

*I problemi di fisica
croce e delizia*

Premessa

Di problemi di fisica mi sono già occupato in varie occasioni:

1) “Il ruolo del problema nella didattica della fisica”; relazione al VI Convegno nazionale AIF “Ettore Orlandini”; Pisa, 6–5–1992.

La Fisica nella Scuola, **27**, suppl. al n. 4 (1994), pag. 6.

<http://www.df.unipi.it/~fabri/sagredo/varie/problemi92.pdf>

2) “Insegnare la fisica ... come fisica”.

L'insegnamento della matematica e delle scienze integrate, **26** A-B, n. 3 (2003), pag. 403.

http://www.df.unipi.it/~fabri/sagredo/articoli/come_fisica.pdf

3) “Uso dei problemi in fisica – uso dei numeri nei problemi”; lezione al Corso di Perf. per insegnanti, Dip. di Fisica di Siena, 19–2–2007.

<http://www.df.unipi.it/~fabri/sagredo/lezioni/siena3-short.pdf>

4) “I problemi di fisica: perché e come usarli”; incontro con insegnanti secondari a Trieste, 20–4–2010.

<http://www.df.unipi.it/~fabri/sagredo/varie/problemi-fisica-short.pdf>

Ma a mio giudizio l'argomento *non è mai esaurito*.

In primo luogo, data la sua fondamentale importanza nella pratica didattica, *repetita juvant*.

E poi, ci sono sempre aspetti da approfondire, nuovi esempi da discutere...

Cominciamo con un veloce riassunto delle ... puntate precedenti.

Funzioni del problema

- Addestramento
- Esercitazione su argomenti noti
- Introduzione a nuovi argomenti
- Valutazione
- ...

Non bisogna confonderle, anche se spesso possono coesistere.

L'importante è operare in modo cosciente.

Problemi nei testi:

è chiara la distinzione delle funzioni?

(Guide per insegnanti)

Problemi per concorsi:

categoria a parte; *non hanno* (a rigore) *funzione didattica*

Problemi finali (maturità ...):

dovrebbero costituire *modello* di ciò che ci si aspetta.

Modi di utilizzo

- scritto
- discussione
- interrogazione
- per casa
- ...

Scritto:

più accurato nell'enunciato (ma può essere aperto).

Interrogazione:

situazione più aperta (feedback) ma orientata alla valutazione.

Per casa e/o discussione:

aperta al massimo, adatta per nuovi argomenti.

Perché i numeri nei problemi?

- pratica con le unità
- stime di ordini di grandezza
- scelta di approssimazioni e schematizzazioni
- confronto con la realtà

Come vanno trattati i dati?

Sono da considerare come risultati di misure, con errore implicito nel numero di cifre?

Esaminando la pratica corrente si vede un uso più libero, che ci sembra preferibile:

- trattare i dati numerici come *convenzionali*, ossia *non affetti da errori*
- condurre i calcoli con le sole *precauzioni elementari* (cancellazioni)
- *eccezione*: solo se il problema propone una *situazione sperimentale* preoccuparsi della “propagazione degli errori”.

Criterio metodologico sottostante:

una cosa sono gli *errori di misura*, e un'altra le *approssimazioni numeriche*.

Problemi aperti e problemi chiusi

“Aperto” significa *situazione non ben definita*, tanto nei dati quanto nelle domande.

Però: *un problema aperto non è un indovinello!* Non si deve chiedere di “leggere nel pensiero”...

Problemi belli e problemi brutti

Questione di gusti? Non del tutto...

Problema bello:

Coglie ciò che riteniamo *importante* nella fisica che vogliamo insegnare.

Problema brutto:

Banale, poco significativo, o addirittura *trasmette un messaggio errato*.

Difficoltà nel valutare una soluzione

Spesso ci si trova in difficoltà: lo studente *spiega cose ovvie*, poi *omette spiegazioni* che riteniamo *importanti*.

