here quote at least the locals Luca Pacioli and Piero della Francesca (15<sup>th</sup> century), Egnatio Danti (16<sup>th</sup> century), Alessandro Pascoli (17<sup>th</sup> – 18<sup>th</sup> century), Luca Pellicciari (18<sup>th</sup> century), Annibale Mariotti (18<sup>th</sup> century), Enrico Canali (early 19<sup>th</sup> century) and the naturalized citizens Enrico Dal Pozzo di Mombello (19<sup>th</sup> century) and Bernardo Dessau (20<sup>th</sup> century). Several names of this list, especially the most recent ones, are discussed with rigour and historical accuracy in other contributions to this conference (Maovaz 2023). We shall therefore dedicate our space and attention to the earlier times, especially the first centuries after the *Studium* foundation.

Not all the researchers mentioned before would be defined as “physicists” in a modern sense, but they all contributed, in various ways, to the growth of the physical sciences. A more complete list for Perugia, in this and other fields of study, can be found in the quoted reference (Maovaz 2023), in the

<sup>1</sup> <https://www.britannica.com/place/Italy/The-rise-of-communes>.



excellent on-line site of the network of Italian University Museums, maintained at *UNIMORE* (the University of Modena & Reggio Emilia)<sup>2</sup> and in the famous history book on the University written by Giuseppe Ermini (Ermini 1971).

What remains probably most important of the physical culture developed in Umbria in the early centuries is actually something not directly related to the *Studium*, but rather, as we shall see in Section 3, to Galileo Galilei's friendship with Federico Cesi, who founded in Rome the *Accademia dei Lincei* (he was of a noble Roman family, although born in Cesi, near Terni). The Academy members sometimes met in Umbria, guests of the Cesi's palace in Acquasparta (TR). It was here, in Umbria, on the calm waters of the lake of Piediluco, that Galileo demonstrated to his friends the *inertia principle*, now commonly known as the "first Newton's law".

In the sixth century b. C. Anaximander had established his "principle of sufficient reason", according to which the Earth stands where it stands (at the time it was believed to be the centre of the world) because it has no real reason to move from there, above or below its actual position. This was probably the first established symmetry law for Physics (Rovelli 2014). Galileo's *inertia principle* (and its experimental demonstration in Umbria) generalized it, passing from statics to kinematics, opening the doors to the real (first) scientific revolution from which modern Physics was born.

### **1.1. Before the XIV<sup>th</sup> century. A synthetic historical background**

Perugia is a very ancient town. While human presence is documented in the area since the 10<sup>th</sup>-9<sup>th</sup> centuries b. C., mainly through relics of Villanovian villages, it was certainly well established as an Etruscan town before the mid-6<sup>th</sup> century,<sup>3</sup> as certified by the extension of the archaeological relics in the early urban plan. For various centuries the conflicts with the ever growing Roman power went on rather continuously, up to the final full integration of the Umbrian zone directly under the Roman control, after the Social War (89 B.C.), with the ensuing concession of the Roman citizenship to the inhabitants. It was then the Augustus Emperor who gave to the town its Latin name *Augusta Perusia*, subsequently favouring its growth and expansion.

Several centuries later, during the Gothic War (535-553 A.D.), the town still had a crucial role at the crossing of the Amerina and Flaminia roads, to the point of being quoted by contemporary authors as the most important centre of the zone (Comparetti 1970). A real autonomy and an independent role of the Perugia Commune had to wait till later in the Middle Age. In particular, from the 12<sup>th</sup> century we preserve (dated 1139), the first documents signed by a *Consular Government for the Communal Administration*, although it is almost certain that a similar form of organization for the city should have existed since the 11<sup>th</sup> century. (See for this Bonazzi 1875).

Anyhow, the document of 1139 states that the inhabitants of the island Polvese had duties towards Perugia, while a few tens of years later the town extended its domain over Gubbio and Città di Castello, at the north, and to the Chiana Valley, at the west.<sup>4</sup> Few years later, the Emperor Henry VI made the Perugia territories independent, giving them formally the faculty to freely nominate their *Consuls* (later called *Priori*). In 1198 the town accepted the purely formal protection of the pope Innocent III who, in exchange, confirmed the independence given by the Emperor and recognized validity to the local use of administering justice by their own laws.

This was the real period of splendour of this town, confirmed by the control it extended over Assisi (but maintaining however open the long and uncertain war against Foligno).

In these decades, Perugia was chosen as the site of five General Conclaves, up to the one in which (in 1305) the pope Clemens V was elected. Thanks to his bull of 1308, the *Studium Generalis* was

---

<sup>2</sup> <https://of.unimore.it/ReteMusei/www.retemuseiuniversitari.unimore.it/site/home.html>.

<sup>3</sup> <https://www.britannica.com/eb/article-9059376>.

<sup>4</sup> <https://of.unimore.it/ReteMusei/www.retemuseiuniversitari.unimore.it/site/home.html>.

formally established, giving more emphasis (and the papal recognition) to the decision previously taken by the Commune soon after 1260, when it adopted the first initiatives *Super facto Studii*, coordinating already existing teaching activities and inviting students from abroad to come and study in the town, exempting them from duties and taxes (Bartolini & Panzanelli Frantoni 2008). Such a local University (before 1308 simply named *Studium Particularis*) was however already well known and capable of attracting prestigious teachers from other sites. In particular, the existence of “lectures in Grammar, Logics, Physics and in *alibus artis*” (Ermini 1971) are documented in the *Studium* since 1276-1277. These are the years where the power of the town could show its magnificence giving rise to the edification of important monuments, still now identifying Perugia.

The official recognition of the political and cultural importance of the town (in this case with the pope’s attribution of the prestigious title *Studium Generalis* to the Perugia’s University) came in any case to maturity rather late.

### **1.2. Physics in the era of the papal bull on the Studium**

In the last decades of the 13<sup>th</sup> century, at the highest point of its fame and economic prosperity, Perugia built, as was reminded above, some of its most prestigious monuments; in particular, the ancient part of *Palazzo dei Priori* and the magnificent *Fontana Maggiore*. The oldest side of the Administrative Palace of the Commune, the one now at the corner between *Corso Vannucci* and *Piazza IV Novembre*, hosting the famous *Sala dei Notari*, was designed and built between 1293 and 1297, by the famous architects Jacopo di Servadio and Giovannello di Benvenuto. Short earlier the Fountain, that remains even today the symbol of Perugia, was designed by the monk and architect fra’ Bevignate da Cingoli and by the Florentine sculptor Arnolfo di Cambio. It was built between 1275 and 1277, to celebrate the arrival on the Acropolis of the water from the just built new aqueduct, a marvel for the time, capable of transporting water through ingenious engineering systems avoiding pumps.

In order to honour arts and culture, the Fountain was adorned by many bas-reliefs (the *formelle*) made by another famous sculptor of that epoch, Nicola Pisano (who had developed his art at the Foggia school, while at the service of the Emperor Frederic II) and by his son, Giovanni Pisano. One of the *formelle* is in particular dedicated to a couple of figures representing Philosophy and Astronomy (or, better, Astrology: see Fig. 1a). Despite heavy damages in the earthquake of 1348 and subsequent imperfect restorations, these masterpieces still preserve their magnificence and certify the importance attributed to sciences and arts by the 13<sup>th</sup> century autonomous Commune of Perugia.

Through the 14<sup>th</sup> century and later, till the formal institution of a chair in *Modern* (i.e. Galilean) Physics by Alessandro Pascoli, in the 18<sup>th</sup> century, studies and lessons in Physics were actually covering ample and ambiguous fields, extended to Mathematics, Logics, Astrology and, in particular, Philosophic (mainly Aristotelian) approaches to Medicine. The *Studium* was in any case still attractive enough for Physicians and Physicists famous in their times, like Gentile da Foligno.<sup>5</sup> Fluent in both Latin and Arabic, he was capable therefore of commenting in an original way the traditional texts of different cultures, from Hippocrates, to Galen and Avicenna. Although his treatises are still profoundly far from modern knowledge (in particular his “paradigm of the pestiferous breath”)<sup>6</sup>, his works represent perhaps the first commentaries on the symptoms and physical appearances of organs and fluids from sick people resembling, even today, an effort to build a real new understanding, something we would now probably call *Sanitary Physics*. His most remarkable ability was however that of temporarily reconciling the citizens from Perugia and Foligno, who, separated by decades of hates and crimes, found themselves united in the veneration of the man and of the doctor. During the pestilence of mid-14<sup>th</sup> century, he

<sup>5</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Gentile\\_da\\_Foligno](https://it.wikipedia.org/wiki/Gentile_da_Foligno).

<sup>6</sup> [https://www.ilpalio.org/gabrielli\\_pesteteorie.htm](https://www.ilpalio.org/gabrielli_pesteteorie.htm).

continued to study and assist the sick, until his same death in 1348, the year of the terrible earthquake in central Italy.

Another distinguished professor of the same field has to be mentioned for this period; he was a previous student of Gentile's, Tommaso del Garbo, son of Dino, famous a Physician himself. Tommaso taught in Perugia from 1343 to 1345 and married here, gaining a large fame and an immense fortune, but was not free from obscure stories apparently involving him and his father in the process against a colleague of them, the poet, Astrologer and Astronomer Francesco Stabili, (commonly named Cecco d'Ascoli), finally concluded with Cecco's public burning in Florence for heresy (Dizionario Biografico degli Italiani 1984, Vol. 57). Later, Del Garbo gained further fame in Florence and became a friend of Francesco Petrarca's. His name is in any case related to the old-fashioned view of Medicine (famous was his treatise on *pestilentia*), still linked to Astrology and from this to the Aristotelian "Physics" of these old times.

## **2. Between Humanism and the Renaissance**

### ***2.1 The historical background***

Through the 13<sup>th</sup> and mid 14<sup>th</sup> century the mercantile government of the town of Perugia was in the hands of the Priori, authorities freely elected among the citizens officially enrolled in the city's arts, and whose power was exerted from the Palace cited above. The papal domain was far away, with the pope in Avignon, and the presence in Italy of the Angevin house was a guarantee for Perugia (hence the Commune wisely chose Saint Louis from Toulouse, of the same Angevin family, as one its several patrons). This balance of powers guaranteed for decades an equilibrium, so that still in 1342, Bartolo Sentinati (known as Bartolo da Sassoferrato), a famous teacher of law in the *Studium* and for centuries considered as the most famous and cited post-Roman Jurist, could say that Perugia was independent from both the emperor and the pope (Sentinati 1581).

The end of this era was however approaching: after the terrible pestilence and the earthquake of 1348, Perugia had still the force to destroy Bettona and then defeat Siena and Cortona, but the collapse was close. The defeat in 1370 against pope Urban V took the town again under the papal control, while the return to Rome of pope Gregorius XI and his court from Avignon, in January, 1377, started a period of gradual shrinkage of other forms of autonomy in central Italy.

In the meantime, Perugia had become more and more divided among the traditional parties of Beccherini (the minute population, generally supporting the nobles) and Raspanti (the name of the corporation of artisans, governing the town for long periods in the 13<sup>th</sup> century: see Bonazzi 1875). This reached an apex with the conquest of the town in 1393 by the fortune captain Biordo Michelotti, of the Raspanti party. The town became soon lacerated by cruel and continuous feuds that rapidly made living here tremendously violent and dangerous. The same Biordo was soon killed. Even the short dominion, started in 1400 by Gian Galeazzo Visconti, who momentarily created the illusion of a unique state in Northern and Central Italy, vanished with his death in 1402. This confused period seemed to come to a temporary end when the town was conquered by Braccio Fortebracci, escaped during Biordo's domain. However, he did not stop the continuous wars he had started in central Italy, till his death in 1424. A period of real calm was finally established in the town only in the second half of the 15<sup>th</sup> century, with the acquisition of an increasing power by the Baglioni family.

Before this period, also culture and science decayed in Perugia. After the beautiful bas-reliefs dedicated by the town to arts and sciences in the Fontana Maggiore, back in 1277, one can measure its decadence even simply by the fact that the next great opera dedicated to a similar subject was made by

the hated Foligno, in 1411-1412. It was the *Sala delle Arti Liberali e dei Pianeti*, in *Palazzo Trinci*, by Gentile da Fabriano and his coworkers, including the famous fresco dedicated to Astronomy (Fig 1b).



**Fig. 1.** The *formella* dedicated to Astrology and Philosophy in the Fontana Maggiore (1277) (left) and the fresco dedicated to a similar subject by Gentile da Fabriano in Foligno, Palazzo Trinci (right).

## 2.2. Giovanni Pontano: poet, astronomer, great humanist... but in Naples

In the violent and confused political and social situation characterizing Umbria in the first half of the 15<sup>th</sup> century, it is not surprising that another famous scientist and humanist of the region decided to emigrate, looking for a career elsewhere. He was Giovanni Gioviano Pontano (Cerreto 1429 – Naples 1503), a previous student of the *Studium*, who however fled from Umbria, devastated by wars, and went to Naples, to become an important counsellor of king Alphonse's, a leading diplomatic expert and cultural figure. In Astronomy (Astrology at that epoch) and in Physics he is remembered for his treatises *De Rebus Caelestibus* (Astrology) and *Meteororum Liber* (Atmospheric Phenomena), and for his poem *Urania*, dealing with constellations. Mainly, he is known as a leading humanistic figure, working in poetry as well as in natural sciences. He is often quoted as one of the main poets of the Italian Humanism, together with Poliziano. However, we mention him here, despite his fame and fortune, as a representative of a still old-fashioned erudite, rooted in medieval culture, in clear contrast with the Renaissance Umbrians of the subsequent decades

## 2.3. Luca Pacioli and Piero della Francesca. From mathematics to art

The years that separated the activity by Luca Bartolomeo Pacioli (San Sepolcro 1445-1517) and Piero della Francesca (San Sepolcro 1412-1492?) from the following Egnatio Danti's era (Perugia 1536 – Alatri 1586) represent in our opinion the demonstration of how rapidly the new cultural ideas that spread through Europe (and through Italy in particular) in the Renaissance reached Umbria.

As we summarized in section 2.1, the second half of the 15<sup>th</sup> century was a period of relative calm in the otherwise turbulent political situation that distinguished the end of the Communal flourishing of the town of Perugia. The troubles that convinced a distinguished Umbrian scientist and poet like Pontano to emigrate had come to a temporary equilibrium under the power of the Baglioni family and even the



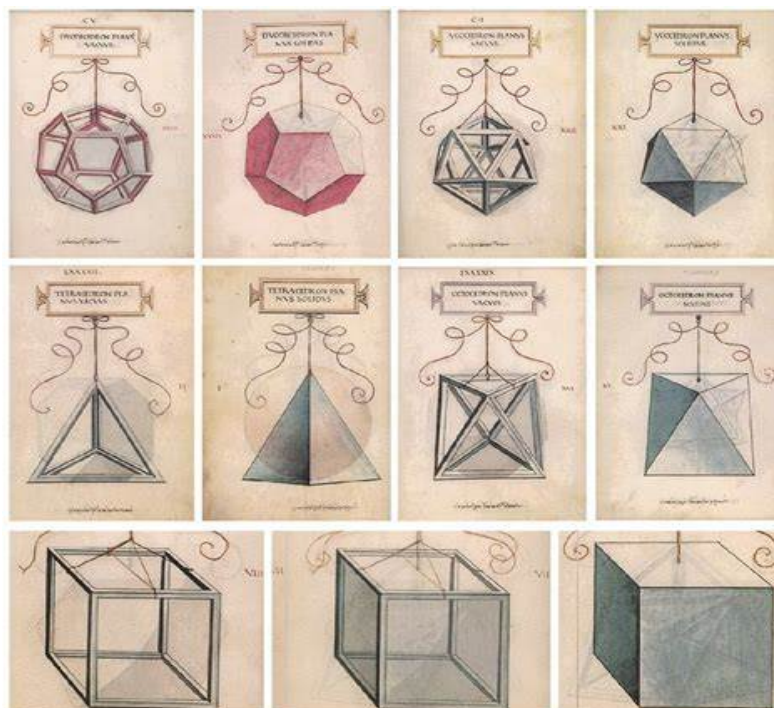
*Studium* regained its prestige and capacity of attraction. This was actually not so in the Medicine faculty (Maovaz *et al.* 2011), but Mathematics and Astronomy in this epoch began to gain autonomy from that field and started their independent journey toward modernity. Precise Geometry and Astronomy had become crucial for navigation, which was starting its advents at the discovery of new worlds, covering a much larger part of the Earth. Hence, they started to be more and more independent from Astrology, to which had been so far instrumental. In Umbria, this was largely due to the works by the two friends, both from San Sepolcro, Luca Bartolomeo Pacioli and Piero della Francesca (Fig. 2).



**Fig. 2.** First panel: Fra' Luca Pacioli's portrait in 1495, attributed to Jacopo de' Barbari (Capodimonte Museum, Naples). Second panel: detail from the painting *The Resurrection*, 1485, a supposed self-portrait by Piero della Francesca (San Sepolcro Museum).

Piero di Benedetto de' Franceschi, commonly named Piero della Francesca (San Sepolcro 1412-1492?) was one of the most important Italian painters and scientists of his period. Not himself a teacher at the *Studium*, he nevertheless occupies an important role in the Umbrian Renaissance culture, also thanks to his long friendship and scientific links with fra' Luca Pacioli, who actually taught in Perugia during various periods. Piero, generally known for his sublime ability as a painter, was a man of incredibly large culture and one of the greatest Mathematicians of the Renaissance, sharing this last title with his compatriot Luca. Piero succeeded in harmonizing art and science, like only the greatest personalities can do, joining intellectual and spiritual values, fusing together several influences and balancing a profound traditional religiosity and an incredible modernity. Actually, many unclear stories now attribute to Luca Pacioli large and sometimes poorly recognized debts to Piero, who for sure exerted a great influence on his comrade, during long years of friendship. Piero was active in Perugia and in the nearby Bastia for various pictorial commitments around the mid-15<sup>th</sup> century, in the same years in which Luca was repeatedly teaching at the Studium. They shared the admiration for Euclid, whose works were translated by Luca Pacioli into Italian (*volgare*), thus making them accessible to his later friend Leonardo da Vinci, who did not know Greek. To Euclid's work Piero della Francesca, too, devoted a famous book, *Libellus de quinque corporibus regularibus*, terminated a few years before his death, officially remembered to have occurred in the same day of America's discovery, October, 12, 1492. Luca Pacioli was certainly indebted to this text in writing his *Summa de arithmetica, geometria, proportioni et proportionalita* (Pacioli 1494), but these debts are duly recognized, and with clear affection. Both books were dedicated to the duke of Urbino, Guidobaldo da Montefeltro. In Luca Pacioli's work, terminated later, after decades of efforts (1494), Piero is strangely declared as being still alive. This inconsistency has, to our knowledge, no clear explanation.

In any case, the book from Pacioli gained soon an immense popularity, making him the most famous Mathematician in Italy. This convinced Ludovico il Moro to invite him in Milan in 1497, to work with Leonardo, whom he soon became a friend of and a Mathematics teacher. The other famous Pacioli's book, *De Divina Proportione*, was illustrated by Leonardo's drawings of the Platonic Solids (Fig. 3).



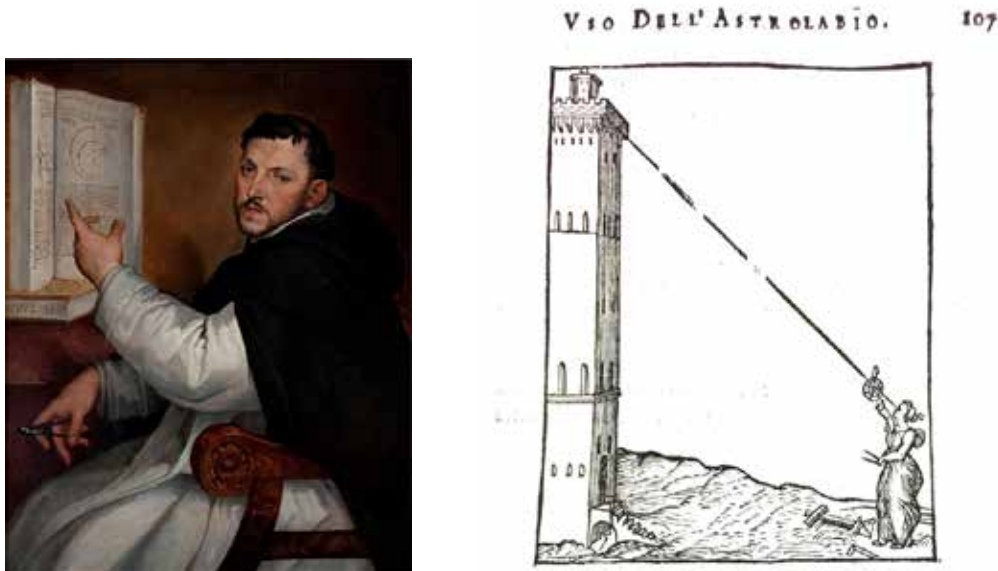
**Fig. 3.** Leonardo's drawings of the Platonic solids in *De Divina Proportione* by Luca Pacioli.

The second part of the 15<sup>th</sup> century in Umbria had seen, in the meantime, a restoration of the older fame of Perugia and its surroundings. This was related, as mentioned, to a quieter political period in that zone. But was also due to the eco of the works from three crucial personalities of the time (although not related to Physics). The first of them was actually not an Umbrian himself, as he came from Celle, near Savona, in Liguria. He was Francesco della Rovere, who came to Umbria as *Father General* of the Franciscan conventual order, after 1464. He later became pope with the name of Sixtus IV. A person of great culture himself, lover of the arts, appreciated in particular two great painters of this area (beside Piero della Francesca). They were Pietro Vannucci (1448-1523), commonly named *Il Perugino* (the present year is the fifth centenary of his death) and Bernardino di Betto Betti (1452-1513), known under the name *Il Pintoricchio*. When Sixtus IV became pope, he invited both of them as painters in his new chapel in Rome, *La Cappella Sistina*. This fact enhanced the fame not only of the two great painters, but also of their original country. It also started the creation of a masterpiece of Italian Renaissance, for the conclusion of which the next pope, Julius II, would later call Michelangelo Buonarroti.

#### **2.4. Egnatio Danti. Astronomer, Cartographer, new calendar's inspirer**

The leading figure of Renaissance science in Umbria was certainly Pellegrino Rainaldi (Fig. 4, first panel), whose family name had been previously modified into Danti in a sort of tribute to the Italian greatest poet. He was born in Perugia in 1536, and became a Dominican in 1555, changing then his name into Egnatio (or Ignazio). Much like his older brother, Vincenzo (a famous sculptor, architect and civil engineer), he showed since his youth a brilliant and versatile intelligence. His family was incredibly modern and acculturated for the time, to the point that even his aunt Teodora had the possibility to avoid

a traditional marriage and dedicate her life to her real passions, culture and arts, showing high talents in painting and Mathematics and transmitting her knowledge to her favourite nephew. This last became rapidly known for his genius and was invited by Cosimo de' Medici to Florence for renewing Mathematics and Astronomy there, with the prestigious title of *Granducal Cosmographer*. Since then, he mostly taught either in Florence (where he lived in Santa Maria Novella) or in Bologna.



**Fig. 4.** Left: Egnatio Danti, painted by Bartolomeo Passarotti (Fine Arts Museum, Brest). Right: Illustration from *The Astrolabe* (p.107), probably representing Danti's aunt Teodora in her scientific work.



**Fig. 5.** Left: the special Armillary Sphere (a "theorica" for Mercury), made by Girolamo della Volpaia in 1575, preserved in the Museum of the Physics and Geology Department (a credible legend says that it would have been donated by Egnatio Danti). Right: the papal bull by Gregorius XIII establishing the revised calendar.

As a Cartographer, Danti's works are still preserved in the Maps' Room of Palazzo Vecchio, in Florence, and in the Vatican Museums. Danti is however most famous as an Astronomer. For Astronomy he built many instruments in Bologna and Florence, including those on the facade of S. Maria Novella (Florence) and the meridian in Saint Petronio's cathedral (Bologna). He was also the author of several

astronomical books, including a famous treatise on the use and fabrication of the Astrolabe (1569), which was the first written in Italian and that contains a curious drawing, representing a woman using the Astrolabe, most probably depicting his aunt Teodora (Fig. 4, second panel. See: Kern 2010). A credible legend also says that during Danti's visit to Umbria to draw the precise cartography of the area under a commission from the Governor, he donated to the *Studium* the famous Armillary Sphere (actually a "theorica" of Mercury: see Marcacci 2023) built by Girolamo della Volpaia, one of the most famous instrument builders of the period. The sphere is still preserved in the Museum of the Department of Physics and Geology (first panel of Fig. 5).

Danti's studies (together with those by Luigi Giglio, another important Astronomer and actual teacher in Perugia) led to the modifications of the Julian calendar (that had been prepared by Julius Caesar's Astronomers in 46 b. C). The precise determination of the duration for one year is  $365^{\text{d}}.2422$ , against the value of  $365^{\text{d}}.25$ , accepted by the Roman Astronomers. Danti's work led to the final acceptance by the pope, Gregorius XIII, that a reform of the calendar was needed. It was promoted exactly 440 years ago (Fig. 5, second panel), on October, 4, 1582. The error accumulated (ten days) was compensated passing from October, 4 to October 15. The precise position of the equinox was then marked in both S. Maria Novella and S. Petronio. The pope then promoted Danti to the title of Bishop of Alatri, the town where he died in 1588.

## Bibliography

- Dizionario Biografico degli Italiani (1960...). Rome: Istituto della Enciclopedia Italiana Treccani.
- Maovaz, M. (2023). "Per una storia della fisica a Perugia" (this volume).
- Ermini, G. (1971). *Storia dell'Università di Perugia*. Florence: Olschki.
- Rovelli, C. (2017). *Che cos'è la scienza. La rivoluzione di Anassimandro*. Milan: Mondadori.
- Comparetti, D. (1970). *La guerra gotica di Procopio di Cesarea*. Milan: Longanesi.
- Bonazzi, L. (1875). *Storia di Perugia*. Perugia: Santucci.
- Bartolini, S., & Panzanelli Frantoni, M.A. (2008). *Note sulla Storia dell'Università degli Studi*. Perugia: CBS.
- Sentinati, B. (1581). *Opera Omnia*. Lyon: Compagnie Lyonnais des Libraires.
- Maovaz, M. et al. (2011). *La medicina nell'Università di Perugia*. Roma: Aracne.
- Pacioli, L. (1494). *Summa de arithmetica, geometriua, proportioni et proportionalita*. Venice: Paganino de' Paganini.
- Marcacci, F. (2023). "Models for Mercury and the theorica of Girolamo della Volpaia" (this volume).
- Kern, R. (2010). *Wissenschaftliche Instrumente in ihrer Zeit*, vol. 1. Köln: Koenig.
- Hawking, S.W. (1988). *A Brief History of Time*. London: Bantan Books.
- Conti, L. (1990). *Giuseppe Neri: un matematico aristotelico all'Accademia dei Lincei*. Rome: Accad. Naz. Lincei.



## Between physics and astronomy in Perugia's history. Part II: The Galilean revolution and its echo in Umbria

Lino Conti<sup>3,4</sup>, Maurizio Busso<sup>1,2,4</sup>

<sup>1</sup>FISGEO Department, Università di Perugia, Via Pascoli, I-06123 Perugia [maurizio.busso@unipg.it](mailto:maurizio.busso@unipg.it)

<sup>2</sup>INFN, Sezione di Perugia, via A. Pascoli, I-06123 Perugia, [maurizio.busso@pg.infn.it](mailto:maurizio.busso@pg.infn.it)

<sup>3</sup>FISSUF Department, Università di Perugia, Piazza Ermini 1, I-06123 Perugia, [lino.conti@unipg.it](mailto:lino.conti@unipg.it)

<sup>4</sup>ADSU, Biblioteca Comunale Augusta, S. Matteo d. Armeni, I-06125 Perugia [linoconti@virgilio.it](mailto:linoconti@virgilio.it)

*Abstract:* We briefly outline the early history of Physics (and Astronomy, when pertinent) in the first centuries of the University of Perugia (an Institution established in 1308 by pope Clemens V) and, more generally, in the Umbrian cultural environment up to the Galilean Revolution. Through periods of alternate decline and renewal (these last especially promoted by famous researchers) this old history may now be seen as a remote background for the recent success of the Joint Department of Physics & Geology (as is known, it shared with a few other Italian centres for Physical studies the “Excellence Prize” established by the Ministry of University and Research). The two authors have both concluded their careers in the *Studium* and it looks now as a nice and interesting exercise the one of recalling some fathers who came before us. In this sense, ours is not intended as an exhaustive, rigorous reconstruction, but rather as a collection of eminent figures and periods, which raised for various reasons our interest and curiosity, up the era of the Galilean controversies and their Umbrian echoes. The researchers we mention might have actually contributed to build, collectively, an idea of Science worth remembering in the future.

*Keywords:* Astronomy, Physics, Galileo Galilei, Scientific Heritage

### 1. From Astrology to modern Astronomy: Galileo's impact on Umbrian scholars

Primitive people had always recognized the immense power of the “Heavens”. They had always trusted the dependence of life and natural processes on the motions of the Sun and the stars and had therefore looked up at the firmament in an attempt to find reliable answers to the pressing questions about the future and the fate of their lives. Throughout antiquity, turning to heaven meant turning to eternal gods, to astral powers that through occult forces governed the entire course of time and therefore also the varying fortunes of fragile and transient earthly substances. In sharp antithesis to the earthly zone, which was the sad place of corruption and mortality, the heavens appeared as an incorruptible kingdom of eternity, as a direct and visible manifestation of the gods. And it was precisely on the celestial vault that the astral gods wrote, in the enigmatic language of cryptograms, signs and omens, the destiny reserved for the unhappy mortals. The questioning of the heavens thus became a subtle and crucial art of divination, which soon acquired the status of predictive knowledge: Astrology was born. Its fundamental task was the deciphering of omens, configurations and astral influences in order to derive the oracle, i.e. the prediction of the future course of events. Since its origins, the inextricable interweaving between Theogony and Cosmogony, between heliolatric religions and calculations of equinoxes and solstices, contributed in making Astrology a reliable and pervasive key to reading the entire physical reality.

Throughout its long history, Astrology found no fundamental obstacles. Almost all Astronomers and Mathematicians of antiquity, including Ptolemy, devoted themselves to the elaboration of horoscopes. Even Galilei and Kepler tried to get a living form making horoscopes for a fee. The same *Accademia dei Lincei* was founded on the very day (August 17, 1603) in which the astrological calculations,

recompiled with meticulous care by the same prince Cesi, ensured that a favourable conjunction of Jupiter and Saturn, exalting the predominant influence of Mercury, would have guaranteed full success to the initiative of the “Company of Scholars”. The first real crisis of Astrology was an unexpected, and perhaps even unwanted, side effect of Galilean astronomical discoveries.

On March 12, 1610, *The Sidereus nuncius* was published in Venice. It was a small book that contained discoveries so stunning that they seemed incredible. On the same day of the publication of this revolutionary text, Sir Henry Wotton, the English Ambassador in Venice, sent the book to his King, presenting it with the following words: “I send to Your Majesty, with this letter, the strangest news that has ever appeared in the world. This is the attached book of a Professor of Mathematics of Padua [...]. He has overturned all Astronomy and all Astrology [...]. The author can either become extremely famous, or make himself extremely ridiculous” (Rossi 1997, p. 69).

Galilean observations of the sky with the telescope, in addition to marking the birth of modern instrumental Astronomy, put into a big crisis the traditional vision of the world, showing that the surface of the Moon “is not at all uniform, smooth and of exact sphericity” but presents, like the terrestrial landscape, the typical roughness of a sequence of mountains and depressions; revealing that the sky (and the Milky Way) were populated by innumerable stars and that around Jupiter four moons or satellites, called “Medici’s stars” by Galilei, were rotating.

These innovations immediately aroused a wave of bitter controversy, disbelief and clear rejection of Galilean observations, even in the Umbrian environment. The reasons for this refusal emerge clearly from the letter that Giovanni Battista Manso, from Naples, sent in March 1610, to the Umbrian scholar Eugubino Paolo Beni. Most people, underlines Manso, are literally “terrified” by the novelties of Galilean discoveries. The mistrust to admit the real existence of Jupiter’s satellites came in fact:

da tutti gli Astrologi e da gran parte de Medici; i quali intendendo che s’aggiungano tanti nuovi pianeti a’ primi già conosciuti, par loro che necessariamente ne venga rovinata l’astrologia e diroccata gran parte della medicina, perciocché la distribuzione delle case del zodiaco, le dignità essenziali ne’ segni, le qualità della natura delle stelle fisse, l’ordine de’ cronicatori, il governo dell’età degli huomini, i mesi della formatione dell’embrione, le ragioni de’ giorni critici, e cento mill’altre cose, che dipendono dal numero settenario de’ pianeti, sarebbero tutte sin da fondamenti distrutte (Letter from G.B. Manso to P. Beni, in (Favaro 1991), vol. X, pp. 291-296).

On March 28, 1611, Galilei arrived in Rome with the precise intention of proving the real existence of Jupiter’s satellites and thus convincing the community of Roman scholars that his astronomical discoveries were absolutely true. “Every serene evening - this is how prince Cesi describes some evenings of Galileo's stay in Rome - we see the new things of heaven, an occupation worthy of a true Linceo: Jupiter with its four companions and their periods, the mountainous Moon, cavernous, sinuous, watery” (Letter from F. Cesi to F. Stelluti, April, 30, 1611, in Galileo 1890, p. 99). The logical consequence of these exciting evenings was the ascription of Galileo to the *Accademia dei Lincei*, occurred on April 25, 1611.

Many were still reluctant to accept the new views of the Sidereus Nuncius. Even in Perugia some obstinate opponents continued to reaffirm that the Galilei’s telescope let appear in the sky objects, which were just products of mirages from the lenses; that actually, astrologically speaking, these could not exist at all. “Here - the merchant Cosimo Sassetti, resident in Perugia but originally from Florence, wrote - there is a great rumour against Mr. Galileo; and for two of the most famous scholars, to which I spoke, not even Ptolemy would convert them, even in case he himself were to be converted first” (Letter by C. Sassetti to P. Dini, May, 14, 1611, in Galileo 1890, p. 103).

The fundamental reason for this irreducible refusal to admit the existence of the four Medici’s planets is “that the glasses may let appear what is not present, or, if that is true, even if the Medici’s planets exist [...], they are of so minimal importance that they do not affect anything [...]. This reason

is strengthened by many arguments and evidences starting from the creation of Adam” (Letter by C. Sasseti to P. Dini, May, 14, 1611, in Galileo 1890, p. 103).

Given the universal credit tributed to the astrological principles by the important Perugini, when they defined as “non-existent” all those celestial bodies that were free of astral influences, Galilei did not miss the opportunity to convert the “two main incredulous”, nested in Perugia. On May 22, 1611 he sent to Mons. Dini a long letter classified by Galilei himself as “my answer to one of Perugia, written to Mons. Dini” (Letter from Galileo to P. Dini, May 21, 1611, in Galileo 1890, p. 105).

In this letter (which can be considered in its own right as the first explicit exposure of the modern separation between Astrology and scientific Astronomy) Galilei, despite his desire to obtain “the agreement not only of a particular scholar, but of a whole, famous University of Study”, does not avoid a sharp irony towards those “Lords in letters from Perugia”, who, without understanding anything of refraction, claim that “in glasses there is deception” (Letter from Galileo to P. Dini, May 21, 1611, in Galileo 1890, pp. 105-108).

In fact, with the reference to the incredulous scholars from Perugia, the real Galilei’s targets were made clear: they were the Astrologers. They, in fact, stubbornly maintained that they would “reject as useless, and perpetually deny as superfluous” the Medici’s planets, if these were found to be astrologically completely irrelevant.

The Galilean refutation of these recurrent objections was based on methodological considerations. The seven planets, ironically Galilei said, have been known by men not through their mysterious influences on Earth, but through direct observation. Assuming the astral influences as a criterion for existence of the celestial bodies is a completely incorrect cognitive method. In Astronomy, Galilei replied, one does not proceed “in that manner that some houses are discovered as being occupied by evil spirits not by sight, but by extravagant effects” (Letter from Galileo to P. Dini, May 21, 1611, in Galileo 1890, p. 112).

Finally, to sweep away all the objections concerning the unreliability of his telescope, he proposes to offer a prize of 10,000 “scudi” to anyone who could build a telescope capable of making satellites appear around a “planet only and not the others” (Letter from Galileo to P. Dini, May 21, 1611, in Galileo 1890, p. 107).

The insisting invitation to assume as a criterion for existence the direct and the instrumental view rather than the astral influences did not immediately reach the desired effects, because with some of the instruments then available (for example those used by the Augustinian father Innocenzo Perugino) it was impossible to see the new discoveries by Galilei: “Here we have many of those glasses – Father Innocenzo wrote – and with no one of them you can see these extravagances; whence our [friends] cannot be induced to believe such great novelties, without seeing them” (Letter from I. Perugino to G. Perugino, July 30, 1611, in Galilei 1890, p. 166).

In any case, the “great rumour”, aroused by these stubborn manifestations of disbelief, had already dissolved in the summer of 1611 and no objections were raised from Perugia against the *Sidereus Nuncius*. In the month of October of the same year, the poet Margherita Sarrocchi wrote to Galileo: “I will not tell you anything about Perugia: I believe the truth has already given them wisdom” (Letter from M. Sarrocchi to Galileo, October 15, 1611, in Galileo 1890, pp. 222-223).

Galileo himself, knowing that the teachers of the University of Perugia had not moved any criticism to his work, hurried to express his renewed devotion. Finally, in the whole affair of the relations between the teachers of Perugia and Galileo Galilei, it was Astrology that had suffered a fatal blow and that came out with broken bones.

## 2. Galileo's visit to Giuseppe Neri

A literary-philosophical erudition of encyclopedic-pansophic type was the predominant cultural model among scholars in the 16<sup>th</sup> and 17<sup>th</sup> centuries. The assiduous study of classical authors, rediscovered by humanism, the expansion of geographical knowledge and the emergence of a linear-progressive idea of history engaged the scholars of the time in an unbridled game of *comparationes* and *concordantiae*, aiming at a new arrangement of the entire wealth of knowledge. Also the cultural environment of Perugia cultivated an encyclopedic erudition, in accordance with the humanistic ideal of knowledge without disciplinary barriers.

The restless Olivetan abbot Secondo Lancellotti (who was born in Perugia in 1583 and died in Paris in 1643) provides a clear example of these cultural trends. A friend of the libertine Gabriel Naudé's, in his impatience towards monastic discipline and any nostalgic form of idealization of the past, he would carry with himself, in his repeated escapes from the convents where he landed, that great inventory of all human activities, his *Acus nautica*, whose extension would discourage every sponsor from taking charge of the relative printing costs. The prominent figures in the cultural environment of Perugia were the humanist Paolo Beni (1552 - 1625), *eugubino* (from Gubbio) by adoption, sensitive to the charm of erudite polemics and the Rhetorician Marco Antonio Bonciario. They were examples of this ideal of knowledge focused on an erudition without disciplinary boundaries. Surrounded by such figures of intellectuals, also Giuseppe Neri (1586 - 1623), teacher at the *Studium* (for whom the chronicler Ottavio Lancellotti said that his "excellence is superior to the rule of every language and to the writing of every pen aimed at an encyclopedic erudition" (O. Lancellotti, *Scorta sagra*, ms B. 4, Biblioteca Augusta di Perugia, May 3, f. 147r). He was also a jurist, historian, poet, philosopher, theologian and an expert of *Armonia* (a musical theory of Mathematical and quantitative nature) and of the Greek language (C. Crispolti 1648. *Perugia augusta* p. 335. Biblioteca Augusta, Perugia).

In Lancellotti's report it is said that Neri knew Mathematics and penetrated its subtleties to the point of not being second to any of the main Mathematicians of his century. It is also stated that such an extraordinary talent impressed Galileo Galilei, who was pleased to submit to Neri's censorship some of his works. Neri warned him that he found some errors in his considerations, for which he suggested corrections, and apparently Galileo accepted them and admired so much his colleague to come to Perugia personally in order to thank him, with whom he spent a few hours in a night that left him, in the morning, full of consent and admiration:

s'internò [il Neri] mirabilmente nelle matematiche, le cui sottigliezze si esquisitamente penetrò che non era necessario a cedere ai primi matematici del suo secolo, de quali tutti all'occorrenza dava perfetto giudizio. Di sì meraviglioso talento stupitosi il famosissimo matematico Galileo Galilei Fiorentino si compiacque di sottoporre alla censura del Neri alcune sue fatighe. Il dotto censore vi avvertì errori di qualche considerazione e modestamente gli corresse. Accettò la correzione il Galilei e l'ammirò di modo che per sodisfar al suo debito volse trasferirsi a Perugia e personalmente riverir il Neri, col quale poche ore una notte trattenutosi la mattina per tempo si partì tutto pieno di consenso e di stupore (Lancellotti, *Scorta magra*, f. 148r).

It is by no means easy to establish the exact meaning of this reconstruction by Lancellotti, and of Galileo's visit to Neri. Even today, we do not have clear elements to ascertain whether Neri had really corrected some unspecified errors committed by Galileo. All we know is that Galileo was really welcomed in his home. In the light of his correspondence, it is most likely that, in such an occasion, Galileo was actually passing through Perugia during his pilgrimage to the "holy house of Loreto", mainly to know whether Prince Cesi had returned to Acquasparta and would be available to continue with him the journey to Loreto. In any case, Galileo must have been aware of Neri's remarkable skills and vast erudition, otherwise it would not be understood why he chose to stay in that Mathematician's

house, in Perugia. Neri himself was ascribed to the *Accademia dei Lincei* on April 24 1622 and showed interest in the controversies over the nature of comets that arose between Galileo and the Jesuit Mathematicians.

The appearance of three comets, starting from August 1619, had actually been the trigger of this sharp confrontation. The Jesuit mathematician Orazio Grassi had printed in Rome a small volume (*De tribus cometis anni MDCXVIII Disputatio Astronomica*), whose theses had been immediately refuted by a reply from Mario Guiducci, a student and spokesman of Galileo's. The reply was published with the title *Discorso delle comete*.

Grassi's counter-reply was not long in coming, and it came right here: it was printed in Perugia. Under the pseudonym of "Lothario Sarsio Sigensano" he sent to the press, in the same 1619, the *Libra astronomica ac philosophica*. The cosmological implications and the harshness of the tones of this controversy prompted the Lincei Academicians to solicit Galileo to respond personally. The manuscript of this long-awaited answer, *Il Saggiatore*, was then submitted, as required by another Linceo, Cesarini, to the careful revision of all the Lincei Academicians. We do not know what Neri's contribution was, in this operation of collegial revision of the Galilean manuscript. His death, occurred in Rome on August 8, 1623, prevented the Mathematician from Perugia to even see *Il Saggiatore*, which was printed on October 28, 1623, with a timely dedication to the new pope Urban VIII.

### 3. The first known relativistic experiment

The duty to pay homage in person to the new pope and the long-cherished desire to see the falls of *Le Marmore* prompted Galileo to embark in another journey to Rome. He left Florence on April 1 1624, and from April 3 to April 8, across Easter, he was forced to stay in Perugia by the bad weather. A litter, sent by Cesi with the purpose of accompanying him to Acquasparta, had carried to Galileo some copies of *Il Saggiatore*, accompanied by a letter from prince Cesi, who remarked that, since Galileo's opponents had printed in Perugia and considering that the new book had probably not yet reaches the town, those copies could be donated by him to those people he wished to. Probability, before leaving Perugia, Galileo left to the "Biblioteca Augusta" the copy of *Il saggiatore* that is still preserved there today.

On the evening of April 8, he arrived at the Ducal Palace of Acquasparta and remained there as Cesi's guest, till Sunday, April 21. We do not have a detailed account of those two weeks of peaceful stay in Acquasparta. Some solid indications, however, tell us that the long conversations between the Lincei had to concern precisely those cornerstones of the revolutionary inertial principle of motion that explained how physically the Copernican movements of the Earth were possible. The principle of inertia, a cornerstone of the new Physics, had already been exposed for the first time in a work printed in 1613, sponsored by the *Accademia dei Lincei* and entitled *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari e loro accidenti*, dedicated mainly to sunspots and their phenomena. To highlight its cosmological implications, Galileo took advantage of his trip to *Le Marmore* waterfall and to the Piediluco lake, in that famous visit to Perugia and Acquasparta, around Easter 1624, to perform the first relativistic experiment of falling bodies in an inertial reference system for which there exists a direct and documented historical testimony.

The account of this experiment is in a letter dated January 8, 1633, found by Lino Conti in the National Library of Naples, back in 1985. In that document, the Linceo Stelluti wrote a "summary" of the book *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*. The summary of the second day of the *Dialogo* starts from the anti-Copernican objection that the Earth had to be absolutely fixed and immobile, because otherwise, should the Earths move, throwing a stone in the sky it would fall far behind the experimenter. The same would happen to a stone falling from a high tower.



Stelluti actually reports to have seen personally an experiment on this subject, made not from a tower, but on a lake:

se la terra si movesse, quando noi tiriamo un sasso in alto, in ricadere abasso, dovrebbe ricadere molto indietro alla testa nostra e pur vediamo che sempre ci ricade sopra, e così parimenti se uno lascia cadere un sasso da un'alta torre vediamo che cade a piè di essa, dove che movendosi la terra dovrebbe restare, et cadere a dietro per molto spatio, movendosi la terra con tanta velocità, che fa settecento miglia l'hora; e si risponde che se ben la terra si muove il sasso deve naturalmente ricadere a piè della torre e non altrove, perché il sasso ha due moti uno diretto nel cadere abasso, e l'altro trasverso cagionatogli dal moto circolare della terra onde, il sasso da noi tirato in alto nel cadere abasso fa quasi un semicircolo per li due moti che ha. Et io ne ho vista l'esperienza, et è che andando col Sig.re Galileo a Piediluco per il lago con una barca da sei remi che andava assai veloce, e sedendo lui da una parte et io dall'altra mi dimandò se havevo qualche cosa grave, li dissi haver la chiave della mia camera, la prese; e mentre la barca andava velocemente trasse in alto la chiave in modo che io la credevo perduta nell'acqua: ma quella, se bene la barca era trascorsa per otto o dieci braccia avanti, con tutto ciò cadde la chiave fra Lui, e me, perché oltre l'andare in alto haveva del moto della barca acquistato l'altro d'andare col movimento di essa e seguirla come fece (Letter from F. Stelluti to an unknown scholar – perhaps Fabio Colonna – Rome, January 8, 1633, Biblioteca Nazionale di Napoli, Mss. X. A. 23, cc. 259r – 265v – Autograph, cc 259r – 261r. See also Conti 1990).

This experience, made in Piediluco, has a remarkable historical, methodological and scientific significance: without excessive emphasis, it can be considered as the experimental baptism of the principle of relativity, the true cornerstone of modern Physics. It shows in short - even before similar experiments were carried out by Baliani in Genoa (1639) and by Gassendi in Marseille (1641) - that the revolutionary principles of relativity, of the conservation of motion and of their composition were supported by an experimental basis and were not simply another example of platonic history.

As correctly noted by Steven W. Hawking, “Galileo, perhaps more than any other single person, was responsible for the birth of modern science” (Hawking 1988, p. 169). The *Accademia dei Lincei* had been designed by prince Cesi to satisfy our “natural desire to know” and thanks to Galileo, Cesi's project was fully successful and it opened the road, right here in Umbria, to one of the most fruitful cognitive methodologies: the experimental one.

#### 4. Conclusions

We have briefly outlined the early history of modern Physics, occurred (albeit with contrasts and certainly in a non-linear way) here in Umbria, with various contributions from the same *Studium Generalis* hosting this conference. After a summary of previous remarkable scientific and historical events, we have illustrated how, during the Renaissance, Astronomy became an independent science and received crucial contributions by Egnatio Danti, especially through the update of the Calendar and through the construction of innovative instruments. In the final part of the period we discussed, Umbria witnessed first the sharp quarrels around Galileo's revolutionary ideas and later the crucial role of the *Accademia dei Lincei*, which finally permitted, in Piediluco, an experiment that remains, even now, at the basis of our view of science.

#### Acknowledgements

We are indebted with prof, Francesca Montesperelli for her useful suggestions and careful editing of the text. Thanks are due also to prof. Maria Clara Nucci, who made us aware of the important role of Egnatio Danti's aunt, Teodora.

### **Bibliography**

- Galilei, G. (1890-1909). *Le opere di Galileo Galilei* (National edition) (20 vols). Edited by Favaro A. Florence: Barbera.
- Lacellotti, O., *Scorta sagra*, ms B. 4, Biblioteca Augusta di Perugia, May 3, f. 147r.
- Rossi, P. (1997). *La nascita della scienza in Europa*. Bari: Laterza.
- Crispolti, C. (1648). *Perugia augusta*. Perugia: Eredi Tomassi & Zecchini.
- Hawking, S.W. (1988). *A brief history of time*. London: Bantan Books.
- Conti, L. (1990). *Giuseppe Neri: un matematico aristotelico all'Accademia dei Lincei*. Roma: Accad. Naz. Lincei.

# Il Congresso SISFA 2022: una stimolante opportunità per il Dipartimento di fisica e geologia dell'Università di Perugia

Giovanni Carlotti

Dipartimento di Fisica e Geologia, Università di Perugia, [giovanni.carlotti@unipg.it](mailto:giovanni.carlotti@unipg.it)

*... schiva d'inganno, altro sentiero,  
esperienza aperse, e or qui rinova,  
su i vinti dubbi al bel fulgor del Ver.*

(Annibale Mariotti, sonetto, 1763)

*Abstract:* The SISFA Congress 2022 has given us the opportunity to pay attention to the care of our ancient instruments, as well as to the history of physics in Perugia. Starting from spring 2022 we started a recognition of the ancient instruments that were scattered in various cabinets and rooms of the Department. The collection has been reorganized and displayed in restored cabinets and in new illuminated display cases on the entrance floor of the Department.

*Keywords:* Physics, Heritage

## 1. Introduzione

Pur essendo per formazione un fisico della materia con interessi di ricerca nel campo delle spettroscopie ottiche e del nano-magnetismo, dunque senza competenze specifiche in storia della fisica, da qualche anno mi sono ritrovato ad interessarmi del patrimonio di strumenti antichi conservato nelle teche dei corridoi del dipartimento di fisica e geologia di Perugia. Un lavoro nato un po' in sordina e motivato dall'intenzione di far tornare in vita alcuni di questi strumenti, sia per arricchire la proposta didattica verso i nostri studenti, sia per occasioni speciali come la Notte dei Ricercatori e delle Ricercatrici di fine settembre o altri appuntamenti con bambini e ragazzi di scuole primarie e secondarie. Questo interesse verso la riscoperta del nostro patrimonio strumentale ha presto contagiato alcuni colleghi e studenti, anch'essi affascinati da questi meravigliosi oggetti che ci collegano direttamente ai nomi illustri della fisica perugina, come Pellicciari, Canali, Dal Pozzo e Dessau, di cui parleremo brevemente più avanti. Il verso del sonetto riportato in esergo, che oggi campeggia nel corridoio dove gli antichi strumenti sono esposti, celebrava l'intelligenza scientifica che, rivolgendosi ai fenomeni della natura, dimostrava possibilità concrete di comprenderne le leggi. Esso fu scritto proprio in occasione dell'inaugurazione del Gabinetto di Fisica Sperimentale nel 1763 dal noto medico perugino Annibale Mariotti (1738-1801), che portò il metodo scientifico nelle prassi della medicina alla fine del secolo XVIII. Così, quando, all'inizio del 2021, il direttore del Dipartimento di Fisica e Geologia, Daniele Fioretto, mi ha proposto un coinvolgimento nell'organizzazione dell'accoglienza del congresso SISFA, ho accettato con entusiasmo, convinto che la nostra realtà locale avrebbe abbondantemente beneficiato dalla contaminazione con la vivace comunità nazionale degli storici della fisica e dell'astronomia.

Avendo dunque coordinato il lavoro del comitato organizzatore locale, mi è gradito qui anzitutto ringraziare il Presidente prof. Salvatore Esposito e tutto il Consiglio direttivo della SISFA che ci ha lasciato ampia libertà nel predisporre l'offerta locale del programma scientifico e degli eventi previsti



nel programma. Desidero anche rivolgere un ringraziamento alla *chair* del XLII Congresso Nazionale della SISFA, Flavia Marcacci, e ai responsabili del gruppo di lavoro SISFA sugli strumenti scientifici, Roberto Mantovani e Giancarlo Truffa, per averci coinvolto in questo avvenimento straordinario che abbiamo avuto l'onore di ospitare. Le intense giornate del Congresso SISFA hanno rappresentato un punto di svolta per la comunità dei fisici perugini, dal momento che ci hanno permesso di lavorare insieme per approfondire la conoscenza della nostra storia locale e valorizzare il patrimonio di strumenti antichi in nostro possesso. Come è noto, infatti, presso il Dipartimento di Fisica e Geologia non abbiamo mai avuto in servizio ricercatori o professori esperti in storia e didattica della fisica. L'ultimo collega che si è variamente occupato di questo settore, seppur senza competenze specifiche, è stato il compianto prof. Franco Levi, durante gli anni Ottanta e novanta del secolo scorso. Da allora, se si esclude la parentesi legata alle celebrazioni per il settimo centenario di UniPG nel 2008, vi è stata una scarsa o nulla attenzione verso la cura e la valorizzazione del patrimonio di strumenti antichi in nostro possesso, così come verso la storia della fisica a Perugia.

## 2. Origini della filosofia sperimentale a Perugia

Il Congresso SISFA 2022 ci ha fornito l'occasione per iniziare a porre cura e attenzione su entrambi questi aspetti. A partire dalla primavera 2022, infatti, grazie al sostegno della Fondazione Perugia, tramite il progetto “*Dalle sfere armillari alle onde gravitazionali, antichi e nuovi strumenti scientifici di Fisica a Perugia*”, abbiamo avviato una ricognizione degli strumenti antichi che erano disseminati in vari armadi e stanze del Dipartimento. La collezione, il cui nuovo logo è rappresentato in Fig. 1, è stata riordinata ed esposta in armadi restaurati ed in nuove teche illuminate al piano di ingresso del Dipartimento. Essa è costituita da quasi duecento esemplari raccolti nel tempo, a partire dalla costituzione del Gabinetto di Fisica presso l'Università di Perugia nel 1763. Nei documenti dell'epoca si loda il pregio di tanti “ingegnosi strumenti” e “filosofiche macchine”. Alla fine del XVIII sec. Luigi Canali (1759-1841), subentrato nell'insegnamento a Luca Antonio Pellicciari, continuò nello sforzo di arricchire il Gabinetto con nuovi apparecchi, così come fecero anche i suoi successori, tra i quali si ricordano Enrico dal Pozzo di Mombello (1822-1892) e Bernardo Dessau (1863-1949). L'Università di Perugia si adeguava così alla diffusione delle “lecture-demonstrations” che nel Settecento vennero proposte, prima in Inghilterra, e poi nelle Università e Accademie di tutta Europa, a seguito della diffusione e dell'influenza della fisica di Isaac Newton (1643-1727). Un elemento qualificante della nostra collezione è che numerosi esemplari provengono dall'officina del meccanico parigino Marc Secrétan (1804-1867), uno tra i più importanti costruttori di strumenti scientifici di precisione del XIX secolo. Nella nuova esposizione, che diventerà una sezione del Centro di Ateneo per i Musei Scientifici (CAMS), gli strumenti sono stati organizzati secondo un percorso tematico che vede anzitutto la sezione di astronomia, dove spicca la Teorica di Mercurio (comunemente detta Sfera Armillare o Sfera Planetaria) di Gerolamo della Volpaia. Essa è stata collocata in una grande teca di vetro, avendo sullo sfondo il dipinto realizzato dal Tintoretto sul mito della nascita della Via Lattea proprio nel 1575, anno della costruzione della Teorica (Fig. 2). Seguono poi le sezioni di Acustica e Meccanica, Termologia, Elettromagnetismo ed Ottica. Ciascuna è caratterizzata da un colore diverso e da etichette e brevi didascalie che saranno presto arricchite ed estese, rimandando anche alla versione virtuale del museo, in via di realizzazione nel sito web del nostro Dipartimento. Al termine del percorso, sono anche collocati alcuni modelli tridimensionali di grandi esperimenti attuali, come l'interferometro di VIRGO di Pisa per la rivelazione di onde gravitazionali o l'esperimento AMS-2 per la ricerca di antimateria che si trova a bordo della stazione spaziale internazionale. L'idea infatti è quella di condurre il visitatore alla scoperta delle origini della fisica sperimentale a Perugia, ma aiutarlo anche a comprendere come questa storia gloriosa stia continuando nel presente con esperimenti di punta alla frontiera della ricerca internazionale, dove ruoli chiave sono giocati da ricercatori e professori della nostra comunità.

### 3. Bernardo Dessau

All'interno della esposizione di strumenti antichi è stato collocato anche un pannello che riassume la vicenda umana e scientifica di Bernardo Dessau (Fig. 1), una delle figure più importanti della storia della fisica a Perugia. Egli ha infatti ricoperto il ruolo di professore di Fisica Sperimentale presso la Facoltà di Medicina dell'Università di Perugia dal 1904 al 1935, anno del suo pensionamento, e poi di professore emerito fino al 1949, anno della sua morte. Nato in Germania da una famiglia di stretta tradizione ebraica, egli studiò fisica all'Università di Berlino con Helmholtz e poi a Strasburgo con Kundt, dove si laureò nel 1886 con una tesi sulla nuova tecnica della polverizzazione catodica (sputtering), pubblicata nello stesso anno sugli «Annalen der Physik und Chemie». Una volta completati gli studi, a causa di problemi di salute, scelse di venire a vivere in Italia e fu per un quindicennio assistente e collaboratore di Augusto Righi, noto pioniere di esperimenti dedicati alla generazione e rivelazione di onde elettromagnetiche, presso gli Atenei di Padova e Bologna. Il ruolo del Dessau in quegli anni di fine ottocento, come assistente del grande Righi ed anche, occasionalmente, come mentore del giovane Guglielmo Marconi, è rimasto piuttosto oscuro e sottovalutato, ma per certo egli funse da prezioso anello di congiunzione tra la ricca fisica mitteleuropea e la incipiente ricerca sulle onde elettromagnetiche che stava fiorendo a Bologna. Nel 1904 Dessau vinse la cattedra presso la Facoltà di Medicina di Perugia e dette quindi un grande impulso all'insegnamento della Fisica Sperimentale sia dentro che fuori dall'Accademia, contribuendo ad arricchire la dotazione strumentale del Gabinetto di Fisica. La sua famiglia, composta dalla moglie Emma, che fu pittrice e xilografa, e dai due figli Fanny e Gabor, divenne anche un punto di riferimento per la comunità ebraica perugina e per il movimento sionista, costruendo rapporti di grande amicizia con la comunità cittadina e con esponenti di diverse tradizioni religiose e culturali. Pur essendo diventato a tutti gli effetti cittadino italiano già nel 1895, nel corso della Prima Guerra Mondiale Dessau fu discriminato e temporaneamente sospeso dal servizio in quanto persona di origine tedesca. Subì poi l'onta delle leggi razziali del 1938 e riuscì a scampare alla cattura da parte dei nazifascisti solo grazie alla solidarietà del medico e collega Fedele Fedeli, che lo nascose e lo ricoverò nella sua clinica. Sulla lapide della tomba, custodita nella sezione ebraica del cimitero monumentale di Perugia, volle questa descrizione di sé stesso: «Fisico, Scienziato, Maestro». Per favorire la conoscenza della vicenda storica di Bernardo Dessau e rendere un po' di giustizia a questo padre fondatore della fisica perugina, durante il Congresso SISFA è stata anche messa in scena la prima dello spettacolo teatrale "*Bernardo Dessau, breviario per voci e ricordi*", scritto e diretto da Paola Tortora di Vintulera Teatro ed interpretato dal collega fisico Alessio Stollo. Questo documentario teatrale, ricco di documenti e testi inediti, è stato proposto poi in occasione della Notte Europea dei Ricercatori e delle Ricercatrici presso l'Aula Magna dell'Ateneo ed altre repliche sono in programma presso teatri di città umbre.

### 4. Conclusioni

Come guardare, dunque, al futuro? Abbiamo intenzione di non abbandonare la strada avviata, pur nelle attuali limitate disponibilità di risorse e di personale, valorizzando le ricchezze del nostro patrimonio strumentale e della storia della scienza locale per irrobustire le attività di terza missione che stanno acquisendo un ruolo importante nell'attività e nella visione strategica del nostro dipartimento. Un prossimo obiettivo potrebbe essere quello di valorizzare ulteriormente il nostro patrimonio strumentale mettendolo in relazione con quello librario conservato nei fondi antichi delle biblioteche della nostra Università. Mi auguro che ci sia presto l'occasione per farlo, confidando nella collaborazione e nelle competenze dei colleghi della SISFA conosciuti ed apprezzati grazie al lavoro di preparazione ed alla celebrazione del XLII Congresso Nazionale.



**Fig. 1.** Sinistra. Nuovo logo della collezione storica di strumenti di Fisica allestita presso il Dipartimento di Fisica e Geologia di UniPG. Destra. Ritratto di Bernardo Dessau dipinto da sua moglie Emma Goitein intorno all'anno 1900.



**Fig. 2.** Nuova teca dedicata alla Teorica di Mercurio (comunemente denominata Sfera Armillare o Sfera Planetaria) costruita da Gerolamo della Volpaia nel 1575. Sullo sfondo, riproduzione del dipinto del Tintoretto sul mito della nascita della Via Lattea, venuto alla luce nello stesso anno. A destra ed a sinistra due globi geografici, uno terrestre ed uno celeste, di produzione francese del XIX secolo.

### Ringraziamenti

Ringrazio di cuore Flavia Marcacci, anche a nome degli altri membri del comitato locale, per la collaborazione nel lavoro di predisposizione della esposizione di strumenti antichi, per le utili discussioni e per i suggerimenti ricevuti.

# Per una storia della Fisica a Perugia: tra specializzazione; politica culturale e rapporti con le altre discipline

Marco Maovaz

Centro di Ateneo per i Musei Scientifici dell'Università degli Studi di Perugia, [marco.maovaz@unipg.it](mailto:marco.maovaz@unipg.it)

*Abstract:* The history of Physics has always accompanied university teachings from the beginning, initially in the form of natural philosophy and gradually over the centuries as an increasingly specialized and autonomous discipline. In the chronology of the University's museums and cabinets, the Physics Cabinet, founded in 1759, holds a respectable place as it is the second university museum after the botanical garden founded in 1720. For the foundation of the Cabinet the model of the reference was the counterpart of Sapienza and this circumstance introduces an interesting concept: the relationship with the capital and consequently with the government cultural policy.

*Keywords:* Physics, History of Science, Cultural policy

## 1. La Fisica a Perugia dalle origini alla rivoluzione scientifica

La storia della Fisica ha accompagnato fin dalle origini gli insegnamenti universitari a Perugia, inizialmente sotto forma di filosofia naturale e via via, nel corso dei secoli, come disciplina sempre più specializzata ed autonoma. Originariamente ancella della medicina, come in tutti gli Atenei, la Fisica tra XV e XVI secolo era orientata verso gli studi astronomici (Ermini 1971; Busso, Diodati & Fioretti 2008). Nel XVII secolo diventò sempre più cruciale la questione della strumentazione ed arrivarono nel capoluogo umbro i primi strumenti scientifici galileiani, ma non nel luogo che ci aspettiamo, cioè nell'Ateneo, ma in quello che possiamo considerare il primo e più importante museo privato cittadino: quello della famiglia Oddi (Pesante & Menganna 2017). Marcantonio Oddi era un ecclesiastico che era riuscito a fare carriera a Roma durante i pontificati Barberini, Pamphilj e Chigi, insieme al fratello Giacomo aveva raccolto e trapiantato a Perugia una tipica *wunderkammer* romana.

Nel 1659 Marcantonio venne eletto vescovo di Perugia e, col ritorno a casa, poté godersi la dimora extraurbana di S. Erminio dove venne trasferito il museo di famiglia. Nell'età barocca queste collezioni prevedevano principalmente *naturalia*, *artificialia* e *curiosa*, cioè reperti naturalistici, manufatti artistici ed "etnografici" che dovevano meravigliare il visitatore e stimolare la curiosità. La stanza principale del Museo era quella della galleria che aveva, appese al soffitto, corna di cervo, pesci e cocodrilli imbalsamati. L'arredo della galleria era composto da tredici tavoli con studioli decorati con commessi di pietre dure; su ogni tavola erano inoltre collocati oggetti afferenti a quelle che nel corso del tempo sarebbero diventate discipline sempre più specifiche. A grandi linee si potevano ritrovare campioni e manufatti mineralogici, zoologici, botanici, fisici e paleontologici. Tra le reliquie emergeva "un vasetto di cristallo, che vi è un poco di cervello del Card. Bellarmino"; perché si cita questo reperto così inquietante? Perché nella stessa stanza si trovavano anche "tre cannocchiali del Galileo con suo cavalletto per sostenerli". Ecco un esempio dell'enciclopedismo della Roma Barocca: gli strumenti che diedero enormi problemi a Galileo messi accanto al cervello del più grande accusatore dello scienziato pisano.

Oltre ai tre cannocchiali nella galleria erano presenti altri strumenti per lo studio della Fisica: una "Palla di rame dorato entro la quale sono diversi orologi astronomici e dimostrazioni di Luna"; un "Payo d'occhiali fatti a faccetta per moltiplicar gli oggetti"; un "Cristallo a triangolo, che nel guardar

rappresenta l'iride"; un "Occhialino [...] che si gira, e mostra gli oggetti, che entro contiene"; un "Mecroscopio d'avorio con entro varie cose, che rappresenta". Completavano la dotazione "Fisica" del Museo Oddi diversi specchi deformanti ed ustori. Ma passiamo all'ambito universitario con un manoscritto anonimo del 1677, conservato nella Biblioteca Augusta di Perugia, che illustra lo stato della Fisica in ambito accademico (*Per breve physicae* 1677). L'Autore, e non potrebbe essere altrimenti, sostiene che non avrebbe prestato "assenso se non alle ragioni ed agli esperimenti" ma rimase comunque nell'ambito della filosofia naturale aristotelica. La successione dei numerosi capitoli è rappresentativa di questo approccio tradizionale e molto legato alla medicina: si va dai quattro elementi; al moto; al tempo; allo spazio; alla nascita e alla morte; alla generazione di viventi e delle piante; all'anima razionale e vegetativa; ai sensi.

## **2. La Fisica nel XVIII secolo**

Arriviamo così al XVIII secolo, un periodo cruciale a Perugia per la progressiva specializzazione della materia e per la fondazione di un Gabinetto - Specola. Nel 1730, promossa dal medico cartesiano Alessandro Pascoli, venne creata la prima cattedra autonoma di Fisica - Chimica, tenuta nei primi anni dal medico Virginio Cocchi. Nel 1759 venne stipulato con l'abate lucchese Vincenzo Petrucci un contratto per la realizzazione di alcune macchine "per l'esperienze filosofiche": si tratta del primo nucleo del Gabinetto di Fisica (Petrucci 1759). Il contratto era controfirmato da François Jacquier, professore della Sapienza, una sorta di assicurazione sul valore delle macchine e sul fatto che per la loro realizzazione Petrucci si sarebbe riferito alle macchine della Sapienza. Le macchine della Specola romana erano del resto ben note a Luca Pellicciari, il nuovo docente di Perugia, che le aveva viste frequentando le lezioni nella capitale.

Nell'archivio universitario di Perugia si conserva l'inventario della Specola romana (*Nota delle Macchine* s. d.), un elenco che ci restituisce una testimonianza della Fisica del tempo: la prima "macchina elettrica"; macchine pneumatiche e per lo studio dell'astronomia, dell'ottica, della statica e della dinamica, ma anche armi ("mortaro da bombe; cannone di ottone"); strumenti agrimensori; una "tromba per estinguere gli incendi" e, a dimostrazione degli ancora strettissimi legami con la medicina, molti strumenti diagnostici e curativi ("sifone anatomico; tubo per uso di sordastri e tromba parlante; clismi d'Inghilterra"). L'elettricità era la sottodisciplina più in voga nella seconda metà del secolo: nel 1779 Pellicciari venne stimolato dagli studenti per fare delle dimostrazioni pubbliche dell'elettricità artificiale e naturale (Sesti & Coccia 1779). Col passaggio di consegne da Pellicciari al nuovo docente, Luigi Canali (Fig.1), venne stilato l'inventario del gabinetto fisico che ricalcava pedissequamente quello della Sapienza, praticamente il gabinetto perugino era stato costruito negli anni come un clone di quello romano.

Con l'approssimarsi della fine del secolo, col diffondersi degli ideali scaturiti dalla rivoluzione francese, anche il mondo scientifico stava cambiando. Agli occhi dei giacobini che governarono Perugia dal 1798 al 1799 "le Fische, e le Matematiche erano state piuttosto favorite, che degradate dai despoti". Ora toccava ai riformatori dirigere le fische agli "oggetti più utili della società"; non speculazioni filosofiche quindi, ma applicazioni pratiche per il pubblico bene della repubblica giacobina (Franceschi 1799). La prima Restaurazione del 1799 impedì l'attuazione della riforma universitaria giacobina, ma ormai il contatto con la modernità era avvenuto. Nel *Piano per Riaprimiento dell'Università di Perugia* compilato nello stesso 1799 dai docenti vicini al governo pontificio si propose di inserire l'insegnamento della Fisica in un corso di laurea di Filosofia insieme alla matematica; si era ancora lontani dalle facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali che avrebbero visto la luce nel secolo seguente, ma la proposta testimoniava la progressiva specializzazione della disciplina.



**Fig. 1** Luigi Canali.

### 3. La Fisica nel XIX secolo

Nel secondo periodo francese Luigi Canali divise definitivamente la Fisica dalla chimica (che tenne per sé); il docente che per breve tempo incarnò il nuovo corso della disciplina negli anni dell'impero napoleonico fu Francesco Orioli. Originario della provincia di Viterbo, Orioli si era laureato in Medicina a Perugia, e nel 1815, finita l'avventura napoleonica, si trasferì nell'Ateneo bolognese. Nel 1831 prese parte ai moti rivoluzionari e in seguito alla Restaurazione andò in esilio in Francia e poi in Grecia. Che la politica fosse ormai una questione strettamente legata alla scienza, compresa la Fisica "favorita" dai despoti, non doveva ormai sfuggire al governo pontificio. Gli argomenti trattati dal docente Matteo Martini, che tenne la cattedra fino al 1852, afferivano solo alle sottodiscipline più tradizionali come la statica e la dinamica, nessuna incursione nelle nuove teorie che avevano invece interessato Orioli, come la pseudoscienza del mesmerismo. Anche le diverse attrezzature elettriche che vennero comprate nella prima metà del secolo erano per la cattedra di chimica tenuta da Canali, non per il gabinetto di Fisica che venne invece rifornito da Martini di apparecchi per la dimostrazione della caduta dei gravi e per lo studio della pneumatica.

Nella prima metà del secolo possiamo notare anche l'instaurarsi dei rapporti tra la Fisica e le altre scienze. Nel 1823 iniziò la costruzione del nuovo teatrino per le dimostrazioni fisiche e ai docenti venne chiesto un contributo su base volontaria. In prima fila ci fu inaspettatamente un famoso archeologo: Giambattista Vermiglioli, ma contribuirono anche botanici, medici, giuristi e letterati; un'efficace dimostrazione dell'interesse comune (di ispirazione francese) per il miglioramento dell'Università e per il pubblico bene. Tuttavia i rapporti tra discipline erano basati anche su gerarchie, come scoprì Orazio Antinori nel 1839. All'epoca quello che diventerà uno dei più famosi esploratori italiani era solo un

giovane ventottenne appassionato di ornitologia, che aveva donato la sua collezione all'Ateneo. Nel 1839 Francesco Conestabile della Staffa, Gonfaloniere - Sindaco di Perugia, scrisse al cardinale Prospero Caterini, segretario della Congregazione degli studi e gli espresse le sue perplessità sulla collezione ornitologica. Il Gonfaloniere non era interessato alla raccolta zoologica, poiché gli preferiva il Gabinetto fisico, anche per “Corrispondere ai supremi voleri della Santità di N. S. [Gregorio XVI] che con savissimo provvedimento volle che ogni anno fosse erogata una somma per questo interessantissimo ramo della pubblica istruzione” (Conestabile della Staffa 1839). Il 1839 fu tra l'altro un anno cruciale per i rapporti tra scienza e politica: si tenne infatti il primo congresso degli scienziati italiani a Pisa, un avvenimento che da molti Autori viene considerato fondamentale per la costituzione di una coscienza nazionale da parte degli studiosi.

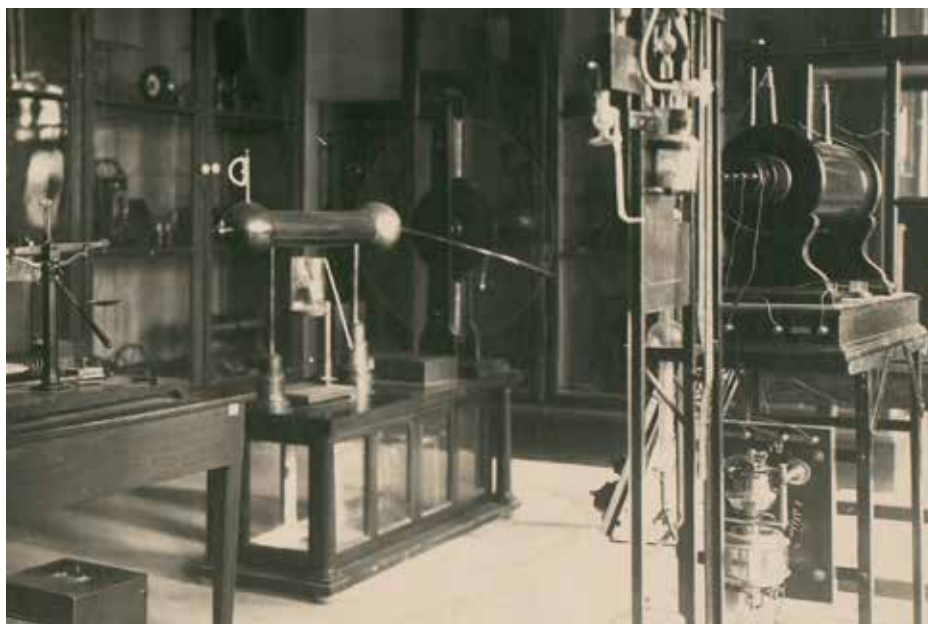
Non stupisce che il Papa cercò in tutti i modi di evitare la partecipazione ai “sudditi” dello Stato della Chiesa di prendervi parte, come risulta anche dalla documentazione archivistica di Perugia. I segnali per la Chiesa erano ormai allarmanti, nel resto d'Europa gli avanzamenti della scienza erano inarrestabili, con dogmi messi in discussione a più riprese, da qui discendevano le preferenze del governo pontificio che in una ideale classifica delle discipline vedeva la Fisica al primo posto, la chimica, la medicina e la botanica nel mezzo e in fondo alla classifica le più problematiche: la zoologia e la paleontologia. Anche a causa di queste preferenze governative il panorama della scienza nell'Ateneo perugino non risultava particolarmente avanzato, forse solo la chimica, con Sebastiano Purgotti, si salvava dalla mediocrità. L'anatomia umana era per esempio nelle mani di Vincenzo Santi, un neotomista che riteneva inutile l'uso del microscopio; la Fisica, dal canto suo, era praticamente rimasta ferma al XVII secolo. All'Unità Perugia si dimostrò quindi un interessante banco di prova per la politica culturale del governo sabauda in ambito accademico. Quando Gioacchino Napoleone Pepoli diventò commissario dell'Umbria, nel 1860, Cavour gli scrisse sconcolato: “Come mai potrà essa [Perugia] camminare nelle vie del progresso se deve sottostare al peso di diecimila frati?” (Benso conte di Cavour 1885).

Alla fine sarà paradossalmente un ex barnabita, Enrico dal Pozzo di Mombello (Fig. 2), a rinnovare la Fisica universitaria (insieme alla geologia, alla paleontologia, alla mineralogia e alla zoologia). Nato nel 1822 a Torino, Enrico Dal Pozzo era il cadetto di una famiglia della nobiltà piemontese e lontano discendente di Cassiano, il famoso linco e amico di Galileo. Come secondogenito Enrico fu obbligato dalla famiglia a prendere i voti nell'ordine dei Barnabiti; nel 1857 era stato poi trasferito a Perugia per subire un processo da parte del Sant'Uffizio, ed era stato condannato al carcere perpetuo per aver stampato, senza la licenza dei Superiori, alcuni suoi studi relativi alle scienze naturali. L'esperienza aveva fortemente segnato Dal Pozzo, che rinunciò ai voti e diventò un convinto anticlericale, mazziniano, positivista, materialista ed evoluzionista. Dopo l'Unità Enrico venne nominato professore dell'Ateneo e si impose in molteplici settori disciplinari, una bulimia didattica che in parte poteva essere giustificata dalla sua storia personale e dal suo indocile carattere. Vista da fuori, tuttavia, questa volontà di trattare troppe materie lasciava perplessi: nella recensione su un suo libro di testo, apparsa su *Nature* nel 1873, un articolista anonimo elogiava Dal Pozzo perché seguiva le orme di Giovanni Cantoni e perché era aggiornato sulle ricerche di James Thompson, di Balfour Stewart e di William Rankine (Sommario delle lezioni 1873). Ma subito dopo aggiungeva che trattare a lezione “dal sole ad un atomo, dal darwinismo all'elettrodinamica, dalla geologia alla polarizzazione ellittica” era troppo: secondo l'Autore gli studenti avrebbero ricevuto una infarinatura di tutto senza sapere “niente bene”. Poi, nella realtà, gli studenti furono abbastanza devoti a questo docente così multiforme, che aveva tra l'altro incrementato notevolmente la dotazione di macchinari del gabinetto: nel 1878 erano presenti 418 apparecchiature, salite a 889 nel 1897 (Fig. 3).





**Fig. 2.** Enrico Dal Pozzo di Mombello.



**Fig. 3.** Il Gabinetto fisico alla fine del XIX secolo.



#### 4. Bernardo Dessau e la Fisica nella prima metà del XIX secolo

Qualche anno più tardi, nel 1904, alla cattedra venne chiamato un fisico puro: Bernardo Dessau (Fig. 4). Nato nel 1863 ad Offenbach sul Meno, Dessau si era laureato a Strasburgo e, prima di approdare a Perugia, era passato per Padova e Bologna (Focacci 2012). In breve tempo Dessau diventò a Perugia uno dei principali esponenti della comunità ebraica. Allo scoppio del primo conflitto mondiale fu momentaneamente allontanato in quanto tedesco ma finita la guerra tornò in cattedra e fino al 1935 insegnò nei vari corsi di laurea. Com'è noto durante il Ventennio la Fisica viveva, dal punto di vista di appoggio del governo, uno dei suoi momenti migliori (Gamba & Schiera 2005). Lo stesso Dessau ebbe molti riconoscimenti: nel 1937 venne citato nelle pubblicazioni del regime come uno dei migliori docenti di un Ateneo, che gli conferì nello stesso anno, a firma del rettore Paolo Orano, il titolo di professore emerito. Orano era stato il fondatore della Facoltà fascista di Scienze politiche, preside della stessa e poi rettore dal 1935 al 1944.

Nello stesso anno della nomina di Dessau, Orano diede alle stampe la monografia *Gli ebrei in Italia*, che viene considerata una delle più influenti nella montante ondata antisemita che sfociò nelle leggi razziali del 1938. Al 1939 risale una “Riservata” del ministro dell’educazione nazionale Bottai che vietava la citazione dei docenti ebrei “Cessati dal servizio” negli annuari o nelle intitolazioni di istituti scientifici (Bottai 1939). Si trattava di cancellare anche la memoria dei docenti ebrei dalle Università, l’efficiente Orano segnò a matita a margine della lettera proprio il nome di Dessau. Sulla scorta di quanto si è illustrato possiamo intendere quanto la politica culturale dei governi abbia influito, nel bene o nel male, sulla ricerca o sulle carriere fino al secondo conflitto mondiale. Oggi le questioni scientifiche non sono certamente tra le priorità di una politica che dimostra disinteresse e ignoranza, ma continuare a ricostruire la storia dei rapporti tra scienza e politica può darci qualche chiave in più per interpretare questa contemporaneità che ci appare così complessa.



Fig. 4. Bernardo Dessau.

### Bibliografia

- Benso, C. (1885). *Lettere Edite ed inedite di Camillo Cavour – Volume quarto [1860-1861]*. Torino: Roux e Favale.
- Busso, M., Diodati, P. & Fioretti, D. (2008). “La Fisica”, in Maovaz, M. & Pieretti, A. & Romano, B. (eds.) *Scienza e Scienziati a Perugia – Le collezioni scientifiche dell’Università degli Studi di Perugia*. Milano: Skira, pp. 104-125.
- Ermini, G. (1971). *Storia dell’Università di Perugia*. Firenze: Leo S. Olschki.
- Focacci, F. (2012). *Bernardo Dessau Professore di Fisica a Perugia*. Perugia: Deputazione di storia patria per l’Umbria.
- Franceschi, A. (1799). *Stabilimenti per la provvisoria riforma della Università di Perugia*. Perugia: Carlo Baduel.
- Gamba, A. & Schiera, P. (eds.) (2005). *Fascismo e scienza. le celebrazioni voltiane e il Congresso Internazionale dei Fisici del 1927*. Bologna: Il Mulino.
- G.F.R. (non identificabile) (1873). “Sommaro delle Lezioni di Fisica date dal Professor Enrico Dal Pozzo di Mombello, nella libera università di Perugia. Foligno: Pietro Spariglia, 1873”, *Nature*, 9, pp. 140-141.
- Pesante, L. & Menganna, C. (2017). “The Galleria of Giacomo Oddi in Perugia, Its inventory and dispersal”, *Journal of the History of Collections*, 29(3), pp. 375 -379.

