

DI FRONTE AL PROBLEMA

IL RUOLO DEI PROBLEMI NELLA DIDATTICA DELLA FISICA

di *Curzia Marchi Trevisi**

Nell'insegnamento della fisica è sempre più diffusa l'abitudine a considerare separati il momento della comprensione e quello dell'applicazione. Al contrario il «problema» può essere un'occasione importante sia per un'acquisizione consapevole delle procedure logico-concettuali sia per una più profonda comprensione del nesso tra il quadro teorico in cui si opera e la situazione fenomenologica particolare che è stata modellizzata. Una modalità di lavoro ben lontana dalla pura enunciazione lineare di contenuti rigidamente formalizzati.

A chi si occupa dell'insegnamento della fisica, è cosa nota, non solo in Italia ma in tutto il mondo, quanto siano importanti i problemi. Mentre però in Italia questi vengono utilizzati generalmente come strumento di verifica o come esercizi di semplice applicazione di quanto studiato, all'estero se ne fa spesso un uso molto più esteso come fondamentale strumento didattico. Essere in grado di risolvere problemi interessanti può diventare per gli studenti fonte di motivazione al lavoro scolastico e contribuire a far loro acquisire sicurezza e fiducia in se stessi. Richard Feynman, già nella *Prefazione a Lectures on Physics* (giugno 1963) dichiarava: «Penso che per dare una mano agli studenti bisognerebbe mettere più impegno nell'inventare problemi che chiariscano i concetti presentati a lezione. Esercizi e problemi forniscono una buona opportunità di completare l'argomento e rendere più reali, più complete, più salde nella mente le idee.»¹

Fin da quando cominciai a insegnare fisica nella scuola secondaria superiore, qualche decennio fa, ho sempre ritenuto che dare l'opportunità allo studente di affrontare e risolvere problemi potesse essere essenziale per l'apprendimento della fisica, motivante nello studio e promotore di capacità utilizzabili in altri ambiti sia scolastici che extrascolastici. Le mie difficoltà nascevano invece dalla carenza di materiale esistente a questo riguardo. Anche se alcuni problemi erano presenti nei libri di testo, essi rappresentavano un puro strumento di esercitazione e non se ne sottolineava l'essenziale aspetto formativo. Di qui la necessità di ricavare spunti da testi universitari, dopo aver provveduto a una rielaborazione per renderli idonei al livello degli studenti e, in seguito, a far riferimento alla letteratura straniera già orientata in questa direzione con il sorgere di nuovi progetti didattici.

*Insegnante di fisica dal 1962, ha lavorato nelle sperimentazioni didattico disciplinari fin dalle prime classi pilota del PSSC e attualmente partecipa al Progetto Scuola-Ospedale, presso gli Istituti Ortopedici Rizzoli di Bologna. È stata presidente dell'AIF dal 1984 al 1988 e attualmente ne è socio onorario.

¹Cfr: R.P. Feynman, *Sei pezzi facili*, Adelphi, Milano 2000.

Gli scopi per cui può essere usato un problema sono diversi a seconda del momento dell'attività didattica, quindi quando lo si prepara o lo si sceglie da un libro occorre sempre aver presente l'obiettivo al quale ci riferiamo. Per esempio, mentre è abbastanza facile individuare un problema come esercitazione su contenuti svolti o come strumento di valutazione, è meno usuale sceglierne uno come modo per introdurre una discussione in classe.

Ho raccolto così e rielaborato nel corso degli anni circa 1800 problemi, tutti sperimentati personalmente in classe con studenti di biennio e triennio o, sempre con studenti, in altre occasioni.

Fra questi ne ho selezionati 828, corredati di soluzione, che riguardano una vasta gamma di temi dalla fisica classica alla fisica moderna e che presentano caratteristiche diverse sia per quanto riguarda l'approccio che il grado specifico di difficoltà. Ho ritenuto poi ottimale l'idea di organizzare l'opera su cd, in un ipertesto che permetta a chi è interessato di sfruttarne le potenzialità.²

Personalmente ritengo che sia consigliabile, fin dall'inizio di un corso di fisica, abituare lo studente a riflettere sui metodi e le procedure di approccio a una situazione problematica; l'esperienza mi ha infatti confermato quanto questa attività possa contribuire a rafforzare la comprensione dei concetti di base. In seguito si possono affrontare in modo critico, sempre mediante problemi, argomenti concettualmente più complessi, che possono richiedere una maggiore formalizzazione e astrazione.

