

Il contributo della storia della fisica alla ricerca

Marisa Michelini – Unità di Ricerca in Didattica della Fisica, Università degli Studi di Udine – marisa.michelini@uniud.it

Abstract: Il contributo della storia della fisica alla didattica è molto ampio se lo si guarda dal punto di vista della ricerca didattica ed ha un ruolo dalla prima formazione dei concetti nella scuola primaria all'acquisizione di quella cultura di base in fisica, che racchiude le radici epistemiche della disciplina e che chiamiamo "identità fisica". Nelle nostre ricerche in didattica della fisica abbiamo avuto occasione di sperimentare diversi ruoli che la storia della fisica svolge nei processi di apprendimento, come la costruzione di un quadro culturale rispetto ai modelli interpretativi nei vari campi tematici, l'identificazione dei nodi concettuali nei degli studenti nel confronto con l'evoluzione dei modelli e delle teorie nel pensiero scientifico, che hanno prodotto strategie di cambiamento concettuale, di appropriazione di rappresentazioni e di argomentazioni, di processi di costruzione del pensiero formale. Vengono discussi qui i principali ruoli da noi identificati e presentati esempi di ricerca.

Keywords: Storia, Fisica, ricerca didattica, formazione.

1. Introduzione

Quando si pensa ad un contributo della storia della fisica alla didattica si apre un mondo di prospettive differenziate. Esse sono *in primis* legate ai diversi tipi di ricerca in storia della fisica. Quale storia della fisica è la prima domanda. Vediamo i principali tipi di ricerca che rispondono a questa domanda. La storia delle idee e delle teorie su uno specifico tema, che apre al pensiero critico sui problemi interpretativi in relazione all'ambito, ma apre anche la riflessione su aspetti epistemologici della disciplina. La storia degli strumenti e delle collezioni che hanno determinato le prospettive di analisi e ruolo dei musei, che raccordano scienza e tecnologia, che rappresentano un patrimonio culturale e offrono occasioni interdisciplinari di analisi. La storia dei grandi personaggi che hanno costruito nuove spiegazioni/interpretazioni/teorie e permettono uno spaccato sul mondo in cui vivevano, sull'esame dello sviluppo scientifico come impresa umana. La storia in un contesto storico: i programmi di ricerca o società come contesto complesso di abitudini, idee, etiche, mondo del lavoro, relazioni interne ed esterne, locali internazionali. L'epistemologia come prospettiva in cui guardare allo sviluppo del pensiero scientifico ed ai metodi di studio della fisica.

Si deve poi individuare a quale didattica ci si vuole riferire, perché il ruolo della storia della fisica può essere molto diverso a seconda dei contesti. Il contesto determina l'impostazione, gli obiettivi di apprendimento, le strategie e i metodi (Dewey 1985; Salomon

1993) nella progettazione didattica basata sulla ricerca (Anderson et al. 2012; Duit et al. 2012). I principali contesti sono i seguenti: 1) quello degli studenti dell'istruzione pre-universitaria, in cui la storia della fisica contribuisce in modo importante secondo tre prospettive: la formazione culturale del cittadino (Osborne 2000), l'acquisizione di una consapevolezza epistemica della disciplina (Solomon 1991) e l'aiuto ai processi di apprendimento; 2) quello universitario dell'insegnamento della storia della fisica e 3) quello della formazione degli insegnanti secondari e primari in cui la storia della fisica contribuisce giocando sia un ruolo culturale che professionale. Discuto in questa sede alcuni dei principali ruoli della storia della fisica nella didattica, con esempi maturati nel contesto della ricerca didattica, con particolare attenzione al contributo ai processi di apprendimento degli studenti pre-universitari e all'insegnamento di storia della fisica per gli studenti del corso di laurea in fisica.

2. Una riflessione sui ruoli della Storia della fisica nella sua didattica

La scienza è sempre presentata nel suo insegnamento senza storia. La sua natura di ricerca del miglior modo per pensare il mondo, con una continua individuazione di modelli e mondi che possono essere diversi e che sono cambiati nel corso della storia offre uno straordinario contributo didattico. La storia diventa una palestra per allenare l'immaginazione a costruire mondi interpretativi e permette di allargare la visione dei temi e dei contenuti. L'analisi concettuale e l'argomentazione promuovono conoscenza e appropriazione della natura della fisica come disciplina (Lederman et al. 1998). Andando oltre agli aspetti conoscitivi si identificano quindi i seguenti diversi contributi della storia della fisica alla didattica della disciplina.

Il contributo globale concettuale e metodologico (*History as Conceptual tools for learning*). Esso si identifica in due principali aspetti. Il pensiero analogico (*Analogical thinking*), che è quello che fa crescere la conoscenza ed è spontaneo nei bambini, che hanno grandi capacità di astrazione (Vigosky 1987; Mecacci 1994). La conoscenza storica di interpretazioni attiva analogie. L'altro aspetto è legato all'efficacia della narrazione e i contributi della storia in forma di *storie, che catturano per il potere emozionale e diventano motivanti, fondatrici di aspetti culturali e rilevanti nella costruzione di teorie* (Morgan 2013).