### Fonti d’archivio

- Bottai, G. (1939). Lettera riservata ai Rettori delle Università e ai Direttori degli Istituti Superiori, Roma 4 luglio. Archivio dell’Università degli Studi di Perugia (AU), *a. a. 1940-1941*, 3.1.3.1, fascicolo Ebrei - disposizioni varie.
- Conestabile della Staffa, F. (1839). Lettera a Prospero Caterini, Perugia, 5 ottobre. Archivio di Stato di Perugia (ASP), *Archivio storico del Comune di Perugia*, periodo 1817-1859 n. 164, fascicolo Gabinetto Zoologico 1839.
- Nota delle Macchine appartenenti alla Sapienza di Roma per uso della Fisica sperimentale, Roma, (s. d. ma 1759). Archivio dell’Università degli Studi di Perugia (AU), *P. I, D. V*, Rotuli DD Lector Studij ab Anno 1756 usque ad 1770.
- Per breve phisicae specimen (1677). Biblioteca Augusta di Perugia (BAP), *Fondo manoscritti*, MS 1506.
- Petrucchi, V. (1759). Contratto per la realizzazione delle macchine per le esperienze filosofiche, Roma, 10 maggio. Archivio dell’Università degli Studi di Perugia (AU), *P. I, D. V*, Rotuli DD Lector Studij ab Anno 1756 usque ad 1770.
- Sesti, G. & Coccia, G. (1779). Richiesta di Giuseppe Sesti e Giuseppe Coccia, Perugia, 6 luglio. Archivio dell’Università degli Studi di Perugia (AU), *P. I, D. VI*, Rotuli DD Lector Studij ab Anno 1770 usque ad 1781.

## PHYSICS AND DIPLOMACY: A CHAIN REACTION

## ***"We must opt for survival. No substitute for negotiation"***

### **Alcune riflessioni sull'impegno civile dei fisici nucleari durante la guerra fredda: il caso italiano**

Lodovica Clavarino

Università Roma Tre, [lodoclavarino@gmail.com](mailto:lodoclavarino@gmail.com)

*Abstract:* My essay focuses on the peace activism of the Italian scientists during the Cold War. With the beginning of the nuclear age, several scientists claimed a specific role in raising awareness of the perils of their times, both in their countries and at a transnational level. After brief reflections on some prominent international efforts in this field (as Pugwash, established as consequence of the Russell Einstein Manifesto), the aim of my speech is to depict the “social activation” of the Italian community of physicists in the arms control and disarmament field.

In Italy, a community of physicists around these topics emerged during the Non-Proliferation Treaty's debate (mid 1960s). Afterwards, we can observe another significant period of commitment to arms control during the crisis of détente (end of 1970s/early 1980s). Connected with associations and groups based in other countries, these Italian scientists pursued the purposes of 1) educating citizens about nuclear weapons; 2) pushing their government for progress in arms control and détente; 3) strengthening a transnational network of likeminded activists.

Being an historian of international relations, I will describe the key projects promoted by the Italian scientists (such as ISODARCO, USPID, the activities based at the Accademia dei Lincei), highlighting the main tensions and thorniest issues of each specific historical phase. Although some publications are available, scientists' advocacy of arms control and détente is not a theme that has been extensively investigated yet from a historical point of view.

*Keywords:* Scientists' civil commitment, peace activism, nuclear weapons, Italy, Cold War

#### **1. Introduzione**

Il mio contributo nasce da una ricerca iniziata anni fa dall'analisi della vita di Edoardo Amaldi (1908-1989) importante fisico italiano che fu impegnato nei temi dell'*arms control* e del disarmo durante la Guerra Fredda (Clavarino 2014). Dopo aver analizzato la sua “biografia civile” attraverso la vasta documentazione presente nel suo archivio personale presso l'Università La Sapienza, ho allargato la ricerca andando oltre la sua personalità, per investigare le varie attività riconducibili alla categoria dell'“impegno civile” nei confronti della pace e del disarmo, intraprese da un network italiano di scienziati che si sviluppò in parte intorno alla sua figura, in parte in modo anche autonomo e parallelo rispetto allo stesso Amaldi. Il senso di questo contributo è quindi quello di considerare alcuni eventi della storia delle relazioni internazionali attraverso le lenti di osservazione delle attività di scienziati, attivi nello specifico nel contesto italiano durante la Guerra Fredda.

Il titolo di questo contributo è tratto da una frase di una dichiarazione di una Conferenza Pugwash del 1980 (Calogero 1980), che si svolgeva dunque in un periodo di grandissime tensioni internazionali, essendosi chiuse ormai la fase definibile di “distensione” del sistema internazionale (metà anni '60-

metà anni '70) e le speranze che questa aveva alimentato nel senso di un superamento delle rigide dinamiche del conflitto bipolare. L'inizio degli anni '80, con la crisi degli Euromissili, le complicate vicissitudini sovietiche prima dell'arrivo di Gorbachev al Cremlino, con l'invasione sovietica in Afghanistan, diede luogo a un'interruzione delle relazioni tra le due superpotenze che destava allarmismo a livello della società civile e molte preoccupazioni negli ambienti relativi agli scienziati già attivi sui temi del disarmo e della pace. In un momento in cui molti legavano il negoziato sui temi dell'*arms control* ad altri obiettivi negoziali a livello internazionale, gli scienziati del Pugwash ribadivano il loro strenuo impegno per il dialogo internazionale, che a loro avviso non andava interrotto e cui secondo loro non vi era sostituto possibile.

## 2. Il Doomsday Clock: barometro delle tensioni internazionali

Apparso per la prima volta nel 1947, nella rivista *Bulletin of the Atomic Scientists*, il Doomsday Clock (o Orologio dell'Apocalisse) è un orologio stilizzato che simboleggia quanto l'Umanità sia vicina al pericolo di un suo stesso annientamento, e dunque di una fine del mondo. L'orologio è ormai un simbolo universalmente riconosciuto, che un prestigioso board di personalità del mondo della scienza e delle relazioni internazionali (il Bulletin of the Atomic Scientists' Science and Security Board) aggiorna ogni anno in base al mutare del contesto internazionale. Lo strumento, nato nella comunità degli scienziati che si volevano sentire attenti osservatori della società in cui vivevano, rende un'immagine evidente delle tensioni internazionali e della pericolosità delle sfide del sistema internazionale (il focus originario erano gli armamenti nucleari, ma con il passare del tempo il paniere di fattori che gli esperti considerano per spostare le lancette comprende anche altri elementi, quali ad esempio il cambiamento climatico). In questa rappresentazione, quanto più si è vicini alla mezzanotte, quanto più si sarebbe vicini alla fine del mondo. Come si può vedere dalla timeline rappresentata nel grafico (Fig. 1), l'inizio degli anni '80 - periodo della citazione riportata nel titolo di questo mio contributo - rappresenta uno dei momenti più vicini alla mezzanotte e quindi di massima tensione internazionale. E' da notare come - nel panorama italiano - proprio la fase di inizio anni '80 sia quella in cui si ebbe un fiorire di numerose attività in favore della pace e del disarmo, a dimostrazione che proprio nei periodi di maggiori tensioni internazionali c'era bisogno di iniziative di vario tipo da parte della società civile, per stimolare il dialogo ufficiale e per mantenere viva l'attenzione su determinati temi. Vale la pena citare qui una frase riportata da Francesco Calogero, attribuita all'influente politologo sovietico Georgii Arbatov, che a questo proposito sosteneva "Quando la distensione fiorisce, il Pugwash è un lusso, quando la distensione è in crisi diventa un necessità". (Calogero, 1983).

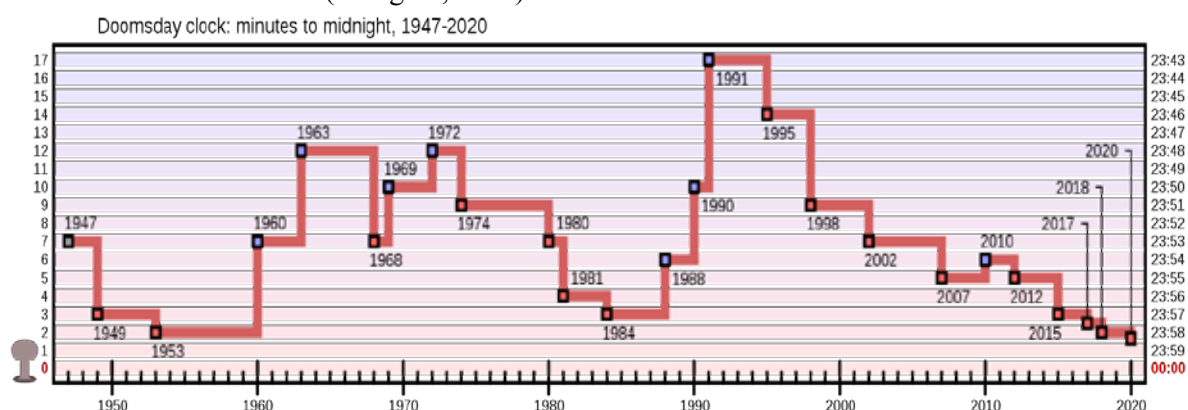


Fig. 1. Doomsday Clock Timeline: [https://en.wikipedia.org/wiki/Doomsday\\_Clock](https://en.wikipedia.org/wiki/Doomsday_Clock).

### 3. Bombe atomiche e coscienze individuali

Si può affermare che l'impegno degli scienziati contro l'utilizzo militare dell'energia nucleare e dunque in favore del disarmo, nacque proprio poco dopo l'inizio dell'"era nucleare" propriamente detta, con le riflessioni che avevano luogo nell'immediato dopoguerra in merito ai pericoli e alle sfide derivanti dalla proliferazione nucleare verticale (arsenali qualitativamente e quantitativamente sempre più performanti) e orizzontale (diversi paesi che acquisiscono armamenti nucleari). Gli eventi della seconda Guerra mondiale segnarono profondamente tutta una generazione di scienziati nucleari, sia che avessero partecipato, sia che non avessero partecipato ai progetti nucleari bellici.

In merito all'impegno degli scienziati nucleari, il mindset dei primi scienziati che si impegnarono contro gli armamenti nucleari aveva le proprie radici proprio nei primi anni del dopoguerra, periodo in cui emersero le varie posizioni personali, riflessioni ed elaborazioni rispetto all'uso delle bombe atomiche (Amaldi *et al.* 2022). A questo proposito, si ritiene qui interessante citare due testimonianze di protagonisti delle vicende. Enrico Fermi, scienziato di fama mondiale, intorno al quale aveva lavorato il Gruppo dei Ragazzi di Via Panisperna attivo a Roma tra la fine degli anni '20 e gli anni '30, si era poi trasferito definitivamente negli Stati Uniti (aveva sposato una donna ebrea, e unitamente all'esigenza di emigrare per ragioni razziali, vedeva senz'altro le migliori possibilità di poter lavorare in un ambiente scientificamente più stimolante rispetto all'Italia dell'epoca) e aveva partecipato con un ruolo di primo piano al Progetto Manhattan, iniziativa promossa in tempo di guerra dagli Stati Uniti finalizzata alla costruzione delle bombe atomiche. In una lettera indirizzata all'amico e collega Edoardo Amaldi rimasto in Italia (Fermi a Amaldi, 28 agosto 1945), pochi giorni dopo la fine della Guerra, quando le comunicazioni tra Europa e Stati Uniti erano potute riprendere, Fermi riporta il suo stato d'animo rispetto agli eventi appena vissuti:

Dalla lettura dei giornali di qualche settimana fa avrai probabilmente capito a quale genere di lavoro ci siamo dedicati in questi ultimi anni. E' stato un lavoro di notevole interesse scientifico e l'aver contribuito a troncare una guerra che minacciava di tirar avanti per mesi o per anni è stato indubbiamente motivo di una certa soddisfazione. [...]

Ogni scienziato si ritrovava a fare allora i conti con la propria coscienza e decideva come declinare la propria posizione in merito. C'era chi era orgoglioso di aver partecipato a questa enorme avventura scientifica iniziata con l'intento di usare i nuovi ordigni contro la Germania che si pensava fosse avanti in tale percorso (ad esempio Emilio Segrè), c'era chi rimase disgustato dalle applicazioni militari dell'uso dell'energia nucleare (si veda la posizione intransigente e durissima di Franco Rasetti) e varie sfumature intermedie. Se le bombe usate alla fine della Seconda Guerra mondiale imponevano una riflessione all'intera società, *in primis* la imponevano agli scienziati. Circa Edoardo Amaldi, dalle fonti possiamo rilevare come questa "scelta che egli non fu costretto a fare" lo segnò comunque tantissimo. Amaldi si interrogò molte volte su cosa avrebbe fatto lui se gli fosse stato chiesto di partecipare allo sforzo bellico degli Alleati, (se ad esempio si fosse riuscito a trasferire negli Stati Uniti, come effettivamente nella primavera/estate 1939 aveva sperato di poter fare, in quello che egli definì a posteriori un "sogno ridicolmente ingenuo").

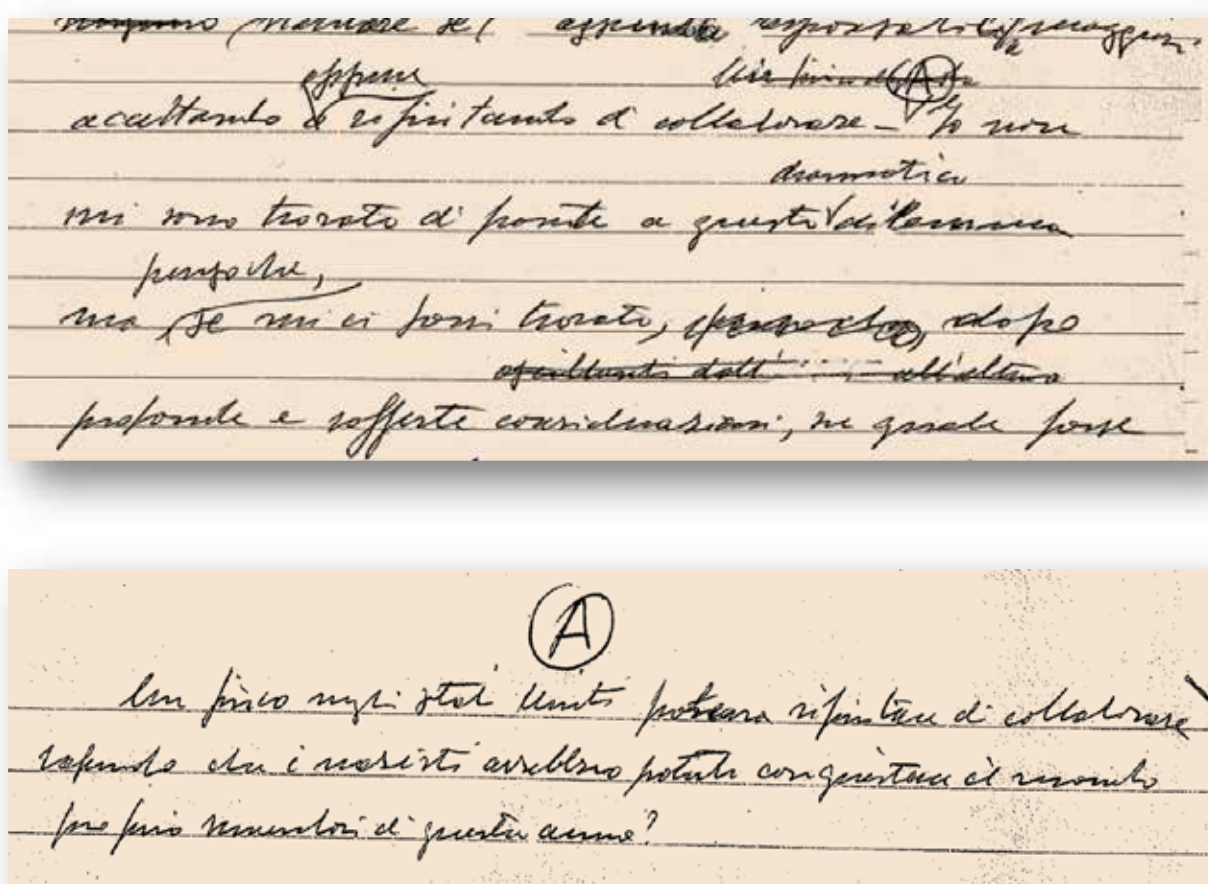


Fig. 2. Manoscritto di Edoardo Amaldi (s.d.), in A.A., sez. Eredi, Scat.8, fasc.7.

In un suo manoscritto (Amaldi, s.d.) risalente agli anni '70, Edoardo Amaldi ci restituisce la sua faticosissima riflessione (più volte corretta e cancellata nei suoi appunti), in cui la domanda centrale che si pone è: “un fisico negli Stati Uniti poteva rifiutarsi di collaborare sapendo che i nazisti avrebbero potuto conquistare il mondo proprio servendosi di queste armi?”. Non addentrandoci oltre in questa sede nelle riflessioni personali di Amaldi, si voleva qui mostrare brevemente come l’esperienza della Guerra e dell’uso delle bombe atomiche segnò inevitabilmente in modo profondo tutta la prima generazione di scienziati impegnati per il disarmo e il controllo degli armamenti.

#### 4. L’impegno degli scienziati: dall’ispirazione del Pugwash al caso italiano: il TNP come prima fase di attivazione sociale

Una data fondamentale per la storia dell’*advocacy* internazionale degli scienziati in favore della pace e dell’*arms control* è da riscontrare nel Manifesto Russell-Einstein del 1955 (Butcher 2005) e nel suo accorato appello alla pace internazionale “Remember your Humanity and forget the rest”. In questo noto documento, i prestigiosi firmatari evidenziavano la loro convinzione che l’emergere dell’era nucleare rendesse necessario un nuovo modo di pensare (“we have to learn to think in a new way”), per far fronte alle sfide internazionali che ne sarebbero derivate (Manifesto Russell-Einstein 1955). A livello transnazionale, il momento fondativo di un impegno collettivo globale degli scienziati in favore del disarmo è probabilmente la prima conferenza Pugwash svoltasi nel villaggio di Pugwash (Canada) tra il 7 e il 10 luglio 1957. Lo scopo era riunire un certo numero di esperti - in un momento ormai definibile

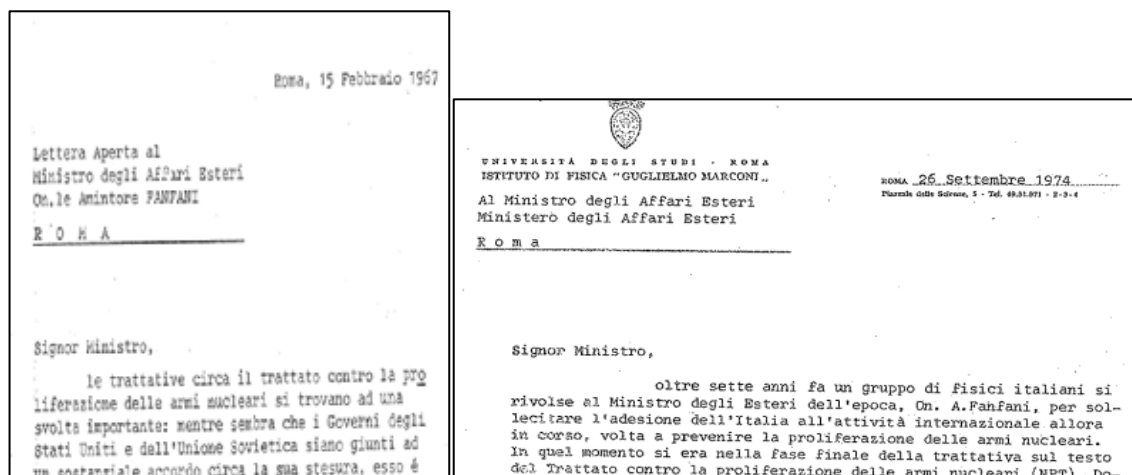


sicuramente come Guerra Fredda dal punto di vista politico e militare - per discutere nel modo più libero possibile di temi che riguardavano le relazioni internazionali. L'idea era quindi quella di mantenere vivo il dialogo e creare canali di comunicazione non ufficiali tra esponenti di diversi paesi, anche in periodi in cui le comunicazioni ufficiali erano interrotte e in alcuni casi anche cercare di ingaggiare un dialogo con le varie classi dirigenti. Il Pugwash - movimento tuttora attivo - è sicuramente il caso più noto di iniziativa internazionale su questi temi (Rotblat, 1962).

Per quanto riguarda il caso italiano, si possono individuare due fasi fondamentali dell'impegno della comunità scientifica nei temi del controllo degli armamenti:

- a. Il dibattito intorno all'adesione italiana (firma e ratifica) del Trattato di Non Proliferazione Nucleare del 1968
- b. La crisi della distensione internazionale, soprattutto con l'inizio degli anni '80

Il Trattato di Non Proliferazione Nucleare, proposto nel 1968 da Stati Uniti, Unione Sovietica e Gran Bretagna, dunque tre paesi dotati a quel tempo di una capacità nucleare militare, può essere definito indubbiamente come un trattato ineguale, fragile e imperfetto, poiché divideva il contesto internazionale in paesi *legittimamente* nucleari (ovvero quelli che avevano acquisito armamenti nucleari prima del 1967 e che decidevano di aderire al trattato in quanto tali) e tutti gli altri, cui questo iter sarebbe stato impedito. Il TNP appariva dunque come un tassello della distensione tra le due superpotenze, le quali avevano entrambe interesse a dotare il sistema internazionale di uno strumento che potesse impedire la proliferazione nucleare orizzontale, pur mantenendo la propria prerogativa di *status* nucleare, nei confronti della quale l'impegno di riduzione degli armamenti era di fatto molto meno stringente (si veda l'impegno *in buona fede*, presente nell'articolo VI del TNP). E' comprensibile, dunque, come molti paesi non nucleari si siano sentiti a disagio nei confronti del Trattato, interpretandolo come un ridimensionamento perenne del proprio status. Seppure pochi in Italia avessero remote ambizioni nei confronti di una ipotetica acquisizione di uno status nucleare, il dibattito intorno all'adesione italiana al TNP fu molto acceso e la classe dirigente ebbe la faticosa percezione di trovarsi - come altri paesi europei - estremamente condizionata da un "condominio delle superpotenze" che trascurava proprio gli interessi europei. In questa prima fase, intorno a un gruppo di fisici, gli scienziati furono molto attivi in tale dibattito, sia scrivendo articoli su quotidiani e producendo dossier informativi di vario tipo, sia cercando una interlocuzione con la propria classe dirigente, volendo auto-assegnarsi un ruolo e avere una voce in capitolo su questi temi. A loro parere, il trattato, nonostante gli aspetti sicuramente problematici e le caratteristiche specifiche, andava firmato rapidamente dal governo italiano, rappresentando comunque un beneficio per l'intero sistema internazionale. Il processo di adesione italiana al TNP (poi firmato nel 1969 e ratificato nel 1975 dall'Italia) fu un processo dall'esito scontato ma piuttosto lungo e tormentato. (Nuti 2007).



**Fig. 3.** (sinistra) Lettera aperta al Ministro degli Affari Esteri, 1967. (destra) Lettera aperta al Ministro degli Affari Esteri, 1974.

Durante il periodo del dibattito sul Trattato di Non Proliferazione Nucleare, un numeroso gruppo di scienziati produsse due lettere aperte indirizzate ai Ministri degli Affari Esteri (nel 1967 ad Amintore Fanfani; nel 1974 a Mariano Rumor). Queste lettere raggiunsero un numero di sottoscrizioni molto elevate all'interno della comunità italiana dei fisici. In quella del 1967, si sottolineava in particolare l'importanza che il Trattato non diventasse oggetto di esitazione da parte delle nazioni non nucleari, e i proponenti di questo appello si auto-assegnavano consapevolmente un ruolo, in ragione della loro capacità di comprendere "fattori complessi e radicalmente nuovi che caratterizzano la situazione nucleare", come si legge esplicitamente da questo passaggio:

Quali scienziati professionalmente consapevoli della potenza distruttiva delle armi nucleari, desideriamo far presente a Lei e all'opinione pubblica italiana alcuni fatti la cui conoscenza ci sembra essenziale per prendere una saggia decisione su questo importantissimo problema. Nella situazione militare di oggi [..], appare chiaro che la firma di un tale trattato da parte del nostro Paese costituirebbe un aumento e non una diminuzione [in originale] della nostra sicurezza. (Lettera aperta a Fanfani, 15 febbraio 1967)

Pur considerando il Trattato come uno strumento non perfetto, e senza dubbio di compromesso, l'appello del 1967 faceva notare gli aspetti non solo militari ma anche sociali e psicologici di una larga adesione alla proposta del trattato, che avrebbero favorito l'intero sistema internazionale. L'appello a Fanfani rappresenta dunque probabilmente l'emergere di un soggetto nuovo, una comunità epistemica in favore dell'arms control che si muoveva a livello nazionale, pur intrattenendo numerosi rapporti a livello internazionale. Anni dopo, la lettera del 1974 ribadiva gli stessi concetti, e per quanto riguardava il ruolo degli scienziati, si parlava come un "dovere" di fare sentire la loro voce su questo importante argomento. Questo secondo appello, esprimeva la speranza che il processo di distensione continuasse e mettesse in evidenza i vari meriti del TNP come potente disincentivo alla proliferazione delle armi nucleari. In un passaggio rilevante dell'appello del 1974, gli scienziati scrivevano:

[...] si deve riconoscere la grave responsabilità che l'Italia viene assumendo con una politica dilatoria [...]. Infine, appare curioso che un Paese come l'Italia, in cui non solo la rinuncia all'"opzione nucleare" ma anche la stessa adesione al NPT, è confortata da un consenso che copre l'intero arco politico (con la sola eccezione della estrema destra, isolata in una opposizione basata su un miope nazionalismo del tutto fuori dal tempo), stia viceversa apparendo, in campo

internazionale, come il più recalcitrante tra i Paesi europei aderenti al Trattato. (Lettera aperta a Rumor, 26 settembre 1974).

Nel frattempo, durante la metà degli anni '60 era stato costituito il Gruppo Pugwash Italiano, con l'intento di dedicarsi a quest'opera di sensibilizzazione e di coltivare l'interesse degli scienziati rispetto al sistema internazionale. L' "antenna" italiana del Pugwash fece propria la causa della sensibilizzazione e della formazione, diventando di fatto l'*International School on Disarmament and Research on Conflict* (ISODARCO), organizzazione che si occupa di corsi residenziali su questi temi fin dal 1966. L'idea alla base di tutto ciò è che i temi degli armamenti nucleari fossero argomenti estremamente delicati e complessi e non si potessero lasciare esclusivamente nelle mani di classi dirigenti spesso poco competenti in merito e che rischiavano anche di manipolare l'opinione pubblica. L'approccio degli scienziati era senza dubbio militante, occorreva arrivare al disarmo, da raggiungere attraverso un percorso graduale e pragmatico. "Controllo degli armamenti" è dunque un'espressione che sempre più sostituisce "disarmo" nei documenti e nelle discussioni di questi gruppi.

## **5. La crisi della distensione come rinnovata fase di impegno degli scienziati italiani: un proliferare di iniziative**

Il riacutizzarsi delle tensioni internazionali tra la fine degli anni '70 e l'inizio degli anni '80, agì come catalizzatore di una nuova fase di impegno degli scienziati, che appare a questo punto anche più diversificato rispetto agli anni precedenti in termini di iniziative, luoghi, tematiche. La comunità epistemica di scienziati impegnati nell'*arms control*, nel frattempo, era molto cresciuta in termini numerici, e si era - per motivi in primo luogo generazionali - in un certo senso "svincolata" dal tema etico e prettamente collegato alle memorie personali della Seconda Guerra Mondiale, caratterizzandosi in senso meno "morale" e decisamente pragmatico.

Con la crisi degli Euromissili e il deteriorarsi della distensione, l'Italia e l'Europa tutta si sentivano schiacciate dalle dinamiche delle superpotenze. Il momento storico è probabilmente paragonabile - come tensione internazionale e rischi legati alle *perceptions* e *misperceptions* - al periodo della Crisi di Cuba, appunto prima dell'avvio della distensione internazionale. Gli armamenti nucleari erano così quantitativamente e qualitativamente sviluppati e si era interrotto a livello delle superpotenze quel dialogo che aveva caratterizzato la distensione tra la metà degli anni '60 e la metà degli anni '70, rendendo possibili eventuali escalation di conflittualità locali senza che la diplomazia fosse messa nella posizione di disinnescarle e gestirle. La comunità di scienziati italiani impegnati nell'*arms control* tornò in quella fase ad interessarsi a quelle dinamiche (non avendo mai smesso in realtà di farlo), dando vita a una seconda fase di impegno civile, intensissima e frammentata in numerose iniziative. Come ha evidenziato un protagonista di quel periodo, si trattava spesso delle stesse persone ai vertici di queste iniziative, che organizzavano le attività in una sorta di "naturale divisione del lavoro" (Schaerf, conversazione con l'autrice, 2020).

L'inizio degli anni '80 vedono infatti la nascita - tra il 1982 e il 1983- dell'USPID (Unione Scienziati per il Disarmo); proseguiva nel frattempo l'attività di ISODARCO (come detto, nata nel 1966) e si attivarono altre attività che ruotavano intorno all'Accademia dei Lincei (in particolare il Working Group Sicurezza Internazionale e Controllo degli armamenti, attivo dal 1987 e tuttora motore delle cosiddette "Conferenze Amaldi"). Per quanto riguarda le attività dei Lincei, è indubbio il ruolo centrale di Edoardo Amaldi, prima vicepresidente e poi presidente della stessa Accademia. In merito a questo periodo, si deve qui menzionare un terzo importante documento dopo le due lettere aperte che avevano come oggetto l'adesione italiana al TNP, un "Appello dei Fisici Italiani al Presidente della Repubblica" Pertini, redatto nel novembre 1981 e che raccolse 817 firme di membri strutturati dei Dipartimenti di Fisica delle varie Università italiane.



**Fig. 4.** Appello dei fisici italiani, novembre 1981.

Dicendosi “particolarmente preoccupati della ripresa di una corsa agli armamenti nucleari in Europa”, i firmatari di questo appello esprimevano anche in quel documento l’eterogeneità dei loro punti di vista in merito ad esempio alla doppia decisione NATO, dicendosi però concordi nello sperare che la trattativa sovietico-americana “porti nei tempi più brevi ad un accordo che non solo arresti questa spirale di riarmo nucleare in Europa, ma dia inizio ad un processo di riduzione delle armi nucleari” e auspicavano che “gli Stati europei, e in particolare l’Italia svolgano in ogni sede interazionale un ruolo attivo e autonomo in questo”. L’appello terminava con un auspicio nei confronti di una ripresa della politica della distensione.



**Fig. 5.** Statuto Uspid e raffigurazioni del Doomsday Clock su copertine di Bollettini USPID.

L’USPID, nato nel clima della crisi degli Euromissili, in particolare si proponeva di essere un’associazione che potesse raggiungere quante più persone possibili nella sensibilizzazione di certi temi e si rese rapidamente protagonista di un’attività frenetica e “di massa” all’interno delle Università, delle scuole superiori e dei centri di ricerca. Le sezioni locali dell’USPID erano da subito molto numerose e molto diffuse su tutto il territorio nazionale. Dalle fonti dell’USPID (ci si riferisce soprattutto ai Bollettini che fungevano da “newsletter”) emerge una eterogeneità politica molto sfidante, come già accennato. Un altro aspetto cui l’USPID era particolarmente attenta era - diversamente dello stile Pugwash - cercare di raggiungere la copertura dei media nelle occasioni delle loro attività, aspetto che in realtà si rivelava molto frustrante poiché spesso l’attenzione dei mezzi di comunicazione si concentrava solo intorno ai pochi giorni dei convegni dell’Unione (raggiungendo le persone più illustri

che vi prendevano parte), disinteressandosene poi quasi per tutto il resto dell'anno, in cui i temi che stavano a cuore all'USPID tornavano pressoché dormienti nei mesi successivi.

Il contesto internazionale passò poi dall'inizio degli anni '80, con le grandissime tensioni intorno alla crisi degli Euromissili, e alla sfida reaganiana dell'SDI del 1983 e l'urgenza di diversificare e moltiplicare le attività relative all'impegno per il controllo degli armamenti, a una fase molto diversa: il "tempo della speranza" che seguì l'arrivo di Gorbachev al Cremlino nel 1985. L'Orologio dell'Apocalisse passò dal segnare 3 minuti a mezzanotte del 1984 ai 6 e poi 17 quando Gorbachev era al potere, a simboleggiare un momento di grandissima speranza. Intorno alla nuova fase politica sovietica si avviò un dibattito concreto sul fattore Gorbachev, si attivarono ottimismo e altissime aspettative a livello internazionale. Durante la fase di Gorbachev al potere, furono organizzati due importanti Forum da parte dell'Accademia sovietica delle Scienze (1986-1987) che videro la partecipazione di una delegazione di scienziati italiani. I temi al centro delle discussioni erano gli armamenti nucleari e i relativi negoziati e la speranza di raggiungere un'ampia denuclearizzazione a livello internazionale.

## 6. Caratteristiche, obiettivi, definizioni

La caratteristica principale di questo impegno degli scienziati è dunque quella di reclamare un ruolo specifico, una voce in capitolo su questi temi, proprio perché essi ritenevano di comprendere meglio di altri la complessità di queste tematiche. Questa consapevolezza investiva gli scienziati (quelli che se ne volevano assumere) di una responsabilità particolare. In merito agli obiettivi generali delle loro iniziative, a mio avviso se ne possono individuare soprattutto tre:

- c. informare/educare/sensibilizzare l'opinione pubblica, creando uno "spazio culturale" di dibattito;
- d. interagire con la classe dirigente per cercare di favorire il controllo degli armamenti e la distensione internazionale,
- e. costruire e rafforzare un network transnazionale di scienziati impegnati in questi temi.

Se il secondo obiettivo – ossia una sorta di "incursione" degli scienziati nella politica estera e di sicurezza italiana – è sicuramente il più controverso, spesso frustrante e il più difficile da misurare come impatto, gli altri due sono ampiamente documentati dalle tracce delle iniziative organizzate a livello nazionale e internazionale.

Questo tema ci impone di confrontarci con alcune definizioni da considerare con molta attenzione. Non si possono certamente definire questi scienziati come "antinucleari" *tout court*, essendo molti di loro strenui sostenitori dell'uso pacifico-industriale dell'energia nucleare. Allo stesso modo, non si possono nemmeno definire genericamente "pacifisti", in un'accezione generica che ricomprende troppe sfumature e troppe realtà; mentre ci sembra più corretto evidenziare come si tratta di una sezione molto specifica della società civile, che si interessava dei temi della pace e talvolta "compiva scelte pacifiste". Una definizione del loro impegno e del loro "*professional peace activism*" che pertanto ci sembra corretta in questo caso è "attivismo contro le armi nucleari e per la pace". In merito poi alla presunta politicizzazione di questi gruppi, appare evidente come una loro caratteristica fosse in realtà la eterogeneità politica dei protagonisti, che andavano dai filo-atlantisti, a personaggi vicini alla sinistra moderata, ai comunisti (caratteristica, questa della eterogeneità politica, cui loro tenevano molto, pur rappresentando senz'altro anche una complessità nell'elaborazione di riflessioni).

Rispetto all'obiettivo, si è già menzionato come più che parlare di disarmo generale e completo, in realtà sempre più spesso nei documenti e nei contributi disponibili, l'espressione usata è "*arms control*", dunque un percorso graduale, faticoso e progressivo in cui si doveva riuscire a vedere l'importanza anche di piccoli traguardi intermedi. L'uso consapevole della loro autorità/competenza scientifica, su

temi molto complessi, rendeva possibile il cercare di auto-assegnarsi un proprio ruolo specifico nella società. L'attivazione sociale di questo particolare segmento della società civile mette al centro un approccio estremamente pragmatico alla pace, una pace molto graduale basata sull'*arms control* e sul negoziato, in un percorso spesso frustrante perché composto di piccoli passi, faticosi, in cui veniva richiesta altissima competenza tecnica.

Dal punto di vista della storia delle relazioni internazionali, ci sembra importante cercare di superare una certa narrativa "embedded", prodotta dagli stessi protagonisti, per collocare questi temi di ricerca nella storia della Guerra Fredda.

Per concludere con due citazioni di due protagonisti, che ci possono restituire l'approccio mentale di queste "avventure civili": una è di Amaldi, personaggio centrale in questo discorso, ben collegato a una rete nazionale e internazionale, intorno alla quale si organizzarono numerose attività. A Carlo Rubbia e Piero Angela, in un'intervista Amaldi disse: "... e penso sempre con piacere che quando a un certo punto io scomparirò ci saranno sempre nuove generazioni che andranno avanti." (Rubbia & Angela 1994). Questo concetto è più volte ribadito da Amaldi, sia riferito al discorso della scienza, sia al discorso più propriamente pertinente all'impegno civile.

In tutto questo discorso, la competenza è in questo senso centrale, come evidente nella citazione del fisico Roberto Fieschi: "Maggiori le competenze, maggiori le responsabilità sociali", per chi se le vuole sentire (Fieschi & Paris De Renzi 1995, p. 183). Non vivendo in uno spazio vuoto e asettico, la competenza scientifica può essere dunque una reale risorsa messa al servizio dell'obiettivo della sensibilizzazione della società.

## Ringraziamenti

Vorrei ringraziare gli organizzatori del congresso SISFA per avermi invitata al loro congresso di Perugia. In particolare sono grata ad Adele La Rana, per avermi dato l'opportunità di esporre il mio contributo in un ambiente intellettualmente così stimolante. Ringrazio anche Giovanni Battimelli, con il quale ho da anni proficui scambi intellettuali, e i cui studi mi hanno fatto avvicinare a questi temi.

## Bibliografia

- Amaldi, E., Battimelli, G., De Maria, M. & La Rana, A. (eds.) (2022). *Da via Panisperna all'America. I fisici italiani e la Seconda Guerra Mondiale*. Roma: Editori Riuniti.
- Butcher, S.I. (2005). *The origins of the Russell-Einstein Manifesto*, *Pugwash History Series*, number 1, May 2005- issued by the Council of the Pugwash Conferences on Science and World Affairs Nobel Peace Prize 1995 (publication dal sito Internet [www.pugwash.org](http://www.pugwash.org)).
- Calogero, F. "Pugwash 1980", *Le Scienze*, dicembre 1980, pp. 4-5. Dichiarazione pubblica del Pugwash, Breukelen, Olanda, agosto 1980. Il testo è riportato nell'articolo di Calogero.
- Calogero, "Il Movimento Pugwash", in *Sapere*, ottobre 1983.
- Clavarino, L. (2014). *Scienza e politica nell'era nucleare. La scelta pacifista di Edoardo Amaldi*. Roma: Carocci.
- Fieschi, R. & Paris de Renzi, C. (1995). *Macchine da guerra. Gli scienziati e le armi*. Torino: Giulio Einaudi.
- Nuti, L. (2007). *La sfida nucleare. La politica estera italiana e le armi atomiche. 1945-1991*. Bologna: Il Mulino.
- Rotblat, J. (1962). *Science and world affairs. History of the Pugwash Conferences*. London: Dawsons of Pall Mall).
- Rubbia, C. & Angela, P. (1994). *Edoardo Amaldi. Scienziato e cittadino d'Europa*. Milano: Leonardo Periodici.

**Documenti (ordine cronologico)**

Amaldi, E. (s.d.), Manoscritto pubblicato in Amaldi, E.; Battimelli, G., De Maria, M., La Rana, A. eds. (2022), *Da via Panisperna all'America. I fisici italiani e la Seconda Guerra Mondiale*.

Fermi, E. (1945). Lettera (da Los Alamos) a Edoardo Amaldi, (Roma), 28 agosto 1945, Archivio Amaldi, sez. Eredi, scat.1, fasc.1, sottofasc. 5.

Lettera aperta (15 febbraio 1967) al Ministro degli Esteri, on.le Amintore Fanfani, in Archivio Amaldi, scat. 40, sez. Dip., Fasc. “Non proliferazione”-

Lettera aperta (26 settembre 1974) al Ministro degli Esteri, on.le Mariano Rumor, in Archivio Amaldi, scat. 34, sez Dip. Fasc. 2.

Appello dei Fisici Italiani (novembre 1981), in Archivio Amaldi, Scat. 61, sez Eredi, fasc. 3.



# I fisici italiani e la bomba atomica

Paolo Rossi

Dipartimento di Fisica dell'Università di Pisa, [paolo.rossi@unipi.it](mailto:paolo.rossi@unipi.it)

*Abstract:* The evolution of the attitude of the community of Italian physicists towards the problems aroused by nuclear weapons is examined with particular attention to the passage towards a more widespread collective awareness following tests in the atmosphere between the end of the Fifties and the beginning of the Sixties.

*Keywords:* armi nucleari, associazione scienziati

## 1. Introduzione. Gli anni Cinquanta

Il periodo immediatamente successivo alla conclusione della Seconda Guerra Mondiale e all'esplosione delle bombe atomiche a Hiroshima e a Nagasaki sfociò rapidamente nella cosiddetta "guerra fredda", una lunghissima fase di confronto ideologico e militare tra Stati Uniti e Unione Sovietica che, pur non traducendosi mai in un conflitto diretto tra le due superpotenze, produsse una corsa verso la creazione e la produzione di armi nucleari sempre più potenti. Nel periodo in cui gli Stati Uniti erano gli unici possessori di armi atomiche i movimenti europei di sinistra assunsero un forte orientamento pacifista, che si manifestò soprattutto nell'attivismo dei Partigiani della Pace, che ebbero un forte impatto anche in Italia tra il 1948 e il 1952. Occorre però notare che si trattava di un'iniziativa fortemente egemonizzata dai partiti vicini all'Unione Sovietica, e in Italia le figure di riferimento tra i Partigiani della Pace erano tutte fortemente connotate politicamente, a partire da Vittorio Sereni, e non risultano presenze di rilievo provenienti dalla comunità dei fisici. Di questa sostanziale indifferenza degli scienziati è testimone anche una preoccupata lettera di Enrico Persico a Bruno Rossi.

La creazione della bomba H, sperimentata per la prima volta dagli USA nel novembre 1952 e dall'URSS nell'agosto 1953, produsse un allargamento della consapevolezza dei rischi legati alla possibilità di un conflitto nucleare. La preoccupazione fu poi fortemente accresciuta nel 1954 dopo la sperimentazione sull'atollo di Bikini della più potente bomba H fino ad allora realizzata: gli effetti talvolta drammatici del fallout successivo all'esplosione, che contaminò abitanti degli atolli vicini, militari americani e marinai di un peschereccio giapponese, spinsero a prese di posizione ancor più nette in favore del disarmo nucleare, che culminarono nella presentazione del Manifesto Russell-Einstein (luglio 1955).

Nel 1956/57 Edoardo Amaldi (1908-1989), unico destinatario italiano, ricevette diverse lettere da Bertrand Russell, a nome degli estensori del Manifesto, con l'invito a partecipare a un incontro con l'obiettivo di creare un'associazione di scienziati volta a sostenere il disarmo nucleare e a superare le divisioni create dalla "guerra fredda". La prima conferenza di tenne nel 1957 a Pugwash, in Canada, località che poi diede il nome all'intero movimento che ne nacque. Amaldi, pur sostenendo l'iniziativa, non poté partecipare alla prima riunione, ma fu presente a Vienna nel 1958, e molto attivo nel movimento a partire dal 1962 quando fu eletto nel *Continuing Committee*.

Occorre però dire che, con la sola significativa eccezione di Amaldi e di Gustavo Colonnetti (1886-1968), meccanico razionale torinese, presidente del CNR dal 1945 al 1956, peraltro entrambi ideologicamente lontani dai partiti della sinistra filosovietica, non vi furono nella comunità dei fisici italiani importanti prese di posizione sui temi del pacifismo e del disarmo atomico fino alla fine degli anni Cinquanta.

## 2. La reazione ai test nucleari francesi

Un'importante evoluzione nell'atteggiamento dei fisici italiani avvenne in conseguenza dell'avvio del programma nucleare francese. Il 13 febbraio 1960 la Francia compì il primo di diciassette esperimenti atomici nel Sahara algerino. Nei primi quattro casi (di cui l'ultimo il 25 aprile 1961) si trattò di esplosioni nucleari nell'atmosfera, con un conseguente *fallout* il cui raggio di diffusione per effetto dei venti risultava difficilmente prevedibile.<sup>1</sup> I preparativi francesi non passarono inosservati alla comunità internazionale, anche perché la Francia era stata l'unica nazione al mondo a diffondere con due anni di anticipo a tutte le agenzie di stampa la notizia di voler procedere a un esperimento nucleare.

Se da un lato le motivazioni della Francia erano abbastanza facilmente comprensibili, in una fase in cui la capacità di giocare un ruolo significativo nello scacchiere geopolitico internazionale apparivano strettamente legate alla capacità di un Paese di esibire una forza militare a sua volta indissolubilmente legata al possesso di armi nucleari, dall'altro i rischi legati a esplosioni nucleari nell'atmosfera suscitarono forti reazioni di protesta in numerosi Paesi, anche non direttamente interessati agli effetti immediati degli esperimenti.

Le numerose critiche giunsero sino all'Assemblea Generale dell'Onu, dove ventidue Paesi proposero una risoluzione nella quale si esprimeva “*grave concern over the intention of the French government of France to conduct nuclear tests in the Sahara and urging it from refrain from such tests*”. Tale risoluzione (n. 1379) fu votata il 20 novembre 1959 con 51 voti favorevoli, 16 contrari e 15 astenuti e per la Francia fu un vero smacco diplomatico in quanto, oltre ai Paesi non allineati e del blocco sovietico, votarono favorevolmente anche alcuni Paesi facenti parte dell'Alleanza Atlantica (Canada, Danimarca, Norvegia e Islanda). Tuttavia, motivi legati alla collocazione internazionale trattennero numerosi Paesi della NATO (e tra questi l'Italia) dal prendere una posizione contraria all'iniziativa francese.

L'atteggiamento della comunità dei fisici italiani rivela da un lato il grado di egemonia culturale esercitata a quel tempo dalla sinistra (e nella fattispecie dal Partito Comunista Italiano) negli ambienti scientifici e accademici, e dall'altro aiuta a mettere in evidenza una linea di faglia generazionale tra i fisici giunti alla maturità scientifica prima della Seconda Guerra Mondiale e pervenuti ai vertici accademici nell'immediato dopoguerra e nei primi anni Cinquanta e i loro allievi che all'epoca dei fatti occupavano posizioni subordinate e/o precarie (assistenti, professori incaricati, ricercatori del Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari (CNRN) e dell'istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), borsisti e perfezionandi).

La possibilità di misurare direttamente la capacità di coinvolgimento della comunità dei fisici da parte del PCI ci è offerta da un'iniziativa che *L'Unità*, quotidiano del partito, fu in grado di prendere nel corso del mese di gennaio 1960, ossia circa un mese prima dell'annunciato esperimento francese, e che consistette nella pubblicazione di due liste di sottoscrittori della seguente mozione:

Nella nostra qualità di ricercatori di fisica desideriamo rendere pubbliche le nostre apprensioni a proposito delle possibili gravi conseguenze della progettata esplosione atomica francese nel Sahara sulla incolumità della popolazione italiana. Abbiamo preso atto con interesse delle conclusioni a cui sono giunti gli esperti nominati dal governo italiano. secondo cui conseguenze dannose immediate sul territorio italiano sono da considerarsi estremamente improbabili. Ciò tuttavia contrasta in genere con il parere di altri autorevoli scienziati, secondo i quali è ben difficile poter garantire le popolazioni italiane dai pericoli dell'esplosione.

Riteniamo quindi indispensabile che vengano portati a conoscenza del pubblico gli elementi tecnici che hanno indotto la commissione degli esperti a trarre ottimistiche conclusioni. Desideriamo inoltre esprimere la nostra personale avversione per tutte le esplosioni di bombe atomiche che, avvelenando lentamente la faccia della Terra, costituiscono un grave pericolo per l'umanità, e sottolineare che un

<sup>1</sup> Secondo i documenti ufficiali francesi, desecretati soltanto nel 2014, tredici giorni dopo l'esplosione del 13 febbraio il fallout raggiunse anche la Sicilia occidentale, producendo un aumento misurabile della radioattività locale.

aspetto sicuramente negativo della progettata esplosione francese consiste nel fatto che essa rompe una tregua internazionale faticosamente raggiunta (*L'Unità*, martedì 19 gennaio 1960).

La prima lista, contenente 145 firme, apparve il 19 gennaio 1960, mentre la seconda lista, con altre 75 firme di fisici fu pubblicata il 23 gennaio, insieme con un documento di analogo contenuto sottoscritto dall'Associazione Genetica Italiana.<sup>2</sup>

La distanza temporale e la mancanza di precisi dati di raffronto rendono parzialmente difficile una valutazione quantitativa della rilevanza del numero dei sottoscrittori in rapporto alle dimensioni dell'intera comunità dei fisici dell'epoca. Alcuni elementi ci vengono però in aiuto. Nell'anno accademico 1959/60 i professori ordinari e straordinari in servizio erano in tutto 62, includendo le cattedre di Fisica sperimentale (28), Fisica superiore (10), Fisica teorica (14), Fisica terrestre (4), Radioattività, Spettroscopia, Onde elettromagnetiche e Ottica, quindi per confronto con i valori dei primi anni '40 (una ventina di ordinari su circa 200 tra docenti e assistenti) appare assai improbabile che l'intera comunità, escludendo le figure precarie che avrebbero in seguito abbandonato il mondo della ricerca, potesse superare di molto le 600 unità. Per raffronto ricordiamo che nel 1960 il personale dell'insieme delle Facoltà di Scienze M.F.N. italiane assommava a meno di 3.600 unità (fonte ISTAT).

Notiamo inoltre che nelle liste dei sottoscrittori mancano completamente alcune sedi importanti (Torino, Pavia, Modena, Ferrara, Bari, Messina, Palermo e i Politecnici), in molti casi probabilmente soltanto per motivi organizzativi legati ai tempi stretti dell'iniziativa, per cui circa un terzo della comunità dei fisici non ebbe comunque l'opportunità di sottoscrivere l'appello.

Su queste basi è realistico stimare che gli aderenti all'iniziativa enfatizzata da *L'Unità* rappresentassero una significativa maggioranza dell'intera comunità, come del resto appare abbastanza evidente da un esame dell'elenco delle firme relative alle sedi delle quali v'è una maggior conoscenza diretta.

È quindi abbastanza evidente che ci troviamo di fronte a un fenomeno di "egemonia culturale" (nel senso dato da Antonio Gramsci alla locuzione), un'egemonia che va molto al di là della vicinanza soggettiva o della eventuale militanza nei partiti della sinistra: basta scorrere la lista per riconoscere che solo per alcuni tra i firmatari la biografia mostra un comportamento da "intellettuale organico". È anche evidente che il tema della mozione era forse il più adatto a toccare la sensibilità dei fisici di quel periodo, che erano profondamente segnati dal trauma collettivo legato all'esperienza dell'uso bellico delle armi nucleari, con la distruzione di Hiroshima e Nagasaki nel 1945, e dalle successive e impegnative discussioni sulla responsabilità etica e sociale dei ricercatori, e specialmente proprio la sensibilità di quanti operavano nel campo della fisica, nucleare e non.

Allo stesso tempo non possiamo ignorare che la sottoscrizione di un documento sostenuto e gestito dal PCI non poteva essere liquidata come un semplice "sgravio di coscienza" e in qualche modo implicava, se non un'adesione esplicita, almeno una sorta di "scelta di campo" che difficilmente avrebbe potuto essere ignorata o sottostimata dalla controparte politica.

Un altro elemento di cui tener debitamente conto è quello relativo alla "qualità" dei sottoscrittori, che non possono essere in alcun modo assimilati a una componente subalterna e frustrata della comunità,

---

<sup>2</sup> "L'Associazione Genetica Italiana ritiene suo dovere di far conoscere il proprio punto di vista riguardo al possibile danno biologico che può derivare alla popolazione italiana dallo scoppio di una bomba atomica nel Sahara francese. Tutte le attuali conoscenze sui danni biologici sia per la salute dei soggetti colpiti da radiazione sia per quella dei loro discendenti immediati e lontani fanno ritenere altamente pericoloso qualunque aumento della radioattività dell'ambiente. Infatti non vi è aumento di radiazione, per quanto piccolo, che non sia biologicamente dannoso. Nel caso specifico le cognizioni sul regime dei venti nella regione mediterranea mostrano che polveri del Sahara raggiungono frequentemente il territorio nazionale. È pertanto probabile che polveri radioattive, in conseguenza dei progettati esperimenti atomici nel Sahara, possano depositarsi nel nostro Paese e in particolare, con le piogge, nelle regioni dell'Italia settentrionale. Una relazione dettagliata sugli effetti biologici delle radiazioni è stata compilata a cura dell'AGI e sarà presto resa nota." (*L'Unità*, sabato 23 gennaio 1960)

le cui prese di posizione potrebbero essere ricondotte più a spirito di rivalsa che a vera e propria adesione ideologica. Notiamo infatti che all'incirca la metà dei firmatari sarebbe in seguito giunta all'ordinariato, e numerosi altri (circa un quarto) avrebbero poi ottenuto una posizione permanente in qualità di professori associati o di ricercatori negli Enti Pubblici di Ricerca. Senza entrare in una disamina dei casi individuali, si può facilmente verificare che la lista, al netto delle sedi non rappresentate, contiene gran parte dei nomi più noti della generazione nata negli anni '20 e '30.

Va tuttavia notata l'esistenza di un chiaro spartiacque gerarchico e generazionale tra i sottoscrittori della mozione e coloro che, avendo un'età più avanzata e un importante ruolo accademico, decisero di non associarsi all'iniziativa. Notiamo infatti che, tra i 62 professori ordinari di fisica in servizio all'inizio del 1960, soltanto undici (tra cui tre straordinari, e ben cinque fisici teorici) figurano tra i firmatari dell'appello, e tra questi soltanto Beppo Occhialini (1907-1993) era nato prima del 1910.<sup>3</sup>

Da un lato è indubbio che un esplicito posizionamento ideologico da parte di importanti cattedratici avrebbe avuto un peso politico molto maggiore e avrebbe quindi comportato una maggiore assunzione di responsabilità a livello individuale, per cui è comprensibile che ci sia stata una buona dose di cautela da parte dei potenziali firmatari, anche in casi in cui non vi fosse una significativa distanza dalle posizioni espresse nel documento.

Possiamo addirittura pensare a una vera e propria "strategia delle firme", per cui in alcune sedi, come ad esempio Roma e Milano, evitarono di firmare alcuni ordinari, la cui presa di posizione avrebbero potuto mettere in serio imbarazzo il Governo a causa del ruolo nazionale e/o internazionale da essi svolto, mentre altri, anche autorevoli ma meno pesantemente esposti di fronte alla pubblica opinione, si sentirono "autorizzati" ad aderire alla protesta (o addirittura forse concordarono con i colleghi la propria adesione)

D'altro canto, proprio la determinazione con cui invece aderirono tanti altri soggetti, le cui personali e legittime ambizioni avrebbero in certi casi potuto suggerire maggiore prudenza, e che spesso non erano particolarmente vicini al movimento ispiratore della mozione, lascia supporre la presenza di un (forse inconscio) desiderio collettivo di marcare una certa distanza rispetto al passato e di rivendicare una propria autonomia scientifica e intellettuale. La generazione cui appartiene la maggior parte dei sottoscrittori del documento è anche la prima che partecipa sistematicamente a progetti ed esperimenti internazionali, che trascorre importanti periodi di ricerca e di insegnamento all'estero, che pubblica regolarmente i propri lavori in lingua inglese.

### 3. L'evoluzione successiva a partire dagli anni Sessanta

L'impegno di numerosi fisici italiani per la pace e per il disarmo atomico ebbe nodo di concretizzarsi ulteriormente, questa volta per iniziativa di Edoardo Amaldi e di Carlo Schaerf,<sup>4</sup> con la creazione di ISODARCO (*International School on Disarmament and Research on Conflicts*), una associazione strettamente associata alle conferenze Pugwash e volta a favorire il confronto a livello internazionale sui problemi della sicurezza, sul controllo delle armi e sul disarmo atomico. Il primo corso della scuola si tenne alla Villa Falconieri di Frascati dal 13 al 25 giugno 1966. I successivi corsi estivi si tennero con cadenza biennale, e a partire dal 1988 si tennero anche corsi invernali. Dai primi anni Novanta i corsi si moltiplicarono e la frequenza divenne annuale.<sup>5</sup>

<sup>3</sup> Professori ordinari che sottoscrissero l'appello: Antonio Borsellino e Alberto Gigli Berzolari, (Genova), Giuseppe Occhialini (Milano), Eduardo Caianiello (Napoli), Giorgio Careri e Nicolò Dallaporta (Padova), Carlo Franzinetti e Adriano Gozzini (Pisa), Marcello Cini, Raffaele Raoul Gatto e Giorgio Salvini (Roma).

<sup>4</sup> Amaldi e Schaerf avevano maturato l'idea già nell'estate del 1962 in seguito a una conversazione avuta a Varenna durante un corso estivo organizzato dalla S.I.F. in un momento segnato dalla recente costruzione del muro di Berlino, dalla crisi di Cuba e dal conseguente aumento della tensione nelle relazioni tra le superpotenze.

<sup>5</sup> <https://www.isodarco.it/history/>.

Dobbiamo infine ricordare la nascita dell'USPID (Unione degli Scienziati per il Disarmo), una associazione costituitasi nel 1983 con l'obiettivo di fornire informazione ed analisi su controllo degli armamenti e disarmo, incluse quelle relative all'impatto ambientale ed ai costi umani dello sviluppo e della diffusione degli armamenti. Anche l'USPID ha sempre operato in connessione e collaborazione con le conferenze Pugwash e con ISODARCO. Tra le figure di riferimento dell'USPID non si può non ricordare Carlo Bernardini (1930-2018)<sup>6</sup> e Francesco Calogero, che è stato anche segretario generale delle conferenze Pugwash dal 1989 al 1997.



Fig. 1. Il fallout radioattivo della prima atomica francese.

## Bibliografia

- Clavarino, L. (2017). “«Many Countries Will Have the Bomb: There Will be Hell». Edoardo Amaldi and the Italian physicists committed to disarmament, arms control and détente”, in Bini, E. & Londero, I. (eds.) *Nuclear Italy. An international history of Italian nuclear policies during the Cold War*. EUT, pp. 245.258.
- De Giuseppe, M. (2000). “Gli Italiani e la questione atomica negli anni Cinquanta”, *Ricerche di storia politica* 1, pp. 29-51.
- Tamburini, F. (2013). “Gli apprendisti stregoni. Gli esperimenti nucleari francesi nel Sahara algerino (1960-1966)”, *Nuova Storia Contemporanea*, 17, p. 91.

<sup>6</sup> <https://matematica.unibocconi.it/articoli/carlo-bernardini-e-lunione-scientiati-il-disarmo-uspid>.

# HISTORY AND DIDACTICS OF PHYSICS AND ASTRONOMY

# Principles and equations of physics

Marco Giliberti

Physics Department, University of Milan, [marco.giliberti@unimi.it](mailto:marco.giliberti@unimi.it)

*Abstract:* Each discipline has its own particular way of approaching the world that, although does not present great shortcuts or royal roads, is linked by indissoluble threads to other disciplines in a network that evolves and creates new connections that highlight its limits and potentiality, and, above all, its human aspects. We will discuss a didactic project of the University of Milan, addressed to high school students and teachers, titled “Principles and Equations of Physics”. The aim of the project is to provide students with opportunities for orientation and help them grasp the charm, the creative and the exciting aspects of physics in a surprising humanistic, cultural landscape that identifies a scientific theme starting from the history of physics seen as a complex path of logical, philosophical, musical, literary type that describes a development process of the whole mankind. So far the project has had two editions, one about Newton’s laws of motion and the other about Maxwell’s equations, which, given the pandemic, were carried out remotely. Each edition consisted of 5 to 8 online meetings one hour and a half each that were held by two voices (the author of this communication together with a professional actor) and were attended by more than 650 teachers and students per each meeting. The potentiality and peculiarities of the project will be presented together with some of its first results.

*Keywords:* Physics Education, Multidisciplinarity, Principles of Dynamics, Maxwell’s Equations

## 1. Introduction

This work starts from the hypotheses that for any meaningful approach to physics teaching, we must refer rigorously to the logical-formal structure of the theory that frames the interpretation of phenomena, in order to understand its meaning and the notion of reality implied by it. This recommendation, which seems obvious in many respects, is generally not even taken into consideration in teaching, so that, in scientific explanations, many concepts extraneous to the theory are added which probably come from common sense schemes or from very ambiguous ideas on the nature and on the purpose of physics itself (Cavallini & Giliberti, 2008; Giliberti, 2014a). That this happens for students is completely understandable; but that this same situation can also be usually observed in the didactic presentations is, in our opinion, difficult to understand.

On the other hand, every theory has its roots in the spirit of the time in which it was built, to the point that - with some caveat - it would not be difficult to place a theory in the historical period in which it was formulated even if only starting from its formal structure. This is why we believe it is essential to accompany the disciplinary teaching with elements taken from the history of physics and also from other disciplines: readings of works by poets, philosophers; visions of paintings etc. are fundamental for the appropriation of the disciplinary concepts themselves. But this is not enough; in fact, the actor of learning is the student of today, not the one immersed in the cultural system of the time in which the theory was built. Therefore, in order for learning to be meaningful, it is important that the educational reconstruction of the contents be reflected in a significance for today’s student; with a multi-discipline and a multi-modality of presentation that are effective today.

It follows the need for an educational reconstruction of the contents which, starting from the disciplinary and conceptual knots and reflecting on the learning ones, starting from the literature and in an



experimental way, builds the general formal and conceptual structure of the theory useful for teaching, using also tools taken from other disciplines and in different contexts.

### ***1.1 Informal to formal***

Evidently, school cannot be considered the only source of learning. In fact, culture is only partly scholastic and the stimuli for learning are found scattered in many non-scholastic contexts (Giliberti et al, 2022). The importance of society's image of the world can be effectively illustrated by the following example.

Approximately every century the appearance of a supernova can be observed in the sky, yet in Europe until the second half of the sixteenth century there are very few written documents concerning the sighting of a supernova. In Asia or America these documents exist. In Europe, however, they do not (Kolb R. 1996, p. 17; Carpineti M. et al, 2007). The main reason is that the heavens were thought to be incorruptible, eternal, perfect, and so, astronomers considered supernovae to be sublunar phenomena and, therefore, not so much worthy of their attention.

Somehow, the narration of the supernovae brings out the supernovae, in fact one must "prepare" the mind to see an object. It follows that the object of knowledge and the instrument of knowledge cannot but be considered as a single whole and, according to the so-called Copenhagen interpretation, that an independent reality can be attributed, according to the usual physical sense, neither to the phenomenon nor to the instrument of observation. What we are saying seem to be discourses and interpretations connected to Quantum Mechanics. We do not believe that they are: we consider them, instead, as connected to our modalities of getting knowledge.

As a organizing hub of systematic learning, schools can only open up and interact more and more with society. In fact, learning at school, therefore in a formal context, depends a lot on what one experiences, says, reads, sees, in non-formal contexts. Conversely, the way physics is taught in school affects the social and cultural image of physics in society. It follows the need for teachers to be trained in constructing educational paths linking formal, non-formal and informal proposals. Furthermore, the "contamination" with different realities, if well conducted and organized, can lead to that "cross-fertilization of sciences" evoked by Maxwell in his Rede lecture "The telephone" (Clerk Maxwell, 1878, p.13) which we consider so useful also in physics education research.

### ***1.2 Modelling as a construction of stories***

Very often, to explain something we make an analogy with things we already know, things which are familiar to us and which, therefore, we do not consider necessary to be further explained.

Indeed, even in physics education, it is believed that analogies are effective for developing useful mental models in students (Duit, 1996). But we must be careful, and reflect on the analogies that are effective and on the misleading ones which are often linked to common thought.

In physics, explanations occurs through the construction of a model. The semantic depth of this last word (even when limited to physics alone) is very broad: Drude's model explains electrical conduction on the basis of classical mechanics and electromagnetism; Bohr's model of the atom constitutes an ad hoc explanation based on new rules that are difficult to be generalized to different contexts; while the Standard Model of particle physics is, instead, a theory, the most general we have.

The explanatory activity continues with the construction of a new model, this time an explanatory one; that is, a model that "explains" the properties on which the descriptive model has driven our attention. To this end, the new model has to be based on the abstract structure of a theory which, in general, presupposes the existence of properties which, while not directly observable, are nonetheless fundamental for understanding the properties highlighted by the descriptive model.

The construction of a physical theory follows much the same pattern. In general, in fact, physical investigation begins with patterns and concepts that we do not think they need to be explained; for which we use commonly used language and notions. It then proceeds with the introduction of other ideas - sometimes even concepts - by means of intermediate structures that we can call “pre-theories” (for example, common schemes for explaining behaviours considered for granted, such as that of the most elementary measuring instruments). Finally, the theorizing process comes to construct complete theories which are determined 1) by the basic notions we talked about a little above, 2) by means of common explanation schemes, 3) by the “pre-theories” and 4) by the fundamental addition of new well-defined and well-formalized concepts which are precisely the abstract conceptual tools that define the structure in which to build explanatory models and, therefore, in fact, the physical “reality” (Ludwig & Thurler, 2007, p. 75).

Within this abstract conceptual environment, a scientific explanation takes the form of a story concerning the way in which some imaginary entities (abstract elements, living in precise mathematical spaces endowed with more or less rich structures depending on the theory we are considering and the model we are building), but which are thought of as real - and this is the central point of the ontological shift that normally occurs - could act together, obeying their own nature (dictated by their mathematical properties), to produce the phenomenon to be explained (Ogborn, 2010).

In the process here described, one passes from the provisional (ad hoc models) to the permanent-but-transient (theories). It follows that understanding is a sort of storytelling in which the form of the story must be respectful of the permanent-but-transient (Giliberti, 2014b).

## **2. Physical stories, history of physics and physics education**

(Story)-telling, therefore, can be conceived as a fundamental way of understanding; but, if the narration is lame or incomplete... you cannot understand. Hence the problem of “which narration?” arises. The commonly used explanatory analogy allows you to explain unknown things through known ideas or facts by the use of the “as if...”. Physics constructs a metaphor in which the relationships among objects of an abstract mathematical environment “explain” the behaviour of things phenomena, by means of their behaviour.

The didactic implications of what we are saying are straightforward. In the first place, in order to be able to construct the explanatory metaphor, the context from which to bring out significant physical descriptions can only be rich. A true investigation process made by student, starting from a complex and general context, will naturally highlight the structure of physics as due to the construction of appropriate models and theories. In the second place, considering the high degree of abstractness of the physical metaphor, it is important to approach the modelling process from multiple perspectives and, therefore, to use many different modes of expression. It follows that the conceptual and experimental simplification, typical of knowing, which is usually presented in textbooks and in school practice, should instead become a construction, both individual and social, elaborated with the students in an inquiry process in which multimodality stands out in a particular way; so that simplification is the final result (not the starting point) produced by the physical explanation. The modelling process involves many aspects of human nature and is not, in general, explicitly rational right from the beginning. Nevertheless, the final interpretive structures, i.e. the metaphorical structure through which explaining phenomenology, are less context dependent than one might think. There are many examples of substantially equivalent modelling of physical phenomena by physicists who lived at the same time, but belonging to totally different cultures, and, therefore, in a certain sense, the structure of physics seems to be partially independent of the cultural context in which it develops (Kragh, 2002, p. 397). This observation also prompts us not to be afraid to use, in the context of investigation, tools and knowledge coming from other disciplines in order to help the appropriation of ideas and concepts.

Research in physics education for this purpose is essential: in fact, by highlighting the conceptual structures and learning knots, it not only provides tools and methods to improve the teaching/learning of physics; but, in a much broader social context, it also helps study how a discipline is understood and received. It therefore contributes to the perception of the discipline itself and, therefore, to the construction of mature personal worldviews. Through the presentation of integrated knowledge within the framework given by the nature of scientific knowledge, it therefore pushes towards the explanatory narrative to not be incomplete.

On the other hand, what we give the name of “reality” changes continuously because the *status* of the entities that should form this “reality” is very flexible, since it depends on the theory. Examples of this can be provided by the notions of atom, or of time, or of space, or of vacuum (Bellone, 2008) or even by entities that came to life and then disappear as non-existent, like the ether.

To provide an adequate conceptual framework for understanding that “reality” evolves is provided by research in history of physics which contributes to the perception of the physical discipline in a further dimension. In this sense, therefore, history and didactics together contribute to the very structure of the discipline, they are intrinsically unavoidable parts of the physical sciences as they are now.

A study carried out about ten years ago on a sample of about a thousand upper secondary school students (Giliberti, 2010) shows that most students consider physics to be an important resource for society (Tolstrup Holmegaard et al., 2014). Unfortunately, however, they consider it more linked to technology than to general culture (Carpinetti, et al., 2011). Furthermore, schooling seems to act in a negative way: interest in physics decreases with the growth of the grade attended.

But we cannot complain that even today physics is not perceived as central to personal and social culture if we still continue to think about it and propose it without highlighting its cultural aspects: the images of the world it does give us, the images for woman and man it does propose, how it contributes to changing the perception of reality (for society) and what personal *weltanschauung* it helps us to build.

In summary, in order to understand, we have to reconstruct the inductive process that leads from the experimental aspects to the construction of the mathematical principles, axioms and constitutive equations of the theory and their interpretation. And, starting from these, “use” the theory to explain part of the natural world, the phenomena observed in the laboratory and the technological artefacts; in this way, we can also grasp the epistemology of the theory.

For a didactic reconstruction to be effective, therefore, we believe it useful to propose frameworks that use most of expressive modalities; in particular, we cannot be afraid of mathematics; if we are afraid of it, it is probably because the narration induced by this reconstruction is incomplete. The languages have to be many and different, and we must also take care of the appearance and image that the topic has in society.

The many languages are not always equivalent, but complementary and, in general, are to be conveyed in different ways: from theatre to role-playing, from storytelling to educational games, from increasingly meaningful videos to augmented reality and different museum and multimodal experiences in science centres; but there are also films, exhibitions, technical - educational - informative books, comics, cartoons, social networks, etc., all have to be taken into consideration and, at least some of them, implemented.

### 3. The lab “Principles and equations of physics”

It seems that Niels Bohr said that “we are suspended in a language”; but then: until when will we use the usual language for the new concepts?

Committed to finding effective tools and methods to propose physics in a way that could make perceive its cultural aspect, with the actor Flavio Albanese (Compagnia del Sole, Bari, Italy) we started a research

on the effectiveness of using - even with the difficulties given of the recent pandemic - multiple languages to address specific physics topics. The idea of the “Principles and equations of physics” laboratory was born and soon included among the activities of the Italian Ministry plan PLS “Piano Lauree Scientifiche” (Scientific Degree Plan) of the Physics Department of the University of Milan, that builds strong disciplinary links between schools and university. In fact, understanding and discussing the meaning of the principles and most important equations of physics is fundamental in learning the discipline and also in getting an orientation tool.

Ours, were formative activities (therefore, not of a popular nature) held together by Flavio Albanese and the author of this paper; a sort of virtual living room in which discussing and addressing various physics topics with the “contamination” of history, poetry, music and philosophy.

The first edition of the lab (2020 - 2021) was structured in 8 online meetings on “The three principles of dynamics and the law of universal gravitation”, an hour and a half each. Attended by 130 people including secondary school students and teachers, the activity was also valid as PCTO (Paths for Transversal Skills and Orientation). As you can tell from the title, lessons had the aim of discussing the physics involved, together with the huge cultural impact generated by the gradual and tormented birth of the three principles of dynamics and the problem of gravitation. They began with a poem or a conceptual problem or philosophical considerations and developed into a scientific dialogue with readings from important authors such as Aristotle’s *De Coelo*, Lucretius’ *De Rerum Natura*, as well as passages by Nicole D’Oresme, Giordano Bruno, Thomas Hobbes, and also by Richard Feynman, Thomas S. Eliot and Eugenio Montale and so on. They continued with examples, problems, nursery rhymes, description of drawings, etc., together with questions and observations made by students and teachers.

The work was so successful that we decided to repeat the activity, much in the same way, the following Academic Year (2021 – 2022) by proposing a laboratory on Maxwell’s equations. The meetings of this second edition were five, always online, and attended by more than 650 participants. Also in this case, the activity was valid as PCTO and could be enjoyed in parallel with an experimental laboratory on electromagnetism organized by Claudio Fazio among the PLS activities in Palermo. In particular, the historical aspects that have led to the current vision of the world in the transition between the Middle Ages and the Modern Age and those relating to the life, thought and ideas of J. Clerk Maxwell have given shape to a broad and articulated educational path for students and teachers.

The common thread in both editions of the project was the development of the concept of harmony in physical sciences from Pythagoras to the present day. PCTO students of the first edition of the lab had to produce videos concerning one of the discussed aspect. In view of this, a lesson was made by an expert video maker about how to make a short video. This request was no longer made for the second edition due to the too high number of students involved and, in fact, the PCTO activity was considered completed with the frequency and work envisaged for the Palermo PLS course mentioned above.

#### **4. Considerations and results**

For both the two different editions of the laboratory, the topics were treated from a pedagogical point of view with a multidisciplinary vision that simultaneously served to frame the principles of dynamics or Maxwell’s equations in a cultural context that is important for the man of today and, at the same time, elucidate some useful tools for the disciplinary appropriation of physics contents.

Concerning the Maxwell equation lab, and with the aim of aiding contextualisation, images of Maxwell’s hometowns (for example, his Glanlair estate home and his studio) or his cousin’s drawings of him as a child were also shown. Time has been devoted to poems written by Maxwell, some of them jokey, some really profound. But the aim has always been to enrich the presentation by deepening the meaning of

each of Maxwell's equations. The simulations taken from the site <https://www.falstad.com/mathphysics.html> and concerning 2D and 3D simulations of the electromagnetic fields were very useful for discussing some of the more properly technical aspects. Furthermore, particular care has been devoted to the difficult subject of electromagnetic induction with numerous examples and exercises that have generated much interest and many questions. The formalization used was the "integral" one generally presented in Italian high schools with the basic concepts of flux and circulation, with also some excursus to show the meaning of some differential operators.

The evaluation of the initiative - although it did not take place according to the schemes and dictates more specific to research in physics education, and with all the shortcomings of the case -, shows, in my opinion, two promising signals. The first is the high appreciation of the course for what concerns its methods. In fact, the lessons have been followed without substantial "losses" over time, both as regards the number of students and of the teachers. Rather, the number of participants has greatly increased from the first to the second edition of the lab. Moreover in the individual interviews at the end of the course (10 altogether between students and teachers), the interviewees said they were interested in the methods of the laboratory. The teachers unanimously requested other laboratories carried out in the same way and concerning other aspects of physics.

The second is the effectiveness of introducing qualitative aspects into proposed problems on electromagnetic induction. In fact, students and teachers gave us a lot of satisfaction; they worked very hard and with passion in the interpretation and explanations of qualitative problems related to the very difficult questions of motional electromotive force (Cavinato et al, 2022).

As regards the videos received and linked to the activities requested for the PCTO students of the first edition (about 40), it is interesting to note that only some of them were designed according to methods referable to the presentations of school textbooks; on the contrary, most of them tended to propose the physics contents by linking specific disciplinary aspects (for example - with regard to the first principle of dynamics - videos of moving objects taken inside a moving bus; or the non-scholastic presentation of the third principle of dynamics) with personal considerations or with the reading of poems not presented in the course or even with the composition and performing by students studying composition of specifically created music.

Moreover, from a more personal point of view, The activities presented here have been fundamental for Flavio Albanese and Marco Giliberti to prepare and implement the 2cfu course "Principia: from quantum mechanics to field theory" held online this autumn for the II level Master's Innovazione Didattica in Fisica e Orientamento - IDIFO21 - (Teaching Innovation in Physics and Orientation) of the University of Udine. In this course, particular care was given to the logical reconstruction of the process which leads from few important experimental aspects to the construction of the principles or axioms and to the constitutive equations of Quantum Mechanics in a multidisciplinary learning environment.

They also provide the basis and give the criteria upon which the PhD course "Instruments and Methods for a Cultural Understanding of Physics by Nicola Ludwig and the author of this article has been designed. It is scheduled to start in December 2022.

### Acknowledgments

It is with great pleasure that I thank my friend and actor Flavio Albanese; without his help and support the activities described in this article would not have been possible.

### Bibliography

Bellone, E. (2008). *Molte nature*. Milano: Cortina.

- Carpinetti, M., Giliberti M. & Ludwig, N. (2007). *Tracce*, Script of a Theatre play.
- Carpinetti, M. *et al.* (2011). "Theatre to motivate the study of physics". *JCOM* (10), pp. 1-10.
- Cavallini, G. & Giliberti, M. (2008). "La lezione dalla Fisica Quantistica", *Epistemologia* 31(2), pp. 219-240.
- Cavinato, M., Giliberti, E. & Giliberti, M. (2022). "Conceptualization of Electromagnetic Induction at various Educational Levels: a Case Study", *Canadian Journal of Physics*, 100(5), pp. 262-271
- Clerk Maxwell, J. (1878). *The telephone*, in Peruzzi, G. (2010). *Vortici e colori. Alle origini dell'opera di James Clerk Maxwell*. Bari: Dedalo.
- Duit, R. & Glinn S. (1996). "Mental modelling", in Welford, G. & Osborne, J. (eds) *Research in science education in Europe: current issues and themes*. London: Falmer Press, pp. 166-176.
- Giliberti, M. (2014a). "Theories as crucial aspects in quantum physics education", in B. G. Sidharth, M. Michellini, L. Santi (eds.) *Frontiers of Fundamental Physics and Physics Education Research*. New York: Springer, pp. 497-503.
- Giliberti, M. (2014b). *Fisica a teatro. (Lo scrigno di Prometeo)*. Ariccia: Aracne.
- Giliberti, M., Čepič, M. & Sokołowska, D. (2022). "Work Group 4 Position Paper: Formal, Non-formal and Informal Aspects of Physics Education at the Primary Level", *J. Phys.: Conf. Ser.* 2297 012020.
- Giliberti, M. (2010), "La Percezione della Fisica negli Studenti di Scuola Secondaria di secondo grado: Indagine Statistica collegata allo Spettacolo Teatrale TRACCE", in *Proceedings of the Frascati Conference "Comunicare Fisica e altre Scienze"*, Frascati, Italy, 12-16 April 2010.
- Kolb, R. (1996). *Blind wathchers of the sky*. New York: Perseus Books.
- Kragh, H. (2002), *Quantum Generation*. Princeton: Princeton University Press.
- Ludwig, G. & Thurler, G. (2007). *New foundation of physical theories*, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Ogborn, J. (2010). "Science and Commonsense", in M. Vicentini, E. Sassi (eds.) *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*. New Dehli: ICPE. <https://web.phys.ksu.edu/icpe/publications/teach2/Ogborn.pdf> (Accessed 1st November 2022).
- Tolstrup, H.H., Møller, M.L. & Ulriksen, L. (2014). "To Choose or Not to Choose Science: Constructions of desirable identities among young people considering a STEM higher education programme." *Int. J. Sci. Ed.*, 36 (2).

# La formazione degli insegnanti: un urgente impegno a cui assolvere

Marisa Michellini

Università di Udine, Dipartimento di Informatica, Matematica e Fisica (DIMF),

[marisa.michellini@uniud.it](mailto:marisa.michellini@uniud.it)

*Abstract:* Una vasta letteratura di ricerca ha evidenziato come la professionalità docente vada considerata l'aspetto specifico caratteristico più importante nell'istruzione e come determini la possibilità di migliorare l'apprendimento degli studenti, di rinnovare i curricula effettivamente attuati nelle scuole, di introdurre innovazione didattica e metodologica, basata sugli esiti della ricerca. Per questo, negli ultimi 30 anni si è sviluppato molto interesse per la formazione insegnanti e molto lavoro è stato fatto su di essa: linee guida e progetti europei hanno affiancato le ricerche, sempre più numerose. La formazione iniziale degli insegnanti è stata messa in campo molto tardi nel nostro Paese, rispetto alle previsioni del dopoguerra e, mentre nella formazione degli insegnanti primari vi è stata continuità, nella formazione degli insegnanti secondari vi è stata molta discontinuità e differenziazione nelle modalità. Neanche la formazione in servizio degli insegnanti è stata particolarmente curata. E' urgente, come scritto nel PNRR l'istituzione di questo importante compito dell'università in forma organica, stabile e qualificata. Un'analisi delle esperienze effettuate alla luce di questioni cardine evidenziate dalla ricerca didattica ha portato recentemente una vasta comunità di università, associazioni scientifiche e di insegnanti ad un'analisi mirata all'intesa per l'individuazione dei principi base da salvaguardare in questa importante mission: il libretto azzurro, esito del Convegno CRUI-GEO del giugno scorso ce li propone.

*Keywords:* Formazione, Insegnanti, scuola secondaria, ricerca didattica

## 1. Introduzione

Vi è ormai consolidata evidenza che la professionalità docente determina la qualità dell'istruzione (Elbaz 1983) e che da essa dipende la possibilità di migliorare l'apprendimento degli studenti, rinnovare i curricula effettivamente attuati nelle scuole, introdurre innovazione didattica e metodologica basata sugli esiti della ricerca (Calderhead 1996, Borko 2004; Park, Oliver 2008).

