

LA TRASMISSIONE DELLE CONOSCENZE

I CONTENUTI

LA DIDATTICA DI UNA SCIENZA SPERIMENTALE: LA FISICA

Ledo Stefanini

Una madeleine scolastica

Fino agli anni '60, nella scuola italiana l'aspetto sperimentale della fisica appariva solo attraverso le *dimostrazioni*. Anzi in tutte le scuole – o almeno nelle più fortunate – vi era un'aula per le dimostrazioni. E vi era la figura dell'assistente, istituita quando, con la riforma Gentile, al professore di matematica era stato attribuito anche l'insegnamento della fisica. Il rapporto tra queste due figure, il docente e l'assistente, era formalmente rispettoso ma di profondo e reciproco sospetto. L'insegnante gradiva poco la fisica o meglio gradiva solo la fisica del libro di testo, del gesso e dei problemi proposti alla fine dei capitoli (non sempre): insomma, la fisica che somiglia tanto alla matematica scolastica. Ma quando questa fisica veniva trasferita in laboratorio diventava (diventa) qualcosa di ben diverso; tanto da essere irriconoscibile. Il rapporto dei seni, nonostante le tavole a sette decimali, non era (non è) mai costante; l'attrazione tra due cariche di segno opposto non diventa mai la quarta parte quando si raddoppia la distanza. Dimostrazioni equivoche come queste finivano per minare la fiducia degli studenti nella scienza e – soprattutto – nell'insegnante. Il quale tendeva, tuttavia, a chiamarsi fuori da questi fallimenti, che venivano tacitamente attribuiti alle modeste capacità dell'assistente. Il qua-

le, generalmente, aveva in repertorio un certo numero di esperienze. Si trattava di dimostrazioni acquistate «a scatola chiusa» che venivano realizzate con strumenti appositamente costruiti e secondo procedure ben stabilite. L'assistente le approntava in determinati periodi dell'anno scolastico e le classi si recavano a turno ad assistervi, con grande gioia degli studenti. Il docente si limitava ad assistere alla lezione tenuta dall'assistente; con l'atteggiamento di chi avrebbe molte cose da dire; tuttavia preferisce tacere. Comunque, le dimostrazioni costituivano degli episodi di ben scarso rilievo nell'insegnamento della fisica, spesso ricordate dagli studenti solo per le *magre* collezionate dall'assistente, sotto lo sguardo di beffarda solidarietà del docente.

Alla fine degli anni '60 vi fu un (tentativo di) rinnovamento nell'insegnamento della fisica: promosso dal ministero e importato, come tutte le rivoluzioni del nostro paese. Si chiamava P.S.S.C. (Physical Science Study Committee) e prevedeva la sperimentazione diretta degli allievi. In alcune scuole-pilota l'aula per le dimostrazioni, con i banchi a gradini ed il bancone, venne sostituita dall'aula per le sperimentazioni degli allievi, con numerosi banchi e fughe di armadi a vetri in cui venivano conservati i KIT degli esperimenti: sei carrelli, sei molle, sei metri da muratore, ecc.: sei pezzi per ogni componente. La carenza più grave del corso era di carattere epistemologico, che caratterizzò negativamente la didattica italiana: l'ingenua pretesa che le leggi fisiche emergessero con propria ed impositiva evidenza dagli «esperimenti». Qualcuno, come ad esempio Vasco Ronchi, scrisse pagine illuminanti sulla filosofia della scienza che sosteneva il P.S.S.C. Erano tempi in cui anche gli scienziati si occupavano di scuola. Tuttavia il corso ebbe il merito di agitare le acque stagnanti della tradizione e di dare a molti insegnanti la consapevolezza che, nella didattica, si possono seguire vie diverse e che le esperienze didattiche possono essere realizzate da chiunque sia in grado di procurarsi vaschette di plastica, elastici di gomma, pattini a rotelle, cannucce da bibita. Soprattutto, fu per merito del P.S.S.C. se gli insegnanti impararono che era loro compito occuparsi dell'attività di laboratorio. Ma i