Il contributo formativo di esempi storici (*History offers example*). Vi è ormai evidenza che la trasmissione delle informazioni, soprattutto quando riguarda interpretazioni di fenomeni, non produce quella appropriazione di ipotesi interpretative che si consolida in conoscenza e competenza (Greca et al. 2000; Michelini 2018). Si devono svolgere attività in cui il personale coinvolgimento nell'apprendente orienta verso la costruzione di spiegazioni e interpretazioni per la costruzione del pensiero argomentativo (Toulmin 1958; Kuhn 1991; Wells 1999; Zohar et al. 2001; von Aufschnaiter 2004). Parallelamente al pensiero argomentativo si costruiscono metodi di studio e strategie di pensiero che producono etiche, ecologie, competenze. La storia per la formazione culturale scientifica aiuta a fondare l'idea di una cultura che evolve associata alla tecnologia, come ad esempio la storia della ruota (dal neolitico – 5000 ac all'invenzione del pneumatico – Dalton

1888), anche in prospettive diverse, come nel caso dell'evoluzione nell'uso (vasellame, trasporto, macina, spremitura, mulino) oppure nei materiali (pietra, legno, ferro, pelle...), oppure nella struttura (disco intero, assemblato, vuoto, con raggi...) o nei rivestimenti (ferro, pelle, gomma). Aiuta a gestire il cambiamento concettuale in un gioco che fonda l'epistemologia della fisica e insieme i caratteri metodologici propri come il rigore, il ruolo ed il valore dei dati, la visione globale rispetto a quella locale e contingente.

3. Il contributo al cambiamento concettuale: *History for conceptual change*

Il più importante compito della didattica della fisica è quello di far evolvere le idee degli studenti da quelle di senso comune a quelle scientifiche (Michellini 2006; Heron 2018). Come raccogliere esempi dalla storia della fisica per il cambiamento concettuale? Le ricerche in didattica della fisica ci offrono diverse prospettive. Posner & Strike (1982) con la loro teoria del conflitto cognitivo propongono di discutere le contraddizioni nelle interpretazioni e creare insoddisfazioni, favorire raccordi con analogie e metafore per costruire nuove idee, creare il bisogno di armonia, per una ecologia mentale basata sulla coerenza e semplicità e costruire il gusto dell'interpretazione sempre più ampia. Vosniadou (1992, 2008) invece sostiene che si deve favorire la ristrutturazione delle idee come evoluzione della rete interpretativa. Di Sessa (2008; 2014) rinnova il modo di pensare al cambiamento concettuale proponendo un'attenzione alle idee frammentarie dalle esperienze, che devono trovare un raccordo con enti specifici fondati disciplinarmente. La storia può essere allora un referente degli enti fondanti con cui confrontarsi. Tamir Amin (2018) con la sua focalizzazione sull'*enbody cognition* sposta il cambiamento concettuale sul vivere esperienze che costruiscono ed in questo senso sembra che si allontani dal possibile contributo della storia della fisica, ma non è così perché tra le esperienze che giocano un ruolo emotivo importante vi sono anche letture storiche e discussioni su idee interpretative.

I cognitivisti si pongono soprattutto il problema di cosa succeda alle idee spontanee. Il tema degli stati di aggregazione della materia e cambiamenti di stato fisico a partire dall'analisi dei liquidi è quello che offre maggiori risorse storiche per le discussioni di idee interpretative (da Talete, Empedocle, Anassagora, Leucippo, alchimisti, Bacon, Gilbert, Cabeo, Franklin, Coulomb, Lavoisier, Prust, Dalton e la spettroscopia). In astronomia troviamo gli ostacoli epistemologici più noti, come la distinzione tra moto celeste e terrestre, la visione geocentrica, la convinzione che la quiete non va spiegata, ma solo il moto, la separazione tra ipotesi fisiche e matematiche (v Tolomeo e gli epicicli per giustificare la teoria dominante). La discussione sulla sfericità della Terra è interessante perché la più spontanea convinzione della Terra piatta viene attribuita ad antiche affermazioni, mentre è un ostacolo concettuale. Qui troviamo possibili proposte di relazione tra storia e didattica, come le *storie di epistemologie*: proprie e della disciplina. Sono gli elementi comuni riconosciuti nella storia della fisica o nel proprio pensiero rispetto a quello di altri. Il processo comporta la loro identificazione, l'analisi delle stesse per il loro superamento e qui si innescano le proposte di favorire il conflitto cognitivo piuttosto che la continuità e si produce il *cambio dello stato ontologico degli enti*. Ne sono alcuni esempi di natura diversa: 1) lo studio del moto del sole dal nostro sistema altazimutale che viene reinquadrato nei moti relativi; 2)

l'impetus ed il *calore*, che perdono una propria natura ed esistono solo in una storia dello sviluppo dei concetti, muoiono con il superamento della filosofia naturale e la fisica di Galilei il primo e con la termodinamica il secondo, ma li troviamo sempre vivissimi nelle idee spontanee degli studenti e non è banale gestire strategie didattiche che ne facciano superare l'idea interpretativa; 3) la trasformazione di idee generali, come quella dell'*horror vacui*.

L'idea di ostacolo epistemologico di Gaston Bachelard (1985) trova ampio spazio in alcune strategie didattiche in cui si propone di discutere gli ostacoli epistemologici. La letteratura di ricerca didattica segnala come nella storia della fisica si trovino molti dei nodi concettuali degli studenti ed esplicitarli offre l'occasione per la chiarificazione degli stessi, la discussione per il loro superamento e la fiducia nella propria capacità di interpretare, superando l'abitudine a riportare nozioni (Galili, Hazan 2001; Matthews 2007; Taşar 2009). Un campo in cui gli ostacoli epistemologici sono stati usati per studiare i problemi di apprendimento e proporre attività didattiche è quello dell'ottica: la natura della luce, i colori, le ombre, con proposte su tre piani: quello della natura della luce, quello delle immagini prodotte dai diversi fenomeni ottici e quello del cammino ottico (Heron 1998; Fredlund et al. 2012; Viennot 2016).

