

URI HABER-SCHAIM

*Boston University
U.S.A.*

DIDATTICA

La Fisica di base

(The Physics Teacher, 20, 2, febbraio 1982, p. 86)

Traduzione di Silvia Pugliese Jona ()*

Il Prof. Uri Haber-Schaim insegna Didattica della Fisica e delle Scienze all'Università di Boston, dove dirige l'Istituto per lo Sviluppo Curricolare in Scienze e Matematica. Dal 1957 fa parte del Physical Science Study Committee, da cui è stato sviluppato e successivamente riveduto e rinnovato nel corso degli anni, il Corso PSSC, la cui importanza nel determinare un rinnovamento nel modo d'insegnare la fisica è stata fondamentale, non solo negli Stati Uniti. Ha inoltre partecipato ad altri progetti ben noti anche in Italia, tra cui l'IPS. (S.P.J.)

Durante gli ultimi dieci anni si è molto discusso della « rilevanza » della fisica e delle altre materie d'insegnamento e, verso la fine degli anni settanta, si è cominciato più spesso a parlare di « concetti basilari ». Questi discorsi riguardavano ed ancor oggi riguardano soprattutto la matematica dove, purtroppo, i concetti basilari vengono fatti coincidere con le operazioni aritmetiche. Mentre la fisica deve ancora lottare per essere riconosciuta disciplina di base, da diverse parti si alzano voci che pretendono che essa, per il fatto di essere insegnata nelle scuole secondarie, fornisca agli studenti gli strumenti che li trasformino in cittadini capaci di prendere decisioni ragionate e di esprimerle se necessario, con il voto. Questo modo di definire ciò che è basilare in fisica è ambizioso e poco realistico e confonde la comprensione degli elementi della fisica con la capacità di esprimere giudizi su questioni tecnologiche complesse e cariche d'implicazioni sociali ed economiche. Io credo che, in modo più realistico e sufficientemente ampio, la funzione basilare della fisica consista nel fornire ai futuri cittadini le conoscenze e le capacità che permettono loro di capire che cosa essa è e quali sono i suoi confini ed i suoi limiti, e che li aiutino a distinguere tra il possibile e l'impossibile. Lo scopo di questo articolo è di proporre alcuni criteri che possano servire come guida nella scelta o nell'elaborazione di un programma di fisica « di base ».

Le premesse

La mia tesi si fonda sulle premesse seguenti:

(a) *Il tempo disponibile, in classe e a casa, è limitato.*

Gli studenti non possono dedicare tutto il loro tempo alla fisica e gli insegnanti non possono usufruire di tutte le ore d'insegnamento e di laboratorio che desidererebbero. E, sebbene la distribuzione del tempo scolastico tra le varie materie sia un argomento che meriterebbe di essere ridiscusso, a quanto è dato di prevedere le ore d'insegnamento continueranno a costituire un vincolo a cui dobbiamo adattarci.

(b) *Per sviluppare capacità e comprensione sono necessari tempo e applicazione.*

Nella migliore delle ipotesi l'imbottirsi la testa di nozioni ha come unico risultato una memorizzazione di breve durata. Per assorbire idee nuove e per sviluppare nuove capacità occorre applicarsi ripetutamente su tempi lunghi, in contesti diversi ed in situazioni aperte che richiedano agli studenti di esercitare il ragionamento. Questo è ciò che intendo con la parola « applicazione », in contrapposizione alla parola « esercizio » con la quale comunemente si indica la meccanica ripetizione, per un breve periodo di tempo, degli stessi concetti.

Un ottimo esempio di un'abilità a cui da molto tempo i fisici annettono molta importanza e che solo da poco è stata scoperta dai matematici e dai docenti di matematica è la capacità di fare delle stime, cioè di trovare soluzioni approssimate ai problemi. Nelle prime classi della scuola elementare i bambini imparano che i calcoli sono o giusti o sbagliati e che è indif-

(*) Per gentile concessione dell'American Association of Physics Teachers. La traduzione è stata effettuata nell'ambito delle attività del Gruppo Rapporti con l'Estero.

ferente, ai fini del giudizio dell'insegnante, che uno sbaglio riguardi la prima o l'ultima cifra del risultato. Nel mondo reale le cose stanno diversamente. I tentativi di insegnare l'arte di fare stime in tre facili lezioni portano però di solito a confondere le stime con gli arrotondamenti.

Per trovare una soluzione approssimata ad un problema si deve innanzitutto cercare il modo di spezzarlo in parti facilmente risolvibili sotto condizioni semplificatrici, poi controllare la validità delle semplificazioni introdotte, ecc. Il calcolo vero e proprio costituisce solo l'ultimo passo del procedimento. Per riuscire ad affrontare con una certa sicurezza un'attività di questo genere, vincendo le paure risalenti alle prime esperienze di aritmetica, occorre una buona dose di quella che ho chiamato « applicazione ».