Man mano che si procede è possibile dimostrare allo studente come, utilizzando conoscenze, procedure e metodi già familiari, perché applicati in altre situazioni, possa essere in grado di comprendere anche alcuni concetti base della fisica moderna, oltre che di riflettere in modo più critico e consapevole su alcuni dei risultati precedentemente raggiunti. Il modo più consueto è di pensare al problema come una prova scritta: si dà il testo, i ragazzi devono risolverlo e consegnare la soluzione. Ma lo si può usare anche in altri modi, per esempio se ne può fare argomento di discussione in classe: si formula il problema, si raccolgono interventi, si chiedono contributi e si costruisce man mano la soluzione. Su questo aspetto mi soffermerò particolarmente negli esempi che seguiranno, riguardanti, nella maggior parte dei casi, l'utilizzo di problemi come strumento formativo.

È fondamentale riuscire a instaurare fin dall'inizio un clima di collaborazione e di fiducia. Lo studente deve essere in grado di esporsi, senza il timore di essere giudicato negativamente se sbaglia. Lo si vuole prima di tutto convincere ad avere fiducia nelle proprie capacità e che non c'è nulla di «astruso» in quel che gli si propone, perchè in molti casi le situazioni sono già familiari, anche se non ne è consapevole. Si dimostra inoltre che i problemi che gli verranno proposti sono già stati collaudati e risolti positivamente da centinaia di studenti e che analoghi vengono affrontati e risolti da studenti degli altri paesi del mondo.

Questa condizione non è sempre facile da raggiungere, perchè spesso

gli studenti sono già abituati al malefico «gioco delle parti»: l'insegnante giudica e lo studente deve far credere all'insegnante di aver capito e di sapere.

E così in seguito, anche durante le prove individuali, sarà sempre concesso, anzi consigliato, allo studente di fare riferimento a tutte le fonti di informazione che ritenga utili per risolvere il problema assegnato: libri di testo, appunti, anche domande dirette e motivate all'insegnante. L'importante è sapere utilizzare le informazioni. Conviene invece evitare, perchè non utili allo scopo, le «copiature» dai compagni!

Una volta che lo studente è più o meno faticosamente giunto alla soluzione del problema deve poi decidere se quanto ottenuto è accettabile e che cosa significa. L'interpretazione deve ricondurre l'aspetto «matematico» del risultato alla situazione «fisica» a cui ci si era riferiti e solo a questo punto si possono trarre conclusioni. Lo studente deve quindi imparare a partire da una lettura attenta dell'enunciato, per passare poi all'analisi e interpretazione dell'informazione data, alla scelta di un metodo di risoluzione, all'interpretazione fisica e alla verifica della sensatezza del risultato. E per facilitare questa verifica è consigliabile, almeno all'inizio, che il problema abbia collegamenti con la realtà in modo che sia possibile far riferimento all'esperienza quotidiana. Lo studente deve essere consapevole che non ha senso dichiarare come risultato che un proiettile viaggi alla velocità di 3 km/h o che in un forno ci sia una temperatura di 4 °C o che una torre risulti alta 7600 m, anche se è portato ad avere una fiducia assoluta nei risultati ottenuti con la calcolatrice.

Deve abituarsi così a non usare le formule come una «macchina a gettoni», ma ad avere sempre presenti i limiti di validità e il contesto nel quale è applicabile una determinata legge.

Questo è il parere espresso anche da E. Rogers quando dichiarava: «Per convincere gli studenti che non mi aspetto da loro che sappiano semplicemente mettere certi numeri in certe formule, io uso impegnarmi pubblicamente, all'inizio del corso, che in tutte le prove le formule occorrenti saranno liberamente disponibili.»³

Quando insegnavo fisica applicata in una terza ITIS, nella quale erano presenti studenti provenienti dalle seconde classi di diversi corsi del biennio, in uno dei primi incontri ero solita proporre tre problemi i cui testi erano formulati più o meno nel modo seguente.