Due osservazioni:

- Può darsi che il difetto sia nell'enunciato del problema.
- Insegnare significa, in una certa misura, *educare al consenso*.

Però è una questione di *misura*:

- SÌ regole del gioco
- NO catechismi
- NO “lettura del pensiero”.

Consiglio finale:

Chi prepara un problema dovrebbe sempre *far provare la soluzione a un collega*.

Un po' di statistiche

Ho scorso una parte delle prove di fisica (dal 1995 al 2012) della maturità “Brocca”, per un totale di 26 tra problemi, quesiti, ecc.

Ecco una classificazione degli argomenti.

- 1) pile, circuiti, in serie e parallelo: 4e
- 2) effetto Joule: 3e
- 3) aghi magnetici e bobine: 2e
- 4) batteria e motore elettrico: 1e
- 5) deflessione di particelle in campo magnetico: 5p
- 6) induzione e.m.: 1e
- 7) riflessione totale: 1o
- 8) effetto fotoelettrico: 9q
- 9) difetto di massa: 1r

- 10) effetto termoionico: 2p
- 11) diffrazione: 1o
- 12) elettroni in campo elettrico: 2p
- 13) fotoni: 4q
- 14) effetto Compton: 3q
- 15) corpo nero: 3q
- 16) onde di de Broglie: 3q
- 17) effetti relativistici: 1r
- 18) campo magnetico di fili: 1e
- 19) strumenti di misura: 1e
- 20) condensatori, carica e scarica: 2e.

Una classificazione per grandi capitoli porta a questo:

- elettromagnetismo: 15
- ottica: 2
- particelle: 9
- fisica quantistica: 22
- relatività: 2.

La somma (50) è più che doppia del numero di prove esaminate, perché quasi sempre una prova riguarda più argomenti.

Anzi, si trovano diversi esempi di “problemi minestrone”, dove argomenti eterogenei vengono infilati a forza, in modo artificioso.

(Una parziale giustificazione sta nel carattere di “esame finale”.)

Ecco un esempio (2000, tema 1):

... Il candidato:

- *spieghi il significato dell'espressione "la radiazione ha un comportamento duale, ondulatorio e corpuscolare" e descriva un esperimento che ha messo in evidenza il comportamento corpuscolare;*
- *spieghi il significato dell'espressione "fu formulata l'ipotesi che la materia, considerata composta da particelle, potesse presentare caratteristiche ondulatorie" e descriva un esperimento che ha confermato la realtà di questa ipotesi teorica;*
- *calcoli quanti fotoni emette in un minuto una stazione radio che trasmette musica alla frequenza di 99 MHz con una potenza di uscita di 20 kW;*

- *calcoli la lunghezza d'onda associata ad un elettrone che, con velocità iniziale trascurabile, è stato accelerato tra due elettrodi da una differenza di potenziale di 200 V;*
- *calcoli, in eV, la minima energia cinetica che può avere un elettrone costretto a muoversi in uno spazio unidimensionale lungo 0,1 nm.*

Il capitolo “elettromagnetismo” è abbastanza variato: comprensibile, data la sua vastità e lo spazio che riceve nell'insegnamento.

Il capitolo “particelle” in 5 casi su 9 riguarda la deflessione in campo magnetico.

Si nota lo scarsissimo peso della relatività (in realtà quasi solo una domanda sul difetto di massa).

Nella fisica quantistica, domina l'effetto fotoelettrico (9 casi) e non ci si muove dalla tradizionale (e discutibile) sequenza

corpo nero – Planck – effetto fotoelettrico – fotoni – effetto Compton – dualismo – onde di de Broglie ...

e qui finisce la “fisica moderna”.

Una conseguenza è che viene scoraggiato qualunque tentativo di un insegnante che volesse provare un approccio diverso: per es.

<http://www.df.unipi.it/~fabri/sagredo/fq/fq21pdf.zip>

Alcuni difetti abbastanza frequenti:

1) Non sono rari errori anche gravi nell'enunciato, o ipotesi sottintese che lo studente può solo indovinare.