Un altro esempio di apprendimento che richiede tempo ed applicazione ripetuta in contesti diversi è l'imparare a mettere in relazione le forze con le accelerazioni anziché con le velocità. Circondati come sono dagli attriti, gli studenti sono portati a pensare che le forze producano velocità piuttosto che accelerazioni. E anche se sanno come inserire i valori numerici nella formula $F = ma$, di solito ricadono in ragionamenti di tipo aristotelico quando devono affrontare problemi qualitativi per i quali non possono ricorrere a formule.

Riassumendo, dobbiamo tener conto del fatto che chi impara ha bisogno di tempo per crescere. E anche se l'apprendimento potrebbe essere reso più veloce da sussidi didattici migliori e da più proficue abitudini di studio, non credo che nell'immediato futuro assisteremo a miglioramenti sostanziali. I risultati ottenuti finora con l'istruzione programmata nelle sue versioni meccanica ed elettronica non indicano che siano state fatte vere conquiste in questa direzione.

(c) *Conseguenza: è necessario operare scelte sia di contenuto sia di approccio didattico.*

Quest'affermazione può sembrare scontata; ma la maggiore preoccupazione di certe commissioni statali statunitensi per l'adozione dei libri di testo e delle analoghe commissioni dei Ministeri dell'Educazione di molti paesi è di accertare che i testi coprano tutti gli argomenti prescritti. Se e come questi argomenti vengano affrontati nelle classi e che cosa gli studenti ne ricavano viene spesso ignorato.

Le scelte devono riguardare non solo i contenuti ma anche il modo di affrontarne l'insegnamento, tenendo conto non solo delle limitazioni di tempo ma anche degli obiettivi che ci prefiggiamo.

Chiaramente la cosa migliore sarebbe che gli studenti potessero interrogare direttamente la

natura, mettendo mano essi stessi agli strumenti. Questo fatto, noto da molto tempo, è stato espresso in modo più dotto di quanto faccia io ora dai seguaci del lavoro di Piaget. Tuttavia i vincoli di tempo, di danaro e di attrezzature impediscono che ogni argomento possa essere affrontato partendo da un esperimento svolto dagli studenti. Si può anche iniziare con la lettura del resoconto di un esperimento, oppure con la visione di un film. Dato che tutti noi ci auguriamo che i nostri studenti continuino ad apprendere anche dopo aver lasciato la scuola, quando la maggior parte di loro non avrà più accesso ad un laboratorio, è anche opportuno che essi acquistino la capacità di imparare dai libri e dalle lezioni cattedratiche.

(d) *Per facilitare l'apprendimento un programma dev'essere strutturato in modo che i concetti insegnati siano utilizzati per sviluppare concetti successivi.*

Perciò la scelta dei contenuti è condizionata, oltre che dai limiti di tempo, anche dalla loro reciproca correlazione. Il rinforzo produce un migliore apprendimento ed una migliore comprensione.

Consideriamo per esempio due diverse trattazioni del 2° principio della dinamica: nella prima esso venga affrontato in un solo punto del programma e la discussione sia limitata al moto di corpi le cui masse, spostamenti e velocità siano dell'ordine di grandezza comunemente incontrato nella vita di tutti i giorni. Nella seconda trattazione l'argomento sia discusso in tre punti diversi e sia applicato a corpi enormemente differenti, dagli oggetti dell'esperienza quotidiana fino agli elettroni da una parte, e fino ai pianeti dall'altra. Credo che in questa seconda trattazione l'effetto del rinforzo sarebbe una comprensione ben più approfondita dell'argomento.

(e) *Oltre a rispondere alle esigenze dei discenti, la struttura del programma deve anche rispettare le gerarchie interne proprie della materia d'insegnamento.*

Uso intenzionalmente il plurale perché esistono diversi buoni modi di organizzare i contenuti di un corso di fisica: tuttavia non tutti i modi si rivelano adeguati.

Per esempio si può partire dalla forza e dallo spostamento per introdurre i concetti di lavoro e di energia; ma si può anche partire dal lavoro, dall'energia e dallo spostamento per introdurre il concetto di forza. Una simile alternativa non si presenta invece nel caso dei concetti di potenza, tempo e lavoro. Similmente, si può partire dalla quantità di moto per introdurre la forza o dalla forza per introdurre la quantità di moto perché esistono esperimenti che possono essere messi in relazione sia con la forza sia con la quantità di moto. Ma sarebbe assai

arduo pretendere d'insegnare l'accelerazione prima della velocità.