Alla massa $m = 1$ kg, inizialmente alla temperatura di 20 °C, viene fornita la quantità di calore $Q = 30$ kcal. Qual è la temperatura finale dell'acqua? E nel caso che venga fornita una quantità di calore doppia o tripla?

Un oggetto viene lasciato cadere in aria dall'altezza di 50 m. Descrivere il suo moto.

La stella X dista Y anni luce dalla Terra. Esprimere questa distanza in km, assumendo per la velocità della luce $c = 3 \cdot 10^8$ m/s

Presentavo questi problemi in una discussione in classe, perchè il mio scopo principale non era tanto individuare quali argomenti conoscevano i singoli ragazzi, quanto capire il modo in cui avevano operato.

²La raccolta di questi problemi è pubblicata in: C.Marchi Trevisi, *I Problemi della Prof.*, in: *Quaderno 11 di La Fisica nella Scuola, Supplemento* n. 2, 2001. Inoltre, una trattazione completa dei problemi e delle loro soluzioni è disponibile nell'allegato cd, in un ipertesto che permette di scegliere di volta in volta i modi e i tempi di utilizzo.

³E. Rogers, *Improving Physics Education through the construction and discussion of various types of Test*, Unesco Paris 1972.

Il primo problema automaticamente induceva alcuni studenti ad applicare la relazione $Q = C_s m \Delta t$ in modo ripetitivo e quindi si potevano mettere in evidenza i limiti di validità di tale relazione.

Con il secondo si faceva notare l'importanza della schematizzazione: il moto si poteva considerare uniformemente accelerato solo nel caso in cui la resistenza dell'aria si potesse trascurare.

Con il terzo si voleva far riflettere sugli ordini di grandezza e sulle cifre significative.

L'insegnamento della fisica a livello di scuola secondaria viene spesso recepito male dagli studenti, perchè non riescono a vedere il nesso fra ciò che si studia a scuola e la vita reale. Conviene quindi partire dall'analisi di fenomeni che fanno parte della loro esperienza quotidiana e, dato che nella realtà i fenomeni che si osservano sono in generale complessi, occorre mettere subito in evidenza la necessità di dover procedere a delle schematizzazioni per poter risolvere i problemi.

I «problemi guida»

I «problemi guida» permettono di introdurre la problematica in esame e di mettere in evidenza alcuni punti chiave, che possono valere anche in altre situazioni. Poichè quello che interessa è fornire un *modus operandi* è importante che questi problemi, forse è meglio parlare di situazioni problematiche, vengano affrontati e discussi collegialmente in classe. In particolare quello che segue, utilizzabile per una discussione in classe in un primo anno del corso di fisica, tratta dell'analisi di un moto reale approssimabile con un moto rettilineo uniforme.

Roberto vuole recarsi a incontrare un amico che, proveniente da Chiasso e diretto a Cremona, sosterrà nella stazione di Piacenza per circa un'ora. Per convincere il padre afferma che l'esperienza gli serve per capire meglio l'argomento di fisica su cui potrebbe essere interrogato il giorno dopo. E per amor di pace cerca di mantenere l'impegno, analizzando il suo moto dalla partenza al rientro a Bologna.

Nella sua ricerca fa riferimento all'indice grafico e alla tabella oraria presenti nell'orario ferroviario.

Nasce l'esigenza, per descrivere il moto di un oggetto, di riferirsi a un sistema di riferimento prefissato e si riconosce l'importanza della scelta da effettuare. Si cerca di abituare lo studente a individuare le ipotesi di partenza, o a formularle se non fornite nel testo del problema, tenendo presente che devono essere attendibili e verificabili.

Durante la discussione si decide di poter considerare il percorso Bologna-Piacenza come rettilineo, di scegliere come origine del moto la stazione di Bologna, di schematizzare il viaggiatore (con il treno) come un punto materiale in movimento. Viene poi costruito il grafico $s(t)$, assumendo che il moto fra una stazione e l'altra si possa considerare come uniforme e che si possano trascurare i tempi del rallentamento all'entrata, della fermata e dell'accelerazione all'uscita delle stazioni intermedie, dopo averli confrontati con la durata del viaggio. La validità di queste

scelte alla fine viene ripresa in esame e ridiscussa.

