

# **DIVULGARE O INSEGNARE?**

## **una sfida per la scuola**

*di Marco Claudio Traini\**

*Ripercorrere le tappe della storia della fisica aiuta a comprendere l'interesse dell'uso della ragione che il metodo scientifico implica, un utilizzo non restringibile alla scienza, ma illuminato in maniera esemplificativa dalle sue scoperte, vecchie e nuove. Insegnare scienza deve poter formare lo studente a questo uso integrale della ragione, che trattiene solo ciò che passa al vaglio dell'esperienza. In questo momento storicamente importante per il futuro della scuola, l'autore suggerisce una via rigorosa e essenziale, che richiama il docente di discipline scientifiche a una consapevolezza critica delle proprie conoscenze specifiche. Una lezione di metodo.*

Qualche volta abbiamo ringraziato di avere la televisione a casa (quando sembrano ormai rare le occasioni) nel constatare la possibilità per i nostri figli (e per noi stessi) di seguire bellissime trasmissioni di divulgazione scientifica. Mondi affascinanti che si aprono ai nostri occhi, che lasciano stupefatti e fanno riflettere su quanto avanti ha saputo spingersi la mente umana nel conoscere la realtà che ci circonda. Ammettiamo però che anche un'altra osservazione ci colpisce: quanto sia difficile ripetere quello che, pur con tanta attenzione, abbiamo seguito e che ci era sembrato così chiaro. Anche i nostri figli, che hanno più fresco il bagaglio di conoscenze scolastiche, fanno molta fatica a ripetere con senso ed una certa fluidità quello che abbiamo visto ed ascoltato. Dove possiamo individuare la difficoltà? il «salto» da compiere? Perché non possiamo incolpare chi, con tanta chiarezza, ci ha esposto le cose, aiutato tra l'altro da mezzi e immagini non facilmente reperibili: è un salto che spetta a noi e soprattutto ai nostri figli che faranno bene a imparare queste cose meravigliose ed utili per la loro carriera.

Evidentemente il linguaggio che si utilizza per parlare di scienza non è derivabile dal linguaggio comune in maniera banale; i termini necessitano di una precisione, di una adeguatezza all'oggetto di cui si parla, spesso paragonabili all'immediatezza del linguaggio comune. Ma come si forma un tale linguaggio? Per pratica esoterica? Frequentando il circolo «dei parlanti», ovvero entrando nel club degli scienziati e imparandone il gergo?

---

\*Ordinario di Fisica Nucleare e Subnucleare. Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Trento e Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Gruppo Collegato di Trento.

---

Malgrado un certo numero di persone possano essere indotti a pensarlo, non è difficile capire che non è questa la strada. Si raggiungerebbe lo scopo di intendersi fra «membri del club», ma non si avrebbe la possibilità di mettere a verifica quanto si «dice», perché non avrebbe a che fare col mondo reale se non in maniera del tutto ridotta. La scienza saprebbe parlare della realtà, ma non agire sulla realtà. Insomma la realtà è davvero testarda e solo seguendo un lungo iter di avvicinamento e di allenamento rigoroso se ne possono apprendere linguaggio e azioni. È quello che chiamiamo metodo scientifico, che produce un suo linguaggio, ma ad esso non è riducibile.

Certo che se conoscere potesse essere sovrapposto al possedere la somma dei dati che la realtà ci mette sotto gli occhi, se studiare equivallesse a trattenere le informazioni nude e crude senza la necessità di cogliere un metodo di lavoro, allora la scienza sarebbe un semplice accumulo di informazioni, un elenco ordinato (certamente), come ordinato è il vocabolario che assomma tutte le parole mettendole in ordine alfabetico. In alcuni settori della scienza questa catalogazione potrebbe essere ancora il massimo di semplificazione e razionalizzazione possibile, ma non è a questo tipo di procedure che la scienza si riduce nella concezione moderna di sapere scientifico. Lo affermava già nel 1952 Albert Einstein scrivendo a Solovine [1].



Albert Einstein (1879-1955) e Maurice Solovine (1875-1958) in una foto del 1903

« Caro Solovine, [...] e veniamo al punto interessante. Lei trova strano che io consideri la comprensibilità della natura (per quanto siamo autorizzati a parlare di comprensibilità), come un miracolo (*Wunder*) o un eterno mistero (*ewiges Geheimnis*). Ebbene, ciò che ci dovremmo aspettare, a priori, è proprio un mondo caotico del tutto inaccessibile al pensiero. Ci si potrebbe (di più, ci si dovrebbe) aspettare che il mondo sia governato da leggi soltanto nella misura in cui interveniamo con la nostra intelligenza ordinatrice: sarebbe un ordine simile a quello alfabetico, del dizionario, laddove il tipo d'ordine creato ad esempio dalla teoria della gravitazione di Newton ha tutt'altro carattere. Anche se gli assiomi della teoria sono imposti dall'uomo, il successo di una tale costruzione presuppone un alto grado d'ordine del mondo oggettivo, e cioè un

qualcosa che, a priori, non si è per nulla autorizzati ad attendersi. È questo il "miracolo" che vieppiù si rafforza con lo sviluppo delle nostre conoscenze. È qui che si trova il punto debole dei positivisti e degli atei di professione, felici solo perché hanno la coscienza di avere, con pieno successo, spogliato il mondo non solo degli dèi (*entgöttert*), ma anche dei miracoli (*entwundert*). Il fatto curioso è che noi dobbiamo accontentarci di riconoscere il "miracolo" senza che ci sia una via legittima per andare oltre. Dico questo perché Lei non creda [...] che io – fiaccato dall'età – sia ormai facile preda dei preti. Cari saluti a tutti voi, Suo A. Einstein».