È l'esistenza di una gerarchia interna dei concetti che rende criticabile un corso introduttivo basato sulle scoperte più recenti della fisica: sfortunatamente infatti le ultime scoperte richiedono la conoscenza di molti prerequisiti, senza i quali non è neppure pensabile di poterne parlare in modo sensato. Anche questa può sembrare un'affermazione ovvia: eppure si sente parlare talvolta di corsi introduttivi della durata di un semestre, rivolti, a studenti universitari di materie non scientifiche, in cui si trattano i quark ed i buchi neri.

Proviamo per un momento a confrontare ciò che pensa uno studente universitario del 1° anno quando parla di « particelle » con ciò che pensa un fisico di professione quando parla di un « quark » o anche semplicemente di una particella un po' più vecchiotta come un π^0 .

È probabile che gli studenti che non hanno mai studiato fisica associno la parola « particella » con l'idea di polvere, o fumo, o forse sabbia. Gli studenti che hanno già studiato la meccanica newtoniana le daranno invece forse un significato più generale, associando ad essa una massa, un'eventuale carica elettrica, una quantità di moto e le forze con cui interagisce con altre particelle. Penseranno cioè ad un oggetto rigido che possiede una propria forma e dimensione: la cui forma e dimensione (ed eventualmente colore) non sono però rilevanti nell'ambito dello studio che ne viene fatto. Inoltre tutti gli studenti all'inizio degli studi associeranno al concetto di particella certamente anche il concetto di stabilità. Il passaggio da queste particelle ad entità provviste di sezione d'urto ma prive di vere e proprie dimensioni, soggette a decadere dopo un intervallo di tempo imprevedibile, dotate di uno spin che però è altra cosa da un momento angolare dovuto ad un'effettiva rotazione nello spazio, è chiaramente un salto enorme. Aggiungiamo l'idea di parità ed il fatto che l'esistenza della particella sia una pura deduzione basata sugli effetti provocati dai suoi prodotti di decadimento ed arriveremo al π^0 . C'è ancora molta strada da fare prima di giungere ai quark.

Vorrei chiudere quest'elenco di premesse con due pseudo-premesse: qualunque argomento dev'essere capace di tener desto l'interesse degli studenti e deve prestarsi a suscitare un'attività mentale che possa essere verificata con domande al loro livello. Mi riferisco a questi due requisiti chiamandoli pseudo-premesse perché, più che dalla materia in sé, il loro realizzarsi dipende dall'abilità di chi elabora i programmi e di chi li insegna. Con un po' d'impegno, per esempio, si può persino rendere entusiasmante lo studio della densità.

Gli obiettivi

Tenendo presente questo elenco di premesse, possiamo ora procedere alla discussione di vari obiettivi. Non voglio qui riferirmi ai ristretti « obiettivi comportamentali » così in voga tra gli educatori e gli amministratori scolastici negli anni settanta. Il più delle volte quegli « obiettivi comportamentali » si limitavano a riesprimere il contenuto di una singola lezione o di un paragrafo del libro di testo con una frase che iniziava con le parole: « Gli studenti dovrebbero essere in grado di... ». Se l'argomento affrontato in quel paragrafo era la riflessione sugli specchi piani, la frase continuava dicendo: «... formulare la legge della riflessione e tracciare il cammino dei raggi luminosi al fine di localizzare le immagini formate da uno o da due specchi piani ». In altri termini, il paragrafo era scritto prima e gli obiettivi comportamentali erano scritti dopo, per esigenze di verifica. Infatti l'aver esplicitato gli obiettivi rendeva più facile la stesura di quiz e la traduzione in punteggio dei risultati conseguiti dagli studenti.

Oltre a questi obiettivi a breve termine, limitati allo spazio di un capitolo, esistono anche obiettivi a lungo termine che devono essere stabiliti *in precedenza* e che devono essere tenuti sempre presenti. Gli obiettivi a lungo termine, se perseguiti con serietà, possono incidere profondamente sul lavoro che viene svolto nelle classi perché hanno una grande influenza *sul modo* in cui le cose vengono insegnate.

Un primo obiettivo, davvero fondamentale, è sviluppare negli studenti la capacità di capire quando sanno e quando non sanno: si tratta, in altre parole, di insegnar loro l'abilità di analizzare criticamente i dati su cui basano le loro conoscenze. Questa capacità è richiesta per la risoluzione di ogni genere di problema, ed utilizzata nel momento in cui si deve stabilire la pertinenza e l'affidabilità dei dati di partenza.