Si conclude che per descrivere il moto di un oggetto occorre conoscere il sistema di riferimento, le condizioni iniziali, la traiettoria e il verso di percorrenza della traiettoria, la tabella oraria e/o il grafico $s(t)$, possibilmente la legge oraria del moto.

Problemi che si possono risolvere in diversi modi

Ecco ora un esempio che può mostrare allo studente come uno stesso problema si possa risolvere in modi diversi.

Un automobilista distratto passa a un semaforo rosso senza fermarsi e procede tranquillamente alla velocità di 10 m/s. Un vigile motorizzato lo insegue, passando dallo stesso semaforo 20 s dopo alla velocità di 20 m/s. Dopo quanto tempo e a che distanza dal semaforo il vigile raggiunge l'automobilista? Automobilista e vigile viaggiano a velocità costante.

Si può risolvere il problema utilizzando le leggi del moto: si assume il semaforo come origine di riferimento per gli spostamenti e l'istante in cui transita il vigile dal semaforo come $t = 0$.

Si può risolvere il problema per via grafica: si assumono le stesse condizioni iniziali e il problema si risolve, costruendo i grafici $s(t)$ per automobilista e vigile.

Si può risolvere il problema cambiando sistema di riferimento: ci si mette per esempio dal punto di vista dell'automobilista (moti relativi).

Integrare l'attività dei problemi con quella di laboratorio

I problemi che seguono fanno parte di un percorso realizzato in una terza classe. Partendo da esperienze di laboratorio si formulano ipotesi e si ricavano leggi, dalle quali si deducono previsioni che vengono poi verificate con nuova attività di laboratorio.⁴

Ecco due esempi in cui, partendo dalle leggi della riflessione ricavate in laboratorio e dall'ipotesi della propagazione rettilinea della luce, si possono dedurre la posizione del fuoco, l'ingrandimento e la posizione dell'immagine data da uno specchio concavo.

Determinare la distanza focale f di uno specchio concavo sferico di raggio R , sulla base dell'ipotesi della propagazione rettilinea e delle leggi di riflessione della luce.

Sia dato uno specchio sferico concavo di raggio R . Determinare la posizione dell'immagine P' del punto P , a distanza p dal vertice dello specchio (q distanza di P' dal vertice dello specchio).

Nel primo caso si ricava che un fascio di raggi paralleli, quando è riflesso da uno specchio sferico concavo, tende a convergere in un punto (fuoco), solo nell'approssimazione che i raggi siano parassiali. In questo modo si evidenzia il limite di validità dell'assunzione $f = R/2$ e si inter-

⁴C. Marchi Trevisi, *Il laser nella didattica della Fisica*, Introduzione all'ottica. 1° parte Ottica geometrica, in *La Fisica nella Scuola* n.1 I.R. 1992.

preta la caustica che a volte si può osservare sperimentalmente. La verifica avviene poi ricavando sperimentalmente la distanza focale di uno specchio concavo e calcolandone il raggio di curvatura con $R = 2f$ e confrontando questo risultato con la misura di R eseguita con uno sferometro. Anche nel secondo caso quanto ricavato vale solo nell'approssimazione che i raggi si possano considerare parassiali.

Come caso particolare: se $R \rightarrow \infty$ (specchio piano), allora $q = -p$.

La scelta dei problemi

Nella programmazione conviene scegliere i problemi in modo che possano essere fra loro correlati. Si può, per esempio, far notare come si possa utilizzare la stessa strategia per risolvere problemi all'apparenza completamente diversi. Per chiarire, ecco alcuni esempi.

Verificare che nel passaggio della Terra dall'afelio al perielio l'energia totale si conserva. Le distanze della Terra dal Sole in afelio e in perielio sono rispettivamente $a = 152,1 \cdot 10^6$ km e $b = 147,1 \cdot 10^6$ km e la velocità in perielio è $v_p = 30,3$ km/s.

Una volta calcolata la velocità della Terra in afelio, per risolvere il problema si può fare riferimento a un altro proposto precedentemente, riguardante un veicolo che si muove su un ottovolante con attrito trascurabile, entrambi risolvibili applicando il principio di conservazione dell'energia.