Il problema della formazione degli insegnanti è molto sentito nei diversi Paesi ed affrontato a livello di ricerca didattica ed a livello istituzionale e si articola in modo diverso a seconda che si tratti di formazione iniziale o sviluppo professionale degli insegnanti in servizio (Berger et al 2008): la professionalità da curare per tutta la vita (Michellini, Sperandeo 2014). Uno dei problemi più discussi è soprattutto quello della Formazione Iniziale Insegnanti (FII), che coinvolge diversi piani (A) le strutture / organizzazione della formazione degli insegnanti; B) le Discipline, dei Contenuti e delle attività; C) il contributo della ricerca didattica) e viene visto con prospettive diverse da diversi soggetti (Ministri /politici, Facoltà / Dipartimenti – Reti nazionali, Comunità di ricerca), ma le risposte a tali sfide vengono solo dalla relativa ricerca e dall'integrazione della ricerca didattica nella formazione iniziale degli insegnanti (Tasar et al 2012; Michellini 2020).

Ci troviamo ad affrontare oggi il problema di una sostanziale carenza in campo scientifico nella cultura di base dei cittadini (Holbruch 2001, Pisa 2018). L'influenza idealista ed illuminista ha creato visioni mistificate della scienza, purtroppo largamente diffuse anche ad alti livelli sociali (Olsen, Prenzel, Martin 2011). La fisica viene confusa con la tecnologia, considerata una disciplina deterministica e totalizzante, che ammette soltanto un mondo misurabile e prevedibile, mediante difficili strumenti formali, accessibili soltanto alla comunità eletta degli scienziati, poco motivante per i giovani. L'educazione scientifica è oggi un'emergenza a livello internazionale nella sfida per lo sviluppo, come dichiarato ad esempio negli obiettivi Horizon 2030 e questo non solo per la povertà culturale in campo



scientifico emersa dalle indagini Pisa (Pisa 2018), ma soprattutto per le nuove esigenze formative poste dalla società della conoscenza con il suo sovraccarico di informazioni e la sua complessità. Il problema di formare una cultura scientifica dei cittadini si pone in termini ampi. Si deve offrire l'occasione di capire cosa la scienza è e cosa non è: di cosa e come si occupa nel processo conoscitivo, di come individua e controlla potenzialità e limiti del proprio operato (Michellini 2020). L'informazione o il semplice racconto non sono adeguati, l'educazione scientifica deve essere sede di una meta-riflessione anche sull'esperienza in cui strumenti e metodi della scienza devono essere conosciuti e ri-conosciuti (Fensham 2001; Hesteness 2007; Michellini, Stefanel 2014). La presentazione di un sapere strutturato disciplinarmente non produce apprendimento in termini di competenze, ma solo accumulo di nozioni e conoscenze che non trovano capacità operative (Michellini, Sperandio 2014). Abbiamo fatto finora gravi errori nella didattica non avendo tenuto conto che il modo di apprendere non corrisponde a quello della conoscenza strutturata: specifici angoli di attacco e dettagli critici sono rilevanti per costruire quella conoscenza concettuale che si basa sull'esercizio di analisi critica nei processi di interpretazione dei fenomeni (Viennot, De Camp 2016). Offrire risposte a domande non poste o soluzioni a problemi non sentiti produce apatia invece che appropriazione di strumenti, metodi e concetti (Michellini 2004; Viennot 2016). Si deve allora cambiare l'impostazione dell'educazione scientifica e offrire esperienze organiche su cui ragionare, in cui ciascuno ha l'autonomia di proporre esplorazioni e operare analisi, esercitando pensiero critico. Si deve dare l'occasione ai giovani di affrontare questioni autentiche e non semplificate o presentate in chiave metaforica, evitando riduzionismi. I laboratori devono essere organizzati in modo razionale con sensori, analisi dati, e modellizzazioni o simulazioni, come in fisica teorica. Oggi le tecnologie mettono a disposizione degli studenti gli strumenti per farlo e acquisire autonomia di indagine critica. Inoltre, l'educazione scientifica va avviata molto presto, con le prime esperienze di conoscenza del mondo, con insegnanti preparati sin dai primi livelli scolari (Buckberger et al 2000; Michellini 2003). Si deve superare il pregiudizio che la fisica può essere affrontata solo quando vi è padronanza nella manipolazione matematica di formule: esso sottende un insegnamento strutturato disciplinarmente, mentre il principale problema nell'apprendimento è il cambiamento concettuale (Vosniadou 2008; Amin et al 2014).

Formare gli insegnanti per l'educazione scientifica è pertanto una sfida in cui si gioca la possibilità di trasferire alle nuove generazioni una cultura in cui la scienza è parte integrante, non marginale da saper gestire nei contesti quotidiani, nelle questioni sociali, nel lavoro. Essa è legata alla costruzione di competenze per produrre apprendimenti specifici di tipo disciplinare (learning of Subject Matter) (Shulman 1986; Guess Newsome 1999; Magnusson et al 1999).

## **2. La formazione professionale degli insegnanti nel contesto internazionale**

Il problema della formazione iniziale degli insegnanti fu affrontato da Shulman con una riflessione sulle prove di abilitazione all'insegnamento (Shulman 1986), che ponevano una grande enfasi sulle procedure, su come gli insegnanti gestiscono la classe, organizzano le attività, fissano i tempi e i compiti, giudicano l'apprendimento generale dello studente, senza nessuna attenzione ai contenuti del curriculum. Ha segnalato come anche negli studi sull'insegnamento c'era l'omissione del ruolo dei contenuti disciplinari. Il comportamento dell'insegnante veniva correlato con gli esiti: il successo formativo dei ragazzi, in termini di numero di studenti promossi, senza guardare ai contenuti. Le ricerche riguardavano soprattutto l'efficacia dell'insegnante, ad esempio il miglioramento dello stile espositivo. Veniva indagato il comportamento più efficace per promuovere l'apprendimento degli studenti applicando specifiche impostazioni (Anderson 1976). Veniva ignorato un aspetto centrale dell'insegnamento: nessuno si poneva il problema di come i contenuti della conoscenza dell'insegnante vengono da lui trasformati per l'insegnamento e quindi come sia costituito il contenuto dell'istruzione. La

riorganizzazione della conoscenza a scopo didattico non veniva presa in esame e neppure veniva effettuato alcun esame del processo di apprendimento dei contenuti.

Shulman ha posto nuove domande di ricerca sulle scelte di cosa insegnare, sull'origine delle spiegazioni, su come studiare i modi di apprendere degli studenti, sulle sorgenti della conoscenza degli insegnanti, sulle caratteristiche ed il ruolo delle rappresentazioni sulle fonti di analogie, metafore, esempi, spiegazioni, dimostrazioni o nuove formulazioni (Shulman 1986). Si è posto il problema di come avviene l'apprendimento dell'insegnante e come impara a trasformare i contenuti disciplinari in un contenuto di istruzione ed, in correlazione, come i suoi studenti comprendono. Ha studiato il dominio e le categorie della conoscenza dei contenuti dell'insegnante (CK) e la loro correlazione alla conoscenza pedagogica (PK). Nel CK Shulman individua non solo la conoscenza disciplinare, ma anche la conoscenza curricolare che comprende: i programmi per l'insegnamento di una disciplina, i materiali didattici e la loro varietà (libri, articoli, esiti di ricerche, percorsi), i materiali per l'istruzione, testi alternativi, software, esplorazioni di laboratorio, percorsi didattici<sup>1</sup>. Introduce l'*insegnabilità* di un contenuto (PCK – *Pedagogical Content Knowledge*), che mira a far comprendere in che cosa consiste e come avviene la crescita della conoscenza dell'insegnante per una professionalità docente (Shulman 1986).

La letteratura è vasta, ma ciò che ha prodotto un salto di attenzione in Europa è stato il *Green Paper on teacher education in Europe* (Buckberger et al. 2000), esito dell'incontro dei Ministri dell'Istruzione Europei. Tale documento ricorda come la formazione disciplinare di base (la laurea disciplinare) non può bastare per abilitare gli insegnanti alla loro professione e sottolinea il ruolo cruciale della progettazione didattica mirata alla sperimentazione in classe per lo sviluppo delle principali abilità professionali. Indica le seguenti attività come importanti nella formazione dei docenti: la ricostruzione a scopo didattico dei contenuti disciplinari; l'esplorazione e progettazione di situazioni di *Problem Solving*, la progettazione curricolare basata sulla ricerca; la pianificazione di interventi di insegnamento/apprendimento, l'analisi di nodi di apprendimento, l'analisi dei ragionamenti degli studenti in attività di insegnamento apprendimento (I/A).

Negli anni 2000 sono molte le ricerche, le indagini e i progetti attivati in materia. Il primo Congresso importante è stato quello del GIREP di Barcellona, che ha raccolto centinaia di contributi in materia (Pintò 2001). Successivamente il seminario internazionale del GIREP a Udine del 2003, ha sottolineato tre necessità principali: A) specifici programmi professionali per la formazione degli insegnanti; B) raccordo tra scuola e università; C) ricerca didattica in fisica, integrata con la formazione degli insegnanti e la didattica scolastica (Michellini 2004).

Le caratteristiche e i bisogni formativi degli insegnanti sono stati individuati da studi ed indagini internazionali condotti da diversi progetti Europei (ROSE 2006<sup>2</sup>; TIMSS 2007-2008<sup>3</sup>; SECURE 2008<sup>4</sup>; STEPS 2012<sup>5</sup>; Hope 2017). Sono stati fatti anche studi sulle preoccupanti carenze formative degli studenti in particolare in ambito scientifico (Eurydice 2003<sup>6</sup>; TIMSS 2010; IJSE 2011<sup>7</sup>; PISA 2009-

---

<sup>1</sup> È doveroso segnalare in questa sede che chi possiede una Laurea Magistrale di tipo disciplinare oggi in Italia (come negli altri Paesi) non possiede solo contenuti disciplinari e spesso in una sola area di ricerca e non possiede neppure tutti i contenuti indicati nel CK. Basta questo per indicare la necessità di una formazione *post lauream* per gli insegnanti. Il PF24 attivato negli ultimi anni però non garantisce l'acquisizione di questo CK veramente di base.

<sup>2</sup> ROSE <http://www.uv.uio.no/ils/english/research/projects/rose/>.

<sup>3</sup> TIMSS (2008) TIMSS Advanced 2008 che ha coinvolto 10 countries: AM, IR, IT, LB, NL, NO, PH, RU, SI, SE); TIMSS (2007) Trends in International Mathematics and Science Study, <http://www.timss.bc.edu/>.

<sup>4</sup> SECURE <http://secure-project.eu/>.

<sup>5</sup> Steps Two EU Project involved 74 Physics Departments from 32 countries and was supported by EPS had a specific Working Group (WG3) on Physics Teacher Education. <http://www.stepstwo.eu/>.

<sup>6</sup> Eurydice (2003). *The teaching profession in Europe: Profile, trends and concerns*. Key topics.

<sup>7</sup> IJSE (2011) International Journal of Science Education, 33: 1. Special Issue, p. 230.

2019<sup>8</sup>). L'indagine TIMSS<sup>2</sup> ha permesso di individuare strategie e metodi utilizzati comunemente dagli insegnanti. È emerso che la quasi totalità degli insegnanti è vincolata ai libri di testo/sussidiari (circa 100%), per metà del tempo di insegnamento impegna i ragazzi nella lettura della "teoria" o in come fare esercizi (> 50%), a volte facendo loro assistere a dimostrazioni (11- 54 %) e solo in pochi casi coinvolgendoli nello svolgimento di esperimenti o esplorazioni (0 – 30 %). Dal questionario STEPS TWO (2010) è emerso che nella maggior parte delle Nazioni attualmente i programmi di formazione iniziale degli insegnanti (FII) utilizzano due principali modelli: I. Sequenziale, in cui la formazione Disciplinare precede quella Pedagogica; II. Parallela, in cui si sviluppano parallelamente in forma comunque separata i contenuti disciplinari e quelli pedagogici. Il male peggiore è l'erogazione di corsi di pedagogia generale, non mirati alla competenza pedagogica da costruire come docente, accanto a corsi disciplinari, in cui viene proposta la disciplina in termini strutturati. Si sa che il modo migliore di apprendere una materia scientifica non è quello sinottico strutturato e sono necessari metodi e strategie che permettano conoscenza concettuale sulla quale costruire il pensiero formale, che in fisica è parte integrante della competenza disciplinare. In ricerche presentate in congressi internazionali ESERA ([www.esera.org](http://www.esera.org)), GIREP ([www.girep.org](http://www.girep.org)) e nella World Conference on Physics Education (Tasar 2012), è emerso che una delle principali esigenze degli insegnanti è di acquisire competenze nel produrre ambienti di apprendimento in cui vi è il ruolo attivo di chi apprende.

Da un lato la visione di chi attribuisce ruolo formativo alla prassi e dall'altro quella accademica, teoretica e trasmissiva offuscano la necessità di una formazione universitaria professionalizzante basata su un preciso curriculum formativo.

In molti Paesi sono oggi in corso nuovi sviluppi nei programmi o nei metodi della FII, anche perché la rapida evoluzione della società e del mondo del lavoro sulla spinta delle tecnologie dell'informazione (Gatti et al 1998) ha prodotto la domanda di modalità formative nuove (Van Merriënboer et al 2005), attente a quei dettagli critici che aiutano l'apprendimento, coinvolgono individualmente e propongono sfide intellettuali (Viennot et al 2016). La richiesta sociale e lavorativa è diventata sempre più di giovani, che sappiano utilizzare adeguatamente il vasto mondo dell'informazione per un ruolo sociale, per professionalità e per modalità di lavoro flessibili e sempre nuove. In questa nuova prospettiva la preparazione professionale di un insegnante di ambito scientifico è stata approfonditamente analizzata in termini di profilo professionale nel contesto di lavori per lo *Human Talent Management*: un profilo spesso analizzato in termini di competenze e questo termine è entrato nella nuova normativa internazionale (Michellini, Sperandeo 2010), indicando i seguenti principali obiettivi in termini di competenze dell'insegnante: 1) Abilità ad indirizzare, padroneggiare e gestire specifiche conoscenze e metodi relativi all'area di interesse; 2) Capacità di integrare diversi tipi di conoscenza e metodi in una rete flessibile; 3) Abilità a trasformare tale rete di conoscenze e metodi in una sinergica attitudine a fare/operare in concreto. Nella World Conference on Physics Education (Titulaer 2012)<sup>9</sup> sono state condivise le seguenti raccomandazioni, esito del progetto EU Steps-Two: la formazione degli insegnanti per la professione deve essere universitaria e preferibilmente a livello di Master, basata sulla ricerca in didattica della fisica ed in pedagogia applicata e sugli aspetti sociali, e deve comprendere attività pratiche a scuola, con una Tesi basata su attività effettivamente esperite di insegnamento e apprendimento (I/A).

<sup>8</sup> OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). (2007a). *PISA 2006: Science*; PISA - OECD (2019). *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework*, PISA. Paris: OECD Publishing. <https://dx.doi.org/10.1787/b25efab8-en> [www.pisa.oecd.org](http://www.pisa.oecd.org).

<sup>9</sup> Il documento, firmato da *Urbaan M. Titulaer (responsabile, Linz, Austria)*, *Ovidiu Caltun (Iasi, RO)*, *Eamonn Cunningham (Dublin, IE)*, *Gerrit Kuik and Ed van den Berg (Amsterdam, NE)*, *Marisa Michellini (Udine, IT)*, *Gorazd Planinsic (Ljubljana, SI)*, *Elena Sassi (Napoli, IT)*, *Rita van Peteghem (Antwerpen, BE)*, *Frank van Steenwijk (Groningen, NL)*, *Vaggelis Vitoratos (Patras, GR)* è stato l'esito condiviso di un confronto tra 74 Dipartimenti di fisica di 32 Paesi, sostenuti in tale lavoro dalla Comunità Europea e dall'European Physical Society.

La letteratura più recente sul PCK riguarda: i diversi approcci per misurarlo negli insegnanti; il ruolo degli ambienti di espletamento dell'attività didattica; le epistemologie dei docenti in relazione al loro stile di insegnamento; le modalità e le caratteristiche dell'insegnante in azione con gli studenti e la componente riflessiva dell'insegnante sull'azione; le modalità che favoriscono l'apprendimento e la motivazione; le modalità di analisi e gli strumenti per misurare l'apprendimento; lo studio di modelli di sviluppo delle competenze operative e strumenti per misurare i diversi aspetti delle competenze (Abell, 2007; Guess-Newsome 1999; Rohaan et al 2010; 2022; Ryder et al 2013).

### 3. La formazione professionale degli insegnanti in Italia

In Italia è stata sancita la formazione degli insegnanti nel dopoguerra, ma solo la legge 341/90 l'ha istituita, e si è avviata soltanto nell'anno 2000 con un progetto che la poneva a livello universitario, come già avveniva in tutta Europa. Proprio in contesto internazionale tale progetto fu giudicato uno dei migliori esistenti: forse si era avvalso del lavoro svolto nel frattempo a livello di ricerca, di sperimentazioni e di studi sulle pratiche. Il progetto comprendeva il Corso di Laurea in Scienze per la Formazione Primaria (CdL-SFP) e la Scuola di Specializzazione all'Insegnamento Secondario (SSIS) biennale post laurea magistrale (o equivalente). Tutte e due le realtà sono state avviate entro il 2001.

Il CdL-SFP si è gradualmente strutturato, trasformato in Laurea Magistrale a ciclo unico e consolidato operando con continuità fino ad oggi: una recente pubblicazione offre il ricco quadro per quanto riguarda l'insegnamento della didattica della fisica (Immè J e Michelini M 2022).

La seconda (SSIS), che era stata preceduta da diverse sperimentazioni parziali (Bonetta 2002), ha operato per 9 cicli e poi è stata sospesa nel 2008 (L.244/2007 e L.113/2008 art.64 comma 4 tris) senza valutazione, per istituire il Tirocinio Formativo Attivo (TFA) annuale con DM 249/2010, modificato con DM 81/2013, per un solo biennio di attuazione dal 2013 fino al 2015. Il DL 59/2017 istituiva, in attuazione della L 107/2015, percorsi triennali di Formazione, Inserimento e Tirocinio (FIT) con l'acquisizione di 24cfu (PF24) di area psicopedagogica e didattica per l'ammissione al concorso di accesso. Sono stati avviati i PF24, ma la L.145/2018 ha abolito il FIT e dal 2005 ad oggi i PF24 sono stati offerti senza omogeneità. La discontinuità e disomogeneità per la formazione degli insegnanti di scuola secondaria ha prodotto una situazione disastrosa in merito alla preparazione degli insegnanti via via immessi in servizio e anche sacche di precariato. Nel Master IDIFO che stiamo conducendo<sup>10</sup> gli insegnanti manifestano il disagio derivante dalla situazione descritta ed il bisogno di quella formazione ben descritta dal documento di *eurobenchmarks*<sup>2</sup>.

GEO<sup>11</sup>, con un seminario all'Università del Salento, ha avviato uno studio mirato al miglioramento della situazione, che ha prodotto un volume di contributi basati sull'esperienza pregressa non valutata e le ricerche associate (Tempesta 2020). GEO ha poi effettuato un'indagine presso tutte le università, in collaborazione con la CRUI e l'INAPP, per valutare l'esperienza legata al PF24. I forti limiti del PF24 derivanti soprattutto dalla natura frammentaria, non associata ad un profilo e ad una struttura organizzativa di formazione, sono emersi unanimi e la valutazione è stata negativa. Essa è riportata nei 2 volumi di oltre 1500 pagine prodotti a seguito del Convegno CRUI-GEO *Professione insegnante: quali strategie per la formazione?* (De Vivo A et al 2022), che ha avuto 2000 partecipanti in totale. In sessioni plenarie e Tavoli di discussione paralleli per aree disciplinari sono stati discussi 278 contributi

---

<sup>10</sup> Il Master IDIFO è biennale ed è attivo dal 2006 nell'ambito del PLS: un progetto per lo sviluppo professionale degli insegnanti in servizio realizzato dall'Università di Udine in modo coordinato con 20 altri atenei italiani. Il manifesto lo descrive alla pagina IDIFO 2021-22 - urdf (uniud.it).

<sup>11</sup> GEO è un Consorzio universitario fondato nel 2000 che ha tra i propri scopi studi, ricerche e attività di sostegno alle strategie di sviluppo degli atenei e quindi opera in stretta collaborazione con la Conferenza dei Rettori (CRUI). I principali temi sono l'orientamento, il tutorato, l'educazione alla cittadinanza, la didattica universitaria e la formazione degli insegnanti. Al sito home - Geo - Ateneo di Udine (uniud.it) ne sono descritte caratteristiche, attività e pubblicazioni.

di 58 atenei. Erano presenti 15 rettori, i presidenti dei coordinamenti nazionali Cunsf, Conscienze, Indire, Afam, e i rappresentanti Anvur, Crui, Cun, Inapp, Pls e della co-organizzante Università di Napoli Federico II, oltre a 35 Società e Associazioni scientifiche. Sono state discusse esperienze e ricerche in dettaglio, individuando i principi condivisi irrinunciabili. Un'indagine post Convegno ne ha consolidato i caratteri essenziali che sono stati diffusi con la sintesi dei lavori del Convegno in un "Libretto Azzurro", diffuso a tutti gli Atenei e anche dall'AIF (Betta G e Michellini M 2022).

#### 4. Considerazioni conclusive: le proposte

Gli esiti dell'impegnativo confronto effettuato al Convegno CRUI-GEO *Professione insegnante: quali strategie per la formazione?* sono stati inviati ai Ministri competenti. Importanti aspetti unanimemente condivisi sono i seguenti.

È urgente istituire un solido e organico percorso istituzionale universitario di qualità per la formazione iniziale degli insegnanti secondari, con chiara modalità di accesso, valutazione in itinere e finale. È necessario che esso sia saldato con il mondo della scuola, con cui raccordarsi tramite un solido programma di sviluppo professionale degli insegnanti in servizio.

Il reclutamento va definito con chiarezza al fine di evitare la formazione di sacche di precariato, come avvenuto in passato.

Serve una struttura istituzionale, che dia garanzie di gestione e certezze di qualità alla luce delle esperienze ventennali degli atenei. Un numero programmato di accesso all'intero percorso formativo è proposto dall'84%, eventualmente con prova di selezione all'accesso (26%).

Il 58% dei colleghi indica la necessità di una durata superiore a un anno ed il 42% richiede un biennio universitario, ma tutti ritengono che il percorso di formazione degli insegnanti debba concludersi con un anno di servizio in prova nella scuola in cui si completa la formazione in modo qualificato, e seguito con cura.

Si propone che nel percorso formativo pesi più del 21% l'area A2) della Didattica Disciplinare e dei Laboratori sperimentali; per il 10-20% le aree A1) psicologica, pedagogica, antropologica, sociologica e della comunicazione, A3) dei Laboratori didattici e A4) del Tirocinio, ma ci sono anche, con un peso del 10% le Aree A5) Tematiche trasversali: orientamento, educazione alla cittadinanza, educazione alla salute, educazione stradale e A6) Tematiche speciali: bisogni educativi speciali, bullismo, dipendenze. Importante è che tutte le attività formative delle varie aree siano mirate alla professionalità docente e basate sulla ricerca didattica, sapendo anche integrarsi in un percorso formativo organico professionalizzante per un gruppo condiviso di obiettivi formativi, piuttosto che riferirsi a principi disciplinari di natura accademica, superando i segnalati problemi a livello internazionale.

Irrinunciabili prove di valutazione durante il percorso formativo dovranno essere fortemente centrate su aspetti di professionalità docente. La prova finale dovrà dare evidenza di acquisita e sperimentata professionalità docente nelle materie di insegnamento scolastico a cui il percorso è dedicato. La stretta collaborazione tra la scuola e l'università è unanimemente evocata anche con il potenziamento delle modalità e la promozione di azioni che favoriscono la collaborazione, come progetti di ricerca didattica, oltre che nel percorso formativo, con particolare riguardo ai tirocini.

Il completamento della formazione in un anno di servizio in prova nella scuola (AS) progettato in modo qualificato è una ulteriore sede importante di tale collaborazione.

La qualità del percorso di formazione degli insegnanti è indissolubilmente legata alla natura istituzionalmente strutturata e ben riconoscibile in cui lo stesso percorso si incardina, anche chi vi opera deve avere assegnato istituzionalmente tale compito in base a comprovate competenze ed impegno in materia, con riconoscimento anche nella carriera. Le competenze di riferimento devono essere prevalentemente e sempre più basate sulla ricerca didattica. Ricordiamo che la ricerca in didattica della fisica ha proprio ruolo e specificità per il miglioramento della didattica disciplinare e la formazione degli

insegnanti: essa non va confusa/sostituita con ricerche pedagogiche sull'insegnamento o ricerche psicologiche sull'apprendimento individuale, o con studi sociologici sulla organizzazione delle attività scolastiche; essa riguarda i processi specifici per l'apprendimento disciplinare e la costruzione di competenze per produrli (learning of Subject Matter).

La valorizzazione e lo sviluppo di settori scientifico disciplinari di ricerca nelle didattiche di tutte le aree disciplinari è pertanto urgente così come la valorizzazione e l'incentivazione di chi svolge attività didattiche qualificate ed innovative nella didattica universitaria. Si deve guardare al percorso di formazione degli insegnanti nell'impianto complessivo dell'offerta formativa degli atenei, individuando specifici organismi di studio, ricerca, servizio, introducendo laboratori didattici ed esperienze di tirocinio sul campo per gli studenti e la formazione didattica dei tutor e dei docenti universitari formatori. Il bisogno di formazione in servizio degli insegnanti è un'altra urgenza condivisa ed acclarata.

Un profilo di carriera dell'insegnante in servizio, sostenuto dall'università, dalla ricerca didattica e da comunità di pratiche è fortemente auspicato. La sua saldatura alla formazione iniziale valorizza le due filiere, come è testimoniato da esperienze già realizzate, come quella della SSIS.

Siamo pronti per la legge sulla formazione degli insegnanti prevista nel PNRR.

## Bibliografia

- Amin, T.G. & Smith, C. & Wiser M. (2014). "Student Conceptions and Conceptual Change: Three overlapping Phases of Research", in Lederman N, Abell S. (eds.) *Handbook of Research in Science Education*, vol. II., 4. New York: Routledge, pp. 236-250.
- Anderson, L. M., Evertson, C. M. & Brophy J. E. (1979). "An Experimental Study of Effective Teaching in First-Grade Reading Groups", *The Elementary School Journal*, 79 (4), pp. 193-223
- Berger, H., Eylon, B.S. & Bagno, E. (2008). "Professional Development of Physics Teachers", *Journal of Science Education Technology*, 17, 399-409.
- Betta, G. & Michelini, M. (2022). "Professione insegnante: quali strategie per la formazione – Libretto Azzurro", *LFNS*, LIII, Sup. al n.2, 2020.
- Bonetta, G. et al. (eds.) (2002). *Università e formazione degli insegnanti: non si parte da zero*. Udine: Concured, Forum.
- Borko, H. (2004). "Professional development and teacher learning", *Educ. Res.* 33 (8), 3-15.
- Buchberger, F. & Campos, B.P. & Kallos, D & Stephenson. J. (2000). *Green Paper on teacher education in Europe*, Thematic Network on Teacher Education in Europe. Umea: Umea Universitaet.
- Calderhead, J. (1996). "Teachers: Beliefs and knowledge", in Berliner D.C. & Calfee R.C. (eds.) *Handbook of educational psychology*. New York: Macmillan, pp. 709-725.
- De Vivo, A., Michelini, M. & Striano, M. (2022). *Professione insegnante: quali strategie per la formazione?* Napoli: Guida Editori.
- Elbaz, F. (1983). *Teacher thinking: A study of practical knowledge*. New York: Nichols.
- Fensham, P. (2001). "Science content as problematic-issues for research", in Behrendt H. et al. (eds) *Research in Science Education-past, present, and future*. Dordrecht: Kluwer.
- Gatti, M. et als. (1998). *L'impatto delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione sulle competenze professionali e sulla formazione*. Salonicco: CEDEFOP.
- Gess-Newsome, J. (1999). "Pedagogical content knowledge: an introduction and orientation", in Gess-Newsome J. & Lederman (Hrsg.) N.G. (eds) *Examining pedagogical content knowledge*. Dordrecht: Kluwer, pp. 3-17.
- Hestenes, D. (2007). *Notes for a modeling theory of science*, in van den Berg E., Ellermeijer T. & Slooten O. (eds) *Modelling in Physics and Physics Education*. Amsterdam: GIREP-Amstel, pp. 34-65
- Holbrook, J. & Rannikmäe, M. (2001). "Introducing STL: A Philosophy and Teaching Approach for SE", *ICASE*, pp. 1-19.

- Immè, J. & Michelini, M (2022). “Quale didattica della fisica per formare gli insegnanti di scuola primaria?”. *Giornale di Fisica*, Sup. 63, p. 250.
- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). “Nature, Sources, and Development of Pedagogical Content Knowledge for Science teachers”, in Gess-Newsome, J. & Lederman, N.G. (eds.) *Examining Pedagogical Content Knowledge: The Construct and its Implications for Science Education*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, pp. 95-132.
- Michelini, M. (ed.) (2004) *Quality Development in the Teacher Education and Training*. Udine: Forum.
- Michelini, M. & Sperandio Mineo R.M. (2014). “Challenges in primary and secondary science teachers Education and Training, in Teaching and Learning Physics today: Challenges? Benefits?”, in Kaminski W. & Michelini M. (eds.), *GIREP selected paper book* Udine: Lithostampa, [978-88-97311-32-4], pp. 143-148. <http://www.univ-reims.fr/site/evenement/girep-icpe-mptl-2010-reims-international-conference/list-of-submitted-full-papers-for-proceedings,13181,23069.html>?
- Michelini, M. (2020). “Dialogue on Primary, Secondary and University Pre-service Teacher Education in Physics”, in Guisasola J. & Zuza K. (eds.) *Research and Innovation in Physics Education: Two Sides of the Same Coin. Challenges in Physics Education*. Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-51182-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51182-1_3).
- Olsen, R.V., Prenzel, M. & Martin, R. (2011). “Interest in Science: A many-faceted picture painted by data from the OECD PISA study”, *International Journal of Science Education*, 33(1), pp. 1-6
- Park, S., & Oliver, J. (2008). “Revisiting the conceptualisation of pedagogical content knowledge (PCK): PCK as a conceptual tool to understand teachers as professionals”, *Research in Science Education*, 38(3), pp. 261-284.
- Pinto, R & Surinach, S. (eds.) (2001). *Physics Teacher Education Beyond 2000 (Phyteb2000)*, Girep book - Selected contributions of the Phyteb2000 International Conference. Paris: Elsevier.
- Rohaan, E. et al. (2010). “Different approaches to measure teachers’ pedagogical content knowledge”, in Cakmakci G. & Taşar M.F. (eds.) *Contemporary science education research: scientific literacy and social aspects of science, Book I*, Ankara: Pegem Akademi, pp 59-60.
- Ryder, J. & Banner, I. (2013). “School teachers’ experiences of science curriculum reform”, *International Journal of Science Education*, 35, pp. 490-514.
- Shulman, L.S. (1986). “Those who understand: knowledge growth in teaching”, *Educational Researcher*, 15(Z). 4-14.
- Tasar, F. (ed.) (2012). *Proceedings of The World Conference on Physics Education*. Ankara, Turkey: Pegem Akademi.
- Tempesta, I. (2020). “Imparare a insegnare”, in *Formazione e didattica per la scuola*. Lecce: Università del Salento. Pubblicazioni Geo - OneDrive (sharepoint.com).
- Titulaer, U. (2012). “Steps two: European Benchmarks for Physics Teacher Education Degrees Document WCPE, Istanbul 2012”, in Taşar M.F. & Çakmakçı G. (Eds.). (2010) *Contemporary science education research vol. 2: preservice and inservice teacher education*. Ankara, Turkey: Pegem Akademi.
- Van Merriënboer, J.J.G. & Sweller, J. (2005). “Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions”, *Educational Psychology Review*, 17, p. 147.
- Viennot, L. & Decamp, N. (2016). “Conceptual, and critical development in student teachers: First steps towards an integrated comprehension of osmosis”, *Int. J. Sci. Educ*, 38, p. 2197.
- Vosniadou, S. (2008). *International handbook of research on conceptual change*. New York: Routledge.



# Appearance and reality of centrifugal force: A still current educational question

Angelo Pagano<sup>1</sup>, Emanuele V. Pagano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INFN and Dip. di Fisica. Univ. di Catania, Via S. Sofia 64, 95123 Catania, [angelo.pagano@ct.infn.it](mailto:angelo.pagano@ct.infn.it)

<sup>2</sup> INFN –Laboratori Nazionali del Sud Catania-Via S.Sofia 62, 95123-Catania, [epagano@lns.infn.it](mailto:epagano@lns.infn.it)

*Abstract:* The first geometric representation of *centrifugal force* is due to Christian Huygens (1629-1695) and the Italian scientist Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679). In modern teaching the notion of centrifugal force is generally mentioned in chapters that introduce *inertial forces*, and in particular in relation to reference systems rotating with respect to a fixed axis. In a well-known book we read: "*The real forces are balanced by the apparent centrifugal force*"; but it is not understood how an "*apparent*" force can oppose a "*real*" force. An apparent force, in contrast to a real force, is such as to disappear with an appropriate change of the coordinate system, as for example it happens to the Coriolis forces. After a brief historical excursus, some simple examples of (uniform) rotatory motion are analysed which illustrate the concept of centrifugal force as opposed to that of centripetal force, in accordance with Newton's III law of dynamics.

*Keywords:* Centrifugal Force, Inertial System, Real, Apparent Forc

## 1. Introduction

The first justification of the duality of a *reaction* force that is opposed to an *action* one is found in Newton's III law of motion (also called *principle of action and reaction*):

Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem: sive corporum duorum in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi (Newton 1687, p. 17).

Translating into the language of applied vectors:

$$Q\vec{F}_{PQ} + P\vec{F}_{QP} = 0$$

Where Q is the application point of the vector force  $\vec{F}_{PQ}$  and P is the application point of the vector force  $\vec{F}_{QP}$ .

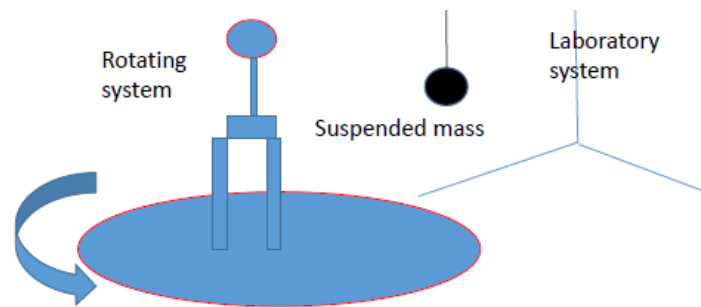
Geometrically (with obvious meaning of the symbols):



**Fig. 1.** Geometric representation of Newton's third law of dynamics.

Only in this case (III law of dynamics) the system of forces is called *real*, otherwise it is called *apparent*.

The concept of *apparent force* is strongly linked to the coordinate reference system of the observer. An apparent force disappears with an appropriate transformation of the coordinate system. An example is briefly illustrated in the following figure:



**Fig. 2.** An observer fixed in a rotating system describes the motion of a suspended mass in a fixed laboratory system as a circular motion, associating it to an apparent force: the centripetal force. It disappears by changing the reference system from the one connected to the rotating system to the one that is fixed in the laboratory, where the suspended mass is at rest.

In the Definition V, of the *Principia*, we find the notion of *centripetal force*:

V. Vis centripeta est qua corpus versus punctum aliquod tantum ad centrum trahitur, impellitur, vel utcunq; tendit . Hujus generis est gravitas, tendit ad centrum terrae qua corpus (Newton 1687, p. 12).

However, the name *Centrifugal* force to indicate a *reaction* opposite to the *centripetal* one is not found in *Principia*. Huygens (1629-1695) had already used the term *centrifuga* on 1659 in the treatise *De vi centrifuga* then taken up by the Italian geometer Giovanni A. Borelli (1608-1679).

Huygens wrote:

If two equal moving bodies traverse unequal circumferences in equal times, the centrifugal force in the greater circumference will be to that in the smaller as these circumferences, or their diameters, are to each other (Huygens 1673, pp. 255-301, Translated by. Mahoney, M.S.)

Huygens, on the other hand, did not use the opposing term of *centripetal*, but only that of *force of attraction*. For more details, see (Bernini 1924, p. 439; Scott 1957, p.325; Moreno and Barrachina 2008, p. 1146)-

## 2. About some history: The Italian case

The centrifugal force in the Newtonian interpretation of III principle (see above) is extensively treated in the classic Italian works (Bernini 1924, p. 439), (Maggi 1926, p. 21, (Maggi 1921, pp. 83-84).

The case of centrifugal force has been also discussed in a paper on 1957 by A. Borsellino, M. Ageno e G. Polvani republished by the Italian *Giornale di Fisica* (Borsellino et al. 2004, pp. 47-59).

From Bernini, we learn about a criticism against the educational system at that time:

E' però un fatto indiscutibile, che sono usciti ed escono tuttora, sia dalle scuole medie, sia dagli Istituti Superiori, dei giovani, i quali, sui fondamenti della meccanica in genere, ma più specialmente sui due argomenti sopracitati (centrifuga e principio III), conservano dei gravissimi dubbi. Ed è pure un fatto, che mi preme qui particolarmente notare, che tali giovani invano tentano di dissipare i loro dubbi, aiutandosi coi loro vecchi testi scolastici o con ponderate riflessioni su quanti altri trattati antichi o moderni cerchino di consultare.

[...] Ora, dopo un accurato esame di un numero relevantissimo di trattati italiani e stranieri, io mi sono formata la opinione, che questo ultimo fatto, più che alla incapacità dei nostri giovani studiosi,

si debba imputare alle deficienze, che la maggior parte dei trattati stessi, anche quelli pregevolis-simi sotto ogni riguardo, presentano in questi punti, specie dal lato didattico.

Quanto alla forza centrifuga, dal confronto dei capitoli dei diversi testi emerge, che fra i diversi autori non vi è nemmeno accordo nel modo di concepirla, pur descrivendo tutti su per giù le medesime esperienze per metterla in evidenza: e si riscontrano facilmente fino a cinque o sei maniere sostanzialmente differenti per definirla [...].

Esaminando poi gli esempi, che vengono dati per la illustrazione del principio della azione e reazione (terzo principio), se ne trovano moltissimi assai poco comprensibili, e molti altri addirittura errati. [...]. Sono senza dubbio questi molti discutibilissimi modi di illustrazione del terzo principio, che devono aver dato origine ad alcune delle differenti maniere di concepire la forza centrifuga, che fra breve metterò in evidenza [...] (Bernini 1924, p. 439).

We can observe that after about one hundred years of educational experience, Bernini's strong criticism partially persists in the present educational system, especially in the notion of *centrifugal force*. The educational problem was also studied by G.A Maggi who reduces the notion of *centrifugal force* in two categories (types).

Let's read from Maggi:

Ma neppure è possibile diversamente rendere intera ragione delle conclusioni relative allo stesso concetto, che collimano con quelle del Bernini ; poiché le due forme della forza centrifuga, che egli distingue come seconda e terza maniera, concordano con quelle eh' io distinguo, alla mia volta, come forza applicata al mobile (primo tipo), e applicata dal mobile ad un' altro corpo (secondo tipo) [...]. Aggiungo che base del mio discorso restano i principii della meccanica classica, particolarmente l'ipotesi del riferimento normale, su cui si fonda la distinzione tra forze reali - Da ricondursi, in ogni caso, alla presenza efficace di corpi naturali e forze apparenti, nascenti dal valersi di un riferimento mobile rispetto al riferimento normale. La dinamica relativistica introduce un concetto suo proprio della forza centrifuga, che rimane in disparte nella discussione presente<sup>1</sup> (Maggi 1926), p. 21).

Maggi provides two examples of centrifugal forces: one of the first type and one of the second type.

First type. Sia un punto materiale, di massa  $m$ , obbligato a muoversi sopra una linea fissa. L'equazione del movimento  $m A = F + F'$ , dove  $A$ ,  $F$  e  $F'$  indicano l'accelerazione del punto, la forza motrice impressa e la reazione vincolare della linea, applicate al punto medesimo, al tempo generico, fornisce per le componenti degli stessi vettori, secondo la normale principale alla linea, volta verso il centro di curvatura,  $mV^2/\rho = N + N'$ , dove indicano  $V$  la grandezza della velocità del punto,  $\rho$  il raggio di curvatura della linea,  $N$  e  $N'$  le componenti di  $F$  e di  $F'$ . Se ne ricava:  $N' = m V^2/\rho - N$ ; per la quale, a formare il Componente, secondo la normale principale, della reazione vincolare della linea, applicata al punto, entra una forza motrice avente la direzione della stessa normale principale, il senso che volge verso il centro di curvatura, e grandezza rappresentata da,  $m V^2/\rho$  [...]. Sotto una forma o l'altra, la forza motrice traduce questa sollecitazione è chiamata "forza centrifuga" Così, con questo significato di una forza agente secondo la normale principale, [...] la forza centrifuga di un punto mobile è una forza che il punto esercita sul materiale, e non una forza applicata allo stesso punto (Maggi 1926, p. 22).

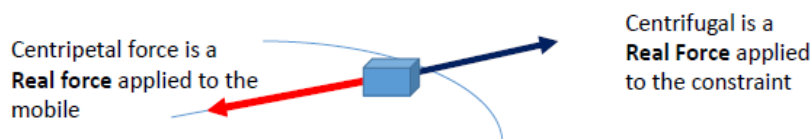
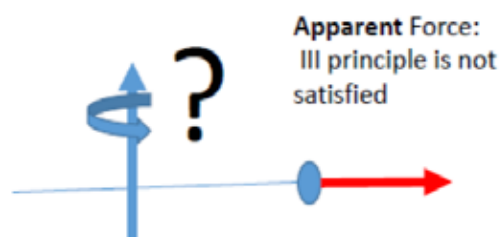


Fig. 3. Graphical representation of the first type centrifugal force.

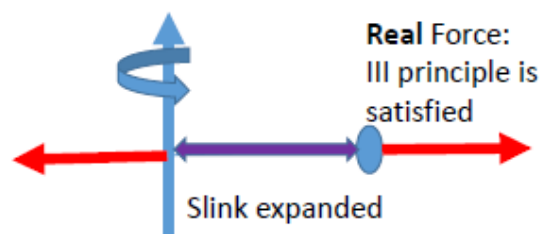
<sup>1</sup> Legato al principio di Mach, che qui non prendiamo in esame.

*Second type.* Una verga orizzontale, sulla quale è infilata una sferetta, in modo da potere scorrere lungo la verga, col minimo attrito possibile, è girevole intorno ad un asse verticale passante pel suo punto di mezzo. Si libera la sferetta, quando la velocità angolare ha raggiunto una determinata grandezza [...] assume auto-maticamente un movimento, col quale si scosta dall' asse, tanto più rapidamente quanto maggiore è questa grandezza. [...]. Deducendone la grandezza dell'accelerazione ad ogni tempo, e quindi in ogni posto, troveremo che essa è rappresentata da  $mV^2/\rho$ , -indicando con  $\rho$  la distanza del punto dall' asse di rotazione. La direzione naturalmente è quella della verga, e il senso quello che volge dall' asse verso il punto. Si hanno così gli elementi di una forza motrice avente quella direzione, quel verso e grandezza  $mV^2/\rho$ , se  $m$  indica la massa della sferetta, gli elementi della forza centrifuga corrispondente al movimento della sferetta, concepita, in ogni posto, come connessa colla Verga rotante: salvo che, in confronto del caso precedente, la forza è applicata al mobile considerato (Maggi G.A (1926), p. 24).



**Fig. 4.** Graphical representation of the second type Centrifugal force according to G.A. Maggi.

Conventionally, first Type is considered a *Real Force* (III principle is satisfied) and the second Type is considered an *Apparent Force*. (III principle is not satisfied). However, we notice that this definition of *Apparent Force* is intrinsically linked to the condition of constrained motion of the small sphere along the rod. In fact, by inserting a slink between the rotation axis and the small sphere it is possible to equilibrate the *Apparent Centrifugal Force* by the attractive action of the slink and, consequently, the small sphere assumes an equilibrium (relative to the rod) position and its motion along the rod is stopped. In this case the centrifugal Force assumes the role of *Real Force* and the reaction is applied on the rotation axis, so that the III principle is satisfied.



**Fig. 5.** Similar graphical representation as given in Fig. 4. An expanded slink is inserted between the small mass and the rotational axis. The III principle is satisfied and a real force is evidenced.

### 3. Centrifugal Force in modern educational system

In modern teaching the concept of centrifugal force is generally mentioned in chapters that introduce the concept of *inertial forces*, and in particular in relation to reference systems rotating with respect to a fixed axis.

On the web we read (<http://www.ovovideo.com/forza-centrifuga>): “Centrifugal force is the outward push that a body receives during a circular motion”. Or (from [www.students.it](http://www.students.it)) “The centrifugal

force is an apparent force to which every body is subjected when it is rotating, and causes a displacement away from the axis of rotation”.

And an intolerable error is perpetuated (whose origin is traced back - improperly - to Huygens himself), till now a-day. In fact, on the web we read the following wrong description:

Any object revolving around a point, such as a satellite revolving around a planet, is subject to two opposing forces. On the one hand there is the centripetal force, which draws the object towards the centre around which it rotates. In the case of the satellite, the centripetal force corresponds to the attraction exerted by the planet's gravity. On the other hand, there is the centrifugal force, which pushes the object away from the centre. This means that the further the body is from the axis of rotation, the less the effect of the centrifugal force will be. If the cause of the circular motion is a centripetal force, i.e. a push towards the centre, capable of balancing the centrifugal force, the body is forced to revolve around the centre of rotation. It is also for this reason that the planets of the solar system describe elliptical orbits around the sun. (therefore, according to that, the circular (elliptic) orbit would be the result of two forces (<http://www.ovovideo.com/forza-centrifuga/> (Addressed 2nd July 2022)).

We examined two well-known books in advanced teaching (one of the Italian tradition, the other of the English-American tradition): in both cases the definition of centrifugal force is given in relation to non-inertial systems, and the term *centrifugal* is introduced in the context of examples or exercises:

Example 1. Un dischetto di massa  $m$  è appoggiato sul bordo di una piattaforma orizzontale liscia e mossa insieme a questa con velocità angolare  $\omega$  costante. Esso è tenuto a alla distanza  $r$  dall'asse di rotazione da un filo teso fisso sull'asse. Descrivere la situazione fisica vista da un osservatore  $O$  inerziale e un osservatore  $O'$  sulla piattaforma. Cosa succede se il filo viene tagliato?

Solution:

Per l'osservatore inerziale  $O$ , il dischetto compie un moto circolare di rotazione sotto l'azione della forza vera esercitata dalla tensione  $\mathbf{T}$  del filo:

$$\mathbf{T} = m \mathbf{a} = -m \omega^2 r \mathbf{u}_r$$

( $\mathbf{u}_r$  is the unitary vector in the direction of the radius)

Per l'osservatore  $O'$  il dischetto il dischetto è fermo per cui oltre alla tensione  $\mathbf{T}$  deve agire una forza apparente:

$$\mathbf{T} + \mathbf{F}_{app.} = 0 \implies \mathbf{F}_{app.} = -m \omega^2 r \mathbf{u}_r$$

Che è detta forza centrifuga (Mazzoldi, Nigro 2009, p. 121).

*Example 2.* Consider a point mass  $M$  at rest in a noninertial frame, so that in this frame  $a = 0$ . The noninertial frame rotates uniformly about an axis fixed with respect to an inertial frame. The acceleration of the point in question was seen in Chap. 2 to be  $a_0 = -\omega^2 \mathbf{r}$  with respect to the inertial frame, where  $\mathbf{r}$  is directed outward to the particle from the axis and is perpendicular to the axis. Equation [...] expresses the famous centripetal acceleration. The mass might be constrained to be at rest by a stretched spring. The specification that in the noninertial frame  $a = 0$  leads [...] to  $\mathbf{F}_0 = -M \omega^2 \mathbf{r}$ . The fictitious force  $\mathbf{F}_0$  in this example is called the centrifugal force [...] and it is directed away from the axis (Kittel et al 1973, p. 112).

We also compare the concept expressed in Examples 1 and 2 by checking in books of rational mechanics as an example one is reported as follows:

Nella descrizione dell'osservatore inerziale, P si muove di moto circolare uniforme e quindi ha un'accelerazione normale  $-\omega^2(P-Q)$  diretta verso il centro Q (centripeta); nella descrizione dell'osservatore rotante, P è fermo ed è soggetto oltre alla forza F a un'altra forza che equilibra F e tende ad allontanare dal centro Q (centrifuga) ( Cercigani 1976, p.80).

We can observe a strong difference between the Newtonian concept as expressed by Maggi et al. and the modern view. In modern view non-inertiality is employed as an essential requirement to define the centrifugal force. We argue that this change in the paradigm from early Newtonian description to the modern one is probably due to the persistent influence of Mach's criticism to newtonian mechanics (Pagano A. & Pagano E.V. 2021, p.1).

#### 4. Conclusion

In teaching classical mechanics by modern educational textbook we find a considerable differences as compared to the original Newtonian approach, in defining the notions of real and apparent forces and in particular in the description of the concept of *centrifugal force*. In the (original) Newtonian approach followed by Maggi (and by Bernini and many others in Italy and Europe at the beginning of 1900) no quotation is made to the notion of *non-inertiality* of a reference system in order to describe the concept of *centrifuge*, which instead is only described in term of the principle of *action and reaction* (Newton's III law) and therefore the *centrifuge* assumes the value of real force. We notice that by using the concept of *non-inertiality* to describe the concept of centrifugal force, as *apparent force*, as it is found in different modern textbooks, is unusefull or even misliading. However, if a definition of apparent force has to be used in educational textbook, the term can be used to describe a centripetal force (and not a cetrifugal one!), as seen by a *non inertial* rotating system. This centripetal force disappears at changing the coordinate system (an example is given in the text, see Fig. 4) from a *non-inertial* to an *inertial* one.

#### Bibliography

- Newton, I. (1687). *Philosophiae naturalis principia mathematica*. London: Jussu Societatis Regiae ac Typis Josephi Streater.
- Huygens, C. (1673). "De vi centrifuga", in Huygens, C. (1888) *Oeuvres completes de Christiaan Huygens* (22 vols). Le Haye: Nijhoff, vol. XVI., pp. 255-301.
- Bernini, A. (1925). "Osservazioni sulle comuni trattazioni della forza centrifuga e su alcune illustrazioni del principio della azione e reazione", *Il Nuovo Cimento* II(4), pp. 439-484.
- Scott, G.D. (1957). "Centrifugal forces and Newton's laws of motion", *American Journal of Physics* 25, p. 325.
- Moreno, G.A. & Barrachina, R.O. (2008). "A velocity-dependent potential of a rigid body in a rotating frame", *American Journal of Physics* 76, pp.1146-1149.
- Maggi, G.A. (1926). "Che cos' è la forza centrifuga", *Il Nuovo Cimento*, 3(1-2), pp. 21-30.
- Maggi, G.A. (1921). *Dinamica dei sistemi*. Pisa: Spoerri.
- Borsellino, A., Ageno, M. & Polvani, G. (2004). "Forze reali ed apparenti", *Giornale di Fisica* XLV(1), pp. 47-59.
- Mazzoldi, P., Nigro, M. & Voci, C. (2009). *Elementi di fisica, meccanica – termodinamica* (II edizione). Naples: EdiSES.
- Kittel, C., Knight, W.D, & Ruderman, M.A. (1973). *Berkeley physics course 1. Mechanics* (2nd edition). New York: Mc Graw Hill.

Cercigani, C. (1976). *Spazio tempo movimento. Introduzione alla meccanica razionale*. Bologna: Zanichelli Bologna.

Pagano, A. & Pagano, E.V. (2021). “Mach’s criticism against the Newtonian concept of mass revisited”, *Eur. J. Phys* 42, pp. 1-13.



## ***C'erano una volta le nebulose...*** **Episodi del viaggio oltre i bastioni della Galassia**

Roberto Rampazzo<sup>1</sup>, Valeria Zanini<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INAF Osservatorio Astronomico di Padova, Osservatorio Astrofisico di Asiago, Via dell'Osservatorio 8, 36102 Asiago, [roberto.rampazzo@inaf.it](mailto:roberto.rampazzo@inaf.it)

<sup>2</sup> INAF Osservatorio Astronomico di Padova, Vicolo dell'Osservatorio 5, 35122 Padova, [valeria.zanini@inaf.it](mailto:valeria.zanini@inaf.it)

*Abstract:* We are preparing a book that introduces the reader to the history of extra-galactic astronomy. The evolution of telescopes in 1700s and the introduction of the photographic plate in the first decades of the 1800s led to the debate on the nature of nebulae in 1920. The last century, widely referred to as the *Cosmic Century*, has seen unimaginable developments in the study of galaxies, starting with the Milky Way and ending almost as far back as the Big Bang. Aimed at high school students, born out of the experience of “alternanza scuola-lavoro”, the book focuses on astronomers, their ideas and techniques. Although rigorous, the book aims to have the lightness of a watercolour, which is why we have chosen to illustrate it only with drawings and explanatory plates.<sup>1</sup>

*Keywords:* History of Astronomy, Didactics of Astronomy

### **1. Introduzione**

Per quanto possa sembrare strano, non esiste un testo inerente a una vera e propria storia dell'astronomia extra-galattica, sicuramente non nella nostra lingua, l'italiano, nonostante l'importanza culturale dell'argomento. La bibliografia extragalattica è sterminata e in questa sono sparsi articoli di storia che sono interessantissimi, ma incompleti perché datati (Ferne, 1970) o limitati ad eventi particolari, come nel caso del *Great Debate* e delle prime ricerche su  $H_0$  (Trimble, 1995; 1996). Esistono poi recentissime e rigorose biografie di astrofisici extragalattici del secolo scorso (e.g. Johnson, 2019) o altri testi, di impostazione astrofisica, indirizzati a laureati, che trattano argomenti di astronomia extragalattica e cosmologia. Sviluppando alcuni argomenti, come la materia oscura o i buchi neri, questi ultimi riportano note di storia delle scoperte e delle leggi fisiche che le caratterizzano (e.g. Longair, 2006). Non mancano articoli di filosofia della scienza in cui le scoperte chiave della cosmologia sono considerate per le loro implicazioni nel pensiero filosofico di quest'ultimo secolo (e.g. Swart, Bertone & Dongen, 2017).

La scoperta di Edwin Powel Hubble (1889-1953) che le nebulose faticosamente catalogate fin dalla fine del 1700 (Messier, 1781) erano effettivamente gli *universi-isola* ipotizzati da Immanuel Kant (1724-1804), ossia galassie come la Via Lattea (Hubble 1925), ha indubbiamente rivoluzionato la cosmologia ed il pensiero contemporaneo. Se la rivoluzione copernicana ci ha piazzati su un piccolo pianeta orbitante attorno al Sole, la rivoluzione di Hubble ci confina alla periferia di un sistema, la Via Lattea, simile a miliardi di altri, alla mercè del rude flusso di espansione dell'Universo (Hubble, 1929). Raccontare la storia, o meglio le storie, di quel fiume in piena che è da quasi cento anni l'astronomia extragalattica, dell'evoluzione tecnologica che l'ha costantemente accompagnata, degli indirizzi di ricerca fatti di straordinari successi ed altrettanto clamorosi fallimenti, degli astrofisici che vi hanno contribuito, è l'obiettivo del libro che stiamo scrivendo.

---

<sup>1</sup> I disegni e gli acquerelli sono opera di Anna Benetti, Lucia Zarantonello e Sandra Zedda.

## 2. Come e con chi vogliamo comunicare

Il libro prende spunto da esperienze di comunicazione molto diverse tra loro. L'idea di base nasce dalla preparazione delle tracce di interviste a 50 astronomi extragalattici di diversi paesi, competenze ed età, poi raccolte nel libro *From the Realm of the Nebulae to Populations of Galaxies* (D'Onofrio, Rampazzo & Zaggia eds, 2016, da qui in avanti DRZ). Una delle review del libro fatta da Philip Herbig (2017) su *The Observatory* ne coglie in pieno l'ambizione:

Gli articoli scientifici vanno bene se si vuol sapere *cosa* pensano gli autori sui loro argomenti di studio, ma la struttura ad intervista della narrazione di questo libro fornisce spunti di riflessione anche sul *perché* [...]. Le domande e le relative risposte forniscono un'idea migliore di ciò *che gli astronomi pensavano all'epoca e del perché e quali domande erano considerate importanti*.

Altre esperienze all'origine del libro sono di tipo didattico. La prima riguarda una serie di lezioni tenute presso l'Osservatorio Astrofisico di Asiago indirizzate a studenti degli ultimi anni di liceo nell'ambito dell'alternanza scuola-lavoro e ai ragazzi qualificatisi nelle selezioni per le Olimpiadi di Astronomia. Ad entrambi i gruppi, per un totale di circa 130 studenti negli anni 2018 e 2019, è stato offerto un breve corso di storia dell'astronomia extragalattica 'sceneggiato' dal libro citato. Durante i corsi abbiamo notato che i loro appunti assomigliavano ad un  *carnet de voyage*, con molti disegni e schemi, sebbene le immagini mostrate per spiegare loro, ad esempio, le classificazioni delle galassie o le osservazioni in varie bande dello spettro elettromagnetico, fossero tratte dalle più recenti fotografie astronomiche. Questo fatto ha fornito l'idea di utilizzare tavole, schemi e disegni per chiarire le spiegazioni del libro che si intende realizzare, lasciando agli studenti il compito di cercare in rete le immagini e le foto scattate dai più moderni satelliti. Se guardiamo ai tanti libri divulgativi che circolano oggi, anche di successo, vediamo infatti come le immagini invecchino più precocemente di un album di famiglia, superate da sempre nuove osservazioni.

Un'altra esperienza didattica, per noi molto significativa, è stata la preparazione di un set di tavole per ricordare la figura e l'opera di Guido Horn d'Arturo (1879-1967) in occasione dell'inaugurazione e dedizione del telescopio ASTRI a questo insigne astronomo del secolo scorso (Zarantonello, Rampazzo & Zanini, 2019). A distanza di più di due anni dalla prima presentazione, ci viene ancora richiesto di riproporle ad incontri e convegni organizzati in sua memoria.

Il target del libro sono dichiaratamente gli studenti degli ultimi anni di liceo e quelli dei corsi universitari di discipline scientifiche. Ai primi, il libro intende fornire un supporto nell'orientamento post-diploma mentre ai secondi vuol dare una visione storica della ricerca nel campo dell'astronomia extragalattica. Il linguaggio usato introduce volutamente termini tecnici nella loro dizione inglese, per costruire nel lettore il vocabolario specifico della disciplina. A conclusione del volume, si darà anche l'indice analitico degli argomenti e dei personaggi.

L'idea, quindi, è di unire un testo semplice e rigoroso, che narri la storia delle idee e degli astronomi, ad una grafica da comics. Si è pensato che questo fosse un modo efficace e innovativo per comunicare la rivoluzione extragalattica cominciata un secolo fa. Partendo dall'assunto attribuito al naturalista danese Niels Steensen (1638-1686) "belle sono le cose che si vedono, più belle quelle che si conoscono, bellissime quelle che si ignorano", confidiamo che l'accattivante veste grafica possa raggiungere un pubblico più vasto e generico, che valichi i confini dei soli studenti. Gli acquerelli che illustrano il volume, alcuni dei quali inseriti a corredo di questo articolo, sono opera di tre artiste di tre generazioni diverse: Anna è una studentessa, Lucia è professoressa di matematica in un liceo, mentre Sandra è una ex insegnante e una nota artista sarda. Siamo molto grati della loro collaborazione ed è nostra intenzione presentare il libro assieme alla collezione dei loro acquerelli, in tutti i contesti in cui esso sarà proposto.

**Tabella 1:** Piano dell'opera.

Parte	Titolo	Descrizione	Periodo
Introduzione			
Capitolo 1	L'epopea delle nebulose	pre lastra fotografica	fino a 1845
Capitolo 2	Un computer di nome Henrietta	pre Great Debate	fino a 1920
Capitolo 3	Le ragioni di Heber e quelle di Harlow	Great Debate	1920 -1924
Capitolo 4	Il regno di Edwin	dalla scoperta alla classificazione delle galassie	1925 – 1990
Capitolo 5	Mondi che collidono	peculiari e revisioni di classificazioni	1960 -
Capitolo 6	Dalla massa mancante a MOND	tutto ancora in ballo	1933 -
Capitolo 7	$H_0$ : storia di una costante	da Lemaitre alla $H_0$ tension	1927 -
Capitolo 8	Mappe del Nuovo Mondo e la questione $q_0$	da Supergalaxy a Laniakea	1938 -
Capitolo 9	Il diavolo in corpo	storia di AGN, BH e dintorni	1963 -
Capitolo 10	Galassie a colori	storia e osservazioni multibanda	1950 -
Capitolo 11	A caccia delle prime galassie	storia delle strategie e risultati	1980 -
Capitolo 12	Storie di ordinaria evoluzione: la Via Lattea e le altre	verso un quadro evolutivo	2000 -
Capitolo 13	Nuovi occhiali ed altre meraviglie	strumenti, surveys e simulazioni	2000 -
Epilogo	Dopo Hubble cosa è veramente cambiato?	qualche riflessione storico-filosofica	2000 -

### 3. Il piano dell'opera e i contenuti

Il piano dell'opera è descritto in Tabella 1. Il libro si compone di 13 capitoli nei quali sono stati suddivisi i vari argomenti, spesso dedotti dalle interviste pubblicate nel già citato *From the Realm of the Nebulae to Populations of Galaxies* (DRZ), che si estendono fino ai nostri giorni. Infatti, molti degli studi attuali hanno una radice che affonda proprio nella storia e nelle straordinarie intuizioni che hanno avuto i pionieri dell'astronomia extragalattica. Proprio per questo, ad alcuni di essi sono dedicate delle brevi biografie e un po' di aneddotica per incuriosire il lettore. Ogni capitolo è corredato di numerose note in

calce, che forniscono degli approfondimenti, le formule inerenti agli argomenti trattati, ma soprattutto una ricca bibliografia per ulteriori approfondimenti.

All'interno dei capitoli vengono spesso trattate tematiche parallele. Il Capitolo 6, ad esempio, che è incentrato sul problema della materia oscura, presenta le scoperte fatte dalla scuola di Padova in fatto di cinematica di galassie ellittiche a partire dal 1975 in un contesto internazionale tutto indirizzato allo studio delle spirali, dalla cui curva di rotazione era stata dedotta la presenza di tale materia oscura. Gli studi del gruppo di Padova sono stati fondamentali per comprendere la natura delle galassie early-type i cui spettri mostravano esempi di contro-rotazione, stelle-stelle, gas-stelle, gas-gas, dovute ad interazioni, di varia natura, inclusi fenomeni di fusione tra galassie accaduti in passato.



**Fig. 1.** (sinistra) M51a, in basso, e M51b, in alto (alias NGC 5194, *The Whirlpool Galaxy*), tratta dai disegni di William Parsons, III Earl of Rosse nel 1845 in era pre-fotografica. (destra) M82 (alias NGC 3034, Arp 337, *The Cigar Galaxy*) visione artistica tratta da un'immagine ottenuta dalla sovrapposizione di osservazioni multifrequenza (carboncino (sinistra) ed olio (destra) di Sandra Zedda).

Ad ogni capitolo vengono associati almeno tre disegni o acquerelli. Si mostrano alcuni esempi di galassie, telescopi e protagonisti rispettivamente in figura 1, figura 2 e figura 3.

Come specifico approfondimento, in merito ad esempio ai maggiori telescopi dell'epoca in esame e alle loro caratteristiche ottiche, si utilizzano poi delle tabelle, oppure degli inserti di testo e grafici, alcuni esempi dei quali sono mostrati in figura 4.

#### 4. Stato attuale del progetto

Al momento attuale sono completati i primi sei capitoli. I primi quattro capitoli hanno utilizzato come fonte di riferimento materiale storico già presente in letteratura, anche se in modo molto frammentato. I capitoli 5 e 6 si estendono fino ai nostri giorni e quindi richiedono anche lo studio della letteratura scientifica più recente. Questo comporta anche il dover effettuare una ‘selezione’ della letteratura, spesso su argomenti che sono ancora in via di studio. Si sfocia così in un racconto che è più vicino alla cronaca che alla storia, ma l’obiettivo è proprio quello di dare un quadro che sia il più aderente possibile ai filoni di studio storici o attuali seguiti dagli astronomi che si sono cimentati in questo campo.



**Fig. 2.** (sinistra) ‘The large 20-foot’ (apertura di 18.7 pollici), costruito da William Herschel che lo utilizzò dal 1783, andando a sostituire il precedente ‘small 20-foot’ (12 pollici). (destra) Telescopio ‘Bruce’ (24 pollici) ad Arequipa (Perù) dell’Harvard Observatory College, operativo dal 1893 al 1913 (acquerelli di Lucia Zarantonello). Questo telescopio è stato utilizzato per ottenere lastre fotografiche delle Nubi di Magellano dalle quali Henrietta Swan Leavitt (1869-1921) ricavò la relazione periodo-luminosità.

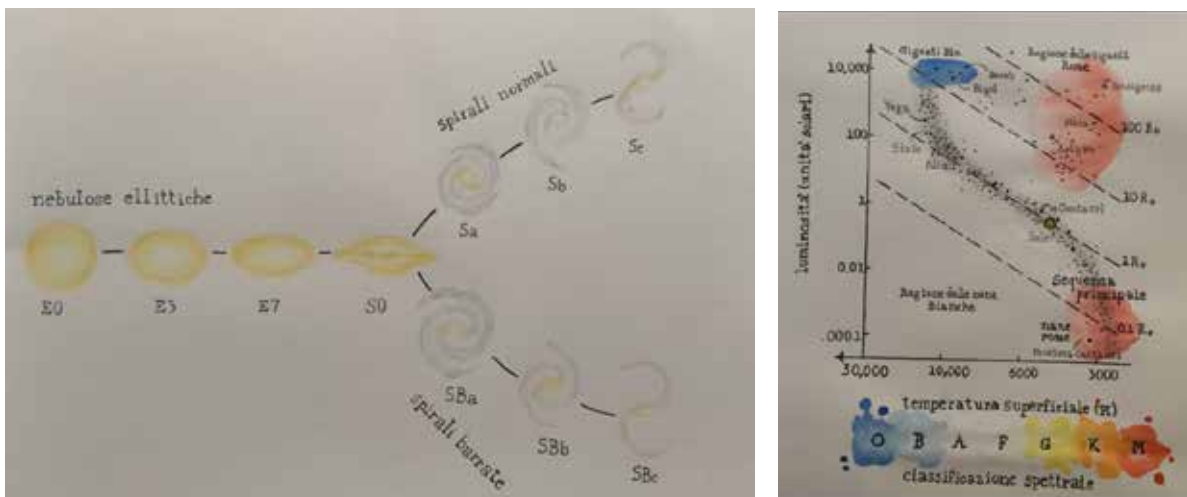
Alcuni argomenti, essendo ancora di stretta attualità, sono inevitabilmente ancora piuttosto controversi. Il Capitolo 6 che, come abbiamo detto, tratta la questione della materia oscura, parte dai lavori messi in campo già nel 1937 da Fritz Zwicky (1898- 1974) e successivamente portati avanti da Vera Rubin (1928-2016). Ad oggi, nel XXI secolo, sappiamo che la questione è tutt’altro che risolta, dato che dal 1983 si è affacciata una nuova teoria, denominata MOND (Sanders, 2015) che propone delle alternative all’ipotesi della materia oscura, modificando la dinamica Newtoniana. De Rujula (2021, p. 26) scrive:

L’enormità delle sfide poste alla scienza dalla parte oscura dell’Universo è senza precedenti. Gli scienziati hanno reagito con il loro solito ingegno e dedizione. Hanno visto vaste aree dello spazio delle possibilità inaridirsi. Non c’è una vera conclusione.





**Fig. 3.** (sinistra) Edwin Powell Hubble (1889-1953). (destra) Adriaan van Maanen (1884-1946). Entrambi i ritratti, eseguiti a a matita e tratti da foto d'epoca, sono opera di Sandra Zedda.



**Fig. 4.** (sinistra) Rivisitazione della classificazione morfologica di Hubble del 1936. Tavola a matite colorate. (destra) Diagramma Hertzsprung-Russell. Tavola ad acquerello. Entrambe le tavole sono opera di Anna Benetti.

Il capitolo 7, dedicato alla storia di  $H_0$ , sarà anch'esso un capitolo aperto, dato che tuttora esiste la cosiddetta  $H_0$ -tension. Weendy Freedman (2017, p. 2) scrive:

È sicuramente da notare che la misura locale di  $H_0$  si basa sull'astrofisica delle stelle, mentre i risultati del fondo cosmico di microonde (CMB) si basano sulla fisica

dell'Universo primordiale: i risultati sono completamente indipendenti l'uno dall'altro. Anche se sono trascorsi 13,8 miliardi di anni di evoluzione dell'Universo dalla superficie dell'ultimo scattering della CMB, le due misure concordano meglio del 10%. Visto da una prospettiva storica, l'accordo è ancora più notevole. Tuttavia, le barre di errore attualmente stimate non si sovrappongono. Ma la discrepanza è reale?

Il valore di  $H_0$  derivato dal 'Key program Hubble Space Telescope' è  $72 \pm 2 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  contro il valore di  $67.8 \pm 0.9 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  derivato dai dati 'Planck' usando un CDM model. I valori differiscono di più di  $3\sigma$ : la corsa continua.

## 5. Previsioni e criticità

Prevediamo di concludere una prima stesura del libro per la primavera del 2023 in modo da poterlo dare alle stampe entro l'estate; per questo abbiamo partecipato alla call per il finanziamento della Ricerca Fondamentale – terza missione, bandita a marzo 2022 dall'INAF. Al momento della sottomissione di questa nota, e come in tante ricerche di astrofisica, non ci sono ancora risposte. L'unica criticità che dobbiamo affrontare rimane dunque quella del finanziamento necessario alla pubblicazione.

## Ringraziamenti / Acknowledgments

RR ringrazia il Museo *La Specola* dell'Osservatorio Astronomico di Padova per aver finanziato la partecipazione al congresso.

## Bibliografia

- Swart (de), J., Bertone, G. & Dongen (van), J. (2017). "How Dark Matter come to matter", *Nature Astronomy*, 1(3). doi: 10.1038/s41550-017-0059.
- De Rujula, A. (2021). "The dark side of the Universe" [Preprint]. Available at: arXiv:2108.01691 (Accessed: 11 November 2022).
- Fernie, J.D. (1970). "The historical quest for the nature of the spiral nebulae", *Publication of the Astronomical Society of the Pacific*, 82(490), pp. 1189-1230. doi: 10.1086/129028.
- Freedman, W.L. (2107). "Cosmology at a crossroads", *Nature Astronomy*, 1. doi: 10.1038/s41550-017-0121.
- D'Onofrio, M., Rampazzo, R. & Zaggia, S. (eds.) (2016). "From the Realm of the Nebulae to Populations of Galaxies: Dialogues on a Century of Research", *Astrophysics and Space Science Library*, 435, Heidelberg: Springer.
- Herbig, P. (2017). "Reviews", *The Observatory*, 137, pp. 185-186.
- Hubble, E.P. (1925). "Cepheids in Spiral nebulae", *The Observatory*, 48, pp. 139-142.
- Hubble, E.P. (1929). "A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 15(3), pp. 168-173.
- Johnson, J. (2019). *Zwicky. The outcast genius who unmasked the Universe*, Cambridge Massachusetts, London England: Harvard University Press.
- Longair, M.S. (2006). *The Cosmic Century, A History of Astrophysics and Cosmology*, Cambridge UK: Cambridge University Press.



- Messier, C. (1781). "Catalogue des Nébuleuses et des Amas d'Etoiles", *Connoissance des Temps ou des Mouvements Célestes pour l'année bissextile 1784*, pp. 227-267.
- Sanders, R.H. (2015). "A historical perspective on modified Newtonian dynamics", *Canadian Journal of Physics*, 93(2), pp. 126-138. doi: 10.1139/cjp-2014-0206.
- Trimble, V. (1995). "The 1920 Shapley-Curtis discussion: background, issues and aftermath", *Publication of the Astronomical Society of the Pacific*, 107, pp. 1133-1144.
- Trimble, V. (1996). "H<sub>0</sub>: the incredible shrinking constant 1925-1975", *Publication of the Astronomical Society of the Pacific*, 108, pp. 1073-1082.
- Zarantonello, L., Rampazzo, R. & Zanini, V. (2019). "L'avventura di Guido Horn d'Arturo a fumetti", *Giornale di Astronomia*, 45(2), pp 44-52.

# WOMEN, SCIENCES, SCENARIO

## “Qui siamo tutti astronomi”? *Les petites mains*

Benedetta Campanile

Seminario di Storia della Scienza, Università degli Studi di Bari “Aldo Moro”, [benedetta.campanile@uniba.it](mailto:benedetta.campanile@uniba.it)

*Abstract:* The first women to have scientific recognition in the space of astronomy belonged to the Harvard College Observatory. But in other cases, women have remained nameless faces, relegated to the role of helpers to dispose of the amount of data produced by photographic applications. They do not appear in publications, and it is difficult to reconstruct their presence in the laboratories because only a few oral testimonies remain, tainted by the lability of memory.

In this report, two Italian cases are brought to light. The first concerns the four nuns who worked at the Specola vaticana and contributed to the creation of the part of the Astrographic Catalog of the “La Carte du Ciel” project, entrusted to the observatory of the Catholic Church. The second concerns a dozen young women, called scanners, who worked in the laboratory of the Institute of Physics of the University of Bari and contributed to the international research program on high-energy particles coordinated by CERN of Geneva.

This work aims to bring out the contribution of these “petites mains”, because from their daily work, carried out side by side with scientists, research methods can be reconstructed and some aspects can be reflected on: the progressive specialization of the work of the “Handyman boy” in the scientific laboratory; if the structuring of the work that distinguishes between anonymous helpers and manager-scientist is so clear-cut in reality; at last, if the hierarchical structuring of work has determined a professional, intellectual and social “supremacy” within the scientific community.

*Keywords:* Specola vaticana, University of Bari, Bubble chamber, Carte du ciel, Women

### 1. Introduzione

«Qui siamo tutti astronomi» è la frase pronunciata dal Cardinale Pietro Maffi, appassionato divulgatore di astronomia, alla presenza del Re d’Italia in Campidoglio, per fugare ogni timore di ingerenza della religione nei futuri studi scientifici della Specola vaticana (Maffeo 2001, p. 76). Ma sotto forma di domanda, la stessa frase è un invito alla riflessione sul ruolo delle donne nella ricerca in astronomia per capire se la disparità di genere abbia condizionato o meno la produzione del sapere. Tra Otto e Novecento, infatti, la ricerca astrofisica ha registrato la presenza di un “piccolo popolo” di donne i cui volti sono rimasti per la maggior parte anonimi perché non avevano pari dignità dei ricercatori uomini pur svolgendo un lavoro indispensabile, quotidianamente al loro fianco. Lo scopo di questa relazione è far emergere dall’ombra queste figure, le cosiddette *petites mains* (Waquet 2022), e confrontare il loro contributo alla crescita della conoscenza nei diversi periodi e nelle diverse zone. Collocare correttamente il loro lavoro nell’organizzazione della ricerca (stabilire “chi fa” e “chi aiuta”), infatti, è utile a ricostruire i metodi della ricerca e i cambiamenti del fare scienza nel Novecento, come la progressiva specializzazione e professionalizzazione del tecnico di laboratorio e la gerarchizzazione dei ruoli: a capo lo scienziato “manager”, abile nell’assegnare il “collaboratore giusto al posto giusto” e alla base della piramide il “semplice” osservatore. Infine, a margine, nell’ombra, le aiutanti a svolgere il lavoro di massa in laboratori trasformati in fabbriche efficienti per la produzione scientifica (Lamy 2007, p. 369).

## 2. L'Harvard College Observatory tra biscotti e calcoli spettrali

Nel 1875, mentre qualcuno ancora dubitava dell'uguaglianza tra i sessi ed escludeva le donne dall'accesso agli studi scientifici riservati agli uomini,<sup>1</sup> l'Harvard College Observatory (HCO) di Boston rompeva la tradizione e assumeva personale femminile. Si trattò inizialmente di donne con legami familiari con i dipendenti, come la moglie dell'astronomo William Augustus Rogers (1832-1898), o le figlie di due ex direttori, Anna Winlock (1857-1904), e Selina Cranch Bond (1831-1920). Tutte erano esperte di calcoli e avevano una passione per le stelle (Haley 2017, p. 3). Ma fu Edward Charles Pickering (1846-1919), quarto direttore dell'HCO, ad assumere intenzionalmente donne per il progetto *Henry Draper Memorial Catalogue*, il catalogo delle stelle del cielo notturno realizzato in memoria di Henry Draper (1837-1882), il primo studioso ad aver avuto buoni risultati dall'applicazione della fotografia all'astronomia (Flammarion, Quéniasset 1945, p. 72).

Nell'austero ambiente di Harvard, la presenza di donne era giustificata dall'estrema precisione richiesta nell'esaminare le lastre fotografiche del progetto. Infatti, nessun collaboratore di Pickering era stato in grado di assicurarla. L'astronomo aveva collegato una fotocamera al telescopio Bache da 8 pollici dell'HCO e aveva immortalato sulle lastre gli istanti delle osservazioni che potevano così essere analizzate successivamente da altri e confrontate con nuove registrazioni. La nuova tecnica generò una quantità di dati mai ottenuta prima, che, paradossalmente, richiedeva tantissime ore di analisi da parte di attenti e pazienti lettori. Un lavoro apparentemente noioso perché svolto lontano dal telescopio e privo del fascino dell'osservazione diretta ma ricco di soddisfazioni, come la scoperta delle stelle variabili.

Pickering affidò le misurazioni ad abili “calcolatrici”, dette *computers*, che erano altrettanto esperte cuoche (Sobel 2017, p. 269). Esse ne trassero un innovativo sistema di classificazione delle stelle, ma il loro compenso era minimo, circa 25 centesimi di dollaro all'ora, metà della paga di un uomo (Haley 2017, pp. 2-32). Il calcolo e la misurazione delle stelle potevano richiedere anche “diversi chili di ore-ragazze” come le definiva scherzando l'astronomo Harlow Shapley (1885-1972) (Sobel 2017, p. 238).

In questo ruolo sottopagato le calcolatrici dell'HCO furono protagoniste della trasformazione del concetto di osservazione astronomica: dal rilevamento di tradizione galileiana, fatto di annotazioni cumulative nel tempo, si passava all'osservazione registrata che consentiva analisi a posteriori. Questo tipo di lettura richiedeva capacità di selezione e classificazione, frutto del consapevole allenamento di specifiche abilità che gli scienziati tra XVII e XVIII secolo avevano imparato a valorizzare: percezione, attenzione, giudizio e memoria (Daston 2011, p. 93). Il “garzone di bottega tuttofare” con scarsa istruzione che in precedenza coadiuvava in tutto lo scienziato nel laboratorio era scomparso. Il nuovo lavoro trasformava la bottega in “officina” della conoscenza con mansioni molto precise e distribuite. Le ragazze assunte da Pickering, infatti, erano laureate in matematica o fisica nei college femminili ma per vicende familiari diverse avevano bisogno di un lavoro non troppo impegnativo. Le condizioni socio-economiche di fine Ottocento, rese difficili da guerre e malattie, favorirono quindi l'incontro tra offerta di lavoro, i contratti minimi dell'Osservatorio di Boston, e domanda, formata da donne sole o capo famiglia, che si contentavano di uno stipendio medio basso per la propria indipendenza.

L'iniziativa di Pickering fu solo apparentemente “rivoluzionaria”. Nel regno storicamente patriarcale dell'accademia di Harvard, infatti, la scelta di affidare a delle donne un lavoro ripetitivo era in linea con il pensiero dell'epoca, secondo il quale le donne erano adatte a compiti non troppo complessi come quello di segretaria. In fondo il lavoro di classificazione delle stelle confermava lo stereotipo della donna “fragile” adatta alla meticolosa annotazione dei dati in tabelle: la data di esposizione di ciascuna immagine, la regione del cielo, la posizione della stella, calcolata rispetto a stelle note, e la

<sup>1</sup> Nel 1873, in *Sex in Education*, il medico e docente di Harvard Edward Clarke sosteneva che le donne fossero troppo fragili per gestire lo stress del lavoro maschile.

sua magnitudine. Ciò che appariva “trasgressivo” per la borghesia era che delle ragazze lavorassero fuori casa in un ambiente totalmente maschile.

Più di ottanta donne lavorarono per Pickering durante il suo incarico di direttore dell’Osservatorio di Harvard, concluso nel 1918. Grazie al paziente uso di uno stereocomparatore, alcune di loro legarono il proprio nome ad avanzamenti significativi dell’astronomia: Williamina Paton Stevens Fleming (1857-1911) stabilì gli standard fotografici di magnitudine che servirono per i successivi sistemi di identificazione delle stelle variabili (Haley 2017, pp. 2-32); Antonia Maury (1866-1952) studiò gli spettri delle stelle binarie; Annie Jump Cannon (1863-1941) completò la classificazione spettrografica delle stelle variabili; Henrietta Swan Leavitt (1868-1921) scoprì circa 2400 stelle variabili e definì la relazione periodo-luminosità che fornì lo strumento per misurare le distanze nella galassia; infine, Cecilia Payne Gaposchkin (1900-1979) comprese la composizione delle masse stellari. Tutte erano anche perfette padrone di casa!

La loro massima aspirazione di carriera (consentita) era di diventare istruttrici di altre “calcolatrici”. Ci riuscì Williamina Fleming, madre single, che nel 1898, dopo quasi vent’anni all’Osservatorio e la catalogazione di oltre diecimila stelle, fu nominata curatrice delle foto astronomiche dell’Osservatorio (Haley 2017, pp. 2-32), ma sulla scheda per la richiesta della cittadinanza statunitense sinteticamente si definì “astronoma” (Sobel 2017, p. 163). A lei furono riconosciuti il contributo per il *Dra-per Catalog of Stellar Spectra* (1890) e gli articoli *A Photographic Study of Variable Stars* (1907) e *Stars having Peculiar Spectra* (1912) anche se furono pubblicati a doppia firma con Pickering.

