

## LA DIMENSIONE SPERIMENTALE NELL'INSEGNAMENTO DELLA FISICA

di Paola Balzarotti\*

*Il metodo sperimentale non consiste in una successione meccanica di operazioni concettuali e di tecniche operative, ma esige una messa in gioco della ragione nella sua interezza. L'autrice riferisce a questo riguardo la sua esperienza di docente di fisica al liceo scientifico, supportando il suo racconto con incisivi testi di alcuni grandi scienziati.*

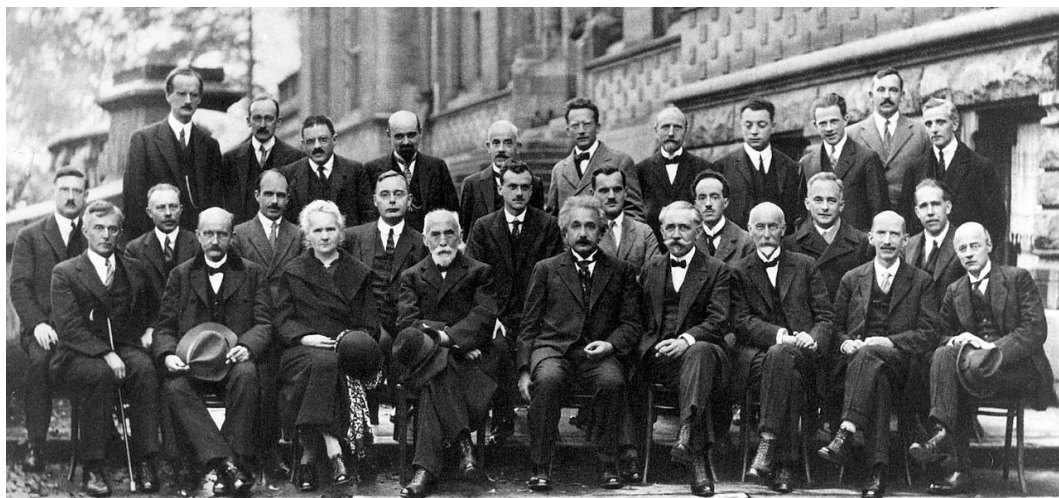
\* Docente di Matematica e Fisica al Liceo Scientifico dell'Istituto Scolastico "Don Carlo Gnocchi" di Carate Brianza

Il metodo conoscitivo in fisica ha come sua caratteristica *l'esperimento*. Si possono realizzare esperimenti per verificare una legge fisica, per introdurre un nuovo argomento e per scoprire come vanno le cose, per misurare una grandezza....

Perché spendere del tempo in laboratorio e come farlo rendere al meglio?

L'attività sperimentale è utile se migliora la comprensione degli studenti, se approfondisce la conoscenza per gli studenti e per il docente. Non in tutti i casi e non in tutte le circostanze è utile: lo è quando la scelta tra farla o non farla si traduce in un incremento o meno di esperienza, cioè di approfondimento del nesso tra un particolare e il tutto.

La scelta degli esperimenti deve rispettare l'essenzialità: è inimmaginabile quanto i ragazzi abbiano bisogno di osservare, di vedere incarnato ciò che hanno studiato, ma bisogna anche educarli al fatto che la conoscenza in fisica procede con l'esercizio della ragione in tutte le sue sfaccettature. Dico sempre agli studenti che il pensiero va più lontano delle mani. Spesso è la matematica che chiarisce le idee riguardo a un fenomeno



Fisici al quinto Congresso Solvay 1927

prima ancora della realizzazione di un esperimento per riprodurre certe condizioni. Cito di seguito un brano tratto dal testo *L'allievo come scienziato?* di Rosalind Driver (1941-1997).