Se studiamo come varia nel tempo la distanza della Terra dal Sole durante il moto di rivoluzione, osserviamo che l'andamento è analogo a quello di un vagoncino che si muove sulle Montagne russe: man mano che aumenta la distanza aumenta l'energia potenziale, ma in corrispondenza diminuisce l'energia cinetica. Quando la Terra «scende» dall'afelio aumenta la velocità, che raggiunge il massimo nel perielio, poi «risale», perdendo velocità fino al minimo in afelio e così via....!

Un recipiente con pareti verticali contiene acqua fino a un'altezza h , che viene mantenuta costante. A una distanza a dalla superficie libera del liquido viene praticato un piccolo foro, in modo che il liquido fuoriesca da esso con velocità orizzontale. Il getto poi cade sul piano di appoggio del recipiente. Descrivere come varia la gittata in funzione della posizione del foro. Qual è la condizione in cui si ha la massima gittata?

Il problema si risolve agevolmente e senza equivoci se confrontiamo la traiettoria dello zampillo col moto di un proiettile lanciato orizzontalmente. È spesso capitato di sentire affermare, anche in molti testi autorevoli, che la gittata cresce con la distanza del foro dalla superficie. È un'affermazione suggestiva, ma è una «baggianata».⁵ Si fa riferimento al fatto che la velocità di efflusso cresce con la profondità, ma non si tiene conto del tempo impiegato a cadere, che invece diminuisce con la profondità e la gittata $G = v t$ dipende da ambedue le grandezze!

Un elettrone penetra in un campo elettrico uniforme in direzione perpendicolare al campo. Se la velocità iniziale dell'elettrone è $v_0 = 10^7$ m/s e l'intensità del campo è $E = 6,0 \cdot 10^2$ V/m, determinare la velocità che possiede l'elettrone (intensità, direzione e verso) dopo un tempo $t = 5,0 \cdot 10^{-8}$ s.

Anche per questo problema si può far riferimento al moto dei proiettili. Si scompone il moto nelle direzioni x e y. Il moto dell'elettrone nella direzione x è uniforme, perpendicolarmente al campo: $v_x = v_0 = 10^7$ m/s. Il moto dell'elettrone lungo l'asse y è un moto naturalmente accelerato: $v_{0y} = 0$; $v_y = a \cdot t = (e \cdot E/m) \cdot t$; $v_y = 5,3 \cdot 10^6$ m/s. Da cui: $v = \sqrt{(v_x^2 + v_y^2)}$; $v = 1,13 \cdot 10^7$ m/s. Per calcolare la direzione della velocità, da $\text{tg } \alpha = v_y/v_x$ si ricava $\alpha = 28^\circ$. L'elettrone descrive una traiettoria parabolica.

Approssimazioni successive

Risulta anche molto utile presentare problemi che trattano lo stesso tema, ma con approssimazioni successive.

Un oggetto di massa $m = 1,0$ kg è in quiete sulla sommità di un piano inclinato per il quale il rapporto fra altezza e lunghezza è $h/l = 1/10$. Calcolare la forza, parallela al piano inclinato, che lo mantiene in equilibrio. Determinare con che velocità e dopo quanto tempo il corpo arriva alla fine del piano inclinato, una volta tolta l'equilibrante. Si trascurino gli attriti.

Si dimostra che per il moto lungo un piano inclinato in assenza di attrito la velocità finale dipende solo dalla quota da cui il corpo è partito e non dall'inclinazione del piano.

Un bambino magro (15 kg) e un bambino grasso (25 kg) sono seduti su uno scivolo a un'altezza di 2,0 m da terra. Lo scivolo è lungo 10 m. Il coefficiente di attrito (pantaloni-metallo) per ambedue i bambini è lo stesso (0,02) e la resistenza dell'aria è trascurabile. Quale dei due bambini arriva per primo a terra?

Si dimostra che, anche in presenza di attrito, la velocità finale è indipendente dalla massa.

Nell'ipotesi che la resistenza dell'aria sia trascurabile abbiamo visto che due oggetti che scivolano lungo un piano inclinato, se partono contemporaneamente e sono soggetti solo alla forza di gravità, arrivano in fondo al piano contemporaneamente. E se prendiamo in considerazione la resistenza dell'aria questo risultato è ancora corretto? Immaginiamo che gli oggetti abbiano massa diversa, ma la stessa forma.

In questo caso si ricava che in realtà l'accelerazione e quindi anche il tempo di discesa dipende dalla massa.