Dopo Fleming, nel 1921, Henrietta Leavitt fu nominata capo della sezione che si occupava di fotometria astronomica, tutta composta da donne, stabilizzando così il suo rapporto di lavoro con l’Osservatorio, sempre legato, per lei come per le colleghe, alle altalenanti disponibilità economiche dell’istituzione. Questa continuità di lavoro permise la formazione di nuove giovani “computers” che però alzarono il livello di aspirazione e riuscirono ad accedere ai corsi accademici per diventare astronome.

### 3. Le “buone pratiche”

L’iniziativa di Harvard di delegare il “lavoro sporco” a una manovalanza economica fatta di donne fu trasferita in Europa come “buona pratica” in occasione del progetto di mappatura delle stelle noto come la *Carte du Ciel*, guidato dall’Osservatorio di Parigi. François Félix Tisserand (1845-1896), nominato direttore dell’Osservatorio di Parigi nel 1892, successore dell’ammiraglio Amédée Mouchez, ideatore del progetto, decise di affidare quella massa di lavoro a giovani donne.

Si trattava di un lavoro corposo e molto ambizioso diviso tra 18 osservatori in tutto il mondo:<sup>2</sup> creare una mappa completa del Cielo significava identificare e catalogare tutte le stelle fino all’11a magnitudine. Per ottenere risultati compatibili, tutti gli osservatori adottarono rifrattori conformi al prototipo di equatoriale fotografico scelto dal Congrès de la Carte du Ciel, il modello dei fratelli Henry installato a Parigi con apertura di 33 cm, una cornice visiva di 26 cm e una lunghezza focale di 3,60 m. Il Ministero francese dell’istruzione pubblica finanziò gli altri tre strumenti degli osservatori di Bordeaux, Toulouse e Algeri.

Ciascun osservatorio era responsabile della catalogazione e della stampa delle lastre della sua regione di competenza. Gli astronomi dovevano registrare due serie di lastre fotografiche che poi dovevano essere stampate su metallo. Ogni piatto copriva due gradi quadrati di Cielo. Il numero di stelle da contare era enorme: da 1000 a 2000 stelle per piatto - più di un milione di stelle da misurare. Il numero di lastre necessarie per completare l’intero progetto era ~~enorme~~: di 22.000 e questo

---

<sup>2</sup> Nell’emisfero settentrionale furono reclutati osservatori in Inghilterra, Italia, Finlandia e Germania; in quello meridionale i telescopi in Messico, Brasile, Australia, Cile, Sud Africa e Argentina.

richiedeva un gran numero di ore di lavoro passate a misurare ciascuna stella con un macromicrometro di Gautier per ridurre la posizione in coordinate. Nel 1909, per semplificare la lettura dei cataloghi che erano redatti con differenti criteri a seconda delle diverse zone, fu pubblicata una *Mémoire sur Bulletin de la Carte du Ciel*, rinnovata nel 1928 (Lagarde 1928, pp. 17-35).

Le ragazze impiegate all'Osservatorio di Parigi formarono il primo Bureau des mesures des clichés du Catalogue. A dirigere le assistenti (le signorine: Schott, Marquette, Coniel e Dauphin) fu nominata Dorothea Klumpke, che era diventata anche formatrice delle nuove assunte: le signorine Dupuy, Bimm, Thomy e Duguen (Tisserand 1892, pp. 13-15). Klumpke fu anche la prima donna in Francia a laurearsi con una tesi di astronomia.

Tra gli osservatori partecipanti al Progetto, quelli di Toulouse, Bordeaux e del Vaticano seguirono l'esempio di Parigi.

#### 4. Gli Osservatori di Toulouse e Bordeaux

Anche il Direttore dell'Observatoire de Toulouse, Benjamin Baillaud, costituì un Bureau des dames, in cui lavorava un gruppo di ragazze, *les Dames de la Carte du Ciel* o *les calculatrices de l'observatoire de Toulouse*, - M.lle Lallemand, M.lle Rapas, M.lle Latapie, M.lle Monville - aiutate da alcune ausiliarie (Lamy 2006, pp. 101-120). Esse operavano la riduzione delle immagini delle stelle registrate sui cliché fotografici in coordinate, dopo aver calcolato l'ascensione retta e l'inclinazione rispetto alle coordinate di una dozzina di stelle note.

Il reclutamento in questo Osservatorio è esemplificativo delle condizioni che portarono all'assunzione delle donne. Nel mercato del lavoro "dei numeri", l'offerta di contratti dell'Osservatorio era incerta e precaria, perché la disponibilità finanziaria dell'istituzione variava con i cambiamenti politici. Di contro, la domanda era costituita da una nutrita richiesta di impieghi non troppo impegnativi anche se poco pagati avanzata da giovani donne che nonostante un'istruzione medio-alta erano in difficoltà economiche perché vedove o sole con figli o con i genitori ammalati.

Baillaud, quindi, si trovò a poter scegliere le candidate migliori tra le tante richiedenti, pur offrendo loro un salario minimo. Le prospettive professionali delle "calcolatrici" erano molto limitate, non avevano speranza di un avanzamento sociale grazie a un miglioramento della posizione lavorativa e alla fine la maggior parte rimase confinata nei compiti computazionali. Ma grazie alla lungimiranza del Direttore, che cercò di stabilizzare alcune ragazze (intorno al 1935 almeno 2 erano assunte stabilmente), l'Osservatorio poté avvantaggiarsi di lavoratrici affidabili ed esperte, presenti in maniera continuativa. Ciò permise una riorganizzazione dei compiti e la divisione tra quelli più semplici e quelli più complessi, che portò a una maggiore efficienza. La misura dei cliché fu, infatti, separata dalla riduzione e dalla statistica, che fu spostata all'esterno dell'Osservatorio.

Questa nuova realtà lavorativa costituì, quindi, l'inizio del cambiamento socio-tecnico, iniziato alla fine del XIX secolo e consolidatosi nel XX secolo, che aprì il mondo dell'ufficio alle donne e plasmò l'organizzazione del lavoro scientifico sul modello industriale, con la suddivisione delle mansioni e la meccanizzazione.

Le operatrici di Toulouse, come veri e propri computer umani, svolsero compiti ripetitivi ma specializzati che richiedevano una formazione scolastica elevata. Alcune di loro erano infatti diplomate o laureate in matematica. Si compiva così la trasformazione del "garzone di bottega", un tuttodfare poco istruito addetto a svariati compiti pratici di sistemazione degli apparati del laboratorio, in un tecnico specializzato, capace di classificare, cioè riconoscere e valutare i dati registrati e usare macchine complesse.

A supervisionare il lavoro delle *dames*, ma anche a coordinare il loro avvicinarsi, fu posto uno degli osservatori, l'astronomo Henry Bourget. Nasceva così anche il ruolo del ricercatore responsabile delle risorse umane.

Tutto ciò non cambiò la posizione di sottomissione della donna ad una struttura patriarcale in casa come sul lavoro. Le calcolatrici rimasero confinate in lavori di routine che rispondevano agli stereotipi di sempre: esseri fragili, pazienti, meticolose nei propri compiti che svolgevano quasi con “religiosa devozione”, prive di qualsiasi iniziativa personale.

Anche l’Observatoire de Bordeaux, diretto dall’astronomo Georges Rayet, nel 1896 assunse sei istitutrici come ausiliarie per eseguire con il micromacrometro di Gautier i calcoli numerici e le misure micrometriche delle lastre fotografiche per la Carte du Ciel. Rayet aveva ottenuto un finanziamento dalla città di Bordeaux per costruire una cupola per ospitare l’equatoriale fotografico Henry installato nel 1892 e un laboratorio fotografico con una sala di misurazione. Les Dames de la Carte du Ciel furono sistemate nei locali della Facoltà di Scienze a Bordeaux.

I cliché erano lastre di vetro ricoperte di gelatina delle dimensioni 16x16 cm. Ma a Bordeaux furono realizzate fotografie di stelle fino alla 11<sup>ma</sup> magnitudo grazie a una sequenza in parallelo di scatti più brevi. Inoltre, tre pose successive furono fatte sullo stesso cliché per assicurare un giusto contrasto tra le stelle e le eventuali irregolarità della gelatina.

## **5. Specola vaticana**

Nel 1909, l’astronomo gesuita p. Johann Hagen, alla direzione della Specola vaticana dal 1905, decise di portare a termine l’impegno internazionale preso dall’Osservatorio con il Congrès de la Carte du Ciel. La Specola doveva catalogare le stelle della zona da +64° a +55°. Padre Laïs aveva già accumulato un gran numero di lastre fotografiche e l’Osservatorio aveva due strumenti di misurazione, il macromicrometro di Gautier, fatto acquistare da padre Denza, e quello di Turner, usato da padre Rodriguez, ma mancava il personale per i calcoli.

Sull’esperienza dell’Osservatorio di Parigi, p. Hagen cercò personale femminile al quale assegnare le misurazioni. A luglio del 1909, il Cardinale Maffi, presidente dell’Osservatorio, contattò l’istituto religioso più vicino alla Specola, le Suore di Maria Bambina, e avanzò la richiesta per la disponibilità di «due suore con una buona vista, pazienti e con attitudine al lavoro metodico e meccanico» (Maffeo 2001, p. 78). La Madre superiora acconsentì a far lavorare prima due, poi tre e infine quattro suore alla Specola. Probabilmente, la badessa intuì il potenziale sociale di quel lavoro. L’ordine di Maria Bambina era stato fondato da S. Bartolomea Capitanio nello spirito della carità e con questo ideale l’impegno astronomico fu assunto come un servizio. Le testimonianze narrano, infatti, di una dedizione assoluta al lavoro delle quattro suore, che vennero soprannominate “le donne calcolatrici” per la bravura nell’usare le formule per calcolare le coordinate e riportare i valori sui fogli del catalogo (Maffeo 2001, p. 77). Le religiose erano molto attente alla revisione delle tabelle, per non farsi sfuggire nessun errore tra le “infinite colonne di cifre”. Il cardinale Maffi affermava che «Elles font ce travail, me disait quelqu’un, avec un soin... scrupuleux: elles s’accuseraient, comme d’un péché, d’une faute de calcul ou d’une distraction» (G. 1910, p. 3).

Il lavoro scientifico fu interpretato alla stessa stregua dell’osservanza delle regole monastiche. L’“osservazione” era diventato un modo di ragionare e di vivere (Daston 2011, pp. 102-104), perché era considerato uno strumento di verifica delle ipotesi.

Nel 1921 le misurazioni furono completate: in dieci anni le suore calcolarono le posizioni di 481.215 stelle, da cui furono stampati dieci volumi e la Specola fu tra i primi 5 osservatori a completare il lavoro insieme a Greenwich, Oxford, Algeri e Capo Buona Speranza.

Nel 1920, Papa Benedetto XV volle premiare il gruppo di astronomi della Specola con un’udienza privata durante la quale donò un calice d’oro; otto anni dopo, anche papa Pio XI conferì dei riconoscimenti: una medaglia d’oro ciascuno per p. Hagen e per il prof. Herbert Hall Turner (1861- 1930) (il professore di Oxford che aveva fornito le posizioni delle costanti sulle lastre); 2 medaglie d’argento per i due assistenti di Turner; un orologio d’argento per Pio Emanuelli, aiutante di p. Hagen, e una



medaglia al merito con un premio in denaro di L. 5000 al custode Carlo Diadori, che aveva sostituito p. Lais nelle riprese delle ultime sei lastre. E, infine, una medaglia d'argento alle suore, che rimasero comunque anonime (Maffeo 2001, p. 78). Infatti, i loro nomi – Emilia Ponzoni, Regina Colombo, Concetta Finardi e Luigia Panceri – sono emersi solo di recente grazie al lavoro di p. Sabino Maffeo (Glatz 2016).

Il programma della Carte du Ciel fu chiuso incompleto nel 1970, perché alcuni osservatori non riuscirono a completare il proprio compito e le nuove tecnologie resero inefficiente la misurazione manuale. Ma come affermava p. Lais – «C'est pour la postérité que nous travaillons» (G. 1910, p. 3) –, il patrimonio di fragili immagini del Cielo è rimasto a testimonianza non solo degli istanti catturati ma anche della paziente cura delle *petites mains* che misurarono le stelle.

## 6. Le Camere a Bolle

Dopo la Seconda Guerra Mondiale nuove tecnologie resero possibili nuove sfide per misurare l'invisibile: tracciare i percorsi delle particelle elementari ad alte energie. Le indagini sull'infinitamente piccolo erano state generate dagli studi sulla radiazione cosmica e dall'osservazione della prima particella subnucleare, il "mesone". Dal momento in cui Donald Arthur Glaser (1926-2013), nel 1952, inventò le camere a bolle ed entrarono in funzione gli acceleratori di particelle, i laboratori furono invasi da migliaia e poi milioni di fotografie riprese dalle telecamere ad alta velocità delle enormi camere a bolle dei grandi laboratori di fisica delle particelle - Lawrence Radiation Lab (LRL), Brookhaven National Lab (BNL), il Centro per la ricerca nucleare europea (CERN), il Lab di Dubna (Unione Sovietica) e Rutheford Lab (Regno Unito). Finalmente l'invisibile era reale! Le particelle subatomiche erano svelate dalla scia di bolle in un gas liquido (idrogeno) surriscaldato impresse sulle lastre fotografiche.

Ingenti investimenti furono fatti per l'elaborazione di questa massa di immagini, la cui analisi fu distribuita a centri minori. La scansione dei fotogrammi fu affidata a un esercito di tecnici poco pagati, detti *scanners* o "osservatori analisti", i cui nomi non comparvero nelle pubblicazioni scientifiche. Così si ripetevano le condizioni di fine Ottocento, che avevano portato le donne negli osservatori astronomici.

Giampietro Puppi (1917-2006) convinse gli ambienti statunitensi di Brookhaven a mandare in alcuni centri italiani i film (rotoli di fotogrammi) da analizzare. Il lavoro "sporco", noioso e lento, di individuare le traiettorie interessanti e registrarle in formato digitale fu affidato all'esperienza dei "lastristi" italiani che avevano lavorato sulle emulsioni fotografiche nucleari del progetto G-Stack con Michelangelo Merlin (1910-2002). Per i laboratori universitari di fisica di Bologna, ma soprattutto di Bari, sfiancati dalla guerra, fu un'opportunità unica per rientrare nei circuiti internazionali della ricerca. Non avendo apparecchi d'avanguardia, potevano almeno contare su una forza lavoro economica. Per la maggior parte furono donne o *scanning girls* (Giacomelli 2006, pp. 1-11).

L'attività durò trent'anni e diede importanti risultati teorici con numerose pubblicazioni su prestigiose riviste e congressi internazionali. A Bari, ad esempio, le ricerche produssero risultati di valenza internazionale sulle proprietà degli stati risonanti mesonici di massa intermedia, mentre al CERN, il risultato più importante fu il rilevamento delle correnti neutre nel 1973. La visibilità dell'invisibile rese più popolare l'oggetto di studio della fisica sperimentale che non aveva la stessa risonanza delle ricerche militari.

Questo lavoro si propagò nei laboratori analoghi di tutto il mondo e fu eseguito principalmente da donne, assunte appositamente con contratti temporanei. Esse lavoravano ai tavoli di misura, prima meccanici, con l'ausilio di regoli, poi elettromeccanici, con le calcolatrici, e, infine, digitali, collegati ai primi elaboratori elettronici.

La meccanizzazione del lavoro richiese una selezione del personale più accurata, come ricorda il gruppo di *scanners* del Weizmann Institute of Science di Israele. Qui l'assunzione era subordinata al superamento di un test attitudinale, fatto a Gerusalemme, in cui la candidata doveva dimostrare di avere coordinamento tra occhi e mani, attenzione ai dettagli, una buona vista e la capacità di lavorare in squadra (Weizmann Institute of Science 2014). Il laboratorio di ricerca era ormai una piccola industria della conoscenza e il coordinamento del corpo serviva per azionare tasti e avviare i calcoli.

Un ringraziamento particolare va al prof. Bruno Ghidini per avermi fornito i suoi preziosi ricordi indispensabili per ricostruire le storie delle donne che collaborarono alle ricerche sulle Camere a Bolle dell'Istituto di Fisica dell'Università di Bari negli anni Settanta (Ghidini, comunicazione personale, 18 Luglio 2022). I nomi di queste collaboratrici, come per le colleghe che lavorarono alla Carte du ciel, non comparvero nei progetti di ricerca e nelle pubblicazioni in quanto "aiutanti". Nei curricula personali quell'attività tecnica scomparve marginalizzata rispetto all'attività successiva amministrativo-contabile ritenuta più dignitosa. Infatti, solo dalle relazioni dei direttori dell'Istituto di Fisica, Fabio Ferrari (1973) e Luciano Guerriero (1977), trovate nei fascicoli personali delle collaboratrici, si riesce a risalire alla effettiva consistenza di quel lavoro.

Le tecniche nuove per la rilevazione degli eventi sub-nucleari furono portate a Bari da due giovani ricercatori, Aldo Romano (1934-2015), prima, e Bruno Ghidini, collaboratori di Michelangelo Merlin, da pochi anni direttore dell'Istituto di Fisica dell'Università di Bari. Nacque così un laboratorio specializzato nell'uso delle tecniche di camere a bolle per lo studio di risonanze mesoniche, generate dalle interazioni forti tra pioni e nucleoni, e iniziò la collaborazione internazionale, durata un decennio, tra quattro gruppi di ricerca per esperimenti di fisica subnucleare: Bari, guidato da Aldo Romano, Bologna, guidato da Giampiero Puppi e i due gruppi francesi di Saclay e Orsay.

A Bari il primo gruppo di lavoro su Camere a Bolle si costituì nel 1960 con Aldo Romano, Saverio Mongelli, Nicola Armenise e Nicola Abbattista; il secondo nel 1962, con Bruno Ghidini, Vittorio Picciarelli e Alberto Silvestri. «Per diversi anni a Bari non vi furono donne né nel gruppo di ricercatori né in attività di supporto, contrariamente a quanto accadeva nei gruppi di altre sedi» (Ghidini, comunicazione personale, 18 Luglio 2022).

La prima donna fu assunta nel 1963, la sig.na Sanpaolo, per la misurazione dei fotogrammi delle camere a bolle che arrivarono a Bari. La sua mansione era di "perforatrice" di schede, i cartoncini con i quali si inserivano i dati e le istruzioni nel calcolatore elettronico, un IBM 1800. «La macchina perforatrice aveva una tastiera molto simile a quella di una macchina per scrivere, per cui il compito dell'operatrice era assimilabile a quello di una dattilografa, mestiere a quei tempi tipicamente femminile (del resto una precedente esperienza con un operatore maschio aveva dato risultati disastrosi!). La sig.na Sanpaolo si dimostrò eccezionalmente brava, veloce, precisa, affidabile» (Ghidini, comunicazione personale, 18 Luglio 2022). La perforazione delle schede richiedeva maggiore attenzione, perché un piccolo errore faceva saltare l'esecuzione dell'intero lavoro.

Nello stesso 1963 "nacque un altro gruppo di Camera a bolle, guidato da Sergio Natali e di cui fecero parte all'inizio Franco Romano, Giacomo Piscitelli, Maria Teresa Muciaccia, e altri" (Ghidini, comunicazione personale, 18 Luglio 2022). Muciaccia fu la prima ricercatrice donna e i suoi lavori testimoniano i principali esperimenti svolti in quel periodo con le camere a bolle, sia per lo studio delle interazioni forti con ricerca e classificazione di nuove particelle (Bari determinò lo spin-parità della  $f_0$  e della  $B^-$ ); sia per lo studio delle interazioni deboli con studio e misura di interazioni da neutrini realizzati con le camere a bolle giganti del CERN. Intorno al 1966, l'aumento delle foto da analizzare richiese nuovo personale e sull'esempio di Brookhaven, Ginevra e Bologna furono assunte altre ragazze, poco più che ventenni: le signorine Lucia Patruno e Delia Bianco, anch'esse "precise, affidabili e responsabili" (Ghidini, comunicazione personale, 18 Luglio 2022).

Si trattò di assunzioni dirette, senza concorso, “per improrogabili esigenze di servizio”. La qualifica era di “tecnico avventizio 3° categoria”, non di ruolo, con pagamenti mensili a fattura sui fondi dell’Istituto di Fisica, per i progetti CNR-Università e CNR-INFN. Nel 1971 le ragazze furono inquadrare come “tecnici diurnisti”, non di ruolo sempre nella 3ª categoria. Quindi anche per loro, come per le “calcolatrici” di Harvard e della Carte du ciel si trattava di un lavoro ripetitivo, di precisione, precario e poco retribuito, un supporto tecnico alla ricerca per l’«analisi degli eventi ripresi nella camera a bolle esposta a fasci di particelle elementari provenienti dal protosincrotrone del CERN» (Bari, Archivio Generale di Ateneo (AGAB), *Fascicoli personale*, Patruno).

La relazione sull’operato della sig.ra Lucia Armenise Patruno, redatta il 5.02.1974 dal Direttore dell’Istituto di Fisica, Fabio Ferrari, esplicita i compiti svolti:

Ricerca di eventi di interazioni nucleari su films ripresi in camera a bolle, con registrazione su schede perforate; misura degli stessi eventi con apparecchi automatici di alta precisione connessi in linea diretta con un sistema IBM 1800; aggiornamento delle liste di eventi necessarie per un completo controllo delle registrazioni e delle misure (AGAB, *Fascicoli Personale*, Patruno).

Alle ragazze era richiesta capacità di selezione dei fotogrammi significativi per tracciare il percorso delle particelle; precisione nella perforazione delle schede per la registrazione degli eventi (coordinate); capacità di archiviazione. Patruno era anche responsabile del controllo della qualità delle misure e della preparazione delle nuove misurazioni. Come le *dames* della Carte du Ciel, le ragazze delle Camere a bolle avevano un’istruzione medio-alta.

Con la dismissione delle schede perforate e la fine dell’attività delle camere a bolle, le abilità acquisite, insieme all’esperienza nell’utilizzo del computer, permisero a Patruno e Bianco di stabilizzarsi definitivamente nell’Università grazie al superamento, nel 1977-78, solo 2 donne su 5 uomini, di un concorso pubblico per tecnico esecutivo. Ma dopo l’assunzione furono assegnate alle funzioni amministrativo-contabili. La Sanpaolo invece entrò nell’amministrazione dell’INFN.

A fine anni Sessanta si formò un nuovo gruppo di lavoro, sulle Camere a scintilla, guidato da Luciano Guerriero e fu allestito un terzo reparto di supporto con “operatori di osservazione e misura” per l’analisi dei fotogrammi di registrazione, costituito da giovani donne: Rosa Cannillo, Fausta Cannillo, la sig.ra Distante, la sig.ra Perchiazzi (Ghidini, comunicazione personale, 18 Luglio 2022). Anche loro, al termine dell’attività tecnica, passarono nell’Amministrazione.

Rosa Maria Cannillo fu assunta come tecnico e collaborò con il gruppo di Fisica sanitaria, per il quale creò l’archivio dosimetrico quando fu avviato il primo Servizio di radioprotezione universitario. Si specializzò quindi nell’uso di strumentazione di misura per il controllo dosimetrico e per il monitoraggio ambientale – camere di ionizzazione, scintillatori per radiazioni X e Gamma (camere proporzionali e scintillatori) per misure di contaminazione superficiale alfa, beta, gamma; dosimetria a termoluminescenza per X e Gamma (*Relazione a firma del Prof. Gigi Skoff*, 1989, AGAB, *Fascicoli personale*, Cannillo). Per la prima volta si iniziava a monitorare l’ambiente per la sicurezza della salute nei laboratori accademici dove si svolgevano attività a rischio da radiazioni ionizzanti. Dal 1983, anche Rosa Cannillo fu trasferita alla sezione amministrativa del Dipartimento di Fisica, neo-costituito (AGAB, *Fascicoli Personale*, Cannillo).

## 7. Conclusione

Ciò che emerge da questo studio è che l’ingresso delle donne nella ricerca astrofisica è coinciso con l’aumento dei dati prodotti dagli esperimenti, che richiedeva una manovalanza precisa, paziente, istruita e appassionata, ma a basso costo, per esaminarli. Questo lavoro marginale, svolto dalle *petites mains* nell’anonimato, ha determinato una gerarchia di valore nel lavoro intellettuale.

Infatti, la trasformazione del laboratorio scientifico in una moderna officina per la produzione della conoscenza con un'organizzazione gerarchica del lavoro ha posto le donne al gradino più basso. Ma l'acquisizione di abilità specialistiche, in particolare con gli studi matematici, ha permesso l'emancipazione delle donne dalla condizione di sottomissione a padri, mariti e fratelli. Le donne sono diventate formatrici di altre donne e hanno aperto le porte delle accademie alle successive generazioni.

Il lavoro svolto da queste donne, anche se solo di supporto alla ricerca, è quindi ancora tutto da indagare per scoprire quanto l'interazione del proprio mondo di mogli, madri e donne, abbia influenzato in qualche modo il mondo maschile della ricerca scientifica e abbia contribuito al processo di costruzione della conoscenza (Govoni 2022, p. 283).

## Bibliografia

- Daston, L. (2011). "The Empire of Observation, 1600-1800", in Daston, L. & Lunbeck, E.(eds.), *Histories of Scientific Observation*, Chicago: University of Chicago Press, pp. 81-113.
- Flammarion, G.C. & Quénesset, F. (1945). "Le centenaire de la photographie astronomique en France", *L'Astronomie*, 1, pp. 70-80.
- L., G. (25 Novembre 1910). "Une visite à l'Observatoire du Vatican, Rome 18 novembre", *L'Univers*, newspaper de Paris, p. 3.
- Giacomelli, G. (2006). "Introduction to the Workshop 30 Years of Bubble Chamber Physics" [online]. pp. 1-11. <https://doi.org/10.48550/arXiv.physics/0604152> [Accessed: 16/07/2022].
- Glatz, C. (2016). "Mapping with the stars: Nuns instrumental in Vatican celestial survey", *Vatican News*, Vatican City, 30 April.
- Govoni, P. (2022). "Preface", in Antonelli, F. , Romano, A. & Paolo S. (eds.) *Gendered Touch*. Leiden: Brill, pp. 283-302.
- Haley, P.A. (2017). "Williamina Fleming and the Harvard College Observatory", *The Antiquarian Astronomer*, 11, pp. 2-32.
- Lagarde, I. (1909; 1928). "Formules et tables pour faciliter l'emploi des catalogues photographiques en coordonnées rectilignes". *Bulletin de la Carte du Ciel*, t. 5, C, pp. 1-26; and *Journal des Observateurs*, 11, pp. 17-35.
- Lamy, J. (2006). "La carte du ciel et la creation du bureau des dames à l'Observatoire de Toulouse", *Nuncius*, 21 (1), pp. 101-120.
- Lamy, J. (2007). *L'observatoire de Toulouse aux xviii<sup>e</sup> siècle: Archéologie d'un espace savant*. New edition [online]. Rennes: Presses universitaires de Rennes. DOI: <https://doi.org/10.4000/books.pur.5928> [Accessed: 10/07/2022].
- Maffeo, S. (2001). *La Specola vaticana: nove papi, una missione*. Città del Vaticano: Tipografia vaticana.
- Sobel, D. (2018). *Le scienziate che misurarono il cielo*. Milano: Rizzoli.
- Waquet, F. (2022). *Dans les coulisses de la science: techniciens, petites mains et autres travailleurs invisibles*. Paris: Cnrs Éditions.
- Weizmann Institute of Science [online], "The Scanners' Story", [https://wis-wander.weizmann.ac.il/space-physics/scanners%E2%80%99-story\\_2/09/2014](https://wis-wander.weizmann.ac.il/space-physics/scanners%E2%80%99-story_2/09/2014) [Accessed: 25/07/2022].

## Riferimenti di archivio:

- Bari, Archivio Generale di Ateneo (AGAB),  
– Fascicoli personali: Patruno Lucia, n. 8821; Rosa Maria Cannillo, n. 6975; Delia Maria Bianco n. 8518; Perchiazzi Cecilia n. 1529.  
– Progetti di ricerca (CNR), D-XXII-4, B1.

# Donne e scienza a Bologna nel XVIII secolo

Miriam Focaccia

Museo Storico della Fisica e Centro Studi e Ricerche ‘Enrico Fermi’, via Panisperna 89/a, 00184, Roma, [miriam.focaccia@cref.it](mailto:miriam.focaccia@cref.it)

*Abstract:* The Eighteenth Century saw profound transformations that affected the traditional behavioral models of the female universe. In this context, Bologna played a leading role. On one hand, the memory of other learned women, who lived between the Twelfth and Thirteenth Centuries, constituted a very strong citizen myth, that re-emerged with force precisely during the Eighteenth Century; on the other hand, it was thanks to the skillful direction of Prospero Lambertini, the future Pope Benedict XIV, and to his more general project of political, social and cultural renewal of the city, that the careers of some women were encouraged and supported. Lambertini was not isolated in his project, but advised by a group of scientists, among the most progressive and advanced on the Bolognese scene. A new female model had been proposed with respect to the aristocratic feminism of previous decades. Starting from 1732, at the Academy of Sciences in Bologna, a special class of fellows, the ‘Honoured, included foreigners, but also women: after Laura Bassi, the first ever, other women joined.

*Keywords:* Bologna, Women, Physics

## 1. Le donne iniziano a ‘popolare’ la scienza

Parlando di donne e scienza, certamente non si può non parlare di Bologna che, fin dal Settecento, vide alcune figure femminili protagoniste negli istituti di alta cultura della città.

Fu proprio nel corso del Settecento che anche in Italia si assistette a profonde trasformazioni che investirono i tradizionali modelli comportamentali dell’universo femminile.

Così come stava accadendo in Francia con Madame Du Châtelet (1706-1749), musa di Voltaire, traduttrice dei *Principia* di Newton nel 1737 e autrice delle *Institutions de physique* del 1741, alcune donne, provenienti per lo più da famiglie aristocratiche e dotate di notevole cultura, iniziarono a ribellarsi ai ruoli subalterni in cui le aveva relegate la struttura patriarcale della società dell’epoca, conquistando così nuovi ruoli sul piano della istruzione e dell’educazione scientifica.

Fu allora che le donne cominciarono a ‘popolare la scienza’, anzitutto come interlocutrici privilegiate di trattati scientifici, a partire dagli *Entretiens sur la pluralité des mondes* di Bernard le Bovier de Fontenelle del 1686, al *Newtonianesimo per le dame* di Francesco Algarotti del 1737; in seguito come protagoniste reali della scienza. (Findlen, 1995)

## 2. Un alleato eccezionale: Prospero Lambertini

Per quanto riguarda Bologna, bisogna innanzitutto soffermarsi, da un lato, sulla particolarità dell’organizzazione delle sue istituzioni scientifiche; dall’altro, sull’influenza, a partire dal 1725, di Prospero Lambertini (1675-1758), futuro papa Benedetto XIV, nelle dinamiche politiche e culturali cittadine.

Ma non si può neppure sottovalutare quanto il ricordo, risalente al Medioevo, di alcune donne docenti fosse un ingrediente importante dell’identità cittadina: a Bologna, a partire dalla metà del Duecento, nacque infatti la tendenza a rendere ereditario il professorato, così come la creazione di alcune dinastie professionali e la presenza di docenti sposati crearono lo spazio per una presenza femminile ai loro margini: donne dotte, per lo più figlie, istruite dai padri, le quali in qualche caso potrebbero essere state

associate all'insegnamento e, in circostanze eccezionali, malattia o morte improvvisa del genitore, avere assunto un ruolo di supplenza. Relativamente a Bologna si ricordano i nomi di Accorsa, figlia di Accursio, di Bitisia Gozzadini o di Alessandra Giliani, morta nel 1326 e assistente dell'anatomista Mondino De' Liuzzi. Se le loro storie e le loro figure sfociano nella leggenda, è innegabile che intorno a loro si costituì un mito cittadino molto forte che riemergerà proprio nel corso del Settecento. (Cavazza, 1997)

Nel Settecento, Bologna stava attraversando una preoccupante depressione, con il crollo delle attività legato nondimeno al complessivo declino italiano. Di fronte a un tale scenario sconcertante, fu Lambertini, bolognese, che dal 1731 era diventato arcivescovo della città, a prenderne in mano il rilancio, scegliendo una linea di rinnovamento rigorista, di ammodernamento e di dialogo.

Fu l'inizio di un periodo felice, reso possibile dalla eccezionale capacità di garante e mediatore che si era attribuito lo stesso arcivescovo, un ruolo che continuerà ad esercitare costantemente anche in seguito, come pontefice, nei confronti della sua città.

Tollerante per intima convinzione, egli aveva sviluppato la certezza di doversi avvicinare alla società civile, alla cultura moderna e alla nuova scienza, e volle dunque fare di Bologna il banco di prova della sua volontà innovatrice e riformatrice facendo affidamento sui ceti medi e sulla classe dottorale, che di quelli erano espressione, allo scopo di fondare una società più equilibrata e culturalmente più avanzata.

In questo progetto di rinnovamento culturale, fece rientrare pure l'Accademia delle Scienze dell'Istituto della città. Fondata nel 1711, essa si era affermata con finalità decisamente differenti rispetto a quelle proprie dell'Università, qualificandosi come il centro della trattazione sperimentale dei fenomeni e dalla loro dimostrazione "pratica". Al suo interno, le scienze naturalistiche, fisiche, chimiche e matematiche avrebbero dovuto dominare la ricerca in genere, propendendo per un sapere vero e insieme utile, in grado di dare risposte alle richieste di una società, quella europea fra Seicento e Settecento, in rapido sviluppo e trasformazione (Tega, 1986).

Fu proprio all'interno dell'Accademia che, a partire dal 1732, la classe degli 'onoratii', diventò la classe di accademici che oltre ad accogliere i soci stranieri, accoglieva le donne. La prima socia fu Laura Bassi (1711-1778). E fu sempre Lambertini che a Bologna divenne l'abile regista della presenza femminile all'interno delle istituzioni culturali, incoraggiandone e favorendone le carriere.

Sotto questo profilo, si propose pure di fornire un nuovo modello femminile rispetto al femminismo aristocratico dei decenni precedenti, un modello capace di vera e moderna cultura in una società rinnovata. In questo quadro rientravano perfettamente le bolognesi Laura Bassi e Anna Morandi: madri, ma anche professioniste che, a differenza delle loro contemporanee di estrazione aristocratica, provenendo da contesti sociali ed economici più modesti, rivendicavano l'importanza e l'utilità pubblica delle proprie competenze, per lo svolgimento delle quali reclamavano appropriate retribuzioni.

Certamente Lambertini non era isolato in questo progetto di sponsorizzazione delle intellettualità al femminile, bensì consigliato da un gruppo robusto di scienziati, tra i più progressisti e avanzati del panorama bolognese che, insieme a lui, sostennero e accompagnarono i successi, per esempio, di Bassi e Morandi.

Se la protagonista del Settecento bolognese fu senza dubbio Laura Bassi, prima donna al mondo a salire su una cattedra universitaria, quella di Filosofia universale, nel 1732, altre donne facevano capolino accanto alla 'minerva bolognese'.

### 3. La 'Signora anatomista'

Bologna poteva infatti fregiarsi di avere tra i suoi concittadini anche la 'signora anatomista', Anna Morandi (1714-1774), il cui nome e fama sono legati alla straordinaria collezione di cere anatomiche, preparate in parte insieme al marito, Giovanni Manzolini, e oggi conservate presso i Musei di Palazzo Poggi.

Il ricordo più significativo è certamente quello che Luigi Galvani, futuro padre dell'elettricità animale, le dedicò nella orazione *De Manzoliniana suppellectili* del 1777, salutando l'ingresso della collezione nelle sale della prestigiosa Accademia delle Scienze. Egli a gran voce sottolineava la singolare grandezza di Anna nel suo essere donna e scienziata:

[...] che direste voi se altro io dichiarassi, e cioè che molto altro si aggiunge a questa suppellettile per il fatto che è opera di donna? Non direi forse una verità? Non è certo rarità che si coltivino Arti e Scienze da uomini che sembrano dalla natura stessa a ciò predisposti. Ma che se ne interessi non solo, ma anche che possa con massima sapienza trattarle, una donna, e anche ingrandirle e quasi condurle, oserei dire, agli estremi, la donna, che sembra nata per la lana e la tela, questo fatto non è davvero talmente raro da attirare a sé l'animo e gli occhi di tutti? (Galvani, 1777)

La peculiarità di questa collezione è che essa rappresenta un'anatomia non solo morfologica, ma fisiologica, secondo una concezione meccanicistica del corpo umano, verso cui si era orientata la scuola anatomico-chirurgica di Bologna. Non a caso i protagonisti delle cere di Anna sono gli organi sensoriali e particolare attenzione è riservata alla facoltà della percezione.

Anna racconta l'anatomia, della quale non si accontentava di scoprire la semplice collocazione e struttura degli organi, ma fissa la propria attenzione sulla loro funzione dinamica, attraverso la descrizione precisa degli organi, delle porzioni interne e minute del corpo, le vene, le arterie, i nervi, pensati non come elementi isolati, ma nella loro attiva e necessaria interrelazione con l'organismo di cui fanno parte. (Focaccia, 2008)

Di Anna Morandi, oltre le cere anatomiche venivano particolarmente celebrate, da cittadini e viaggiatori, studenti e professori, le capacità, le competenze, l'eloquenza, lo stile con cui presentava le sue collezioni e, non da ultimo, il suo essere una anatomista donna.

Significativo, da questo punto di vista, è il suo autoritratto in cera. Un autoritratto straordinario attraverso il quale ella ha voluto rappresentare il proprio contributo alla scienza, mentre sta dissezionando con il bisturi un cervello, l'organo ritenuto centro unificatore del corpo e sede della ragione. Con questo autoritratto Anna sembra voler altresì sottolineare il suo peculiare ruolo rispetto all'anatomia, una scienza considerata solitamente inadatta all'indole femminile.

Elegantemente vestita, sposta lo sguardo, sereno e assorto, al di sopra degli osservatori, sottolineando il contrasto tra la sua immagine e l'operazione che sta per iniziare: se da un lato ha certamente voluto offrire un'immagine ingentilita ed aggraziata dell'anatomia, seguendo, tra l'altro, i canoni della *politesse* settecentesca; dall'altro, glorificando la propria distinzione in quanto anatomista donna, ha voluto raccontare la propria conquista dell'anatomia umana, i visceri della 'nuova scienza' che lei aveva strappato alla stretta esclusiva degli uomini (Messbarger, 2010).

#### **4. L'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna e la classe degli 'onoratii'**

Anche Anna era un'accademica bolognese, benché associata all'Accademia Clementina, l'Accademia di Belle Arti, che però aveva la stessa sede dell'Accademia delle Scienze dove, significativamente, appaiono i nomi di altre donne dopo quello di Laura Bassi.

La seconda donna ammessa a farne parte fu, nel 1734, la napoletana Faustina Pignatelli (?-1785), animatrice di uno dei più importanti circoli intellettuali della sua città. Ricordata dall'astronomo De La Lande in virtù della sua solida preparazione matematica, ella ebbe un intenso scambio di idee con l'Accademia delle Scienze di Parigi.

Allieva di Nicola De Martino, diffusore di Newton a Napoli, Pignatelli pubblicò nel 1734, come 'anonimae napolitanae' sui *Nova Acta eruditorum* di Lipsia, una dissertazione anti-leibniziana dal titolo *Problemata Mathematica* sul problema delle forze vive.



Nel 1745 il fisico Francesco Maria Zanotti, segretario dell'Accademia delle Scienze di Bologna, pubblicò nei *Commentarii* dell'Accademia il saggio *De vi corporum viva*, dove espose le posizioni di diversi studiosi, citando pure Pignatelli (Simili, 2008).

Sempre Zanotti, nel 1751, pubblicò *Della forza dei corpi che chiamano viva*. Scritto in forma di dialogo immaginario, tra scienziati però reali e viventi, dava voce alle posizioni effettivamente discusse in quel periodo.

Tra questi dialoghi, uno è quello che Zanotti finse essere avvenuto nel 1750, in occasione di una sua visita a Napoli, con la Pignatelli e con gli scienziati legati al suo circolo; un dialogo che, riaffermate le rispettive posizioni, si concludeva con un motto di spirito di Pignatelli la quale chiariva la propria convinzione a proposito del primato della scienza sulla metafisica.

Nel 1746 fu Émilie du Châtelet ad entrare a far parte dell'Accademia: forse la lettera di Voltaire scritta a Laura Bassi l'anno precedente, nella quale egli immaginava sé stesso tra due donne in una sorta di filosofico *ménage à trois*, esprimeva il desiderio che un giorno queste due donne di scienza potessero incontrarsi, stimolando senza dubbio l'interesse di Bassi per l'affiliazione in Istituto della 'collega'. Del resto, sempre Voltaire, che a un certo punto voleva diventare membro dell'accademia, a chi scrive? A Laura Bassi: "Non c'è una Bassi in Londra, e io sarei molto più felice d'essere aggregato alla sua Accademia di Bologna, che a quella degli inglesi, benché ella abbia prodotto un Newton". (Masi, 1878)

E l'anno dopo Voltaire sarà fatto socio dell'Accademia delle Scienze di Bologna su indicazione di Laura Bassi.

Parlando di donne, scienza e Bologna, non si può non citare Maria Gaetana Agnesi (1718-1799). Le *Istituzioni analitiche per uso della gioventù italiana*, il suo manuale di introduzione all'algebra, alla geometria cartesiana e al calcolo infinitesimale stampato a Milano nel 1748, è stato il primo testo di matematica pubblicato da una donna ed è stato un testo di riferimento per lo studio di tali materie per tutta la seconda metà del Settecento in Europa.

Nello stesso 1748 Agnesi venne aggregata all'Accademia bolognese. Papa Benedetto XIV le fece inoltre assegnare nel 1750 l'incarico di lettrice onoraria di matematica all'Università di Bologna: erano gli stessi anni in cui anche Laura Bassi insegnava nell'antico Studio.

Benché avesse accettato l'incarico, Agnesi, in realtà, non ricoprì mai tale ruolo. Nel 1752, alla morte del padre abbandonò, infatti, l'attività scientifica per dedicarsi ad opere caritatevoli e al raccoglimento spirituale. (Mazzotti, 2006)

Tra queste prime pioniere, che hanno intrecciato i loro destini scientifici e umani con Bologna, vorrei ricordare anche Cristina Roccati (1732-1797), nata a Rovigo nel 1732, lo stesso anno in cui, a Bologna, Laura Bassi otteneva la sua laurea e la cattedra universitaria.

Essendo Cristina una bambina dall'intelligenza particolarmente vivace, ne venne curata l'educazione, prima di tutto letteraria, come era uso nel Settecento, soprattutto tra le famiglie della nobiltà. Ben presto però i suoi interessi si spostarono verso il campo delle scienze e, ottenuto il permesso paterno, si trasferì a Bologna, dove fu la prima studentessa forestiera ad essere ammessa tra gli scolari dell'antico Studio.

A Bologna si impegnò soprattutto nello studio della fisica, insieme a quello delle scienze naturali e della matematica. Cristina ottenne la laurea dottorale a Bologna il 5 maggio del 1751 e venne accompagnata davanti al Collegio dei Dottori proprio dall'illustre Laura Bassi!

Nello stesso anno rientrò a Rovigo e all'interno dell'Accademia dei Concordi le venne affidato un corso pubblico di lezioni di fisica. Un corso del quale è possibile ricostruire la struttura grazie a 51 lezioni manoscritte, conservate presso l'archivio dell'Accademia dei Concordi: lezioni inedite, non presentate in ordine cronologico e solo in parte datate, che rappresentano comunque l'unica testimonianza documentata dell'attività di insegnante della Roccati, appassionata divulgatrice della scienza newtoniana. (Findlen, 1999; Focaccia, 2017)

## 5. Conclusioni

Bisognerà aspettare il 1800 perché un'altra donna, Maria Dalle Donne (1778-1842), laureata in medicina e capostipite della scuola di ostetricia di Bologna, occupasse nuovamente, come Laura Bassi, un posto da accademica benedettina:<sup>1</sup> quel 25° posto sovranumerario espressamente creato per Bassi nel 1745. Chi sostenne Maria in quell'occasione, fu Paolo Veratti, medico e professore, il figlio più piccolo di Laura.

Queste donne, vere e proprie pioniere, godettero certamente del nuovo clima politico e culturale che stava cambiando a livello europeo e che, in particolare a Bologna, incontrò gli incoraggiamenti e le precise direttive di Prospero Lambertini, insieme ad un entourage di scienziati aperti e riformisti; mentre all'interno dell'Istituto delle Scienze si seguivano interessi ed insegnamenti moderni e all'avanguardia, permeato com'era da una visione progressista della scienza e dei suoi protagonisti.

Eppure, io credo che fu grazie anche alla loro determinazione, alla consapevolezza dell'importanza e dell'utilità delle proprie conoscenze, in un avvicinarsi di conquiste e tattiche strategiche, che queste protagoniste poterono raggiungere siffatte posizioni di livello nelle istituzioni culturali del loro tempo.

## Bibliografia

- Cavazza, M., (1997). “Dottrici’ e lettrici dell’Università di Bologna nel Settecento”, *Annali di storia delle università italiane*, I, pp. 109-126.
- Cifarelli L. & Simili R. (eds), (2020). *Laura Bassi–The World’s First Woman Professor in Natural Philosophy. An Iconic Physicist in Enlightenment Italy*, Springer Biographies. Cham: Springer.
- Findlen, P. (1995). “Translating the New Science: Women and the Circulation of Knowledge in Enlightenment Italy”, *Configurations*, III.II, pp. 167-205.
- Findlen, P. (1999). “A forgotten Newtonian: Women and Science in the Italian Provinces”, in Clark W. & Golinski J. & Schaffer S. (eds) *The Sciences in Enlightened Europe*. Chicago: University of Chicago Press, pp. 313-349.
- Focaccia, M. (2008). *Anna Morandi Manzolini. Una donna fra arte e scienza. Immagini, documenti, repertorio anatomico*, Firenze: Olschki.
- Focaccia, M. (2017). “Roccati Cristina”, in *Dizionario biografico degli Italiani*, 88. Roma: Istituto della Enciclopedia Italiana Treccani, pp. 41-44.
- Focaccia, M. (2020). “Bologna nel Settecento: un paradiso per le donne”, in Anselmi G. M. & Ruozi G. & Scioli S. (eds) *Illuminismo e Settecento riformatore. Un lessico per la contemporaneità*. Bologna: Bononia University Press, pp. 223-231.
- Galvani, L. (1777). *De Manzoliniana suppellectili*, in Gherardi S. (ed), *Opere edite ed inedite di Luigi Galvani*, Bologna: Tipografia di Emidio dall'Olmo, 1841.
- Masi, E. (1878). “Laura Bassi ed il Voltaire”, *La rassegna settimanale*, 20, pp. 372-74.
- Mazzotti, M. (2006). “Scienza, fede e carità. Il cattolicesimo illuminato di Maria Gaetana Agnesi”, in Simili, R. (ed.) *Scienza a due voci*. Firenze: Olschki, pp. 13-37.
- Messbarger, R. (2010). *The Lady Anatomist: The Life and Work of Anna Morandi Manzolini*. Chicago: Chicago University Press.

---

<sup>1</sup> I Benedettini erano una speciale élite di studiosi voluta da Benedetto XIV: godevano di uno statuto speciale, ma avevano l'obbligo di partecipare alle sedute accademiche, nonché di presentare una relazione originale ogni anno. Non era affatto scontata la partecipazione di Laura Bassi a questa classe di accademici: nel primo elenco di 24 nomi ella infatti non compariva. Fu in virtù di uno stratagemma, da lei stessa suggerito al Papa, che ella andò ad occupare un venticinquesimo posto in sovranumero che sarebbe poi dovuto scomparire alla sua morte.

- Simili, R. (2008). “In punta di penna. Donne di scienza e di cultura fra cosmopolitismo e intimità meridionale”, in *La scienza nel Mezzogiorno dopo l’Unità d’Italia*. Soveria Mannelli: Rubbettino, pp. 27-89.
- Tega, W. (ed.) (1986), *Anatomie Accademiche, I, I Commentari dell’Accademia delle Scienze di Bologna*, Bologna: Il Mulino.

**Fonti d’archivio**

- Morandi, A. Catalogo delle preparazioni anatomiche in cera formanti il Gabinetto anatomico prima della Reggia Università. Biblioteca Universitaria di Bologna (BUB), *Ms 2193*.
- Roccati, C. Prolusione e 50 lezioni di fisica. Archivio dell’Accademia dei Concordi, Rovigo, *Mss. Conc., 312/2*.

## EARLY MODERN PHYSICS AND ASTRONOMY

# Huygens' concept of inertia

Paolo Bussotti

Università di Udine, Dipartimento di Studi Umanistici e del Patrimonio Culturale (DIUM),  
[paolo.bussotti@uniud.it](mailto:paolo.bussotti@uniud.it)

*Abstract:* The concept of inertia expresses the idea of a kinetic state which changes only if external actions are applied. Newton's works is based on the inertia principle, in which it is established that rest and rectilinear uniform motion are the only kinetic states which do not change unless an external action intervenes. This conception was not to be given for granted in the 17<sup>th</sup> century because many great scientists such as Kepler and Galileo formulated a different notion of inertia and before the 17<sup>th</sup> century there was no agreement on which motion could be considered inertial. Descartes' first two laws of motion are verbally similar to the inertia principle, but the development of Cartesian physics makes it difficult to understand what exactly Descartes meant with his laws. Huygens had, instead, far clearer ideas on inertia than anyone of his predecessors. The big problems the physicists had to tackle in the second half of the 17<sup>th</sup> century was to determine in respect to what a motion can be regarded as rectilinear and uniform. Here Huygens' and Newton's paths diverge: the latter referred inertia to an absolute space at rest. Huygens refused to ascribe any kinetic state to the mundane space. His conception of motion was purely relativistic. In this contribution I will present the strong and the weak aspects of Huygens' ideas on inertia in the light of some recent researches.

*Keywords:* Inertia, Huygens, Newton, rectilinear and curvilinear motions

## 1. Introduction

Which motions can continue without external action? This is a crucial problem of mechanics. The scientists of the 17th century, starting from Kepler and Galileo, dealt with it. No solution was satisfactory until Newton's *Principia*. After a brief initial phase in which Newton's ideas were criticized by scientists such as Huygens and Leibniz as well as by a philosopher as Berkeley, they were accepted by the physicists because of the great success of Newtonian mechanics. This panorama changed at the end of the 19th century when several authors developed a profound analysis of the concepts of absolute space, on which Newton's notion of inertia was based. At that time, it was realised that the concept of inertial system was far from clear and the very notion of a straight line, when applied in physics, needed to be clarified. Scientists such as Carl Neumann, Ludwig Lange (who introduced the expression "inertial reference frame"), Heinrich Streintz, August Föppl, Benedict and Immanuel Friedlaenders, Wenzel Hofmann, Hans Reissner tried to offer a satisfying characterization of inertia and inertial reference frame. In this context, Ernst Mach's ideas played an important role and also Henri Poincaré developed interesting considerations on inertia in his epistemological contributions.<sup>1</sup> Einstein's general relativity posed the problem of inertia on new bases, as well known. The history of the concept of inertia also has a story before the 17th century because philosophers and scientists as Democritus and the atomists, Aristotle, and, in contrast to him, Johannes Philoponus, Buridan and, more in general, the advocates of

---

<sup>1</sup> For bibliographical references of all the mentioned authors, I refer to (Bussotti-Lotti, 2022), section 7.1.2. A fundamental reference text is Barbour-Pfister (Eds.) 1995, where several passages of these authors are translated into English and commented on.

impetus theory, proposed a series of ideas concerning the motions which can continue without external action. Thus, one can speak of a history which begins with Democritus and is not yet completely ended. In this history, Huygens is a scientist to whom insufficient attention has been paid. From the 1990s this situation is changing, and the literature on Huygens' concept of inertia is growing. However, there are still aspects which are not completely clarified. This is the reason why Brunello Lotti and I dedicate a section of our book (Bussotti-Lotti 2023, next publication, section 6.1.3.) to this topic, which here I briefly summarize.

## 2. Huygens' concept of inertia

Christiaan Huygens' (1629-1695) ideas on motion evolved across three phases: in the first one, around 1652-1669, he thought every motion to be relative. Afterwards, from 1669 to 1687, he believed that circular motion and centrifugal forces might offer a criterion to distinguish absolute from relative motion. Finally, after the publication of Newton's *Principia*, Huygens rethought the whole problem of motion and reached the conclusion that every motion is relative. The third phase is the most interesting to grasp his concept of inertia.

The work *De Motu Corporum ex Percussione* (1656, posthumous 1703) is the first fundamental source to understand Huygens' ideas on motion. The presentation of this treatise is rather modern because Huygens poses three hypotheses that function as axioms and deduces from them his whole theory. The first hypothesis is the principle of inertia: "When a body is in motion, if nothing prevents its movement, it continues to move perpetually with the same velocity and along a straight line".<sup>2</sup> Differently from Descartes, Huygens developed the collision theory in a mathematical manner. The principle of inertia is one of the axioms. Though this theory includes only a part of physics, it is a significant improvement compared to the treatment of the previous scientists.

In the published version of *De Motu Corporum ex Percussione* the problem whether every motion is relative is not faced. Nonetheless, in a series of interesting notes (published in OH XVI as appendices to *De Motu Corporum ex Percussione*) which date back to the period 1652-1654, Huygens states that all the motions are relative and that no absolute reference frame exists to which one can refer - at least in principle - the motion of bodies. Huygens claimed: "It is to be considered that what is moved, is moved with respect to other bodies with which it changes its distance and place. Analogously, what is at rest is at rest with respect to those bodies with which it maintains the same distance and position" (OH, XVI, p. 103).

This view is comprehensible. However, if every motion is relative, how is it possible to consider when a motion is uniform and rectilinear and, hence, how is it possible to establish the inertia of a body? Starting from around 1669, Huygens changed opinion on the nature of motion and arrived at the idea that a criterion to distinguish absolute from relative motion can be found in circular movement. Such a criterion is the centrifugal tendency. The sources to reconstruct Huygens' thought on the problem of motion in the period 1669-1687 are scarce, but the conclusion that he identified the centrifugal force as a criterion of absolute motion is not conjectural. Indeed, in 1694 Leibniz wrote to Huygens: "It seems to me, however, that you yourself, Sir, in the past had the same mind as Mr. Newton about circular movement." (Letter by Leibniz to Huygens dated 22 June 1694. OH, X, pp. 645-646. See also Mormino 1993, p. 62). Huygens confirmed Leibniz's assertion in a letter dated 24 August 1694: "As to absolute and relative motion, I admire your memory because you have remembered that in the past I had the same opinion as Mr. Newton with regard to circular motion". (OH, X, pp. 669-670. See also Mormino 1993, p. 62).

<sup>2</sup> *De Motu Corporum ex Percussione* can be consulted in Huygens' *Oeuvres Complètes* (which I abbreviate as OH). In the Bibliography see Huygens 1656, 1703, OH, XVI, p. 31.

Huygens exemplifies the centrifugal forces-criterion by means of an ideal experiment similar to the one described by Newton at the end of the scholium to the Definitions in his *Principia*: given two globes connected by a rope, suppose them to be moved around their gravity centre  $G$ . The tension of the rope allows us to know the centrifugal force and, hence, the real movement of the globes.

Why after the publication of Newton's *Principia* did Huygens change opinion? Our interpretation is that Newton had shown the absolute motion to be recognizable in relation to an infinite, immobile mundane space. This connection reminded Huygens that he had claimed two theses: 1) it makes no sense to speak of a mundane space at rest; 2) centrifugal forces represent a criterion of absolute motion. Newton had referred absolute motion, hence centrifugal forces, and, consequently, inertia to a mundane space at rest. Huygens probably realized that his two theses were contradictory, and decided to maintain the first, namely the impossibility to ascribe mundane space any kinetic state, and to dismiss the second, adhering to his first opinion that no absolute motion exists. He did not deny the existence of an infinite mundane space, but considered meaningless the idea to attribute any kinetic state to it. Indeed, he regarded rest and motion to be purely relative (i.e. they cannot be referred to absolute entities such as Newtonian space and time) and relational (concerning only the mutual kinetic states of more than one body).

It is impossible to ascribe a kinetic state to any entity before having defined the notion of movement. But, as soon as we define motion as a relational concept, we discover that neither motion nor rest can be applied to space: "Motion cannot be understood but relatively. To what place? Maybe the immobile space? But what can we consider immobile, if we are still looking for the definition of movement?" (Huygens in Mormino 1993, p. 174).

There is, however, a serious candidate for absolute motion: it is circular motion, for dynamic rather than kinematic reasons. Indeed, to every circular motion a centrifugal force is associated that indicates inertia. In the second phase of his thought, Huygens himself regarded centrifugal forces as evidence of absolute motion. Let us see how he tackled the problem of circular (or more generally, curvilinear) motion in the third and last stage of his scientific career. Our thesis is that the weakness of his conception lies exactly in the missing explanation of inertia as a dynamical phenomenon.

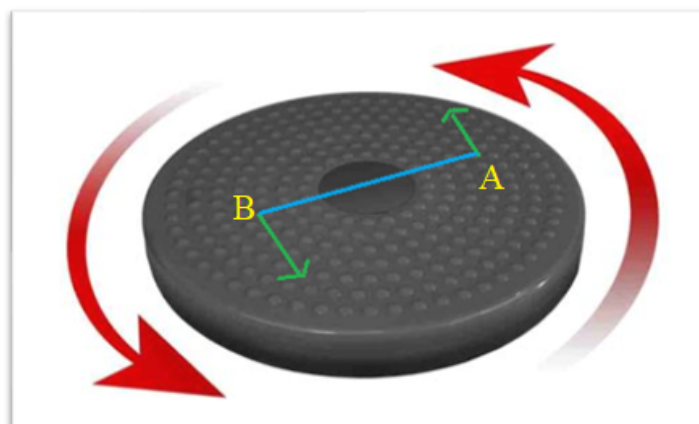
Centrifugal force exists in any circular motion. It has various manifestations: if two bodies rotating around their gravity centre are linked by a rope, it is displayed by the tension of the rope; if a body is solid and rotates (for example, a disc), and you set something on top of it, this thing will fly away; if water rotates in a vessel, the water will rise on the vessel's walls, and so on.

Huygens is not convinced that centrifugal forces are a sufficient criterion to determine absolute motion. He resorts to two arguments: firstly, he argues that even the circular motions of the parts of a rotating body are purely relative to the parts themselves. Furthermore, he states that a body, in addition to being animated by rotational motion, could also have a uniform rectilinear motion. But this kind of motion, by admission of the Newtonians themselves, can only be relative:

Given a single body or more joined bodies moving around a centre, it is possible to calculate through the centrifugal force how much circular velocity they received. However, this velocity is also relative to these bodies or to the parts of a single body. It is, instead, impossible to know how much true motion is in the single parts, namely, in reference to that space that they [the Newtonians] imagine to be immobile. According to their own judgement, a rotating body, be it solid or composed of joined parts, can at the same time proceed rectilinearly with a movement common to all its parts. They admit that it cannot be recognized by any clue to what extent this rectilinear motion is true". (Huygens in Mormino 1993, p. 186).

Huygens' new idea is that circular motion can be understood as the relative motion of the parts of a rotating body which are pushed in contrary directions. Their motion cannot become rectilinear because a constraint or a link prevents this possibility. Probably he was thinking of a situation as that of Fig. 1:

the circular motion of a disc is seen as the motion of parts such as A and B which are pushed in opposite senses.



**Fig. 1.** A diagram which shows Huygens' probable conception of circular motion. Such movement depends on the relative motion of parts as A and B which are pushed in opposite senses.

A stone placed on a disc participates to the instantaneous motion of that part of the disc on which it is set, and, of course, the direction of its motion is along the tangent to the disc. Since the stone is not constrained, it flows away:

But this effect [the stone which flies away] only shows that, because of the impulse exerted on the circumference, the wheel's parts are pushed in different directions, with a relative motion of the ones with respect to the others. Thence, circular motion is only the relative motion of the parts which are pushed in opposite directions, when it is prevented by a constraint or a link". (Huygens in Mormino 1993, p. 236).

Two further elements have to be added:

1) Huygens did not take for granted what a straight line is and proposed a definition connected to inertia. The usual idea is that two points are sufficient to define and construct a straight line, but this is a mere geometrical characterization. Instead, Huygens thought that a straight line can be distinguished from any other line connecting two points only in a physical context. This implies that three points are necessary. For, be given three points *A*, *B*, *C* mutually at rest and on which no force acts; be an impulsive force given to *C*; a straight line is the trajectory of *C* as seen from *A* and *B*. (Huygens in Mormino 1993, p. 134).

This conception fits with Huygens' view of infinite space as a completely unstructured entity. Space is a mere receptacle of bodies. Hence, nothing can be determined in reference to such a featureless being. The definition of an object needs something additional. Mere space is not sufficient. Huygens' space is, thus, different from Euclid's and Newton's because both of them regard space as a receptacle of objects (in Euclid's case of "abstract" objects, in Newton's of physical objects), but space also has minimal intrinsic properties: for example, due to the nature of space, it is possible to determine the distance between two points and to claim that a straight line is the shortest one. Huygens seems, instead, to consider space as a pure container with no other property than that of potentially receiving bodies. Any spatial determination, at least in reference to physical space, needs the existence of objects. This is a confirmation that, according to Huygens, it is not possible to define inertia with respect to space. On the contrary, a structure can be given to space only on the basis of an inertial motion. This conception, however interesting, raises important doubts, as I will show.



2) Huygens describes an ideal experiment that clarifies his conception of mechanics: be given two bodies, A and C, close to each other. Suppose that they move with uniform motion in opposite senses along two parallel lines. When they reach their minimal distance, we join them with a rope having two hooks at its extremities. The two bodies will be hooked at the rope. Thus, their uniform rectilinear motion will be transformed into a uniform circular one. Huygens does not admit that this simple operation can transform a relative motion into an absolute one:

Move the body A along the straight line AB and the body C along the straight line CD, parallel to AB. [...] Lay out a rope BD perpendicularly to AB and CD so that A happens to be in B and C in D at the same instant. Be in B and D hooks to which the bodies hook up. Their rectilinear motion will be transformed into a circular one and the rope BD will reveal this motion through its tension. Since, before the bodies A and B met these hooks we ignore their real motion, maybe we know it now, after they have met them? Could we define how quick they move with respect to that infinite and immobile space? Certainly, this cannot be said. Who considers correctly this question understands that only the previous relative motion remains. Nothing else happens than that motion which previously occurred along parallel lines, while now occurs along the opposite parts of the circumference (which can be defined as parallel to each other), and the distance that before changed continuously now remains unmodified. (Huygens in Mormino 1993, pp. 190 and 192).

This quotation is emblematic: Huygens, as well known, had a mechanistic conception; more specifically, an engineering conception. He develops his ideas and solves problems step by step, from below by decomposing events as if they were pieces of a mechanism. His most abstract conclusions are reached starting from descriptions which have always a direct mechanical reference, where threads, impacts, men who hold ropes in hand, etc. are involved. Nature is a machine and circular motion stems from a mechanism or a series of mechanisms which cannot transform a movement from relative into absolute. In the natural machine every movement is relative. In the second phase of his reflections on motion, Huygens understood that centrifugal forces might imply a non-local reference. This could have been a problem for his relativistic conception of motion, but finally, he preferred to opt for the relative character of circular motion as well.

One is allowed to conclude that Huygens' arguments against absolute motion are correct from a kinematic point of view, but they miss the point in an important sense, since Newton introduced absolute space for a precise physical-dynamical reason. The reason is that, given a body, its inertia cannot be referred to the neighbouring bodies, as the bucket experiment proves. Huygens regarded the velocities of the parts of a rotating body as reciprocal relations among these parts but the centrifugal force of a part, namely its inertia, cannot be referred to other parts as the bucket experiment - which Huygens knew - shows. Certainly, his criticisms to the "phantoms" of absolute space and absolute time are understandable and can be associated, though not necessarily connected from a logical and physical standpoint, to his refusal of any action at a distance. Under this respect, his view is more consistent than Newton's with the basic ideas and results of modern physics, especially with the theory of relativity. But, given the knowledge of the 17th century, Newton was the only scientist who developed a whole system of physical causality. His conception was based on two entities which are unsatisfactory for many respects: absolute space and absolute time. Furthermore, the "spooky action at a distance" – to exploit the expression Einstein used in another context - is involved in his theory of forces, at least as a matter of fact, though Newton in a famous letter of 25 February 1793 to Bentley (Newton 1756, pp. 25-26) denied to believe in the action at a distance. However, comprehensibly, given his extraordinary results, Newton's mechanics was the base of physics for more than two centuries. Huygens' ideas were more advanced than Newton's with regard to the relativity of any motion and on the transmission of forces. Nonetheless, maybe because he was still tied to Descartes' mechanistic paradigm, maybe because he did not use infinitesimal calculus as skilfully as Newton, maybe because it is really difficult to explain

inertia in terms of relative motions without embracing a conception of space, time and gravity which was objectively impossible to demand from a 17th century man, he did not construct an entire system of physical causality.

In some recent studies Huygens' concept of inertia has been analysed. The most important contribution is (Stan 2016), where the author tries to show that Huygens' conception of inertia is satisfactory, at least in its essentials. In (Bussotti-Lotti 2023) we attempt to prove that, despite the brilliant considerations developed by Stan, his reading does not solve the main problem: Huygens does not offer a satisfying explanation to Newton's discovery that the inertia of a body cannot be referred to the motions of the neighbouring bodies.

### Bibliography

- Barbour, J.B. & Pfister, H. (eds.) (1995). *Mach's Principle from Newton's Bucket to Quantum Gravity*. Boston-Basel-Berlin: Birkhäuser.
- Bussotti, P. & Lotti, B. (2022). *Cosmology in the Early Modern Age: a Web of Ideas*. Cham: Springer.
- Huygens, C. (1888-1950). *Oeuvres complètes de Christiaan Huygens publiées par la Société Hollandaise des Sciences*. La Haye: Martinus Nijhoff - Amsterdam: Swets & Zeitlinger (abbreviation OH).
- Huygens, C. (1656, posthumous 1703). *De Motu Corporum ex Percussione*, OH XVI: 37-91. English translation by M.S. Mahoney, 1977 reviewed 1995, *On the Motion of Bodies resulting from Impact*, freely available at [www.princeton.edu/~hos/mike/texts/huygens/impact/huyimpct.html](http://www.princeton.edu/~hos/mike/texts/huygens/impact/huyimpct.html).
- Mormino, G. (1993). *Penetralia Motus. La fondazione relativistica della meccanica in Christiaan Huygens, con l'edizione del Codex Hugeniorum 7A*. Firenze: La Nuova Italia.
- Newton, I. (1756). *Four Letters from Sir Isaac Newton to Doctor Bentley. Containing some Arguments in Proof of a Deity*. London: print. for R. and J. Dodsley.
- Stan, M. (2016). "Huygens on Inertial Structure and Relativity", *Philosophy of Science*, 83, pp. 277-298.

# Venus moon: an astronomical tale of illusions and deceptions

Luisa Lovisetti

Department of Physics “Aldo Pontremoli”, University of Milan, [luisa.lovisetti@unimi.it](mailto:luisa.lovisetti@unimi.it)

*Abstract:* What do a Neapolitan lawyer, a famous Italian astronomer, a Scottish instrument maker, the greatest French writer of adventure novels and a curious Belgian journalist have in common? Perhaps, it may be surprising to discover that they all are main characters of a story concerning the mysterious satellite of Venus. And if the attentive reader must have immediately (and correctly) thought “But Venus has no satellite!”, it will be even more astonishing to realize that, for more than two centuries, some of the most eminent scholars really believed in the existence of such a celestial body. In fact, starting from the seventeenth century, recurrent sightings of a hypothetical satellite occurred, leading several astronomers to go looking for it. Among them, the Italian Giovanni Domenico Cassini (1625-1712), who claimed to have seen something resembling a moon once in 1672, and again in 1686. 2022 is the 350<sup>th</sup> anniversary of his first alleged sighting; this work is thus aimed to trace the most relevant and curious passages of such a long and fascinating astronomical research.

*Keywords:* Venus satellite, illusion, history of astronomy

## 1. Prologue

Non semper ea sunt, quae videntur; decipit frons prima multos; rara mens intelligit, quod interiore condidit cura angulo [Things are not always as they appear, their first appearance deceives many people: the mind hardly ever discovers what is hidden in their innermost part] (Phaedrus c.40, ll. 5-6).

It would be very difficult to find a more suitable incipit for the story we are going to tell in the following pages, and which arises from a mere deception of human mind and eyes.

In fact, this narration is the tale of something that does not exist, and that never did, despite the fact that, for almost 250 years, several scientists - even among the most distinguished and prominent figures of the time - had believed otherwise, chasing and searching for it. Here is, then, the story of a great astronomical illusion, but, at the same time, also of an intriguing and fascinating venture: that is, the history of the alleged moon of (for a comprehensive account, see: Kragh 2008).

## 2. The first observers of the moon

On August 28<sup>th</sup>, at a quarter past four in the morning, while observing Venus through the 34-foot telescope, I saw, at three-fifths of its diameter towards the East, a shapeless light, which seemed to imitate the phase of Venus, whose roundness was diminished on the western side. The diameter of this phenomenon was roughly equal to the fourth part of the diameter of Venus. I observed it attentively for a quarter of an hour, and after having interrupted the observation for four or five minutes, I no longer saw it: but in that moment the daylight was intense (Cassini 1685, p. 45).

These were the notes recorded by the famous Italian astronomer Giovanni Domenico Cassini (1625-1712), in the early morning of August 28<sup>th</sup>, 1686. To be honest, Cassini had already seen something strange around Venus fourteen years before, on the morning of January 25<sup>th</sup>, 1672, when a mysterious dot, very similar to a small celestial body, had appeared in the field of view of his telescope. What object was it? Could it be a sort of satellite?

Cassini was an undisputed authority in the astronomical field. In fact, in 1665, he had discovered the Great Red Spot of Jupiter; in 1672, he had provided a remarkable estimate of the distance between the Sun and the Earth (obtaining an outcome which was only 7% below the current value), by exploiting the Mars parallax; and, in 1683, he had explained the phenomenon of zodiacal light.

In addition to that, Cassini was not stranger to sighting satellites. In fact, he had already discovered four Saturnian moons: Iapetus (in 1671), Rhea (in 1672), and both Tethys and Dione (in 1684). Precisely for this reason, despite having made his sighting public, he was not quite sure that what he had seen was really a satellite, and there was something that made him strongly reluctant to unbalance and to pronounce about the nature of that object.

To tell the truth, Cassini has not even been the first to have observed something resembling a satellite in close proximity to Venus. In fact, in the winter of 1645, another person had already recorded a similar sighting: the Neapolitan astronomer Francesco Fontana (1585-1656). In 1630s Fontana had gained popularity as a manufacturer of Keplerian telescopes which were much more powerful than the Galilean ones, although they turned the image upside down. In 1645, he made several observations of Venus, and, on the evening of November 11<sup>th</sup>, he recorded: "First hour after sunset. I observed the figure of Venus that has changed from previous observations. Similarly, in the middle of his figure, a small dot of a reddish colour appeared, and it is a new discovery, hitherto unknown" (Fontana 1646, p. 94).

On November 15<sup>th</sup>, an hour after the sunset, he saw two reddish stars, while on December 25<sup>th</sup>, he saw only a single small globe at the top of the convex side of Venus. Moreover, on January 22<sup>nd</sup>, 1646, six hours after sunset, he saw a little sphere near the concave surface of the planet (Fontana 1646, pp. 96-100).

### 3. Fancy and reality

Since Venus is placed between the Sun and the Earth, its observations have always been rare, harsh, and insidious to make. Despite instrumental improvements and several attempts undertaken, just few observations had provided useful information concerning that planet before the 17<sup>th</sup> century: therefore, Fontana's observations did not go unnoticed. But while there was no doubt that Fontana was able to make good telescopes, how could people trust the word and the testimony of such a character (in short: a lawyer)? In fact, it should be remembered that Fontana, before being an instrument maker and an astronomer, was, first of all, a law graduate.

Very few astronomers were thus willing to give credit to what Fontana had reported. Among them, however, there were also some authoritative personalities, such as Pierre Gassendi (1592-1655), who mentioned Fontana's sightings in his work *Institutio astronomica* (1647), pointing out that he had never been able to see anything comparable to the objects described by the Neapolitan colleague (Gassendi 1647, p. 162). Also Giovanni Battista Riccioli (1598-1671), in his *Almagestum Novum* (1651), stated that he had never observed any moon with his telescope (Riccioli 1651, p. 451). Believing instead in the flattering fame of the Neapolitan astronomer, the Flemish mathematician André Tacquet (1612-1660) argued that Riccioli and Gassendi had not seen any satellite only because their telescopes were of inferior quality to the one used by Fontana (Tacquet 1669, p. 310).

Anyway, while Fontana's statements could be dubious and unreliable, it was much more difficult to mistrust Cassini. Although he had been very cautious in his statements, never saying with certainty that he had really seen the satellite of Venus, in the 18<sup>th</sup> century it was common practice to regard

announcements of this kind as a new discovery. Therefore, after 1686, numerous scholars set out in search of this alleged satellite. But despite the efforts made, for 54 years, no one was able to see it. Had it been just a dream?

#### 4. Reply from the observatory of London

A first answer came from beyond the Channel, where a young gentleman had a gallant meeting with Venus moon. That lucky observer was James Short (1710-1768), a famous Scottish optician and instrument maker, who, on the morning of November 3<sup>rd</sup>, 1740 (according to the Gregorian calendar), stated that:

Directing a reflecting telescope of 16.5 inches focus (with an apparatus to follow the diurnal motion) towards Venus, I perceived a small star pretty nigh her [...]. Finding Venus very distinct, and consequently the air very clear, I put on a magnifying power of 240 times, and, to my great surprise, found this star put on the same phasis with Venus. I tried another magnifying power of 140 times, and even then found the star under the same phasis. Its diameter seemed about a third, or somewhat less, of the diameter of Venus (Short 1641, p. 646).

The observation made by Short lasted for about an hour, and he did not repeat it. However, his recording was considered one of the most important at the time, since his instruments were reputed excellent and among the best available. Therefore, the second edition of the *Encyclopédie* written by Denis Diderot (1713-1784) and Jean-Baptiste D’Alembert (1717-1783), contained a detailed description of the satellite of Venus, made by Joseph Jérôme Lalande (1732-1807), in which the French astronomer described the observation made by Short as one of the best proofs of the existence of Venus satellite, since it was impossible to think that this astronomer had been misled from optical illusions (Diderot & D’Alembert 1765, p. 35).

Furthermore, Jupiter had several satellites, and so did Saturn: it therefore seemed plausible that Venus could also have at least one moon, and many astronomers were willing to take this hypothesis seriously. Therefore, this satellite had to exist for real...or maybe not?

#### 5. Grave questions

Almost twenty years after the observation made by Short, another astronomer claimed to have seen the satellite of Venus: Andreas Mayer (1716-1782), at that time professor of mathematics, physics and astronomy at the University of Greifswald. Mayer saw such an alleged celestial body on May 20<sup>th</sup>, 1759, and reported his observation in his work *Observationes Veneris Gryphiswaldenses*, published in 1762:

I cannot avoid mentioning the fortuitous observation. On the 20<sup>th</sup>, at sunset, I was looking for a comet with a 30-inches Gregorian telescope, when suddenly I saw [...] a globe, the diameter of which was barely equal to a quarter of the diameter of Venus, and with a minor brightness, above Venus, at a distance of 1.5 diameters. For roughly the half of an hour in which it was observed, its distance did not vary significantly. Whether this is the satellite of Venus or not, I dare not to say so. It was about a quarter to nine in the evening (Mayer 1762, p. 16).

Unfortunately, Mayer’s observation reached little notoriety, as well as those conducted in early 1761 by Father Louis Lagrange (1711-1783), a Jesuit from Marseille (not to be confused with the much more famous homonymous mathematician). Lagrange made his observations between February 10<sup>th</sup> and 12<sup>th</sup>, using a 6-foot-long refracting telescope with a magnifying power of 800 times, bought by Esprit Pezenas (1692-1776), a Jesuit astronomer, mathematician and hydrographer from Marseille, who was the

director of the Marseille Observatory. Lagrange claimed to have seen a small celestial object near Venus three times; however, he did not see any phases (unlike previous observers). Moreover, he stated that the small body seemed to move on a path perpendicular to the ecliptic: this strange orbit appeared so unusual that he did not publish any reports of the discovery, probably because he did not really believe in the actual existence of a satellite; nevertheless, his observations were later mentioned in the *Encyclopédie* (Diderot & D'Alembert 1765, p. 35).

The sightings reported by Fontana, Cassini and Short thus seemed to be confirmed by two additional and different astronomers. However, after further observations made in 1761, Short took a step back, by stating that he did not believe in the existence of a hypothetical satellite of Venus and that he wanted to retract his allegations of 1740. What had happened in 1761, which had led Short to such a great incertitude?

## 6. Struggle against the impossible

Venus may have a Satellite or Moon, although it be undiscovered by us: which will not appear very wonderful, if we consider how inconveniently we are situated for seeing it. For its enlightened side can never be fully turned towards us but when Venus is beyond the Sun; and then she herself appears little bigger than an ordinary Star. When she is between us and the Sun, her Full Moon has its dark side towards us; and then we can no more see it than we can see our own Moon at the time of Change. When Venus is at her greatest Elongation, we can have but one half of the enlightened side of her Full Moon towards us; and then it may be too far distant to be seen by us. But if she has a Moon, it may certainly be seen with her upon the Sun, in the year 1761: for even if it should be in conjunction or opposition at that time, we can hardly imagine that it moves so slow as to be hid all the six hours that Venus will appear on the Sun (Ferguson 1756, p. 15).

That was what James Ferguson wrote in 1756, in his treatise *Astronomy Explained Upon Sir Isaac Newton's Principles*. In fact, the scientific community was reasonably convinced that the definitive answer could arrive on June 6<sup>th</sup>, 1761, and June 3<sup>rd</sup>-4<sup>th</sup>, 1769, with the two transits of Venus across the Sun. The phenomenon would be the subject of numerous observations (Lovisetti 2022), since it would provide the extraordinary opportunity to finally determine the Earth-Sun distance with an uncertainty of less than 1%, at least according to the calculations made by Edmond Halley (1656-1742), in 1716 (Halley 1716, p. 461). With so many astronomers and scholars observing Venus, the presence of a possible satellite would certainly not escape; in fact, between 1761 and 1769, 28 sightings were recorded (19 in 1761; 9 between 1762 and 1768; and unexpectedly none in 1769).

Among them, besides those of Lagrange, we remember the observations conducted by Jacques Leibar Montaigne (b.1716). Montaigne made several observations in May 1761, convinced by Armand Henri Baudouin de Guémadeuc (1734-1817), an Alsatian controversial character, who had a 25-foot telescope in the marine observatory of the Thermes de Cluny, Paris.

On May 3<sup>rd</sup>, at about half past nine in the evening, about 2' far from Venus, a small and feeble crescent appeared, located in the same manner as Venus. The diameter of this little crescent was about one-fourth of the planet's one, and the line drawn from the centre of Venus to that of the satellite made an angle of about 20° with the vertical of that planet and below it, towards the noon. The next day, on May 4<sup>th</sup>, at the same time, our observer still saw the same phenomenon, but a little more distant of about 30" or 1', and in the northern part with respect to the vertical of Venus, with which he formed an angle of about 10°. On May 5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup>, no observations could be made, because of a thick fog which kept the atmosphere up to the height of Venus, whose disk could be barely observed. Fortune returned on May 7<sup>th</sup>, and they saw again the satellite still at a distance between 25' and 26' from the centre of Venus, but above it towards the north, in a plane which passed by the

planet, the satellite made an angle of  $45^\circ$  with the vertical of Venus. The following days the satellite was not seen until the 11<sup>th</sup> of the same month, when it still appeared around nine o'clock, still at about the same distance from Venus, and still making an angle of  $45^\circ$  with the vertical, but in the southern part (Diderot & D'Alembert 1765, p. 35).

All the observations were communicated by Baudouin, who read two memoirs during a meeting of the French Academy of Sciences, of May 20<sup>th</sup>, 1761, in which he tried to deduce the elements of the orbit of that satellite, estimating that it had to be almost as far from Venus as the Moon is from the Earth (Baudouin 1761, p. 22). Baudouin was convinced about the great relevance of those observations, which confirmed the ones made by Cassini: he subsequently published a treatise, *Mémoire sur la découverte du Satellite de Venus* (1761), in which he reported all his deductions. Montaigne's 9-foot telescope was strangely not equipped with a filar micrometer, and all the distances were thus assessed only by estimate; however, his observation was considered quite reliable, at least by Lalande. But when Baudouin repeated the observation on June 6<sup>th</sup>, together with Charles Messier (1730-1817), no traces of that satellite could be seen (Lalande 1761, p. 84).

Moreover, few years later, in Auxerre, another astronomer claimed to have seen something that could be a satellite, in three different occasions:

On March 15<sup>th</sup>, 28<sup>th</sup> and 29<sup>th</sup>, 1764, around half past seven in the evening, M. de Montbarron, councilor at the Présidial [court of justice] in Auxerre, repeated his observations with his [Gregorian] telescope of 32 inches, he changed the small mirror, changed the eyepieces, kept Venus out of range of his instrument while observing his satellite, showed it to numerous people for hours, did not neglect anything that could increase the certainty of the appearance of this star (Diderot & D'Alembert 1765, p. 35).

More details were provided by Messier in a letter of June 16<sup>th</sup>, 1764 (Hell 1765, pp. 26-27), sent to the Hungarian astronomer and Jesuit father Maximilian Hell (1720-1792). According to that letter, on March 15<sup>th</sup>, while observing Venus at seven o'clock in the evening, Montbarron saw a small star, on the dark side of Venus. On the 28<sup>th</sup> of the same month, at half past seven in the evening, he sighted the same small star near Venus, similar to the previous one, which made with the vertical an angle of  $15^\circ$  on the western side. And also on the following day, on March 29<sup>th</sup>, although Venus was surrounded by some sparse clouds, he was able to observe the same star once again. After the third and last sighting, although Montbarron often looked with the same telescope for that mysterious celestial body resembling a star, he could never see it again. In addition to that, Montbarron admitted that he could not distinguish any phase in this star, in any of his three observations.