2) Spesso mancano di *gradualità*: se il candidato non riesce a rispondere a una domanda, non può procedere e viene compromessa tutta la prova.

Questo secondo punto dovrebbe invece essere particolarmente curato: le domande dovrebbero essere di *difficoltà crescente*, e per quanto possibile *indipendenti* fra loro.

In tal modo gli svolgimenti dei ragazzi possono essere più differenziati e *si semplifica la valutazione*.

Conclusione personale: mi vien fatto di pensare che preparare problemi di fisica sia decisamente *più difficile* che per quelli di matematica.

Problema assegnato in seconda

Lo scorso 22 aprile nel gruppo di discussione *it.scienza.fisica* Lisa scriveva:

“Avrei bisogno di un chiarimento per un esercizio e spero che qualcuno possa aiutarmi.

L'esercizio è il seguente:

Il motore di un'automobile di massa 540 kg ha una potenza di 60kW. Determinare il tempo necessario per farle raggiungere i 100 km/h partendo da ferma, sapendo che il coefficiente di attrito statico tra le gomme e l'asfalto è 0,60.

Devo spiegare la soluzione a mio figlio che frequenta il II liceo scientifico.”

Ne seguì una discussione interessante, e a me venne l'idea di riproporre la questione nella *mailing list* “sagredo”, dove pure si aprì una discussione ampia (34 interventi) e approfondita.

Perciò mi è sembrato utile presentare qui il problema e alcuni degli spunti critici e didattici che ha fornito.

Nota: la mailing list “sagredo” è stata fondata dal sottoscritto 19 anni fa.

Può partecipare chiunque sia interessato all'insegnamento della fisica.

Da tempo conta oltre 200 iscritti, quasi tutti insegnanti secondari e alcuni universitari.

Per iscriversi, basta inviare un mail con contenuto arbitrario a

sagredo-on@df.unipi.it

Dubbi...

Purtroppo non sappiamo se il problema sia preso da un libro di testo, e quale; o se sia stato inventato dall'insegnante.

In una parola, ci manca il *contesto*, che non è poco per discutere un problema.

In realtà non sappiamo neppure chi sia Lisa, se sia vero che ha un figlio in seconda...

È noto che in internet si trova di tutto, e in linea di principio non si dovrebbe credere a niente senza elementi di prova.

Però il problema suona plausibile e discuterlo è comunque interessante.

Per cominciare

Partiamo dall'enunciato letterale, lasciando da parte in un primo tempo una quantità di questioni critiche.

Diamo per scontate una serie d'ipotesi implicite, che vedremo: il consueto “contratto didattico”.

A prima vista la soluzione sembra facile: alla velocità v l'energia cinetica dell'auto è $T = mv^2/2$; essendo data la potenza P del motore, basta dividere T per P per avere il tempo richiesto.

Si ottiene così $t = 3.47$ s.

Sorge però (*deve* sorgere, nello studente) una domanda: a che serve il coeff. d'attrito, che non è entrato nella soluzione?

In realtà la soluzione è sbagliata...

... e guardando perché, ci accorgeremo di un (primo) grave difetto del problema.

Intanto, la prima soluzione ha già fatto uso di una serie d'ipotesi implicite:

- 1) la resistenza dell'aria è trascurabile
- 2) tutta la potenza del motore viene utilizzata per accrescere l'energia cinetica dell'auto
- 3) l'auto può essere trattata a tutti gli effetti come un punto materiale.

Ma l'errore non sta in queste ipotesi...

Comunque, esaminiamo le ipotesi

1) *La resistenza dell'aria è trascurabile.*

Non si può esserne certi senza fare una stima, che però è fuori della portata dello studente.

In effetti, l'energia dissipata a causa dell'aria (provate a stimarla) può ammontare a qualche %, quindi non del tutto trascurabile, a seconda della precisione richiesta nella soluzione (che non è specificata).

E allora?

La mia risposta è: nell'enunciato del problema *si doveva suggerire* di trascurare la resistenza dell'aria.