Confermare o confutare ipotesi già formulate

Consideriamo il sistema Terra-Sole come un sistema a due corpi, soggetti alla sola forza di attrazione gravitazionale. Sapendo che la massa della Terra è $M_T = 6 \cdot 10^{24}$ kg, quella del Sole $M_S = 2 \cdot 10^{30}$ kg e la distanza fra i loro centri $d_{TS} = 150 \cdot 10^8$ km, calcolare dove si trova il centro di massa del sistema.

Si ricava che il centro di massa del sistema Terra-Sole si trova a soli 450 km dal centro di massa del Sole e quindi possiamo considerare corretta l'assunzione che la Terra ruoti attorno al Sole. Il risultato era prevedibile, considerando il rapporto $M_T/M_S = 3 \cdot 10^{-6}$.

⁹C. Marchi Trevisi, *La potenza della suggestione*, in *La fisica nella Scuola* n.3, 1996.

Roberto guarda i suoi amici che sono saliti sulla giostra volante e osserva che i seggiolini, man mano che aumenta la velocità di rotazione, vanno sempre più in alto e si trovano alla stessa altezza indipendentemente dall'essere occupati o vuoti. Come si spieghino questi fatti?

Dalla soluzione del problema si ricava che l'angolo θ fra il cavo che sostiene il seggiolino e l'asse di rotazione aumenta con l'aumentare della velocità della giostra ed è indipendente dalla massa del passeggero. Questo giustifica il fatto che seggiolini pieni e vuoti ruotano sulla stessa circonferenza.

Si può ricavare anche un altro risultato estremamente interessante. Poiché si ottiene $\tan \theta = (m_i \omega^2 R) / (m_g g)$ dove m_i è la massa inerziale del corpo e m_g la massa gravitazionale, se θ sperimentalmente risulta indipendente dalla massa vuol dire che il rapporto m_i/m_g è costante. Precedentemente avevamo assunto che questo rapporto fosse uguale a uno (identità massa inerziale e massa gravitazionale) e, osservando il moto della giostra al Luna Park, abbiamo una conferma della correttezza della nostra scelta.

Secondo il modello dell'atomo di Rutherford un elettrone in un atomo di idrogeno, nello stato di energia minima, si muove su un'orbita, che considereremo circolare, con raggio $r = 0,53 \cdot 10^{-10}$ m.

Quanto vale la potenza irradiata in un giro? Qual è la frazione percentuale di energia persa in un giro?

Il modello dell'atomo di Rutherford non si può accettare: una configurazione di questo genere non può essere stabile, poiché secondo le leggi della meccanica e dell'elettromagnetismo classiche l'elettrone dovrebbe irradiare onde elettromagnetiche. Il calcolo della percentuale di energia irradiata per ogni giro porta a valutare una vita dell'ordine di 10^{-11} s.

Analisi critica di soluzioni pregresse

In tutti i problemi proposti e risolti in precedenza non abbiamo mai preso in considerazione la forza attrattiva gravitazionale fra gli oggetti coinvolti. Fino a che punto questa approssimazione è valida?

Consideriamo il caso di due uomini di uguale massa $m = 60$ kg posti alla distanza $d = 1$ m. Facendo il rapporto fra la forza di attrazione gravitazionale $F = G m^2/d^2$ fra i due uomini e la forza di attrazione della Terra su ciascuno $F_T = m g$ si ottiene $F/F_T = 3 \cdot 10^{-10}$, quindi l'approssimazione è validissima. La forza gravitazionale è rilevante solo con corpi di grande massa.

La Terra è soggetta a un moto di rotazione intorno al suo asse e di rivoluzione intorno al Sole. Un sistema di riferimento solidale con la Terra quindi non è un sistema di riferimento rigorosamente inerziale, ma può essere considerato tale in buona approssimazione entro certi limiti. Quali sono questi limiti?