problemi rimanevano. Anche se nei corsi ministeriali gli insegnanti avevano imparato che cos'è un *best fit*, era sempre con malcelato senso di vergogna che si imponeva al ragazzino di vedere una relazione lineare in certi grafici in cui altri avrebbero potuto riconoscere una correlazione molto debole tra le grandezze. Vi fu una risposta tipicamente italiana. Invece delle bilance realizzate con canucce da bibita e spilli previste dal corso, le scuole cominciarono ad attrezzarsi con bilance al milligrammo che alcune ditte si erano affrettate a mettere sul mercato. I cicalini marca-tempo furono sostituiti da sofisticati orologi elettronici a traguardo ottico, i dischi forati da girare a mano da comode lampade stroboscopiche dotate di frequenzimetro. Purtroppo, l'efficacia dell'insegnamento non coincide con la comodità e la tranquillità degli insegnanti. Anzi, è opinione dello scrivente che l'efficacia si sposi sempre ad un certo grado di inquietudine (degli insegnanti e degli allievi). Ma fu alla fine degli anni '80 che si fece un ulteriore passo in questa direzione. Il mercato di apparecchiature per la didattica cominciò ad offrire strumenti elettronici per esperienze di fisica: apparecchiature che, associate al calcolatore, consentono di raccogliere numerosi dati ed elaborarli istantaneamente. L'insegnante ha così la possibilità di mostrare ai propri discepoli il grafico velocità istantanea-tempo di una riga che cade, convincerli che si tratta di una relazione lineare, determinare il *best fit* (basta richiamare il programma dei minimi quadrati) e ricavare il valore dell'accelerazione di gravità: tutto questo in pochi minuti. Se viene 9,8 il professore è soddisfatto; se il risultato è troppo sballato si avverte il tecnico che è necessario rimandare l'apparato in ditta per una revisione.

Ricerca didattica?

Vi fu un tempo in cui si dibatteva se fosse o meno appropriato attribuire all'insegnamento il carattere di ricerca. In un paese in cui si diventa ricercatori per concorso non c'è da meravigliarsi che si possano accendere discussioni di questo genere. L'evidenza spe-

rimentale è che per la maggior parte degli insegnanti l'attività docente si riduce alla diuturna fatica della ripetizione – anche perché la quantità e la varietà degli impegni di natura burocratica, inimmaginabili fino a qualche anno fa, hanno finito per soffocare anche le più nobili e tenaci aspirazioni intellettuali. Tuttavia sappiamo quanto sia sottile il discrimine tra la mortificata – e mortificante – ripetizione di formule e il fascino della trattazione vivace della materia viva. Nuotare in piscina è sicuro e non presenta problemi; ma affrontare il mare aperto, con tutti i pericoli che presenta, è ben diversamente vivificante e formativo. Tanto più se la barca è costruita da te: ne conosci i limiti e puoi progettare eventuali miglioramenti. Lo scopo dell'insegnamento pre-universitario di fisica non può essere quello dell'apprendimento di una serie di formule di pensiero (che non concorrono mai, per necessità di cose, alla formazione di un quadro teorico complessivo, di un paradigma, per dirla alla Kuhn); ma della formazione di interessi, della provocazione nei riguardi delle idee *naïf* circa la natura delle cose, e della soddisfazione che deriva dall'interrogarsi e dal giocare con la realtà fisica.

Vi è anche una radicata convinzione da combattere: che gli esperimenti servano agli studenti. Invece servono prima di tutto all'insegnante. Si crede (e gli insegnanti lo lasciano credere) che un laureato in fisica abbia avuto esperienza diretta di ciò di cui parla. Che abbia provato, come Ørsted, l'effetto di un filo percorso da corrente su un ago magnetico; che abbia visto che l'immagine prodotta da uno specchio concavo è reale; che abbia sentito i battimenti e l'effetto Doppler; che abbia osservato il moto di Brown. Purtroppo, non è così. Il laureato in fisica è uno che queste cose le ha lette, che si è formato in un mondo di carta; che non ha idea degli ordini di grandezza, delle dimensioni geometriche, e (perché no?) dei costi che comporta l'osservazione di uno di questi fenomeni. In un sapido articolo comparso qualche anno fa, Giulio Cortini – uno dei pochi fisici eminenti che si è occupato di didattica – ha acutamente tratteggiato i sintomi di quella che definiva la sindrome di Persico (dal nome del grande fisico romano che per primo la