*«La concezione empiristica della scienza afferma che le idee e le teorie scientifiche si ottengono per un processo di induzione. Chi conduce delle indagini, si tratti di alunni o di scienziati esperti, dovrebbe procedere attraverso una sequenza di processi organizzati gerarchicamente, a partire dall'osservazione di "fatti". Sulla base di tali fatti si possono fare delle generalizzazioni e indurre delle ipotesi o delle teorie.*

*Tuttavia l'attuale filosofia della scienza sostiene che questa concezione è erronea in quanto le ipotesi o le teorie non si collegano in nessun modo deduttivo con i dati cosiddetti "oggettivi", ma sono delle costruzioni, dei prodotti dell'immaginazione umana. Il loro collegamento con il mondo concreto si realizza attraverso il processo della verifica e dell'eventuale confutazione» [1].* E ancora della stessa autrice:

*«L'osservazione non consiste in una registrazione passiva di un fenomeno come si trattasse di una immagine che viene prodotta da una macchina fotografica. Si tratta invece di un processo attivo col quale l'osservatore controlla le proprie percezioni confrontandole con le proprie aspettative [...] Finché le osservazioni non servono a rispondere ad una domanda posta con chiarezza è possibile che i ragazzi non registrino accuratamente quel che vedono» [2].*

Quindi, educare gli studenti all'osservazione significa educarli a usare la ragione intera, direi a mettere in gioco se stessi.

### **Mettere a fuoco una domanda: cosa voglio capire?**

Il primo passo nel progettare un esperimento è la messa a fuoco di una domanda: cosa voglio capire?

Lo sperimentatore, anche se è un ragazzo di 16-17 anni, è immerso nell'oggetto e attirato da esso.

La dimensione sperimentale nelle scienze si dimostra metodo adeguato per un particolare oggetto della realtà naturale, si oppone all'inevitabile tendenza di proiettare le proprie idee sulla realtà o di fermarsi alle apparenze, abitua all'imprevisto e all'uso del buon senso: è una disposizione dell'animo che riguarda l'intero cammino di conoscenza in ambito scientifico.

L'attività di laboratorio è un potente strumento di conoscenza, ma non produce automaticamente conoscenza! Quindi l'attività deve essere curata e ordinata dall'insegnante che fa sorgere le domande e ne guida lo sviluppo perché conosca la meta.

La progettazione e la discussione aiutano l'immedesimazione e l'immaginazione, aiutano a imparare a distinguere gli aspetti fondamentali da quelli accessori. Non bisogna mai avere la pretesa di chiudere in sé un esperimento: esso può aprire nuove domande e può presentare situazioni inaspettate.

Il tempo a disposizione richiede che si facciano scelte molto mirate e significative dal punto di vista sia sperimentale sia teorico; per esempio il principio di conservazione dell'energia è un contenuto che si presta a essere approfondito sperimentalmente e fenomeni come le oscillazioni in generale e le oscillazioni smorzate possono essere efficacemente esplorati in laboratorio.

### **Il ruolo dell'esperimento ideale**

Proprio perché l'attività sperimentale ha una valenza educativa il suo ruolo e la sua

forma cambiano con gli anni: l'impostazione al biennio del liceo è diversa rispetto al triennio. Già dopo il primo anno e, soprattutto con la conclusione della cinematica, diventa esperienza sempre più consolidata la corrispondenza tra il fenomeno e la capacità della nostra mente di comprenderlo. La soluzione dei problemi di cinematica abitua gli studenti a domandarsi: cosa ci aspettiamo? Oppure: ciò che ho ottenuto è verosimile? Da un lato essi si abituanano a tenere un nesso profondo tra il *fatto* e il *modello*, dall'altro fanno esperienza che a volte il modello svela aspetti che l'occhio non vede, ma che poi possono essere cercati e studiati. Mi riferisco, per esempio, alle considerazioni sul moto di caduta libera quando si osserva in laboratorio che sferette di diversa massa lasciati cadere dalla stessa quota arrivano a terra nel medesimo istante.

La riflessione su aspetti come questo mette in luce il fatto che il pensiero, anche e soprattutto il pensiero logico-matematico, è talvolta più potente dell'apparenza dedotta da un dato empirico. Mi ha sempre colpito, negli anni, che spesso risulta assai più convincente di tante osservazioni l'esame dei cosiddetti esperimenti ideali, nei quali la dimensione sperimentale si sviluppa e accompagna un ragionamento, fondando la comprensione su punti certi, anche senza che sia necessario un esperimento vero e proprio!