## Il metodo scientifico: ovvero sottomettere la ragione all'esperienza

Mi auguro che questa citazione di Einstein ci aiuti a entrare, dunque, nel cuore del problema: la pretesa della scienza di descrivere il mondo in modo da poter interpretare e lavorare sul «dato» implica l'intelligibilità della natura e quindi il lasciarsi guidare dalla stessa natura alla sua scoperta: la testardaggine della realtà risiede nella sua stessa capacità di lasciarsi comprendere (in questo senso capisco la frase del filosofo francese Jean Guittou: «ragionevole designa colui che sottomette la propria ragione all'esperienza» [2]; sottomettere la ragione all'esperienza è esso stesso atto ragionevole e verificabile come tale. Frase del tutto sovrapponibile a quella che Galileo mette in bocca a Salviati nella giornata prima del *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*: «quello che l'esperienza e il senso ci dimostra, si deve anteporre ad ogni discorso, ancorché ne apparisse assai ben fondato». Da qui la nascita del metodo scientifico, di un metodo rigoroso, cioè, che permetta di ascoltare e comprendere la natura: Galileo affermava che la natura parla il linguaggio della matematica, un commento che ci apre a un aspetto del problema, quello più formale. In ogni caso la differenza tra divulgazione e insegnamento trova qui la sua radice; divulgare non vuol dire necessariamente trasmettere un metodo di approccio alla realtà, ma trasmettere al meglio delle informazioni. Essere in grado di cogliere il contesto in cui l'informazione si colloca, sapere riprodurre il procedimento con cui l'informazione può essere ottenuta, essere in grado di utilizzarla al meglio, tutto questo implica un diverso livello di approfondimento, esige di mettere in grado lo studente di rendere propria (cioè parte del metodo con cui osserva e interpreta) l'informazione di cui è entrato in possesso. I genitori conoscono bene la problematica: in molte circostanze l'ho sentita esprimere attraverso il concetto di *nozionismo*; una scuola nozionistica non è una scuola in cui non si lavora, ma in cui si lavora in modo troppo sovente sbagliato, accumulando informazioni senza lavorare adeguatamente sul metodo che permette di ottenerle. Un mondo di informazioni che non arrivano a fornire formazione, si potrebbe dire con uno slogan.

Se è dunque ragionevole sottomettere all'esperienza la ragione, vuol dire che la ragione va utilizzata secondo un'«interezza» non ovvia, non banale, tanto da non dover essere dominata dalla prima evidenza, ma dalla seconda, quella che esce dal confronto serrato e rigoroso con l'esperienza. Non saprei corroborare questa definizione di metodo scientifico se non attraverso tutto il percorso storico della scienza. Ne tratterò alcuni esempi con cui delineare una strada che permette di essere non solo informativi nell'insegnamento. Parlerò di fisica, una disciplina<sup>1</sup> specifica e particolare, l'unica che sono in grado di manipolare fino a poterla rendere illustrativa ed esemplificativa. Spero si colga, però, l'aspetto esportabile alla conoscenza in quanto tale.

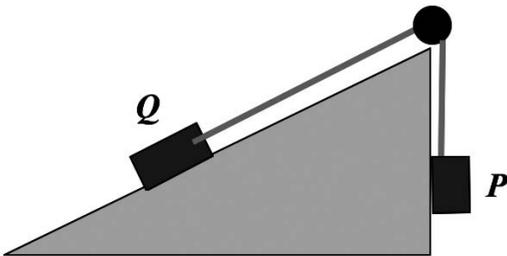
---

<sup>1</sup> Lo stesso termine «disciplina» dovrebbe indurre a riflettere sul valore metodologico proprio della conoscenza, la disciplina implica un'educazione non ovvia, una disciplina appunto.

**Un bagaglio da valorizzare**

Quando si inizia a insegnare la fisica ai ragazzi, mi sembra importante essere consapevoli che, come nella storia della conoscenza umana in cui non si incomincia mai da zero, gli studenti hanno già maturato un loro modo di guardare e interpretare la realtà nelle sue manifestazioni. Sto parlando di quel bagaglio di esperienze indispensabile per poter affrontare il cammino della conoscenza, perché rappresentano il primo riferimento a cui l'evidenza va sottomessa. Per questo è estremamente importante partire da ciò che già si sperimenta tutti i giorni. Il nostro approccio alla conoscenza non è «vergine», non incomincia con l'obbligo scolastico e i banchi di scuola, inizia con l'incontro col mondo; il metodo sperimentale non è «sperimentalismo», ma capacità di osservare tenendo presenti tutti i fattori già acquisiti, facendolo in modo non istintivo, ma rigoroso, secondo l'interezza dell'uso della ragione.