Consideriamo un sistema di riferimento solidale con la Terra (per esempio il sistema del laboratorio). La Terra ruota intorno al suo asse con una velocità angolare $\omega_T = 2\pi/T \approx 0,73 \cdot 10^{-4}$ rad/s, dove $T = 8,6 \cdot 10^4$ s è il

periodo di rotazione. L'accelerazione centrifuga a cui è soggetto ogni corpo sulla superficie terrestre e quindi anche il laboratorio è $a_T = \omega^2 R$, quindi $a_T = 3,4 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}^2$ con $R = 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$, raggio medio della Terra. Per l'Italia in particolare $R \approx 4 \text{ 500 km}$ e $a = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}^2$. La forza apparente centrifuga risulta molto minore del peso.

Questa è una ragione per cui possiamo considerare un sistema solidale con la Terra, con ragionevole approssimazione, come se fosse un sistema inerziale.

Se consideriamo poi il moto di rivoluzione della Terra intorno al Sole, assumendo la velocità angolare della Terra attorno al Sole pari a $\omega \approx 2 \cdot 10^{-7} \text{ rad/s}$ e il raggio medio dell'orbita terrestre pari a $R = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$, si ottiene $a = \omega^2 R$ che è circa $0,6 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}^2$, quindi circa di un ordine di grandezza inferiore al precedente. Un confronto fra le accelerazioni in gioco e queste considerate permette di valutare volta per volta se il sistema di riferimento considerato, solidale alla Terra, si può in buona approssimazione assumere come inerziale.

Un elettrone viene accelerato da un campo elettrico $E = 10^3 \text{ V/m}$ per un tratto $s = 10 \text{ cm}$. Calcolare l'energia cinetica acquistata dall'elettrone.

Nell'ipotesi che la velocità iniziale dell'elettrone sia $v_0 = 0$, calcolare la velocità finale.

Calcolare il tempo impiegato dall'elettrone a percorrere i 10 cm.

(Carica dell'elettrone: $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; massa dell'elettrone: $m_e = 0,91 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$)

Questo è uno dei problemi proposti e risolti quando abbiamo affrontato lo studio di una carica che si muove in un campo elettrico uniforme. In quella occasione non abbiamo tenuto conto della perdita di energia dovuta all'emissione di onde elettromagnetiche da parte delle cariche accelerate.

Rivediamo il problema, calcolando: (a) la potenza irradiata; (b) l'energia irradiata nel percorso $s = 10 \text{ cm}$; (c) la frazione percentuale di energia irradiata nel percorso.

La frazione percentuale di energia irradiata è assolutamente trascurabile ($W/E_c = 3,4 \cdot 10^{-16}$) e quindi non occorre apportare nessuna correzione.

Un fascio di elettroni accelerati da zero per mezzo di una d.d.p. $V_a = 320 \text{ V}$, entra in un campo magnetico uniforme in una direzione perpendicolare alla direzione del campo stesso. Il valore dell'induzione è $B = 6 \cdot 10^{-4} \text{ Wb/m}^2$.

Il raggio della circonferenza secondo cui questi elettroni si muovono è $R = 0,10 \text{ m}$.

Calcolare il rapporto fra carica e massa per un elettrone.

In precedenza non si era presa in considerazione la perdita di energia per irraggiamento, ma anche in questo caso si dimostra che la perdita di energia per irraggiamento è trascurabile ($W/E_c = 1,3 \cdot 10^{-22}$).

Quando si studia il moto di particelle che viaggiano a velocità prossima a quella della luce, le leggi della meccanica classica non sono più applicabili. Occorre quindi che lo studente impari a individuare le condizioni per cui, nella soluzione dei problemi, può considerare la particella relativistica o no.

Un protone viaggia alla velocità $v = 2,85 \cdot 10^8$ m/s.
 Calcolare: (a) la sua energia totale in J; (b) la sua quantità di moto p in Ns; (c) la sua energia cinetica E_c in J.
 La massa del protone è $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg.

Un elettrone ha una quantità di moto $p = 1,20 \cdot 10^{-20}$ Ns. Calcolare la sua velocità.

Nel primo caso, $v/c = 0,950$; poiché la velocità è prossima a quella della luce, dobbiamo applicare le formule della meccanica relativistica. Nel secondo caso, dal calcolo del rapporto $p/mc = 44$ si deduce che ancora conviene utilizzare le formule relativistiche.

Conclusioni

Gli esempi che sono stati presentati riguardano argomenti diversi e un diverso grado di difficoltà, ma rappresentano solo alcune delle possibilità offerte, utilizzando i problemi nella normale attività didattica.

