Corso di Perfezionamento in
"Strategie didattiche per promuovere un atteggiamento positivo verso la matematica e la fisica"

Fase provinciale delle olimpiadi della fisica: esempi di problemi che affrontano situazioni realistiche

Giovannetti Francesco

La fase provinciale delle olimpiadi delle fisica, detta anche gara di febbraio, è una gara teorica di fisica alla quale sono ammessi i primi cinque alunni classificati di ogni scuola iscritta al progetto olimpiadi di fisica. Visto che già in partenza non sono moltissime le scuole iscritte, si tratta di una prova che coinvolge pochi alunni e ancor meno insegnanti e di conseguenza è poco conosciuta. Da parte mia, posso dire che ho insegnato in solo due scuole iscritte alle olimpiadi di fisica, e soltanto quest'anno ho avuto modo di analizzare in dettaglio le caratteristiche di questa iniziativa. Di conseguenza, pur avendo molto spesso utilizzato per la didattica di tutti giorni problemi tratti dalla prima fase delle olimpiadi di fisica (dal 2000 è presente anche una prova non competitiva pensata per il biennio), conoscevo molto poco i quesiti e i problemi proposti nella fase provinciale. Credo che questa sia una situazione molto comune tra gli insegnanti di fisica.

La prova di febbraio consiste in 10 quesiti e in 3 problemi. La durata complessiva è di 3 ore: 80 minuti per i quesiti, 100 per i problemi.
I cosiddetti quesiti sono in realtà problemi brevi con una singola domanda la cui risoluzione richiede un'unica sequenza di ragionamento. A differenza dei quesiti della fase provinciale, essi non sono problemi chiusi: non bisogna cioè scegliere tra alternative prestabilite.
Si tratta di problemi interessanti secondo me soprattutto perché anche essi sono applicabili con minimi cambiamenti nella normale didattica in classe. Sono infatti problemi non difficili, ma che richiedono un minimo di riflessione: non basta ricordare ciò che si è letto nel libro di fisica, ma occorre averlo capito davvero.

I tre problemi veri e propri sono assai più complessi dei quesiti, soprattutto perché su una certa situazione si presentano più domande, concatenate tra loro, in cui si richiede l'uso di conoscenze diverse da collegare. In questo caso la mediazione dell'insegnante è decisiva perché temo che non ci si possa aspettare che lo studente medio sappia risolvere da solo un problema di questo tipo, anche perché spesso non è abituato: i tipici problemi alla fine di un capitolo del libro di testo di solito non richiedono nozioni esterne al capitolo stesso
Tuttavia è chiara l'importanza di affrontare ogni tanto problemi di questo tipo, anche per motivare allo studio: spesso la fisica viene vista dagli studenti come un insieme di formule che si applicano in problemi ai loro occhi poco significativi. Spesso i problemi della fisica incontrati dai ragazzi possono far pensare ad un mondo che non esiste, una specie di caricatura della realtà, dove si parla di cose ideali come i gas perfetti, punti materiali, onde monocromatiche, senza far capire come certi concetti astratti ci avvicinino alla realtà. D'altra parte con la fisica studiata a scuola non si riescono ad affrontare nemmeno

problemi banali (per l'alunno), mentre viceversa la fisica, avendo la pretesa dichiarata di descrivere l'universo, dovrebbe essere in grado di avvicinarsi un po' anche al mondo così come è percepito dai ragazzi.
Forse un modo per diminuire lo scollamento tra teoria fisica e applicazione al mondo reale potrebbe essere l'uso sistematico di problemi, anche complessi, all'interno di lezioni dialogate. La difficoltà è allora quella di trovare problemi interessanti ma che allo stesso tempo siano affrontabili come gli esercizi che si trovano alla fine dei capitoli del libro di fisica. Spesso problemi interessanti e di largo respiro sono presenti anch'essi nelle pagine finali dei capitoli del manuale di fisica, ma sono proposti in una forma un po' criptica, in cui si chiede al lettore di capire un certo fenomeno fisico comune utilizzando la fisica appena studiata nel capitolo, senza dare altro suggerimento oltre al suggerimento implicito che per risolvere quella questione bisogna prima aver studiato a fondo. Penso soprattutto al famosissimo Halliday Resnick, manuale a metà strada tra università e scuole superiori, talvolta adottato in queste ultime, ma anche a molti altri libri di testo, che in fondo al capitolo presentano tutta una serie di questioni interessanti, ma inaccessibili per lo studente medio senza adeguati aiuti.
La lista dei seguenti titoli (che dal 1998 precedono il testo del problema) dei problemi della fase provinciale dovrebbe mettere in evidenza come alcuni di essi possono servire allo scopo descritto precedentemente: applicare la fisica a questioni concrete senza cadere nella caricatura del mondo reale.