No biographical details are known regarding the figure of the French councillor, and we are not even given to know how Messier became aware of Montbarron's observations. Moreover, it is interesting to note that, contrary to previous observations, no information was provided about the magnifying power of Montbarron's telescope, nor about the star's angular distance from Venus, or even about its diameter. Therefore, his observations revealed not to be particularly useful to sustain the hypothesis of a real satellite. Instead, according to Hell (Hell 1765, p. 27), those observations proved that the mysterious object was not a fixed star, since fixed stars are more scintillating and less delimited than the object observed. Actually, it must be said that the fact that the small body seen by Montbarron did not twinkle, could not prove that it was not a star, but it simply suggests that the atmosphere was (presumably) less turbulent on those evenings.

## 7. The consequences of a deviation

After 1769, despite the sightings, astronomers were therefore still generally sceptical about the real existence of a satellite.

A strong thrust came from Hell, who, in his treatise *De satellite Veneris* (1765), stated that all the sightings that had occurred up to then were nothing more than optical illusions, caused by the planet Venus itself. According to Hell, the image of Venus was so bright that it was reflected by the eye, and then re-entered the telescope, and created a smaller secondary image: the very one that various astronomers had mistakenly taken for an alleged satellite.

In fact, in 1757 and 1758, Hell had seen an indefinite object near the planet, while making some observations with both a refractor and a reflecting telescope. By slowly moving the eye towards the eyepiece, he had noted that the object followed the same phase as the planet; but by moving perpendicular to the telescope axis, however, was only the image (and not the planet) which had moved in the same way. This theory thus explained the different positions of the alleged satellite, and also the fact that it presented the same phase of the planet (like a real satellite): it was simply a shrunken image of it. For this reason, and for the fact that he had noted the same effect also with Mars and Jupiter, he concluded that he had been deceived by some optical illusions through the telescopes (Hell 1765, pp. 29-32 and p. 63). Moreover, according to Hell,

Why should it appear only to M. Montaigne in Limoges in 1761, and to M. Roedkiaer in Copenhagen in 1764, and the same year to M. Montbarron in Auxerre, and not to others? How is it [possible] that in the same year of 1764, during all the months of March, April, May and June, I saw him very often, perhaps in the same days in which M. Messier in Paris looked for him in vain, while they saw him in Copenhagen and Auxerre, but could none of them see it again in the same places? Why, then, did it appear to me as often as I wanted, and not to others? It was because I had clear skies while the others had clouds for all the time? To what cause can they attribute the fact that all these times I saw it through two Gregorian telescopes, but never through the two much better Newtonian telescopes, although I tried it often by myself and asked others to try it? (Hell 1765, p. 89).

Basing on all those proofs, that object could not therefore be something real, but simply a reflected image, and the question seemed definitively closed. At the time, however, the news was greeted with a hint of regret, and it was said that: "It is a pity that this moon of Venus has vanished, since our imaginative minds had already given him the epigrammatic name of Cupid." (Krünitz 1769, p. 118).

The mysterious satellite of Venus thus slowly lost its charm, and astronomers became unconcerned about its eventual existence. However, between 1870 and 1885, thanks to the subsequent pair of Venus transits (expected for 1874 and 1882), and to the discovery of the two satellites of Mars - namely, Phobos and Deimos, sighted in 1877, by Asaph Hall (1829-1907) - the problem came back into vogue.

## 8. How a Belgian manages an affair

Among the scientists convinced that Venus had a satellite, there was the Belgian journalist Jean-Charles Houzeau (1820-1888). Houzeau started his astronomical career by being a young volunteer at the service of the Royal Observatory of Belgium (while working as a journalist) and, in 1882, he led a Belgian expedition to San Antonio (Texas), to observe the transit of Venus with a special heliometer specifically designed by him.

In the first instance, to justify the scarce sightings, Houzeau assumed that the satellite had existed in the past, but that it had later disappeared, having been disintegrated. However, this hypothesis was not convincing, not even for Houzeau himself, and the Belgian astronomer quickly decided not to pursue this idea.



Relying on some of the data collected by previous astronomers (incidentally, only 7 out of 36: Fontana's observation of November 15<sup>th</sup>, both Cassini's ones, that of Short, that of Montaigne, and Montbarron's sightings of March 4<sup>th</sup> and 28<sup>th</sup>) (Houzeau 1884, p.284), he then suggested that the sighted object was a small planet, which he called Neith, the name of the Egyptian creator of the universe. In fact, this celestial body had a regular period and was cyclically in conjunction with Venus.

The orbit of Neith is under the direct influence of that of Venus, which is remarkably close. Considering the orbit of Venus as the demarcation of the equator of a central body, the meniscus of which would be left on this orbit, Neith would represent a satellite, circulating at a short distance, and the attraction of the meniscus would maintain the body in the plane aforesaid. [...] If we could move the Moon a little away from the Earth, and place it at a given moment at opposition, it would cease to circulate around our globe, and would make its revolution like us around the Sun. Who can affirm that a case of this kind did not arise for Venus, and that Neith is not comparable to what I will call a pseudo-satellite, placed beyond the sphere of attraction of Venus? (Houzeau 1884, p. 289).

However, one last confirmation was missing: a new sighting. Fortunately - or unfortunately, depending on the point of view - on February 3<sup>rd</sup>, 1884, in the Brussels observatory (Thirion 1885, p. 46), a bright dot was sighted very close to Venus by Belgian astronomer Charles Émile Stuyvaert (1851-1908), and again on February 12<sup>th</sup>, by his colleague Louis Niesten (1844-1920).

For Houzeau those were the unequivocal confirmations of his hypothesis and of the real existence of such a mysterious object, but the scientific community soon crushed his enthusiasm, classifying Houzeau's hypotheses as mere speculations, without any scientific basis. Neith was nothing more than an optical illusion, and the case, this time for real, was definitively closed.

## 9. The romance of the moon

As we all know, in fact, Venus has no satellite and, therefore, all the sightings that have occurred in the history of astronomy have proved wrong.

Even the French novelist Jules Verne (1828-1905) was convinced that Venus had no satellites, as he stated in *Hector Servadac*, written in 1877 (thus before the speculations advanced by Houzeau). In Verne's book, a comet (called Gallia), after a collision with the Earth, took away a piece of its surface, carrying 36 people on board. Gallia crossed the solar system in a 2-year voyage along an elliptical orbit that made it first approaching the Sun, beyond the orbit of Venus, and then moving away beyond the orbit of Jupiter. During the approach of Gallia to Venus, Verne wrote:

At least - said Captain Servadac - this approximation will have, if nothing else, served to demonstrate that the planet Venus has no satellites! Indeed, Domenico Cassini, Short, Montaigne de Limoges, Montbarron and some other astronomers truly believed to the existence of this satellite (Verne 1877, p. 58).

So, what have all those astronomers seen? A comet perhaps? A small nova? Or have they been just misled by mere optical illusions, as suggested by Hell? We will never know for sure. As often happens, there are questions that can never be answered with certainty. In all those situations, then, not being able to obtain a scientific explanation of what happened, will be our fantasy and our imagination that will lead us - in the footsteps of Verne - towards extraordinary voyages.

## Bibliography

- Baudouin de Guémadeu, A. H. (1761). *Mémoire sur la découverte du Satellite de Venus & sur les nouvelles observations qui viennent d'être faites à ce sujet*. Paris: Desaint & Saillant.
- Cassini, G.D. (1685). *Découverte de la lumière céleste qui paroist dans le zodiaque*. Paris: Sebastien Mabre-Cramoisy.
- Diderot, D. & D'Alembert, J. B. (1765). *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers. Tome XVII*. Paris: Briasson.
- Ferguson, J. (1756). *Astronomy explained upon Sir Isaac Newton's Principles, and made easy to those who have not studied Mathematics*. London: J. Johnson.
- Fontana, F. (1646). *Novae caelestium, terrestriumque rerum observationes [...]*. Naples: Giacomo Gaffaro.
- Gassendi, P. (1647). *Institutio astronomica [...]*. Paris: Ludovicum de Hevqueville.
- Halley, E. (1716). "Methodus singularis qua solis parallaxis sive distantia à Terra ope Veneris intra Solem conspiciendoe [...]", *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 29 (348), pp. 454-464.
- Hell, M. (1765). *De satellite Veneris*. Vienna: Johann Thomas Trattner.
- Houzeau, J. C. (1884). "Le satellite problematique de Venus", *Ciel et Terre: Revue Populaire D'Astronomie*, 5, pp. 283-289.
- Kragh, H. (2008). *The Moon that wasn't. The saga of Venus' spurious satellite*. Basel: Birkhäuser.
- Krünitz, J. G. (1769). "Verzeichniß der vornehmsten Schriften von der Venus und dem Merkur, und dem Durchgange dieser Planeten durch die Sonnenscheibe", *Neues Hamburgisches Magazin*, 15, pp. 114-118.
- Lalande, J. J. (1761). "Observation du passage de Vénus sur le disque du Soleil", *Histoire de l'Académie Royale des Sciences*. Paris: Imprimerie Royale, pp. 81-86.
- Lovisetti, L. (2022). "E pluribus unum: The first international scientific collaboration". *Il Nuovo Cimento C*, 45 (6). doi: 10.1393/ncc/i2022-22225-2.
- Mayer, A. (1762). *Observationes Veneris Gryphiswaldenses [...]*. Greifswald: F. Rose.
- Phaedrus, G. J. (c. 40). *Fabulae, II. Poeta. Liber IV*, ll. 5-6.
- Riccioli, G.B. (1651). *Almagestum novum astronomiam veterem novamque complectens [...]*. Bologna: Vittorio Benacci.
- Short, J. (1641). "An observation on the planet Venus, with regard to her having a satellite", *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 41 (459), pp. 646-647.
- Tacquet, A. (1669). *Opera mathematica*. Antwerp: Jacob van Meurs.
- Thirion, S.J. (1885). "Le satellite de Venus", *Revue des questions scientifiques*, 17, pp. 44-62.
- Verne, J. (1877). *Hector Servadac: voyages et aventures à travers le monde solaire*. Paris: Pierre-Jules Hetzel.

# TWENTIETH CENTURY PHYSICS AND ASTRONOMY

## Luigi G. Jacchia: From the starry skies of Loiano to the American moon race of the 60's

Alberto Buzzoni,<sup>1</sup> Fabrizio Bònoli<sup>2,1</sup>, Agnese Mandrino<sup>3</sup>, Giuseppe Pisana<sup>4</sup>

<sup>1</sup> INAF Osservatorio di Astrofisica e Scienza dello Spazio, Bologna, [alberto.buzzoni@inaf.it](mailto:alberto.buzzoni@inaf.it)

<sup>2</sup> Alma Mater Università di Bologna, [fabrizio.bonoli@unibo.it](mailto:fabrizio.bonoli@unibo.it)

<sup>3</sup> INAF Osservatorio Astronomico di Brera, Milano, [agnese.mandrino@inaf.it](mailto:agnese.mandrino@inaf.it)

<sup>4</sup> [pisanagiuseppe@hotmail.it](mailto:pisanagiuseppe@hotmail.it)

*Abstract:* We briefly review the amazing story of Luigi G. Jacchia (Trieste, 1910 - Cambridge MA, 1996), an Italian astronomer who started his career at the Bologna University Observatory in 1928. As a consequence of the 1938 Fascist racial laws, he left Italy for the US. Together with Fred Whipple, along the years at the Harvard Smithsonian Astrophysical Observatory, Jacchia joined the pioneering group of scientists that led to the NASA venture in the 50's. Jacchia's seminal contribution to high-atmosphere modeling was crucial for a safe re-entry of Mercury's, Gemini's and Apollo's manned missions. He greatly helped paving the way to the successful American space race in the 60's that led man to the Moon.

*Keywords:* Luigi G. Jacchia, History of astronomy, Atmospheric science, Space race, Space researches, Racial laws

### 1. From Trieste to Bologna to Harvard<sup>1</sup>

Luigi Giuseppe Jacchia was born on 4th June 1910 in Trieste - then and until 1920 under the Austro-Hungarian Empire - into a wealthy family of Jewish ancestry. Luigi was the elder of the two sons of Beatrice Prandina and Giuseppe Ulderico, a spicy merchant. In the first years of childhood, probably following his father's business, the family moved to Hamburg. There, the young Luigi learned German as his first language. In 1920 the Jacchias were back to Trieste and Luigi, together with his younger brother Leonardo, was entrusted to an Italian teacher. Yet along his high-school years in Udine, until 1928, Jacchia revealed an outstanding inclination to science and mathematics.

In a remembrance paper (Jacchia 1967) he vividly recalls his first approach to astronomy in 1926 when, just sixteen years old, he met Ferdinando Flora, assistant of Guido Horn d'Arturo, Professor of Astronomy and Director of the R. University Astronomical Observatory of Bologna (Bònoli, 2003, 2007, 2018). Flora envisaged the young student a chance to work at the Observatory, if he had enrolled in a scientific faculty in Bologna, an offer that eventually led Jacchia to move with his mother to the Felsinean University in 1928 and attend there the Faculty of Engineering (Fig. 1). In the same year he obtained the Italian citizenship by Royal Decree, like all citizens from Trieste. In Bologna, he met Horn d'Arturo - from Trieste as well - who immediately foresaw in him a brilliant future scientist and welcomed him as a volunteer assistant: a decidedly early start to a professional career for an eighteen-year-old student, but also the beginning of a mutual esteem and a deep friendship that will last until Horn d'Arturo's death in 1967.

The Director of the Observatory immediately put the young assistant at work. In fact, his first publication was just at the end of that year: a brief note on the discovery of a new variable star in Orion (Jacchia, 1928). Two further publications in French on the light curve of another variable in the small constellation of the Lacerta will follow shortly (Pisana, 2019, pp. 14-15).

---

<sup>1</sup> Exhaustive information on Jacchia's life and work, can be found in Pisana (2019, and references therein), including archival and family sources as quoted in this article. Giuseppe Pisana's thesis is available online at: <https://amslaurea.unibo.it/17880/>.



**Fig. 1.** Luigi Jacchia, at his 18's, in the application form to enroll at the University of Bologna in 1928. (Archivio storico dell'Università di Bologna, Fascicolo Studente: Jacchia Luigi, n°7512).

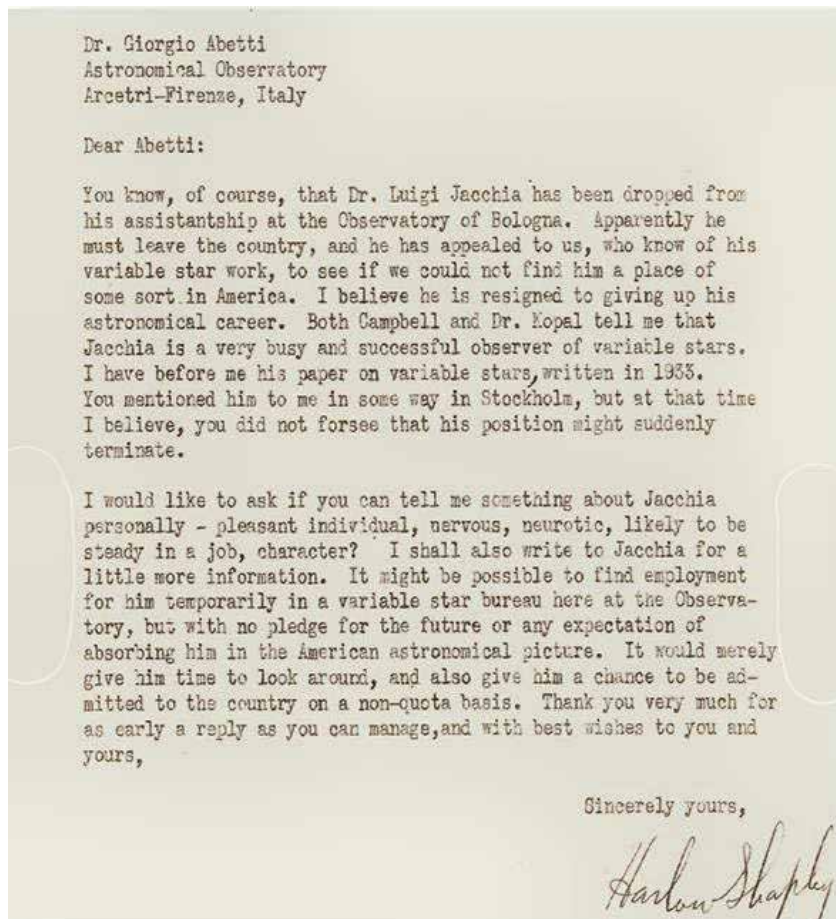
Definitely, these encouraging results convinced Jacchia to leave aside the Engineering option, and switch to the Pure Physics career in the academic year 1929/30. Meantime, and even counting on a modest monthly wage, he also took officially in charge the meteorological observations of the Bologna Observatory, dating back from the first half of the eighteenth century.<sup>2</sup> The work on atmospheric phenomena - which Horn d'Arturo already dealt with by studying the vanishing 'shadow bands' during eclipses - was no doubt the basis of Jacchia's future interests that led him to relevant positions in the studies of the atmosphere.

Together with his publications on variable stars, in collaboration with Italian and foreign astronomers, the young student also actively dealt with popularization of astronomy and in 1930 (just at the age of twenty, and still attending the second year of the degree course) he organized in Bologna a meeting of Italian amateur astronomers. In that event Jacchia led the birth of an association, the Gruppo Astrofili Bononia, and created a newsletter of astronomical actuality. The so-called *Circolari*, edited at the Observatory by Jacchia himself, had such a good success that Horn d'Arturo brought together association and newsletters inaugurating a new regular journal that came to light on January 1, 1931 with the name of *Coelum*: Horn d'Arturo was the Director and the same Jacchia the main contributor. Thanks to a high scientific quality, *Coelum* had a long and successful life (published until 1986) and a vast circulation abroad (some thousands of subscribers, throughout).

Jacchia also dealt with observations of planets and participated in the international campaign organized by the Solar Parallax Commission of the International Astronomical Union, but he never gave up with his academic studies. In November 1932 he graduated with 110/110 in Pure Physics, defending a thesis on the *Study of the Debye Effect in Castor Oil*, aimed at characterizing the castor oil spectroscopic properties and the corresponding absorption patterns in the radio wavelength domain. Shortly after graduation he was hired as an assistant in charge (no longer a volunteer), going on with his studies on variables and publishing, among other things, an important monograph on the subject (Jacchia, 1933). The following year, he awarded the national competition for assistant in the Royal Astronomical Observatories having the R. Observatory in Pino Torinese (near Turin) as final destination. Nevertheless, it is clear from the documents in the Bolognese archives that Jacchia did not intended to leave Bologna (Pisana, 2019, pp. 27-29). The new Loiano Observing Station (near Bologna) was actually underway, hosting an advanced 60-cm Zeiss telescope (the second biggest in Italy at that time) that came into

<sup>2</sup> Historical records on Jacchia's studies and the different positions held at the Bologna Observatory can be found in the Historical Archives of the Department of Astronomy and in the Historical Archives of the University of Bologna (see note 1 above). Further important input also came from Jacchia's descendants, whom authors here would like to warmly thank.

operation in 1936. In addition, Horn d'Arturo was actively carrying on his brilliant project of the 'tes-sellated telescope' - forefather of the modern active-optics multi-mirror telescopes (Bònoli, 2018). The young astronomer had therefore many interests in taking part in these innovative endeavours under the guidance of his mentor. He then eventually chose to waive the safest and most profitable position in Turin and maintain his provisional charge in Bologna.



Dr. Giorgio Abetti  
Astronomical Observatory  
Arcetri-Firenze, Italy

Dear Abetti:

You know, of course, that Dr. Luigi Jacchia has been dropped from his assistantship at the Observatory of Bologna. Apparently he must leave the country, and he has appealed to us, who know of his variable star work, to see if we could not find him a place of some sort in America. I believe he is resigned to giving up his astronomical career. Both Campbell and Dr. Kopal tell me that Jacchia is a very busy and successful observer of variable stars. I have before me his paper on variable stars, written in 1933. You mentioned him to me in some way in Stockholm, but at that time I believe, you did not foresee that his position might suddenly terminate.

I would like to ask if you can tell me something about Jacchia personally - pleasant individual, nervous, neurotic, likely to be steady in a job, character? I shall also write to Jacchia for a little more information. It might be possible to find employment for him temporarily in a variable star bureau here at the Observatory, but with no pledge for the future or any expectation of absorbing him in the American astronomical picture. It would merely give him time to look around, and also give him a chance to be admitted to the country on a non-quota basis. Thank you very much for as early a reply as you can manage, and with best wishes to you and yours,

Sincerely yours,  
Harlow Shapley

**Fig. 2.** November 28 1938 letter from Harlow Shapley to Giorgio Abetti for personal information about Jacchia, before offering him a job at Harvard University. (Archivio dell'INAF, Osservatorio Astrofisico di Arcetri, 1938).

The forthcoming years consolidated Jacchia's career; the number of publications increased, thanks also to the large number of observations made with the new Loiano telescope and in 1937 and 1938 he received two Scientific Operosity Awards. But a fatal storm was preparing with the Second World War and, earlier in autumn 1938, with the Fascist racial laws, which led a number of Italian Jewish astronomers, including Guido Horn d'Arturo, to be euphemistically "suspended from duty" (Mandrino & Bònoli, 2015). Jacchia was initially not affected, as he had three out of four Aryan grandparents and six out of eight Aryan great-grandparents – enough just in Germany not to be considered Jewish by the Nuremberg Laws – and was even confirmed in the role of assistant, being formally considered Aryan (Pisana, 2019, pp. 32-35). But somewhat unexpectedly, at the beginning of December 1938, the ultimate "dispensation from duty" arrived for him as well. In January 1939, Luigi and his mother therefore decided to leave Italy and move first to UK, bringing a recommendation letter of Horn d'Arturo to Arthur Eddington, which granted the young collaborator a temporary job as professor at the University of London Observatory in Mill Hill. But a second step was ready, in May the same year, to cross the Atlantic and come to the United States. Perhaps following up previous contacts, Harlow Shapley the Director of the Harvard College Observatory and representative for astronomy at the Emergency Committee in Aid

of Displaced Foreign Scholars, requested the Director of the Arcetri Observatory, Giorgio Abetti, to endorse the young astronomer (Fig. 2), and this led Jacchia to be hired in May 1939 as a research associate at Harvard (Fig. 3).



**Fig. 3.** “The ‘foreign’ group at Harvard College Observatory, 1939”.

From left to right, starting from the back row: Dr. George Dimitroff, Dr. Cecilia H. Payne-Gaposchkin, Dr. Luigi Jacchia, Mr. Donald MacRae, Dr. Zdenek Kopal, Dr. Richard Prager, Dr. Sergei Illarionowitch Gaposchkin, Miss Shirley Patterson, Dr. Marie Paris Pishmish, Dr. Odon Godard, Dr. Bart J. Bok, Dr. Jaakko Tuominen, Dr. Massaki Huruwata, Señor Luis Erro. (American Institute of Physics, Emilio Segrè Visual Archives, [www.photos.aip.org](http://www.photos.aip.org)).

At the new institute Jacchia re-took his studies on variable stars, leading to many papers and an important text (Campbell & Jacchia, 1941) on the subject, in collaboration with Leon Campbell, coordinator of the American Association for Variable Stars Observers (AAVSO). But the same year also United States entered the war and Jacchia’s scientific activity seemed to abruptly stop. The few remembrance words in James Cornell’s obituary (Cornell, 1996), a colleague of Jacchia at the Smithsonian, are the only scanty reference for that period, mentioning that: “During World War II, he applied his linguistic skills to war work as scientific consultant to the Office of War Information’s Foreign Language Broadcasting and Monitoring Service”.

As a matter of fact, Jacchia was an expert polyglot, with a perfect command of over 13 languages, perhaps helped by the Italian-German bilingualism of his childhood. These skills had probably been exploited not only for translations, but also for ‘intelligence operations’: the Office of War Information, of which Cornell speaks, was an espionage service of the Directorate of Science and Technology of the Central Intelligence Agency (CIA). This would explain Jacchia’s subsequent silence on the estrangement from astronomy and on the activities carried out in the war years, in addition to the US citizenship obtained in 1944 together with his mother.



## 2. From the variable stars to the space race

After the war, Jacchia resumed his service at Harvard, but soon abandoned his old field of interest on variable stars (maybe due to character misunderstandings with Campbell) to open to fully new research experiences. It was the study of meteors that now fascinated the astronomer introducing him to a fresh and very fruitful collaboration with Fred Lawrence Whipple, a worldwide recognized authority in the study of comets, thanks to his famous ‘dirty snowballs’ model. From 1949 a series of works with Whipple appear on the photographic observations of meteor showers by relying on the new method of the rotating shutter, in order to record on the photographic plates a precise time tag of the ‘fireball’ events.<sup>3</sup>

For the first time and at an unprecedented accuracy level, these studies led to assess the dynamic state of meteors along their luminous ‘fireball’ phase, when crossing the outer layers of our stratosphere, at altitudes of 70-120 km. In 1956 Jacchia published an important paper on this subject, together with Fred Whipple, which paved the way for unexpected applications to the incoming space science (Jacchia & Whipple, 1956). Shortly after, in fact, in October 1957 the world witnessed the astonishing achievements of Soviet astronautics, with the launch of the first artificial satellite Sputnik, to which even larger and heavy objects quickly followed in Earth orbit. The space race had begun, inevitably setting out along the parallel tracks of scientific research and political competition between the new post-war superpowers, the Soviet Union and the United States, in the context of the Cold War. As an absolute priority, America had to fill the gap and re-take leadership over Russia. This definitely urged a maximum effort to go ahead with technological and scientific advances in order to overcome the Soviets and even bring a first man in space and take him back to Earth alive.

Meanwhile, Jacchia and the full group of Whipple, moved from Harvard to the Smithsonian Astrophysical Observatory (SAO) in Washington, becoming more and more involved in the US space activities. Starting from 1 October 1958, that pioneering group turned out to be the heart of the incepting National Aeronautics and Space Administration government agency (NASA). Under Whipple’s coordination, NASA began a massive observing campaign of the Soviet satellites, easily visible with a network of Baker-Nunn wide-field telescopes, to study their orbits and predict their possible re-entry in the atmosphere.

Jacchia realized that the perturbations of the satellite orbits, compared to the classical Kepler’s law, may have originated by frictional effects with the outermost layers of our atmosphere, even at orbital altitudes. The problem had therefore a lot to do with his previous experience with meteors and this proved fundamental to develop a predictive model on the dynamics of satellites and their envisaged lifetime in orbit. The calculation program - wrote Jacchia (1959) - “was a success, and as a result I found myself making the official predictor for the first two Russian satellites”. The Italian scientist quickly gained worldwide fame and, from the beginning of the Sixties, became one of the very few internationally recognized ‘satellite experts’.

The studies on the Soviet Sputniks and, later in 1958, on the first US satellite, Explorer 1, led in 1960 to validate and refine a first physical model of the Earth’s atmosphere at ever greater altitudes, including the effects at low orbital regimes (what we now call LEO, Low-Earth Orbits). In the following years, the refined analysis of more and more numerous and accurate experimental datasets, allowed Jacchia to discover new and surprising effects in the behaviour of our atmosphere. First, periodic variations appeared in fact into stratosphere density about on monthly scale. These seemed to correlate with the 10.7-cm radio flux from the Sun due to the transit of sunspots on the visible surface, during solar rotation of precisely 27 days. This correlation seemed to extend also to the ultraviolet radiation, which were absorbed in the upper atmosphere thus leading the gas to heat and ‘inflate’. In addition to the 27-day period, the atmosphere “breath” showed equally clear periodicities on a 12-hour scale, that is due to night/day effect, while slower but even stronger fluctuations arose on 11-year scale, as a result of Earth’s geomagnetic activity, in response to the solar magnetic cycle.

Since 1966, the Jacchia model became the official reference of the *U.S. Standard Atmosphere Supplements* and it has been widely used in all subsequent years for orbital dynamics prediction at LEO altitudes, and for the physics of re-entry into the atmosphere, especially for manned missions. This was

---

<sup>3</sup> For a complete bibliography of Jacchia’s almost 200 publications, please refer to Pisana (2019).

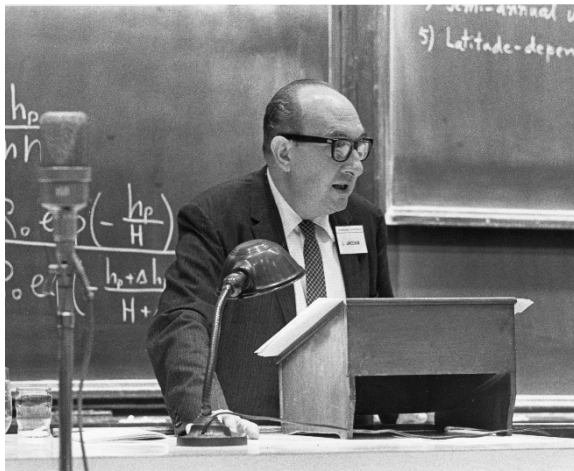


the case, for instance, of the Mercury and Gemini missions of the Sixties, and of the Apollo lunar missions of the early Seventies. Back from the Moon, the model made it possible to refine the Earth's approaching trajectories to safely account for the effects of friction heating with our atmosphere upon re-entry. This allowed, for instance, Apollo astronauts to return to Earth safe and sound. More authors later refined and completed the atmosphere model, while always maintaining the original credits, as the so-called Jacchia-Bowman model, published in a first version in 2006 and improved in 2008 (Bowman *et al.*, 2008).

Among his numerous positions, Jacchia has served as Chairman of the Atmospheric Section of the Committee on Space Research (COSPAR) and of the Atmospheric Division of the International Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA). For his discoveries in the geophysical field through decades of research and analysis in the field of meteors first and then artificial satellites, Jacchia received in 1980 the Hodgkins Gold Medal “for his contributions to the field of atmospheric physics”. The International Astronomical Union gave his name to an asteroid – 2079 Jacchia – with these words: “He has made pioneering investigations of the Earth's upper atmosphere [...] and he is well known as an extraordinary linguist”.

We are pleased to recall the deep friendship that bound Jacchia to Guido Horn d'Arturo along the entire American years, also demonstrated by the fact that every time he returned to Italy – nearly every year to visit relatives – he never forgot to go to Bologna to greet his ‘maestro’.

Luigi Jacchia died in Cambridge (Massachusetts), on May 8, 1996.



**Fig. 4.** (left) Luigi Jacchia in 1964. (American Institute of Physics, Emilio Segrè Visual Archives, [www.photos.aip.org](http://www.photos.aip.org)). (right) The October 1995 photo portrays Luigi Jacchia in front of his home in Cambridge (MA) a few months before his death. (Courtesy of the nephew Alessandro Jacchia).

## Bibliography

- Bònoli, F. (2003). *Horn d'Arturo, Guido*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*. Istituto della Enciclopedia Italiana Treccani. vol. 61, pp. 729-730.
- Bònoli, F. (2007). *Horn d'Arturo, Guido*, in Th. Hockey (ed.) *Biographical Encyclopedia of Astronomers*. Berlin-Heidelberg: Springer, pp. 525-526.
- Bònoli, F. (2018). "Guido Horn d'Arturo and the First Multi-Mirror Telescopes: 1932-1952", in Spiga R., Bònoli F., Trinchieri G. & Pareschi G. (eds.) "The Scientific Legacy of Guido Horn d'Arturo" (Catania, November 10, 2018). *Memorie della Società Astronomica Italiana*, 89(4), pp. 448-46.
- Bowman, B.R. *et al.* (2008). "A New Empirical Thermospheric Density Model JB2008 using New Solar and Geomagnetic Indices". *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 70, pp. 774-793.
- Campbell, L. & Jacchia, L. (1941). *The Story of Variable Stars*. Philadelphia-Toronto: The Blakiston Company.
- Cornell, J. (1996). "Obituary: Luigi G. Jacchia, 1910-1996". *Bulletin of the American Astronomical Society*, 28, pp. 1452-1453.
- Jacchia, L.G. (1928). "Nuova variabile BD - 5°1325 (411.1928 Orionis)". *Astronomische Nachrichten*, 234, p. 215.
- Jacchia, L.G. (1933). "Le stelle variabili". *Pubblicazioni dell'Osservatorio Astronomico della R. Università di Bologna*, 2.
- Jacchia, L.G. (1959). "In orbita. Esperienze di un satellista", *Coelum*, 27(11-12), pp. 165-169.
- Jacchia, L.G. (1967). "Ricordi di Guido Horn d'Arturo". *Coelum*, 35(5-6), pp. 73-79.
- Jacchia, L.G. & Whipple, F.L. (1956), "The Harvard Photographic Meteor Program". *Vistas in Astronomy*, 2, pp. 982-994.
- Mandrino, A. & Bònoli, F. (eds.). "Atti del Convegno: Sotto lo stesso cielo? Le leggi razziali e gli astronomi in Italia" (Bologna, 26 January 2015). *Giornale di Astronomia*, 41(2).
- Pisana, G. (2019). *Luigi G. Jacchia, un triestino a Bologna: dai cieli di Loiano all'epopea spaziale americana*. Master's Degree Thesis in Astrophysics and Cosmology. Alma Mater Studiorum Università di Bologna (available online at: <https://amslaurea.unibo.it/17880/>).

# A glimpse into Feynman's contributions to the debate on the foundations of quantum mechanics

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](mailto:marco.dimauro@unitn.it)

<sup>2</sup> Dipartimento di Fisica E. Pancini, Università degli Studi Napoli Federico II and INFN, Sezione di Napoli, [sesposit@na.infn.it](mailto:sesposit@na.infn.it)

<sup>3</sup> INFN, Sezione di Napoli, [anaddeo@na.infn.it](mailto:anaddeo@na.infn.it)

*Abstract:* Although the common lore unofficially (and erroneously) credits Feynman with the famous quote “shut up and calculate”, he did not avoid foundational questions in quantum mechanics. The first records of his considerations on such issues are in the report of the 1957 Chapel Hill conference on “The Role of Gravitation in Physics”, where foundational quantum issues were widely debated, especially in connection with the problems of quantum gravity and quantum cosmology. In fact, Feynman discussed quantum foundations again in his 1961 letter to V. F. Weisskopf and in the 1962-63 Lectures on Gravitation. In this contribution, we reconstruct and analyse this aspect of Feynman's work, starting with his many interventions in the debate at Chapel Hill. In particular, we analyse Feynman's arguments in favour of the quantization of the gravitational field, based essentially on a series of thought experiments. Then we consider the problem of wave function collapse, for which Feynman hinted at decoherence as a possible solution. Finally, another issue is considered, concerning the role of an internal observer in a closed Universe. In this respect, Feynman's many-worlds characterization of H. Everett's approach is discussed, together with his later reflections on this matter, involving a version of Schrödinger's cat paradox. Philosophical implications of Feynman's ideas in relation to foundational issues are also discussed, as well as some subsequent developments.

*Keywords:* Quantum mechanics, Wave function collapse, Many-worlds

## 1. Introduction

It is a well-known fact that Richard P. Feynman was deeply concerned with quantum mechanics and its meaning since the very beginning of his career. In fact, while developing his celebrated path integral formulation he believed that it could offer hints for possible modifications of the existing theories: “In addition, there is always the hope that the new point of view will inspire an idea for the modification of present theories, a modification necessary to encompass present experiments” (Feynman 1948, p. 368). This circumstance is also mentioned by F. Dyson: “In 1948 he was still doubting all the accepted dogmas of quantum mechanics. He was exploring possible alternatives to the standard theory. His motivation was to discover a new theory, not to reinvent the old one” (Dyson 1990, p. 210). However, he soon realized that he had found only a formalism to compute the propagation of wave functions, completely equivalent to the canonical one.

Foundational issues strongly intrigued him also in subsequent years, in particular in connection with the effort to build a quantum theory of gravitation, which he actively pursued since the early 1950s.<sup>1</sup> His participation to the 1957 Chapel Hill conference on *The Role of Gravitation in Physics* (DeWitt-Morette, Rickles 2011) clearly testifies his broad interests and his curiosity towards such issues. This

---

<sup>1</sup> This fact is mentioned by Bryce S. DeWitt (DeWitt-Morette, Rickles 2011, p. 25) in a letter to Agnew Bahnson written in November 1955, as well as recalled by Murray Gell-Mann (1989) in a special issue devoted to Feynman's legacy.

conference was pivotal in delineating the tracks along which subsequent work in classical and quantum gravity would develop (Bergmann 1957), in particular: classical gravity and gravitational waves; the need for gravity quantization and the possible existence and meaning of macroscopic quantum superpositions; quantization of gravity and gravity as a quantum field theory.

Feynman contributed to all the above tracks (for a detailed account see (Di Mauro *et al.* 2021)): in fact, the proceedings of Chapel Hill conference (DeWitt-Morette, Rickles 2011) are the first written records of his work on quantum gravity and, in particular, of his ideas on the foundations of quantum mechanics (Zeh 2011). Thus, our reconstruction assumes as starting point Feynman's interventions at Chapel Hill. The focus is mainly on Session VIII of the conference (DeWitt-Morette, Rickles 2011, pp. 243-260) where an interesting debate on foundational issues took place to which Feynman contributed with a series of gedanken experiments. Then we switch to the Closing Session (DeWitt-Morette, Rickles 2011, pp. 263-278), where Hugh Everett III's relative state interpretation of quantum mechanics (Everett III 1957) was discussed for the first time and characterized by Feynman as “many-worlds”. His interventions and the related discussions were very effective in triggering the subsequent research on the quantum measurement problem, on the existence and meaning of macroscopic quantum superpositions and on the Everett interpretation, as we will point out. Further interesting contributions by Feynman on quantum foundational issues are scattered throughout his famous *Caltech Lectures on Gravitation* (Feynman *et al.* 1996), delivered in 1962-63 and aimed to advanced graduate students and postdocs. We therefore proceed by critically analyzing several considerations and suggestions there contained.

The paper is organized as follows. The issue of gravity quantization is presented in Section 2, together with a careful discussion of Feynman's gedanken experiments. Section 3 is devoted to wave function collapse as an answer to the measurement paradox in quantum mechanics, while Everett's interpretation together with its consequences is the subject of Section 4. Our conclusions close the paper.

## 2. Is gravity a quantum field?

The key question, which the participants to the Chapel Hill conference widely discussed, was whether the gravitational field had to be quantized, in analogy with other fundamental fields, or not. Indeed, the ultimate goal of the conference was the merging of general relativity with the rest of physics, in particular with elementary particle physics which is governed by quantum mechanical laws. As clearly stated by P. Bergmann in the opening address to the Quantum Gravity Session, in the absence of compelling experimental facts the only guide could be logical consistency:

Physical nature is an organic whole, and various parts of physical theory must not be expected to endure in “peaceful coexistence”. An attempt should be made to force separate branches of theory together to see if they can be made to merge, and if they cannot be united, to try to understand why they clash. Furthermore, a study should be made of the extent to which arguments based on the uncertainty principle force one to the conclusion that the gravitational field must be subject to quantum laws: (a) Can quantized elementary particles serve as sources for a classical field? (b) If the metric is unquantized, would this not in principle allow a precise determination of both the positions and velocities of the Schwarzschild singularities of these particles? (DeWitt-Morette, Rickles 2011, p. 165)

The above questions hinted at the introduction of uncertainty relations for quantities such as distances and volumes, which were expected to imply a novel perspective on the ordinary concepts of space and time. As a consequence, some physicist expected that the gravitational field should be effective in taming quantum field theory divergencies. Another question, raised by Bergmann was:

What are the quantum limitations imposed on the measurement of the gravitational mass of a material body, and, in particular, can the principle of equivalence be extended to elementary particles? (DeWitt-Morette, Rickles 2011, p. 166)

This is deeply related to the quantum measurement problem. However, as we anticipated in the introduction, most of the relevant discussions took place in Session VIII, focusing on the potential contradictions arising in the logical structure of quantum theory, if gravity quantization is not assumed. The discussion touched the very foundations of quantum physics. The main arguments expressed by the participants (and also referred to by Bergmann) can be summarized as:

1. If gravity is not quantized, it can be used to violate the uncertainty principle.
2. If quantum matter can be the source of gravity, then the gravitational field must be quantum as well.

An important point which was emphasized is that if the gravitational field is not quantized, then quantum mechanics fails for matter massive enough to produce measurable gravitational fields. Feynman actively contributed to these discussions through ingenious thought experiments involving objects large enough to produce detectable gravitational fields. His interventions are a key source allowing us to understand his position with respect to several fundamental issues in quantum physics (Zeh 2011).

In particular, the first thought experiment involved a variant of the classic double-slit experiment, with a mass indicator behind the two-slit wall. Feynman argued that if gravity is quantized, then the quantum fluctuations of the potential would correspond to an uncertainty on the mass of the order of  $10^{-5}$  grams (which corresponds to the Planck mass). Thus, by using masses of at least that size, if gravity were not quantized so that the potential did not fluctuate, one could use such an apparatus to violate the uncertainty principle. Hence Feynman's conclusion is that quantum mechanics is expected to fail for masses of this size or higher (DeWitt-Morette, Rickles 2011, pp. 244-245).

Subsequent discussions focused on more formal topics such as the meaning of the equivalence principle in quantum gravity and, mainly, on the ontology of quantum mechanics. In this context Feynman put forward a second thought experiment, essentially a Stern-Gerlach experiment with a gravitational apparatus (DeWitt-Morette, Rickles 2011, p. 251). He considered spin-1/2 particles and a big enough ball to produce a measurable gravitational field, able to move up or down when a particle reaches the first or the second of two counters respectively, connected to the ball by means of a rod. In this way the amplitudes for the particles to have spin up or down translate into amplitudes for the ball to be up or down. Furthermore, the gravitational field produced by the ball can be used to move a probe, which is in turn connected to a measuring apparatus. This amplification is mandatory in order to involve a measurable gravitational field. If, under the above conditions, quantum mechanics continues to be valid, then the amplitudes of the ball translate into amplitudes for the gravitational field, which is in a superposition of states and hence has to be quantized (this is a version of the second argument above). But, according to Feynman, there is another possibility:

There is a bare possibility (which I shouldn't mention!) that quantum mechanics fails and becomes classical again when the amplification gets far enough, because of some minimum amplification which you can get across such a chain. But aside from that possibility, if you believe in quantum mechanics up to any level then you have to believe in gravitational quantization in order to describe the experiment. [...]. The only way to avoid quantization of gravity is to suppose that if the amplification gets big enough then interference effects can in principle no longer play a role beyond a certain point in the chain, and you are not allowed to use quantum mechanics on such a large scale (DeWitt-Morette, Rickles 2011, p. 251).

As noticed by D. Zeh (2011), Feynman's emphasis on the presence of amplitudes reflects his choice of an ontic rather than epistemic interpretation of the wave function. Also, his description of the measuring apparatus complies with J. von Neumann's ideas (von Neumann 1932, chap. 6).

### 3. Wave function collapse

The discussions on foundational issues which took place at Chapel Hill conference, together with the 1962-63 *Lectures on Gravitation* (Feynman *et al.* 1996), allow us to reconstruct Feynman's ideas on the quantum measurement problem.

In particular, in the last quotation Feynman seems to hint at decoherence<sup>2</sup> as a possible cause of the destruction of quantum interference for macroscopic systems and hence as a solution of the conundrum. However, he does not make the final step, namely the recognition that the quantum coherence of a macroscopic gravitational field decays through the inevitable coupling and entanglement to the environment. This hypothesis will be considered only later, at the end of 1960s. Instead, at Chapel Hill Feynman stuck with the possibility of a fundamental collapse of the wave function if gravity is fundamentally classical:

There would be a *new principle!* It would be *fundamental!* The principle would be: - *roughly: Any piece of equipment able to amplify by such and such a factor ( $10^{-5}$  grams or whatever it is) necessarily must be of such a nature that it is irreversible.* It might be true! But at least it would be fundamental because it would be a new principle. There are two possibilities. Either this principle – this missing principle – is right, or you can amplify to any level and still maintain interference, in which case it's absolutely imperative that the gravitational field be quantized *I believe!* or there is another possibility which I haven't thought of (DeWitt-Morette, Rickles 2011, pp. 254-255).

Here there is an explicit hint at the possible role of gravity in destroying quantum superpositions when masses of macroscopic size (about  $10^{-5}$  grams) are involved. The same idea will be later expressed in his *Lectures on Gravitation* (Feynman *et al.* 1996):

In spite of these arguments [...] it is still possible that quantum theory does not absolutely guarantee that gravity has to be quantized. [...] In this spirit, I would suggest that it is possible that quantum mechanics fails at large distances and for large objects. [...] It is not inconsistent with what we do know. If this failure of quantum mechanics is connected with gravity, we might speculatively expect this to happen for masses such that  $GM^2/hc = 1$ , of  $M$  near  $10^{-5}$  grams [...]. Now quantum mechanics gives silly answers for objects of this size [...]. We must therefore not neglect to consider that it is possible for quantum mechanics to be wrong on a large scale, to fail for objects of ordinary size (Feynman *et al.* 1996, pp. 12-13).

In another point of these Lectures Feynman talks about a smearing effect on the evolution of the phases of all parts of a complex object, able to reduce amplitudes to probabilities, and suggests also for this effect a gravitational origin:

In order to make some sense here, we must keep an open mind about the possibility that for sufficiently complex processes, amplitudes become probabilities. [...] If there were some mechanism by which the phase evolution had a little bit of smearing in it, so it was not absolutely precise, then our amplitudes would become probabilities for very complex objects. But surely, if the phases did have this built-in smearing, there might be some consequences to be associated with this smearing. If one

---

<sup>2</sup> A comprehensive historical and research account on decoherence has been given by W. H. Zurek (2003).

such consequence were to be the existence of gravitation itself, then there would be non quantum theory of gravitation, which would be terrifying for these lectures (Feynman *et al.* 1996, pp. 14, 15).

The idea is a very attractive one because gravity is universal and gravitational effects are proportional to the size of the objects. It evolved into a fairly large research line in view of a possible solution to the measurement problem in quantum mechanics (Károlyhazy 1966) (Frenkel 1990) (Diosi 1989) (Penrose 1996). This line of research has been growing up throughout the years, also giving rise to alternative collapse models, based on the interaction with a random source, for instance an external noise source (Pearle 1993) (Bassi, Ghirardi 2003). But, despite all the work, the quantum measurement problem and the issue of transition to classicality still lack a definitive explanation.

#### **4. Observers in a closed Universe**

Another issue raised by quantum gravity which is deeply connected with the quantum measurement problem is the role of the observer in a closed Universe. This topic grew up in the Closing Session of Chapel Hill conference, with J. Wheeler advertising the work of his student Everett:

Also, the whole nature of quantum mechanics may be different in general relativity since in every other part of quantum theory, the space in which physics is going on is thought of as being divorced from the physics. General relativity, however, includes the space as an integral part of the physics and it is impossible to get outside of space to observe the physics. Another important thought is that the concept of eigenstates of the total energy is meaningless for a closed universe. However, there exists the proposal that there is one “universal wave function”. This function has already been discussed by Everett (DeWitt-Morette, Rickles 2011, pp. 269-270).

Feynman's reply was immediate and characterized for the first time Everett's interpretation as “many worlds”:

The concept of a “universal wave function” has serious conceptual difficulties. This is so since this function must contain amplitudes for all possible worlds depending on all quantum-mechanical possibilities in the past and thus one is forced to believe in the equal reality of an infinity of possible worlds (DeWitt-Morette, Rickles 2011, p. 270).

He considers these ideas again in 1963, in his *Lectures on Gravitation* (Feynman *et al.* 1996, pp. 13-14). Here he discusses the role of the observer in quantum mechanics by making reference to the Schrödinger's cat paradox, and compares the results of a measurement carried out by an external as well as an internal observer. The results of a measurement are given by an amplitude for the external observer, while the internal observer finds a probability. Furthermore, a paradox will arise in the absence of an external observer. This is the case when the whole Universe is considered as described by a complete wave function, which obeys a Schrödinger equation. As such, it implies the presence of an infinite number of amplitudes, which bifurcate at each atomic event (e.g. at each interaction). It is clear that interactions act as measurements within this “many worlds” picture. This picture, together with the meaning of the wave function of the Universe, is further discussed later in the *Lectures on Gravitation* (Feynman *et al.* 1996, p. 22) by making explicit reference to a “cat paradox on a large scale” and pointing out the possibility of obtaining our world as a result of some collapse mechanism on the wave packet. Notice how he hints at either possibility for this reduction, always keeping an open-minded attitude:

You must either suppose that observing creatures do something not described by quantum mechanics (i.e. Schrödinger equation) or that all possible worlds which could have evolved from the past are



equally “real”. This is not to say that either choice is “bad”, but only to point out that I believe that present quantum mechanics implies one or the other idea (Feynman *et al.* 1996, p. 22).

Later he manifestly expressed his dislike for the many worlds idea in a celebrated paper in which the possibility to simulate a quantum mechanical system with a computer is explored (Feynman 1982). The same circumstance is quoted by J. Preskill within a talk about the Feynman legacy, given at the APS April Meeting (Preskill 2018).

## 5. Conclusions

In this contribution we have reconstructed Feynman's vision on the foundations of quantum mechanics. As primary sources, we referred to his interventions to Chapel Hill conference (DeWitt-Morette, Rickles 2011) as well as to his *Lectures on Gravitation* (Feynman *et al.* 1996).

The following conclusions can be drawn. Although in his youth he tried to go beyond quantum mechanics, Feynman soon got convinced of its validity. However, he did not dismiss foundational questions, especially when discussing gravity. As such, he was deeply involved in the debate over the foundations of quantum physics which took place at Chapel Hill conference, motivated by the problem of quantum gravity. The discussion dealt with topics, such as the quantum measurement problem, that are still object of active research. In particular, in the presentation of his famous thought experiments a hint at decoherence as a possible cause of wave function collapse can be found. He also suggested (classical) gravity as a viable source of macroscopic classical behavior, as an alternative to quantum gravity. However, his important work in quantum gravity (Di Mauro *et al.* 2021) clearly shows that he preferred the idea that nature is fully quantum. As a further relevant contribution to the above debate, Feynman put forward his “many worlds” characterization of Everett relative state interpretation, which however he never fully embraced. He was indeed inclined to think that there is somehow a reduction of the wave packet, as opposed to a many-world picture; this reduction would then not be due to gravity which, as just remarked, he was inclined to consider part of the quantum world itself, as any other interaction.

## Bibliography

- Bassi, A. & Ghirardi, G.C. (2003). “Dynamical reduction models”, *Physics Reports*, 379, pp. 257-426.
- Bergmann, P.G. (1957). “Summary of the Chapel Hill Conference”, *Reviews of Modern Physics*, 29, pp. 352-354.
- DeWitt-Morette, C., Rickles, D. (eds.) (2011). *The Role of Gravitation in Physics, Report from the 1957 Chapel Hill Conference*. Berlin: Edition Open Access.
- Di Mauro, M., Esposito S. & Naddeo A. (2021). “A road map for Feynman's adventures in the land of gravitation”, *The European Physical Journal H*, 46(22), pp. 1-29.
- Diosi, L. (1989). “Models for universal reduction of macroscopic quantum fluctuations”, *Physical Review A*, 40, pp. 1165-1174.
- Dyson, F.J. (1990). “Feynman's proof of the Maxwell equations”, *American Journal of Physics*, 58, pp. 209-211.
- Everett, III H. (1957). “Relative state formulation of quantum mechanics”, *Reviews of Modern Physics*, 29, pp. 454-462.
- Feynman, R.P. (1948). “Space-Time Approach to Non-Relativistic Quantum Mechanics”, *Reviews of Modern Physics*, 20, pp. 367-387.
- Feynman, R.P. (1982). “Simulating Physics with Computers”, *International Journal of Theoretical Physics*, 21, pp. 467-488.



- Feynman, R.P. *et al.* (1996). *Feynman Lectures on Gravitation*. Reading (MA): Addison-Wesley.
- Frenkel, A. (1990). “Spontaneous localizations of the wave function and classical behavior”, *Foundations of Physics*, 20, pp. 159-188.
- Gell-Mann, M. (1989). “Dick Feynman - The guy in the office down the hall”, *Physics Today*, 42, pp. 50-54.
- Karolyhazy, F. (1966). “Gravitation and quantum mechanics of macroscopic objects”, *Il Nuovo Cimento*, A 42, pp. 390-402.
- Pearle P. (1993). “Ways to describe dynamical state-vector reduction”, *Physical Review A* 48, pp. 913-923.
- Penrose, R. (1996). “On gravity's rôle in quantum state reduction”, *General Relativity and Gravitation*, 28, pp. 581-600.
- Preskill, J. (2018). *Feynman after 40. Talk given at the APS April Meeting, 16 April 2018*. URL: <http://theory.caltech.edu/~preskill/talks/APS-April-2018-Feynman-4-3.pdf> (Accessed 1st November 2022).
- von Neumann, J. (1932). *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik (Mathematical foundations of quantum mechanics)*. Berlin: Springer.
- Zeh D. (2011). “Feynman's interpretation of quantum theory”, *The European Physical Journal H*, 36, pp. 63-74.
- Zurek, W. H. (2003). “Decoherence, eigenselection and the quantum origins of the classical”, *Reviews of Modern Physics*, 75, pp. 715-776.

# On Stanley Deser's role in the development of quantum gravity

Marco Di Mauro<sup>1</sup>, Adele Naddeo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Fisica, Università di Trento, [marco.dimauro@unitn.it](mailto:marco.dimauro@unitn.it)

<sup>2</sup> INFN, Sezione di Napoli, [anaddeo@na.infn.it](mailto:anaddeo@na.infn.it)

*Abstract:* Some of Stanley Deser's multifaceted contributions to quantum gravity are here analysed, starting from his contribution to the famous 1957 Chapel Hill conference on “The Role of Gravitation in Physics”. The main idea of his talk, as also summarized in Peter G. Bergmann's introduction, was the possibility offered by the development of quantum gravity to provide a way of imposing a cut-off to ultraviolet divergences in quantum field theory, and thus to make a contribution to the theory of elementary particles. Deser's subsequent stay at Harvard, as Julian Schwinger's assistant, led to the first seeds of the celebrated ADM (Arnowitt-Deser-Misner) formulation of general relativity, brought to completion in 1962-63. The influential role of this work in unveiling the canonical structure of general relativity and in triggering the development of the canonical approach to quantum gravity is here fully elucidated. Deser's contribution to the formulation of general relativity as a quantum field theory and to the covariant approach to quantum gravity are considered as well, with particular emphasis on his use of the first order formalism, which also led to an alternative route to Supergravity.

*Keywords:* ADM Theory, Quantum gravity, Supergravity

## 1. Introduction

The search for a quantum theory of gravitation began with Albert Einstein (1916), who already in 1916 argued on general grounds that general relativity (GR) would get modified by quantum effects. But it was in the so called “prehistory” (1930-1957) that the seeds of the three main research directions, which characterized the whole development of Quantum Gravity (QG) in the following decades and until today, were sown (Misner 1957) (Rovelli 2000) (Rickles 2020): the covariant approach, the canonical approach and the sum over histories approach.<sup>1</sup> While the idea behind the covariant approach is to build QG as a quantum field theory (QFT) of the fluctuations of the metric over a flat Minkowski (or some other background metric) space, the canonical approach tries to construct the Hilbert space of the quantum theory starting from a representation of operators corresponding to the full metric (or a function of the metric) without fixing a background metric. The first line of research started in the thirties with the key contributions by Leon Rosenfeld (1930a)(1930b), Markus Fierz and Wolfgang Pauli (1939), while the canonical line had as precursors Peter Bergmann (1949) (Bergmann, Brunings 1949) and Paul A.M. Dirac (1950) at the end of 1940s. Finally, the last approach is based on the Feynman's path integral quantization as a means to define the new quantum theory. It was put forward for the first time by John A. Wheeler as a possible fruitful line of attack towards the quantization of gravity in 1957 and suggested

---

<sup>1</sup> We point out that in the introduction of Charles Misner's paper (1957) four approaches to QG were mentioned, the fourth being quantization via Schwinger's action principle. However, as noticed by the author, this method hadn't been applied independently to GR, but only together with Feynman's path integral (Blum, Hartz 2017). Thus three main research's threads are usually quoted in the literature.

as a topic of PhD thesis to his graduate student Charles Misner<sup>2</sup> (1957). The famous 1957 Chapel Hill Conference on *The Role of Gravitation in Physics* (DeWitt-Morette, Rickles 2011) played a pivotal role in the subsequent development of the research in quantum gravity along the threads previously outlined, and also in classical gravity, marking the transition to a period, the so-called renaissance of GR, characterized by the establishment of a new community of researchers which would lead the field (Blum *et al.* 2015). Indeed, the variety of approaches converging to the same task, i.e., to put together two very different realms in a consistent theoretical framework, would have been greatly acknowledged by P. Bergmann five years later, within his concluding remarks at the end of another key conference on gravitation in Warsaw:<sup>3</sup>

In view of the great difficulties of this program, I consider it a very positive thing that so many different approaches are being brought to bear on the problem. To be sure, the approaches, we hope, will converge to one goal; but the points of departure are quite diverse (Infeld *et al.* 1964, p. 281).

Within the above developments, without any doubt, Stanley Deser's contributions play a prominent role. As recalled in his autobiography (Deser 2021a), Deser's interest in quantum gravity grew up during a two-year stay in Copenhagen, at Niels Bohr's Institute, between 1956 and 1957.<sup>4</sup> Indeed, he took part to the first international conferences completely devoted to gravitational physics, in Bern (1955), Chapel Hill (1957) and Royaumont<sup>5</sup> (1959) respectively. His first significant contribution in QG was the talk given at Chapel Hill (DeWitt-Morette, Rickles 2011) (Deser 1957), so we assume it as the starting point of our historical and critical reconstruction (Section 2). Then, in Section 3 we retrace the subsequent period, when Deser joined Harvard as Schwinger's assistant and started to collaborate with Arnowitt and Misner on the so-called ADM formulation of GR. The role of the ADM formulation in triggering the development of the canonical approach to QG is highlighted as well. But Deser contributed also to the covariant approach to QG by properly generalizing previous treatments, as we will see in Section 4, while Section 5 deals with his alternative route to Supergravity. Finally, our conclusions end the paper. Due to space constraints, we did not address other important contributions by Deser to research on quantum gravity, namely the computation of 1-loop divergencies in quantum GR coupled with different kinds of matter, the studies on conformal anomalies, and on lower dimensional gravity and supergravity theories.

## 2. Early work and the Chapel Hill talk

As mentioned, Deser's participation to Chapel Hill conference in 1957 marked the very beginning of his research activity in gravitation (DeWitt-Morette, Rickles 2011). Indeed, his early work aimed at finding a theory which could provide a cutoff to ultraviolet divergencies in QFT and, as a further bonus, play a role in the structure of elementary particles. These ideas grew up in 1955, at the Bern conference, during the discussion following the lecture by Oskar Klein, whose focus was on the connection between

---

<sup>2</sup> This circumstance is outlined by Bryce S. DeWitt in the report of an exploratory research session on problems connected with the quantization of the gravitational field, held from 15 June to 15 July 1957 at the Institute for Theoretical Physics directed by Niels Bohr in Copenhagen, Denmark (DeWitt 2017) (Blum, Hartz 2017).

<sup>3</sup> The *International Conference on General Relativity and Gravitation* was held in Jablonna and Warsaw in July 25-31, 1962, with L. Infeld as the chairman of the Local Organizing Committee.

<sup>4</sup> Notice that there exists an earlier paper, co-authored with Richard Arnowitt in 1954 and written as an essay for the Gravity Research Foundation competition, which dealt with the possibility to turn gravitational energy into nuclear energy during cosmological expansion within the theoretical picture of steady state theory (Deser, Arnowitt 1954) (DeWitt-Morette, Rickles 2011) (Rickles 2020). Its value today is only historical, relying on a superseded theory.

<sup>5</sup> The *Conference Internationale sur les Theories Relativistes de la Gravitation* was held in June 21-27, 1959 at Royaumont, France.

quantum electrodynamics and GR (see (Blum, Hartz 2017) and references therein for a detailed account). On that occasion, Pauli presented some thoughts concerning how QFT in general might have been affected by gravitation, a few months after hearing a suggestion by Lev D. Landau (Landau 1955). The Bern conference was an inspiring source for Deser, as were subsequent discussions with Klein in 1956 (Blum, Hartz 2017, p. 145), which were the basis for the talk he gave at Chapel Hill conference (DeWitt-Morette, Rickles 2011, pp. 263-270) and for the subsequent article published in the July 1957 issue of *Reviews of Modern Physics*, devoted to the conference proceedings (Deser 1957). Constant reference to these authors in Deser's paper (1957) testifies their influential role on his work.

As reviewed by Deser, the whole structure of local field theory was plagued by divergencies due to lack of an upper limit to the energies involved in physical processes. Furthermore, no reliable cutoff scheme was known, which could give rise to a meaningful theory. In such a state of affairs, maybe GR could help. Deser considered a Lagrangian involving gravitational, electromagnetic and other fields and carried out a path integral calculation, which appeared to better deal with the highly nonlinear problem at hand. The strategy consisted in fixing the metric tensor and quantizing the remaining fields on a given c-number Riemannian manifold, the final step being the quantization of the metric field itself. In this way the singularities of the propagators were expected to be averaged away on the Minkowski light cone. A similar approach, also relying on the Feynman path integral, was put forward by Bertel Laurent who acknowledged discussions with Deser and Klein (DeWitt-Morette, Rickles 2011, pp. 233-240).

As reported by Bergmann (1957) and Blum and Hartz (2017), Deser's proposal was attacked by Richard P. Feynman because, in his opinion (shared by DeWitt and others), it could not be able to cure the divergencies of self-energy diagrams. However, Deser further pursued this research program and an informal meeting held in Copenhagen six months later (DeWitt 2017) (Blum, Hartz 2017) was the right place for him, as well as for Laurent, to try to get rid of the issues raised by Feynman. Their efforts were unsuccessful, and this failure led Deser to switch to new research paths.

### **3. The ADM formulation of General Relativity**

In the late summer of 1957, Deser returned to Harvard as research assistant and lecturer thanks to his former Ph.D. advisor Schwinger. Here he taught a course on Classical Mechanics with a focus on variational principles, which revealed to be very useful for his ongoing research. In this respect, he remembers in a recent historical note:

As a pedagogical remark, I had just taught my first ever course, at Harvard, on classical mechanics, whose boredom made me to convert it onto one on variational principles in mechanics, whence the Jacobi form. We always learn by teaching (Deser 2021b, p. 3).

The Harvard period marks the beginning of a fruitful collaboration with Arnowitt, three years after their essay for the GRF competition (Deser, Arnowitt 1954), who then was at Syracuse. Their first joint work (Arnowitt, Deser 1959) dealt with the application to linearized gravity of Schwinger's ideas on quantization. Their starting point was indeed the Schwinger action principle, but the usual Lagrangian formulation of GR led to difficulties in the determination of canonical variables, because of constraints imposed by general covariance. Furthermore, non-linearities and the consequent operator ordering problems made the quantum case even more critical. A solution to this technical as well as conceptual problem, as they soon realized, was the use of the Palatini (first-order) formulation of the Einstein theory, which fits very well with the Schwinger formalism. Indeed, the use of the first-order formulation of GR would play a key role also in many of Deser's subsequent works (Deser 2021b), so it may be considered

a fingerprint of his approach to QG. This approach allowed to extract canonical variables from the original ones by means of a coordinate transformation to a frame in which all variables are canonical. This is the analogue of the radiation gauge in electrodynamics. The procedure would be extended to the full theory between 1958 and 1963, in collaboration with Misner, giving rise to the celebrated ADM theory (see (Arnowitt *et al.* 1962) and references therein for the complete list of the ADM papers). As Deser vividly recalls:

The most intense, initial – and productive – 3-way stretch came in the summer of '59, when we all met on a Danish island and worked on the floor in a Kindergarten, now alas gone, on knee-high blackboards. It was there that we found the basic translation of the geometrical meaning of GR into modern Field Theoretical language. From that realization, all the pieces fell into place – the many results we obtained in our many subsequent papers just kept coming (Deser 2015, p. 2) !

The ADM theory marked a sort of revolution in GR, in that it treated gravitation as a dynamical field rather than as geometry: this is the deep meaning of the work of Arnowitt, Deser and Misner.

Among many consequences, the ADM theory led to a definition of the energy of a gravitational field in asymptotically flat spacetimes, called the ADM mass, in terms of an integral over the energy flux at spatial infinity. In order to define energy in GR, general covariance has to be broken down to a global symmetry. This is related to the fact that the gravitational field carries energy itself, which implies that gravitational energy cannot be localized. The ADM definition of energy has been the subject of subsequent extensions, in particular to the cases with cosmological constant (Abbott, Deser 1982), higher-derivative gravity (Deser, Tekin 2003) and supergravity (Deser, Teitelboim 1977). A similar formalism has been also introduced (Abbott, Deser 1982) for the definition of the color charge in Yang-Mills theory, which behaves analogously to the gravitational field in GR, because Yang-Mills fields carry a color charge themselves.

The ADM theory played an important role also in establishing the existence of gravitational waves and, subsequently, in the numerical relativity studies on gravitational radiation (beginning in the 1970s), which paved the way for their detection. Finally, the ADM formalism soon became the classical underpinning of the development of the so called “canonical approaches” to QG, which, as said, attempt to quantize gravity by explicitly solving its constraints and building the Hilbert space and the observables on it.

#### 4. General Relativity as a quantum field theory

At odds with the canonical approach, the so-called covariant approach to gravity is based on the use of quantum field theoretical methods to build up a QFT for  $h_{\mu\nu}$ , i.e. the perturbations of the metric over a flat Minkowski space. While canonical approaches involve the splitting of spacetime into space and time, covariant approaches keep manifest covariance throughout.

An instance of this approach relies on experimental facts and theoretical field theory arguments, to infer that gravity must be mediated by a massless spin-2 quantum, the graviton. The linear, free field theory of this quantum and its massive counterpart was pioneered by Fierz and Pauli (1939), following Dirac's previous work (1936). The complete non-linear theory, full GR, should then be obtained from the linear theory plus consistency requirements. First (but incomplete) attempts towards the full GR theory, mainly relying on iterative arguments, were performed by Suraj K. Gupta (1954) and Robert H. Kraichnan (1955). Then Feynman (DeWitt-Morette, Rickles 2011) (Feynman *et al.* 1996) succeeded in obtaining the full non-linear Einstein equations by means of a consistency argument. Later Steven Weinberg (1965) pursued an analogous approach, by investigating analyticity properties of graviton-graviton scattering amplitudes. All these approaches to GR, whose starting point is a Lorentzian QFT,

share the following hallmark: the customary geometric interpretation, as well as general covariance are emergent features. The relation of Lorentzian spin-2 field theories with general covariance was later investigated in general by Robert M. Wald (1986).

Deser's contribution is much more elegant and concise than Feynman's and crucially relies on the first order formalism, which allowed him to get the result in a few lines (Deser 1970) (see (Deser 2010) for a complete list of references). By using the first-order form for the full Einstein action, in which the metric and affine connection are a priori independent, and by assuming as initial variables the linearizations of  $g_{\mu\nu}$ , the whole theory in closed form was obtained, with only one cubic term and without introducing any special gauge. Deser also applied the same approach to the simpler case of Yang-Mills theory (which can be derived from the linear Maxwell theory in an analogous fashion).

### **5. An alternative route to Supergravity**

On 1 April 1976, during a sabbatical leave, Deser spent a research visit at CERN, Geneva. There he met Bruno Zumino, who (in collaboration with Julius Wess) had discovered supersymmetry (SUSY) around 1973. Deser and Zumino started working together on the supersymmetric version of GR, termed Supergravity (SUGRA) and got a consistent theory within three weeks, consisting of two coupled fields: the metric and a massless Rarita-Schwinger field (Deser, Zumino 1976a). They used the first-order formulation of gravity coupled to spinors and the comparison to the second-order case (developed in a poorly known paper by Hermann Weyl (1959)), in order to shorten calculations. We point out that also in this case Deser's starting point is the first-order formulation of GR, which has a clear advantage with respect to the second order one: the absence of non-derivative quartic spinor terms (e.g. torsion terms). Deser and Zumino were thus able to complete their work independently of Daniel Z. Freed, Paul van Nieuwenhuizen and Sergio Ferrara (Freed *et al.* 1976), who had used more conventional tools and had to employ computers to perform the calculation. In his own words:

The beauty of our approach (pace Boltzmann's dictum that elegance is for tailors, not physicists) is that the entire action [...] is the two-term sum of the (first order) Einstein and (the modern version of) minimally gravitationally coupled Rarita-Schwinger-Davidov-Ginzburg actions (yet another West-East discovery). The latter part just involves a covariant curl of the vector-spinor using the independent, non-metric, affinity, as does the Einstein ("Palatini") action. That's it – neither quartic spinor nor auxiliary field debris (Deser 2018, p. 2)!

In a subsequent work Deser and Zumino (1976b) succeeded in obtaining an action for the Neveu-Schwartz-Ramond (NSR) model of a spinning string by coupling two-dimensional SUGRA with a matter supermultiplet. They got the constraint equations as supergravity field equations, with Lagrange multipliers identified with supergravity fields. As a further bonus, they found a special gauge in which the action and the constraints assume the usual free field form of the NSR model. In this way the first formulation of Superstrings with world-sheet supersymmetry was obtained.

But SUGRA seemed also to provide a very promising venue to quantum gravity because of the expectation to soften or even remove the infinities which plagued the direct quantization of GR. Based on these expectations, back in Boston after the 1976 sabbatical leave, Deser started various projects on SUGRA topics with two graduate students, Kellogg Stelle and John Kay. Their first joint paper dealt with the proof of the absence of two-loop infinities in SUGRA (Deser *et al.* 1977a). In this respect, Supergravity was a real improvement with respect to pure gravity. Then the Hamiltonian form of the SUGRA action, including mass and cosmological terms, was obtained in terms of graviton and fermion degrees of freedom (Deser *et al.* 1977b). Today the only remaining candidate for a finite QG theory is

$N = 8$  SUGRA, which is currently the subject of active investigations and has been recently shown to be finite at 5-loops via modern on-shell amplitude methods.

## 6. Conclusions

Stanley Deser's contributions to classical and quantum gravity have been critically analyzed and contextualized, highlighting his key role in the development of both the canonical and covariant approaches to the quantum theory of gravitation. His contributions to Supergravity have been considered as well, including superstring and renormalizability issues. In all the above results the choice to work with the first-order (Palatini) formulation of GR revealed to be crucial, together with his mastery of variational principles. What here analyzed is only a piece of his extremely wide scientific production, which deals with a variety of issues in theoretical physics, gravitation, and QFT. There is still much work to be done to completely uncover all the consequences of his results.

## Bibliography

- Abbott, L.F. & Deser, S. (1982). "Stability of gravity with a cosmological constant", *Nuclear Physics B*, 195, pp. 76-96.
- Arnowitt, R., Deser, S. (1959). "Quantum Theory of Gravitation: General Formulation and Linearized Theory", *Physical Review*, 113, pp. 745-750.
- Arnowitt, R., Deser, S. & Misner, C. (1962). "The Dynamics of General Relativity", in Witten L. (ed.) *Gravitation: an introduction to current research*. New York: Wiley, pp. 227-264.
- Bergmann, P.G. (1949). "Non-linear Field Theories", *Physical Review*, 75, pp. 680-685.
- Bergmann, P.G., Brunings J.H.M. (1949). "Non-linear Field Theories II: Canonical Equations and Quantization", *Reviews of Modern Physics*, 21, pp. 480-487.
- Bergmann, P.G. (1957). "Summary of the Chapel Hill Conference", *Reviews of Modern Physics*, 29, pp. 352-354.
- Blum, A.S, Lalli, R. & Renn, J. (2015). "The reinvention of general relativity: A historiographical framework for assessing one hundred years of curved space-time", *Isis*, 106, pp. 598-620.
- Blum, A.S. & Hartz, T. (2017). "The 1957 quantum gravity meeting in Copenhagen: An analysis of Bryce S. DeWitt's report", *The European Physical Journal H*, 42, pp. 107-157.
- Deser, S. (1957). "General Relativity and the Divergence Problem in Quantum Field Theory". *Reviews of Modern Physics*, 29, pp. 417-423.
- Deser, S. (1970). "Self-interaction and gauge invariance", *General Relativity and Gravitation*, 1, pp. 9-18.
- Deser, S. (2010). "Gravity from self-interaction redux", *General Relativity and Gravitation*, 42, pp. 641-646.
- Deser, S. (2015). "The legacy of ADM". *Physica Scripta*, 90, 068006, pp. 1-4.
- Deser, S. (2018). "A brief history (and geography) of Supergravity: the first 3 weeks... and after", *The European Physical Journal H*, 43, pp. 281-291.
- Deser, S. (2021a). *Forks in the road. A Life in Physics*. Singapore: World Scientific Publishing.
- Deser, S. (2021b). "The ADM version of GR at Sixty: a brief account for historians", *The European Physical Journal H*, 46(14), pp. 1-3.
- Deser, S., Arnowitt R. (1954). "The new high-energy nuclear particles and gravitational energy", *Gravity Research Foundation Award essay*, pp. 35-39.
- Deser, S., Kay, J.H. & Stelle, K. (1977a). "Renormalizability properties of supergravity", *Physical Review Letters*, 38, pp. 527-530.

- Deser, S., Kay, J.H. & Stelle K. (1977b). “Hamiltonian formulation of supergravity”, *Physical Review D*, 16, pp. 2448-2455.
- Deser S., Teitelboim C. (1977). “Supergravity Has Positive Energy”, *Physical Review Letters*, 39, pp. 249-252.
- Deser S. & Tekin B. (2003). “Energy in generic higher curvature gravity theories”, *Physical Review D*, 67, 084009, pp. 1-7.
- Deser, S. & Zumino, B. (1976a). “Consistent Supergravity”, *Physics Letters B*, 62, pp. 335-337.
- Deser, S. & Zumino, B. (1976b). “A complete action for the spinning string”, *Physics Letters B*, 65, pp. 369-373.
- DeWitt, B.S. (2017). “Exploratory research session on the quantization of the gravitational field”. *The European Physical Journal H*, 42, pp. 159-176.
- DeWitt-Morette C. & Rickles D. (eds.) (2011). *The Role of Gravitation in Physics, Report from the 1957 Chapel Hill Conference*. Berlin: Edition Open Access.
- Dirac, P.A.M. (1936). “Relativistic wave equations”, in *Proceedings of Royal Society of London A*, 155, pp. 447-459.
- Dirac, P.A.M. (1950). “Generalized Hamiltonian dynamics”, *Canadian Journal of Mathematics*, 2, pp. 129-148.
- Einstein, A. (1916). “Naeherungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation”, *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften*, pp. 688-696.
- Feynman, R.P. et al. (1996). *Feynman Lectures on Gravitation*. Reading (MA): Addison-Wesley.
- Fierz, M. & Pauli, W. (1939). “On relativistic wave equations for particles of arbitrary spin in an electromagnetic field”, in *Proceedings of Royal Society of London A*, 173, pp. 211-232.
- Freedman, D.Z., van Nieuwenhuizen, P. & Ferrara, S. (1976). “Progress toward a theory of supergravity”, *Physical Review D*, 13, pp. 3214-3218.
- Gupta, S.N. (1954). “Gravitation and Electromagnetism”, *Physical Review*, 96, pp. 1683-1685.
- Infeld, L. (ed.) (1964). *Relativistic Theories of Gravitation, Proceedings of a conference held in Warsaw and Jablonna, July, 1962*. Oxford: Pergamon Press.
- Kraichnan, R.H. (1955). “Special-Relativistic Derivation of Generally Covariant Gravitation Theory”, *Physical Review*, 98, pp. 1118-1122.
- Landau, L.D. (1955). “On the quantum theory of fields”, in Pauli W. (ed.) *Niels Bohr and the Development of Physics*. London: Pergamon Press, pp. 52-69.
- Misner, C.W. (1957). “Feynman quantization of general relativity”, *Reviews of Modern Physics*, 29, pp. 497-509.
- Rickles, D. (2020). *Covered with Deep Mist. The Development of Quantum Gravity (1916-1956)*. Oxford: Oxford University Press.
- Rosenfeld, L. (1930a). “Zur Quantelung der Wellenfelder”, *Annalen der Physik*, 397, pp. 113-152.
- Rosenfeld, L. (1930b). “Uber die Gravitationswirkungen des Lichtes”, *Zeitschrift fur Physik*, 65, pp. 589-599.
- Rovelli, C. (2002). “Notes for a Brief History of Quantum Gravity”, in Gurzadyan, V.G., Jantzen, R.T. & Ruffini, R. (eds.), in *Proceedings of the Ninth Marcel Grossmann Meeting* (Rome, July 2-8, 2000), Singapore: World Scientific, pp. 742-768.
- Wald, R.M. (1986). “Spin-2 Fields and General Covariance”, *Physical Review D*, 33, pp. 3613-3625.
- Weinberg, S. (1965). “Photons and gravitons in perturbation theory: Derivation of Maxwell's and Einstein's equations”, *Physical Review*, 138, pp. B988-B1002.
- Weyl, H. (1950). “A remark on the coupling of gravitation and electron”, *Physical Review*, 77, pp. 699-701.



# Trespassing boundaries in Tartu, 1962: Zel'dovich, Pontecorvo, and the future of astrophysics

Stefano Furlan

Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin, [sfurlan@mpiwg-berlin.mpg.de](mailto:sfurlan@mpiwg-berlin.mpg.de)

*Abstract:* During the summer of 1962, the new observatory of Tartu - today in Estonia, back then part of the USSR - was under construction, to be inaugurated the following year. In July of that year, a workshop was organized, to which a number of distinguished Soviet physicists took part. Curiously enough, this has not received historical attention *per se*. In the present paper, we reconstruct and contextualize the contributions offered by Ya.B. Zel'dovich and B.M. Pontecorvo, showing their importance for the soon-to-be-born relativistic astrophysics and neutrino astrophysics.

*Keywords:* Soviet science, relativistic astrophysics, neutrino, historical epistemology

## 1. Meeting in Tartu

Tartu is a pleasant town often called “the cultural heart of Estonia”: many have surely heard about the Tartu school of semiotics, for instance. Among its institutions, the astronomical observatory is renowned and has, by now, a bicentennial history. In the last few decades, people working there have given substantial contributions towards the understanding of dark matter and of the large structure of the universe. The director emeritus of the observatory, Jaan Einasto, besides personally taking part to those developments, has written a number of pages telling their story (e.g. Einasto 2013). This appreciable operation notwithstanding, in the recent history of the Tartu observatory there is a quite remarkable event that has been particularly neglected by historians. In 1962 a new building was under construction: it was meant to become one of the main observatories in the Soviet Union. During the summer of that year, a workshop was organized, to which a number of distinguished Soviet scientists took part. No recording of the speeches seems to exist (as Einasto, who was present at the event back then, privately communicated to the author). Still, by examining the bibliography of two distinguished figures that were in Tartu during that summer, Yakov B. Zel'dovich and Bruno M. Pontecorvo, we can find out that, in the following year, they both published a paper explicitly derived from their respective talks at that workshop (Pontecorvo 1963; Zel'dovich 1963). The contents of these papers, properly contextualized in the intellectual biography of the two physicists, allow us to get a glimpse, or even more than that, into what was discussed during the event in Tartu. As a matter of fact, besides a few sources attesting that the workshop actually happened,<sup>1</sup> there has been no attempt at taking a look “from the inside”, so to speak, at the ideas and perspectives that were brought together in that occasion. As we shall see, they were actually quite meaningful, not just because we are dealing with two important and versatile figures, but also due to the fact that Zel'dovich and Pontecorvo were not specialists in astrophysics (not yet, at least): nonetheless, they went to speak to that kind of audience and offered suggestions which were going to open new perspectives during that very same decade.

---

<sup>1</sup> At most with the addition of some curiosity such as a page from the guestbook, where a sketch represents Pontecorvo while doing an immersion: he had indeed contributed to the diffusion of that sport in Russia and, in that occasion, he did not fail to visit a lake nearby Tartu (Tiit 2015, p. 237).