Alternativa: *solo se la classe è stata adeguatamente educata*, ci si deve aspettare che gli studenti indichino le ipotesi che assumono (almeno le più semplici ed evidenti).

2) Tutta la potenza del motore viene utilizzata per accrescere l'energia cinetica dell'auto.

Questo sicuramente non è vero, ma non è possibile stimare l'entità delle altre perdite (a parte la resistenza dell'aria già esaminata) senza avere la competenza di un ingegnere meccanico.

Quindi è accettabile fare l'ipotesi, ma con le condizioni già dette per 1).

3) *L'auto può essere trattata a tutti gli effetti come un punto materiale.*

Questa ipotesi è del tutto fuori della portata dei ragazzi, che probabilmente neppure si rendono conto che possa essere diversamente.

Chiediamoci: dove viene usata l'ipotesi?

La risposta è facile: la usiamo scrivendo l'espressione dell'*energia cinetica*.

In realtà $T = mv^2/2$ non vale solo per un punto materiale: vale per un sistema comunque costituito, a condizione che sia in moto *puramente traslatorio*.

(In altre parole, che sia nulla l'energia cinetica nel rif. del centro di massa.)

È vero questo per la nostra auto?

Certamente no: ci sono parti in movimento, prima di tutto le ruote, ma anche il motore e gli organi di trasmissione, che hanno energia cinetica anche nel rif. del centro di massa.

Il problema è dare una stima di questa parte dell'energia cinetica. Per le ruote sarebbe possibile (che cosa si trova?), per il resto molto meno.

Comunque, è tutto oltre le conoscenze degli studenti.

Ma quel che è peggio, molto probabilmente neppure si rendono conto della necessità dell'ipotesi, perché sicuramente non hanno adeguate conoscenze di *dinamica dei sistemi*...

Che cosa si doveva fare?

Qui ho dei dubbi: suggerire l'ipotesi nell'enunciato potrebbe essere un rimedio peggiore del male, perché forse i ragazzi neppure capirebbero il suggerimento, e potrebbero esserne confusi.

Alla ricerca dell'errore

Proviamo a pensare a questo: se la macchina accelera, dovrà ben esserci una forza *esterna* che causa questa accelerazione.

Attenzione al corsivo: spesso si dice che *è il motore* che fa muovere un'auto.

Ma il motore *fa parte dell'auto*, quindi può produrre solo forze *interne*. Queste non possono influire sul moto del *centro di massa* dell'auto, ossia (se schematizziamo l'auto come un punto materiale) dell'auto *tout court*.

Rinviamo per un momento la ricerca sulla sorgente della forza esterna, e indaghiamo solo sull'andamento nel tempo della sua intensità.

Se la potenza P è costante, dato che $P = Fv$ e che v cresce a partire da 0, ne segue che F andrebbe decrescendo, ma sarebbe *infinita* alla partenza!

Già questo suona strano...

Ma chiediamoci ora *da dove viene* questa forza che accelera la macchina.

Visto che abbiamo trascurato la resistenza dell'aria (che comunque sarebbe frenante) e che la forza cercata deve essere orizzontale, c'è una sola possibilità: è la forza che *la strada applica alle ruote* dove strada e ruota si toccano.

Scende in campo l'attrito

Abbiamo detto: “la forza (orizzontale) che la strada applica alle ruote”.

Ma questa forza si chiama **attrito**!

Ed ecco una prima difficoltà didattica: a meno che gli studenti non sappiano già che l'attrito può anche accelerare, non solo frenare, ben difficilmente potranno arrivarci *da soli* (il contesto ...).

Non dimentichiamo che il problema è stato assegnato *in seconda*!

Una parentesi polemica

Come mai *in seconda*?

Immagino in ossequio alle “Indicazioni nazionali 2010”, che recitano, nella parte relativa al *primo biennio* del liceo scientifico:

Lo studio della meccanica riguarderà problemi relativi all’equilibrio dei corpi e dei fluidi; i moti saranno affrontati innanzitutto dal punto di vista cinematico giungendo alla dinamica con una prima esposizione delle leggi di Newton, con particolare attenzione alla seconda legge.