descrisse). Si tratta di questo: uno studente di fisica è capace di integrare le equazioni di Maxwell e di ricavarne l'equazione delle onde; ma non ha idea dell'ordine di grandezza della corrente che circola nella lampada che ha sopra la testa. La maggior parte degli insegnanti di fisica delle nostre scuole è portatore della sindrome di Persico; a cagione della quale si rifugia nella frequentazione del gesso e della lavagna, delle dimostrazioni pre-confezionate, delle esperienze fatte al calcolatore. Se si vuole che le cose realmente cambino è necessario che l'insegnante acquisti la capacità di essere allievo di se stesso, colui che per primo trae soddisfazione dall'ideazione, progettazione, realizzazione di un'esperienza didattica. Rifare un esperimento di Faraday non è facile e l'esito non è garantito; forse gli studenti non ci troveranno niente di interessante; tuttavia, se il risultato gratifica l'insegnante – che mi piace pensare con le maniche rimboccate, le mani sporche e la camicia bruciata come in un film di Disney – il suo entusiasmo non può non trasmettersi ai suoi allievi. I quali non diventeranno fisici; ma conserveranno il senso della gioia che può dare un atteggiamento attivo nei confronti dei fenomeni naturali.

Oltre tutto, l'abitudine alla progettazione di dimostrazioni didattiche – che, per loro natura, hanno quasi sempre carattere qualitativo – restituisce il senso della difficoltà della ricerca scientifica ed evita di cadere nella caricaturale rappresentazione spesso implicitamente veicolata dai *project* stranieri o, almeno dall'interpretazione che hanno avuto in Italia.

Professare la fisica

Nell'insegnamento della fisica non esiste l'*optimum* e l'attività dell'insegnamento si sviluppa su una cresta sottile che separa ciò che si sarebbe potuto fare (e non si è fatto) da ciò che non si sarebbe dovuto fare (e si è fatto). La difficoltà cresce esponenzialmente man mano che dagli studi universitari si scende a quelli di scuola media: se un neolaureato è perfettamente in grado di tenere un di-

gnitoso corso di meccanica classica, è difficilissimo trovare un docente di scuola media che sia in grado di trasmettere ai propri allievi una sia pur nebulosa idea dell'atteggiamento scientifico di fronte alla realtà naturale. Sintomo e causa di questa situazione è il crescente peso (non solo metaforico) dei libri di testo. Il volume dei volumi denuncia un'inguaribile vocazione della nostra scuola al consumo di cibi precotti piuttosto che all'osservazione e al cimento diretto. A scusante degli insegnanti va detto che il libro di testo si presenta come il solo riparo solido nel panorama della scuola italiana spazzato dalle estemporanee sortite di un devastante pedagogismo *new-age*.

Una delle caratteristiche del nostro insegnamento è la preferenza per le cose difficili. Alla scuola media inferiore gli insegnanti (e i libri) sono più inclini alla struttura dell'atomo che non a quella della bicicletta. Per cui si assiste al curioso fenomeno per cui gli argomenti più avanzati (non esclusi i buchi neri) precedono quelli più elementari. La tentazione può essere anche più sottile: quella di partire dalle grandi sintesi: la meccanica dedotta dai principi di Newton, la chimica dal modello quantistico di atomo. La pratica didattica indotta da questo atteggiamento comporta solitamente alcune esperienze didattiche che hanno la pretesa di «dimostrare» i principi fondanti della disciplina. Si tratta di un errore didattico ed epistemologico senza scusanti, almeno per tre motivi:

a) Gli assiomi di base di una teoria sono il risultato di un processo di astrazione che presuppone un vasto corpo di conoscenze sperimentali e teoriche che trovano sintesi nella teoria. In assenza di questo terreno di conoscenze preliminari non è possibile fondare alcunché; anzi i termini stessi della teoria non hanno senso.