Il primo esempio che voglio citare, viene da lontano, da Stevin (1548-1620) ed ha a che fare con la soluzione del problema statico del piano inclinato; un rompicapo che ci perseguita da epoche lontane e che ha trovato sempre molte applicazioni pratiche nella costruzione di grandi edifici e monumenti fin dalla civiltà egiziana. Trascinare lungo un tratto (poco) inclinato un oggetto pesante non costa molto sforzo muscolare, è solo «poco» più faticoso che trascinarlo in piano specialmente se l'attrito viene ridotto in qualche modo (inserendo per esempio dei tronchi sotto il masso da trasportare e sfruttando il loro rotolamento).



La scienza nasce quando l'empirica osservazione si trasforma in domanda quantitativa e, in questo caso, può essere riformulata, nel modo seguente: quanto deve valere il peso  $P$  che deve fare equilibrio al peso  $Q$ ? Certamente  $P$  è più piccolo di  $Q$ , (se  $Q$  fosse in orizzontale il peso  $P$  dovrebbe essere nullo altrimenti l'equilibrio sarebbe rotto!), ma «quanto» più piccolo? Menti estremamente fertili si sono cimentate con questo problema lungo la

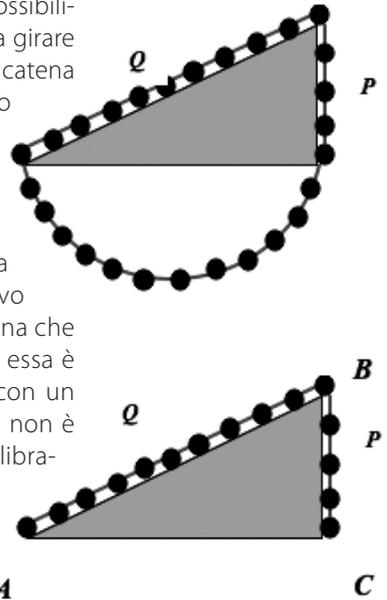
storia della scienza (per un esame critico sarebbe bene tornare al testo di Ernst Mach [3]), ma una soluzione brilla in modo prezioso, quella di Stevin. Il suo è un ragionamento, quindi non il risultato di un esperimento, ma di un ragionamento che somma miliardi di veri esperimenti, tutte le esperienze che abbiamo già realizzato e che fanno parte del nostro patrimonio, l'intera esperienza dell'impatto della realtà con la ragione. Per rispondere al problema scientifico imposto dalla realtà la ragione deve impegnarsi ben oltre il dato empirico immediato dando fondo a tutte le sue esperienze (non «sperimentalismo», appunto).

Dunque ecco come ragiona Stevin: supponiamo di inserire una catena pesante lungo tutto il prisma che costituisce il piano inclinato. La cate-

na, in virtù della distribuzione del suo stesso peso, ha solo due possibilità: potrà iniziare a girare o potrà restare in equilibrio. Se inizierà a girare (non importa in quale verso) non potrà più arrestarsi, perché la catena riassumerà continuamente la stessa forma che, se non in equilibrio all'inizio, resterà fuori equilibrio (*perpetuum mobile*).

Ma (e qui la ragione supera il puro dato empirico immediato e si sottomette all'esperienza) l'esistenza di un moto perpetuo è contraddetta da tutta la nostra esperienza e si deduce, quindi, l'equilibrio della catena fin dall'inizio (si noti che la presenza dell'attrito e degli spigoli del prisma impedirebbero un effettivo esperimento privo di ambiguità). D'altra parte la sezione di catena che pende sotto il prisma non produce alcun effetto sull'equilibrio, essa è simmetrica e ogni piccolo segmento a destra è in equilibrio con un analogo segmento a sinistra. Se la togliamo, perciò, l'equilibrio non è alterato e si dimostra così che il tratto di catena lungo *AB* è equilibrato dal tratto lungo *BC*, quindi siccome *P* e *Q* sono proporzionali rispettivamente ad *AB* e *BC*, si ottiene la legge del piano inclinato  $Q/P = AB/BC$ .

Vale la pena riportare il commento che ne fa lo stesso Ernst Mach: «Questa convinzione istintiva (ovvero l'assenza del *perpetuum mobile* (n.d.a.)) possiede una tale *forza logica* (in corsivo nel testo originale (n.d.a.)) che noi accettiamo, senza obiezione alcuna, la conseguenza ricavata da essa, cioè la legge del piano inclinato, che invece ci apparirebbe dubbia se fosse presentata come puro risultato di una ricerca, o in altro modo».<sup>2</sup>



<sup>2</sup> Già in *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes der Erhaltung der Arbeit* (Praga 1872), Mach aveva sostenuto che il principio dell'impossibilità del *perpetuum mobile* ha avuto origini sperimentali, ed è più antico della teoria meccanica.

### L'armonia nascosta, ovvero l'evidenza seconda

Il secondo esempio è relativo alla nascita della scienza con Galileo, la scienza del moto.

Se si prende un oggetto qualunque e si prova a trascinarlo sul tavolo si capisce immediatamente che, se lo si vuole far muovere a una certa velocità, bisogna spingerlo. Se lo si lascia a se stesso, infatti, torna a fermarsi. Aristotele concluse, da questo evidente esperimento e grazie alla sua capacità di osservazione, che se si applica una forza costante ad un corpo si ottiene una velocità costante. Se si vuole che vada più veloce occorre spingerlo con più forza. Una semplicissima formuletta:  $F = k v$ , ovvero, la velocità è proporzionale a «quanto si spinge» cioè alla forza *F*. Evidente, tanto che nessuno può contestarla. Eppure quest'affermazione ha bloccato lo sviluppo della scienza per 2000 anni. Come mai? Cosa c'è di sbagliato? Mi auguro di riuscire a comunicare cosa c'è di sbagliato in questa osservazione, perché è qui che si capisce cosa vuol dire obbedire all'interrezza dell'osservazione, piegare la ragione all'esperienza.