Dall’analisi dei fenomeni meccanici, lo studente incomincerà a familiarizzare con i concetti di lavoro ed energia, per arrivare ad una prima trattazione della legge di conservazione dell’energia meccanica totale.

Chiaramente di quelle indicazioni è stata data un'interpretazione “estremistica”: il nostro problema va ben oltre una “prima esposizione”, “prima trattazione”...

Comunque a mio parere trattare la dinamica (anche una “prima trattazione”) va oltre le capacità di ragionamento astratto della gran parte dei ragazzi di 15 anni.

Torniamo all'attrito

A questo punto la fisica “canonica” sull'attrito ci traccia la strada:

La forza d'attrito (orizzontale) non può superare la forza (verticale) che una ruota esercita sulla strada, moltiplicata per il coeff. d'attrito statico, che indicherò con k .

Considerando tutte e 4 le ruote, la forza d'attrito risultante non supera la somma delle 4 forze verticali, che è sempre uguale al peso mg dell'auto, moltiplicata per k :

$$F \leq k m g.$$

Questo anche se le 4 forze verticali sono tra loro diverse, come di regola accadrà.

Attenzione: per ogni ruota ci sono in realtà *due* forze orizzontali:

- quella che la ruota esercita sulla strada
- quella che la strada esercita sulla ruota.

La prima è diretta indietro, la seconda in avanti.

Per il *terzo principio* hanno la stessa grandezza, e a noi interessa la seconda, che è quella che tramite la ruota agisce sull'auto, *accelerandola*.

Vediamo dunque che la forza esterna che accelera l'auto *non può superare* kmg , che è quanto dire che c'è una fase iniziale del moto in cui il motore *non potrà erogare la potenza assegnata*, ma solo una frazione.

Due fasi

Bisogna dunque suddividere il moto in due fasi:

- La prima, in cui la forza agente è proprio kmg e il moto è *uniformemente accelerato*, con accelerazione kg . Questa fase termina alla velocità

$$v_1 = P / (kmg)$$

e al tempo

$$t_1 = v_1 / (kg).$$

- La seconda, in cui la forza è *limitata* non già dall'attrito, ma *dalla potenza*: solo a questa fase si può (si deve, per risolvere il problema in modo semplice) applicare il teorema delle forze vive:

$$m v_2^2 / 2 = m v_1^2 / 2 + P (t_2 - t_1)$$

da cui si può ricavare t_2 .

Commenti?

Forse sono superflui...

Sono evidenti le difficoltà per una seconda:

- bisogna capire il ruolo dell'*attrito*
- bisogna rendersi conto che ci sono *due fasi* di moto distinte
- applicare alla prima la legge del *moto accelerato*
- alla seconda la *conservazione dell'energia* (teorema delle forze vive, in questo caso).

Il tutto senza il minimo suggerimento, e senza *nessuna graduazione* delle domande: o il ragazzo riesce a risolverlo *tutto*, oppure *niente*.

Se va bene, dà la risposta sbagliata che abbiamo visto all'inizio.

Ma non abbiamo mica finito...

Ci sono diverse obiezioni e difficoltà nella stessa idea che sta alla base del problema.

1. Cominciamo con l'obiezione più ovvia: nell'enunciato non è detto che le ruote *non slittano*, condizione necessaria per poter parlare di attrito *statico*.

Qui la soluzione è semplice: basta dirlo.

Ben altra difficoltà si presenterebbe se uno volesse davvero far muovere la macchina in quel modo, al limite dello slittamento: occorrerebbe graduare accuratamente la potenza erogata dal motore.

Sarebbe forse possibile con qualche sistema elettronico, ma ho i miei dubbi, e non ne so abbastanza...