Sono esempi noti di ostacoli epistemologici il moto dei corpi ed in particolare le convinzioni in cui si correla la velocità di caduta al peso del corpo o si giustifica come moto naturale verso la terra, oppure che la velocità con cui si muove un corpo è proporzionale alla forza agente, sicché il corpo si ferma quando la forza cessa di agire, oppure ancora si ritiene che non esista il vuoto nel quale la velocità di un corpo si immagina infinita, mentre la velocità deve essere inversamente proporzionale alla densità del mezzo in cui il corpo si muove.

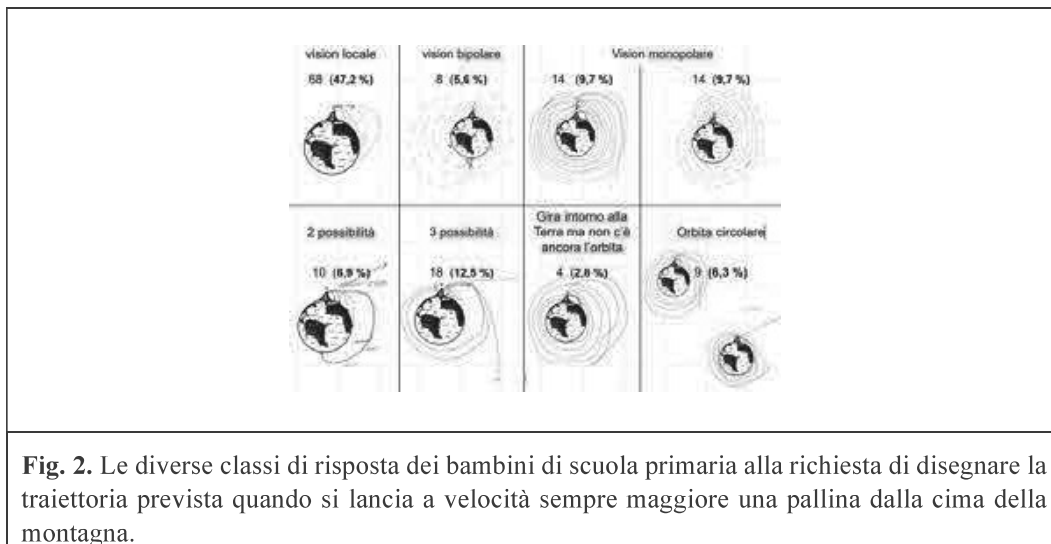
Un esempio di proposta didattica di ispirazione "storica" per lo studio del moto di caduta libera e del ruolo del sistema di riferimento è stato realizzato con la situazione di Fig. 1 in cui una scatola trasparente, contenente un sistema appeso massa-molla, vari oggetti ed un pendolo, viene lasciata cadere e ne viene filmata l'immagine nelle varie fasi di caduta libera della scatola.



Fig. 1. La scatola trasparente come ascensore realizzata nell'ambito del progetto *Gravity and Free Fall* (Bradamante F et al. 2006).

Aspetti rilevanti nel processo di apprendimento sono le rappresentazioni (Tytler et al. 2013): il tipo di rappresentazione e la multi-rappresentazione favorisce la personale costruzione ed il confronto di modelli interpretativi ed aiuta a superare ostacoli epistemologici. Le linee di campo magnetico di Ampere sono rappresentazioni fertili per la didattica della fisica: uno strumento didattico per far comprendere il concetto di campo ed in particolare la differenza tra forza e campo magnetico, che troviamo maltrattata anche in moltissimi libri di testo (Michelini et al. 2014; Guisasola et al. 2016).

Nelle nostre ricerche (Michelini et al. 2007), ci siamo avvalsi delle rappresentazioni spontanee di fenomeni e processi per guardare ai ragionamenti e discutere le diverse prospettive nello sviluppo del pensiero formale. La storia offre moltissime rappresentazioni sulle quali costruire processi di apprendimento con attività didattiche, come nel caso della rappresentazione di Newton della messa in orbita di un oggetto.



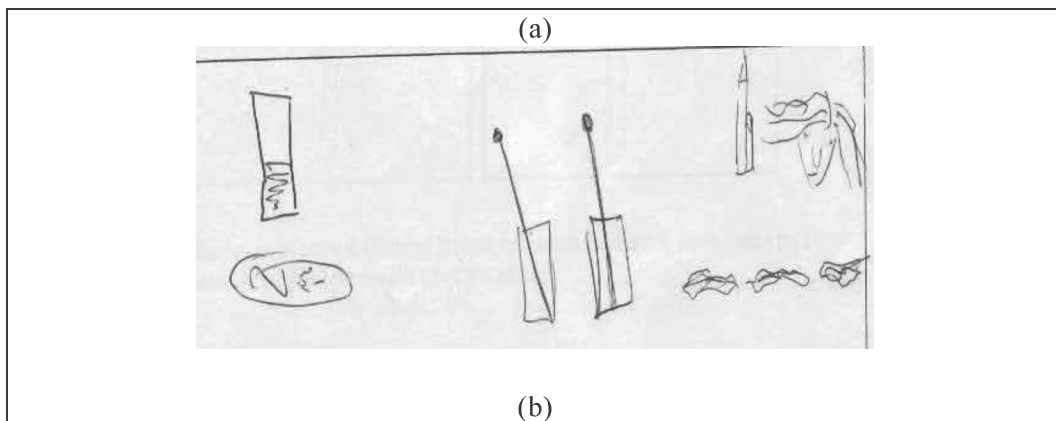
Per una significativa attività didattica abbiamo rubato l'idea di Newton con una strategia *Inquiry Based Learning (IBL)*: dopo aver giocato a lasciar cadere palline tenute in mano o lanciate dal tavolo con velocità diverse ed osservate le traiettorie paraboliche di queste ultime, abbiamo invitato i bambini della scuola primaria a rappresentare le traiettorie delle palline lanciate con velocità crescente da una grande montagna posta sulla terra. Le categorie di risposta della Figura 2 ci hanno permesso di discutere i nodi concettuali di chi pensa che la caduta sia sempre verso il basso, di chi pensa che ci sia una velocità di fuga, di chi immagina la gravità terrestre in termini bipolari (e faccia implicita analogia tra campo gravitazionale e magnetico) e di chi arriva a prevedere l'orbita, producendo un apprendimento tra pari rapido e profondo, perché considera le diverse idee degli apprendenti a confronto durante la costruzione della conoscenza (Bradamante et al. 2006).