**L'ENIGMA DELMOTO... E ARISTOTELE**

$$F = k v$$



Chi può dire il contrario? Cosa c'è di sbagliato?  
Certo però che i corpi che cadono... accelerano...

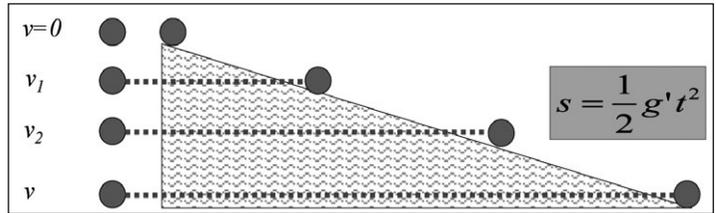
Immaginiamo di essere in grado di produrre una forza costante, otterremo una velocità costante del nostro oggetto: trascriviamo i risultati. Andiamo a casa e torniamo il giorno dopo. Nel frattempo è passata la signora delle pulizie, ha pulito a dovere il tavolo su cui trascinare il nostro oggetto. Ripetiamo l'esperimento applicando la «stessa» forza e ci accorgiamo che si ottiene una velocità leggermente superiore, perché il tavolo è liscio e levigato. Allora prendiamo una lavagna e scriviamo: *con una forza 1 ottengo una velocità 1, «ma, se passa la donna delle pulizie», con una forza 1 ottengo una velocità 1.1*. Si torna a casa. Arriva il direttore, a cui non piace più quel tavolo e il giorno dopo acquista un bel tavolo di vetro, moderno; ripetiamo l'esperimento e: *con forza 1 otteniamo velocità 1.3!!!* Torniamo alla lavagna e scriviamo: *«se il direttore cambia il tavolo» con forza 1 ottengo una velocità 1.3*. E andiamo a casa. Il giorno dopo piove, c'è un'umidità fortissima; proviamo a fare l'esperimento sullo stesso tavolo e con forza 1 otteniamo una velocità 1.2; completiamo la tabella alla lavagna.

Cosa c'è di sbagliato da un punto di vista scientifico in questa tabella? Nulla. Ci sono settori scientifici in cui è impossibile, a tutt'oggi, far più di una tabella di questo tipo. La zoologia per esempio ed entro certi limiti, anche la medicina è classificazione. Nulla di sbagliato eccetto una cosa: la rinuncia a capire. Se si accetta «solo» questa logica dizionaristica, per cui sono relegato ad una classificazione da dizionario, si rinuncia all'idea che si possa entrare in relazione con la realtà in una maniera diversa, più profonda, quella rappresentata dalla legge fisica, come ha ben detto Einstein a Solovine.

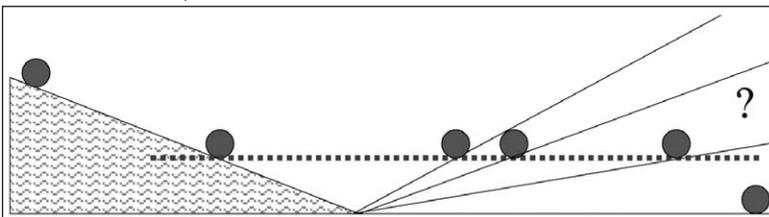
È la volta di Galileo: è vero che a forza costante corrisponde, apparentemente, velocità costante, ma se si lascia cadere un oggetto in verticale, questo accelera, è verificabile! Vuol dire che ad un peso costante (forza costante) corrispondono velocità variabili, perché il corpo in caduta libera accelera. Un sintomo che Galileo accettò come sfida. E allora proviamo a seguire questo sintomo. Guardiamo come ragiona Galileo rispetto ad Aristotele: non accetta l'idea di relegarsi soltanto ad una classificazione di eventi sperimentali scorrelati tra loro, cerca di cogliere il fenomeno, il dato, secondo tutta la potenzialità che la sua ragione gli offre. Un corpo che cade parte con velocità zero, ma poi la velocità aumenta, aumenta, aumenta.

I corpi in caduta libera vanno giù molto rapidamente, troppo rapidamente per poterli osservare in dettaglio (specialmente ai tempi di Galileo). Galileo dimostra che il moto in caduta libera lungo un piano inclinato (molto più lento) ha caratteristiche del tutto analoghe al moto in caduta lungo la verticale (troppo veloce). In particolare la velocità che il corpo raggiunge lungo il piano inclinato dipende dall'altezza di quel punto dalla base. Dunque assume tutti gli stessi valori di velocità assunti lungo la verticale a parità di altezza.

Quello che è fondamentale non è che cada in verticale o lungo un piano, ma determinante è l'altezza dalla base: le velocità  $v_1$ ,  $v_2$  e  $v$  sono le stesse sia nel moto lungo la verticale che lungo il piano inclinato. Come convincersene?