Lista dei problemi della gara di febbraio

1995 Selettore di semi
Fibra ottica e onde quadre
Tavoletta a cuscino d'aria

1996 Distanza di sicurezza e limite di velocità
Umidità relativa e punto di rugiada
Una lente sottile e 3 sorgenti puntiformi

1997 Foto stroboscopiche
Un gas che si espande
Lastra spessa carica

1998 Velocità quadratica media
Lancio del peso
Circuito con condensatori

1999 Una compressione isoterma
Distribuzioni di cariche elettriche
Piani inclinati

2000Macchina di Atwood
Un filo a piombo ... laser
Carica di un condensatore

2001 Urti ripetuti
Rifrazione con elettroni
Bollicine

2002 Placchetta riscaldata

Macchina di Stirling
Equilibrio per attrito

2003 Sonda SOHO (SOlar & Heliospheric Observatory)
Prisma
Miscuglio di gas
Moto di cariche in un campo magnetico

2004 La sicurezza nel traffico stradale
Due lenti sottili su un banco ottico
Un gas che si espande
Un guasto alla linea telefonica

2005 Un’auto in frenata
Il calorimetro di Favre-Silbermann.
Sferette conduttrici

2006 Una trave come bilancia
Una lente e due immagini
Carica di un condensatore

Per entrare più in dettaglio analizzerò un problema che affronta una situazione che qualsiasi studente possa definire realistica: Un’auto in frenata, del 2005
Non sembra il problema più originale tuttavia esso è affrontato in modo tale da mettere in evidenza alcuni aspetti spesso trascurati:

Problema 1 Un’auto in frenata. 20 punti

Un’automobile ha una massa (comprensiva di passeggeri e bagaglio) di 1400 kg. La distanza tra gli assi delle ruote è di 2.50 m e il baricentro si trova a 1.10 m dall’asse delle ruote anteriori, ad un’altezza di 60 cm dal suolo.

L’automobile sta viaggiando su un tratto rettilineo di una strada orizzontale, a velocità costante; la velocità non è elevata, cosicché in tutte le domande che seguono si può trascurare l’attrito dell’aria.

1. Calcolare il modulo della forza normale al piano stradale che questo esercita complessivamente sulle due ruote anteriori e di quella che viene esercitata sulle due ruote posteriori.
2. Ad un certo istante, sullo stesso tratto di strada, l’automobile frena con un’accelerazione (in modulo) di $2.10\,\mathrm{m\,s^{-2}}$. Calcolare il modulo della forza frenante complessiva che la strada esercita sull’automobile durante questa fase.
3. Calcolare il modulo della forza normale complessiva che la strada esercita, durante la frenata, sulle due ruote anteriori e di quella che viene esercitata sulle due ruote posteriori.
4. Supponendo che gli ammortizzatori anteriori si comportino come molle, calcolarne la costante elastica, sapendo che durante la frenata si comprimono di 6.0 cm in più rispetto all’andatura a velocità costante, considerando che la forza normale si ripartisce in modo uguale tra le due ruote anteriori.

Come si vede la prima domanda è semplicemente una domanda di statica, o di composizione di forze parallele, a seconda dei gusti e può essere risolto anche a un livello preliminare di studio.
La seconda domanda coinvolge la seconda legge della dinamica, la terza domanda la terza legge della dinamica, e la quarta domanda la forza elastica, tutti argomenti affrontati a scuola.
Di seguito è presentata la soluzione:

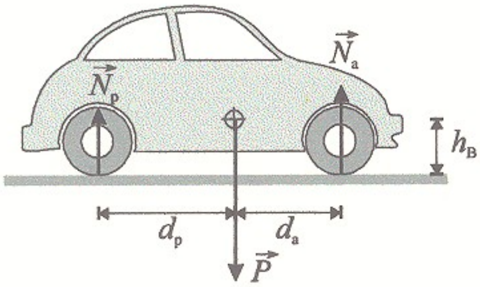
PROBLEMA n. 1 – Auto in frenata

Quesito n. 1.

Le forze che interessano, agenti sull'automobile sono:

- Il peso, $\vec{P}$, che possiamo pensare applicato nel baricentro.
- La forza normale che la strada esercita sulle ruote anteriori, $\vec{N}_a$ (in realtà si tratta di due forze, una per ciascuna ruota, ma per questo problema possiamo considerarle una forza unica).
- La forza normale che la strada esercita sulle due ruote posteriori, $\vec{N}_p$ (vale la stessa considerazione).

Poiché l'automobile viaggia a velocità costante su un tratto di strada rettilineo e orizzontale, le componenti orizzontali di tutte le forze presenti hanno risultante nulla e possono essere ignorate. La situazione è la seguente:



Abbiamo indicato con d_a e d_p le distanze orizzontali tra l'asse delle ruote (rispettivamente anteriori e posteriori) e il baricentro, e con h_B l'altezza del baricentro rispetto al suolo. L'automobile è in equilibrio rispetto alla traslazione verticale. Questa condizione si scrive:

$$N_a + N_p = Mg \tag{1}$$

(N_a indica il modulo di $\vec{N}_a$, e così via, M è la massa dell'automobile, g l'accelerazione di gravità).