b) Non è possibile «dimostrare sperimentalmente» i principi di una teoria. Si pensi ad un fisico che volesse dare una prova sperimentale diretta del principio d'inerzia: se è ignorante troverebbe, in un laboratorio terrestre, una quantità di evidenze contro il principio; se è sapiente sarebbe in grado di eliminare le varie forze centrifughe; ma allora conoscerebbe già la meccanica.

c) Le prove sperimentali di tipo didattico sono di necessità molto rozze e non si rende agli allievi un buon servizio dandogli l'impressione che una teoria si fondi su osservazioni tanto discutibili.

Buona didattica è fornire agli studenti l'idea che la scienza non è una chiesa con i suoi sacerdoti depositari di una verità rivelata, ma un edificio in continua manutenzione e trasformazione su ogni parte del quale ognuno ha il diritto di intervenire; con l'atteggiamento di colui che è disposto a scoprire poi che il suo apporto non si armonizza con quello che (al momento) appare il disegno generale: la sintesi. Il che si traduce in un suggerimento didattico: alla scuola media inferiore e nel biennio della superiore meglio occuparsi di biciclette, specchi, lampadine piuttosto che di struttura atomica. Parafrasando un grande alpinista: «la meta è il percorso; non la vetta».

D'altra parte l'insegnamento (della fisica) è un grande mistero. Il problema centrale è quello di comunicare con il ragazzo attraverso un certo linguaggio, nella consapevolezza che egli utilizza un diverso codice linguistico. Infatti lo studente che si avvicina allo studio della fisica non è, come si diceva una volta, *tabula rasa*: è portatore di una cultura fisica ben stabilita, che riguarda principalmente la meccanica, ma include i fenomeni termici, ottici, idraulici, ecc. Senza quella che potremmo chiamare *fisica naïf*, non sarebbe possibile una vita normale. I termini fondamentali della fisica - spazio, tempo, massa, energia, forza, ecc. - hanno nel ragazzo un significato diverso da quello che gli attribuisce l'insegnante. Gran parte dell'insegnamento dev'essere dedicato alla definizione di un codice linguistico - dove i significati sono stabiliti all'interno della teoria - che non coincide con quello del linguaggio comune. A questo si arriva solo attraverso un lungo lavoro di approssimazioni successive e lo studio di una varietà di situazioni fisiche nelle quali si mette a confronto la descrizione intuitiva con quella della teoria.

Esempio, il bere con la cannuccia: per il ragazzo l'acqua sale lungo la cannuccia perché chi beve la «succhia»: si tratta della teoria dell'*horror vacui*. Questa non è affatto una teoria stupida,

tant'è vero che nella vita quotidiana funziona egregiamente. Generalmente succede che, dopo le lezioni di meccanica dei fluidi, il ragazzo conosca il significato di pressione idrostatica, la legge di Stevino, ecc., ma, a proposito del bere con la cannuccia, continua a pensarla esattamente come prima. E fa bene, perché l'idea che l'aria abbia un peso ha faticato molto ad affermarsi. Basta leggere Pascal per rendersi conto di quali e quante *dimostrazioni* si sono dovute fare prima che l'idea sia parsa accettabile. D'altra parte i giochi idraulici (fontana di Erone, ecc.) venivano costruiti molto prima che si diffondesse la fiducia nella pressione atmosferica. L'insegnante deve mostrare, almeno una volta, che la possibilità di bere con la cannuccia dipende dal fatto che l'aria ha un peso. Questo si può fare in vari modi, due dei quali sono illustrati nelle Figure. I.1 e I.2.