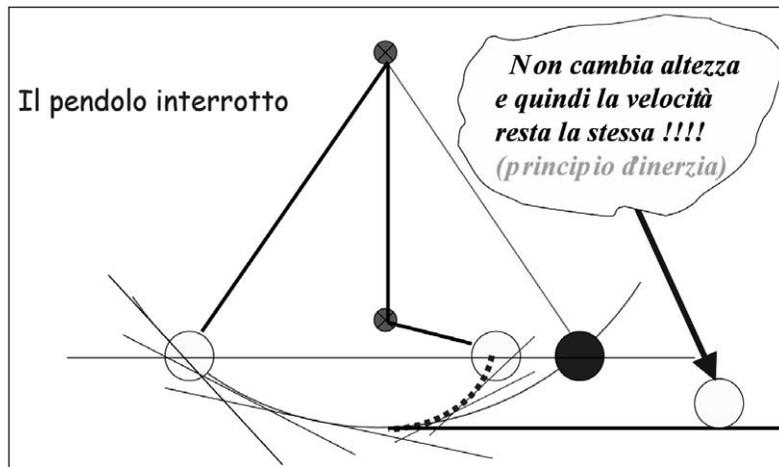
Come arrivare a questa conclusione non ovvia?



Galileo ragiona in questo modo: lasciamo cadere la pallina lungo il piano inclinato e immaginiamo di farla poi risalire lungo un piano inclinato opposto. Dove arriverà?

Galileo risponde rapidamente che risalirà alla «stessa» altezza indipendentemente da quanto è «inclinato» il piano «inclinato» su cui risale. Per quale ragione? Immaginiamo che la pallina che abbiamo fatto cadere risalga più in alto. Cosa farei? Metterei di seguito un altro piano inclinato per farla di nuovo discendere e poi risalire, sempre più in alto: dopo quattro o cinque tentativi, partita dal basso, la ritroverei molto in alto. Ma chi ha visto mai (dice Galileo) un corpo che sale da solo? Cioè come fa un oggetto a salire da solo? Ragionamento che manifesta lo stesso tasso di esperienza vista in Stevin e di enorme profondità nell'uso della ragione per la vastità di dati esperienziali giornalieri vissuti che contiene: non può arrivare più in alto, arriverà alla stessa altezza; (se arriverà più in basso basta invertire il piano di risalita con quello di discesa e la ritroveremo in alto). Dunque arriverà alla stessa altezza. Ma se arriva alla stessa altezza e se il piano inclinato di risalita viene abbassato fino a renderlo orizzontale, cosa succederà? La pallina tenderà ad arrivare alla stessa altezza, ma non la ritrova, e quindi va avanti, va avanti... non si fermerà più. La pallina, non più soggetta a forze (muovendosi in orizzontale il piano annullerà la sua forza peso) si muoverà con velocità costante: abbiamo distrutto la formula di Aristotele «a forza

costante corrisponde una velocità costante». In realtà eseguire l'esperimento è praticamente impossibile; allora come ha fatto a capire Galileo? Questa è un'altra lezione non banale.



Galileo fece questa osservazione: prendiamo un pendolo e lasciamolo oscillare; il peso risale all'altezza da cui parte, dalla parte opposta. Adesso mettiamo un chiodo lungo la verticale e lasciamolo risalire: come si può osservare sperimentalmente, risale esattamente alla stessa altezza. Scendendo, è come se scendesse lungo una serie di piani inclinati, quando risale risalirà attraverso una serie ipotetica di piani inclinati completamente diversi, perché la traiettoria è molto più stretta e la tangente è diversa.

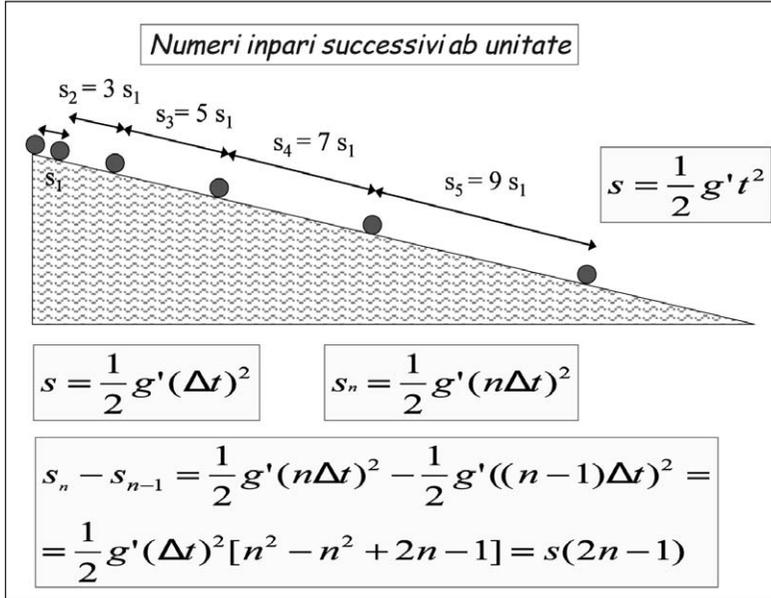
Questo è un esperimento che possiamo fare tutti i giorni e ci rende convinti che quando lasciamo cadere una pallina lungo un piano inclinato e la facciamo risalire lungo un piano diverso, questa risalirà esattamente alla stessa altezza. Dunque se io lasciassi andare la pallina lungo l'orizzontale la velocità resterebbe costante (per esempio tagliassi il filo che vincola il pendolo quando la pallina si trova nel punto più basso dell'oscillazione: si chiama principio d'inerzia e, come ho già detto, distrugge la fisica di Aristotele.