Fig. 3. Modello oggettivo per studiare la caduta dei corpi.

Abbiamo riletto il modello di spazio-tempo di Arthur Eddington in termini oggettuali (modello oggettivo di Fig. 3 per rappresentare il campo gravitazionale con un telo elastico inchiodato a una cassetta al centro del quale abbiamo messo una grande massa e dai bordi del quale abbiamo lanciato palline con diversa velocità iniziale. I bambini si sono confrontati con la caduta libera e la pallina che orbita intorno alla grande massa, riguardando la caduta di un oggetto in termini globali.

Un bell'esempio di intreccio tra storia e didattica che sfrutta le rappresentazioni per costruire concetti lo abbiamo ottenuto con lo studio dell'elettrostatica. Abbiamo strofinato sulla stoffa di una sedia una pallina di metallo attaccata ad una bacchetta di legno e poi abbiamo chiesto di fare un disegno di ciò che avevamo fatto (Fig. 4).



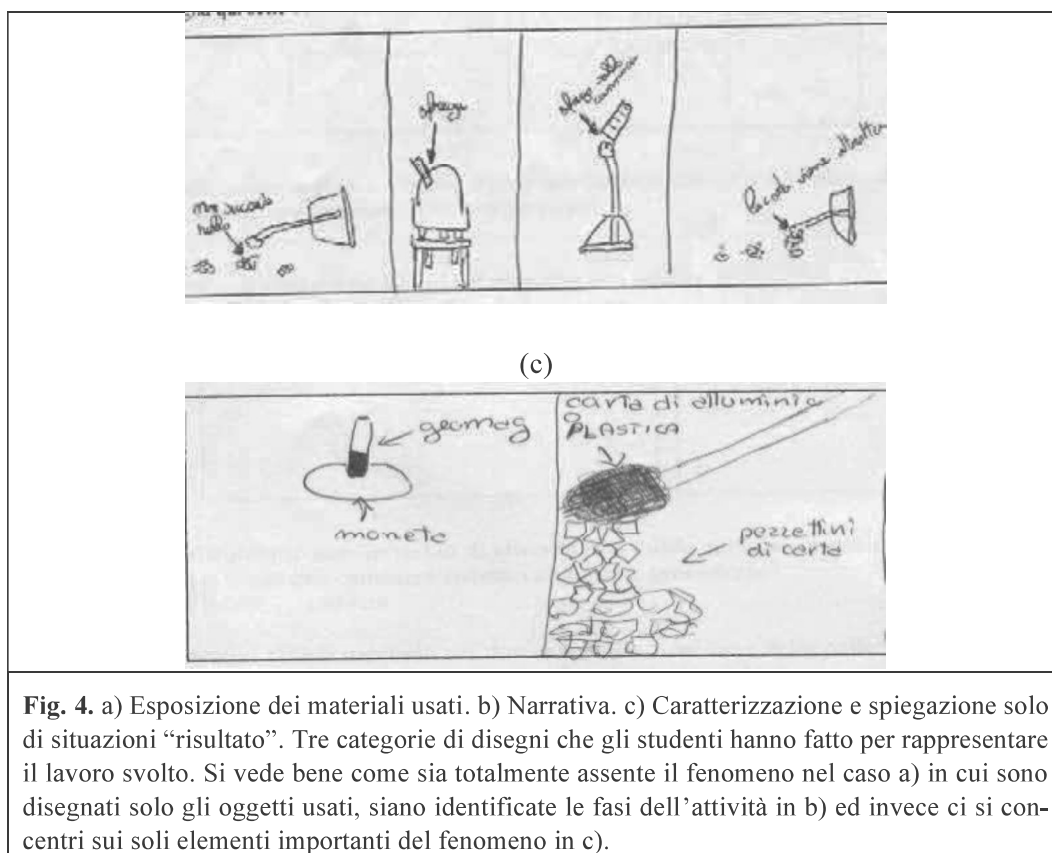


Fig. 4. a) Esposizione dei materiali usati. b) Narrativa. c) Caratterizzazione e spiegazione solo di situazioni “risultato”. Tre categorie di disegni che gli studenti hanno fatto per rappresentare il lavoro svolto. Si vede bene come sia totalmente assente il fenomeno nel caso a) in cui sono disegnati solo gli oggetti usati, siano identificate le fasi dell’attività in b) ed invece ci si concentri sui soli elementi importanti del fenomeno in c).