Le strade da percorrere per raggiungere questo obiettivo non sono brevi né facili. Esso richiede di porsi domande e di eseguire indagini, di cercare risposte approssimate e di valutarne criticamente le conseguenze, di andare continuamente avanti e indietro tra esperimento e teoria. Richiede inoltre la capacità di condurre ricerche bibliografiche e di imparare da ciò che si legge.

Si tratta indubbiamente di un obiettivo di primaria importanza per la formazione di cittadini illuminati. Essi potranno in qualsiasi momento procurarsi informazioni specifiche sull'inquinamento o sulla sicurezza nucleare; ma « conoscere » dati numerici e termini tecnici non serve a niente senza l'abitudine di accertarsi di aver capito quali sono le basi delle proprie conoscenze e senza la capacità di giu-

dicare quando i dati non sono soddisfacenti. Le persone prive di queste capacità cadono facile preda di forme discutibili di pubblicità commerciale e di propaganda politica. Il problema con molti nostri concittadini che prendono posizioni estreme su varie questioni tecnologiche non è la loro incapacità di citare dati quantitativi o termini tecnici, ma il fatto che ciò che essi ritengono di sapere è in realtà privo di fondamento.

Per imparare a capire quando si sa è necessario raccogliere dati sperimentali, analizzarli, cercare generalizzazioni e controllarne la validità. La suddivisione di questo processo tra lavoro degli studenti in laboratorio, dimostrazioni sperimentali condotte dall'insegnante, studio del libro di testo e visione di film è questione di secondaria importanza, che può condizionare la scelta degli argomenti trattati ma non il tipo di processo mentale che si desidera sviluppare.

Un altro obiettivo, collegato al primo, è che gli studenti acquistino la capacità di applicare le loro conoscenze di fisica a situazioni reali e non soltanto ai tipici problemi che incontrano nei libri di testo. Questa capacità sarà di grande valore più tardi nella vita, ma è nella scuola secondaria che si deve cominciare a svilupparla. Il mezzo è l'uso di domande formulate in modo che siano gli studenti stessi a dover decidere quali conoscenze siano da utilizzare per rispondere.

Consideriamo per esempio la domanda seguente: *Dati la massa e il volume di un corpo, trovare la densità del materiale di cui è composto.* Per rispondere gli studenti hanno solo da inserire i valori numerici opportuni nella formula $d = m/V$. Confrontiamola con la domanda: *Due cubi di spigoli a e a' e masse m e m' potrebbero essere fatti della stessa sostanza? Questa volta gli studenti devono decidere di confrontare le densità dei due corpi.*

Ecco un problema più difficile: *Uno studente scende giù per una fune. Che cosa succede alla sua energia potenziale gravitazionale se (a) si lascia scivolare; (b) scende spostando una mano dopo l'altra? Quegli studenti che per avventura si fossero bruciate le mani scivolando giù per una corda non avranno difficoltà a rispondere alla domanda (a). La vera sfida è contenuta nella situazione descritta in (b), dove l'effetto non è facilmente rilevabile. Con questa domanda viene messa alla prova la fiducia che gli studenti ripongono nel principio di conservazione dell'energia: quelli che sostengono che l'energia interna dei muscoli aumenta dovranno spiegare per quale ragione non sentono i muscoli bruciare, come le mani quando si scende scivolando. I concetti di energia potenziale gravitazionale, capacità termica e conduzione*

termica sono tutti necessari per la piena comprensione di questo problema.

Se lo scivolare lungo una fune non vi sembra molto appassionante ed invece vi interessate alla storia della tecnologia militare, potete domandarvi per quale ragione i difensori dei castelli medioevali gettavano olio bollente sugli attaccanti invece di acqua bollente, considerando che il calore specifico dell'olio è appena circa metà di quello dell'acqua e che l'acqua è indubbiamente meno costosa dell'olio.

Con questi esempi voglio sottolineare il fatto che saper applicare le proprie conoscenze in situazioni nuove è un'abilità che va praticata e non può, per sua stessa definizione, essere acquisita attraverso la risoluzione meccanica di un gran numero di problemi simili tra loro. La validità di quest'affermazione ha ricevuto una recente conferma in occasione delle prove nazionali di accertamento delle conoscenze matematiche: si è constatato che un maggiore allenamento non è riuscito a far crescere il livello medio dei punteggi e che gli studenti erano incapaci di risolvere i problemi di tipo diverso da quelli su cui si erano specificamente esercitati.

L'elenco degli obiettivi generali è ancora lungo: comprende la comunicazione delle informazioni scientifiche; la consapevolezza dell'influenza che la scienza ha sulla tecnologia e sull'economia; gli aspetti morali delle scoperte scientifiche; il modo in cui la fisica determina le nostre idee sull'Universo, ecc.