Questo modo di ragionare contiene esclusivamente il dato? Il dato di Aristotele era sbagliato? No.

Cosa contiene in più? Contiene una legge.

Contiene la comprensione della natura fino al punto in cui essa si manifesta attraverso una legge e la legge è il modo in cui la natura si manifesta alla nostra ragione per farci capire che se noi la guardiamo fino in fondo, siamo in grado di capire come funziona: un'osservazione non ovvia. Ma la «pretesa» di capire, diciamo la volontà di capire, è fondamentale per raggiungere la legge. Non sappiamo fino a dove siamo in grado di spingerci, ma mettere insieme il dato e il significato (legge) è possibile. Guardando la figura che segue (e pur non discutendo le formule che lascio agli interes-

sati) notiamo una conseguenza immediata che Galileo comprese subito. Immaginatoci di lasciar cadere una pallina lungo un piano inclinato e di collocare dei campanelli lungo il percorso.



Lasciamo cadere la pallina che, scendendo, fa suonare, urtandoli, i campanelli la cui presenza non disturba il moto della pallina (ben pesante). Come dovrò distribuire i campanelli in modo che i suoni si succedano sempre dopo lo stesso intervallo di tempo? Ovvero in maniera che il ritmo dei din sia sempre uguale? Evidentemente non li posso mettere alla stessa distanza perché la pallina scendendo accelera e percorrerà gli stessi spazi in tempi sempre più brevi. Dato che la velocità va aumentando dovrò metterli a distanze sempre più grandi. Galileo dimostrò che queste distanze sono legate ai numeri «impari» (dispari) successivi all'unità; Se  $s_1$  vale 1,  $s_2$  deve valere 3,  $s_3$  deve valere 5,  $s_4$  deve valere 7 ed  $s_5$  9: dunque 1, 3, 5, 7, 9, eccetera. Ma il concetto di numero «impari» è una struttura della mente, non della realtà, l'abbiamo generato noi con la nostra capacità di cogliere la logica delle cose, la logica formale, la matematica. Cosa sia un numero dispari l'abbiamo definito noi.

Ma chi l'ha detto alla natura di funzionare così, secondo quello che noi stessi abbiamo inventato in un contesto completamente diverso? Nessuno. Funziona così. Allora ci si accorge che la scoperta non è soltanto costituita dal dato che ci colpisce e che ci fa rimanere così a bocca aperta. Il fatto che porti dietro un significato (una legge generale) è enormemente più grande del solo dato. Esiste una corrispondenza tra quello che noi troviamo nella realtà attraverso la scoperta e quello che ci immaginiamo, costruiamo con la mente. Tra la razionalità e il dato della natura c'è una corrispondenza e questa

<sup>3</sup> Aggiungo una osservazione. Il problema non si risolve una volta per tutte; c'è tutta una vasta letteratura sui pregiudizi di ritorno anche quando si fa scienza. Il punto è quindi la capacità di sfidarsi sui pregiudizi; la comunità scientifica lo fa tutti i giorni, sfida il singolo ricercatore: stai seguendo correttamente il metodo scientifico per la comprensione dei fenomeni oppure no?

corrispondenza è l'elemento più esaltante, più entusiasmante della scoperta scientifica. Allora quando affronto la lettura del «testo» scientifico, leggo e posso capire, quindi studio: lo studio dunque come avvenimento. Anche ai ragazzi bisogna far rifare questo percorso; non tutti lo faranno, non tutti son disposti a farlo, non tutti sono in grado di farlo, non tutti lo vogliono fare. Cosa vuol dire la scoperta e questo spalancarsi della ragione? Vuol dire l'impatto inesorabile col dato, ma vuol dire anche la capacità che la ragione ha di cambiare l'immagine che si era fatta; così l'immagine si modifica: avevamo un'idea, ma pian piano si modifica perché obbligata a rispettare il dato. L'immagine che la ragione si fa della realtà è sfidata e corretta dal dato per come si manifesta nel presente, cioè per come accade, non per come lo si immagina. Ci vuole l'esperimento. La ragione è motivata a rimodellarsi di nuovo in un'altra immagine fino alla corrispondenza che è inaspettata comprensione della legge che governa il fenomeno.<sup>3</sup> Ho fatto l'esempio di Aristotele e Galileo, ma se ne potrebbero fare molti altri.

### **Oltre l'intuizione dei fenomeni percepibili alla scala dell'uomo**

Ne farò rapidamente altri tre legati alla fisica più moderna. Li propongo perché, nella preoccupazione metodologica che caratterizza le mie osservazioni, hanno due specifici obiettivi. Da un lato mostrano che «alcuni aspetti» della fisica moderna possono essere utilizzati per mostrare il valore di metodo che la conoscenza scientifica ha, evitando la pretesa di voler far conoscere la fisica moderna; è, infatti, praticamente impossibile introdurre la fisica quantistica e quella moderna senza il dovuto rigore; dall'altro mostrano come modelli assodati possono essere messi in discussione quando si resta legati all'interesse dell'osservazione e quindi al suo valore metodologico.