Successivamente abbiamo chiesto di rappresentare come si immaginavano l’interno dell’oggetto strofinato prima e dopo averlo strofinato (Fig. 5).

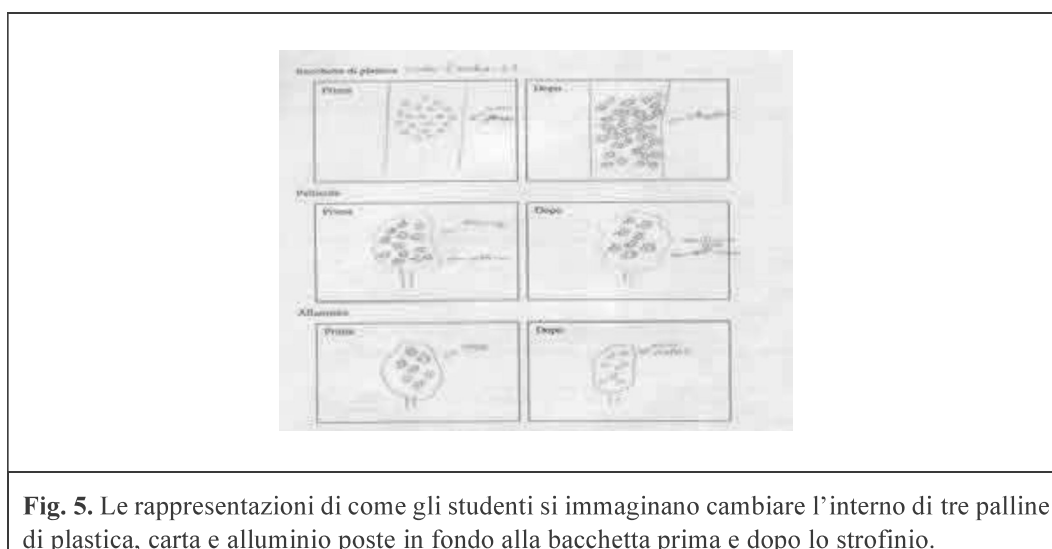


Fig. 5. Le rappresentazioni di come gli studenti si immaginano cambiare l’interno di tre palline di plastica, carta e alluminio poste in fondo alla bacchetta prima e dopo lo strofinio.

Siamo rimasti sorpresi di come le ipotesi portate dai bambini siano quelle che si trovano nella storia delle interpretazioni scientifiche dell'elettrizzazione: particelle che si eccitano o si ordinano o cambiano in numero. La costruzione di modelli ed il tipo di modello (macroscopico, mesoscopico e microscopico), oltre che il ruolo del modello stesso nel processo interpretativo sono fortemente influenzati dal linguaggio grafico ed iconografico, come del resto la letteratura pedagogica (Damiano 1999) ci insegna essere i mediatori culturali.

Il tipo di spiegazioni piuttosto che interpretazioni (Etkina 2006; 2015), nonché i modelli (van der Berg et al. 2006), riconosciuti con il loro ruolo nelle teorie, sono determinate dalle strategie didattiche e nello stesso tempo determinano il tipo di apprendimento (Michelini 2014). Esse sono il fulcro della ricerca in didattica della fisica e favoriscono la costruzione di un personale metodo di studio, ma anche orientano l'epistemologia personale verso la disciplina, per questo motivo la storia della fisica può dare un fondamentale contributo verso una visione globale, offrendo esempi diversi di tipo metodologico. Per questa finalità è spesso necessario curvare il contributo della storia a scopo didattico e non è un qualunque tipo di storia della fisica, che possa essere utile: serve quella linea di ricerca storica che guarda all'evoluzione delle idee e dei concetti. Si apre così la necessità di studi integrati di storia e didattica.

Il Rapporto della fisica con la matematica è insieme un problema ed un contenuto della conquista di una cultura in fisica per ogni studente (Pospiech et al. 2019). La fisica come scienza formalizzata non può dirsi appresa se, oltre alla conoscenza concettuale, non comprende il linguaggio della matematica. La sola narrazione non costruisce fisica: ecco allora che l'esplorazione del modo in cui nella storia della scienza è stata usata la matematica aiuta a maturare questa dimensione della conoscenza fisica. Il farlo però implica uno studio integrato di ricerca in didattica e in storia. Lo abbiamo vissuto in una ricerca sulla conduzione del calore in cui abbiamo costruito il difficile formalismo della legge di diffusione alle differenze finite usando i ragionamenti di Fourier (Girardini et al. 1991).

4. La storia integrata nella didattica

Esempi espliciti esperiti in cui la storia della fisica è entrata nella didattica sono letture storiche e discussioni critiche utilizzando testi originali di scienziati, oppure la realizzazione in sede didattica di esperimenti storici da discutere e da rivivere, anche per realizzare strategie di problematizzazione nell'indagine conoscitiva e nell'analisi di spiegazioni (*problem solving*).

Un magistrale esempio lo ha portato Elio Fabbri al Congresso AIF di Pisa in cui si mise ad utilizzare le osservazioni originali di Galileo Galilei sui satelliti di Giove per ricostruire come dalle immagini statiche in tempi noti abbia riconosciuto un moto armonico e lo abbia guardato come proiezione di un moto circolare uniforme scoprendo così che stava guardando dei satelliti.

Un altro esempio lo abbiamo recentemente inserito in un percorso didattico sulla spettroscopia ottica (Buongiorno et al. 2017), in cui abbiamo usato l'articolo originale di Balmer (1885) per la costruzione concettuale del significato di riga spettrale rispetto al processo

di emissione.