D'altra parte, l'automobile è in equilibrio anche rispetto alla rotazione. Poiché la risultante di tutte le forze agenti sull'automobile è nulla, siamo liberi di scegliere il punto rispetto a cui calcolare i momenti. Per analogia con quanto faremo successivamente, sceglieremo il baricentro. La condizione di equilibrio rispetto alla rotazione si scrive allora:

$$N_a d_a = N_p d_p \tag{2}$$

Ricavando ad esempio N_a da qui e sostituendo nella (1) si ottiene:

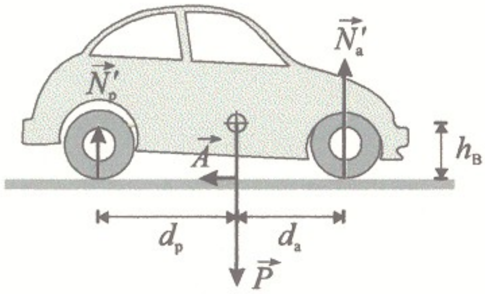
$$N_p = \frac{Mg}{d_p/d_a + 1} = 6.04\,\text{kN}$$

Sostituendo questo valore sempre nella (1) si ricava:

$$N_a = Mg - N_p = 7.69\,\text{kN}$$

Quesito n. 2.

Durante la frenata, alle forze considerate precedentemente si aggiunge una forza frenante, orizzontale, esercitata dalla strada su ciascuna delle ruote; per semplicità le raggrupperemo in un'unica forza, che indicheremo con $\vec{A}$ (perché si tratta di una forza di attrito). Il punto di applicazione di questa forza non è noto con precisione, ma sicuramente (essendo $\vec{A}$ la risultante di quattro forze applicate al livello del suolo) è al livello del suolo, e questo ci basta. La comparsa di questa forza, come vedremo, modifica i moduli delle forze normali considerate prima, che perciò indicheremo con $\vec{N}_a'$ e $\vec{N}_p'$. La situazione è ora la seguente:



Scriviamo ora la seconda legge della dinamica in forma vettoriale:

$$\vec{P} + \vec{N}_p' + \vec{N}_a' + \vec{A} = M\,\vec{a}$$

Scomponiamo questa equazione. Lungo la direzione verticale abbiamo ancora equilibrio (non c'è accelerazione verticale), e dunque abbiamo:

$$N_p' + N_a' = Mg \tag{3}$$

Lungo la direzione orizzontale abbiamo invece:

$$A = Ma \tag{4}$$

Quest'ultima equazione è quella che ci serve per rispondere alla domanda 2): $A = 2.94\,\mathrm{kN}$.

Quesito n. 3.

Anche durante la frenata, l'automobile è in equilibrio rispetto alla rotazione. Stavolta la forza risultante non è nulla, e i momenti vanno necessariamente calcolati rispetto al centro di massa (che coincide col baricentro):

$$N_a'\,d_a = N_p'\,d_p + Ah_B \tag{5}$$

Risolvendo il sistema costituito da questa equazione e dalla (3) si ottiene, con pochi passaggi:

$$N_p' = \frac{Mgd_a - Ah_B}{d_a + d_p} = 5.34\,\mathrm{kN}$$

La forza normale sulle ruote posteriori è dunque diminuita. Al contrario, quella sulle ruote anteriori ovviamente è aumentata. La (3) ci dà:

$$N_a' = Mg - N_p' = 8.40\,\mathrm{kN}$$

Quesito n. 4.

Durante l'andatura a velocità costante ciascuno degli ammortizzatori anteriori è compresso di un tratto $\Delta\ell_1$, mentre durante la frenata la compressione è di un tratto $\Delta\ell_2$; questi sono dati rispettivamente da

$$\Delta\ell_1 = \frac{1/2\,N_a}{k} \qquad \Delta\ell_2 = \frac{1/2\,N_a'}{k}$$

L'abbassamento (ovvero, la compressione ulteriore) degli ammortizzatori è dato dalla differenza tra i due:

$$\Delta\ell_2 - \Delta\ell_1 = \frac{1}{2}\,\frac{N_a' - N_a}{k}$$

La costante elastica k risulta allora

$$k = \frac{N_a' - N_a}{2(\Delta\ell_2 - \Delta\ell_1)} = \frac{Ma\,h_B}{2(\Delta\ell_2 - \Delta\ell_1)\,d} = 5.88\,\mathrm{kN\,m^{-1}}\,.$$

La soluzione appare molto dettagliata perché il suo primo scopo è quello di facilitare la correzione degli elaborati delle olimpiadi di fisica. Tuttavia tale dovizia di particolari si presta secondo me molto bene ad essere utilizzata da un insegnante come traccia per una discussione dialogata a scuola.