### **Simultaneità**

Il primo esempio è relativo alla concezione «ovvia» (nella mentalità newtoniana) di tempo assoluto. È bastato che Einstein introducesse un concetto di tempo metodologicamente ben definito, cioè definendo le operazioni da fare per verificare la simultaneità di due eventi, che l'idea di tempo assoluto crollasse definitivamente. L'esempio della misura della simultaneità di due eventi semplici è illuminante e non occorre scomodare il paradosso dei gemelli o altri esempi spesso non chiari, ma apparentemente di grande effetto.

Basta osservare la caduta simultanea di due fulmini sulle rotaie del treno<sup>4</sup>, evento assunto simultaneo nella banchina, dove due specchi opportunamente angolati e collocati nel punto di mezzo **M** della distanza tra i due eventi, rilevano che la luce viaggiando dai punti **A** e **B** verso **M** (tutti collocati nella banchina) arriva allo stesso istante. D'altra parte i due fulmini osservati

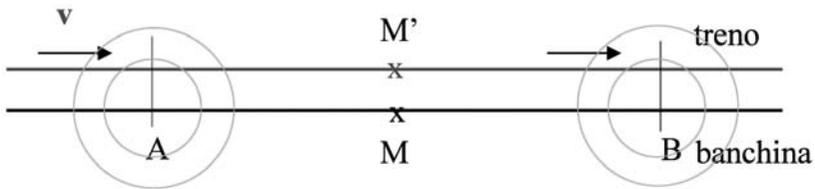
<sup>4</sup> L'esempio è dovuto ad Albert Einstein. A. Einstein, *Relatività (esposizione divulgativa)*, Borinighieri, Torino 1980, p.42 e ss.

dal treno in movimento con velocità  $v$  non potranno risultare simultanei se la velocità del segnale luminoso è finita, dato che l'osservatore sul treno, nel punto di mezzo  $M'$ , viaggia verso il segnale luminoso che gli viene incontro da destra e si allontana da quello che lo insegue da sinistra.

**SIMULTANEITÀ E OSSERVAZIONE**

Il fulmine ha colpito le rotaie in due punti (A, B) e allo stesso istante: ha senso questa affermazione? Abbiamo bisogno di una definizione di simultaneità capace di fornirci il metodo per mezzo del quale decidere sperimentalmente, nel nostro caso se entrambi i colpi di fulmine sono avvenuti simultaneamente.

Due eventi simultanei nella banchina non lo sono per un osservatore sul treno che corre con velocità  $v$ !



Questo esperimento ideale ha un forte contenuto di metodo ed una straordinaria forza educativa per il giovane studente. Di fronte all'argomentare di Einstein, le osservazioni sullo spazio assoluto e tempo assoluto di Newton appaiono quasi infantili.

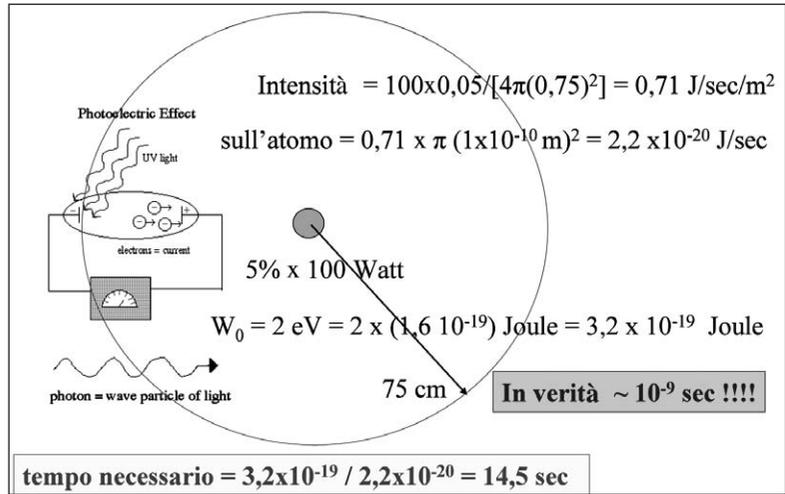
**SPAZIO E TEMPO: COSA NE PENSAVA NEWTON...**

Lo spazio assoluto resta, per sua natura e senza relazione ad alcun oggetto esterno, sempre uguale ed immobile. Il tempo assoluto, vero e matematico, in sé e per sua natura, senza riferimento ad alcun oggetto esterno, scorre uniformemente; esso è chiamato anche col nome di «durata».

Il moto assoluto è la traslazione del corpo da un luogo assoluto ad un altro luogo assoluto, il moto relativo è la traslazione da un luogo relativo ad un altro luogo relativo.

**Effetto fotoelettrico**

Il secondo esempio è relativo all'interpretazione dell'effetto fotoelettrico. Non si capisce perché ad Einstein è stato concesso il premio Nobel per l'interpretazione di questo effetto (emissione di elettroni da metalli alcalini colpiti da radiazione ultravioletta) se si descrive solo la formuletta che lo interpreta (un'equazione di primo grado!) senza cogliere la totale incapacità della fisica classica di interpretarlo. Il modo più semplice è notare che nella fisica classica non poteva essere spiegata l'istantaneità del fenomeno. L'elettromagnetismo classico interpreta l'emissione dell'elettrone con l'accumulo di energia elettromagnetica irraggiata sulla superficie del metallo ed assorbita dal singolo atomo.



Nell'immagine che precede si descrive il fenomeno di illuminazione di una superficie metallica da una lampadina di 100 W a distanza 75 cm dal metallo. Si suppone anche che la frazione di radiazione nell'ultravioletto sia 5% della sua potenza (pari cioè a  $0,05 \times 100 = 5$  watt) irradiata uniformemente su tutto l'angolo solido.