Un capitolo a parte merita il discorso delle modalità con cui offrire agli studenti l'appropriazione della natura della scienza nel suo profondo senso epistemologico: una vasta letteratura propone attività differenziate, che spesso si confrontano con quelle di costruzione concettuale qui discusse. Mi limito in questa sede all'esempio dell'insegnamento della storia della fisica all'università.

5. La storia della fisica per i fisici all'università

Nel mio insegnamento di storia della fisica al IV anno del Corso di Laurea in Fisica del vecchio ordinamento ad indirizzo teorico (1990), feci una scelta di approfondimenti di tipo epistemologico e di due teorie: la termodinamica e la meccanica quantistica. Ciascuna parte ebbe peso rilevante rispetto alla durata del corso: 40% del tempo per la parte epistemologica e 30% ciascuna delle altre due parti. La parte di epistemologia è consistita in una discussione critica piuttosto approfondita dei modelli epistemici in fisica, dall'empirismo al modello induttivo, al realismo, al positivismo, i modelli falsificazionista e verificazionista, le teorie come strutture, la rappresentazione di Lakatos e Kuhn, discutendo le rivoluzioni scientifiche e le continuità nelle teorie, il rapporto tra teoria ed esperimento fino alla visione per programmi di ricerca. Abbiamo discusso prima un piccolo ed interessante libretto (Chalmers 1979) ripercorrendo come le più moderne teorie studiate siano state guardate dagli studenti in termini epistemici rispetto alla fisica classica. Ciò ha contribuito alla formazione di un'identità fisica mediante esplorazione della natura della scienza (Solomon 1991). Abbiamo poi trattato la termodinamica, affrontando con tutto il suo formalismo la teoria termodinamica di De Cartes: i fisici teorici hanno imparato molto in questo esempio delle basi epistemiche del loro lavoro. Il ruolo della storia della fisica è stato di tipo formativo per imparare a guardare la fisica in termini globali e culturali ed anche esemplificativo di contesti in cui identificare modelli epistemologici. La meccanica quantistica è stata una nuova sfida per loro. L'avevano affrontata in due modi: nel corso di struttura della materia con il percorso storico di tipo quantitativo (Born 1969), che dal problema del corpo nero sviluppa il lungo e sofferto percorso di quantizzazione delle grandezze fisiche, con l'esame dei fenomeni critici dal punto di vista interpretativo (esperimenti di Millikan, Frank ed Hertz, effetti fotoelettrico, Compton, Zeeman normale ed anomalo) e poi con un approccio di tipo ondulatorio in fisica teorica. Ne ho proposto l'esame secondo una prospettiva completamente diversa, di tipo vettoriale (Dirac 1958), con un approccio mutuato da Toraldo di Francia (1975). La mia proposta è stata ricostruire i fondamenti concettuali nei tre approcci, facendone un esame comparato ed una discussione critica: è stato un ruolo della storia di tipo concettuale, che ha fatto ricostruire agli studenti, in chiave diversa, principi che sapevano applicare in esercizi, ma al cui profondo significato nella teoria non avevano pensato e spesso non erano consapevoli. Anche il confronto di alcuni concetti che cambiano significato dalla fisica classica a quella quantistica è stato importante: si sono resi conto che lo stato nel caso quantistico ha significato molto diverso che nel caso classico, così come la misura cambia

di ruolo e significato, che i principi di sovrapposizione per onde e per stati quantici sono diversi non solo formalmente e che il formalismo in meccanica quantistica assume un ruolo fondante delle idee, anche leggendo i primi capitoli di altri testi di meccanica quantistica (Sakurai 1985). La commutatività per esempio fa distinguere tra proprietà mutualmente esclusive ed incompatibili. Leggendo Feynman (Feynman 1985) hanno consolidato una visione culturale della storia della fisica moderna ed hanno avuto piacere di effettuare anche una riflessione di tipo filosofico (Shimony 1989).

Questo esempio di un corso di storia della fisica molto orientato alla ricostruzione della conoscenza in termini operativi, con quella visione di ricostruzione critica dei concetti nel contesto storico serve alla formazione culturale globale (Lederman et al. 1998) e offre anche l'occasione per svolgere una personale indagine storica. L'argomentazione (Toulmin 1958) in questo approccio assume ruolo fondante ed ha valenza in termini di apprendimento, come diversi studi evidenziano (Kuhn 1991; Osborn 2005). Per i fisici teorici è stata fondamentale nel ripercorrere e consolidare molti concetti e prepararsi a quello che allora era il colloquio pre-laurea. Quella presentata è stata una scelta del ruolo della storia della fisica mirato a processi di apprendimento e culturali. Molte altre qualificate impostazioni per un obiettivo culturale nell'identità dei fisici sono percorribili, ma in quanti corsi di laurea magistrale in fisica vi è oggi un corso di storia della fisica?

6. Conclusioni

Il contributo della storia della fisica nella didattica della stessa disciplina è molteplice in termini di prospettiva così come in termini di contesti. Nella ricerca didattica la storia della fisica ha un ruolo importante già nell'individuazione delle strategie di costruzione concettuale nella scuola primaria ed assume sempre più un ruolo funzionale alla conoscenza, metodologico e culturale nell'istruzione secondaria per diventare palestra disciplinare e formazione epistemologica all'università. A partire dalle ricerche in didattica della fisica si sono discussi in questa sede i contributi: conoscitivo, metodologico, concettuale, epistemologico ed etico, disciplinare e funzionale all'apprendimento dei concetti: la storia che ispira l'azione didattica. Un'attenzione particolare è riservata al suo contributo nella lettura delle idee dei ragazzi. Nell'analisi e negli esempi si indicano anche le corrispondenti modalità didattiche: narrazioni, letture, *problem solving* critici, la rivisitazione di ricerche, studi e indagini, esperimenti storici e la meta-riflessione sulle proprie idee.