## 2. Zel'dovich and the dawn of relativistic astrophysics

Let us start with Zel'dovich. By 1962, he was an affirmed physicist, approaching his fifties, and he had given a variety of contributions to chemical physics, the theory of combustion and detonation, hydrodynamics, nuclear and subnuclear physics. He had also been a key figure in the Soviet H-bomb project during the previous years: at the beginning of the 1960s he got out of military work, tired - in his own words - of “cockroach races” (Sunyaev 2004, p. 137). Thus, he started once more to fully dedicate himself to research. In the span of a lifetime, Zel'dovich actually led many different existences as a scientist: a famous episode was when Hawking, after meeting him in person, “remarked that he was now finally convinced that Zeldovich’s work had been done by a single person, and not a collective, like the Bourbaki” (Sunyaev 2004, p. 86). At the beginning of the 1960s, Zel'dovich actually intended to renew his interests once again and to invest on astrophysics and cosmology. During that decade and beyond, he would lead a group that, under his peculiar leadership, was going to reach results of crucial importance. It is then quite fascinating to catch him in a moment of transition; moreover, the event in Tartu also led, in a mediated way, to a very important collaboration. The aim of Zel'dovich's talk was ambitious, especially for someone who, in some sense, was just entering the field. His collaborator Pinaev tells us (Sunyaev 2004, p. 137) that, as a matter of fact, he had never seen him so anxious - but the seminar was nevertheless “very memorable”.<sup>2</sup> Zel'dovich intended to offer no less than an overview of “Modern Physics and Astronomy” (then published as “Problems of Present-Day Physics and Astronomy”) (Zel'dovich 1963). After all, he used to say that the best way to study a new area of physics was to write a scientific review about its current state (Sunyaev 2004, p. 136). It would not be correct, however, to assume that Zel'dovich was starting “from scratch”, or that he had not previously meditated upon astrophysical issues. For instance, a paper by the same Pinaev, written together with Gandel'man in '59, thanks Zel'dovich (and Pontecorvo as well) for valuable advice and discussions (Gandel'man, Pinaev 1959). Even more: it was Zel'dovich to get Pinaev interested in the possible astrophysical implications of Pontecorvo's ideas on neutrinos. Likewise, in 1961, Pontecorvo and Zel'dovich “shared” a coauthor, Smorodinsky, with the Zel'dovich-Smorodinsky (1961) paper building upon Pontecorvo-Smorodinsky (1961); a common thread was the density of neutrinos in the universe. In this sense, we can see that Zel'dovich was already active in establishing both conceptual and personal connections between particle physics and astronomy or cosmology. The overview he gave in Tartu is certainly a revealing document in order to understand his approach and agenda, but it cannot be considered a sort of “to-do list”, and the content of the paper is as much interesting for what is there as for what is not, as we will explain in a moment. Pinaev’s recollection seems to suggest that Zel'dovich daringly ventured into the domain of someone else; we do not know if, in the published '63 overview, he was more cautious, but, looking at the text, an astrophysicist who had the hope of finding the first appearance of groundbreaking intuitions would probably be left quite disappointed. In the first part, rather, Zel'dovich offered a survey of the theory of fundamental interactions and elementary particles, redirecting to other works for astrophysical implications.

All this, nonetheless, is already quite relevant to understanding his approach. Starting from basic principles and relying on his famous and very concrete physical insight, as well as on his ability of making estimates and proper mathematical approximations, linking complex physical issues to problems one can manage to solve (see e.g.: Thorne 1994, p. 240; Sunyaev 2004, p. 225; Furlan 2021, p. 7), he displayed a style of doing physics which some of his colleagues found reminiscent of Enrico Fermi’s (Sunyaev 2004, *passim*). It is meaningful that, in the autobiographical afterword to his *Selected Works*, Zel'dovich himself remarked on how he “was especially impressed and stimulated by Enrico Fermi’s little book, *Theory of Elementary Particles*” (Zel'dovich 1993, p. 640). It is not a

<sup>2</sup> “The seminar was very representative: its participants included I.S.Shklovskii, B.M.Pontecorvo, D.A.Frank-Kamenetskii, S.B.Pikelner, A.G.Masevich, R.Z.Sagdeev, S.S.Gershstein, G.S.Saakyan, and other well-known scientists” (*ibidem*).

coincidence that a number of the seminal “celestial” perspectives opened between the ‘50s and ‘60s were made by people who had a nuclear/particle physics background, in a very broader sense than it may be assumed today: Fowler, Hoyle, Wheeler come to mind; and, as in Wheeler's case, Zel'dovich's work and interest in explosions prepared him to deal with much larger explosions in the universe. In a sense, Zel'dovich adopted a “constructivist” approach, which he considered a legacy of his previous applied work: he used to build bombs, now he was trying to conceptually build exploding stars or even the universe itself. In the already mentioned autobiographical note (*ibidem*, p. 643), he ascribes some of his “errors” (or better: not successful hypotheses) to this unusual attitude, at least among astrophysicists of the time. That, however, we could arguably suggest, was also one of the reasons that made him a leader in the newly born relativistic astrophysics, by trying to understand which processes were allowed and regulated by general relativity, at first as if they were advanced problems of some textbook, and then by connecting them to other relevant astrophysical situations. As a matter of fact, in Moscow, during those years, Zel'dovich used to organize seminars on problems related to general relativity, which he was carefully studying on Landau and Lifshitz's *Theory of Fields* (Sunyaev 2004, p. 137). However, that was still a period in which astrophysicists were skeptical, to put it mildly, about the concrete relevance of general relativity for their studies, as was also remembered in the opening of the famous Dallas ‘63 conference (e.g. Thorne 1994, p. 341), usually taken to mark the birth of relativistic astrophysics.

How is this atmosphere reflected in the 1962 survey? After dealing with particles, the last part of Zel'dovich's overview was dedicated to gravitation. There (Zel'dovich 1963, pp. 944-8) he discussed the “spontaneous creation of matter and variability of constants” and, with quite a skeptical tone, Dirac's theory of a varying  $G$ , the constant - no longer constant, according to that hypothesis - of universal gravitation. What is really interesting, however, is his attitude towards general relativity, which can be reminiscent of Wheeler's “daring conservatism” (Furlan 2021): “unlike the questions of the theory of elementary particles, which are in the process of being formulated and developed, the theory of gravitation [...] can be regarded as completed in its main principles”, and he added immediately thereafter: “The problem of the theory of gravitation is to make the correct application of the theory to such complicated problems as stars and the universe as a whole” (Zel'dovich 1963, p. 948). Quite in line with the approach outlined above, he even claimed - well-aware that some would have disagreed - that “it would be naïve to expect from astronomy new data about nuclear reactions, the creation of elementary particles, and the laws of the general theory of relativity” (*ibidem*). Finally, according to Pinaev, “[t]he conclusion of Ya.B.'s presentation resounded like a credo”: there is no explicit trace in the '63 paper, but the message was that “[t]here is enormous pathos in the problem of describing all the variety of observed phenomena and general laws of the universe on the basis of the existing laws of physics, established by laboratory experiments and theoretical analyses” (Sunyaev 2004, pp. 137-8).

To sum it up: the first part of the survey clearly reveals how Zel'dovich was thinking about a perspective that can be legitimately called a “cosmoparticle” one - not just by looking for astrophysical or cosmological implications of the basic laws of particle physics, but also by acting as a bridge between different communities, as attested by the very fact that he was speaking at the Tartu observatory. In the words of A.D. Sakharov, the man with whom, in those years, Zel'dovich truly constituted a sort of polarity, both in terms of personality and of style in doing physics, such considerations “are examples of the new directions in science that arose during the 1960s, that lie at the junction of cosmology, astrophysics, and the theory of elementary particles, and that to a considerable extent are associated with Zeldovich”. In these areas of conceptual exchange, “the entire universe plays the role of a gigantic laboratory” (Sunyaev 2004, p. 126). Indeed, we may add that a later paper by Zel'dovich (1970) is explicitly titled “The Universe as a Hot Laboratory for the Nuclear and Particle Physicist” and his expression that the universe itself is “the poor man's accelerator” is

quite well-known. Finally, in the last part of the survey, dedicated to gravitation, we can see how Zel'dovich was willing to invest on exploring the implications of general relativity without modifying it. What is striking, however, at least from our historical point of view, is the absence of one of the main issues to which Zel'dovich, in a nearby future, would give seminal contributions: gravitational collapse and, consequently, black holes (still *ante litteram*, of course). Even in this regard, nevertheless, the event in Tartu marked an important step, even if in a mediated way. After that summer, Zel'dovich gave life to a tradition of seminars there, including also other exchanges with groups in Moscow.<sup>3</sup> It was during one of those events in Tartu, in the autumn of the same year, 1962, that a young astronomer named Nora Kotok, after hearing Zel'dovich speaking about the general relativistic effects of the extreme compression of a body, approached him and asked for his honest opinion about the relevance of those topics for astronomers and astrophysicists, given the widespread skepticism (Sunyaev 2004, p. 224). One of the reasons of that question was that her husband, in Moscow, was actually dedicating himself to those topics. The young man's name was I.D. Novikov - and so Zel'dovich gained one of his most precious collaborators, soon reaching, in cooperation with him, a series of crucial results in black hole physics and related topics. From that, of course, we may also surmise Zel'dovich's answer to Nora Kotok, but, more in general, all this confirms the following words by Yu.N. Smirnov: "In science, Zeldovich was attracted by (to use his own words) not so much the cascade of previous discoveries, but most of all the manifest, gaping incompleteness of theory". Collaborating with him, one had "an indescribably excellent impression of having had contact with the leading edge of the investigations, behind which dominate not so much answers, as an avalanche of questions". It truly seemed as if Zel'dovich "possessed an unerring and mysterious talent - to feel the 'new buds' of science" (Sunyaev 2004, p. 115).

### 3. Pontecorvo and the birth of neutrino astronomy

Now a few words about Pontecorvo's contribution to the Tartu workshop. If Zel'dovich had a style partly reminiscent of Fermi's, Pontecorvo had actually been Fermi's student and always retained his master as a model, himself displaying a versatility in both theory and experiment which has not many equals in 20th-century physics. If the seminal perspectives proposed by him in those years were indeed seminal, and therefore lacking in many details, nonetheless they were not remote conjectures, as we have grown accustomed in some areas of more recent theoretical physics. Pontecorvo's suggestions, including the case in which they were bold indeed, tried to keep an eye on their experimental testability, even if that was not going to be easy and would require investments and efforts. In that aspect too, in a sense, it is possible to perceive Fermi's shadow. Pontecorvo's contribution in Tartu was titled (or, at least, this is the title of the paper born out of it) "The Neutrino and Its Role in Astrophysics" (Pontecorvo 1963): evidently, it was another quite broad overview. We have seen that, already in '59, Zel'dovich and Pinaev were well-aware of Pontecorvo's ideas about neutrinos and their large-scale implications: in turn, Pontecorvo, in Tartu, referenced both Smorodinsky and Pinaev, among others. Nowadays, of course, Pontecorvo's name is associated with neutrino flavor oscillations and the solar neutrino puzzle, but already in '58, when he first proposed an idea of neutrino oscillations (not between different flavors, but between neutrino and antineutrino), he remarked on how those effects may not be detectable in the distances encapsulated by any laboratory, but needed an astronomical scale (Carini 2021). The universe as laboratory, once again. Pontecorvo's interest in astrophysics actually preceded the proposal of oscillations: he became familiar with cosmic ray physics during the time spent at the Chalk River Laboratories in Canada (1943-1949). During that same period, Pontecorvo's research also concerned

<sup>3</sup> We may mention that also the Tartu school of semiotics had intense exchanges with the capital and used to have shared seminars: this is how figures such as Lotman and Kolmogorov, for instance, interacted.

neutrinos, as witnessed by his well-known work on the radiochemical method for the detection of low-energy neutrinos, among whose possible sources he also considered the Sun. Addressing the astrophysicists in Tartu, and recalling some of the previous steps in the study of neutrinos, Pontecorvo aimed to convey the idea that, thanks to their huge penetrating power leading to a mean free path of the order of  $10^{16}$  km (with energy of  $\sim 1$  MeV), neutrinos may be able to emerge from the core of a star, where they are produced, and reach the surface of the Earth practically without encountering any obstacle. Based on this, he prefigured the birth of a new discipline, which he named “neutrino astrophysics and astronomy” (Pontecorvo 1963, p. 9). By performing terrestrial experiments in order to detect neutrinos, this newly-founded experimental science would manage to gather, thanks to those messengers, a new kind of knowledge about the universe. For instance, in the case of the Sun, neutrino astrophysics could promise to dispel the aura of mystery still surrounding the nature of its interior. Pontecorvo’s proposal already contained *in nuce* the plan for an experiment on solar neutrinos, based on the Chlorine-Argon method (later performed by Bahcall and Davis in the Homestake Gold Mine). Nonetheless, Pontecorvo’s foreshadowing of a new experimental science thanks to neutrino physics was not a single man’s vision. Besides the aforementioned exchanges with Zel’dovich and Pinaev, in Moscow M.A. Markov, together with his student I.M. Zheleznykh, was researching the interaction between matter and high energy neutrinos from cosmic rays. At the very beginning of that decade, they proposed the idea of using a large amount of water, whose hydrogen nuclei would weakly interact with cosmic neutrinos, so that one could then record the Cherenkov radiation emitted by beta-decay electrons (Carini 2021). This suggestion played a significant role in the development of Cherenkov water detectors of neutrinos, whose first concretization was devised within the framework of the DUMAND project (never actually realized, but still impactful).

#### **4. Flowing into the “ocean of the streams of stories”: historical epistemology and multi-messenger astronomy**

To conclude, we have seen how two versatile physicists, driven by an intrinsic will to face and understand some issues, spontaneously trespassed the disciplinary or subdisciplinary boundaries and brought together, in the study of the phenomena they were interested in, the tools and results of different and partly separated communities, pointing out some common ground to work on. Thus, they ended up opening fundamental perspectives in relativistic astrophysics and neutrino astrophysics. This sort of “spontaneous transdisciplinarity” definitely needs to be taken into consideration, instead of being watered down into other types of historical explanations. Nonetheless, it would be naïve and misleading to regard it as a sufficient account for the constitution of a new field. For example, it is clear that relativistic astrophysics and the understanding of supernovae explosions and gravitational collapse took important and decisive steps in the early 1960s partly thanks to an exaptation of the results and of the computer tools developed during the previous decade in order to build thermonuclear weapons, both west and east of the Iron Curtain (Furlan 2021). Moreover, if we get rid of a certain common imagery, the Iron Curtain itself, at a closer look, turns out to be a wall of separation, yes, but endowed - to abuse Walter Benjamin’s famed notion a little - with a certain “porosity”; and a study of the crossings of such a membrane by a few seminal ideas must also take into account the international congresses held during the late 1950s on Soviet soil (6th ICRC, Moscow, 1958; Rochester IX, Kiev, 1959), or (in extra-Soviet cases) the delegations that were able to participate. In order to go beyond the mere flickering of a theoretical possibility and to document the actual creation of an experimental area of research, these kinds of “extrinsic” factors must not be neglected, obviously. Nonetheless, beneath all that, there is still the risk of offering a naïvely naturalistic narrative, according to which a given object was assumed to be “out there” *ab initio* and, through various channels, we gathered more and more pieces of information about it, the object was thus better understood, and the march of progress could smoothly go on. What,

on the contrary, is really interesting about all these events are the difficulties (often unspoken, in retrospect) in getting different points of view to collimate: borrowing an expression from Rheinberger (2010), here we could say that we are faced with a process of “hybridization” of scientific objects defined and investigated by different theoretical and experimental practices, belonging to different sub-branches (and sub-communities) of physics. Putting them together in a coherent way has certainly not been a trivial task, easily guaranteed a priori by being referred to the “same thing”. The problem of how to coherently synthesize different points of view into a single object has long been a major philosophical issue: the vicissitudes of astrophysics in recent decades, with the gradual coming together of various perspectives, channels, windows, is highly instructive in addressing a similar question at a more complex and refined level. The role played not by our (already provided) senses, but by large devices or equipment demanding collaborations, means that all those historical, socio-economic, political, and technological factors must be taken into consideration and held together in the reconstruction of those developments, also evaluating their epistemological dimensions within different scientific sub-communities. Thus, the answer to the question of how the various representations of an object were synthesized into a whole must seek an answer not in some abstract philosophy of perception or formal epistemology, but in a historical epistemology that knows how to cogently interweave and hold together all those factors. From this point of view, the 1962 Tartu workshop, in the shadow of the new observatory, does deserve attention, but not as some “forgotten” event whose importance has to be sensationalized: rather, as an “observatory” for the historian as well, allowing us to evaluate the degree of maturity reached by a few ideas and practices that, in the long run, shaped recent astrophysics.

## Bibliography

- Carini, G. (2021). *The Conceptualisation of Neutrino Oscillations*. M.Sc. Thesis, Freie Universität Berlin.
- Einasto, J. (2013). *Dark Matter and Cosmic Web Story*. Singapore: World Scientific.
- Furlan, S. (2021). *John Wheeler Between Cold Matter and Frozen Stars: The Road Towards Black Holes*. Berlin: Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte.
- Gandel'man G.M. & Pinaev V.S. (1959). “Emission of Neutrino Pairs by Electrons and the Role Played by It in Stars”. *Zh. Eksp. Teor. Fiz.*, 37, 1072-8.
- Pontecorvo, B.M. & Smorodinsky Ya.A. (1961). “The Neutrino and the Density of Matter in the Universe”. *JETP*, 41, 239.
- Pontecorvo, B.M. (1963). “The Neutrino and Its Role in Astrophysics”. *Sov. Phys. Usp.*, 6, 1-12.
- Rheinberger, H.J. (2010). *An Epistemology of the Concrete*. Durham: Duke Univ. Press.
- Sunyaev, R.A. (ed.) (2004). *Zeldovich: Reminiscences*. Boca Raton: CRC Press.
- Thorne, K.S. (1994). *Black Holes & Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy*. New York: W.W. Norton & Co.
- Tiit, V. (2015). “Space Research in Tartu at the Beginning of the Cosmic Era”. *Universal Journal of Physics and Application*, 9 (6), 235-243.
- Zel'dovich, Ya.B. & Smorodinsky Ya. A. (1961). “On an Upper Limit on the Density of Neutrinos, Gravitons, and Baryons in the Universe”. *JETP*, 41, 907.
- Zel'dovich, Ya.B. (1963). “Problems of Present-Day Physics and Astronomy”. *Sov. Phys. Usp.*, 5, 931-950.
- Zel'dovich, Ya.B. (1970). “The Universe as a Hot Laboratory for the Nuclear and Particle Physicist”. *Comments on Astrophysics and Space Physics*, 2, 12-17.
- Zel'dovich, Ya.B. (1993). *Selected works of Yakov Borisovich Zeldovich*, Volume II. Princeton: Princeton University Press.

# The model of thin shell in general relativity

Enrico Gasco

Zirak S.r.l, [enrico.gasco@zirak.it](mailto:enrico.gasco@zirak.it)

*Abstract:* Models are of central importance in many scientific contexts and scientists spend significant amounts of time in building, testing, comparing, and revising models. The study of models and how they are used in scientific practice is a widely debated topic in the actual philosophy and history of science. An example of a model that we will consider is that of thin shell that is now widely used both in General Relativity and in Astrophysics.

*Keywords:* General relativity, Model, Thin shell

## 1. Introduction

Models are of central importance in many scientific contexts and scientists spend significant amounts of time in building, testing, comparing, and revising models. The study of models and how they are used in scientific practice is a widely debated topic in the actual philosophy and history of science. An example of a model that we will consider is that of thin shell - that is now widely used both in General Relativity and in Astrophysics - of which we will look for the essential characteristics.

Models are important in scientific practice because it is through the study of them and their application to real cases that new generations of scientists are formed; in physics courses - for example - one is not interested in the historical process that led to the identification of a particular model, but only in its final structure and how to apply it to real cases (Giere 1988). Models are also essential for the acquisition and organization of scientific knowledge, as by studying a model one discovers the characteristics of the object it represents. But how does this representation take place? The approach that we will follow proposes that representation is effective insofar as a relationship of similarity is established between the model and the object represented.

According to Frigg the similarity relationship can be described in its simplest form with the statement: “A scientific model **M** represents a target **T** iff **M** and **T** are similar in relevant respects and to the relevant degrees” (Frigg, Nguyen 2017). It is the scientist's task - through the determination of theoretical hypotheses - to establish which aspects of the model are reflected in reality and to what degree.

A theoretical hypothesis is a linguistic entity – a statement – that asserts some kind of similarity relationship between a model and a real system. Thus, for example, to state that “the position and velocity of the earth and moon in the earth-moon system are very close to those of a Newtonian model of two particles with a central force inversely proportional to the square of the distance between them” (Giere 1988) is a classic example of a theoretical hypothesis that establishes which aspects of the model (position and velocity) have a real basis and to what degree this happens (very close). It is therefore possible to refine our definition of model by asserting: “A scientific model **M** represents a target system **T** if and only if a theoretical hypotheses **H** asserts that **M** and **T** are similar in certain respects and to certain degrees” (Frigg, Nguyen 2017).

It now remains to clarify what **M** consists of. In order to describe the properties of a model in General Relativity, we will have to deal with an abstract model whose components we are now going to describe following Giere's approach (Giere 2006). The starting point consists in choosing the mathematical structure of which the model is the implementation. The mathematical structure gives us the

tools to build the models. If we consider the classic example of the harmonic oscillator, the mathematical structure used is that of second degree differential equations and their solution.

Below it is necessary to indicate the Theoretical Principles which are the basis of the construction of the model. Giere defines the Theoretical Principles – of which the Principles of Dynamics are an example – as extremely general models whose task is to establish the relationships between the elements of the model; they are also defined as 'templates' to be used for the construction of more specific models. In the case of Newton's Principles of Dynamics, they establish a relationship between previously defined quantities such as the position and acceleration of an object and the concepts of force and mass which are not determined<sup>1</sup>.

To build models that have a physical value, it is necessary to specify Special Conditions. In the example of Classical Mechanics that we are following, we have to indicate the correct force functions; so if Hooke's force is indicated as a special condition we obtain the model of the harmonic oscillator, while if we choose the universal gravitational force we determine the classical models of gravity. It is by choosing the special conditions that the models assume their explanatory power.

The models defined by the Theoretical Principles and by the Special Conditions are however still abstract structures, in which the relationship of similarity with the target is missing. To achieve this goal it is necessary to give an interpretation to the components of the model (Giere 1988). Thus in the example of the harmonic oscillator the interpretation suggested by experience is that of linking the variable  $x$  with the displacement of a particle from its equilibrium position and the constant  $k$  with a specific property of the model. It is clear that the interpretation process in the case of models built on the basis of General Relativity will be decidedly more complex and problematic.

## 2. Models in General Relativity

The mathematical structures that are used today in General Relativity are those made available by differential geometry. Of particular importance is the concept of pseudo-Riemannian manifold  $M$  which is locally similar to an Euclidean vector space, equipped with a pseudo-Riemannian metric<sup>2</sup>. The manifold is covered with charts  $(A, x^i)$  which allow to define the metric as  $g = g_{ij}dx^i dx^j$ . So we have a generic *mathematical* model that we can represent as:

$$\langle M, g_{ij} \rangle.$$

Differential geometry in General Relativity was introduced starting from the 60s of the last century with what took the name of the 'geometric' or 'coordinate free' approach (Norton 1993). In the previous period, Einstein and the physicists used the absolute calculus of Ricci-Levi Civita without a precise geometric interpretation<sup>3</sup>. However, it was Minkowski in 1908/09 who introduced the first geometric methods in relativity; following the line indicated by the Erlangen program – which suggested determining the geometries on the basis of their characteristic transformation groups – he set out to identify the geometry generated by the Lorentz transformations<sup>4</sup>. Minkowski realized that the new geometry was a structure that linked space and time in an inseparable entity, to which he gave the name of space-time. From this point of view, Minkowski's work must be seen as the first process of interpretation of the mathematical model of Relativity: a manifold represents (is in correspondence with) a physical space-time.

<sup>1</sup> For Giere the principles of dynamics are definitions.

<sup>2</sup> The pseudo-Riemannian metric is equivalent to the inner product of the vectors of the tangent space at each point of the manifold, with indefinite signature.

<sup>3</sup> The 'non-geometric' approach to General Relativity characterizes the historical process of the thin-shell model construction.

<sup>4</sup> Lorentz transformations are used in Special Relativity in the transition between inertial reference systems.



If we now consider the Theoretical Principles underlying the models in General Relativity, Giere himself<sup>5</sup> (Giere 1999 pag.51) shows us the principle of general relativity as a possible example; this principle asserts that any reference system is equivalent for the formulation of physical laws. The validity of the principle of general relativity in Einstein's theory has given rise to a long dispute (Norton 1993) which led to extreme positions such as that of Synge who asserted "... we need not bother about the name, for the word 'relativity' now means primarily Einstein theory and only secondarily the obscure philosophy which may have suggested it originally" (Synge 1960 p. IX). Indeed Einstein gave several definitions of the principle of general relativity and in some of them he deduced it from the principle of general covariance. For example, in a 1916 review article he states:

The general laws of nature are to be expressed by equations which hold good for all systems of coordinates. that is, are co-variant with respect to any substitutions whatever (generally covariant). It is clear that a physical theory which satisfies this postulate will also be suitable for the general postulate of relativity (Einstein 1916).

It is clear that this definition includes transformations not only between physical reference systems, but also between 'mathematical' coordinate systems such as those between Cartesian coordinates and Polar coordinates. To overcome the difficulty and following considerations on the 'point-coincidence argument' (Norton 1993) Einstein arrived at the definition that we find in the 1918 article, where the principle of relativity takes the form "The laws of nature are only assertions of timespace coincidences; therefore, they find their unique, natural expression in generally covariant equations" (Einstein 1918). The principle thus expressed has a physical content in its first part (space-time coincidence) and a formal content in the second one. If a Theoretical Principle has the task of establishing the relationships between the elements of the model, almost as if it were a template, the principle of relativity thus defined is an excellent candidate as it establishes a class of admissible point-events and the form of the physical laws that relate them. We have therefore built an extremely abstract model, made up of a mathematical structure (manifolds) and a general principle that informs us about how the laws, that act on it, should be (covariance principle).

To make this modeling more concrete, it is necessary to introduce the Special Conditions. At this end Einstein provided an equation implementing the general covariance which has the following form:

$$R_{ij} + \frac{1}{2}g_{ij}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{ij}$$

On the left side there is a purely geometric quantity described by the metric  $g_{ij}$  and by components representing the curvature of the manifold ( $R_{ij}$ )<sup>6</sup>. On the right-hand side there is the stress-energy tensor which describes the energy content associated with the manifold. The structure of our model now becomes  $\langle M, g_{ij}, T_{ij} \rangle$  and the properties of the metric are determined by the tensor T. Note that we are now in the presence of a class of physical models, in fact by modifying the tensor T – which is equivalent to choosing the typology of matter/fields in which we are interested – we generate a specific model of corresponding space-time<sup>7</sup>. If we represent the special condition in our model we get

$$\langle M, g_{ij}, T_{ij}, f(g, T) \rangle$$

where  $f(g, T)$  represents Einstein equations.

---

<sup>5</sup> In his writings Giere does not elaborate why the principle of general relativity is a theoretical principle.

<sup>6</sup> Which include the first and second derivatives of the metric.

<sup>7</sup> The reciprocal is also valid: by modifying the geometry of the manifold, one can ask which is the corresponding stress-energy tensor.

Finally, we come to the interpretation phase which consists in the correct association of model structures with target elements. In our case the interpretation phase starts with the determination of the Special Condition; in fact Einstein identifies the correct correspondences in the development of the equations that bear his name. The standard interpretation that is taught in Relativity courses is that the manifold represents space-time and has a curved geometry, determined by the presence of the stress-energy tensor which describes the mass-energy content.

A final consideration must be made for the theoretical hypotheses. As we indicated in the previous chapter, they are statements that establish the similarity link between the model and the target. If we examine the articles of the physicists who built the thin shell model at the beginning of the 900s, we find similar sentences, as evidenced by the following passage by Darmois:

If we consider a set of masses in motion, and the four-dimensional manifold which corresponds to them [...], to each of the masses corresponds a tube of universe limited by a certain three-dimensional boundary. Between these universe tubes extends the representation of empty regions of matter. To a system comprising  $n$  masses, the solar system for example, corresponds a scheme with  $n$  universe tubes. This four-dimensional representation can be considered as a means [...] of representing observations (Darmois 1927).

Here we are in the presence of a theoretical hypothesis because there is the establishment of a similarity between a scheme of  $n$  universe tubes with our solar system (even if the level of this relationship is not specified).

### 3. Thin Shell Model

The thin shell in General Relativity represents a 3-dimensional surface that separates two manifolds with different metrics. In the case of the thin shell, a quantity of mass-energy is distributed on it, but a limiting case that had historically precedence is when the surface has no energy content; in this case we are dealing with a boundary surface. In the following we study first the case of boundary surface and then that of thin shell; anyway, in both situations the mathematical structure that is implemented is the same and will consist of two 4-dimensional manifolds ( $V_1$  e  $V_2$ ) separated by a 3-dimensional sub-manifold (S), as shown in Fig.1. In the figure we see some fundamental properties of S, among which it is important to remember the metric of the hypersurface  $h = h_{\alpha\beta}d\xi^\alpha d\xi^\beta$  which describes its geometric properties and its external curvature K, defined by the equation  $\nabla_i \vec{n} = K_i^j \vec{e}_j$ , which describes its immersion respectively in  $V_1$  and  $V_2$ .<sup>8</sup>



Fig. 1. Mathematical model of thin-shell.

According to the definition in the previous chapter, we therefore have two models:

$$M_k = \langle V_k, g_{ij}^{(k)}, T_{ij}^{(k)}, f(g^{(k)}, T^{(k)}) \rangle$$

<sup>8</sup>  $\vec{n}$  is the normal vector to S;  $\nabla_i$  is the 4-dimensional covariant derivative;  $\vec{e}_j$  are base vectors on V. We will use Latin indices for 4-dimensional properties and Greek indices for 3-dimensional properties.

where index  $k = 1,2$  represents the two space-time. We now have to build the model associated with the separation surface of the two manifolds  $S = V_1 \cap V_2$  which has the form:

$$N = \langle S, h_{\alpha\beta}, T_{\alpha\beta}, \sigma(g^{(1)}, g^{(2)}) \rangle$$

where  $\sigma(g^{(1)}, g^{(2)})$  is the special condition that characterizes the model and is a function of the two metrics that are 'glued' on  $S$ .

To identify the special conditions of our model, suppose that the stress-energy tensor presents a discontinuity as it passes through the surface  $S$ . In this case, the curvature also undergoes a discontinuity which corresponds to a discontinuity of the second derivatives of the metric. We therefore find ourselves with the problem of studying the continuity properties of the elements that make up our model.

More generally, a mathematical physics problem cannot be solved completely by writing the solutions of partial differential equations, but we need also to specify the boundary conditions and the discontinuity conditions on the surfaces on which some unknown quantities can be discontinuous as well as their derivatives.

If one considers, for example, the classical model of a spherical shell of matter – which is the classical analogue of the relativistic thin shell – we need to impose the condition that the potential tends to zero at infinity and that the derivative of the potential with respect to the normal to the shell is continuous. We find ourselves in a similar situation in General Relativity and in fact Synge and O'Brien in a 1952 article (O'Brien, Synge 1952) ask themselves “We think of a 3-space  $S$  in space time across which some of the component of  $T_{\mu\nu}$  are discontinuous (e.g. the history of the surface of the earth)” and try to determine the junction conditions of the metric and its partial derivatives, and of the stress-energy tensor. Using Gaussian coordinates<sup>9</sup>, a 'boundary layer' through which the quantities change continuously and making the thickness of the layer tend to zero, Synge and O'Brien obtain the following conditions for the mathematical physics problem:

$$C_{OS} \Rightarrow g_{ik}, \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x^4}, T_k^4 \text{ are continuous through } S.$$

These conditions are called O'Brien - Synge junction conditions and are the special conditions that characterize our boundary surface model:

$$N_{OS} = \langle S, h_{\alpha\beta}, T_{\alpha\beta}, C_{OS} \rangle$$

A different approach was taken by Darmois (Darmois 1927). Starting from the form of Einstein's equations that admit gravitational waves (proposed by Einstein with a perturbative method) Darmois obtains a series of physical results based solely on properties intrinsic to the manifolds. Studying the case of boundary surfaces he uses the external curvature to determine the continuity of the metric and its derivatives on the surface  $S$ , obtaining as junction conditions:

$$C_D \Rightarrow g_{ij} \text{ e } K_{ij} \text{ are continuous through } S.$$

The Darmois conditions represent a new type of special conditions for our boundary surface model:

$$N_D = \langle S, h_{\alpha\beta}, T_{\alpha\beta}, C_D \rangle$$

---

<sup>9</sup> In the Gaussian coordinate system chosen by Synge the surface equation is  $x_4 = 0$ .

Lichnerowicz (Lichnerowicz 1955), a student of Darmois and Cartan, also determines his junction conditions for boundary surfaces. Unlike what has been seen up to now, the French mathematician introduces the concept of admissible coordinates, which are those particular coordinates with respect to which the components of the metric and its first derivative are continuous. Thus we have the Lichnerowicz conditions:

$$C_L \Rightarrow S \text{ is covered by admissible coordinates}$$

that are related to the following boundary surface model:

$$N_L = \langle S, h_{\alpha\beta}, T_{\alpha,\beta}, C_L \rangle$$

We therefore have 3 boundary surface models which are identified by as many special conditions. Bonnor and Vickers (Bonnor, Vickers 1981) showed that the three conditions under consideration are equivalent to each other, therefore we can define a single model of the boundary surface using the Darmois condition:<sup>10</sup>

$$N_{\text{BoundarySurface}} = \langle S, h_{\alpha\beta}, T_{\alpha,\beta}, [K_{\alpha\beta}] = 0 \rangle$$

where  $[K_{\alpha\beta}] = K_{V_2} - K_{V_1}$  represents the jump of K in passing through S.

Finally, we come to deal with the contribution of Israel (Israel 1966) which has the merit of dealing not only with the case of boundary surface but also with that of thin shell. In fact, he obtains Darmois's result for boundary surfaces and identifies thin shells as those particular surfaces in which only the metric is continuous, but not its first derivatives; this condition is expressed by the jump of external curvature  $[K_{\alpha\beta}] \neq 0$ .

The abrupt change of discontinuity of the metric through S is caused by the presence of mass-energy distributed on S which Israel identifies in the stress-energy tensor of the surface, determined by the jump of the external curvature:

$$8\pi S_{\alpha\beta} = -[K_{\alpha\beta}] + h_{\alpha\beta}[K_{\gamma}^{\gamma}]$$

With this equation we can finally determine the correct thin shell model:

$$N_{\text{ThinShell}} = \langle S, h_{\alpha\beta}, S_{\alpha\beta}, [K_{\alpha\beta}] \neq 0 \rangle$$

#### 4. Conclusions

In this article we presented a generic definition of models in General Relativity and then we implemented it in the case of boundary surfaces and thin shells.

#### References

- Bonnor, W.B. & Vickers P.A. (1981). "Junction conditions in general relativity", *General Relativity and Gravitation*, 13, pp 29-36.
- Darmois, G. (1927). "Les équations de la gravitation einsteinienne", *Mémorial des sciences mathématiques*, 25, pp. 1-47.
- Einstein, A. (1916). "Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie", *Annalen der Physik*, 49, pp 769-822.

<sup>10</sup> We use the Darmois conditions because Israel finds independently the same conditions.

- Einstein, A. (1918). “Prinzipielles zur allgemeinen Relativitätstheorie”, *Annalen der Physik*, 55, pp 240-244.
- Frigg, R. & Nguyen J. (2017). “Models and representation”, in Magnani L., Bertolotti T. (eds), *Springer handbook of model-based science*. Berlin: Springer, Cham, pp 49-102.
- Giere, R.N. (1988). *Explaining science*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Giere, R.N. (2006). *Scientific perspectivism*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Giere, R.N. (1999). “Using models to represent reality”, in Magnani L., Nersessian N.J., Thagard P. (eds), *model-based reasoning in scientific discovery*. Boston: Springer, pp 41-57.
- Israel, W. (1966). “Singular hypersurfaces and thin shells in general relativity”. *Il Nuovo Cimento B*, 44 (1), pp 1-14.
- Lichnerowicz, A. (1955). *Théories relativistes de la gravitation et de l'électromagnétisme*. Paris: Masson.
- O'Brien S. & Synge J.L. (1952). “Jump conditions at discontinuities in general relativity”, *Dublin Institute for Advanced Studies*, 9, pp 1-20.
- Norton, J.D. (1993). “General covariance and the foundations of general relativity: eight decades of dispute”, *Report on Progress in Physics*, 56 (7), pp 791-858.
- Synge, J.L. (1960). *Relativity: the general theory*. Amsterdam: North Holland.

## Sulla fisica cibernetica quantistica di Eduardo R. Caianiello

Enrico R. A. C. Giannetto

Dipartimento di Lettere, Filosofia, Comunicazione, Università di Bergamo, [enrico.giannetto@unibg.it](mailto:enrico.giannetto@unibg.it)

**Abstract:** Contemporary physics developed in the twentieth century through a succession of revolutions that upset its epistemological status with the prospect of a new ontology and a new gnoseology. From the physics of chaos to the theories of relativity, from quantum physics to quantum-relativistic field theory and the theory of the S matrix ("scattering matrix"). Recently, the transversal scientific paradigm of information has been definitively establishing itself: above all, through its concretization in the realization of machines, as widespread as personal computers, capable of processing and transmitting information up to an even greater ability to virtually simulate any type of physical reality. A new informational conception of Nature emerged, of the Universe as a potentially infinite computer. However, there is still a lack of a mathematical formulation of physics and cosmology in terms of information. In recent years, the research of Eduardo R. Caianiello (1921-1993), a Neapolitan physicist and cybernetist, has been linked to this goal, who, in 1980, formulated quantum theory in an 8-dimensional  $X^A(\mathbf{x}, ct; \mathbf{p}, p_4 = E/c)$  non-Euclidean, curve relativistic phase space, which has only the form of a geometry but is a dynamic written in a pseudo-geometric form. The operators of Heisenberg algebra (also position and time) are expressed in a quantization by means of covariant derivatives and the quantum commutation relations are interpreted as components of the curvature tensor. The geometric curvature thus expresses the quantum uncertainty in terms of informational entropy (it is a complex information geometry: the  $ds^2$  coincides with the cross-entropy). The algebra is that of the octonions. Caianiello reformulated not only quantum mechanics, but also general relativity, thermodynamics and geometry itself on the basis of information theory and systems theory, opening a way to the greatest revolution in physics: in philosophical terms it is an informational transformation of a transcendental phenomenological hermeneutics.

*Keywords:* Caianiello, cibernetica, fisica quantistica, geometria, informazione

### 1. Una nuova concezione informazionale della Natura

La fisica contemporanea si è sviluppata nel Novecento attraverso una successione di rivoluzioni che ne hanno sconvolto lo statuto epistemologico con la prospettiva di una nuova ontologia e di una nuova gnoseologia. Dalla fisica del caos alle teorie della relatività, dalla fisica quantistica alla teoria quanto-relativistica di campo e alla teoria della matrice S ("matrice di scattering"). Recentemente, il paradigma scientifico trasversale dell'informazione si è affermato definitivamente: soprattutto attraverso la sua concretizzazione nella realizzazione di macchine, diffuse come i *personal computer*, capaci di elaborare e trasmettere informazione fino a una sempre maggiore abilità di simulare virtualmente qualsiasi tipo di realtà fisica (Bailey 1996).

Ne è emersa una nuova concezione informazionale della Natura, dell'Universo come un computer potenzialmente infinito (Davies & Gregersen 2010; Longo & Vaccaro 2013). Mancano però ancora una fisica e una cosmologia elaborate matematicamente, in maniera completa, in termini di informazione.

A questo obiettivo, si è legata negli ultimi anni la ricerca di Eduardo Renato Caianiello (25 Giugno 1921-22 Ottobre 1993), fisico e cibernetico napoletano (ho avuto il piacere di conoscerlo nel 1983, ad Amalfi, in un congresso in suo onore), incamminato su questa strada soprattutto dalle suggestioni di John Archibald Wheeler (1911-2008).<sup>1</sup>

## 2. Eduardo Renato Caianiello

Caianiello si laureò in fisica all'Università di Napoli nel 1944, con il professore Antonio Ricciardi (Ricciardi 1994, Marinaro & Scarpetta 1995; Gasperini 2006; Termini 2017). Nel 1946 (e fino al 1948) diventò assistente di Carlo Tolotti, che teneva la cattedra di meccanica razionale.

Successivamente fu assistente all'Università di Rochester nel 1950-51, dove nel 1950 aveva ottenuto il Ph. d. in fisica teorica con R. Marshak; e, poi, nell'anno 1951-52 fu assistente di Gleb Wataghin all'Università di Torino (dove conobbe Tullio Regge); a Roma dal 1952 al 1955 lavorò con Carlo Ferretti; nel 1952-53 ebbe una borsa di studio con Niels Bohr a Copenhagen. Nel 1955 era all'Università di Princeton con l'incarico di "Higgins Visiting Professor", tenendo un corso su: *Advanced Topics in Quantum Theory*; nel 1956 vinse la Cattedra di Fisica Teorica (che era stata di Ettore Majorana) presso l'Università degli Studi di Napoli.

A Roma nel 1954 ad un seminario sui computer e sulla cibernetica di Norbert Wiener, promosso da Enrico Fermi, conobbe Valentino Braitenberg, (1939-2011) specialista in psichiatria, neurologia e neuroanatomia: lo portò con sé a Napoli, dove istituì un Laboratorio di Cibernetica presso l'Istituto di Fisica Teorica e in seguito con lui fondò nel 1968 il Laboratorio di Cibernetica poi del CNR. Ospitò Werner Heisenberg nel 1958, più volte Norbert Wiener (già dal 1958) e formò quella che è nota come scuola napoletana di cibernetica, con ricercatori come Luigi Maria Ricciardi, Giuseppe Trautteur, Aldo De Luca, Luigi Accardi, Antonio Restivo, Francesco Lauria, Antonio Barone. Fra i suoi allievi: Francesco Guerra, Maria Marinaro, Giuseppe Marmo, Gaetano Scarpetta, Settimo Termini, Alberto Giovannini, Antonino Drago e molti altri (Preziosi 1992; Termini 2006; Greco & Termini 2010; Cordeschi & Numerico 2013; Greco, Mazzarella & Barone 2013; Tamburrini 2020).

Ha fondato e diretto l'Istituto di Fisica Teorica dell'Università di Napoli nel 1957, il Laboratorio di Cibernetica del CNR ad Arco Felice (Napoli) nel 1968, la Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali dell'Università di Salerno nel 1972, l'Istituto Internazionale per gli Alti Studi Scientifici (IIASS) a Vietri sul Mare (Salerno) nel 1981 e la Scuola di Perfezionamento in Scienze cibernetiche e fisiche. Presso l'IIASS creò nel 1989 la SIREN, (Società Italiana REtiNeuroniche).

## 3. Fisica e cibernetica nell'opera di Caianiello

Il percorso di Caianiello è stato complesso. In una prima fase, Caianiello ha usato la fisica matematica per comprendere la Natura e il mondo, anche negli aspetti che non sembrava si potessero trattare matematicamente. Caianiello passò così dalla fisica alle altre scienze: la biofisica, la neurobiologia, e infine la teoria generale dei sistemi. Scrisse così equazioni dinamiche per i neuroni, per la memoria, per l'apprendimento (Caianiello 1961, 1975, 1987a, 1987b, 1999). In una seconda fase, Caianiello passò dalla teoria generale dei sistemi alla fisica, in un circolo ermeneutico virtuoso dalla fisica alla cibernetica e dalla cibernetica alla fisica. Il circolo ermeneutico delle scienze si volse poi in una vera e propria rifondazione

<sup>1</sup> Nel 1979 gli scrisse John Archibald Wheeler: "[...] In all of my four trips to Europe in the past months in none was there a more exciting moment than when you told me you had in mind to devote yourself to 'quantum mechanics without quantum mechanics' [...] I hope you will go further. I would think that one should expect in the end to deduce space geometry from quantum theory rather than quantum theory from space geometry; and quantum theory from something about the machinery by which information is acquired. It is exactly on this latter point that you have to make a contribution unique in the world because of your wonderful background in this area [...]".

della fisica a partire dalla teoria dei sistemi e dalla teoria dell'informazione. In particolare, si trattò di riformulare la meccanica quantistica in termini della teoria dell'informazione. La riformulazione della fisica in termini di teoria dell'informazione aveva già una sua storia (Kantor 1974; Wheeler 1982, 1990; Feynman 1982). I passi per arrivare a questa costruzione furono molteplici e coinvolsero una nuova interpretazione di varie teorie fisiche e matematiche, come pure un approfondimento storico-epistemologico sulla natura della scienza moderna e della fisica.

Caianiello descrisse così le radici di questa sua nuova prospettiva:

*Its Causa finalis is to be searched in E. P. Wigner's words, after I had delivered an invited talk on this subject at his celebration in College Park, Maryland, in May 1988 [Caianiello, 1988b]: "Eduardo, you have said amusing things: have you published the whole story somewhere, so that one may read it consistently? - To my disavowal: You should". Earlier than that, in J. A. Wheeler's prompting me to study these matters in the light of my experience with Cybernetics: "You should get Geometry from Quantum Mechanics, not the other way around". Causa efficiens, are the works of R. E. Kalman [1982, 1984], E. T. Jaynes [1952, 1964], H. Jeffreys [1948], S. L. Kullback [1951, 1959], and the many others who have studied „inference,, of which more later. As for Causa formalis and Causa materialis, I must take all the blame, or whatever (Caianiello 1992a, p. 3).*

#### 4. La filosofia di Caianiello

Caianiello non ha elaborato una filosofia, ma ha comunque accennato nei suoi lavori alla sua posizione come specifica della fisica contemporanea, della fisica quantistica e della teoria dell'informazione e della teoria dei sistemi (Caianiello 1981, 1996; Caianiello & Marinaro 1987). Secondo Caianiello, bisogna abbandonare l'ontologia sostanzialistica delle cose in sé (noumeni) tipica della fisica classica (Caianiello 1983, 1986, 1992b) e della filosofia kantiana e riconoscere che l'unica ontologia possibile è quella fenomenologica, cioè quella in cui la realtà è solo nei fenomeni che si rivelano a una soggettività-oggettività strumentale (non-umana) sperimentale nelle operazioni di misura. Si tratta cioè di una fenomenologia filosofica, riformata in senso sperimentale e "non-umanistica", in cui sono gli strumenti scientifici di misura che, con la loro sensibilità, determinano le condizioni di possibilità della sperimentazione e della conoscenza: si ha così una fenomenologia trascendentale sperimentale non-umanistica.

Gli esiti delle operazioni di misura sono esprimibili in generale in termini di differenti teorie matematiche (algebra, geometria, analisi nelle loro varie forme) che però non si costituiscono in sintesi a priori sulla base di categorie a priori dell'intelletto (come la causalità) e di forme a priori della sensibilità, perché le forme della sensibilità non sono univocamente fissate, ma sono quelle determinate a posteriori, relative alla strumentazione usata, che cambia a seconda della sua tipologia di grandezze fisiche misurate (non solo spazio e tempo, ma anche quantità di moto, energia, e altre ancora), e da esperimento a esperimento, e varia perfezionandosi storicamente con la tecnologia. Caianiello, tuttavia, individua un esito invariante delle operazioni di misura, che, al di là delle differenti grandezze misurate, ci forniscono sempre informazioni, e queste informazioni sono sempre parziali, soggette a errori, incertezze e indeterminazioni. C'è allora una teoria matematica che si può sempre usare ed è una teoria matematica dell'informazione, che però va sempre costituita a posteriori come teoria fisica, in relazione alle specifiche indeterminazioni sperimentali: si ha così una teoria quantistica dell'informazione che si costituisce come un'ermeneutica fisica di tutti i fenomeni in termini d'informazione. L'incertezza-errore misura dell'informazione è un «fenomeno di fenomeni», un invariante che esprime un trascendentale oggettivo. L'informazione è così un *trascendentale fisico oggettivo* che costituisce la realtà della Natura. La filosofia che ne emerge è quindi una "fenomenologia ermeneutica trascendentale fisica sperimentale quantistica informazionale non-umanistica".



## 5. L'ermeneutica informazionale quantistica della relatività generale

La relatività generale ha ricondotto la geometria alla dinamica spazio-temporale a quattro dimensioni: il moto avviene non in uno spazio vuoto, ma nello spazio-tempo costituito dal campo gravitazionale (-inerziale), in cui la sua propagazione richiede la dimensione temporale e il campo di forza, che produce una traiettoria curvilinea, implica uno spazio curvo: la «crono-geometria» a 4 dimensioni è una dinamicizzazione della geometria, il superamento della geometria nella dinamica.

Caianiello riprende idealmente il punto di vista di Arthur Stanley Eddington: per Eddington, il principio di relatività è un principio d'indeterminazione gnoseologica della rappresentazione spazio-temporale del moto (Eddington 1923). D'altra parte, ha presente la prospettiva di Martin Davis: il principio d'indeterminazione quantistica è un principio di relatività ontologica (Davis 1977).

Tale correlazione fra principio di relatività e principio d'indeterminazione permette a Caianiello un'interpretazione di concetti/grandezze fondamentali della relatività generale e della sua crono-geometria in termini di concetti quantistici e di informazione. In particolare, la curvatura esprime l'indeterminazione spazio-temporale del moto dovuta al generale uso di sistemi di riferimento non-inerziali con moto qualsivoglia; e la distanza spazio-temporale (l'intervallo in quanto invariante) esprime quindi la cosiddetta *cross-entropy*, cioè (la mancanza di) un'informazione correlata

$$H_c = \int dz \rho(x_1, z) \lg [\rho(x_1, z) / \rho(x_2, z)]$$

fra spazio e tempo, cioè l'incertezza correlata di spazio e tempo, e quindi l'informazione correlata di spazio e tempo. La Relatività e la Crono-Geometria costituiscono così, a loro volta, un possibile formalismo per esprimere la teoria matematica dell'informazione e la teoria quantistica.

$$ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k = \int \psi(x_i, z) dx^i \psi(x_k, z) dx^k dz = dH_c \geq 0$$

esprime così la metrica dell'informazione di Fisher o di Kullback-Leibler generalizzata al campo complesso: le grandezze fisiche sono sempre conosciute sperimentalmente e sono date da distribuzioni di probabilità legate alle elaborazioni statistiche delle misure (Caianiello & Guz, 1988; Frieden 1998).

Si rappresenta la teoria dell'informazione crono-geometricamente, ma di più si dà alla crono-geometria un significato informazionale.

La geometrizzazione delle teorie fisiche sarà così il mezzo per la loro informatizzazione, cioè per la loro ri-comprensione e ri-scrittura in termini di teoria dell'informazione. Si può così esprimere tutta la fisica in termini di crono-geometria e intermini di teoria dell'informazione, nei termini in cui si descrivono i sistemi cibernetici: si costituisce così una fisica informazionale o cibernetica.

Anche l'indeterminazione quantistica può essere espressa in termini di crono-geometria informazionale e di cibernetica. La Relatività generale è così re-interpretabile in termini di una teoria crono-geometrica generale dell'informazione e dell'indeterminazione.

## 6. La formulazione general-relativistica della meccanica quantistica

Tale interpretazione della relatività generale è la base, secondo Caianiello, per una nuova formulazione della meccanica quantistica, in termini di una teoria di relatività generale (Caianiello 1979, 1980, 1980b, 1981, 1983, 1984, 1986, 1989).

Secondo Niels Bohr, crolla implicitamente la costruzione della relatività speciale che determina la gen-identità di una particella fisica, in termini di una possibile connessione causale degli eventi caratterizzata da un valore positivo del quadrato dell'intervallo spazio-temporale: se definiamo una relazione causale, il quadrato dell'intervallo spazio-temporale non è definito, è indeterminato e non si possono più distinguere nello spazio-tempo le zone di causalità e le zone di sincronicità di un evento.

Si deve così passare a uno spazio dinamico che solo formalmente è una geometria; in realtà, c'è una dinamicizzazione della geometria.

L'indeterminazione quantistica riguarda la correlazione fra variabili spazio-temporali (spazio e tempo) e variabili causali (quantità di moto ed energia). La fisica quantistica sarà così formulata come una teoria di relatività generale in uno spazio delle fasi relativistico non-euclideo curvo a 8 dimensioni

$X^A(\mathbf{x}, tc; \mathbf{p}, p_4 = E/c)$   
con una metrica

$$ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k = cost^2 dt^2 - c^2 dx^2 + h^2/(\mu^4 c^6) (c^2 dE^2 - dp^2) = \int \psi(x_i, z) dx^i \psi(x_k, z) dx^k dz = dH_c \geq 0.$$

L'algebra è quella degli ottonioni. Il tensore di curvatura sarà legato alla deviazione standard

$$R_{12 12} = \sigma^6$$

ed esprime quindi l'indeterminazione come mancanza di informazione.

In particolare, gli operatori posizione e momento sono definiti tramite le derivate covarianti della relatività generale:

$$p_r = -i\hbar D_r$$

con:

$$D_r = \partial_r + i/\hbar \Gamma_r$$

e anche:

$$q_s = i\hbar D_s$$

in modo tale che:

$$[p_r, q_s] = i\hbar \delta_{rs}$$

e

$$[D_r, D_s] = i/\hbar \delta_{rs}$$

e che perciò le relazioni di commutazione quantistica siano legate alla curvatura.

Le relazioni d'indeterminazione di Heisenberg diventano così casi particolari delle relazioni statistiche di disuguaglianza di Cramér-Rao:

da:

$$(\Delta x)^2 g_{11} \geq 1$$

segue:

$$(\Delta x) (\Delta p_x) \geq \hbar/2$$

Caianiello può così, viceversa, generalizzare le relazioni d'indeterminazione a tutte le tipologie di sistemi e cambiare la teoria dell'informazione a partire dalla fisica quantistica.

Caianiello, più che creare una crono-geometria quantistica, riconduce la crono-geometria all'informazione e all'indeterminazione quantistica; così, può creare una nuova fisica dell'informazione, generalizzare l'informazione in *quantum information*, e creare non solo una fisica cibernetica, ma anche una nuova teoria dei sistemi quantistica, una nuova cibernetica quantistica sulla base epistemologica del principio d'indeterminazione, dando luogo a una nuova generale teoria quantistica della conoscenza con l'informazione quale fisico trascendentale oggettivo.

Non si tratta, perciò, di una mera nuova formulazione della meccanica quantistica attraverso un nuovo modello matematico, ma piuttosto del progetto di una nuova *mathesis singularis* che unifichi le scienze dalla prospettiva dell'indeterminazione e dell'informazione quantistica: un progetto ancora oggi da comprendere e da realizzare e che ha una grande portata rivoluzionaria nella storia delle scienze e della loro epistemologia (filosofia) implicita.

## Bibliografia

- Aizerman, M.A. & Caianiello, E. R. (eds.) (1986). *Sulla teoria generale delle strutture. Sistemi gerarchici, teorie delle decisioni e incertezze dei modelli*. Milano: Franco Angeli.
- Bailey, J. (1996). *After Thought*, New York: Harper Collins.
- Caianiello, E.R. (1961). "Outline of a theory of thought-processes and thinking machines", *Journal of Theoretical Biology* 1 (2), pp. 204-235.
- Caianiello, E.R. (ed.) (1975). *New concepts and technologies in parallel information processing*, Leyden: Noordhoff.
- Caianiello, E.R. (1979). "Hermitian Metrics and the Weyl-London Approach to «Quantum Theory»", *Lettere al Nuovo Cimento*, 25, n. 8 (23 Giugno), pp. 225-229.
- Caianiello, E.R. (1980). "Some Remarks on Quantum Mechanics and Relativity", *Lettere al Nuovo Cimento*, 27 (3), pp. 89-96.
- Caianiello, E.R. (1980). "Geometry from Quantum Mechanics", *Il Nuovo Cimento*, 59B(2), pp. 350-366.
- Caianiello, E.R. (1981). *Da Newton ad Einstein*. Napoli: Guida.
- Caianiello, E.R. (1981). "Quantum Mechanics as Curved Phase Space", in Castell, L. & Weizsäcker (von), C.F. (eds.), *Quantum Theory and the Structure of Time and Space IV, Tutzing, July 1980*, München: C. Hanser, 1981, pp. 201-216.
- Caianiello, E.R. (1983). "Quantization as Geometry in Phase Space", in Castell, L. & Weizsäcker (von), C.F. (eds.), *Quantum Theory and the Structure of Time and Space V, Tutzing, July 1982*, München: C. Hanser, 1983, pp. 301-326.
- Caianiello, E.R. (1983). "Quantization as Geometry in Phase Space", *Milan Journal of Mathematics* 53(1), pp. 245-271.
- Caianiello, E. R. (1983). "Geometrical «Identification» of Quantum and Information Theories", *Lettere al Nuovo Cimento*, 38(16), pp. 539-543.
- Caianiello, E.R. (1984). "A Geometrical View of Quantum and Information Theories", in AA. VV., *Theoretical Physics Meeting. Atti del Convegno - Amalfi 6-7 Maggio 1983*. Napoli: Edizioni Scientifiche Italiane, pp. 163-187.
- Caianiello, E.R. (1986). "Entropy, Information and Quantum Geometry", in Moore, G. T. & Scully, M. O. (eds.). *Frontiers of Nonequilibrium Statistical Physics June 1984*. New York: Plenum Press, pp. 453-464.
- Caianiello, E.R. (ed.) (1987). *Topics in general theory of structures*, Dordrecht: Reidel.
- Caianiello, E.R. (ed.) (1987). *Physics cognitive processes*, Singapore: World Scientific.
- Caianiello, E.R. & Marinaro, M. (eds.) (1987). *Fisica: per i licei*, Milano: Garzanti.
- Caianiello, E.R. & Guz (1988). "Quantum Fisher metric and uncertainty relations", *Physics Letters, A* 126(4), pp. 223-225.
- Caianiello, E.R. (1989). "A Geometrical View of Quantum and Information Theories", in Giovannini, A. et al. (eds.). *Festschrift volume in honour of E. R. Caianiello on his seventieth birthday*, Singapore-London-Hong Kong: World Scientific, pp. 83-207.
- Caianiello, E.R. (1992). "Quantum and Other Physics as Systems Theory", *Il Nuovo Cimento*, 15(4), pp. 1-65.

- Caianiello, E.R. (1996). *Divagazioni sulla scienza e sul mondo: raccolta di scritti dal 1977 al 1993*, a cura di Eva Caianiello & E. Di Giulio, Napoli: Liguori.
- Caianiello, E.R. (1999). *Dalla cibernetica di Wiener allo studio delle strutture*. Salerno: Università degli Studi di Salerno.
- Conference on the Physics of Computation (May 6-8 1981), Dedham (MA), MIT (1982), *International Journal for Theoretical Physics*, 21 (3-4; 6-7).
- Cordeschi, R. & Numerico, T. (2013). <http://www.treccani.it/enciclopedia/la-cibernetica-II-Contributo-italiano-alla-storia-del-Pensiero:-Scienze> (Accessed 2 November 2022).
- Davies, P. & Gregersen, N.H. (eds.) (2010). *Information and the Nature of Reality. From Physics to Metaphysics*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Davis, M. (1977). “A Relativity Principle in Quantum Mechanics”, *International Journal of Theoretical Physics* 16, p. 867.
- Eddington, A. S. (1923). *The mathematical theory of relativity*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Feynman, R. (1982). “Simulating Physics with Computers”, *International Journal for Theoretical Physics* 21 (6-7), pp. 467-488.
- Frieden, R. (1998). *Physics from Fisher Information. A Unification*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Gasperini, M. (2006). “Ricordando E. Caianiello. Riflessioni sull'opera e sull'eredità scientifica del fisico napoletano”, *Ulisse biblioteca* (1° dicembre), [http://ulisse.sissa.it/biblioteca/saggio/2006/Ubib0612\\_01\\_s001](http://ulisse.sissa.it/biblioteca/saggio/2006/Ubib0612_01_s001) (Accessed 15 July 2022).
- Greco, P. & Termini, S. (eds.) (2010). *Memoria e Progetto. Un modello per il Mezzogiorno che serva a tutto il Paese*. Bologna: Gem.
- Greco, P., Mazzarella, L. & Barone, G. (eds.) (2013). *Alfonso Maria Liquori: il risveglio scientifico negli anni '60 a Napoli*, Napoli: Bibliopolis.
- Kantor, F. W. (1974), *A Brief Introduction to Information Mechanics*, New York: Wiley 1977.
- Longo, G. O. & Vaccaro, A. (2013). *Bit Bang. La nascita della filosofia digitale*, Milano: Apogeo.
- Marinaro, M. & Scarpetta, G. (eds.) (1995). *E.R. Caianiello (1921-1993)*. Napoli: Società nazionale di scienze, lettere e arti.
- Preziosi, B. (1992). “Il periodo eroico 1956-58”, in Marinaro, M. & Scarpetta, G. (eds.). *Structure: from Physics to General Systems. Festschrift in honour of E.R. Caianiello on his seventieth birthday*, Singapore-London-Hong Kong: World Scientific, pp. XVII-XXXI.
- Ricciardi, L.M. (1994). “E. R. Caianiello (1921-1993)”, *Mathematica Japonica*, XXXIX, n. 1, pp. I-XVI.
- Tamburrini, G. (2020). *Dal Gruppo di Cibernetica dell'Istituto di Fisica Teorica al Corso di Laurea in Informatica*, in De Seta, C., *La rete dei saperi*, Napoli: Artem.
- Termini, S. (ed.) (2006) *Imagination and Rigor. Essays on Eduardo R. Caianiello's Scientific Heritage*, New York: Springer.
- Termini, S. (2017). “Caianiello, Eduardo Renato”, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, Roma: Treccani.
- Tribute to E.R. C. A (1995). “Biography and a collection of dedicated articles”, *Mathematica Japonica*, 41, f. 1.
- Wheeler, J. A. (1982). “The Computer and the Universe”, *International Journal for Theoretical Physics*, 21(6-7), pp. 557-572.
- Wheeler, J. A. (1990). “Information, physics, quantum: The search for links”, in Zurek, W. H. *Complexity, Entropy, and the Physics of Information*. Redwood City (California): Addison-Wesley.

# Historical reconstruction and personal recollections in the Memoirs of Dilworth/Occhialini

Pasquale Tucci

Università degli Studi di Milano (retired in 2013), [ptucci@icloud.com](mailto:ptucci@icloud.com)

*Abstract:* The folder containing the sheets of the Memoirs of Dilworth/Occhialini is kept in the Dilworth-Occhialini Archives at the BICF Library of the University of Milan. They cover the two English periods of Giuseppe Paolo Stanislao Occhialini (1907 - 1993): in Cambridge between 1931 and 1934 and in Bristol between 1945 and 1948. The Memoirs were written between an unspecified day in 1992 and April 16, 1993. They do not have the organic form of a historical reconstruction but are recollections and clarifications of Occhialini about some aspects of his activity, neglected by both historians and his colleagues, primarily Powell. Constance Dilworth (1924-2004) was the driving force. In Occhialini's considerations, references to specific dates or documents are often missing. In my contribution, after briefly describing the contents of the Memoirs, I will focus my attention on Occhialini's claim to have been instrumental in improving photographic plates provided by Ilford in 1945, without Powell ever having acknowledged the importance of the suggestion.

*Keywords:* History of cosmic rays, Occhialini, Dilworth, Blackett, Powell, Rutherford, Heisenberg, Rosbaud, Houtermans.

## 1. Introduction

On the occasion of the annual congress in September 2022, the Italian Physical Society published a special issue of the *Giornale di Fisica* holding the transcription of Occhialini's Memoirs edited by Gariboldi and Tucci (Gariboldi *et al.* 2022). In the same issue Sironi recalls of his commitment that the papers of Occhialini father and son, crammed into his study at the physics department of Milan until his transfer to the University of Milano Bicocca, were not lost. (Gariboldi *et al.* 2022, pp. 1-2). The establishment of the Dilworth-Occhialini Archives has been described by Etra Occhialini (1951-2019), the only child of Dilworth and Occhialini in (Occhialini, Tucci 2006).

The folder holding the Memoirs is kept in the Dilworth-Occhialini Archives at the BICF Library (Biology, Informatics, Chemistry, Physics Library) of the University of Milan. The folder was found by Etra Occhialini when, after Dilworth's death, she emptied the house in Marcialla, in the province of Florence, where the mother lived after her retirement from the University of Milan.

## 2. Description of the Memoirs

The folder consists of a hundred sheets: some are type-scripted; others are hand-written by Constance Charlotte Dilworth (1924-2004), - Connie for her friends -; others are handwritten by Marianne Labeyrie friend of Occhialini. As a whole, they constitute what we have called "Occhialini's Memoirs". They cover the two English periods of Giuseppe Paolo Stanislao Occhialini (1907-1993) - Beppo for his friends - in Cambridge between 1931 and 1934 and in Bristol between 1945 and 1948. Some portions of the Memoirs include the Brazilian period in between the English periods, and essentially deal with Occhialini's delicate position when Brazil joined the Allied Coalition against the Axis and he officially became an enemy alien.

The Memoirs were written between an unspecified day probably in 1992 and April 16, 1993. They do not have the organic form of a historical reconstruction but are Beppo's memories and clarifications of various episodes of his scientific life unconnected to each other. Connie was the real driving force behind the Memoirs. Beppo, who at that time lived in Paris, dictated to Marianne Labeyrie his considerations on various topics, without a specific order or scheme. They were sent to Connie who, starting from Beppo's recalls, prepared a handwritten draft, divided into topics, where her considerations were added to Beppo's ones. Afterwards they were sent to Beppo who dictated to Marianne Labeyrie his comments which came back to Connie so that she could prepare an orderly and coherent manuscript, that presumably Connie herself typed.

All of Beppo's considerations are off the cuff, without reference to specific dates or documents. Nor was Connie interested in defining what Beppo had left vague. Among other things, we do not even know if these Memoirs were intended for printing. It was instead for Beppo a way of reaffirming the importance of some of his achievements that had been overlooked by both colleagues and historians (Gariboldi, Tucci 2022).

### 3. Organization of the memoirs

The memoirs have been divided into chapters respecting the order in which they have come down to us and the name given by Dilworth. The order of the chapters is however random and Dilworth did not give a title to all chapters. When the chapter did not have a title, we used the first words of the manuscript as title.

Titles of the various chapters:

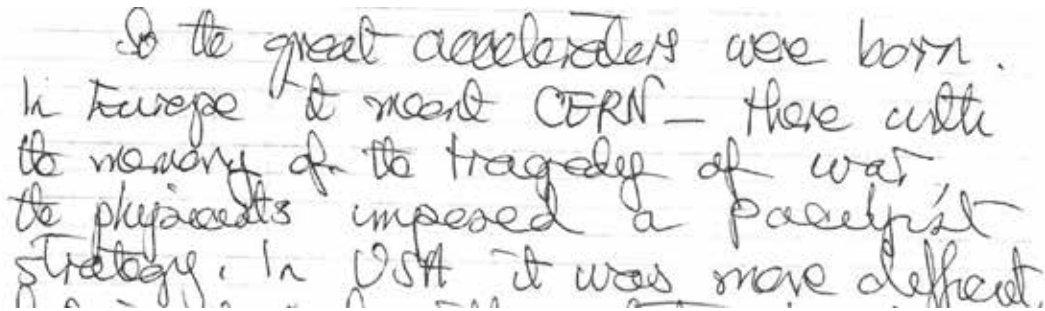
1. Rutherford
2. Before and after the 17<sup>th</sup> February 1933
3. Brasil - London - Bristol
4. Heisenberg
5. Concentrated Emulsions
6. The Publication
7. Rosbaud
8. Politics and Personalities
9. Houtermans
10. The Book
11. "Next February I will be ..."
12. Sheets with various notes.

Each chapter is in turn divided into sub-chapters. For example, the chapter "5. Concentrated emulsions" is divided into 4 subchapters:

- 5.1 Concentrated Emulsions (typescript)
- 5.2 "When I arrived in Bristol ..." (Dilworth's manuscript)
- 5.3 Bristol Emulsions Concentrées (Labeyrie's manuscript)
- 5.4 Concentr. Emulsion. Occhialini's comment to the Dilworth's manuscript "When I arrived in Bristol ...". (Labeyrie's manuscript)

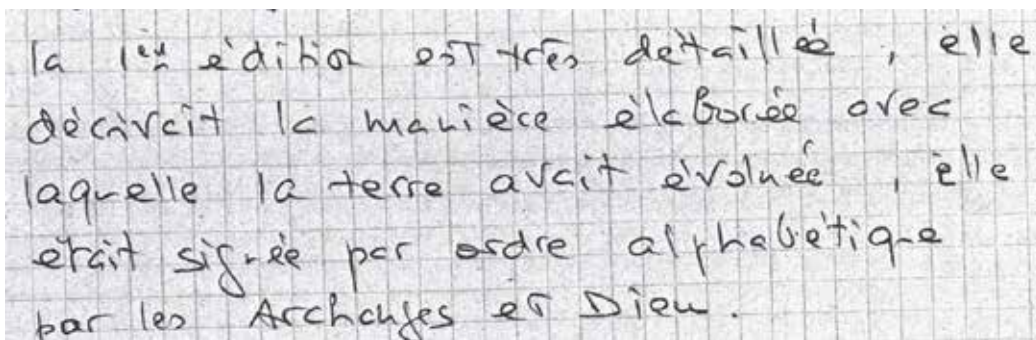
Here are some examples of the handwriting in which the various chapters were written:

This is Dilworth's manuscript writing. She wrote in English:



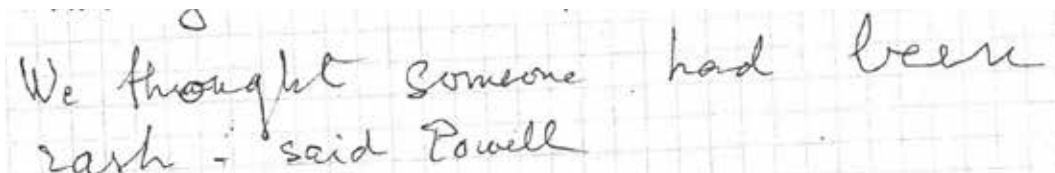
So the great accelerators were born.  
In Europe it meant CERN - there with  
the memory of the tragedy of war  
the physicists imposed a pacifist  
strategy. In USA it was more difficult.

This is Marianne Laberye's manuscript writing. She wrote in French:



la 1<sup>re</sup> édition est très détaillée, elle  
décrit la manière élaborée avec  
laquelle la terre avait évolué, elle  
était signée par ordre alphabétique  
par les Archanges et Dieu.

This is Occhialini's handwriting in one of the few comments he added to Marianne Laberye's manuscript. He wrote in English.



We thought someone had been  
rash - said Powell

A typed manuscript by Dilworth:

#### Rutherford

In the two years I spent in Cambridge, most of the time at the Cavendish, I had two, maybe three, personal encounters with Rutherford. My first encounter was the day after my arrival, on the stairs of the Cavendish. Blackett introduced me. I filled one of my rare letters to my father with a description of the event, and of the sense of awe that I felt. I spoke of him as a 'big carnivore'.



#### 4. About Rutherford

In one of the chapters of his Memoirs Occhialini recalls the first impact with Rutherford, the ‘big carnivore’ and some anecdotes concerning the role of the great physicist at the Cavendish Laboratory, where Occhialini worked between the 1931 and the 1934, in close collaboration with Blackett. All quotations in this and following paragraphs are taken from (Gariboldi *et al.* 2022): “... he never hesitated to express an opinion, even if it was, to say the least, not diplomatic”.

Once Rutherford asked Blackett to construct a chamber, capable of showing  $\alpha$ -particles and protons. Blackett started to build a complicated automatic apparatus. Rutherford went around the Cavendish exclaiming: “If Blackett goes on delaying I’ll have the carpenter make a wooden chamber and it will work”.

Occhialini underlines Rutherford's absence when Blackett on the 17th February 1933 gave the evidence for the positive electron to the Royal Society.

Rutherford’s judgment on Dirac was scathing. “When Dirac, who has already greatly improved, will know some physics ...”. It’s possible to doubt about Occhialini's recalls when referring to specific dates but not when reconstructing settings. In the 1930 Dirac had published *The Principles of Quantum Mechanics* and in 1933 he had received the Nobel Prize in Physics together with Erwin Schrödinger.

Rutherford was not alone in not believing in the positive electron. Bohr also stated in 1933: “Congratulations on your work, but even if the positive electron exists, I don't believe it, and I don't want to believe Dirac's theory.” Seven months later, Dirac was awarded the Nobel Prize. Occhialini was very sorry to have left, and probably lost in Brazil, the postcard sent to Blackett where the sentence was written and signed by Niels Bohr.

#### 5. About Heisenberg

Unlike the chapter on Rutherford, what Occhialini remembers of Heisenberg is affected by the climate after World War II when admiration for the scientists was mixed with the suspicion that some of them could have collaborated with the Nazis.

Mott had asked Occhialini to meet Heisenberg, but Beppo, at first, refused. However, Mott insisted and Occhialini at the end met Heisenberg at Mott’s home. As Beppo recalled Heisenberg shook hands so warmly that he started to have doubts about his decision to confront him. But a miracle happened. When Occhialini took his leave of Mott, Heisenberg asked to come with him. There Connie made the coffee and Heisenberg and Beppo were left discreetly alone in an empty alcove where Heisenberg explained his position. Occhialini perceived the emotion with which Heisenberg declared that he did not know that Hitler and his crowd were assassins. And Beppo, after almost half a century after, adds: “I did not have the courage to say to him that, even if they had not been assassins, Nazism would still have been bad.” At the end his colloquium with Heisenberg, Occhialini confirmed an impression he had had in Manchester when, around the 1932, he met Heisenberg: the scientist was a good German but politically naïve.

#### 6. A protest

Powell had shown that the accuracy in measuring the length and angle of tracks in the emulsion was comparable to that of the Wilson chamber.



According to Occhialini, the important step Powell had taken in the technique was to emphasize the quality of microscope optics (use of immersion objectives).

Beppo claimed the importance of the suggestion given to Chelton, of Ilford, in June 1945 to improve the plates by increasing the amount of silver. Powell was, however, very skeptical, and neglected to develop the plates sent: “they were a revelation. (addition of Dilworth). Powell est resté sidéré.” “With Powell it was different. Without any hesitation I can say that I was his Pygmalion ... ” (Occhialini’s interviews to Charles Weiner on April 5, 1971)

Occhialini continued to have problems with the Bristol environment, this time not with Powell but with the “Secret Act”. The Canadian physicist Demers, in fact, had in 1941 made concentrated emulsions and for the “Secret Act” Occhialini and Powell could not publish the new results. Powell was suspected of copying Demers’ work passed to him by a Canadian communist friend like himself. Occhialini defended Powell from the prosecution: “[Powell]... n'avait jamais été intéressé pour cette émulsion concentrée; Son travail n'avait pas besoin. Ces émulsions étaient nécessaires pour une personne qui travaillait en rayons cosmiques.”

Powell’s main interest at that time was the scattering chamber. Powell was awarded the Nobel Prize in 1950 “... for his development of the photographic method of studying nuclear processes and his discoveries regarding mesons made with this method.”

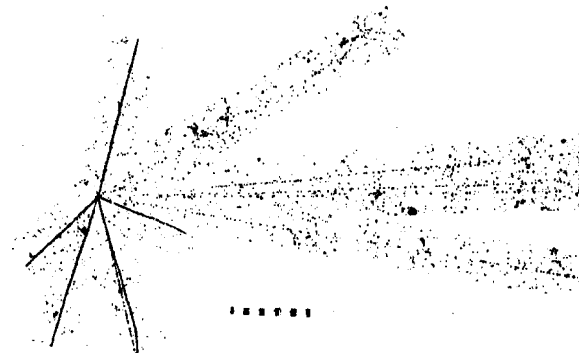
In the Nobel lecture Powell claimed:

In the second class of detectors are the devices for making manifest the tracks of particles; namely, the Wilson expansion chamber and the photographic plate. ...

The two classes of instruments thus provide complementary information, and each has made a decisive contribution. ...

The primary protons and  $\alpha$ -particles, because of their smaller charge, penetrate to much lower altitudes. In collisions they disintegrate the nuclei which they strike (see Fig. 4) and, in the process, lead to the creation of new forms of matter, the  $\pi$ -mesons of mass  $274 m_e$  (Lattes *et al.*; Piccioni; Fowler). These particles are usually ejected with great speed and proceed downwards towards the earth (Powell, Nobel lecture).

The papers quoted by Powell are the following: (Conversi *et al.* 1947); (Lattes *et al.* 1947).



**Fig. 1.** Mechanism of production of new particles.

Powell’s Nobel lecture says little about emulsions and nothing about Occhialini’s contribution. It describes the mechanism of production of new particles without the details of the detection methods.

There is at least one other omission, that one of Marietta Blau and Wambacher – whose works had been known to Powell since the 1937.

In 1937, using thick emulsions that Ilford made available in 1936, Blau e Wambacher installed a stack of plates at the Hafelekar station for four months. And they described their results in a note sent to *Nature* (Blau, Wambacher 1937).

The two researchers showed that emulsions were capable of reliably recording high-energy nuclear events. The discovery launched the field of particle physics, but, as Ruth Lewin Sime writes “Blau herself was unable to participate in its development” (Sime 2013).

In the Obituary of Powell, Frank and Perkins wrote:

... While the generator [Cockcroft] was being built, his [Powell's] attention was drawn to a letter in *Nature* by Blau & Wambacher (1937) giving an illustration of a track of a cosmic ray which they found in an emulsion exposed to radiation in its light tight wrapping, if I remember rightly, on the Jungfrau (Frank, Perkins 1971).

In a 1969 paper, Alvarez acknowledged Occhialini the correctness of his protest: “The cosmic ray studies of Powell’s group were made possible by the elegant nuclear emulsion technique they developed in collaboration with the Ilford laboratories under the direction of C. Waller” (Alvarez 1969).

Galison claims:

In the 1940s, Powell and his colleagues, many of them cloud chamber veterans, raised the use of emulsions to a fine art, discovered a bevy of new particles and particle decays, effectively launched experimental particle physics, and exported their famous emulsions to laboratories from CERN to Berkeley. (Galison 1997, p. 33).

Powell, according to Occhialini, only generically acknowledged Beppo’s merit: “[it was] suggested to Ilford the use of concentrated emulsion”. Not as Beppo hoped: “Beppo and I suggested.” Occhialini realized that his claims against Powell were poorly supported; and discouraged said:

Aujourd’hui c’est le 4 janvier [1993] et pendant la nuit j’ai réalisé l’inutilité de ce que j’écrivais, il n’y a aucune preuve de ce que j’ai écrit aussi si quelqu’un lit mon histoire de Bristol, il pensera que je suis un mythomane.

...

Je me propose d’investiguer cette situation quand je rencontrerai Powell au Purgatoire, mais j’ai peur que le pauvre Beppo en tâchant de redresser cette situation ajoute à sa réputation d’idiot du village cette du mythomane.

## 7. Conclusions

In the Memoirs, the admiration, the esteem, almost the veneration that Beppo had for Blackett are evident. Occhialini’s judgement on Heisenberg, Rosbaud, Houtermans is affected by the climate after World War II when admiration for the scientists was mixed with the suspicion that some of them could have collaborated with the Nazis.

Powell, on the other hand, was little esteemed, also in his entourage, because he was a communist and accused of not having participated in the war effort. The only one who defended him was his old professor Tyndall, director of the department. But Occhialini’s account reveals, above all, Powell’s lack of interest in the technological innovations - for example the concentrated emulsions that Occhialini had suggested to Ilford - and introduced into the study of cosmic rays.

When Occhialini decided to go to the University of Brussels, Blackett tried to keep him in England, in Manchester, but by now, the relationships with England had broken down in Bristol, where Occhialini had had the feeling of being a mercenary who had sold himself for a few pounds a month.

## References

- Alvarez, L.W. (1969). “Recent Developments in particle physics”, *Science* 165, pp. 1071-1091.
- Blau, M. & Wambacher, H. (1937). “Disintegration Processes by Cosmic Rays with the Simultaneous Emission of Several Heavy Particles”, *Nature* 140, p. 585.
- Conversi, M., Pancini, E. & Piccioni, O. (1947). “On the Disintegration of Negative Mesons”, *Physical Review* 47, pp. 209-210.
- Galison, P. (1997). *Image and Logic*. Chicago and London: The University of Chicago Press.
- Gariboldi, L. *et al.* (eds.) (2022). “Occhialini’s Memoirs”, *Giornale di Fisica (Supplemento)* 63, pp. 1-73.
- Lattes, C.M.G., Fowler, P.H. & Cier, P. (1947). “Range-Energy Relation for Protons and  $\alpha$ -Particles in the New Ilford ‘Nuclear Research’ Emulsions”, *Nature*, 159, pp. 301-302.
- Lattes, C.M.G. *et al.* (1947). “Process involving charged mesons”, *Nature*, 159, pp. 694-697.
- Lattes, C.M.G., Occhialini, G.P.S. & Powell, C.F. (1947). “Observation of the tracks of slow mesons in photographic emulsions”, *Nature* 160, 453-456.
- Occhialini, E. & Tucci, P. (2006). “The Occhialini-Dilworth Archive”, in Redondi, P. *et al.* (eds.) (2006). *The Scientific Legacy of Beppo Occhialini*. Bologna: Società Italiana di Fisica and Berlin Heidelberg: Springer, pp. XXXIX-XLI.
- Sime, R. L. (2013). “Marietta Blau: Pioneer of photographic nuclear emulsions and particle physics”, *Physics in Perspective*, 15, pp. 3-32.

COLLECTIONS, EXHIBITIONS AND MATERIAL CULTURE FOR  
THE HISTORY OF PHYSICS AND ASTRONOMY

## Il futuro dei musei di Fisica: il Sistema museale nazionale

Elena Corradini

Università di Modena e Reggio Emilia, Dipartimento di Ingegneria Enzo Ferrari, [elena.corradini@unimore.it](mailto:elena.corradini@unimore.it)

*Abstract:* A significant opportunity for physics museums in Italy is to become part of the National museum system. The system, established by Decree 113/2018 of the then Ministry of cultural heritage and tourism, now Ministry of culture, envisages the creation of an inclusive network of cultural sites that includes state-owned museums and cultural places, as well as museums and places not belonging to the state, both public and private, that apply to be accredited to promote a unified vision of the development of Italian museums, regardless of their ownership, size, type and form of management. The aim is a heritage governance based on sustainability, innovation, participation and accessibility. The tool for accreditation in the system is a questionnaire to be filled in on a voluntary basis, based on quality levels defined as minimum because they are considered indispensable but in reality very advanced, the LUQ (Uniform Quality Levels). It allows each museum to verify its organization, the management of both legal and economic profiles, its collections, and its relations with the local area. This opportunity is relevant for University physics museums, which are 22, according to the recent census conducted by CRUI, the Conference of the Italian universities rectors, between 2017 and 2019. Physics museums and Physics collections by linking up with other Italian museums will be able to take advantage of economies of scale, for the sharing of professional skills and services like the staff training, and could contribute to the consolidation of the significance and value of cultural heritage and to the promotion of cultural tourism development.