Sono tutti obiettivi importanti, a cui tuttavia gli insegnanti possono assegnare priorità diverse secondo il tipo di popolazione scolastica a cui si rivolgono. Il loro effetto sulla struttura di un corso di fisica può essere analizzato in modo simile a quello in cui ho analizzato l'effetto degli obiettivi menzionati precedentemente.

Con questo il discorso si sposta agli obiettivi che si ricollegano al contenuto dei corsi. A questo proposito l'evoluzione del corso PSSC è un esempio illuminante di come il cambiamento degli obiettivi e del grado di preparazione degli studenti influiscano sui contenuti di un corso e sull'importanza relativa delle sue parti.

Oltre vent'anni fa la Physical Science Study Committee impostò il proprio lavoro avendo in mente gli obiettivi generali che ho citato. C'era inoltre l'intenzione di fornire agli studenti un'ampia introduzione ai concetti più elementari della fisica: lo spazio, il tempo, la massa. La Commissione voleva anche porre l'accento sull'importanza dei modelli, considerati come strumenti che, con un minimo di contenuto matematico, permettono di pensare per analogie. Dobbiamo ricordare che a quell'epoca nelle scuole secondarie la fisica veniva perlopiù

insegnata come una raccolta di leggi e formule, con pochissime attività di laboratorio, e che i modelli praticamente non facevano parte del programma.

Riguardo ai contenuti, il principale obiettivo del PSSC era di presentare le idee-chiave che conducono al quadro quantistico proprio della fisica moderna. Ciò richiedeva che nel corso si sviluppassero in modo approfondito la dinamica newtoniana delle particelle e la cinematica delle onde. La visione quantistica scaturiva, naturalmente, dalla combinazione di questi due aspetti.

Una decina d'anni fa la qualità dell'insegnamento scientifico nelle scuole americane era decisamente migliorata. Nelle scuole secondarie inferiori ed in qualche misura anche nelle scuole elementari venivano ormai svolte attività di sperimentazione. Altri corsi di scienze introducevano precocemente il concetto di modello. Di conseguenza decidemmo di tagliar via una buona fetta della prima parte del vecchio corso, in modo da riservare più tempo alla parte centrale. Ci interessavamo ancora della luce soprattutto perché forniva un esempio di come si evolve storicamente un modello. Introducevamo anche il quadro moderno con i fotoni, ma lo studio delle proprietà della luce era tenuto separato dalla discussione principale della conservazione dell'energia su scala macroscopica.

Durante l'ultimo decennio è cresciuto presso il grande pubblico l'interesse per l'aspetto energetico della luce e, quindi, per la sua natura corpuscolare. Inoltre non si deve trascurare il

fatto che ormai le idee base della fisica quantistica non costituiscono più una novità, per concludere che forse è giunto il momento di insegnarle con lo stesso approccio sperimentale con cui già insegnamo le altre parti della fisica. Questa è, almeno, la nostra conclusione per il PSSC degli anni ottanta.

Nel nostro caso la decisione di conglobare l'aspetto energetico della luce nel quadro generale della conservazione dell'energia ha prodotto un cambiamento notevole nell'organizzazione del corso. Per rendere coerente lo studio della luce, abbiamo dovuto collocarlo dopo la trattazione della dinamica newtoniana e della dinamica delle particelle cariche.

Questo breve esempio illustra come un cambiamento di obiettivi derivante da uno spostamento d'interesse di grande portata e presumibilmente di lunga durata avvenuto fuori dell'aula scolastica abbia influenzato la struttura di un corso di fisica. In che direzione si muoverà la fisica di base nel prossimo decennio? Guardandomi intorno noto che l'interesse verso il moto degli elettroni nei tubi catodici e verso il moto delle sonde spaziali nel sistema solare va calando, mentre un numero sempre maggiore di persone si chiede perché mai ci si debba preoccupare di risparmiare l'energia, visto che l'energia si conserva comunque. Forse la svolta che sta maturando sposterà i contenuti della fisica di base dallo studio dettagliato del moto di particelle singole allo studio del comportamento globale dei sistemi di particelle o, per dirlo con altre parole, dalle leggi del moto di Newton alle leggi della termodinamica.

P R E M I O B O N A C I N I 1 9 8 4 - 8 5

**TUTTI I SOCI SONO INVITATI A FARE ESPORRE ALL'ALBO DEL LORO
ISTITUTO LA LOCANDINA CON IL BANDO DI CONCORSO ALLEGATA
AL PRESENTE FASCICOLO.**