Bibliografia

- Abd-El-Khalick, F. (2005). "Developing deeper understandings of nature of science: The impact of a philosophy of science course on preservice science teachers' views and instructional planning". *International Journal of Science Education*, 27(1), pp. 15–42.
- Amin T. G. (2009). "Conceptual Metaphor Meets Conceptual Change". *Human Development*, 52(3), pp. 165–197.

- Anderson T., Shattuck, J. (2012). “Design-Based Research: A Decade of Progress in Education Research?”. *Educational Researcher*, 41 (1), pp. 16-25.
- Bachelard G. (1986). *L'attività razionalistica nella fisica contemporanea*. Milano: Jaca book.
- Born M. (1969). *Atomic Physics*. Glasgow: Blackie&Son Ltd.
- Bradamante F., Michelini M. (2006). *Cognitive Laboratory: Gravity and Free Fall from Local to Global Situations*, in *Informal Learning And Public Understanding Of Physics*, Planinsic G., Mohoric A. (eds), selected papers in Girep Book. Ljubijana (SLO): Ljubljana University press, pp. 359-365.
- Buongiorno D., Michelini M. (2019). *The conceptual contribution of the history in learning physics: the case of optical spectroscopy*, in *Atti del XXXVII Convegno SISFA (Bari 26-29 settembre 2017)* [online]. URL: <<http://www.sisfa.org/pubblicazioni/atti-del-xxxvii-convegno-annuale-sisfa/>>.
- Chalmers A. F. (1979). *Che cos'è questa scienza?*. Milano: Mondadori.
- Damiano E. (1999). *L'azione didattica. Per una teoria dell'insegnamento*. Roma: Armando Editore.
- Dewey J. (1985). *Context and Thought*, in *The Later Works, 1925-1953*, Vol. 6 (1931-1932), Boydston J. A. (ed), Carbondale: Southern Illinois University Press.
- Dirac P. A. M. (1958). *The Principles of Quantum Mechanics*. Oxford: Calderon Press.
- diSessa A. A. (2008). “A «theory bite» on the meaning of scientific inquiry: A companion to Kuhn and Pease”. *Cognition and Instruction*, 26(4), pp. 560-566.
- diSessa A. A. (2014). *A history of conceptual change research: Threads and fault lines*, in K. Sawyer (ed), *Cambridge handbook of the learning sciences* (second edition). Cambridge (UK): Cambridge University Press, pp. 88-108.
- Duit R., Gropengießer H., Kattmann U., Komorek M. and Parchmann I. (2012). *The Model of Educational Reconstruction - a framework for improving teaching and learning science*, in Jorde D., Dillon J. (eds), *Science Education Research and Practice in Europe*. Rotterdam: Sense Publishers, pp. 13-37.
- Etkina E., Van Heuvelen A., White-Brahmia S., Brookes D. T., Gentile M., Murthy S. (2006). “Developing and assessing student scientific abilities”. *Physical Review. Special Topics, Physics Education Research*. 2, 020103.
- Etkina, E. (2015). “Millikan award lecture: Students of physics - Listeners, observers, or collaborative participants in physics scientific practices?”. *American Journal of Physics*, 83(8), pp. 669-679.
- Feynman R. P. (1985). *QED: The Strange Theory of Light and Matter*. Princeton: University Press.
- Fredlund, T., Airey, J., Linder, C. (2012). “Exploring the role of physics representations: an illustrative example from students sharing knowledge about refraction”. *European journal of physics*, 33(3), pp. 657-666.
- Galili I, Hazan A (2001). “Experts’ Views on Using History and Philosophy of Science in the Practice of Physics Instruction”. *Science & Education*, 10, pp. 345–367. Kluwer Academic Publishers: the Netherlands.
- Girardini D., Sconza A., Mazzega E., Michelini M. (1991). “Studio della conduzione del calore con l'utilizzo del computer on-line”. *La Fisica nella Scuola*, XXIV, 2, p.71
- Greca I. M., Moreira M. A. (2000). “Mental models, conceptual models and modelling”. *IJSE* 22, pp. 1-11.
- Guisasola, J., Hartlapp M., Hazelton R., Heron P., Lawrence I., Michelini M., Peeters W., Pospiech G., Stefanel A., Vercellati S., Zuza K. (2016). *Content-Focused Research for*