Così trovo che in alcuni casi sia addirittura più istruttivo seguire il percorso opposto nell'introdurre un nuovo argomento: dall'esame di un *esperimento ideale* alla legge. Questo tipo di impostazione è ben delineato nei brani che seguono tratti da *L'evoluzione della fisica* di Albert Einstein (1879-1955) e Leopold Infeld (1898-1968).

«Uno dei problemi fondamentali, durante millenni, completamente oscurato dalla sua complessità, è quello del moto. Invero, i moti che abbiamo occasione di osservare intorno a noi, come quello di un sasso lanciato in aria, di una nave veleggiante in mare, di un carrello spinto lungo una strada, sono tutti assai intricati. Per capire tali fenomeni è consigliabile cominciare dal più semplice dei casi per poi passare ai più complessi. Consideriamo un corpo in riposo, vale a dire affatto privo di moto. Per cambiarne la posizione occorre esercitare su di esso un'azione qualsiasi, ossia, spingerlo, sollevarlo, o ricorrere ad altri corpi, quali un cavallo o una macchina a vapore, che agiscano su di esso. La nostra idea intuitiva è che il moto sia connesso con l'azione di spingere, sollevare o tirare. Ripetute esperienze ci inducono a ritenere che bisogna spingere con maggior forza se si vuole che il corpo si muova più celermente. La conclusione che quanto maggiore è l'azione esercitata su un corpo, tanto maggiore è anche la sua velocità, si presenta come la più naturale. Una vettura a quattro cavalli è più celere di una tirata da due soli cavalli. L'intuizione ci dice che la velocità è sostanzialmente legata all'azione. [...] Nella Meccanica, durante duemila anni attribuita ad Aristotele, si legge: "Il corpo in moto si arresta, allorché la forza che lo spinge non può più oltre agire in modo da spingerlo".

[...] Ma dov'è che l'intuizione sbaglia? È mai possibile che ci sia errore nel ritenere che una vettura tirata da quattro cavalli sia più celere di una tirata da due soltanto? [...] Supponiamo che un uomo segua una strada dritta e piana, spingendo innanzi a sé un carrello a quattro ruote e che ad un certo tratto cessi di spingere. Il carrello non



Albert Einstein e Leopold Infeld

si fermerà subito ma continuerà a muoversi per una breve distanza. Domandiamoci: come faremo per accrescere questa distanza? I mezzi idonei sono diversi e cioè ungere le ruote e spianare meglio la strada. Quanto più facilmente gireranno le ruote e quanto più liscia sarà la strada e tanto più a lungo seguirà a muoversi il carrello. Ma che cosa è avvenuto in realtà con la lubrificazione delle ruote e con il levigamento della strada? Semplicemente questo: le influenze o resistenze esterne sono state ridotte. Gli effetti di quello che si chiama attrito tanto fra le ruote ed il carrello, come fra le ruote e la strada, sono scemati. Ancorché tale interpretazione possa sembrare arbitraria, atteniamoci ad essa e facciamo un altro decisivo passo innanzi; troveremo l'indizio buono. Figuriamoci una strada perfettamente piana e liscia, nonché ruote assolutamente senza attrito. In tal caso nulla arresterebbe più il carrello, cosicché esso continuerebbe a muoversi indefinitamente. Siamo giunti a questa conclusione avvalendoci di un esperimento ideale che in realtà non può mai venir eseguito, perché è materialmente impossibile eliminare tutte le influenze esterne. Questo esperimento ideale conduce all'indizio basilare della meccanica del moto» [3].

### **Il ruolo della matematica.**

Al triennio, l'immaginazione è potenziata dall'incrementata familiarità con il metodo e la consapevolezza del ruolo della matematica aiuta nell'elaborazione del modello e nel controllo degli esiti dell'esperimento.