*Keywords:* National museums system, Accreditation, Museums quality standards

### 1. Premessa

I musei di fisica, al pari di tutti i musei italiani, si trovano ad affrontare una stimolante sfida, che è al tempo stesso un'opportunità, quella di entrare a far parte di una articolata rete coordinata dal Ministero della cultura, il Sistema museale nazionale. Questo sistema è stato attivato nel 2018 dall'allora Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo ora Ministero della cultura con un decreto (n.113/2018) che ha previsto l'"Adozione dei livelli minimi uniformi di qualità per i musei e i luoghi della cultura di appartenenza pubblica e attivazione del Sistema museale nazionale" (Musei, beni culturali, Sistema museale nazionale, 2018). Il Sistema museale nazionale prevede una rete costituita da musei e luoghi della cultura statali, nonché da musei e luoghi non statali, pubblici e privati che chiederanno di essere accreditati per una visione unitaria dello sviluppo dei musei italiani indipendentemente dalla loro proprietà, dimensione, tipologia e forma di gestione (Corradini 2019). La sua attivazione avviene attraverso un accreditamento effettuato tramite un articolato questionario di autovalutazione che viene compilato su base volontaria ed è basato sui LUQ (Livelli Uniformi di Qualità), che consentono ai musei e ai luoghi della cultura di rafforzare la conoscenza reciproca, di effettuare un utile scambio di buone pratiche per uno sviluppo comune e di verificare la loro organizzazione, i loro profili giuridici ed economici, la gestione delle collezioni e i loro rapporti con il territorio. Il questionario di autovalutazione è un'importante occasione di verifica del funzionamento del museo, della sua funzione educativa e sociale e può costituire un utile contributo al miglioramento dei musei, che possono valutare i loro punti di forza e di debolezza ed elaborare regole e linee guida per una corretta gestione delle collezioni, per un'ampia

apertura alla società contemporanea e diventare moltiplicatori di benessere e occasione di sviluppo economico e sostenibile.

## 2. I fondamenti del Sistema museale nazionale

Fondamento principale del Sistema museale nazionale è considerato l'*Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei* emanato nel 2001 con decreto (n. 112) dell'allora Ministero per i beni e le attività culturali (Musei, beni culturali, Atto di indirizzo, 2018). L'*Atto di indirizzo* ha prodotto per la prima volta in Italia una sintesi tra le esigenze di conservazione, fruizione e promozione del moderno istituto museale, individuando otto aree di riferimento per la definizione degli standard di funzionamento, relative allo stato giuridico, all'assetto finanziario, alle strutture museali, al personale, alla sicurezza museale, alla gestione delle collezioni, ai rapporti del museo con il pubblico e a quelli con il territorio (Dragoni 2016).

Ciascuna delle otto aree contiene in maniera dettagliata una premessa, una regola tecnica e una serie di documenti che giustificano, approfondiscono e specificano il significato dell'area. L'*Atto di indirizzo* era nato dall'esigenza di definire regole condivise che garantissero la conservazione e la fruizione pubblica del patrimonio culturale in armonia con i principi e le buone pratiche internazionali, in primis il *Codice Etico dei Musei* dell'International Council of Museums (ICOM) (2009), un documento che ha introdotto e diffuso a livello internazionale il concetto di standard minimi, corrispondenti a tutti i requisiti essenziali necessari a garantire l'esistenza e il buon funzionamento di un museo, con particolare attenzione ai rapporti con il territorio e al contributo che i musei possono offrire alla valorizzazione, alla conoscenza e alla gestione del patrimonio naturale e culturale, alle opportunità che offrono ad altri istituti e servizi pubblici, alla collaborazione con le comunità da cui provengono le collezioni e con quelle di riferimento.

Significativa per il Sistema museale nazionale è la *Convenzione di Faro sul valore del patrimonio culturale per la società*, adottata dal Comitato dei ministri del consiglio d'Europa il 13 ottobre 2005 e aperta alla firma degli stati membri a Faro (Portogallo) il 27 ottobre dello stesso anno. È entrata in vigore l'1 giugno 2011 e ad oggi è stata ratificata da 21 stati membri del Consiglio d'Europa: in Italia con la legge n. 133 dell'1 ottobre 2020. La Convenzione sottolinea gli aspetti significativi del patrimonio culturale in relazione ai diritti umani e alla democrazia e ha l'obiettivo di promuoverne una comprensione più ampia e la sua relazione con le comunità e la società, di incoraggiare a riconoscere che gli oggetti e i luoghi non sono, di per sé, ciò che è importante ma sono rilevanti per i significati e gli usi che le persone attribuiscono loro e per i valori che rappresentano.

Rilevante è anche la Raccomandazione UNESCO del 17 novembre 2015 (adottata nella 38.a Sessione della conferenza generale) che evidenzia come la protezione e promozione delle diversità culturali e naturali sia fra le più importanti sfide del XXI secolo e come i musei ne possano essere gli strumenti primari (Raccomandazione UNESCO, 2015).

## 3. Il Sistema museale nazionale

Il Sistema museale nazionale, finalizzato a comprendere non solo i luoghi della cultura statali ma anche i musei e i luoghi della cultura non statali, pubblici o privati, prevede un'adesione su base volontaria e attraverso un sistema di accreditamento definito nel Decreto Ministeriale n. 113/2018. Vuole essere aperto, partecipato, integrato nel territorio, fondato sulla partecipazione volontaria dei musei e si basa sul possesso di requisiti minimi comuni.

Il suo primo obiettivo è l'avvio di un processo di autovalutazione esteso a tutti i musei, indipendentemente dalla loro proprietà e dallo status giuridico, per verificare, attraverso un articolato questionario di autovalutazione che viene compilato su base volontaria, la presenza dei livelli uniformi

di qualità (i LUQ) necessari per aderire al Sistema. In caso di mancanza di alcuni requisiti, è disponibile un percorso di adeguamento per raggiungerli. Si tratta certamente di un processo complesso, come hanno dimostrato le procedure di riconoscimento o accreditamento effettuate in passato da molte amministrazioni regionali in Italia con leggi regionali che si fondavano sull'*Atto di indirizzo* sopra citato.

Questo Sistema museale nazionale si basa molto più sul collegamento che sulla proprietà dei musei. Favorisce la collaborazione tra governo centrale, regioni, comuni e altri enti locali, università e tutto il sistema educativo per creare un processo condiviso volto al miglioramento della cultura gestionale non solo dei musei, ma dell'intero patrimonio culturale italiano. Mettere a sistema le istituzioni culturali italiane è fondamentale per consolidare il patrimonio culturale, per promuovere, attraverso attività accessibili e inclusive, la diversità e la sostenibilità, con la partecipazione delle comunità, e per favorire lo sviluppo del turismo culturale. Le funzioni del museo sono state meglio specificate nella definizione approvata di recente, in occasione della Conferenza generale dell'ICOM che ha avuto luogo a Praga nel 2022:

Il museo è un'istituzione permanente senza scopo di lucro e al servizio della società, che effettua ricerche, colleziona, conserva, interpreta ed espone il patrimonio materiale e immateriale. Aperti al pubblico, accessibili e inclusivi, i musei promuovono la diversità e la sostenibilità. Operano e comunicano eticamente e professionalmente e con la partecipazione delle comunità, offrendo esperienze diversificate per l'educazione, il piacere, la riflessione e la condivisione di conoscenze.

Un sistema di accreditamento nazionale, nel rispetto delle autonomie regionali e provinciali e delle diverse tipologie di musei o luoghi della cultura, può promuovere lo sviluppo della cultura e la generazione di economie di scala. Lo svolgimento condiviso di competenze e servizi professionali con specifico riferimento alla formazione del personale può rafforzare la fruizione del patrimonio culturale con una diffusione capillare sul territorio, caratteristica peculiare dei musei italiani, garantire un accesso di qualità per i visitatori e un miglioramento della tutela dei beni culturali, livelli omogenei di fruizione e modalità uniformi di conservazione, promuovere lo sviluppo culturale con una efficace integrazione delle politiche di settore.

#### **4. Gli strumenti: i LUQ (Livelli Uniformi di Qualità) per l'attivazione del Sistema museale nazionale**

I LUQ sono gli strumenti per l'attivazione del Sistema e per il raggiungimento delle finalità che il Sistema persegue: sono il risultato di un lungo lavoro interdisciplinare svolto in attuazione dell'art. 114, comma 1 del Codice dei beni culturali e del paesaggio (Decreto Legislativo n. 42/2004 e s.m.), valido per i musei, i monumenti e le aree archeologiche. I LUQ sono stati elaborati congiuntamente dal ministero, dalle regioni e dagli enti locali, con il contributo di docenti universitari, funzionari pubblici ed esperti nel campo dei musei e della gestione e valorizzazione dei beni culturali.

Rispetto agli standard minimi fissati dall'*Atto di indirizzo* del 2001, i LUQ, pubblicati nell'allegato 1 del decreto ministeriale di istituzione del Sistema museale nazionale (n.113/2018), hanno inserito obiettivi di miglioramento molto articolati e diversificati: aggiornamento del linguaggio, adeguamento dei requisiti al contesto attuale (ad esempio nuove figure professionali, comunicazione digitale, accessibilità) e maggiore attenzione al rapporto con il territorio, con il pubblico e con gli stakeholder.

Sono distribuiti in tre macro-aree: organizzazione, collezioni, comunicazione e rapporti con il territorio, suddivise in diverse sezioni e voci che rispecchiano l'organizzazione e le attività dei musei, come matrice per verificare il rispetto degli standard minimi e per individuare gli obiettivi di miglioramento.

Per la prima macro-area LUQ, organizzazione dei musei per gli investimenti e lo sviluppo e per i servizi al pubblico e le attività culturali, è rilevante il rispetto degli standard di stato giuridico, finanziario, di personale e di strutture che costituiscono il requisito fondamentale di questa istituzione culturale impegnata, secondo la definizione dell'ICOM, nel servizio pubblico di conservazione e valorizzazione.

La prima macro-area è suddivisa in cinque sezioni: le prime tre sono relative allo stato giuridico, alla contabilità e la finanza, all'accesso agli edifici museali, compresi gli accessi per i disabili, l'organizzazione e l'uso degli spazi interni e la sicurezza. La quarta sezione, che riguarda le attività museali, è suddivisa in due voci: le modalità di accesso al museo e i documenti programmatici predisposti da ciascuna istituzione; la quinta sezione è dedicata al personale.

Lo standard minimo della prima macro-area, organizzazione, è definito nella prima sezione relativa allo status giuridico o regolamento, in accordo con la definizione generale di museo stabilita dall'ICOM e coerentemente con il Decreto ministeriale beni e attività culturali del 23 dicembre 2014, "Organizzazione e funzionamento dei musei statali" (Decreto Ministero beni e attività culturali, 2014), e deve indicare chiaramente quanto segue: la natura del museo quale organismo permanente e senza scopo di lucro; la missione e le finalità del museo; le forme di governo e di gestione; l'assetto finanziario e l'ordinamento contabile; le norme in materia di personale; le dotazioni di carattere strutturale e le norme in materia di sicurezza; il patrimonio; i principi generali per la gestione e cura delle collezioni; i principi generali di erogazione dei servizi al pubblico; le modalità di raccolta dei dati sull'attività e la gestione del museo, a fini statistici e di programmazione; i compiti e le funzioni che il museo intende assumere in riferimento al contesto territoriale, nonché nell'ambito di una eventuale organizzazione in forma associata.

La seconda sezione riguarda la gestione delle risorse finanziarie, nel rispetto delle norme contabili. Lo standard minimo è l'esistenza di una documentazione economico-finanziaria in cui siano indicate le voci di entrata (suddivise in autofinanziamento e risorse esterne) e le voci di spesa (distinguendo le spese per l'ordinaria amministrazione e i costi del personale da quelle per la gestione e la cura del museo e delle collezioni, i servizi al pubblico, le attività culturali, gli investimenti e lo sviluppo). Un significativo obiettivo di miglioramento è l'adozione di strategie di finanziamento per la gestione e la valorizzazione del museo e delle sue collezioni (come ad esempio accordi con finanziatori, *crowdfunding*).

La terza sezione riguarda l'accesso alle strutture, che comprende anche l'accessibilità alle persone con disabilità, l'organizzazione e l'impiego degli spazi interni, la sicurezza: "per garantire l'apertura dei locali a un vasto pubblico e la loro fruibilità da parte di tutti, particolare importanza è stata attribuita all'accesso dei disabili, in primo luogo delle persone con disabilità motorie, sensoriali o cognitive". È suddivisa in voci relative a destinazione d'uso degli spazi, confort degli spazi espositivi, accesso delle persone con disabilità, sicurezza.

La quarta sezione, dedicata alle attività, è stata idealmente suddivisa in due voci riferite, rispettivamente, alle modalità di accesso al museo, da un lato, e ai documenti programmatici predisposti da ciascun istituto: un aspetto rilevante è rappresentato dall'esigenza di assicurare una continuità dei servizi. È suddivisa in quattro voci, la prima dedicata all'apertura, prevedendo come standard minimo "almeno 24 ore settimanali (compreso o il sabato o la domenica) e, nel caso di aperture stagionali, almeno 100 giorni all'anno, fatte comunque salve eventuali diverse disposizioni normative". Le altre tre prevedono la registrazione degli ingressi, il piano annuale delle attività e nello specifico il piano annuale delle attività educative.

La quinta sezione, dedicata al personale, individua, oltre al direttore del museo, sette figure professionali, i diversi responsabili, delle collezioni e/o del patrimonio custodito, della sicurezza, dei servizi educativi, delle procedure amministrative ed economico-finanziarie, delle relazioni con il pubblico, del marketing e del *fundraising*, della comunicazione, della gestione delle risorse umane interne



ed esterne. Queste figure professionali fanno riferimento a funzioni specifiche, indispensabili per una corretta gestione del museo, che vanno individuate, specificamente assegnate o si prevede che possano anche essere assunte dal direttore. A queste figure si aggiunge necessariamente il personale addetto ai servizi di vigilanza e all'accoglienza.

La seconda macro-area dei LUQ è relativa alla gestione e cura delle collezioni che costituiscono il principale compito di ogni museo dato che sono elemento costitutivo e ragion d'essere dell'istituto: "le collezioni vanno incrementate con riferimento alla missione del museo e in base a linee d'indirizzo e modalità definite dall'ente di governo, nel rispetto della normativa vigente" Gli standard minimi e gli obiettivi di miglioramento riferiti a questa seconda area, devono armonizzare le due esigenze primarie di conservazione e fruizione dei beni.

Oltre alla cura dell'integrità delle collezioni, il museo deve garantirne la piena accessibilità fisica e intellettuale, assicurandone la fruizione pubblica anche attraverso l'esposizione permanente o temporanea e assicurandone la consultazione e la conoscenza. Le otto sezioni di questa area riguardano il monitoraggio periodico dello stato conservativo del patrimonio, la gestione e controllo formalizzati delle procedure di movimentazione, l'incremento del patrimonio, la registrazione, documentazione e catalogazione del patrimonio, l'esposizione permanente e quella temporanea, i programmi e attività di studio e ricerca, l'organizzazione dei depositi. Tralasciando casi eccezionali previsti dalla legge, le collezioni sono inalienabili e il museo deve garantirne la conservazione, la gestione e la cura assicurando la loro adeguata collocazione in spazi sufficienti, appropriati e sicuri; assumendo personale qualificato in numero sufficiente in relazione alle dimensioni e alle tipologie dei manufatti/oggetti/esemplari conservati; preservando la loro integrità, adottando misure definite per prevenire i rischi a cui possono essere esposti e mezzi adeguati per intervenire in caso di emergenza; mantenendo in modo permanente l'inventario, il catalogo e la documentazione dei manufatti/oggetti/esemplari; promuovendo la conoscenza dei manufatti, del loro ordinamento e della loro interpretazione; sviluppando studi e ricerche che partano dalle collezioni, e dalla missione e dal mandato del museo stesso (Icom Italia, Quaderno 2, 2017).

La terza macro-area dei LUQ, comunicazione e relazioni con il territorio, è suddivisa in due aree che riguardano le relazioni e la comunicazione con il pubblico e quelle con il territorio e gli stakeholder. Nella prima area si precisa che

la comunicazione deve avvenire sia in maniera informale, tramite ad esempio l'esistenza di un punto informativo, sia in maniera formale attraverso la segnaletica, inclusa quella di identificazione dei materiali esposti, e la disponibilità di materiale informativo, cartaceo oppure online. Gli istituti devono aver cura che le informazioni siano sempre aggiornate ed esaurienti e che vengano date anche in inglese ed eventuali altre lingue se necessario.

Inoltre uno spazio adeguato va riservato all'utilizzo delle nuove tecnologie. Dato che internet può essere considerato il primo approccio tra utenti/visitatori e musei viene evidenziata l'importanza di mettere a disposizione informazioni online - tramite social network, applicazioni - sull'accesso al museo, sui suoi servizi, sulle collezioni e sulle attività aggiuntive. Ai visitatori vanno offerti strumenti multimediali che forniscano informazioni che si integrino con i sistemi informativi tradizionali, utilizzando messaggi di testo, immagini, audio e video attraverso *app* scaricabili sui *tablet* e sui telefoni cellulari di ultima generazione e, più in generale, che siano di *edutainment*, cioè che diano informazioni su una vasta gamma di attività che attivino la conoscenza in modo divertente e rilassante.

Diversi strumenti possono intercettare interessi e bisogni come ad esempio questionari, focus group, sondaggi online, registri dei visitatori, indagini sugli osservatori. È infatti attraverso l'utilizzo di servizi e offerte rivolte specificamente a target distinti che le istituzioni possono mediare i propri contenuti informativi attivando una molteplicità di processi di apprendimento in ciascun individuo,

stimolando tipologie di apprendimento diversificate. Si specifica che questa area si articola in tre indirizzi generali:

il consolidamento della vocazione territoriale dell'istituto culturale, sia attraverso la formalizzazione nei documenti programmatici, sia tramite la contestualizzazione dei beni nel territorio mediante strumenti di sussidio alla visita; il coinvolgimento degli enti territoriali nelle attività istituzionali e di valorizzazione, ad esempio attraverso iniziative espositive coprodotte o co-programmate, la condivisione di luoghi di deposito dei beni, la predisposizione o promozione di itinerari turistico-culturali, l'attuazione di forme di integrazione tariffaria; la promozione del territorio attraverso la diffusione presso i singoli istituti culturali di informazioni, cartacee o multimediali, relative ad altre realtà presenti nell'area.

Particolare importanza va data alla trasparenza dato che i musei sono fornitori di un servizio pubblico. Da questo deriva la necessità di sviluppare una Carta della Qualità dei Servizi che si riferisca alla missione specifica del museo. Questo documento, obbligatorio per tutte le istituzioni che erogano servizi al pubblico, identifica gli standard minimi di qualità per l'erogazione di tali servizi e rappresenta non solo una forma di impegno nei confronti dei visitatori ma anche uno strumento di autovalutazione.

Questa prima area relativa alle relazioni e alla comunicazione con il pubblico comprende cinque sezioni dedicate alla segnaletica, agli strumenti informativi, alla comunicazione integrata nel territorio, alle attività educative e di valorizzazione / promozione del patrimonio, alle relazioni con il pubblico.

La seconda area, dedicata ai rapporti con il territorio e con gli stakeholder, evidenzia "la cultura della relazione in rete di musei, luoghi della cultura, monumenti e diverse espressioni del territorio oltre che la messa a sistema di attività e di servizi culturali tra i musei", con l'obiettivo di creare alleanze fra i diversi soggetti operanti sul territorio per condividere i progetti culturali con gli stakeholder. Vengono individuate alcune categorie di interlocutori: "le associazioni di volontariato, le associazioni del settore culturale, le organizzazioni di diversa natura che rappresentano le comunità locali e gli operatori economici, le università e gli istituti culturali che operano sul territorio, i privati proprietari di beni culturali".

In quest'area sono presenti tre sezioni: nella prima, compiti e ruoli in ambito regionale, lo standard minimo è, nei documenti di programmazione, l'indicazione dei compiti e delle funzioni che l'istituto svolge in riferimento al contesto regionale e l'obiettivo di miglioramento è la stipula di accordi di cooperazione nello svolgimento di funzioni comuni.

La seconda sezione riguarda la collocazione delle collezioni/museo/sito archeologico nel contesto regionale e il suo standard minimo è la presenza di elementi che mettano in relazione le collezioni con il loro contesto storico, culturale e ambientale; l'obiettivo di miglioramento è l'indicazione dei programmi e delle attività di studio e ricerca da svolgere nel contesto regionale, in collaborazione con altre istituzioni e stakeholder.

La terza sezione riguarda il coinvolgimento di organismi o istituzioni regionali dopo un'analisi, come standard minimo, del contesto regionale e degli attori individuali o collettivi che operano. Di conseguenza per il miglioramento sono necessarie numerose azioni: realizzare studi e ricerche sulle collezioni materiali e immateriali della regione di riferimento; integrarsi con i servizi culturali e le reti museali, preparare e promuovere itinerari turistici e culturali; realizzare iniziative coprodotte o coprogrammate, sviluppare offerte per i disabili e condividerle con associazioni, strutture, scuole e operatori, predisporre forme di agevolazione tariffaria con il settore ricettivo e le aziende di trasporto, verificare l'efficacia e l'impatto delle attività di collaborazione, attivare rapporti sistematici con i settori della formazione, dell'artigianato e dell'industria e che propongano l'istituzione come punto di forza culturale e storico della regione (anche per lo sviluppo della creatività, del design e del saper fare), partecipare a progetti in rete.

Nella quarta sezione, relativa al coinvolgimento degli stakeholder, gli standard minimi sono i documenti programmatici dell'istituzione, l'identificazione degli stakeholder e i possibili strumenti di dialogo. Per migliorare è necessario definire accordi e iniziative con gli stakeholder, tenendo conto anche delle associazioni di settore in relazione all'offerta per i disabili e verificare, con gli stakeholder, l'efficacia e l'impatto delle attività in relazione alle politiche culturali, economiche e sociali attraverso report periodici e iniziative di condivisione pubblica.

## **5. L'accreditamento**

Per attivare il Sistema museale nazionale presso la Direzione musei del Ministero della cultura è stata istituita la Commissione per l'attivazione del Sistema Museale Nazionale (art. 3 D.M. 113/2018), presieduta dal Direttore generale musei. Le competenze della Commissione sono: l'equiparazione dei livelli di qualità dei sistemi regionali a quelli nazionali (art. 4, comma 2, D.M. 113/18); la validazione dell'accREDITamento a seguito dell'istruttoria dell'Organismo di accREDITamento (art. 6, comma 3, D.M. 113/2018); la formulazione di proposte per lo sviluppo e la promozione del Sistema museale nazionale e per l'aggiornamento dei Livelli uniformi di qualità dei musei (art. 3, comma 1, D.M. 113/2018); l'accREDITamento nella fase transitoria.

I componenti della Commissione sono: il Direttore generale musei (che la presiede), il Presidente del Comitato tecnico-scientifico per i musei e l'economia della cultura; quattro rappresentanti designati dal Ministro; sei rappresentanti designati dalla Conferenza unificata Stato-Regioni; due rappresentanti designati dal comitato italiano dell'ICOM. Ai lavori della Commissione possono essere invitati a partecipare rappresentanti designati dalle Organizzazioni e Associazioni di categoria che hanno accordi con la Direzione generale musei (art. 3, comma 2, D.M. 113/2018).

Il collegamento e l'accREDITamento dei musei che raggiungeranno i livelli minimi di qualità avviene attraverso la piattaforma informatica messa a disposizione dall'AGID, l'Agenzia per l'Italia Digitale, e accessibile dal sito della Direzione generale musei, che potrà essere utilizzata anche per una verifica successiva e periodica. La piattaforma utilizza per il calcolo del punteggio tecniche di normalizzazione dei dati di autovalutazione, relative al possesso dei LUQ stabiliti dal D.M. n. 113/2018: l'accREDITamento al Sistema museale nazionale avviene con un punteggio di 6,0 come previsto dal decreto "Prime modalità di organizzazione e funzionamento del Sistema museale nazionale" (D.M. 542 del 20-6-2018).

Inoltre rispetto al punteggio registrato, ogni membro della Commissione ha a disposizione un coefficiente di compensazione di 0,07 punti come fattore di correzione sul punteggio finale normalizzato che può essere applicato per i seguenti motivi: contesto estremamente difficile in cui opera il museo, straordinario contributo di innovazione nella cura dell'accessibilità al pubblico e dei contenuti di comunicazione al visitatore, eccellente regolarità dei contratti per i servizi di accoglienza e di sicurezza, obiettivi di feedback in merito a un ottimo clima di lavoro, rilevanti ed eccezionali risultati di ricerca, straordinari risultati nell'attività di tutela e nei rapporti con il territorio, eccezionale incremento di pubblico con particolare riferimento a gruppi sociali tradizionalmente esclusi dai consumi culturali (art. 1, comma 9, D.M. 542/2018) (Musei, beni culturali, Organizzazione e funzionamento del Sistema museale nazionale, 2018).

## **6. L'attivazione del Sistema museale nazionale**

Per i musei e i luoghi della cultura appartenenti allo Stato (art. 6, comma 4 D.M. 113/2018) l'accREDITamento avviene attraverso la verifica da parte della Direzione generale musei del Ministero della cultura del grado di conformità dei musei agli standard minimi previsti dai LUQ. I musei delle Università statali

potranno seguire il medesimo iter di accreditamento al Sistema museale nazionale degli altri musei statali in base all'articolo 6 comma 4 del D.M. 113/2018.

Per l'accreditamento di musei e luoghi non appartenenti allo Stato, l'accreditamento è automatico se esiste un sistema di accreditamento regionale equiparato a quello nazionale (art. 4 D. M. 113/2018); se non esiste un sistema di accreditamento regionale equiparato deve essere creato un organismo di accreditamento (art. 5 D.M. 113/2018). Il sistema di accreditamento regionale può promuovere direttamente la partecipazione e la condivisione, facilitare la messa in rete di risorse e idee, favorire lo scambio di buone pratiche e competenze e la crescita qualitativa, migliorare la qualità dei servizi attraverso una *governance* partecipata con coordinamento istituzionale e anche territoriale e tematico. L'accreditamento è un processo in fieri e in continuo aggiornamento: 18 regioni e province autonome hanno aderito al Sistema museale nazionale.

A tale scopo, dieci regioni e province autonome hanno modificato la propria normativa per recepire le indicazioni del decreto ministeriale e uniformare i requisiti di qualità regionali ai LUQ dell'Allegato 1 del decreto di istituzione del Sistema museale nazionale (art. 4 del D.M. 113/2018) rendendo i requisiti regionali equiparabili a quelli del Sistema stesso: Calabria, Campania, Emilia Romagna, Lazio, Lombardia, Piemonte, Toscana, Sardegna, Provincia autonoma di Trento, Provincia autonoma di Bolzano.

Per i musei non statali di altre otto regioni prive di un sistema di riconoscimento è stata prevista l'istituzione di un organismo regionale di accreditamento (art. 5 del D.M. 113/2018): Friuli Venezia Giulia, Liguria, Marche, Puglia, Sicilia, Umbria, Veneto, Abruzzo. Sono in fieri le procedure per le ultime tre regioni: Basilicata, Molise e Valle d'Aosta. Inoltre, sono in fase di conclusione le procedure relative agli iter dei musei statali afferenti alle Direzioni regionali musei del Ministero della cultura Il più recente decreto del Direttore generale del Ministero della cultura del 3 maggio 2022 (n.472) fornisce un aggiornato elenco dei 380 musei e dei luoghi della cultura accreditati nel Sistema museale nazionale ai sensi dell'art. 2 comma 4 del D.M. 113/2018 (Musei, beni culturali, Elenco musei aderenti al Sistema museale nazionale, 2022).

Oltre ai 32 musei statali sono stati automaticamente accreditati al Sistema museale nazionale, ai sensi dell'art. 4 del DM 113/2018, i musei di quattro regioni, 108 non statali della Regione Lombardia riconosciuti con D.G.R. 13 ottobre 2020, n. 3650, allegato B, tra cui figurano i soli due musei universitari accreditati nel Sistema museale nazionale: il Sistema museale di Ateneo di Pavia e l'Orto Botanico di Brera; oltre a questi 88 raccolte museali non statali riconosciute dalla stessa Regione Lombardia. A questi si aggiungono i musei non statali riconosciuti di rilevanza regionale, 16 dalla Regione Toscana (Decreto dirigenziale n. 3670 del 10 marzo 2021), 22 dalla Regione Sardegna (iscritti nell'Albo regionale degli istituti e dei luoghi della cultura aggiornato al 2020), 102 accreditati al Sistema museale regionale (SMR) della Regione Emilia Romagna e 11 dal Sistema museale trentino secondo quanto indicato dalla legge provinciale sulle attività culturali n.15/2007.

## Bibliografia

- Corradini, E. (2019). "A challenge and an opportunity for University Museums in Italy: to be connected with all museums and cultural places", *University Museums and Collections Journal*, 11(1), p. 71.
- Corradini, E. (2020). "The Future of the Italian University Museums: the National Museum System", in Nava Rodriguez, T. & Pasoz Lopez, A. (eds.) *Museos y Universidades espacios compartidos, Somonte-Cenero*. Gijón, Asturias: Ediciones Trea, pp. 25-52.
- Dragoni, P. (2016). "Livelli minimi di qualità", in Paparello, C. (ed.) *La storia e il museo. Documenti e proposte per la valorizzazione del patrimonio museale*. Foligno: Il Formichiere, pp. 171-204.

## **Sitografia**

- Codice etico dei musei (2009). <https://www.icom-italia.org/traduzione-italiana-codice-etico> (Accessed 10 November 2022).
- Decreto Ministero beni e attività culturali, (2014). Available at: <https://www.beniculturali.it/comunicato/dm-23-12-2014-1> (Accessed 10 November 2022).
- ICOM Italia, Quaderno 2 (2017). <https://www.icom-italia.org/wp-content/uploads/2018/06/ICOM-Italia-SMN-Quaderno2-novembre.2017.pdf> (Accessed 10 November 2022).
- Musei, beni culturali, Atto di indirizzo, 2018. <http://musei.beniculturali.it/wp-content/uploads/2016/04/Atto-di-indirizzo-sui-criteri-tecnico-scientifici-e-sugli-standard-di-funzionamento-e-sviluppo-dei-musei-DM-10-maggio-2001.pdf> (Accessed 10 November 2022).
- Musei, beni culturali, Elenco musei aderenti al Sistema museale nazionale (2022). <http://musei.beniculturali.it/wp-content/uploads/2020/01/Elenco-dei-musei-aderenti-al-Sistema-museale-nazionale-aggiornato-a-maggio-2022.pdf> (Accessed 10 November 2022).
- Musei, beni culturali, Organizzazione e funzionamento del Sistema museale (2018). Available at: <http://musei.beniculturali.it/wp-content/uploads/2018/04/Decreto-20-giugno-2018-Prime-modalita%CC%80-di-organizzazione-e-funzionamento-del-Sistema-museale-nazionale.pdf> (Accessed 10 November 2022).
- Musei, beni culturali, Sistema museale nazionale (2018). Available at: <http://musei.beniculturali.it/wp-content/uploads/2018/04/Decreto-20-giugno-2018-Prime-modalita%CC%80-di-organizzazione-e-funzionamento-del-Sistema-museale-nazionale.pdf> (Accessed: 10 November 2022).
- Raccomandazione UNESCO (2015). <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000246331> (Accessed 10 November 2022).

## About the collections and exhibitions of physics and astronomy at the Museum of Science and Technology in Milan (MUST)

Vincenzo Iannone

Museo Nazionale Scienza e Tecnologia Leonardo da Vinci, [iannone@museoscienza.it](mailto:iannone@museoscienza.it)

*Abstract:* In 1955, two years after the inauguration of the Leonardo da Vinci Museum in Milan, the Physics Section opened with the three galleries Ottica, Eletticità and Apparecchi storico-didattici. The Physics Section exhibited a good part of the material sent on display at the Chicago Expo in 1933 by the CNR and donated to the Museum in 1947, and of the collection of didactic instruments of the Physics Institute of the University of Padua, granted to the Museum in 1954.

The MUST collection of scientific equipment and instruments, born from these two collections and now called the "Strumentazione Tecnico Scientifica" Collection, consists of over 2000 items from various sources, including the "Centro Didattico di Fisica Sperimentale", a prestigious activity of the Museum between 1955 and the end of the 1980s. Recent research apparatuses by CERN and INFN are among the latest acquisitions conferred on this collection.

The MUST Astronomy collection is essentially made up of instrumentation from the Brera Observatory (OAB) and exhibited since 1961 in the Museum's Astronomy Section, now included in the Museum Space Area. The latest instrument to arrive from the OAB, in 2017, is the Merz Repsold refracting telescope used by Schiaparelli.

A cultural heritage education project: MUST and the Liceo Scientifico Vittorio Veneto in Milan are experimenting with the students a path that starts from the objects of the Liceo's collection of scientific instruments, present since 1923, to get to know them and use them as historical sources, according to the working method of the museum.

*Keywords:* Astronomy, Physics, Heritage

### 1. L'inaugurazione del Museo

Il Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia Leonardo da Vinci (MUST) apre ufficialmente al pubblico nel 1953 con il nome di Museo Nazionale della Scienza e della Tecnica Leonardo da Vinci (MNST), nella sede di un ex Convento olivetano.

All'inaugurazione, nel pieno delle celebrazioni dei 500 anni dalla nascita dell'artista vinciano, era visitabile una grande mostra su Leonardo da Vinci e poche sale dell'edificio monumentale dell'ex convento.

Già cinque anni dopo era cospicua l'offerta di sale visitabili e significativo il numero di beni acquisiti: da registro inventariale figurano oltre 4.000 beni iscritti in quei 5 anni. Acquisizioni di beni ottenute grazie anche ad un'articolata rete di persone e di istituzioni, pubbliche e private, che il fondatore del Museo, Guido Ucelli di Nemi, aveva attivato da molto prima della costituzione dell'Ente morale Museo Nazionale della Scienza e della Tecnica risalente al 1947.

## 2. La collezione Strumentazione tecnico scientifica

Emblematiche di questo avvio e del successivo sviluppo di alcune raccolte, sono le collezioni di apparecchi e strumenti scientifici; di queste, la collezione che attualmente è denominata “Strumentazione tecnico scientifica” è nata da due nuclei primari provenienti, uno, dal coinvolgimento del Centro Nazionale delle Ricerche (CNR), che nel 1947 aveva donato al Museo il materiale (circa 140 beni) mandato in mostra all’Expo di Chicago del 1933, e, l’altro, dalla raccolta di strumenti (circa 100 beni) concessa dall’Istituto di Fisica dell’Università di Padova.

Buona parte di questo materiale, dal 1955 circa, era esposto nella Sezione di fisica del Museo, articolata in tre gallerie: due, “Sala dell’Ottica” e “Sala dell’Elettricità”, dedicate maggiormente ad esperienze a disposizione del pubblico, ed una, “Apparecchi storico-didattici”, che si proponeva di illustrare aspetti e momenti di particolare importanza nello studio della fisica.



**Fig. 1** (da sinistra) 1955 - Sezione di Fisica – Sala dell’Elettricità – Sala dell’Ottica – Sala Apparecchi storico-didattici.

Attualmente la collezione consta di oltre 2000 beni di varia provenienza e intende dare testimonianza della ricerca scientifica e degli strumenti didattici impiegati nel corso dell’evoluzione scientifica e tecnologica.

Rientrano in questa collezione anche parte (circa 400 beni) degli apparecchi e della strumentazione del “Centro didattico di fisica sperimentale”, prestigiosa attività sperimentale del Museo, all’avanguardia per l’epoca, avviata nel 1955 e destinata fondamentalmente all’aggiornamento degli insegnanti di fisica delle scuole superiori. Il centro ha svolto la sua funzione didattica fino alla fine degli anni ’80 dello scorso secolo.

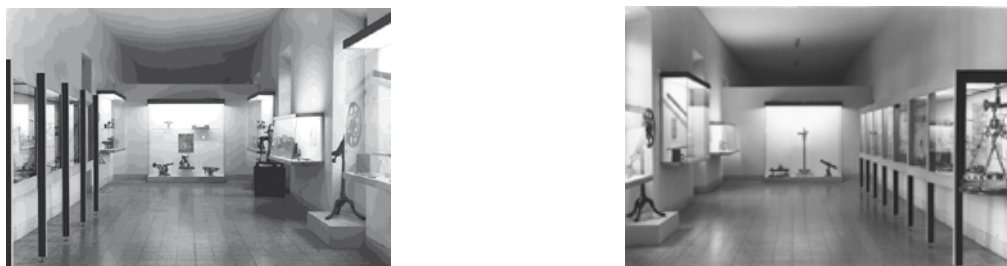


**Fig. 2.** 1955 - Centro didattico di fisica sperimentale – apparecchiature.

Furono destinati a questa attività didattica anche una raccolta di oltre 50 modelli matematici commissionati dal Museo nel 1957 circa al geometra Luigi Campedelli dell’Università di Firenze che dal 1951 coordinava l’iniziativa dell’Unione Matematica Italiana di ricostruire le raccolte andate perdute durante la Seconda guerra mondiale (IV Congresso nazionale a Taormina).

Beni rappresentativi del mondo industriale provengono dai laboratori di pionieri come Alessandro Cruto, Erminio Donner Flori, Guglielmo Marconi, Arturo Gilardoni, e di realtà industriali come la Magneti Marelli, la Face Standard, la Pirelli, ecc.

Nella collezione sono confluiti, inoltre, gli strumenti della “Sezione delle Misure di lunghezza, angoli e massa”, più nota come “Sezione Pesi e misure”. Inaugurata nel 1966, rivisitata nel 1971 e chiusa al pubblico a metà degli anni ‘90 del secolo scorso, la sezione esponeva un centinaio di strumenti di misura di varia provenienza: istituti di ricerca come il già citato CNR, aziende come la Salmoiraghi, la Borletti, e da vari collezionisti privati.



**Fig. 3.** 1966 - Sezione delle Misure di lunghezza, angoli e massa.

Altri apparati provengono dalla Sezione GISI (Associazione Imprese Italiane di Strumentazione), dedicata all’automazione industriale, allestita nel 1982 e aperta al pubblico fino al 1997 circa.



**Fig. 4.** (da sinistra) Wattmetro C.G.S. - Società Anonima per Istrumenti elettrici, 1902, Ponte di misura Hartmann & Braun AG, 1927; Regolatore pneumatico proporzionale-integrativo-derivativo (PID) Ing.i Biondi e Terenghi, 1950.

Questa raccolta di Sala GISI, si collega ad un’altra collezione del MUST denominata “Automazione e sistemi robotici” formatasi nel 2013 circa in seguito all’acquisizione di materiale di robotica proveniente dal Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano. Tra le ultime acquisizioni conferite a questa collezione ci sono alcuni apparati provenienti dalle recenti ricerche sulla fisica delle particelle del CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) e dell’INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare), visibili nella Area del Museo dedicata a quest’argomento e denominata Extreme.

Fanno parte dell’esposizione, ad esempio: una sezione del rivelatore centrale utilizzato al CERN di Ginevra per l’UA1 (Underground Area, Experiment One), grazie al quale nel 1983 viene dimostrata l’esistenza delle particelle elementari W e Z. Di grande effetto e rilevanza la presenza nell’allestimento di Extreme del generatore e acceleratore di particelle Cockcroft-Walton in uso al CISE (Centro Informazioni Studi ed Esperienze) all’incirca tra gli anni 1952-1965 e una camera a nebbia degli anni 1930, arrivata al MUST nel 1991 dall’ Istituto di Fisica Generale applicata dell’Università Studi Milano.





**Fig. 5.** (da sinistra) Sezione rivelatore centrale dell'UA1, 1982 c.; Cavità a radiofrequenza del LEP, 1989 c.; Un microrivelatore di vertice dell'esperimento Delphi, 1989 c.

Un'altra camera a nebbia che ha fatto parte del "gruppo camere Wilson" dello stesso istituto è esposta nella sezione introduttiva ai temi di "Energia" e "Materiali" del MUST.



**Fig. 6.** (da sinistra) Generatore e acceleratore di particelle Cockcroft-Walton, 1952 circa; Camera a nebbia, anni 1930; Camera a nebbia, 1956 c.

### 3. La collezione Astronomia

La collezione di Astronomia del MUST è costituita essenzialmente dalla strumentazione proveniente dall'Osservatorio Astronomico di Brera (OAB) ed esposta nella Sezione Astronomia del Museo.

La Sezione fu inaugurata il 22 aprile 1961, 8 anni dopo l'apertura al pubblico del museo, e fino al 2004 l'esposizione ha fondamentalmente mantenuto la sua caratteristica originaria di didascalica presentazione della storia dell'astronomia e delle tecniche di osservazione.



**Fig. 7.** 1961 - Sezione di Astronomia.

Nel 2004 la sezione fu rivisitata e riallestita puntando principalmente all’impatto visivo ed emotivo degli strumenti che a tale scopo furono raggruppati per tipologie e collegati a tematiche che il visitatore avrebbe potuto sviluppare autonomamente anche attraverso l’apparato didascalico.

Una più recente rivisitazione museologica, del 2014, portò ad un riallestimento della sezione di astronomia inglobandola nella più grande Area Spazio della quale sviluppa il tema dell’osservazione dello Spazio dalla Terra.

Qualche esempio di beni della collezione di astronomia:  
il telescopio rifrattore equatoriale, o settore equatoriale, eseguito da Jonathan Sisson, del 1774;  
il quadrante murale opera di Jesse Ramsden, del 1789;  
il sestante mobile costruito da Jacques Canivet del 1765;  
la coppia di repliche fatte eseguire nel 1933 dal CNR di due cannocchiali di Galileo Galilei.  
le due coppie di globi celeste e terrestre eseguiti da Vincenzo Maria Coronelli rispettivamente nel 1693 e nel 1688, e da Giovanni Francesco Moroncelli nel 1680 e 1679;  
una sfera armillare realizzata da Anders Akerman nel 1766.



**Fig. 8.** (da sinistra) Settore equatoriale di Sisson, 1774; Quadrante murale di Ramsden, 1789; Coppia di globi, celeste (sinistra) e terrestre (destra) di Coronelli, 1693 e 1688.

Nella collezione Astronomia, si è aggiunto nel 2017 l'ultimo strumento arrivato dall'OAB, su concessione dell'INAF: il telescopio rifrattore Merz Repsold voluto ed utilizzato da Giovanni Virginio Schiaparelli all'Osservatorio dove è stato direttore dal 1862 al 1900.

Lo strumento, 7 metri di lunghezza per oltre 5 di altezza, all’arrivo al MUST è stato montato all’inizio della sezione di Astronomia dove è attualmente visibile.



**Fig. 9.** 2017 – Ingresso all’area Spazio con in primo piano il telescopio rifrattore Merz Repsold, 1882 circa.

La sezione di Astronomia è all'inizio della più grande area dedicata allo Spazio. Allestita nel 2014 con importanti contributi scientifici di INAF (Istituto Nazionale per l'Astrofisica), ASI (Agenzia Spaziale Italiana), ESA (European Space Agency), CNR, e varie altri importanti attori del settore.

Oltre al tema "Osservare lo Spazio dalla Terra", affidato alla sezione di Astronomia, in quest'area si sviluppa l'altro aspetto dello studio dello Spazio concernente l'"andare nello Spazio".

Si incontrano nel percorso parti e modelli di veicoli per il trasporto come razzi e satelliti artificiali (es. lo stadio ZEFIRO 9 del lanciatore VEGA, oppure i modelli di qualifica di San Marco C-1 e del Sirio 1), ma anche strumentazione di bordo studiata per l'osservazione dallo Spazio verso lo Spazio (per esempio lo «specchio X» per i telescopi orbitali per raggi X) o anche verso la Terra e la sua atmosfera (es. il modello in scala di Lighting Imager – LI, progettato per la missione MTG -Meteosat Third Generation, dedicata alle previsioni meteorologiche e climatiche).

Impresziosiscono l'area Spazio le testimonianze delle missioni spaziali come il campione di roccia lunare raccolta dagli astronauti dell'Apollo 17 nel 1972.

#### 4. Un progetto di educazione ai beni culturali

MUST e Liceo Scientifico Vittorio Veneto di Milano stanno sperimentando con gli studenti un percorso che parte dagli oggetti della collezione di strumenti scientifici del Liceo, presente dal 1923, per conoscerli e utilizzarli come fonti storiche, secondo il metodo di lavoro proprio del museo.

Il programma del progetto che è stato denominato "VV il Museo", si articola in cicli di tre anni:

I.1 - il primo anno del primo ciclo vede coinvolta un'intera classe 3<sup>^</sup> del liceo;

I.2 - il secondo anno dello stesso ciclo, le classi coinvolte sono due, una nuova intera classe 3<sup>^</sup> del liceo e gli studenti/studentesse della classe dell'anno precedente, ora classe 4<sup>^</sup>, che decidono di approfondire gli argomenti e di fare da tutor ai colleghi e alle colleghe della classe 3<sup>^</sup>;

I.3 – il terzo anno, le classi coinvolte sono tre, una nuova 3<sup>^</sup> e gli studenti/studentesse degli attuali classi 4<sup>^</sup> e 5<sup>^</sup>, che decidono di proseguire nel progetto.

Il primo ciclo di tre anni termina con la fine del progetto per i diplomandi e le diplomande della classe 5<sup>^</sup> e con la formazione di nuovi tutor per il ciclo successivo, cioè il primo anno del secondo ciclo del programma del progetto (II.1). Come desumibile dalla tabella 1 seguente, in quattro anni sono stati coinvolti complessivamente 104 studenti e valorizzati 55 beni (vedi elenco 1 seguente). Ma le iniziative generate hanno interessato anche tutta la comunità cittadina legata al liceo, contribuendo alla diffusione dei fondamentali principi di educazione al patrimonio culturale.

**Tabella 1.** Riepilogo delle attività del progetto "VV il Museo".

<b>I.1 - a.s. 2018-2019</b>	<b>I.2 - a.s. 2019-2020</b>	<b>I.3 - a.s. 2020-2021</b>
Numero di classi coinvolte: 1	Numero di classi coinvolte: 2	Numero di classi coinvolte: 3
Classe coinvolta: 3N	Classi coinvolte: 3A e 4N	Classi coinvolte: 3B, 4A e 5N
Numero di alunni: 26	Numero di alunni: 24 + 6	Numero di alunni: 28 + 10 + 6
Totale studenti 26	Totale studenti 32	Totale studenti 44
Strumenti salvaguardati ed esposti: 13	Strumenti salvaguardati ed esposti: 15	Strumenti salvaguardati ed esposti: 15
<b>II.1 - a.s. 2021-2022</b>		
Numero di classi coinvolte: 3		
Classi coinvolte: 3A, 4B e 5A		
Numero di alunni: 26 + 3 + 10		

Totale studenti 39  
Strumenti salvaguardati ed  
esposti: 12

**Elenco 1.** Beni coinvolti nel progetto “VV il Museo”.

**Anno scolastico 2018-2019**

1. Apparecchio per la dimostrazione del parallelogramma delle forze
2. Pentola di Papin
3. Psicrometro di August con ventilatore a palette
4. Giroscopio di Bohnenberger
5. Tellurio, George Adams (*firma*), 1789-1795
6. Coppia di specchi di Archimede, Phywe (*marchio*), 1931 circa
7. Stauroscopio, Fuess in Berlin (*firma*), 1855
8. Analizzatore a prisma, Leybold (*marchio*), 1953 circa (*acquisto*)
9. Paradosso meccanico, 1950-1960
10. Macchina di Atwood, Phywe (*marchio*), 1966 circa (*acquisto*)
11. Caleidoscopio, 1850 circa
12. Cannocchiale terrestre, 1850 circa
13. Vite di Archimede, Cattaneo Angelo (*marchio*), 1940 circa

**Anno scolastico 2019-2020**

14. Eolipila
15. Dilatometro
16. Cassetta di Ingehouz
17. Termometro metallico
18. Vasi comunicanti
19. Densimetro a galleggiamento,
20. Piano inclinato
21. Parallelogramma per la Composizione delle Forze di Mueller Poillet
22. Leva controbilanciata
23. Leva centrata
24. Bilancia a due bracci
25. Specchi piani girevoli
26. Kit di Ottica
27. Macchina fotografica a soffietto, 1877-1900
28. Ricevitore telegrafico Morse, Officine Galileo (*marchio*), 1890 circa
29. Manipolatore Morse, S.p.A. Chima (*marchio*), 1959 (*acquisto*)

**Anno scolastico 2020-2021**

30. Termometro di massima e di minima 1950 circa
31. Vaso di Dewar, Leybold (*marchio*), 1950 circa
32. Anello di Gravesande
33. Regolo calcolatore
34. Igrometro di precisione, 1950 circa
35. Bilancia a due bracci
36. Termometro a tre scale, 1950 circa
37. Barografo

38. Baroscopio
39. Bilancia a gancio
40. Set di 3 palloni pesa aria, 1850 circa
41. Sfera forata di Pascal, 1910-1920
42. Bilancia idrostatica, 1890-1910
43. Sonometro
44. Soffiera di Marlowe

#### **Anno scolastico 2021-2022**

45. Igrometro di Chistoni, Officine Galileo (marchio), 1959 circa (acquisto)
46. Accessorio per termoscopio doppio di Looser, Officine Galileo (marchio), 1958 circa (acquisto)
47. Apparecchio di Hope, Amedeo Fumeo s.a. (marchio), maggio 1944 (documentazione)
48. Manometro di Smeaton, 1850 circa
49. Vaso di Dewar, 1890-1910
50. Pioggia di mercurio, 1850 circa
51. Fontana di Sturmius, 1930 circa
52. Apparecchio per l'equilibrio, 1920 circa
53. Pressa idraulica, Phywe (*marchio*), 1930 circa
54. Apparecchio di Müller per la rifrazione della luce
55. Apparecchio di Müller per la rifrazione della luce
56. Cubo di Leslie

#### **Bibliografia**

- Curti, O. (1978). *Museoscienza: tutto il Museo nazionale della scienza e della tecnica Leonardo da Vinci*. Milano: Associazione Amici del Museo.
- Museo nazionale della scienza e della tecnica Leonardo da Vinci (1988). *Cinque anni del Museo : 1953-1958*. Milano: Alfieri e Lacroix (ristampa facsimile ed. 1958).
- Curti, O. (1978). *Un museo per Milano: un protagonista racconta gli anni della nascita del Museo della scienza*. Milano: Unicopli.
- Miotto, E., Tucci, P. & Tagliaferri, G. (1989). *La strumentazione nella storia dell'Osservatorio astronomico di Brera*. Bressanvido (VI): Asterisco.
- Mezzalana, G. (1989). *Uomini e strumenti: Cinquant'anni di strumentazione in Italia*. Bressanvido (VI): Asterisco.
- Lini, D. (2001). *Il museo delle macchine: genesi e progetto del museo tecnico scientifico*. Garbagnate Milanese: Anthelios.
- Romano, P. (1982). "Una nuova sezione al Museo", in *Museoscienza : periodico del museo nazionale della scienza e della tecnica Leonardo da Vinci*, Milano, Museo Scienza e Tecnica di Milano, 1982, 2, pp. 56-60.
- Reduzzi, L. (2004). "Il riallestimento della sezione Astronomia del Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia 'Leonardo da Vinci' di Milano", in Suter, S. & Ronzon, L. (eds.), *Strumentazione scientifica: conservare ed esporre*, Milano, 5-1 ottobre 2004. Milano: Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia Leonardo da Vinci, pp. 94-107.

#### **Fonti d'archivio**

- Registri inventario generale I, II, III (1953). Archivio del Museo Nazionale della Scienza e della Tecnica, *Storia delle collezioni, Registri d'ingresso e movimentazione beni*, n. ord. 107.

# Rossi's coincidence circuit: a reconstruction for educational purposes, with period instruments

Marcello Carlà<sup>1</sup>, Anna Giatti<sup>2</sup>, Giacomo Poggi<sup>1</sup>, Samuele Straulino<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze, Italia

<sup>2</sup> Fondazione Scienza e Tecnica, Firenze

<sup>3</sup> Corresponding author: [samuele.straulino@unifi.it](mailto:samuele.straulino@unifi.it)

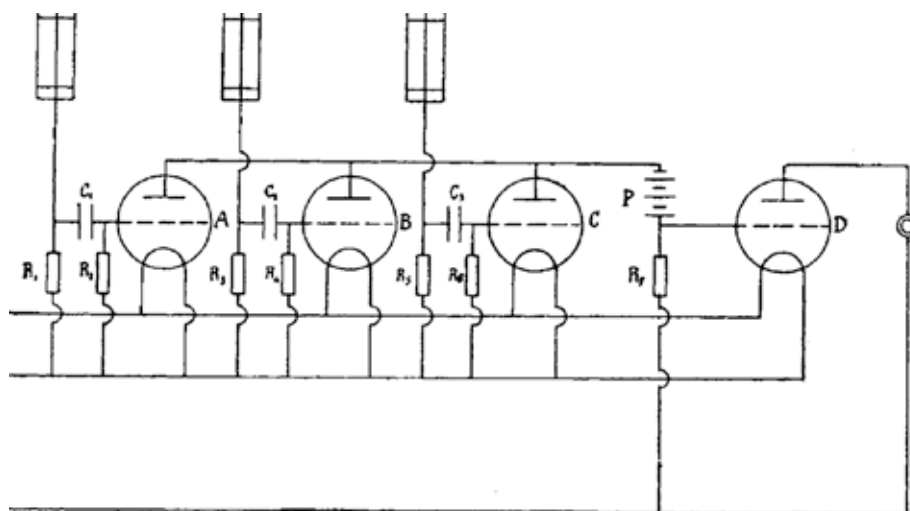
*Abstract:* The “Path of Science” in Arcetri is being set-up: it is a museum itinerary on the hill of Arcetri, near Florence, promoted by the University of Florence, the National Institute of Nuclear Physics (INFN), the National Institute of Optics (INO) and the Arcetri Astrophysical Observatory (OAA-INAF). As part of this project, which includes also the *villa*, where Galileo spent the last years of his life, a small museum will be set-up in the old headquarters of the Physics Department, where the KN3000 accelerator, switched off in 2003 and still located there, will be open to the public. This stage of the path will focus on the history of elementary particle and nuclear physics research in Florence, from about 1930 to the beginning of the new millennium. In recent months, we fortunately recovered at the “Fondazione Scienza e Tecnica” in Florence some large Geiger-Müller (G-M) tubes and a number of different vacuum tubes that had belonged to the University's Institute of Physics. In this context, we considered to reconstruct the Rossi's coincidence circuit, which had been conceived just within the walls of the Arcetri Institute. Apart from the power supply for vacuum and Geiger tubes based on modern technology, the design approach was as philological as possible. The apparatus will be part of the detectors of background radiation and cosmic rays, running in the museum and showing to visitors the relevant spectra and counting rates. In this communication we describe the phases of design, assembly and test of the circuit, which is actually fully efficient and allows to detect cosmic rays and to disentangle their “hard” and “soft” components, also providing realistic estimates of their flux at the ground level.

*Keywords:* Cosmic rays, Bruno Rossi, Arcetri, Coincidence circuit

## 1. Introduction

The construction of the new Physics Institute in Florence was promoted by the physicist Antonio Garbasso (Casalbuoni, Dominici & Mazzoni, 2021) on the hill of Arcetri; the building was inaugurated on November 7, 1921. In the following years, the Arcetri Institute rapidly became an important research center, where many young physicists were active. At that time and in the following years they provided fundamental contributions to Physics (Enrico Fermi, to cite the most famous one). The experimental research of the first period mainly focused on both nuclear physics, especially radioactive decays, and cosmic rays (Della Corte, sd). Among the physicists recruited by Garbasso, since 1928 the young Bruno Rossi, then twenty-three years old, initiated in Arcetri its pioneering research on cosmic rays. The human and scientific experience of Bruno Rossi has already been described in various articles, books, and memories written by Rossi himself (for example, see Rossi, 1964; Rossi, 1981; Rossi, 1987; Leone, Mastroianni & Robotti, 2005; Bonolis, 2011; Peruzzi, 2015).





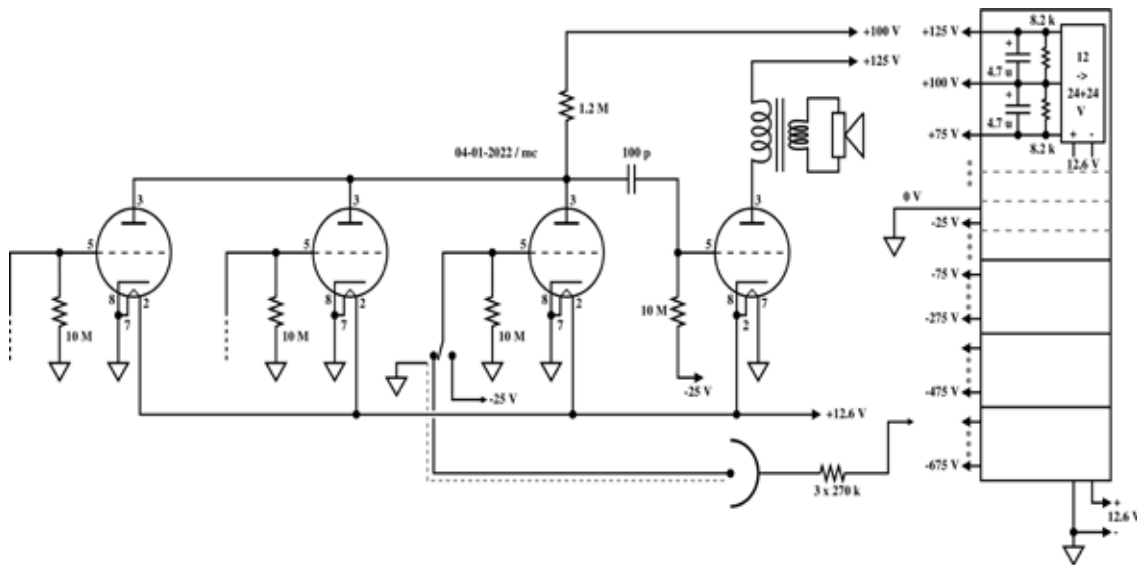
**Fig. 1.** Original schematic of the Rossi's coincidence circuit, from (Rossi, 1930). We can find some resistors ( $R_1$ — $R_7$ ), capacitors ( $C_1$ — $C_3$ ), triodes ( $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ), three Geiger-Müller tubes, on the top, and a headphone on the right branch to detect the variation in the anode current of the  $D$  valve. There are also some batteries to provide the necessary power supply. Please note that batteries in this image follow the polarity convention valid at that time and opposite to that used today: here the long dash corresponds to the negative terminal, as was the custom in Italy in those years.

One can find the description of Rossi's coincidence circuit, shown in Fig. 1, in the seminal paper appeared on *Nature* (Rossi, 1930). This circuit allows to detect the coincidence of the electrical signals coming from several G-M detectors (three in the figure): by selecting the events in which an ionizing particle passed through all the tubes mutually oriented in specific geometric configurations, it is possible to count the cosmic particles and understand the mechanisms of their interaction with matter. The circuit is based on vacuum valves (triodes  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ); the grids of  $A$ ,  $B$  and  $C$  are connected to the anodes of three G-M tubes, sketched on the top of the picture. The passage of an ionizing particle in a G-M tube makes the grid potential of the corresponding triode negative. *The grid of the valve  $D$  (for the introduction of the auxiliary battery  $P$ ) is at a slight negative potential. This potential varies very little when only one or two counter tubes are working, while it undergoes a sudden rise when, for the simultaneous working of the three counter tubes, the current is interrupted in all the three valves* (Rossi, 1930). When the grid of the fourth triode becomes positive, the variation of the anode current is detected by a headphone or a loudspeaker in the right branch of the circuit.

This arrangement represented a real novelty in signal treatment, constituting the first implementation of a logic AND of individual signals. The Rossi's coincidence circuit is today considered as a precursor of the AND logic gates used in digital electronics and computers.

## 2. Our reconstruction of the circuit

Our reconstruction started when some G-M tubes well apt for cosmic rays detection (70 cm long and 3 cm in diameter) and a number of different vacuum tubes were found in the shelves of the "Fondazione Scienza e Tecnica" Museum in Florence; all of them originally belonged to the University's Institute of



**Fig. 2.** Our reconstruction of the circuit. The switch in each channel allows to disable it, bringing the corresponding triode grid to -25 V. The HV module on the right powers the circuit and also the G-M tubes (one of them is sketched on the bottom).

Physics, where Bruno Rossi was active around 1930. Actually, the recovered instrumentation is not the original of Rossi, but is the one used in the next decade by the physicists who continued in Arcetri the experimental studies on cosmic rays. As a matter of fact, the G-M counters are of the self-extinguishable type, not yet available in the '30s. A prototype of a new “Rossi-like” circuit, based on these components, was rapidly drawn, assembled and tested (Fig. 2). By interfacing the circuit with a computer, counts from a single channel and two- or three-fold coincidences could be acquired, as channels 1, 2 and 3 can be switched ON/OFF independently of each other. The interface is based on the digital sampling of the signals by a sound card. In this way, coincidence events collected in time-intervals chosen by the user are counted, displayed in real time and recorded on the hard disk for off-line analysis. On the basis of this simple — though efficient — acquisition system, a series of measurements with cosmic rays was started, attempting to reproduce some of those obtained by Rossi in Arcetri.

Bruno Rossi describes in his books and papers the first measurements on cosmic rays performed with his apparatus:

- A. Measures of G-M tubes efficiency;
  - B. Direction of incoming cosmic rays;
  - C. Magnetic deviation of cosmic rays;
  - D. Absorption of cosmic rays in matter;
  - E. Secondary radiation produced in matter by cosmic rays.
- A. The coincidence of three aligned (i.e. parallel and lying on the same plane) detectors allows to measure the efficiency of a tube and its dependence on the applied voltage, by using as a trigger the coincidence of the other two. A threefold coincidence is less subject to random coincidences with respect to the twofold configuration, and this is particularly important for low-acceptance set-ups, for example for non-adjacent tubes.
  - B. Rossi determined the direction of arrival (that was found preferentially vertical) by comparing various configurations of aligned detectors (above each other, next to each other, etc.)



- C. The magnetic deviation was studied by measuring the deflection of the penetrating particles through a bar of magnetized iron acting as a magnetic lens. Rossi found a small effect, non statistically significant; this basically negative result was *largely due to the presence of both positive and negative particles in the cosmic radiation* (Rossi, 1981), as understood in the following years.
- D. The study of the absorption of cosmic rays was considered fundamental to discriminate their nature ( $\gamma$ -rays or charged particles). Rossi compared the number of coincidences in various configurations. With a lead plate placed over the detectors, the coincidences increased by some percent, compared to the measurements made with the same metal layer placed between the tubes. This was an indication that cosmic rays were composed of charged particles. Actually, the detailed comprehension of the observed phenomena came later, when the theoretical description of the interaction of high-energy  $\gamma$ -rays and electrons with matter was available.
- E. The emission of secondary radiation was studied with a configuration of three G-M counters arranged in such a way that a single particle from cosmic rays could not produce a triple coincidence punching-through them: namely, the three cylindric detectors were parallel, not lying on the same plane but with their axes passing through the vertices of a triangle. Apart from random coincidences, whose rate is very low, a three-fold coincidence can be produced only when a secondary particle is generated in a material above the detector crossed by the primary particle. According to Rossi, in this set-up *the high rate of coincidences was astounding* (Rossi, 1981). The study of the dependence of the three-fold coincidences in such a configuration as a function of the amount of material above the counters permits to determine the so-called “Rossi curve”.

### 3. Measurements with the apparatus

The determination of the “Rossi curve”, performed for the first time in Arcetri, is of great educational interest, due to its importance in the history of elementary particle physics. Proposals have been made to use Rossi-like measurements on secondary production for educational purposes (Jackson & Welker, 2001). We therefore decided to focus our first tests with the reconstructed apparatus mainly to this issue. A photo of the box, housing the reconstructed circuit, along with the G-M tubes is shown in Fig. 3.

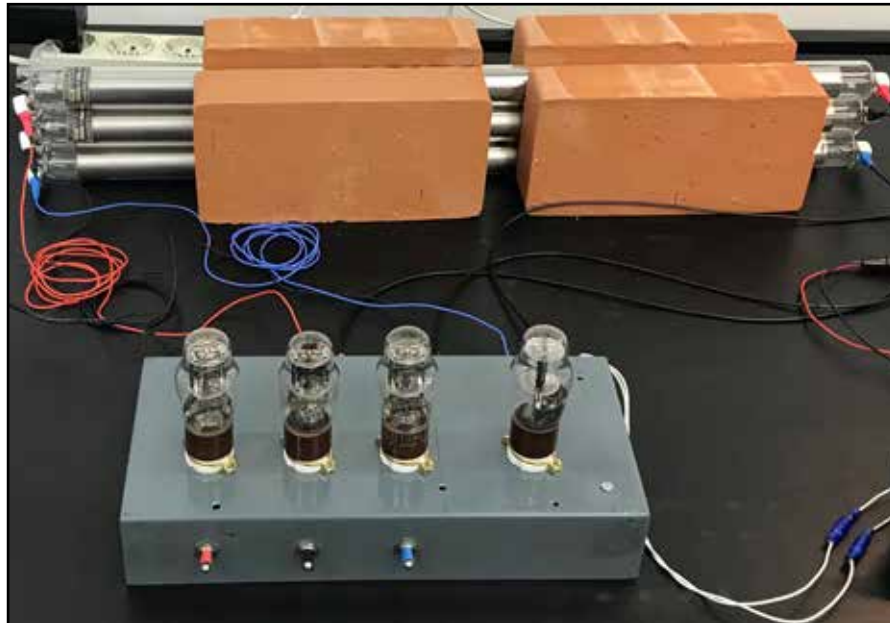
The counting rate of a single G-M tube due to natural radioactivity of the surrounding material and cosmic rays is roughly 12 Hz, while the three parallel and superimposed counters shown in the photo yield a coincidence rate of about 1 Hz (this value is in agreement with theoretical estimations based on the now-known cosmic ray flux and with the geometrical factor of roughly 120 cm<sup>2</sup> sr for this set-up). The random coincidence rate ( $r_{RC}$ ) can be measured with the three G-M tubes far away from each other and lying along skew directions, in order to exclude a true single-particle trigger and to keep at minimum the number of coincidences due to Compton scattering among detectors. This random rate depends on the resolving time of the system,  $\tau$  (assumed to be the same for any electronic channel) and on the individual rate in each branch ( $r_1, r_2, r_3$ ):

$$r_{RC} = 3\tau^2 r_1 r_2 r_3$$

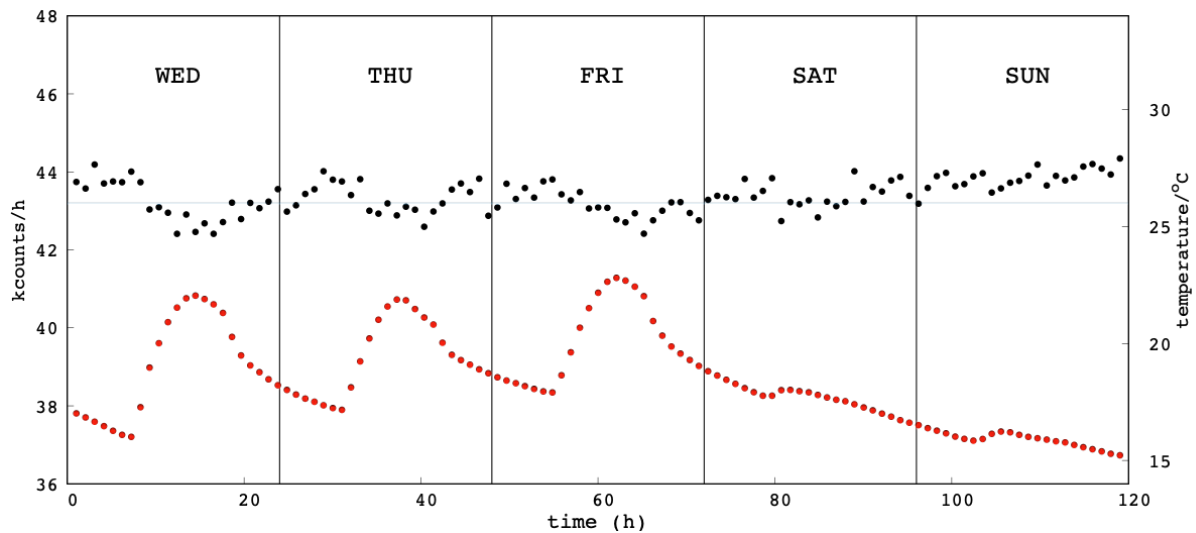
This formula (Knoll, 2000) has been used to estimate the resolving time  $\tau$ , which came out to be of the order of 10<sup>-3</sup> s for our system. It is to be noted that the measured resolving time depends on the decay time of the G-M signals at the input of the relevant triodes, mainly determined by the stray capacitance of the cable connecting the G-M anode multiplied by the resistance connecting the grid to ground (see Fig. 2).

We preliminarily measured the stability of the counts in a given time interval as a function of time, observing that all three detectors show a significant anti-correlation of the efficiency with the room temperature; a typical trend is shown in Fig. 4. The drift due to temperature change is definitely larger

than statistical variations. Therefore, in order to perform significant measurements, it is necessary to keep the temperature variations during the data acquisition as small as possible or to record the temperature and to select accordingly the collected data.

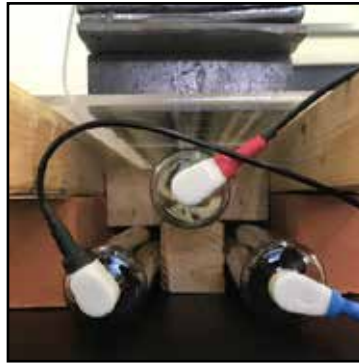


**Fig. 3.** A picture showing the reconstructed coincidence circuit (housed in the box) and the three G-M tubes on background, in this case aligned for the acquisition of cosmic rays coming from the vertical direction.



**Fig. 4.** *Black dots:* counts per hour registered by one of the G-M tubes for five subsequent days, independently of whatsoever coincidence. The scale, in kcounts/h, is on the left axis. *Red dots:* temperature of the laboratory, acquired during the measurements with a dedicated probe. The corresponding scale in Celsius is shown on the right axis. It can be observed that counts are anti-correlated with temperature (lower temperature corresponds to higher counting rate). Other G-M tubes show a similar behaviour.

In order to reproduce the “Rossi curve” we obviously adopted the geometry of the Rossi’s set-up, placing the detectors at vertices of a triangle (Fig. 5). Above the detectors, we placed lead plates and we measured the coincidence rate as a function of their thickness. This is very similar to the Rossi’s set-up, except for the additional few-cm thick lead absorbers that Rossi placed on sides and below the G-M tubes to reduce the background of environmental radioactivity.



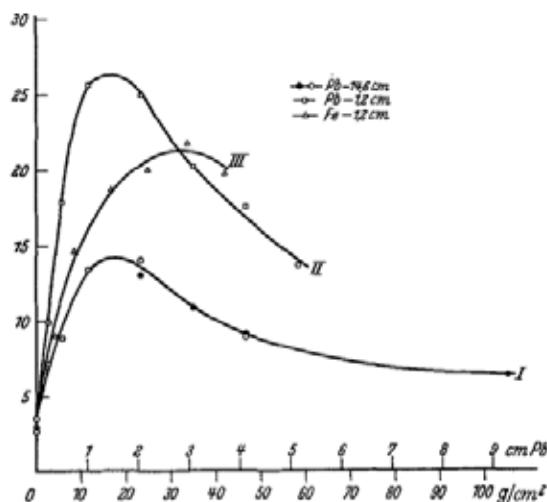
**Fig. 5.** Triangle-shaped arrangement of the G-M tubes.

In Fig. 6 we report the original “Rossi curve”, i.e. the coincidence rate as a function of the lead thickness above the detectors, obtained by Rossi (three data sets show the results obtained with lead and iron, at different distances from the above shield).

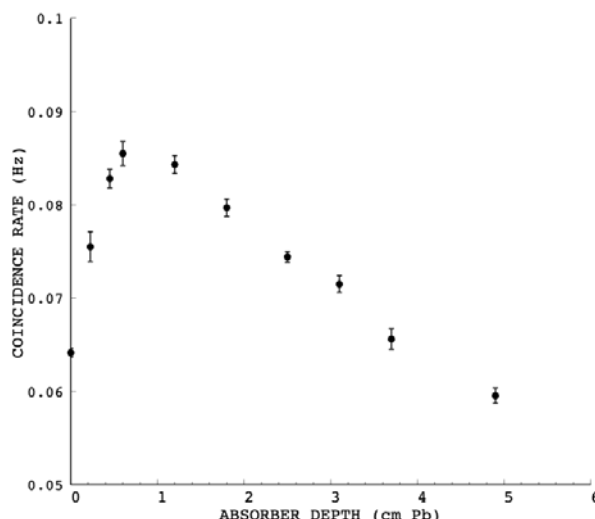
One sees that the lead curves (I and II) reach a maximum between 10 and 20  $\text{g}/\text{cm}^2$  of lead, which shows that the secondary particles have a range in lead of this magnitude. One then finds that, beyond the maximum, the curves drop much more rapidly than the absorption curve of cosmic rays at sea level; I interpreted this result as showing that the coincidences were at least in part produced by comparatively soft, secondary rays generated by cosmic rays in the atmosphere (Rossi, 1981).

As it was fully understood in the following years, this corresponds to the fact that muons are the penetrating (“hard”) component of cosmic rays, while electrons associated to electromagnetic showers (produced in the atmosphere by the decay of neutral pions and muon themselves) are the highly interacting (“soft”) component. The electrons-to-muons ratio in the cosmic radiation at sea level is about 0.002 for  $E > 1$  GeV, but this value rapidly increases for lower energies (Workman *et al.* 2022).

In Fig. 7 we have the same measurement made with our apparatus. The trend is similar to that of Fig. 6, but the maximum lies at about 1 cm Pb ( $\approx 10 \text{ g}/\text{cm}^2$ ). We interpreted this result by the presence of additional material above the counters (for instance, the ceiling of the laboratory). Our intention is to repeat the measurements in an open-air set-up. Probably it was a very common set-up at the Rossi’s time, as we know from some testimonies of the period:



**Fig. 6.** Original picture (Rossi, 1933) showing the number of triple coincidences per hour in the triangle-shaped configuration, as a function of the lead thickness placed above the detectors. Three sets of measures correspond to different distances between the counters and the metal layers placed above them and also different absorbers (lead or iron). For curves I and II (lead) the maximum is around 1.5 cm Pb.



**Fig. 7.** Coincidence rate measured in our laboratory with the triangle-shaped arrangement of Fig. 5, as a function of the lead thickness placed above the tubes. The maximum of this curve lies at about 1 cm Pb. The absolute coincidence rate here cannot be directly compared with that of Rossi, because of a different geometry and characteristics of G-M tubes and shields.

We came to the attic and to a large terrace where it was built a wooden hut in which a Franciscan friar supervised some Geiger counters and a registration. Professor Bernardini who accompanied us explained that P. Serafini was recording the cosmic ray showers produced in a lead layer (Della Corte, sd).

Moreover, we plan to deepen the interesting issue of the resolving time of the present circuit, by varying the resistor from grid to ground.

#### 4. Conclusions

In view of the conclusion of the work of the new Arcetri museum, this experiment is of great interest. It will be shown to visitors, together with other detectors for measuring background radiation, in the place where Bruno Rossi had conceived and implemented these measurements. The philological reconstruction of this apparatus is also useful for physics students, who can thus better understand the first steps in the study of cosmic rays and particle physics.

#### Bibliography

- Bonolis, L. (2011). “Walther Bothe and Bruno Rossi: The birth and development of coincidence methods in cosmic-ray physics”, *American Journal of Physics*, 79, pp. 1133-1150.
- Casalbuoni, R., Dominici, D. & Mazzoni, M. (2021). *Lo spirito di Arcetri*. Firenze: Firenze University Press.
- Della Corte, M. (sd). *L’Istituto di Fisica in Arcetri nei ricordi di Michele Della Corte*. Available at: <https://www.fisica.unifi.it/p312.html> (Accessed: 1 January 2023).
- Jackson, D.P. & Welker M.T. (2001) “Measuring and modeling cosmic ray showers with an MBL system: An undergraduate project”, *American Journal of Physics*, 69, pp. 896-900.
- Knoll, G.F. (2000) *Radiation Detection and Measurement* (third edition). New York: John Wiley & Sons, p. 673.
- Leone, M., Mastroianni, A. & Robotti, N. (2005). “Bruno Rossi and the introduction of the Geiger-Müller counter in Italian physics: 1929-1934”, *Physica*, 42, pp. 453-480.
- Peruzzi, G. (2015). “Bruno Benedetto Rossi. Dal Colle di Galileo al MIT”, *Il Colle di Galileo*, 4-1, pp. 7-26.
- Rossi, B. (1930). “Method of Registering Multiple Simultaneous Impulses of Several Geiger’s Counters”, *Nature*, 125, p. 636.
- Rossi, B. (1933). “Über die Eigenschaften der durchdringenden Korpuskularstrahlung im Meeresniveau (About the properties of the penetrating corpuscular radiation at sea level)”, *Zeitschrift für Physik* 82, pp. 151–178.
- Rossi, B. (1964). *Cosmic Rays*. New York: McGraw-Hill.
- Rossi, B. (1981). “Early days in cosmic rays”, *Physics Today*, 34, pp. 34-41.
- Rossi, B. (1987). *Momenti nella vita di uno scienziato*. Bologna: Zanichelli.
- Workman, R.L. *et al.* (2022), “The Review of Particle Physics”, *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, 083C01.

## PHYSICS AND OTHER SCIENCES

# Between acoustics and music. Two letters of Giovanni Battista Benedetti to Cipriano de Rore

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

<sup>1</sup>Schola Cantorum Basiliensis, [giulia.capecchi95@gmail.com](mailto:giulia.capecchi95@gmail.com)

<sup>2</sup>SISFA, [daniilo.capecchi@uniroma1.it](mailto:daniilo.capecchi@uniroma1.it)

*Abstract.* In two letters written to the famous musician Cipriano de Rore, Giovanni Battista Benedetti afforded themes of theory of music. The letters were published in the *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber* of 1585, after de Rore's death. In them, Benedetti with a mathematical approach showed in a clear way the phenomenon for which some passages of counterpoint played in just intonation may cause the pitch of a note to ascend or descend by a syntonic comma; suggested a form of temperament to avoid the problem; formulated the physical law according to which the frequency of vibration of a string is inversely proportional to its length. The letters were read and commented on by the scholars immediately following Benedetti; but even in modern times they have been the subject of fairly in-depth studies by music theorists. The letters, on the other hand, also aroused the interest of historians of science.

*Keywords:* History of mechanics, History of music, Temperaments, Migrations of pitches, Vibrating strings

## 1. Introduction

The role music has played in the development of modern science has long been questioned. Theoretical musicians or rather theorists of music among which Ptolemy in ancient times and Rameau and Tartini in modern times, argued that music has played a fundamental role in the development of modern science. At first it offered problems to mathematics to explain the addition and subtraction of musical intervals; problems that were solved by developing the theory of fractions that had and have a fundamental role in geometry, and therefore in science. Then music also posed problems to physics (mechanics in particular) for the explanation of the nature of pitches and concordances; problems that were solved by developing a physical theory of sounds: acoustics. But it didn't just pose problems, it also suggested methods. Music is one of the disciplines that lends itself more than others to an experimental approach due to the simplicity of the experimental apparatus: with one or more monochords rubbed by a bow or plucked with the fingers, one finds the conditions for which there are consonances; this fact was highlighted in a particular way by Ptolemy.

The mathematician and philosopher of nature Giovanni Battista Benedetti (1530-1590) joined the debate on music with his famous text *Diversarum speculationum mathematicarum & physicorum liber* of 1585. The last part of the treatise is a large collection of letters (*epistulae* in Latin), not organized chronologically (actually the dates are almost always omitted) but rather according to the importance of the addressees, some of whom were already dead. Among these letters there are two written to Cipriano de Rore (c. 1515-1565) dedicated to music.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Very little is known about Benedetti's life, a little more about his scientific productions (for a biography see Bordiga 1985). From the known documents no particular interest of Benedetti for music results. This lack in documents, however, is contradicted by the two letters to De Rore from which it is understood that he had a good musical culture and was most likely a composer himself, which was not rare for the times when the knowledge of

The letters were perhaps written before De Rore's death in 1565. Whether they were actually intended to be sent is a difficult question to settle. Benedetti and de Rore were both at the court of the Farnese in Parma, for a fairly long period (Benedetti was in Parma for about eight years starting at least from 1560, de Rore, a generation older than Benedetti, was at the same court at least since 1561 until his death; except for an interlude in Venice). It is therefore reasonable that they met. But perhaps knowledge and direct esteem were not the only reason for the choice. De Rore was a famous musician at the time, an innovator: his madrigals (just intonation) influenced Monteverdi and the Florentine circle around Giovanni de Bardi; he was seen as the supreme example of art of expressing the text (Walker 1978, p. 79).

The letters were read and commented on by the scholars immediately following Benedetti; for example, it is certain that they were known to Isaac Beeckman;<sup>2</sup> but even in modern times they have been the subject of fairly in-depth studies by music theorists see for example (Duffing 2006-2017, Palisca 1985-1994, Lindley 2001) and are considered a turning point for the abandonment of the just intonation system in favor of temperate systems. The letters, on the other hand, have been substantially ignored by historians of science, probably because they dealt with musical themes while the disciplinary sectors in which Benedetti is considered a leading scientist are mechanics and mathematics. Comments and translations of some parts considered relevant are reported in (Palisca 1994, pp. 213-223, Palisca 1985, pp. 257-264, Duffing 2006, 2017). The attention of music historians is generally concentrated on the second letter, in particular on those parts that illustrate the criticalities encountered in the adoption of just intonation also in vocal singing. Historians of science have little considered the musician Benedetti; they know the letters to De Rore because reported in a treatise fundamental for the development of mechanics and they dwell on the final few lines of the second letter in which acoustic themes are dealt with.