Un fatto mi sembra evidente: viene offerta in questo modo allo studente l'opportunità di saper valutare in ogni occasione il grado di apprendimento raggiunto e lo sviluppo delle proprie capacità di indagine e questa possibilità lo coinvolge e lo motiva positivamente.

Le conoscenze acquisite e la capacità di risolvere problemi lo mettono inoltre in grado di rispondere a molte domande e di fare previsioni, partendo da alcuni concetti base.

Queste competenze esulano poi dal semplice dominio scolastico e possono essere utilizzate anche per capire, interpretare e prevedere fenomeni attinenti alla sua vita quotidiana.

È consigliabile pertanto cercare di coinvolgere gli studenti, proponendo problemi che li riguardano direttamente come quelli attinenti ad attività ludiche (giochi, parchi divertimento), ad attività sportive, alla salvaguardia della salute, dell'ambiente o alla sicurezza.

Altra caratteristica comune in diversi degli esempi presentati è che la situazione descritta non è ben definita, poichè nell'enunciato del problema non vengono forniti in tutto o in parte i dati necessari.

Si vuole abituare lo studente a lavorare all'interno di un modello teorico, lasciando a lui l'onere della schematizzazione e della scelta delle approssimazioni, ma avendo però cura che questa operazione sia facile, evidente e conduca a una risoluzione fattibile.

Presentare solo problemi schematizzati a priori può far perdere delle ottime occasioni.

L'insegnante può inoltre servirsi dei problemi per fornire agli studenti un insegnamento più personalizzato e venire così incontro a delle effettive esigenze, difficilmente gestibili in altro modo.

Consideriamo due casi estremi.

Recupero di studenti in difficoltà

È ritenuta inutile e spesso dannosa la prassi di tentare il recupero degli studenti in difficoltà, mediante una ripetizione, anche se a carattere personalizzato, del programma svolto.

Le cause di insuccesso vengono in generale attribuite a mancanza di basi, non idoneo metodo di studio, difficoltà nel comprendere il linguaggio del testo o dell'insegnante.

Personalmente ritengo che vadano ricercate principalmente nell'assenza di motivazione allo studio, dovuta in buona parte all'incapacità di collegare le conoscenze acquisite alle personali esperienze e alla vita quotidiana, e a un possibile contrasto fra il tipo di «addestramento» subito e le personali strategie di apprendimento.

Può essere utile fornire allora allo studente un percorso costituito da problemi preparati *ad hoc*, su supporto informatico, da gestire in autonomia, secondo i tempi e i modi a lui più congeniali. I «problemi guida» già menzionati possono essere utilizzati anche a questo scopo.

L'intervento proposto mira a promuovere lo sviluppo di capacità, a mettere in evidenza i processi e le metodologie seguite nell'affrontare le situazioni problematiche proposte, evitando un intervento puramente addestrativo, anche se di buon livello.

Non si ricomincia da capo, si cerca di partire dalle esperienze maturate dallo studente nella vita quotidiana, di recuperare e utilizzare in modo razionale le informazioni scolastiche memorizzate, anche se frammentarie e confuse, di motivare la scelta degli argomenti in esame.

Recupero degli studenti «più capaci»

Molti si preoccupano per gli studenti in difficoltà, pochissimi dei più capaci. Attualmente con la tendenza al ribasso esistente nella scuola, nel discutibile tentativo di rendere tutto più facile, non si permette agli studenti più dotati di utilizzare e sviluppare adeguatamente le loro capacità, come avrebbero diritto.

Questo genera una caduta di interesse, demotivazione allo studio e sfiducia nei riguardi della scuola e delle istituzioni in genere. In altri può creare un complesso da *superman*, che potrà essere causa di frustrazioni nel momento in cui dovranno e non sapranno affrontare situazioni più complesse.

Mettendo a disposizione di questi studenti una vasta gamma di problemi (e situazioni problematiche) si permetterà loro di ampliare e approfondire i temi affrontati nella prassi scolastica, di utilizzare le conoscenze acquisite in un'ottica diversa e in campi diversi dall'usuale con particolare attenzione a quelli che sono i metodi e la potenzialità della scienza.

In ogni caso è solo l'insegnante che può valutare istante per istante le scelte più opportune.

v