Sono i ragazzi stessi che chiedono un'evoluzione nell'approccio all'attività sperimentale. È stupefacente come sempre più sentono la necessità di non separare la matematica dalla fisica, proprio come avviene nell'esperienza di un fisico.

E la matematica non è solo un linguaggio. Per i fisici la matematica è lo strumento per ragionare.

Cito dal testo *The character of physical law* di Richard Feynman (1918-1988).

«But I do not think it is possible, because mathematics is not just another language. Mathematics is a language plus reasoning; it is like a language plus logic. Mathematics is a tool for reasoning. It is in fact a big collection of the results of some person's careful thought and reasoning. By mathematics it is possible to connect one statement to another. For instance, I can say that the force is directed towards the sun. I can also tell you, as I did, that the planet moves so that if I draw a line from the sun to the planet, and draw another line at some definite period, like three weeks, later, then the area that is swung out by the planet is exactly the same as it will be in the next three weeks, and the next three weeks, and so on as it goes around the sun. I can explain both of those statements carefully, but I cannot explain why they are both the same. The apparent enormous complexities of nature, with all its funny laws and rules, each of which has been carefully explained to you, are really very closely interwoven. However, if you do not appreciate the mathematics you cannot see, among the great variety of facts, that logic permits you to go from one to the other» [4].

Nella mia esperienza l'esempio più calzante di quanto ho detto è rappresentato dallo studio delle oscillazioni. Per i ragazzi l'argomento è molto astratto e faticano anche a immaginare e dare corpo al nesso tra il fenomeno e il modello finché non lo vedono in laboratorio. Un esperimento utile può essere, per esempio, la generazione dell'onda usando pendoli identici, tutti agganciati al medesimo cavo (può essere una corda di chitarra) a distanze regolari; percuotendo il primo pendolo la perturbazione armonica si trasmette agli altri pendoli attraverso il cavo: l'esito è la visualizzazione della propagazione di un'onda in un mezzo materiale. Altri possono essere l'interferenza, i battimenti, l'onda stazionaria. Infine un esempio interessante per comprendere il nesso tra la matematica e la fisica che abitualmente discuto

secondo Richard Feynman, come presentata nel testo: *Feynman's Lost Lecture: The Motion of Planets Around the Sun*; è la trascrizione di una conferenza che Feynman ha tenuto nel 1963 a Princeton, nella quale dimostra che le orbite di un corpo sottoposto a una forza centrale sono ellittiche, utilizzando unicamente metodi geometrici [5].

Paola Balzarotti

(Docente di Matematica e Fisica al Liceo Scientifico dell'Istituto Scolastico "Don Carlo Gnocchi" di Carate Brianza)

#### Indicazioni bibliografiche

- [1] R. Driver, *L'allievo come scienziato?*, Zanichelli, Bologna 1988, p.85.
- [2] ibidem, pp. 16-20.
- [3] A. Einstein e L. Infeld, *L'evoluzione della fisica*, Boringhieri, Torino 1938 (1° ed.), p.18 e seguenti.
- [4] R. Feynman, *The character of physical law*, The Modern Library, NewYork 1994, p. 34 e seguenti.
- [5] D.L. Goodstein, J.R. Goodstein, *Feynman's Lost Lecture: The Motion of Planets Around the Sun*, 1997.
- [6] Si veda anche: P. Balzarotti, *Essenzialità vs frammentarietà*, in *Emmeciquadro* n. 74: [http://emmeciquadro.euresis.org/mc2/74/mc2\\_74\\_balzarotti\\_fisica-biennio-licei-scientifici.pdf](http://emmeciquadro.euresis.org/mc2/74/mc2_74_balzarotti_fisica-biennio-licei-scientifici.pdf)

L'articolo fa riferimento all'intervento che l'autrice ha tenuto al Seminario sull'insegnamento della fisica nei licei, organizzato dall'Associazione Culturale "Il rischio educativo" di Milano, coordinato da Maria Elisa Bergamaschini ([www.formazioneilrischioeducativo.org](http://www.formazioneilrischioeducativo.org)).