The main goal of this paper is to present a first attempt in the comprehension of the why the letters have had so great resonance and have been commented on throughout history, even if at first glance they seem essentially to make explicit concepts well known at the time. Then to combine two different skills that of a theoretical musician and that of a historian of science, hoping it will be fruitful.

## **2. Comments to the letters on music**

Benedetti's letters have had a wide resonance among music theorists also because they were written by a professional mathematician, a leading actor of the new mathematics, and not by a musician with some mathematical skill.<sup>3</sup> As far as the content is concerned, it can be said that Benedetti's was an original work for the times and gave way, at least according to many historian of music, an opportunity to overcome the system of just intonation, due to the problems it presented also in vocal singing. Benedetti was able to analyze pieces in which the difficulties due to just intonation appear relevant. Moreover, he stated for the first time quite satisfactorily the law of vibrating strings.

---

music was quite widespread among educated people. Benedetti was a creative mathematician, belonging to the generation that had rediscovered and valued Archimedes. He believed that mathematics was a branch of philosophy and was a superior form of knowledge. This epistemological position is testified quite clearly in a letter to Domenico Pisani (Bordiga 1985, p. 635).

<sup>2</sup> Beeckman quoted Benedetti in his diaries and mentioned the letters (Beeckman 1939-1953, vol. 3, p. 275).

<sup>3</sup> To signal writings on music by Gerolamo Cardano (1501-1576) who also was a representative of the new mathematics, a generation before Benedetti. Here, however, Cardano did not use his skill as a mathematician and moved in the tradition of the treatises of music before Zarlino. See *De musica* in (Cardano 1658, vol. 10).



## 2.1 First letter

At first glance to modern reader, the first letter to De Rore may seem to be written by a teacher to communicate to people who do not have great musical skills, perhaps students – rather than to a great musician – some very basic information on music theory. However, the letter must be contextualized in a period, which we could qualify as Renaissance, where the musical practice had by now turned towards just intonation, leaving aside the Pythagorean one.<sup>4</sup> In this period of transition, the theorists of music (for example Ramos, Gaffurius, Spartaro, Fogliano, Zarlino) did not agree in the formation of a scale, in particular on the value of the tones and semitones to adopt and on their positioning. In this context, the first letter is anything but secondary; it is important not so much for the results achieved, which were possibly known, but rather for the method used. Unlike musical theorists, especially the Pythagorean ones, who used a prescriptive approach to define the values of tones, Benedetti used a more observative approach (that of Archimedean mixed mathematics) that starts from a limited number of physical principles, obtained on the basis of experience and considered certain, to analyze existing pieces of music and to draw the value of tones from them.<sup>5</sup>

In the present case, the principles Benedetti referred to are the recognition of some musical intervals, represented by ratios between whole numbers in the just intonation, empirically considered consonants, in a perfect or imperfect way. These are: the octave, the fifth (perfect consonances); the fourth, the major and minor third, the major and minor sixth represented respectively by the ratios: 2, 3/2, 4/3, 5/4 and 6/5, 5/3 and 8/5, whose consonance can be verified empirically with the monochord. Analyzing some pieces of music Benedetti managed to find the values of tones and semitones used in just intonation, in particular the major tone (9/8), the minor tone (10/9), the minor semitone (16/15), the major semitone 27/25, minimum semitone 25/24. These values of tones and semitones were already found by some musicians, among them by Lodovico Fogliano (c. 1475-1542), to whom Benedetti explicitly referred in the first letter (Fogliano 1529, f. 31v). The approach was however different.

## 2.2 Second letter

Benedetti's second letter dealt with three main themes, the migration of notes towards the acute or the grave in vocal performances, the temperament of the keyboard instruments, and the physical explanation of consonances. The first theme has been treated in an extensive and substantially satisfactory way in (Palisca 1985, pp. 263-264, Duffing 2017). The second theme was just mentioned in (Lindley 2022, p. 15). The third point has been dealt with not only by historians of music (see Palisca 1985, p. 259), but also by historians of science (see Truesdell 1960, p. 22-23). In the following, for the sake of space, only the second and third themes are taken up again, trying to highlight only the fundamental aspects and leaving the reader to read the letter to De Rore. Particular attention is paid to the third theme, which, though well known, has not yet received a satisfactory discussion.

---

<sup>4</sup> In the Pythagorean intonation the notes of the musical scale are obtained by adding fifth intervals (3/2) and subtracting octave intervals (2/1). The distances between the notes constructed are such that the only allowed consonant intervals are those generating the scale, that is fifths and octaves, with the addition of fourths. Instead, in the musical practice of the Renaissance, all the intervals defined by simple ratios of whole numbers such as fourths (4/3), fifths (3/2), octaves (2/1), third major and minor (5/4 and 6/5) and sixth major and minor (5/3 and 8/5) are allowed. The notes of the scale are defined in such a way that their distances correspond exactly to these intervals.

<sup>5</sup> A similar conclusion was drawn by Beekman for whom the intervals of any scale derive from the difference between consonances, and not from any mathematical principle assumed a priori, as made by Descartes for instance (Beekman 1939-1953, vol. 3, p.136).

### 2.2.1 Migration of pitches

It was well known to Renaissance musicians that by playing several intervals in sequence – both in Pythagorean and just intonations – notes are obtained that cannot be contained in any monochord (scale), however rich, and therefore cannot be reproduced by fixed pitch instruments such as keyboards. However, they can be reproduced by the human voice. This phenomenon and its consequences, which created only a little embarrassment, was ignored by theorists of the times. Benedetti set himself the goal of fully understanding the phenomenon by considering three-voices musical pieces that respect the just intonation; but his considerations are valid for any polyphony in just intonation. To reach his goal he considered two examples of musical pieces that were written specifically by him in order to highlight the criticalities of just intonation. With the usual approach, he took for granted vertical concordance of the three voices, bassus (B, lower voices), tenor (T, intermediate voice), superior (S, higher voice), and deduced the consequences. In the first example one notices a shift of the pitch of the notes toward the acute in the second toward the grave.

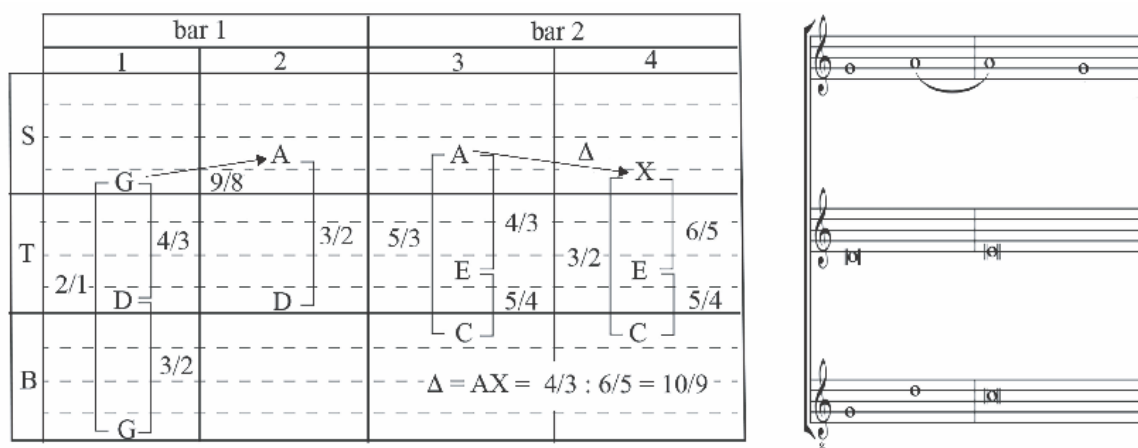


Fig. 1. Intervals of the four chords of first example: original shift (right), a scheme with interval ratios (left).

To follow Benedetti's reasoning, it is sufficient to look at the four chords of the first two bars of the first example, which for greater clarity have been reproduced in Fig. 1. Follow the higher voice. It goes from G of the first chord to A of the second, rising by a major tone (9 : 8) as it passes from a fourth to a fifth with respect to the tenor. The higher voice keeps the A note in the third chord forming a fourth with the tenor, then in the fourth chord it drops to an X note that forms a minor third with the tenor. It is not difficult to see that X does not coincide with G of the first chord, even though it is very close to it. In fact, if one calculates the distance of X from A, basing at the tenor E, he finds  $AX = EA = 4/3 : EX = 6/5 = 10/9$ , that is a minor tone. As the distance of G from A is of a major tone (9/8), X is higher than G of the interval  $9/8 : 10/9 = 81/80$ , that is, of a syntonic comma.<sup>6</sup> This upward migration is also reproduced in the following four chords, and it could also be reproduced for other subsequent chords, up to an upward migration of 10 commas and more, so that X differs only slightly from A (less than one comma). The migration of course does not affect only the higher voice but also the other. All goes as the pitches of all the notes were raised by a comma for any chords, even though their representation in the sheet remains unchanged.

<sup>6</sup> Because of the slight difference X can still be called G, as Benedetti did.

### 2.2.2 The law of vibrating strings and consonances

A possible reading of Benedetti's the last part of the second letter is that he formulated the law of vibrating strings in an explicit way and for the first time. This is certainly true, but it is not possibly the most interesting point; indeed, some assumptions of acoustic theory are probably most interesting than the proof of the law, as it will be clear in the following.

A modern reader is initially baffled by the fact that a law belonging to the dynamics of vibrating strings could appear in a music theory text. To Benedetti's contemporaries, things looked differently because the vibrating string was representative of the monochord, the prince tool of musical theory and acoustics and the study of its vibrations was closely related to the sound it produced.

Benedetti tackled the study of the behavior of the vibrating string with a series of assumptions partly of an experimental nature, partly derived from the natural philosophy of the time; partly mechanical, partly acoustic. They are:

- a. The vibration of a string is periodic, let  $T$  be that period.
- b. The pulses of air produced by the vibration of such a string follow each other after an interval of time equal to the period  $T$ .<sup>7</sup>
- c. The shorter the string the lower the period  $T$ .
- d. Periods  $T_1$  and  $T_2$  of two consonant notes should be in a simple ratio if there is consonance.
- e. Ear says that couples of vibrating strings with length ratios  $2/1$ ,  $5/3$ ,  $8/5$ ,  $3/2$ ,  $(4/3)$ ,  $5/4$ ,  $6/5$  produce consonant notes.

Assumption (a) is of mechanical kind and has an empirical character even if at the time it was very difficult a checking, at least for not very long strings. Though it can be said with relative certainty that Benedetti had not experimented with vibrating strings (there is no evidence of the fact), at the court of the Savoy he had dealt with some engineering problems and the construction of scientific instruments (Bordiga 1585, p. 599) and therefore he had a mechanistic view in the interpretation of physical phenomena, and should have enough sensibility to state assumption (a). The assumption is made explicit in several points by Benedetti, who also defined the way to measure the periodicity; that is by means of the "vibration interval" (period) or the "number of intervals" (frequency) (Benedetti 1585, p. 283). Of course, even if probably Benedetti was not conscious of the fact, assumption (a) implies the synchronism of oscillations.

Assumption (b), still having a mechanical nature, is derived easily from the acoustic theory of time. In ancient Greece and in the Renaissance, natural philosophy presented two competing explanations of the propagation of sound, associated with disturbance of air caused by some type of impact such as bodies rubbing, or string vibration. (a) *Theory of pulses*. It is admitted that there is no motion of air due to the vibrating body, but that the propagation of sound is a phenomenon similar to the transmission of the waves generated by a stone left on the surface of a pond. A very clear and well-known exposition of the pulse theory can be found in the musical writings of Boethius (Boethius 1948, p. 292). (b) *Theory of missiles*. The particles of air move from the vibrating body to the ear. From the Middle Ages until the Renaissance the pulse theory was largely dominant; with the rediscovery of the atomism the theory of missiles gained a role. Benedetti embraced the theory of pulses, as he named "air waves" (Benedetti 1585, p. 283); it is not clear if he also knew the missile theory. This latter was adopted by Isaac Beeckman (1588-1637) who resumed Benedetti's results some years later (Beeckman 1939-1953, vol. 1, p. 92). Independently of the theory assumed the vibrating body produces perturbation of air in concordance with its vibration.

<sup>7</sup> This is not the period of sound waves in the usual meaning in acoustic but simply the temporal distances between two pulses arriving to the ear.

Assumption (c) derives from the quite trivial (at least for modern readers) affirmation that a smaller body moves more quickly than a larger one and can be found for instance in the Aristotelian (*Problemata physica*, 4.23, see Barker 1989, vol. 2, p. 94) and in (Aristotle, *De generatione animalium*, 786b, see Barker 1989, vol. 2, pp. 80-84); this is however not true for strings which are moved more easily the longer they are, as clearly evident from a simple experiment. The frequency of vibration of a string was thus associated to its speed, the greater the speed the greater the frequency, and *vice versa*. This is in general a wrong assumption, because the speed does not depend only on the frequency but also on the amplitude of oscillations, but it works very well for Benedetti argumentation.

Assumption (d), known as *concordance theory*, belongs to natural philosophy; it has Greek roots and can be found for instance in the *Problemata physica* (Barker 1989, vol. 2, p. 96). According to the concordance theory, there is consonance between two notes if and only if there are concordances for the impulses: “Nor I cannot fail to see in the established position, a way of speculating on the generation of simple consonances, that really there is some equality of the percussion or [seu] an equal concurrence of the air waves, or [vel] rather of their termination” (Benedetti 1585, p. 283).<sup>8</sup>

Assumption (e) has an empirical nature and belong to musical acoustic. Its introduction betrays the Aristoxenian approach of the explanation of consonances by Benedetti.

With assumptions (a-e) it is possible to derive the law of the vibrating string in a relatively simple and smart way. Consider two strings of length  $l_1$  and  $l_2$ , whose ratio is for example  $l_1 / l_2 = 2$ . For the assumption (e) this ratio gives rise to consonant notes; for the assumption (d) the periods of the air impulses  $T_1$  and  $T_2$  associated with the vibrations of the two strings must have a ratio expressed by simple numbers, so that one may have the coincidence of the resting point, considering that for the assumption (c)  $T_1 > T_2$ , the most natural choice is  $T_1 / T_2 = 2$ . But, for the assumption (b) the period of the air impulses is equal to that of the vibrating string, for which the ratio of the period of the vibrating strings is still  $T_1 / T_2 = 2$  which is equal to that of the ratio  $l_1 / l_2$  between the lengths of the strings. A similar argumentation can be developed for the ratio  $3/2$ . With Benedetti's words:

When instead the bridge divides the string so that on one side two fifths remain and on the other three fifths, the consonance of the diapente [fifth] is generated in these parts, as evident. That is, a vibration interval of the larger portion will be in the same proportion with a vibration interval of the smaller portion [of the longer to the shorter length], i.e. the time [duration] of the interval [of the longer string] to the time of the shorter will be sesquialter, for which there will be no concordance at the same instant except for three perfect intervals [of time, periods] of the minor portion and two of the major (Benedetti 1585, p. 283)

This still particular result is generalized by Benedetti to the case in which the relationship of the strings is any:

So, the proportion between the numbers of intervals<sup>9</sup> of the minor portion to the major and of the length of the major portion to the minor length will be the same (Benedetti 1585, p. 283).

For the first time a physical meaning is given to the Pythagorean intervals: if there is a consonance for a given ratio  $1/n$  for two lengths of strings, this is because the ratio of the frequencies of vibration of the two strings, and consequently of the air pulses, is  $n$ .

Normally it is understood that the relationship holds for any proportion between the lengths of the strings, rational or irrational. Actually, Benedetti does not seem interested in this generalization, which

---

<sup>8</sup> Notice that the equal concurrences of air pulses and the equality of their instant of rest are assumed as equivalent; this last condition leaves less ambiguities in the application for waves of different shapes.

<sup>9</sup>The number of intervals, that is the number of periods or semi-periods, in a fixed time is proportional to the frequency of vibration of the string.

cannot be proved; he was content to consider it valid only for the rational proportions that give rise to consonant intervals.

Note that Benedetti for his proof based on uncertain assumptions and an indirect approach; it is showed that the law is necessarily valid, under penalty of absurdity. On the basis of the assumptions, in particular of (c): if there is a consonance then the periods must be proportional to the lengths. It is worth noticing, and this is a very interesting point, that the proof of a typical problem of dynamics of strings is derived outside of mechanics using mainly assumptions of musical kind. Different was the case of Beeckman's and Mersenne's proofs of the same law, for example, where concepts of force and speed typical of the new mechanics were used and no assumptions of a musical nature were pointed out (Capecchi 2018, pp. 196-203).

As mentioned, alongside the law of vibrating strings, in Benedetti's letter there are very interesting ideas concerning acoustics properly said. Benedetti's assumption (b), apparently harmless, should have appeared as very fruitful to musicians/mathematicians, even if the novelty was not made completely explicit in the letter and its roots can be found in Greek treatises. It lent toward an explanation of the nature of pitches of sound alternative to the traditional one.

The traditional explanation of the difference between high and low pitches associated them with higher or lower speed, respectively, of the pulse (pulse theory) or of the particles of air (missile theory), that is the greater the speed the higher the pitches. This assumption can be found in the Aristotelian bodies on music, but it is found also in Archytas (Cohen, Drabkin 1948, p. 288). In the *De sectio canonis* of Euclid (Barker 1982, vol. 2, p. 292) and in *De institutione musica* of Boethius (Boethius 1948, p. 293) there are passages that seem to associate the peaks and the notes to the transmission frequency, but these passages are not completely clear. Gerolamo Fracastoro. (1476 / 1478-1553) also proposed a similar theory (Palisca 1985, p. 255).

Benedetti's reasoning suggests that the cause of the pitch of the sounds could be associated with the period  $T$  with which air disturbances strike the ear. Notice that Benedetti's period seems not to be the physical magnitude with the same name used in the theory of sound waves but simply the temporal distances between two pulses arriving to the ear depending on the speed of propagation of the various pitches: the greater the speed and the higher the pitch, the lower the period. And most probably Benedetti saw speed as the true cause of pitches and period as a secondary characteristic.

The association of period to pitches, derived from stringed instruments, can also be considered valid for sounds produced by different instruments, such as wind or percussion instruments, thus arriving at a general theory of the difference between high and low pitches and consonances: the value of the pitches depends on the period of vibration of the air, consonances occur when these periods are in simple ratios.

This type of justification, implicit in Benedetti, is made explicit by Galileo Galilei in the *Discorsi e dimostrazioni matematiche sopra due nuove scienze* of 1638, from which the following interesting passage is taken:

I say that neither the length of strings, nor their tension, nor their thickness are the direct and immediate reason behind the forms of musical intervals, but rather the ratio of the numbers of vibrations and impacts of air waves that go to strike our eardrum, which likewise *vibrates according to the same measure of times* [as the strings; emphasis added] (Galilei 1638, p. 146).

But it was also picked up by immediate successors, such as Mersenne (Mersenne 1636, vol. 1, book 1, pp. 12-16). Both Mersenne and Galileo reflected more than Benedetti on the wave propagation mechanism and by assuming a constant speed for sound (this is certainly true for Mersenne) were able to associate the frequency of the cycle of rarefaction-compression of the air near the eardrum with pitches.

Finally, Benedetti suggested, at least this is the common view, a criterion for judging the pleasantness of the various consonances based on the ratio of the lengths of the strings and the frequencies, for an

assigned interval. The various consonances, octave, fifth, fourth, major third, minor third, etc., expressed by the ratios 2, 3/2, 4/3, 5/4, 6/5 suggest to Benedetti the use of the product between denominator and numerator to establish an order of pleasantness; in the cases considered above there are the following numerical values 2, 6, 12, 20, 30.

### **3. Concluding remarks**

The reasons why Benedetti's letters were considered very important both by his contemporaries – though only by mathematicians – and by modern historians are various. Meanwhile Benedetti was an esteemed representative of the new science and the new demonstrative rigor. Then the new way of applying mathematics and physics to music led to results that the musicians of the time could not achieve, and according to historians of music Benedetti's result on the migration of frequencies contributed to the abandonment of natural intonation. Finally, it should be noted the enunciation for the first time in a clear way of the law of vibrating strings, a subject that will be resumed in the following two centuries.

### **Bibliography**

- Barker, A. (1989). *Greek musical writings* (2 vols). Cambridge: Cambridge University Press.
- Beeckman, I. (1939-1953). *Journal tenu par Isaac Beeckman de 1604 à 1634* (4 vols). The Haye: Nijhoff.
- Benedetti, G.B. (1585). *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*. Turin: Bevilaqua.
- Boethius (1948). “De institutione musica”, in Choen, M.R. & Drabkin, I.E. (eds.) *A source book in Greek science*. New York: McGraw-Hill, pp. 291-294; 298-299.
- Bordiga, G. (1985). *Giovanni Battista Benedetti. Filosofo e matematico veneto del secolo XVI*. Venice: Istituto Veneto di Scienze, Lettere e Arti.
- Capecci, D. (2018). *The path to post-Galilean epistemology*. Dordrecht: Springer.
- Choen, M.R. & Drabkin, I.E. (eds) (1948). *A source book in Greek science*. New York: McGraw-Hill.
- Duffing, R.W. (2006). “Just intonation in Renaissance theory and practice”, *Journal of the Society for Music Theory*, 12(3), pp. 1-16.
- Duffing, R.W. (2017). “Cipriano de Rore, Giovanni Battista Benedetti, and the just tuning conundrum”, *Journal of the Alamire Foundation*, 9, pp. 239-266.
- Fogliano, L. (1529). *Musica theórica*. Venice: De Sabio.
- Galilei G. (1638). “Discorsi e dimostrazioni matematiche sopra due nuove scienze”, in Favaro, A. (ed.) (1890-1909) *Le opere di Galileo Galilei* (National edition) (20 vols), Florence: Barbera, vol. 8.
- Helmholtz, H.L.F. (1885). *On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music*. London: Longmans.
- Mersenne, M. (1636). *Harmonie universelle* (2 vols). Paris: Cramoisy.
- Palisca, C.V. (1985). *Humanism in Italian Renaissance musical thought*. New York: Yale University.
- Palisca, C.V. (1994). *Studies in the history of Italian music and music theory*. Oxford: Clarendon.
- Truesdell, C.A. (1960). “The rational mechanics of flexible or elastic bodies”, in: Euler L (1911-) *Leonhardi Euleri Opera omnia* (in progress). Basel: Teubneri GB; [then] Fussli Turici; [then] Birkhäuser, s 2, vol 11, part 2.

# The other side of the history of symmetries. Their link with intuitionist logic

Antonino Drago

University “Federico II” of Naples – [drago@unina.it](mailto:drago@unina.it)

... how to understand the status and significance of physical symmetries clearly presents a challenge to both physicists and philosophers. (Brading, Castellani, Teh 2017, last proposition)

*Abstract:* The obscure and punctuated history of symmetry is compared with the history of the celebrated and exalting notion of infinitesimal; some considerations about them are derived. A long list of odd and hidden events concerning symmetry in theoretical physics is offered. The last event is the discovery of the nature of the same word “symmetry” which pertains to non-classical logic, and it is linked to the principle of sufficient reason. A comparison of the roles played by the two mathematical techniques within a classical physical theory is performed. It leads to recognize the different roles played by the two mathematical tools as a manifestation of an incommensurability phenomenon caused by two foundational dichotomies

*Keywords:* Symmetries, Infinitesimal analysis, Hidden historical events of symmetries, Odd historical events of symmetries, Modal logic, Intuitionist logic, Principle of sufficient reason, Markov constraints, Two dichotomies, Incommensurability

## 1. Odd and hidden events occurred in the history of physical symmetries

Historical textbooks credit the first introduction of symmetries in science to Haüy’s crystallography (Haüy 1784). However, few decades later his theory was attributed to mineralogy, as if its discrete symmetries were exotic mathematical techniques.

A century later, as a side effect of the current use of symmetries in crystallography, in 1894 Pierre Curie wrote a paper for introducing into physics this technique. But his illustration linked the topic to metaphysics. In the style of the metaphysics of Newton’s mechanics, based on (absolute space, absolute time and) force-cause, he finalized his paper to some propositions relating effects to causes, although a cause is not a physical notion. In addition, the logical structure of these propositions was the same of Gottfried Leibniz’s principle of sufficient reason, which at that time represented the metaphysics *par excellence*. No surprise, if the paper was controversial. It originated a debate on its physical contents which after 120 years is still alive.

At last, in 1905 an introduction of a transformations group (Lorentz’ one) into theoretical physics was performed by Albert Einstein through his celebrated paper on special relativity. Yet, his paper never nominated the word “group”, apart one time for indicating a “collection”. In addition, in next time he neglected group theory; his subsequent research made use of differential operations (and the traditional notions of analytical mechanics: space, time, matter).

After Einstein’s introduction of Lorentz’ group into mechanics, it was necessary to recognize the group of constant velocity transformations; it was baptized “Galileian”, although Galilei had merely reiterated without any originality what had been suggested since a century and half before him by Nicholas Cusanus, Giordano Bruno and others; and although the merit of stressing the crucial role played by the relativity of motion within theoretical physics pertains mainly to Leibniz, who instead is rarely mentioned by textbooks on symmetries.

In 1924 Niels Bohr suggested to Hermann Weyl the study of the new theoretical aspects of quanta because Weyl was studying integro-differential equations. Instead, Weyl wrote a book which for a first time applied group theory to the theory of quanta; it was the first textbook of the new theory (Weyl 1928).

Yet, a theorem of von Neumann stopped Weyl's program because it showed that Weyl's mathematics, essentially based on finite groups, is inappropriate to quantum mechanics (Drago 2000). As a consequence of this theorem, Weyl abandoned this field of study.

It was the champion of the traditional, formalist Mathematics, Janos von Neumann, who suggested an instrumental approach to Eugene Wigner: to solve differential equations of quantum mechanics through group techniques. The latter one started this field of research and so much expanded it to suggest innumerable theoretical results of symmetries in general. Also Paul A.M. Dirac applied this technique for obtaining very important results; however he did not call it "group theory", but "transformation theory", since he only referred to the canonical transformations of Hamiltonian equations.

These unusual attempts to exploit a new mathematical technique in theoretical physics have been charged by some theoretical physicists (e.g. Schroedinger) to be a "pest"<sup>1</sup>.

In 1950 Weyl edited a fascinating and celebrated book on symmetries, ranging from ancient to modern symmetries. Surprisingly, he ignored Curie's paper together with his "laws" and argumentations.

All in all, in the three decades 1930-1960 group theory did not enjoy a great relevance in theoretical physics. Also because it was a common opinion that there exist "examples of abrupt symmetry changes" denying Curie's propositions:

To quote just a few: the buckling of symmetrically loaded rods (Euler's *elastica*); the triaxial ellipsoidal shapes of fast rotating fluid masses in self gravitating equilibrium (Jacobi's ellipsoids) and the even more asymmetrical shapes discovered by Curie's colleague, Henri Poincaré (Poincaré's pears); the onset of turbulence in infinitely long circular pipes, etc. In all these cases symmetry breaks down when a scalar parameter reaches a critical value without the intervention of any visible asymmetrical cause, so that the isotropy group of the external action (represented by the equations and the boundary conditions) is larger than that of the resulting state, in contradiction to Curie's principle. (Radicati 1987, p. 202).

Yet, in the late 50's, two Chinese physicists, Tsung-Dao Lee and Chen-Ning Yang dared to think that asymmetry may play a crucial role in elementary particles physics: their result was the violation of parity symmetry. This novelty originated a theoretical disrupt within physicists community: all scholars of the leading field of physical research of that time, elementary particles, rushed to study symmetries and group theory.

Pressed by the rush for new surprising results on modern physics, all they however did not recover the entire past history. In fact, this history is richer than the common view supposes. The first introduction of symmetries in theoretical physics was not performed by Curie, but, two centuries before him, Leibniz, who attempted an alternative mechanics to Newton's one by basing it on the idea that "our minds expect conservations" (Leibniz 1698, par. 2). Moreover, one century before Curie, in 1783 Lazare Carnot, completed this alternative mechanics; it obtained the invariants of the geometric groups of translations and rotations (L. Carnot 1783, sect. 22, p. 44)<sup>2</sup> by means of the groups of the adjunctions called by him the groups of "geometrical motions" (i.e. motions not interacting with other bodies). In addition, the first historian seriously studying Lazare Carnot, Charles C. Gillispie, remarked (in his book about this scientist (Gillispie 1971a) and also in the specific issue of his Dictionary: Gillispie 1971b)) that Carnot was pride to have generated "a new field of scientific research, intermediate between mechanics and geometry". Yet, Gillispie did not qualify this field in the modern terms of group theory; that occurred twenty years later (Drago 1989).

<sup>1</sup> (Pauli 1932). Both Schrödinger and Slater were two physicists that rejected Weyl's mathematical approach. Weyl himself echoed a widespread criticisms received by his book, when in the "Preface" of the second German edition (1931) wrote: "It has been rumoured that the 'group pest' is gradually being cut out of quantum physics" (p. x). See also Wigner, who denounces a past, "great reluctance among physicists toward accepting group theoretical arguments and the group theoretical point of view" (Wigner 1959, p. v).

<sup>2</sup> Hon and Goldstein 2008 wrote a book attributing to a book by Legendre book of 1794 (concerning geometrical symmetries) the birth of symmetries in modern science. The authors ignored Haüy and L. Carnot.



As a fact, from L. Carnot's mechanics started a new kind of theoretical physics, which through the work of his son, Sadi, originated thermodynamics. In 1974 Herbert Callen recognized in modern thermodynamics "the Science of symmetries", because he showed that *via* statistical mechanics each its variable represents a specific kind of symmetry (Callen 1974), a fact ignored along a century and half.<sup>3</sup>

## 2. Symmetry and intuitionist logic

After the year 1960 the field of symmetries in physics proliferated into a great family: geometrical symmetries, (spontaneously or not) broken symmetries, gauge symmetries, static and dynamic symmetries, hidden geometries, etc. However, none investigated in logical terms on the word "symmetry". Owing to Kantian prejudice for the indispensability of classical logic, previous scholars all ignored that the same word "sym-metry", coming from the Greek "συν-μετρον" = "measuring together", means measuring (something) according to a modality (say, a proportion); hence, this word belongs to modal logic. In its turn, modal logic is equivalent *via* its S4 model to intuitionist logic (Hughes and Cresswell 1996, pp. 224ff.), where the double negation law fails. Ex. g. of this failure: a Court's sentence: "Acquitted for insufficient evidence of guilty" ≠ "Acquitted for a loyally correct behavior".

As a fact, the subject of symmetries is treated through many words each including two negations, whose corresponding affirmative ones lack of evidence: e.g. the words "in-variants"<sup>4</sup> (stressed by Leibniz (1698) and L. Carnot since the first times of the symmetries in physics), "equivalence" (= not-difference), "in-distinguishability", "im-munity"<sup>5</sup>, "in-difference between equivalent alternatives", "ambiguity" = "not preferable to the other", etc. An author defines it as a "due proportion" (MacKay 1986, p. 19). another: "... the situation possesses the possibility of a change that leaves some aspect of the situation un-changed." (Rosen 2008, p. 1) See also the definition of a conservation as an impossibility to measure an absolute (= not relative) magnitude.

Not only some words, but also the principles of symmetries are doubly negated.

Curie stated his results in the following way (Italic by Curie):

*Lorsque certaines causes produisent certains effets, les éléments de symétrie des causes doivent se retrouver dans les effets produits.* (Curie 1894, 401)

*Il n'est pas d'effet [de symétrie] sans causes [de symétrie].*

*Il n'est pas de cause [de symétrie] sans effets [de symétrie].* (ibidem, 414)

... the properties cannot be less symmetrical than the structure. (McKay 1986, p. 19).

More in general, Rosen established six principles of symmetry through many propositions. Apart three propositions, all his principles are either doubly negated or modal propositions<sup>6</sup>. (in the following propositions the Italic is by Rosen):

The Equivalence Principle. Roughly: *Equivalent causes — equivalent effects*. Precisely: *Equivalent states of a cause → equivalent states of its effect*. [...]

The Symmetry Principle. Roughly: *The effect is at least as symmetric as the cause*. Precisely: *The symmetry group of the cause is a subgroup of the symmetry group of the effect*. [...]

The Equivalence Principle for Processes. *Equivalent states, as initial states, must evolve into equivalent states, as final states, while inequivalent states may evolve into equivalent states*. [...]

---

<sup>3</sup> Since some centuries the scientific enterprise is subject to the requirements of reproducibility and predictability. Joe Rosen stressed that these requirements essentially are invariants. However, in these cases the transformations are not so clear.

<sup>4</sup> I underline the negative words of a double negation in order to facilitate the reader in recognizing the inequivalence of the suggested words or propositions to their corresponding affirmative ones. Modal words are dotted underlined.

<sup>5</sup> This word is only allusive to "invariance", because its etymological meaning is rather "without obligation, without charge".

<sup>6</sup> Let us remark that the mathematical proposition are actually translations into classical logic of the most adequate propositions: "... it is not a greater group than ...". Moreover, notice that the author feels necessary to give two versions of almost all his principles; I interpret this fact as caused by his incertitude on the logical formulas of the principles. When instead makes use of mathematics (which is based on equalities instead of equivalences), he acquires certainty and makes use of affirmative propositions.

The Symmetry Principle for Processes. *The "initial" symmetry group (that of the cause) is a subgroup of the "final" symmetry group (that of the effect). [...]*

The General Symmetry Evolution Principle. *For a quasi-isolated physical system the degree of symmetry cannot decrease as the system evolves, but either remains constant or increases. [...]*

The Special Symmetry Evolution Principle. *Usually: The degree of symmetry of the state of a quasi-isolated system cannot decrease during evolution, but either remains constant or increases.*

*Equivalently: As a quasi-isolated system evolves, the populations of the equivalence subspaces (equivalence classes) of the sequence of states through which it passes cannot decrease, but either remain constant or increase. [...]*

*The Symmetry Principle for Processes.* The "initial" symmetry group (that of the cause) is a subgroup of the "final" symmetry group (that of the effect). [...] (Rosen 1995, pp. 191-192).

An Italian book lists some other principles: "... the properties cannot be less symmetrical than the structure. Without a reason a symmetry cannot be created from nothing" (Castellani 2000, p. 67); "Similar problems have similar solutions" (Castellani 2000, p. 71).<sup>7</sup>

### 3. The complementary role played by Infinitesimal analysis and symmetries within theoretical physics

Why the birth of symmetries within science occurred so late and in a so difficult way? Surely, the notion of infinity (included in an essential way by the notion of infinitesimal) was more attractive than the idea of a pleasant, yet static figure, as before the 19<sup>th</sup> Century it was considered a symmetry. Moreover, the notion of infinity played a decisive role in eliciting the birth of modern science, as Alexander Koyré masterly stressed (Koyré 1957). For instance, Galilei discussed for a long time the question of the infinity in physics (Galilei 1638, Day I), whereas he devoted few remarks about the relativity of a motion occurring on a ship with respect to the shore.

Let us consider the relationship mathematics-theoretical physics. The dialectical role played by symmetries with respect to calculus could not be revealed before to have cumulated a great number of physical theories formalizing symmetries, so to easily compare them with the theories based on calculus. Asim O. Barut has the merit to have performed this comparison through a long list of physical theories, even the contemporary ones (Barut 1986). His conclusion is that the roles played by the two techniques are different; he defined their roles as complementary, alternative, etc..

However, he made use of loose terms: he referred to "dynamics" instead of past dominant mathematical technique, "calculus". Moreover, he ignored the symmetries within L. Carnot's mechanics, Haüy's crystallography and S. Carnot's thermodynamics. By adding them to his list it is manifest that the role played by symmetries within the main theories of classical physics is alternative to the role played by calculus (e.g. within Newton's mechanics). Which alternative?

First of all, in L. Carnot's and Haüy's theories symmetries are born as the result of an algebraic approach to theoretical physics, i.e. as an alternative mathematical technique to the already developed and then triumphant calculus. More in general, the theories based on symmetries present an alternative in the kind of mathematics: i.e. an elementary mathematics instead of a mathematics relying on infinitesimals or other sophisticated notions of higher mathematics. At present time, the former kind of mathematics is included by the recent constructive mathematics, which makes use of no more than the

<sup>7</sup> Each theory concerning symmetries includes many DNPs. For ex. Leibniz's mechanics includes the following ones. All physical propositions are not necessary propositions but "contingent propositions" (= "whose contrary propositions do not imply contradiction". "Our mind looks for in-variants." Inertia principle: "In-difference of a body to rest and motion". The principle of the "Impossibility of a motion without an end". The principle of sufficient reason: "Nothing is without reason". L. Carnot's mechanics includes the following DNPs: Principle of sufficient reason: "Nothing is without reason."; "Il y a donc... dans chaque percussion ou communication du mouvement... une quantité qui n'est pas altérée par le choc". (L. Carnot 1783, p. 34) Definition of geometric motion: "Tout mouvement, qui imprimé à un système de corps ne change rien à l'intensité de l'action qu'il exercent ou pourroient exercer les uns sur les autres si on leur imprimoit d'autres mouvements quelconque, seront nommés mouvement géométriques" (L. Carnot 1803, sect. 136, p. 108). Also Haüy's crystallography starts from the definition of a crystal as: "une simple structure sans organes et sans fonctions (particulières) [ $\neq$  unitaire], en un mot, un assemblage purement symétrique des molécules réunies successivement les unes aux autres par une force attractive" (Haüy 1784, p. 48).

potential infinity. This kind of mathematics is alternative to the classical mathematics, since the former one presents undecidabilities, which instead are ignored by the latter one, owing to its idealized notions having the power of overcoming an undecidable problem by means of an idealistic notion (as long as it does not lead to contradictions).

This alternative in the kind of mathematics of symmetries may be also specified in formal terms. It is manifested in S. Carnot's thermodynamics, where the problem is the maximum in the efficiency of heat/work conversions. Calculus allows us to easily solve this problem of the search of a maximum of a function (in our case an input/output function) by means of the derivative of this function equated to 0. But in constructive mathematics the exact equality to 0 is undecidable. This fact gives reason why for stating his result Sadi Carnot rather argued in only a logical way, i.e. through an *ad absurdum* theorem (AAA). In addition, notice that often (also in L. Carnot's mechanics) symmetries are based on the following argument:  $ab = 0$  and  $a \neq 0$ , both imply  $b = 0$ . This implication is contested by constructive mathematics, because there exist constructive algebras in which this implication fails. It is this constructive undecidability that obliges an author to argue in only logical terms, through at least one AAA, before to pass to argue in the kind of mathematics which dismisses idealistic notions.

In addition, in the above we already considered L. Carnot's mechanics; its texts present several doubly negated propositions (his definition of "geometrical motion" constituting a group; his results, i.e. the in-variants; the principle on which his mechanics relies, i.e. the impossibility of a motion without an end). Also S. Carnot's thermodynamics is based on doubly negated propositions and moreover presents seven AAAs; at last, it applies the principle of sufficient reason (Drago, Pisano 2004). All that manifests that the two different roles played by symmetries and calculus according to Barut rely on the above illustrated different features of the two kinds of organization, respectively either the problem-based one or the deductive-axiomatic one.

The use of a different kind of logic of course implies an entirely new way of thinking. In particular, it introduces a theoretical organization which is different from the deductive-axiomatic one, managed by classical logic; it is aimed at discovering a new scientific method capable of solving a given problem; I call it a problem-based organization. Its general model has been recently discovered by a comparative analysis of those theories which in past times have been suggested by the respective authors according to a non deductive-axiomatic way (Drago 2012).

In this theoretical organization the arguing is based on AAAs; the final doubly negated proposition of each of them is not equivalent to the corresponding affirmative proposition, owing to the failure of the double negation law in intuitionist logic. Moreover, the principle of sufficient reason plays an essential role for translating the last doubly negated predicate into the corresponding affirmative predicate, to be then assumed as a new hypothesis from which one deduces all consequences to be tested with reality. In the past times the application of this principle produced metaphysical and also paradoxical consequences. For this reason it was disputed and most scholars considered it inappropriate to a scientific theory<sup>8</sup>.

Its role is more manifest when it ("Nothing is without reason") is translated into a logical formula:  $\neg\exists x\neg R(x)$ . Leibniz thought that it leads to state the affirmative corresponding proposition:  $\forall x R(x)$ . Dummett's table about the logical relationships of implication between each couple of intuitionist predicates (Dummett 1977, p. 29) shows that the change suggested by PSR implies the change of all intuitionist predicates into the corresponding affirmative predicates of classical logic. Hence, the resulting change represents the inverse one of the well-known (doubly) negative translation from the classical logic to the intuitionist logic (GKG translation; Troelstra, van Dalen 1988, pp. 56 ff.). Notice that, whereas the translation of real world into a probable or hypothetical world is not problematic, there is of course arbitrariness in translating, as the principle of sufficient reason does, a world of either guesses or probable hypotheses into affirmative propositions about real world. This arbitrariness was considered as unavoidable by past scholars. Yet, Andrey Markov suggested two constraints assuring a

---

<sup>8</sup> I know only Federigo Enriques who in past times attributed to this principle a specific role within scientific theories (Drago 1988).

correct application of this principle to a predicate: the predicate has to 1) result from an AAA and 2) be decidable (Markov 1962, p. 5). This novelty attributes to the PSR a well-defined role within theoretical physics and in particular the theorization of symmetries<sup>9</sup>.

All that proves that symmetries pertain to a heuristic search of an inductive nature, to be formalized within the new theoretical organization which is alternative to the AO.

#### 4. Conclusion

After more a century of cultural fight by the supporters of symmetries for attributing to them a role at the par of calculus within theoretical physics, the time is come to start a new history which no longer ignore the hidden events of the two mathematical tools of theoretical physics<sup>10</sup>.

By taking into account all the above results, I conclude that the alternative between symmetries and calculus concerns *two dichotomies*, i.e. the kind of theoretical organization and the kind of mathematics. It is remarkable that Lazare Carnot introduced his mechanics by illustrating exactly these two dichotomies, although in intuitive terms (L. Carnot 1803, pp. xvii, 3; see also 1783, pp. 101-103).

Now we are in the position of defining in appropriate terms for the foundations of physics the notion of an incommensurability phenomenon of two physical theories insisting on the same field of phenomena; it is caused by a difference in the basic choices of the two theories on the above two dichotomies. It is then clear which is the origin of the particular alternative between two physical theories concerning the same field of phenomena but each relying on a different mathematical techniques, i.e. either symmetries or calculus; it is a manifestation of an incommensurability phenomenon, caused by their different basic choices. This fact gives reason of the hard resistance of past theoretical physicists, who get used of calculus since three centuries; along some decades almost all refused to receive a new mathematical technique which at glance appeared totally weird owing to a philosophical phenomenon of incommensurability.

#### Bibliography

- Barut, A.O. (1986). "Symmetry and dynamics. Two distinct methodologies for theoretical physics", in Gruber B. and Lenczewski R. (eds.), *Symmetry II*, New York: Plenum Press, pp. 25-51.
- Brading, K., Castellani, E. & Teh, N. (2017). "Symmetry and symmetry breaking", in E.N. Zalta (ed.) *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/symmetry-breaking/#GenePhilQues>.
- Callen, H. (1974). "Thermodynamics as a science of symmetry", *Found. Phys.*, 4, pp. 423-443.
- Carnot, L. (1783). *Essai sur les Machines en général*. Dijon: Defay.
- Carnot, L. (1803). *Principes fondamentaux de l'équilibre et du mouvement*, Paris : Deterville.
- Castellani, E. (2000). *Simmetria e Natura*, Bari: Laterza.
- Curie, P. (1894). "Sur la symétrie dans les phénomènes physiques, symétrie d'un champ électrique et d'un champ magnétique", *Journal de Physique*, 3<sup>me</sup>, serie 3, pp. 393-415.
- Drago, A. (1988), "Il ruolo del principio di ragione sufficiente nella scienza secondo Federico Enriques", in Pompeo Faracovi O., Speranza E. (eds.), *Federico Enriques. Filosofia e storia del pensiero scientifico*. Livorno: Belforte, pp. 223-265.
- Drago, A. (1989). "The birth of symmetries in theoretical physics: Lazare Carnot's mechanics", in O. Darvas & D. Nagy (eds.), *Symmetry of Structure*. Budapest: Hung. Acad. Sci., pp. 98-101.

<sup>9</sup> By incidence, let us remark that the translation of Curie's propositions into logical formulas gives the same logical formula of PSR:  $\neg\exists e\neg c(e)$  and  $\neg\exists c\neg e(c)$  (where  $c$  = cause and  $e$  = effects). Some authors think that they are equivalent. Yet, the functions  $c(e)$  and  $e(c)$  should be uniquely invertible functions (Katzir 2004, p. 36, fn. 2).

<sup>10</sup> And thus the time is also come to reiterate as alternatives the two philosophical notions supported by the two main ancient philosophers, respectively invariants (Plato) and time evolution (Aristotle).

- Drago, A. (2000). “Which kind of mathematics for quantum mechanics? The relevance of H. Weyl”, in C., Garola & A., Rossi (eds.) *Foundations of Quantum Mechanics. Historical Analysis and Open Questions*. Singapore: World Scientific, pp. 167-193.
- Drago, A. (2012). “Pluralism in logic. The square of opposition, Leibniz’s principle and Markov’s principle”, in Béziau, J.Y. & Jacquette, D. (eds.) *Around and beyond the square of opposition*, edited by J.-Y. Béziau and D. Jacquette. Basel: Birkhauser, pp. 175-189.
- Drago, A. & Pisano, R. (2000). “Interpretazione e ricostruzione delle *Réflexions* di Sadi Carnot mediante la logica non classica”, *Giornale di Fisica*, 41, pp. 195-215. English translation in *Atti Fond. Ronchi*, 59 (2004), pp. 615-644.
- Dummett, M. (1977). *Elements of intuitionism*. Oxford: Clarendon Press.
- Galilei, G. (1638), *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, Leiden: Elsevier.
- Gillispie, C.C. (1971a). *Lazare Carnot savant*, Princeton: Princeton U.P.
- Gillispie, C.C. (1971b). “Carnot, Lazare Marguerite Nicolas”, in Gillispie C.C. (ed.), *Dictionary of Scientific Biography*. New York: Scribner and Sons.
- Haüy, R.J. (1784). *Essai d'une théorie sur la structure des cristaux, appliqué à plusieurs genres des substances cristallisées*. Paris: Gouée et Née de la Rochelle.
- Hon, G. & Goldstein, B.R. (2008). *From summetria to symmetry: The making of a revolutionary scientific concept*. Berlin: Springer.
- Hughes, G.E. & Cresswell, M.J. (1996). *A new introduction to modal logic*, London: Routledge.
- Katzir, S. (2004). “The emergence of the principle of symmetry in Physics”, *Historical Studies in Physical Science*, 35(1), pp. 35-65.
- Koyré, A. (1957). *From the closed world to the infinite universe*. Baltimore, MD: Maryland University Press.
- Leibniz, G.W. (1698). “Essay de dynamique sur les lois du mouvement”, in *Mathematische Schriften*. Hildesheim: Olms, VI, pp. 215-221.
- MacKay, A.L. (1986), “But what is symmetry?”, *Comp. & Math. with Applic.*, 12B, pp. 19-20.
- Markov, A. (1962) “On constructive mathematics”, *Trudy Math. Inst. Steklov*, 67, pp. 8-14. (Engl. tr. *Am. Math. Soc. Translations*, 98 (2) (1971), pp. 1-9).
- Pauli, W. (1932). “Letter to Ehrenfest”, October 28.
- Radicati, A. (1987). “Remarks on the early notion of symmetry breaking”, in Doncel, M. *et al.* (eds.), *Symmetry in Physics (1600-1980)*. Barcelona: Univ. Autonoma de Barcelona, pp. 195-207.
- Rosen, J. (1995). *Symmetry in Science: An Introduction to the General Theory*. Berlin: Springer.
- Rosen, J. (2008). *Symmetry rules, how science and nature are founded on symmetry*. Berlin: Springer.
- Troelstra. A. & van Dalen. A. (1988). *Constructivism in mathematics*. Amsterdam: North-Holland.
- Weyl, H. (1928). *Group theory and quantum mechanics*. New York: Dover.
- Wigner, E. (1959). *Group theory and its application to the quantum mechanics of atomic spectra*. New York: Academic Press.

# PHYSICS AND TECHNOLOGY

# Evolution of induction machines technology in the Nineteenth Century

Lucia De Frenza

Seminario di Storia della Scienza - Università degli studi di Bari Aldo Moro, [lucia.defrenza@uniba.it](mailto:lucia.defrenza@uniba.it)

*Abstract:* Beginning in the 1860s, a number of prototype electrostatic influence machines were invented, such as Holtz's influence machine or Toepler's one, both from 1865. These instruments were generally used in scientific laboratories as devices for demonstrations or for teaching, i.e. for mainly scientific purposes. The description of the performance of these devices has led to heated conflicts among physicists.

*Keywords:* High-Voltage Machine, Electrostatics, Wilhelm Holtz, August Toepler

## 1. Premessa

Nella seconda metà del XIX secolo ebbe nuovo impulso la progettazione di apparati strumentali capaci di sfruttare il principio della condensazione elettrica per generare elettricità ad alta tensione. Quando nel 1865 furono descritti gli apparecchi di Holtz e di Toepler, i fisici si guardarono indietro nel tempo e individuarono i primi esempi di questa tecnologia nell'elettroforo e nell'elettrometro condensatore di Volta. Da questi strumenti, nei decenni conclusivi del XVIII secolo, derivarono alcuni dispositivi, come il duplicatore di Bennet (1787), il duplicatore di Nicholson (1788) o quello di Cavallo (1795), ideati come moltiplicatori delle cariche deboli, cioè di quelle cariche che sfuggivano alla misura dei comuni elettroscopi. Se si escludono alcuni dispositivi che imitavano la struttura del duplicatore di Nicholson e le due macchine di Belli, ideate nella prima metà dell'Ottocento, ma rimaste ignorate, o quasi, dai fisici, non ci furono progressi nella tecnologia delle macchine ad induzione per circa settant'anni. Gli apparecchi di Holtz e di Toepler fecero da battistrada, invece, a tutta una serie di altri dispositivi, anche piuttosto vari nell'uso dei materiali o nella disposizione data agli elementi strutturali, ma pressoché identici nel meccanismo che ne regolava il funzionamento. Le macchine dei due tedeschi ebbero un significato storico esemplare, perché aprirono una nuova fase di sperimentazione tecnica e di riflessione sulle proprietà dell'induzione elettrostatica; tuttavia, dal punto di vista del rendimento, furono presto superate da apparecchi più performanti, come quello di Leyser (1873), di Voss (1880), di Wimshurst (1883), di Bonetti (1888 e 1894) e così via.

Questo contributo non vuole proporre un catalogo di tali macchine, ma intende illustrare il contesto in cui si svilupparono le ricerche, le motivazioni generali che l'animarono e fornire alcuni elementi per comprendere come esse s'inserissero nella scienza elettrica della seconda metà del XIX secolo. Non si prenderanno in considerazione, invece, le ipotesi avanzate per spiegarne il funzionamento, su cui i fisici non si accordarono. Per tutta la seconda metà dell'Ottocento si esposero definizioni valide per ogni singola macchina o per categorie omogenee, ma mancò effettivamente una teoria generale delle macchine ad induzione.

## 2. L'annus mirabilis

Nel numero di agosto del 1865 degli *Annalen der Physik* di Poggendorff August Toepler pubblicò la descrizione del suo *Influenz-Elektrometer*. La peculiarità del nuovo apparecchio era quella di fornire un flusso copioso di elettricità ad alta tensione con l'impiego di una carica iniziale di debole intensità,

utilizzando una forza meccanica moderata (Toepler 1865). Nel numero di ottobre della stessa rivista Wilhelm Holtz illustrò la sua macchina elettrica ad induzione, con la quale si otteneva lo stesso risultato con una configurazione strutturale molto più semplice (Holtz 1865). L'editore della rivista ci tenne a sottolineare nella nota finale all'articolo di Toepler che la priorità dell'invenzione spettava a Holtz, richiamando una comunicazione da lui fatta ad aprile nei *Monatsberichten der Akademie* di Berlino, in cui aveva annunciato il lavoro di Holtz (Toepler 1865, p. 496). Alla precisazione di Poggendorff rispose Toepler, dichiarando che già a gennaio aveva parlato degli esperimenti condotti con la sua macchina nel *Riga'schen Zeitung* (Toepler 1866, p. 177). Questa polemica si esaurì presto. In realtà, i due tedeschi avevano lavorato in maniera indipendente, ma erano arrivati più o meno negli stessi mesi ad eseguire esperimenti pubblici con i loro apparecchi. Gli articoli del 1865 furono recensiti in breve tempo nelle riviste specializzate francesi, inglesi e italiane. L'interesse per queste nuove macchine elettrostatiche si diffuse immediatamente.

L'apparecchio di Toepler nella sua versione più semplice era composto da un disco orizzontale, sostenuto da un perno di vetro verticale messo in rotazione. Sulla superficie inferiore del disco erano incollate due armature di stagnola, che lasciavano una fascia centrale di vetro scoperta. La faccia superiore del disco portava due liste anulari di stagnola, in comunicazione con i settori sottostanti. Due conduttori isolati terminavano con altrettante mollette, che sfregavano l'orlo superiore del disco. Sotto di esso si trovava un piatto metallico, che era messo in comunicazione con una fonte di elettricità. Quando la prima molletta passava sulla zona scoperta acquisiva per comunicazione la carica opposta a quella iniziale posseduta dalla prima armatura; la seconda molletta trasmetteva questa carica alla seconda armatura, che per induzione aumentava la carica del disco metallico. Si aveva, quindi, aumento di carica ad ogni giro del disco di vetro. Se i due conduttori del collettore venivano separati, si generava una scintilla. Finché non si perdeva l'elettricità del disco metallico per scintillazione spontanea con le altre parti dello strumento, era possibile accumulare una certa quantità di carica. Per evitare l'esaurimento della macchina Toepler aveva sistemato sotto il disco mobile una macchina identica, ma più piccola. Questo secondo apparato fu da lui chiamato 'rigeneratore'. Per ottenere una corrente continua, Toepler combinò un apparecchio semplice con un rigeneratore. Inoltre, immaginò di poter aumentare l'efficienza del dispositivo, aumentandone i dischi mobili (Codazza 1866).

La macchina di Holtz era costituita da due dischi di vetro coassiali, posti in verticale e in parallelo. Uno dei dischi di diametro più ampio era fisso, mentre l'altro era messo in rotazione con l'aiuto di una manovella. La carica iniziale era comunicata per contatto ad una delle superfici del disco fisso con un induttore ausiliario nel momento, in cui si metteva in funzione l'apparecchio. Mentre il disco più piccolo ruotava, alcuni pettini, posti dietro, incrociavano le linguette sporgenti delle strisce di carta, che fungevano da armature, collocate una al bordo superiore e l'altra a quello inferiore di due aperture diametrali di forma ovale del disco fisso. I pettini erano collegati a due conduttori. La carica iniziale veniva moltiplicata per induzione esercitata dai pettini sulle linguette. Accumulata la carica e allontanati i poli del collettore, fra di essi scoccavano scintille a intervalli regolari. Un anno dopo Holtz costruì un nuovo apparecchio, che è noto come macchina di Holtz di secondo tipo. Era formato da due dischi di vetro orizzontali, posti sullo stesso asse, che giravano in direzioni opposte e che erano muniti ciascuno di due pettini sovrapposti lungo la linea del diametro, ma perpendicolari tra loro.

### 3. Gli inventori

C'è una strana analogia nelle biografie dei due inventori. Nati nello stesso anno, tedeschi, a ventinove anni costruirono entrambi degli apparecchi che li portarono alla ribalta nelle riviste specializzate e nelle varie esposizioni tecnico-scientifiche in cui furono presentati i loro prototipi.



August Joseph Ignaz Toepler (1836-1912) nacque a Brühl, vicino Bonn. Dopo aver conseguito la laurea in filosofia, ottenne, nel 1859, l'insegnamento di chimica a fisica all'Accademia di Agricoltura di Poppelsdorf, un'istituzione scientifica nei pressi di Bonn. Nel 1865 fu nominato professore di fisica al Politecnico di Riga, a servizio dello Zar; quattro anni dopo ottenne la stessa cattedra all'Università di Graz e nel 1876 alla Hochschule di Dresda. Quando ideò il suo primo modello di macchina ad induzione era agli esordi della sua carriera scientifica; aveva pubblicato un unico lavoro significativo su una pompa ad aria barometrica in grado di realizzare una rarefazione fino ad un centomillesimo di atmosfere, di sua invenzione (Toepler 1862). Nel corso della sua carriera si occupò di elettricità, magnetismo e ottica, ma la sua attenzione prioritaria fu rivolta al perfezionamento della macchina ad induzione da lui realizzata, di cui studiò le prestazioni nelle diverse disposizioni e delle cui potenzialità e idoneità si fece divulgatore (Toepler 1880; 1882).

Wilhelm Theodor Bernhard Holtz (1836-1913) nacque a Saatel, vicino Barth, in Pomerania. Studiò a Berlino, Edimburgo e Digione, ottenendo la laurea in filosofia ad Halle nel 1869. Già prima di concludere la sua carriera scolastica, aveva mostrato interesse per gli apparecchi elettrici: alle macchine a strofinio, infatti, aveva dedicato già un articolo (Holtz 1862). Nel perfezionamento e nella definizione della teoria dei generatori elettrostatici di sua invenzione impegnò molte energie negli anni successivi, ma affrontò anche altre ricerche di elettricità. Fu ricevuto come assistente all'Istituto di fisica di Greifswald nel 1877, nominato *Privatdocent* nel 1881 e titolare di una cattedra di fisica due anni dopo. Morì nella stessa città nel 1913.

Quando realizzò la sua macchina era un giovane che si stava ancora formando. Si potrebbe sospettare, quindi, che le esercitazioni sugli apparecchi elettrostatici fossero materia del suo corso di studi. Nelle battute iniziali della memoria pubblicata nel 1865 dichiarò che l'intuizione su come costruire il suo apparecchio era derivata dalla riflessione sulle proprietà dell'elettroforo:

In primo luogo gli esperimenti con l'elettroforo mi suggerirono l'idea di utilizzare la teoria di questa macchina in altra maniera. Poiché quella racchiude in sé un principio molto razionale per produrre energia elettrica, mi assegnai il compito di applicare lo stesso principio alla realizzazione di una macchina elettrostatica ed è risultato che non solo tali congegni sono possibili ma anche che essi, con un impiego di forza relativamente modesto, superano di molto in rendimento le comuni macchine elettrostatiche (Holtz 1865, p. 157).

In altri termini, Holtz era partito dall'idea di servirsi del principio fisico grazie al quale la carica di un piano resinoso era in grado, per induzione, di comunicare uno stato elettrico ad un conduttore, per tante volte quante lo stesso, scarico, vi era appoggiato sopra. Si trattava di riprodurre le operazioni necessarie ad ottenere questo effetto con un meccanismo che riducesse i tempi e l'energia richiesta per il mantenimento della differenza di potenziale. Poi bisognava porsi il problema di migliorare il rendimento della macchina, ossia cercare ad ogni ciclo di incrementare la carica che metteva in atto il processo induttivo.

La ricerca di Toepler, invece, aveva avuto un'origine diversa. Così scriveva nel suo primo articolo:

Nel corso di una serie di ricerche ottiche sull'effetto di onde acustiche nell'aria atmosferica, usai per mesi un forte induttore nella carica rapida di una bottiglia di Leida. I disagi che in quest'occasione derivarono dalla continua manutenzione di una vigorosa pila di Bunsen, suscitarono in me il desiderio di disporre di una copiosa produzione di elettricità senza utilizzare una pila idroelettrica. La macchina elettrostatica nei suddetti esperimenti risultò dall'inizio troppo poco efficace, mentre una grande quantità di carica e molto esuberante era richiesta al secondo dalla bottiglia. In realtà, con la macchina elettrostatica è estremamente sfavorevole il rapporto tra la quantità di carica e l'energia impiegata nel superamento dell'attrito. La costruzione di una macchina si può fondare sul noto fenomeno dell'influenza, il quale con un impiego minimo di forza produce elettricità con tensione fortissima, provenendo per di più da una carica iniziale molto debole (Toepler 1865, p. 469).

Toepler era stato spinto dal desiderio di costruirsi uno strumento che potesse agevolare la ricerca in un altro settore; tuttavia l'esigenza applicativa restava all'interno della pratica di laboratorio. Il limite di questi apparecchi era l'estrema delicatezza, che si opponeva alla loro utilizzazione su larga scala. Non era infrequente che la polvere accumulata sulle superfici dei dischi rendesse inefficace tutto il meccanismo, perché agiva per attrito o contribuiva alla dispersione delle cariche; la copertura di gommalacca, che serviva ad aumentare l'isolamento delle piastre, si sgretolava facilmente per la frequenza delle piccole scintille e ne richiedeva il rinnovo periodico. Fuori dal laboratorio era difficile mantenere gli apparecchi nelle condizioni d'isolamento idonee a produrre un rendimento utile. Per quanto riguarda la macchina di Holtz, il rapporto tra condizioni di funzionamento ed efficienza era sfavorevole, perché la difficoltà tecnica di realizzare nella sottile lastra di vetro fissa le fenditure necessarie al passaggio delle punte di carta per la trasmissione dell'impulso induttivo al disco mobile ne faceva aumentare di molto i costi. In realtà, nell'ultimo decennio dell'Ottocento si ipotizzò di poter utilizzare questi generatori come fonte d'energia negli apparati radiologici degli ospedali o dei laboratori di ricerca. La corrispondenza scambiata tra Toepler e Roentgen nel 1897 per la determinazione della fonte elettrica più opportuna al funzionamento del dispositivo a raggi X permette di chiarire che ci fu un confronto sulla possibilità di preferire il nuovo apparecchio a dischi multipli di Toepler alle bobine ad induzione, ma alla fine gli utilizzatori si schierarono a favore di queste ultime, più maneggevoli e soprattutto più economiche (Felici 1986).

#### **4. Alcune osservazioni generali sul progresso compiuto nella tecnologia delle macchine ad influenza**

I generatori elettrici ad induzione furono per molti aspetti delle macchine 'sfortunate': venute alla ribalta nello stesso momento in cui si realizzavano le prime apparecchiature elettromagnetiche per produrre corrente (l'anello di Pacinotti è del 1865, quello di Gramme del 1871, il motore di Siemens dell'anno successivo, quello "a campo rotante" di Ferraris del 1885), i dispositivi che fornivano elettricità ad alta tensione catturarono la piena attenzione dei fisici solo nell'occasione di qualche realizzazione più convincente. Benché i loro inventori avessero sostenuto con fermezza che con questi apparecchi si riusciva ad ottenere il massimo risultato in termini elettrici dall'impiego del lavoro meccanico, le aspettative furono presto smentite dal primo annuncio dell'ideazione di macchine dinamo elettriche. Fu ben presto evidente che l'efficacia dei generatori elettrostatici non era affatto comparabile con quella delle altre macchine: oltre ai limiti funzionali, al maggior ingombro, alla maestria richiesta per la costruzione e manutenzione, i primi non avevano che un 20% di rendimento rispetto al lavoro impiegato, mentre le seconde si avvicinavano al 100% (Dörfel, Weihreter 2021). I generatori elettrostatici, quindi, divennero un soggetto di studio per amatori specializzati e difficilmente se ne valutò un impiego di tipo industriale (Rossi 1992).

Questi apparecchi furono in un certo senso delle macchine 'imbarazzanti', perché ponevano ai fisici più problemi di quanti essi avrebbero voluto trattare. Innanzitutto, se si ricercavano le varie esperienze di progettazione e revisione degli apparecchi apparse in riviste e volumi in diversi paesi ci si imbatteva in un insieme frammentato di risultati, in un miscuglio di soluzioni ed interpretazioni che erano nate, si erano sviluppate per un certo tempo e, poi, dopo essere state tralasciate, erano rispuntate come nuove nelle ricerche di un altro autore e in un altro luogo. L'interesse verso questo soggetto era in ogni caso marginale e discontinuo. Inoltre, non sembrava supportato da una ricerca teorica rilevante, ma derivare da una semplice motivazione tecnica. In senso stretto, l'obiettivo era quello di riprodurre le operazioni necessarie ad ottenere l'effetto di moltiplicazione della carica, come aveva insegnato Volta, con un meccanismo che riducesse i tempi d'azione e richiedesse uno sforzo d'attivazione meno

intenso. Poi bisognava migliorare il rendimento, ossia cercare ad ogni ciclo di incrementare la carica che generava l'effetto induttivo. Ponendo la questione in questi termini, le innovazioni che furono realizzate nella tecnologia delle macchine elettrostatiche nella seconda metà dell'Ottocento potevano essere viste sostanzialmente come l'espressione dei tentativi per trovare soluzioni meccaniche nuove con un metodo già conosciuto (Schaffers 1908, p. 17). Nessun progresso si prospettava nell'elettrologia, perché queste ricerche non aggiungevano nulla di inedito alle conoscenze acquisite, non servivano a fare nuove previsioni e non sembravano capaci di dischiudere ulteriori campi di studio. Diverse erano state le conseguenze dell'introduzione dei primi apparecchi ad induzione. L'elettroforo e l'elettrometro condensatore di Volta, insieme ai vari dispositivi che intendevano perfezionare il meccanismo della moltiplicazione delle cariche con lo stesso metodo, permisero nuove ricerche, segnando il passaggio dall'indagine dei fenomeni elettrici eclatanti a quella delle piccole cariche (Hackmann 1978). Volta, per esempio, si servì del condensatore associato all'elettrometro per lo studio dell'elettricità debole prodotta dal contatto di metalli diversi oppure per effettuare misurazioni dello stato elettrico dell'atmosfera. Altri se ne servirono per la rilevazione degli effetti elettrici prodotti dalla compressione delle sostanze e, in genere, in quei casi in cui occorreva portare alla luce delle cariche, come si diceva, "insensibili". Il moltiplicatore di Cavallo, gli apparecchi di Lichtengerg, Klinkoch, Erasmus Darwin, ecc., il duplicatore di Bennet, quello di Nicholson erano in definitiva dei sofisticati elettroscopi (Thompson 1888). Un'idea non molto diversa fu quella suggerita da Paolo Volpicelli con l'affermazione che "il condensatore non è altro, fuorché un microscopio per la elettricità", perché permetteva di 'vedere' cariche non percepibili con i comuni strumenti (Volpicelli 1868-69, p. 195). In genere, per lo stesso scopo furono proposte le altre macchine simili ideate nella prima metà dell'Ottocento. Fanno eccezione il duplicatore (1826) e la macchina ad attuazione (1827) di Giuseppe Belli, costruite già come generatori di elettricità ad alta tensione e riconosciute successivamente come antesignane della classe di apparecchi sviluppata a partire del 1865 (Gray 1890, pp. 85-89). Secondo Hackmann, l'abbandono delle macchine ad influenza all'inizio dell'Ottocento fu una conseguenza dell'invenzione della pila, sia perché il nuovo strumento mise a disposizione una sorgente di elettricità continua più economica, sia perché coalizzò gli interessi dei fisici verso campi di ricerche (l'elettrochimica e l'elettrodinamica) con prospettive di grande sviluppo (Hackmann 1978, pp. 8-9).

I generatori elettrici ad induzione della seconda metà dell'Ottocento furono percepiti anche come macchine 'enigmatiche'. Il disorientamento dei fisici di fronte ai tentativi incompleti di spiegare il loro funzionamento contribuì a smorzare i toni del dibattito, lasciandolo irrisolto sotto certi aspetti e sotto altri limitandolo alle annotazioni sui perfezionamenti tecnici o sulle applicazioni didattiche. Poggendorff nel 1875, commentando l'*exploit* che nell'ultimo decennio si era avuto nella ricerca sui generatori ad induzione, era sconcertato della quantità di articoli pubblicati in confronto alla scarsa comprensione degli aspetti teorici di questa tecnologia. I fisici si erano limitati a trovare una spiegazione speciale per ciascun apparecchio, perché incapaci di elaborare una teoria generale: "tutto, tanto la prima invenzione di quelle macchine quanto i successivi perfezionamenti e completamenti, è stato esclusivamente opera dell'esperienza, di quel 'provare e riprovare' dei famosi accademici fiorentini" (Poggendorff 1875, p. 79). L'improvvisazione e non un progetto consapevole aveva guidato la mano dei fisici, come scrisse più tardi Schaffers (1898, p. 1).

Sullo stesso tono fu il commento di Ayrton dopo la lettura alla *Society of Telegraph Engineers* della memoria di Silvanus Thompson nel 1888:

There is one peculiarity in this Darwinian development of a Darwinian idea which I do not think Dr. Thompson has quite sufficiently laid weight on, and that is, that instead of one machine developing out of the other - which, of course, is the general idea of progress - the subject has been re-invented over and over again, entirely *de novo*, without any knowledge apparently existing in

the inventors' minds that anything had been done with influence machines before their time (Thompson 1888, p. 628).

Ayrton mise in evidenza un problema proprio anche di altre categorie di strumenti, ma che per ciò che riguarda le macchine ad induzione fu chiaramente riconosciuto anche dai contemporanei, ossia la discontinuità nelle invenzioni, il fatto che disposizioni già realizzate furono o presto dimenticate o ignorate dalla maggioranza dei fisici. Uno dei motivi di questo progresso a singhiozzo nella tecnologia delle macchine elettrostatiche fu certamente la scarsa circolazione della letteratura tecnica specializzata. A ciò si deve aggiungere che l'interesse dei fisici per questi apparecchi fu momentaneo, sollecitato a volte dalla semplice curiosità o da occasioni estemporanee. Lo stesso Ayrton adduceva ad esempio l'episodio dell'invenzione nel 1867 del *Replenisher* da parte di William Thomson. Il fisico inglese, che necessitava di uno strumento efficiente per caricare l'inchostro del sifone registratore per cavi sottomarini, aveva escogitato da solo il suo mulinello. Consultato l'ufficio dei brevetti, aveva constatato con stupore che un dispositivo con le stesse proprietà era stato registrato pochi anni prima dall'amico Varley, che alla sua invenzione non aveva dato, però, alcun impiego utile (Thompson 1888, pp. 629-630). Solo successivamente si constatò che il *replenisher* di Thomson aveva molte analogie anche con il duplicatore di Belli. Le macchine di Belli ebbero il privilegio di essere state reinventate più volte: il duplicatore lo fu da parte di Thomson nel 1867, ma anche di Elster e Geitel nell'85 (Schaffers 1908, p. 42); la macchina ad attuazione sembrava simile al dispositivo che Einstein immaginò nel 1908, quando descrisse un metodo per rendere misurabili debolissime tensioni (Bellodi, Brenni 1994, p. 82).

Un aspetto complementare del problema delle reinvenzioni fu l'incremento delle rivendicazioni di priorità. Holtz, per esempio, nel 1884, dopo aver letto la descrizione dell'apparecchio costruito da Wimshurst, fece immediatamente notare che ben otto anni prima aveva messo alla prova un dispositivo con settori radiali e collettori a mascella, simile strutturalmente alla realizzazione proposta dall'altro (Schaffers 1908, p. 53). La stessa rivendicazione fece per la macchina di Bonetti nel 1894. In realtà, più che con quella di Holtz, quest'ultima aveva qualche aspetto in comune con l'invenzione di W. Musaeus (Schaffers 1908, p. 72). Non reca meraviglia che Holtz, il quale aveva sperimentato davvero tante delle soluzioni tecniche possibili per migliorare l'efficienza dei generatori elettrostatici, vedesse così frequentemente nelle invenzioni di altri fisici elementi o strutture che lui aveva già prima immaginato. Questo fatto suggerisce quanto sia complessa la storia delle macchine ad induzione e come non si possa riconoscere nella realizzazione del singolo apparecchio il compimento di ricerche individuali ed isolate, bensì la sintesi di una serie di risultati dovuti all'attività di un certo numero di persone interessate ad obiettivi simili.

## 5. Considerazioni finali

I generatori elettrostatici ad induzione della seconda metà dell'Ottocento rappresentarono delle effettive novità rispetto al passato.

Prima di tutto, fu accantonata l'idea di avere congegni per rendere visibili le piccole cariche, che alla fine del Settecento aveva costituito la motivazione principale delle ricerche sui meccanismi basati sul principio dell'elettroforo; si affermò, invece, la convinzione che quegli apparecchi potessero essere sfruttati come generatori elettrici. In realtà, il dispositivo costruito da Righi nel 1872 rappresentò un'eccezione, perché fu concepito ancora come elettrometro per misurare cariche deboli (Righi 1872). Si trattava di una macchina a nastro continuo, che consentiva un accrescimento aritmetico della carica fornita per innescare il processo induttivo; essa poteva fungere da elettrometro in base alla proprietà dimostrata dall'autore di accumulare una carica direttamente proporzionale a quella comunicata (De Frenza 2021). Il *replenisher* di Thomson fu, invece, immaginato per completare degli apparecchi ideati

con scopi diversi; era un generatore di dimensioni ridotte e aveva una funzione ausiliaria, associata ad altri meccanismi (Gray 1890, pp. 179-184). In generale, però, gli ideatori dei dispositivi elettrostatici ad influenza della seconda metà dell'Ottocento ebbero la consapevolezza che le loro realizzazioni permettevano, con una tecnica diversa da quelle in uso, di disporre di una sorgente efficace di elettricità ad alta tensione.

Holtz e Toepler, fin dai loro primi articoli, evidenziarono le motivazioni, che rendevano conveniente l'utilizzazione delle macchine ad influenza in sostituzione di quelle a strofinio o alle pile. Il lavoro che condussero nei decenni successivi ebbe di mira anche la legittimazione davanti al grande pubblico delle potenzialità di queste macchine. L'analisi in termini di energia, rendimento e prodotto fu sviluppata con questo scopo, paragonando i dispositivi elettrostatici agli altri apparecchi, soprattutto, poi, alle recenti bobine ad induzione. Il risultato più notevole consistette nel mettere in relazione la quantità di elettricità prodotta all'energia meccanica impiegata per azionare il dispositivo. Per alcuni fu una deduzione abbastanza ovvia. Altri, condizionati dall'idea che l'elettricità dovesse essere considerata un fluido imponderabile, ebbero difficoltà a valutare le prerogative di queste macchine da un diverso punto di vista. Doveva essere adottato soprattutto il concetto di conservazione dell'energia, sotto il cui rilievo poteva essere intesa l'accumulazione di carica come effetto di una trasformazione corrispondente ad un lavoro meccanico.

Al prodursi di questa consapevolezza giovò certamente la riflessione sull'analogia esistente tra le macchine a influenza e quelle elettromagnetiche. La rassomiglianza strutturale e il parallelismo di funzioni furono evidenziati da Holtz già nel 1869 (Schaffers 1908, p. 342). Entrambe queste tipologie di macchine realizzavano una trasformazione dell'energia meccanica in elettrica; generalmente apparivano autoeccitatrici, cioè potevano essere messe in funzione senza l'impiego di una carica iniziale; nelle strutture più semplici, spontaneamente invertivano le loro polarità, per cui occorre degli espedienti (nelle macchine elettrostatiche questo compito era affidato al conduttore diametrico) per mantenerle in azione con regime continuo; erano reversibili, nel senso che l'elettricità generata poteva essere utilizzata per produrre movimento in un altro apparecchio (Luscia 1928, pp. 255-257).

Nonostante i tentativi per supportare la diffusione dei generatori ad influenza, queste macchine non riuscirono ad affermarsi. Alcuni autori proposero diverse applicazioni industriali per l'elettricità ad alto voltaggio, ma avvertirono contemporaneamente che era necessario migliorare i dispositivi prima di poterli utilizzare per scopi diversi dalla ricerca. Oltre che nel campo della radiologia, i generatori ad induzione potevano essere impiegati con successo nella produzione di ozono, nello studio degli effetti delle radiazioni luminose e nelle trasmissioni telegrafiche (Luscia 1928, pp. 271-275). Tuttavia, solo con l'invenzione di generatori più sofisticati, come la macchina di Van de Graaff del 1929, fu possibile trovare un impiego rilevante in un nuovo campo della fisica del Novecento (Brenni 1999).

## Bibliografia

- Bellodi, G. & Brenni, P. (1994). "Giuseppe Belli, gli strumenti e i costruttori", in Bellodi, G. et al. (a cura di), *La fisica a Pavia nelle opere di Giuseppe Belli*. Pavia: La Goliardica Pavese, pp. 77-111.
- Brenni, P. (1999). "The Van de Graaff Generator. An electrostatic machine for the 20th Century", *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, 63, pp. 6-13.
- Codazza, G. (1866). "Nuovi elettromotori fondati sul principio delle induzioni elettrostatiche ed elettromagnetiche", *Il Politecnico*, 6, pp. 542-558.
- De Frenza, L. (2021). "The Theory of Capacitors in Augusto Righi's Research", in Bevilacqua, F. & Gambaro, I. (a cura di), *Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia. Atti del XL Convegno annuale*. Pisa: University Press, pp. 23-30.
- Dörfel, G. & Weihrer, E. (2021). "The Fifty Percent Machines. A Short History of Influence Machines and an Elementary Theory of Their Efficiency: An Attempt", *Annalen der Physik*, 533, 1, pp. 1-6.

- Felici, N. (1986). "La haute tension il y a un siècle. Machines à influence contre bobines d'induction de 1870 à 1900", in Association pour l'Histoire de l'Electricité en France, *La France des électriciens: 1880-1980*. Paris: PUF, pp. 189-194.
- Gray, J. (1890). *Electrical Influence Machines. A full account of their historical development, and modern forms, with instructions for making them*. London: Whittaker & Co.
- Hackmann, W.D. (1978). "Eighteenth century electrostatic measuring devices", *Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza*, III(2), pp. 3-58.
- Holtz, W. (1862). "Vorläufige mittheilung über das Durchbrechen von Glas mittelst Reibungselektrizität", *Annalen der Physik und Chemie*, 116, pp. 507-508.
- Holtz, W. (1865). "Ueber eine neue Elektrisirmaschine", *Annalen der Physik und Chemie*, 126, pp. 157-171 e pp. 320-327.
- Luscia, F. (1928). *La tecnologia delle macchine elettrostatiche. Trattato teorico-sperimentale sulle principali macchine elettrostatiche dall'origine fino ai più recenti modelli*. Brescia: Vannini.
- Poggendorff, J.C. (1875). "Fernere Thatsachen zur Begründung einer endgültigen Theorie der Elektromaschine zweiter Art", *Annalen der Physik und Chemie*, 156, pp. 78-98.
- Righi, A. (1872). "Descrizione di un elettrometro ad induzione; nota dell'ingegnere Augusto Righi, assistente di fisica nella R. Università di Bologna", *Nuovo Cimento*, 7-8, pp. 123-134.
- Rossi, F. (1992). *Elektron. Dall'ambra alla radio. Scoperte e invenzioni*. Firenze: Ofiria.
- Schaffers, V. (1898). *Essai sur la théorie des machines à influence*. Paris: Gauthier-Villars.
- Schaffers, V. (1908). *La machine à influence. Son evolution, sa théorie*. Paris: Gauthier-Villars.
- Toepler, A. (1862). "Einfache Barometer-Luft-pumpe ohne Hähne, Ventile und schädlich Raum", *Polytechnisches Journal*, 163, pp. 426-432.
- Toepler, A. (1865). "Ueber die Erzeugung einer eigenthümlichen Art von intensiven elektrischen Strömen vermittelt eines Influenz-Elektrometers", *Annalen der Physik und Chemie*, 125, pp. 469-497.
- Toepler, A. (1866). "Vergleichende Versuche über die Leistungen der Influenz-Maschine mit und ohne Metall - Belegung", *Annalen der Physik und Chemie*, 203, pp. 177-198.
- Toepler, A. (1880). "Zur Kenntniss der Influenzmaschine und ihrer Leistungen", *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1, pp. 56-60.
- Toepler, A. (1882). "Influenzmaschine und Induktorium", *Elektrotechnische Zeitschrift*, 3, pp. 366-373.
- Thompson, S.P. (1888). "The influence machine, from 1788 to 1888", *Journal of the Society of Telegraph Engineers*, 18, pp. 569-635.
- Volpicelli, P. (1868-69). "Sulla causa della inversione delle cariche di elettricità nei coibenti armati; e sulla influenza elettrica nei gas rarefatti", *Atti Accademia Pontificia de' Nuovi Lincei*, XXII, sess. VII, pp. 188-202.







The 42<sup>nd</sup> Annual Conference of the Società italiana degli storici della fisica e dell'astronomia (Italian society of historians of physics and astronomy) was held in the Department of physics and geology at the University of Perugia in September 2022. This was the first live conference after the Covid 19 outbreak, with the 40th and 41st conferences being held remotely. There were just over seventy participants, including scholars from Italy and abroad with a background in history of science. The congress dealt with a remarkable number of topics:

From Herschel to Hubble: A long debate.

Planetary theories and astronomical instruments: mechanizations and visualizations between geocentrism and heliocentrism (1400-1700).

Astronomy and physics in Perugia.

Physics and diplomacy: a chain reaction.

History and didactics of physics and astronomy.

Women, sciences, scenario co-organized by SISS.

Early modern physics and astronomy.

Twentieth century physics and astronomy.

Collections, exhibitions and material culture for the history of physics and astronomy.

Physics and other sciences.

Physics and technology.

To the conference participants has been given the opportunity to visit the newly refurbished rich collection of scientific instruments of the Department of physics and geology. Particular attention was given to a model of Mercury's movement. The instrument was built in 1565 by Giacomo della Volpaia who, for the first time, assembled instruments that represented planets' three-dimensional orbits in the Ptolemaic system.

**Paolo Bussotti**, associate professor of History of science at the University of Udine. He has written numerous articles and monographs, especially on the history of physics and astronomy in the 17th century and the history of geometry and number theory in the 17th and 19th centuries.

**Danilo Capecchi** has been full professor of Mechanics of solids at Sapienza University of Rome until 2018. He published several articles and monographs on structural engineering, mathematical physics and history of mechanics and physics.

**Pasquale Tucci** has been full professor of History of physics at the University of Milan until 2013. He published several papers and books on the history of physics and astronomy.