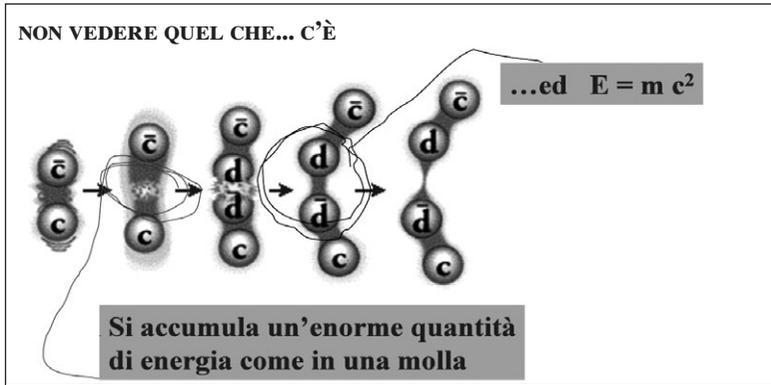
Se il raggio dell'atomo è dell'ordine di  $10^{-10}$  metri, e il lavoro di estrazione di  $2 \text{ eV} = 2 \times 1,602 \times 10^{-19}$  Joule, il tempo necessario per emettere un elettrone è dell'ordine del secondo (14,5 sec nel nostro esempio), nove ordini di grandezza più grande del dato sperimentale. Aver «perso» un anno a imparare l'elettromagnetismo classico e scoprire che, almeno in alcuni casi, fallisce miseramente: una lezione di metodo assoluta.

### Il confinamento dei quark

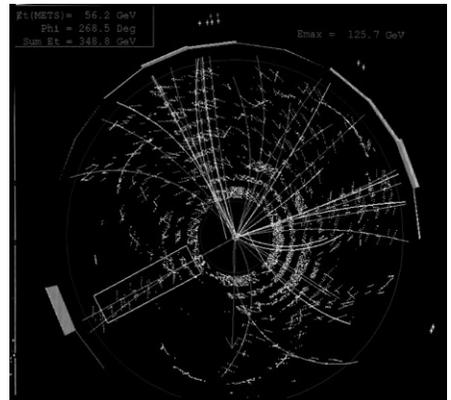
L'ultimo esempio è relativo alla fisica subnucleare. Partiti dalla definizione di una fisica galileiana di cui gli elementi sono verificabili nella loro singolarità, si arriva all'idea di quark confinati all'interno degli adroni (per esempio protoni e neutroni). Anche qui la pura informazione lascia sbalorditi: esistono particelle che sono «confinare» a restare «nascoste» perché «confinare» all'interno di particelle più grandi!

Ma siamo certi che abbia senso ipotizzarle all'interno di una scienza rigorosa e per sua natura verificabile, come la fisica? L'aspetto interpretativo mostra la forza metodologica anche della fisica moderna. La relatività ristretta con la sua scoperta di energia a riposo ( $E = mc^2$ ), ci mette nelle condizioni di recepire il processo di confinamento nei suoi dati elementari: l'energia che si accumula nella zona vicina a due quark che vengono allontanati per essere separati, è sempre più grande in quanto i quark si attraggono fortemente e con una forza che aumenta con la distanza di separazione. A un certo punto

l'energia accumulata raggiunge quella necessaria per dar luogo a due particelle formate da quark e i quark liberi non appariranno mai!



La figura svela l'arcano: possiamo essere certi che questo meccanismo nascosto ha una forza predittiva enorme, osservando i jets. Un cono stretto di particelle prodotto dal formarsi di queste coppie di particelle risultanti dal tentativo di separare due quark. I jets possono essere studiati nei rivelatori di particelle ed analizzati per determinare le proprietà del quark originale. È così che si è scoperto il quark top nel rivelatore CDF al Tevatron. L'enorme sforzo fatto in questi anni nella fisica delle particelle elementari ha un valore esemplificativo della forza conoscitiva della scienza da non sottovalutare. Ridurlo agli aspetti sensazionali è tradirne il contenuto più prezioso. La chiave di volta è di accostarlo quando si hanno gli strumenti per apprezzarlo davvero.



**Conclusioni**

Rileggendo l'articolo che ho appena scritto, mi sembra di non potermi fermare qui. Altri innumerevoli esempi possono essere fatti della forza formativa del metodo scientifico nel percorso di apprendimento della fisica per i nostri studenti. Non esistono molti altri settori in cui il sistematico uso dell'interessa della ragione possa essere documentato con altrettanta chiarezza e persuasività. Un lavoro appena incominciato a cui, mi auguro, colleghi e amici possano apportare contributi significativi. ❖

**INDICAZIONI BIBLIOGRAFICHE**

- [1] *Opere scelte*, a cura di E. Bellone, Bollati Boringhieri, Torino 1988, pp. 740-741 (or. A. Einstein, *Lettres à M. Solovine*, 30.3.1952, Gauthier Villars, Paris 1956, p. 114).
- [2] J. Guilton, *Arte nuova di pensare*, Edizioni Paoline, Roma 1981, p. 71.
- [3] E. Mach, *La meccanica nel suo sviluppo storico-critico*, Boringhieri, Torino 1968, p. 57 e ss.