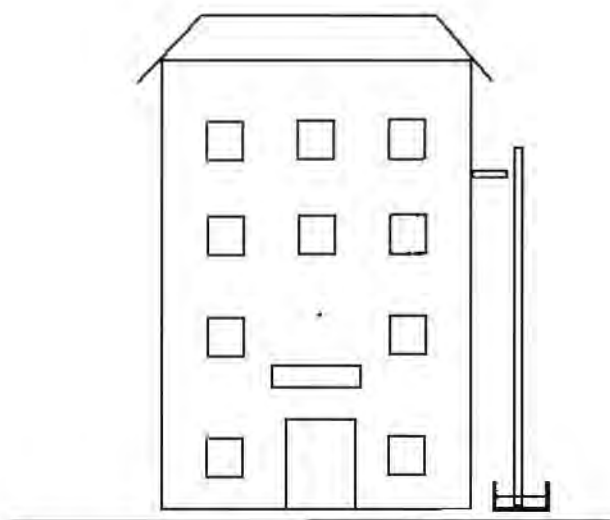


Fig. I.1. Per mostrare che vi è una quota limite, oltre la quale non è possibile «risucchiare» acqua, si può usare un tubo trasparente (di plastica robusta) una buona pompa e acqua colorata

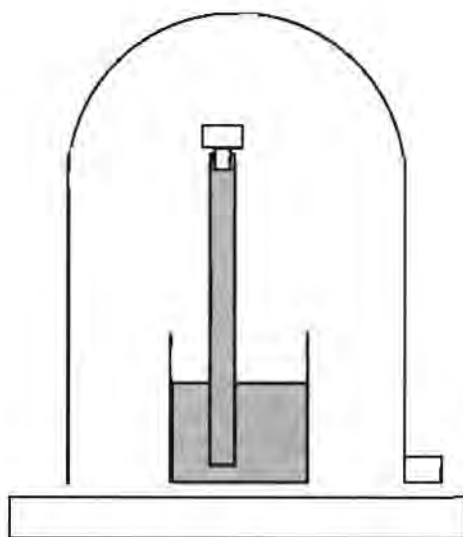


Fig. 1.2. Un tubo di vetro, chiuso ad un estremo, contenente acqua colorata, ha l'estremità aperta immersa nello stesso liquido. Il tutto è contenuto in una campana di vetro a tenuta. Estruendo l'aria con una pompa, si osserva che il tubo si svuota (e l'acqua si mette a bollire).

In ambedue i casi occorre una pompa, ma i materiali necessari, il tempo richiesto e la spettacolarità delle prove sono diversi. Spetta all'insegnante decidere quale delle due realizzare, in relazione ai materiali, al tempo e alle forze disponibili, oltre che al tipo di studenti.

Ogni dimostrazione richiede molto tempo e contribuisce notevolmente ad alzare l'entropia dell'attività di insegnamento. Infatti, se si fa un'esperienza per la prima volta, è necessario progettarla a tavolino, cercare l'attrezzatura disponibile nel laboratorio scolastico, altrimenti visitare i negozi della città per vedere se c'è qualcosa che possa fare al proprio caso, coinvolgere nel progetto altri insegnanti o, talvolta, i genitori degli allievi per il prestito di apparecchiature o consulenze. Poi, nella lezione, tutto si esaurisce in pochi minuti. Se, invece, è una dimostrazione di *routine*, si può

avere la sorpresa di non trovare certi componenti, utilizzati per altre attività. In ogni caso, è sempre consigliabile non improvvisare davanti agli studenti: i risultati possono essere imbarazzanti.

Una volta sostituito al modello intuitivo un modello fisico più elaborato, l'efficacia dell'insegnamento è misurata dal numero di domande che suscita nello studente. Ad esempio, se è vero che ciò che fa sollevare un palloncino è la spinta di Archimede – cioè è dovuta al fatto che l'aria ha un peso – come si comporterà un palloncino gonfiato con idrogeno all'interno di una capsula pressurizzata e in caduta libera? Evidentemente, si tratta di un *gedanken experiment*, utile a discutersi come e più di un esperimento reale. Tuttavia un esperimento vero e proprio si può fare: una bottiglia di plastica trasparente piena d'acqua sulla quale galleggia una pallina. Se si gira la bottiglia, la pallina risale a galla dal fondo. Si può girare rapidamente la bottiglia e lasciarla cadere. Se si dispone di una telecamera e un videoregistratore è facile mostrare che la pallina non tende più a salire a galla. Si tratta di un risultato inatteso che difficilmente il ragazzo dimenticherà.