- Innovation in Teaching/Learning Electromagnetism: Approaches from GIREP Community*, in Papadouris N. et al. (eds), *Insights from Research in Science Teaching and Learning. Contributions from Science Education Research*, Volume 2 of the series *Contributions from Science Education Research*, pp. 89-105.
- Heron P. R. L., McDermott L. C. (1998). "Bridging the Gap Between Teaching and Learning in Geometrical Optics: The Role of Research". *Optics and Photonics News*, 9.
- Heron P. R. L. (2018). *Identifying and Addressing Difficulties: Reflections on the empirical and theoretical basis of an influential approach to improving physics education*, in Henderson C., Harper K. A. (eds), *Getting Started in PER, Reviews in PER Vol. 2* (Vol. 2). College Park, MD: American Association of Physics Teachers.
- Kuhn, D. (1991). *The Skills of Argument*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lederman, N., Abd-el-Khalick, F. (1998). *Avoiding the De-natured Science: Activities that promote understandings of the Nature of Science*, in McComas W. F. (ed), *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*. Dordrecht: Kluwer, pp. 83–126.
- Matthews M. (2007). "Grit: perseverance and passion for long-term goals". *J Pers Soc Psychol*, 92(6), pp. 1087-101.
- Mecacci L. (1994). *Storia della psicologia del Novecento*. Bari: Laterza.
- Michelini M. (2006). *The Learning Challenge: A Bridge Between Everyday Experience And Scientific Knowledge*, in Planinsic G., Mohoric A. (eds), *Informal Learning And Public Understanding Of Physics*, selected papers in Girep book. Ljubljana (SLO): Ljubljana University press, pp. 18-39.
- Michelini M. (2014). "La ricerca didattica italiana nei progetti Europei e non solo: una Tavola Rotonda al Congresso SIF di Trieste, 2013". *Il Giornale di fisica*, 3, p. 213-216
- Michelini M. (2018). *Labs in building a modern physics way of thinking*, in Sokolowska D., Michelini M. (eds), *The role of Laboratory Work in Improving Physics Teaching and Learning*. Cham, Switzerland: Springer Natureham.
- Michelini M., Mossenta A. (2007). *Role play as a strategy to discuss spontaneous interpreting models of electric properties of matter: an informal educational model*, in Van den Berg E., Ellermeijer T., Slooten O. (eds), *Modelling in Physics and Physics Education*, selected papers in GIREP publication. Amsterdam: University of Amsterdam, pp. 940-948 [online]. URL: <www.girep2006.nl>.
- Michelini M., Vercellati S. (2014). *Exploring the sources of magnetic field and the interactions between them to interpret electromagnetic induction: a proposal of conceptual laboratory*, in Kaminski W., Michelini M. (eds), *Teaching and Learning Physics today: Challenges? Benefits?*, selected paper books of the International Conference GIREP-ICPE-MPTL 2010, Reims 22-27 August 2010. Udine: Lithostampa, pp. 229-234.
- Morgan M. S. (2013). *The world in the model. How economics work and think*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Osborn J. (2005). *The role of argument in science education*, in Boersma K. et al. (eds), *Research and the Quality of Science Education*. Netherlands: Springer, pp. 367-380.
- Osborne J. F. (2000). *Science for Citizenship*, in Monk M., Osborne J. F. (eds), *Good Practice in Science Teaching: What Research Has to Say*. Buckingham: Open University Press, pp. 225–240.
- Posner G.J., Strike K.A., Hewson P.W., Gertzog W.A. (1982). "Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change". *Science Education*, 66, pp. 211-227.

- Pospiech G., Michelini M., Bat-Sheva Eylon (eds) (2019). *Mathematics in Physics Education*. Springer Nature Switzerland AG.
- Sakurai J. J. (1990). *Modern Quantum Physics*. Reading: Addison-Wesley.
- Salomon G. (1993). *Distributed Cognitions. Psychological and Educational Considerations*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Shimony A. (1989). *Search for a worldview which can accommodate our knowledge of microphysics*, in Cushing J. T., Mullin E. M. (eds), *Philosophical consequences of quantum theory*. Paris: University of Notre Dame Press.
- Solomon J. (1991). *Exploring the Nature of Science: Key Stage 3*. Glasgow: Blackie.
- Taşar M. F., Çakmakçı G. (eds) (2009). *Contemporary science education research: teaching* [online]. URL: <<https://silo.tips/download/editors-m-f-taar-g-akmakci>>.
- Toraldo Di Francia G. (1975). *Teaching Formal Quantum Physics*, in Loria A., Thomsen P. (eds), *Seminar on the teaching of physics in schools 2*. Gyldendal: GIREP, pp. 318-329.
- Toulmin S. (1958). *The Uses of Argument*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tytler R., Prain V., Hubber P., Waldrip B. (2013). *Constructing representations to learn in science*. Boston: SensePublishers [online]. URL: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=578379>>.
- Van der Berg E., Ellermeijer T., Sloten O. (2006). *Modelling in Physics and Physics Education*, Girep book of selected papers, AMSTEL: Amsterdam.
- Viennot L. (2016). *Thinking in Physics. The pleasure of reasoning and understanding*. Switzerland: Springer.
- Vigosky L. S. (1987). *Il processo cognitivo*. Torino: Boringhieri.
- von Aufschnaiter C. (2004). *Argumentation and Cognitive Processes in Science Education*. Paper presented at the Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching. Vancouver.
- Vosniadou S. (2008). *International handbook of research on conceptual change*. New York: Routledge.
- Wells G. (1999). *Dialogic Inquiry: Towards a sociocultural theory and practice of education*. New York: Cambridge University Press.
- Zohar A., Nemet F. (2002). “Fostering Students’ Knowledge and Argumentation Skills Through Dilemmas in Human Genetics”. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(1), pp. 35–62.



Società Italiana degli Storici
della Fisica e dell'Astronomia

Atti del XXXIX Convegno annuale
Proceedings of the 39th Annual Conference
Pisa, 9-12 Settembre 2019

a cura di / *edited by*
Adele La Rana, Paolo Rossi

Comitato editoriale
Fabrizio Bònoli, Danilo Capecchi, Pasquale Tucci

P I S A
UNIVERSITY
PRESS