Il peccato originale dell'insegnamento della fisica nella scuola pre-universitaria è che viene proposta come matematica. Il ragazzo viene condotto per un edificio di cemento dove tutto è già stato previsto e costruito prima di lui, indipendentemente dalla sua presenza e dove non potrà lasciare traccia di sé. Invece, l'insegnamento primario della fisica non può essere fatto discendere da alcuni assiomi misteriosamente rivelati da alcuni illuminati. Il ragazzo che si avvicina alla fisica scolastica ha una ben collaudata – e rispettabile – teoria dei fenomeni naturali. La sfida dell'insegnamento è quella di partire dalla fisica intuitiva per procedere verso costruzioni teoriche più ampie e coerenti. Questo non si può fare senza passare attraverso due tappe:

1. mostrare che le strutture teoriche intuitive non sempre descrivono correttamente la realtà fisica;

2. mostrare che la teoria scolastica non solo corrisponde a ciò che si osserva, ma apre il campo ad una quantità di interrogativi che, nell'ambito della fisica *ingenua*, non si pongono.

Tutto questo richiede da parte dell'insegnante un atteggiamento dinamico e mature capacità di inventiva.

Le dimostrazioni una volta erano dette *ex cathedra*. Le chiamerei piuttosto *da bancone* in quanto è questo che dovrebbe trovarsi al centro della lezione. L'insegnante, ovviamente, deve svolgere il ruolo di animatore e di *leader*, ma commetterebbe un grave errore qualora non coinvolgesse l'intero gruppo di allievi. La guida alpina che accompagna il cliente in un'ascensione conosce bene la via, sa quali difficoltà si incontreranno ed ha la certezza di arrivare in vetta; ma non dà al cliente l'impressione che l'esito sia indipendente dalla sua partecipazione. Così l'insegnante:

1. propone un problema accessibile ai suoi allievi;
2. li guida con decisione alla sua soluzione.

Tuttavia

3. non mostra mai che l'esito prescinde dal contributo degli allievi

e, soprattutto,

4. non anticipa mai le conclusioni.

Il lavoro dell'insegnante può essere assimilato a quello di un artigiano. Per diventare buoni artigiani è necessario anche studiare qualche buon manuale; ma soprattutto essere disposti ad un lungo apprendistato, che può essere favorito dalla vicinanza di buoni maestri. La maturità si raggiunge quando si è in grado di fare da sé; cioè di scegliere le esperienze più opportune in relazione al tono del corso, alle possibilità tecniche ambientali (strumenti, materiali, collaboratori) e agli obiettivi che si intendono perseguire. Segno di salute professionale è l'attenzione ai fenomeni che si incontrano: una lampada vista attraverso una zanzariera, la deformazione di un suono riflesso da una parete ineguale, un ciclista che arranca su una salita in montagna, ... Quando questa osservazione diventa spunto didattico o suggerisce una semplice dimostrazione didattica, allora un insegnante di fisica credo che possa essere legittimamente soddisfatto di sé.

Nella nostra tradizione culturale l'insegnante di fisica è ritenuto un fisico minore; come se all'insegnamento fossero destinati i laureati meno dotati e preparati. Non diamo troppo credito a questa diffusa opinione, figlia di una disastrosa sottovalutazione del ruolo della scuola e di una desolante impreparazione culturale in campo scientifico. Condurre lo studente a riconoscere come problema la strana immagine assunta da un lampione visto attraverso la tela di un ombrello non è più facile che occuparsi di laser o fotomoltiplicatori: tutto dipende dalle persone. Certo l'insegnante, più di altri operatori culturali, non deve aspettarsi gratificazioni diverse da quelle morali: rare anche queste. Tuttavia, accade talvolta di riconoscere nella crescita intellettuale di un ragazzo, pur autonoma e non pre-determinabile (grazie a Dio), un nostro contributo che, per vie misteriose, ha dato frutto: questa è la massima tra le ricompense a cui può aspirare l'insegnante.