2. Che cosa significa nell'enunciato l'espressione “il motore ha una potenza di 60 kW”?

Si può supporre che significhi “potenza massima”; questo almeno significa quando la si legge nei dati tecnici dell'auto.

Ma la potenza erogata dal motore, al massimo di alimentazione (“a tutto gas”) *dipende dal regime di rotazione*, dalla velocità angolare (volgarmente detta “numero di giri”).

C'è *un solo regime* al quale si raggiunge il massimo della potenza, che è invece minore sia a regime inferiore, sia superiore.

Però nel nostro problema la velocità dell'auto varia *in modo continuo* nel tempo; quindi con un cambio a rapporti fissi è *impossibile* avere sempre la potenza massima.

Di nuovo, sarebbe forse (appross.) possibile con un cambio continuo e con adeguato controllo elettronico.

Non ho idea se esistano auto con questa possibilità: forse qualche ragazzo lo sa...

Copio qui un commento scritto nella discussione sulla mailing list:

E su queste cose, in particolare sulla relazione fra coppia e potenza, di solito i ragazzi interessati ai motori riflettono moltissimo con pochi riscontri in sede didattica, anzi si trovano di fronte esercizi che passano come caterpillar su questi problemi.

Il solito “mondo di carta”...

Come minimo, per attenuare l'effetto “caterpillar”, l'enunciato dovrebbe contenere un'espressione cautelativa, tipo “per semplicità supponiamo che ...”

3. Attendibilità dei dati.

Abbiamo un'auto di massa 540 kg, col motore di potenza 60 kW.

È ragionevole?

Non sono un esperto (ma molti ragazzi lo sono ...) però ho i dati della mia Golf:

- massa (col solo guidatore): 1300 kg
- potenza max: 75 kW.

Come si vede, il rapporto potenza/massa per la macchina del problema (111 W/kg) è quasi doppio di quello della Golf (58 W/kg).

Non so se esistano macchine così leggere, ma si tratterebbe di una super-sportiva...

E ricordo che per un neopatentato il limite potenza/massa è a 55 W/kg.

Si può controobiettare: che importano i numeri? Il procedimento risolutivo *non cambia* per questo.

Vero, però siamo alle solite: dare dei numeri che non pochi ragazzi riconoscono come irrealistici, contribuisce a un'immagine della fisica come *avulsa dalla realtà*.

Soprattutto, li educa a non chiedersi se i dati, e anche i risultati dei loro calcoli, siano possibili. Tanto sono numeri astratti...

È questo che vogliamo?

E che cosa costa sforzarsi di cercare dati ragionevoli? Solo un po' di tempo...

4. Chiudiamo con un'obiezione di tipo diverso: teorico/didattico.

Supponiamo che i nostri ragazzi abbiano capito che l'auto viene accelerata *dalla forza d'attrito*, e che l'attrito è *statico* perché le ruote non slittano.

Sapranno anche che

$$\textit{lavoro} = \textit{forza} \times \textit{spostamento}.$$

Nella seconda fase, usano il teorema delle forze vive:

la variazione di energia cinetica di un corpo è uguale al lavoro fatto dal lavoro delle forze agenti sul corpo.

Ma la forza d'attrito è applicata a un punto della ruota che è *fermo* rispetto alla strada, quindi *lo spostamento è nullo*, e così pure il lavoro.

Come la mettiamo?

Il problema è serio, perché investe ancora la fattibilità del problema a quel livello scolastico (e a mio parere anche molto più su...).

La soluzione sta nella corretta interpretazione del teorema delle forze vive, che volutamente avevo enunciato in modo un po' vago:

la variazione di energia cinetica di un corpo è uguale al lavoro fatto dalle forze agenti sul corpo.

Se invece di “corpo” si dicesse “sistema”, verrebbe subito in mente di chiedersi: stiamo parlando di forze *esterne* o anche *interne*?

La risposta corretta è la seconda: se il sistema *non è rigido*, anche le forze interne *possono fare lavoro*, e questo lavoro *contribuisce* alla variazione dell'energia cinetica *totale*.

In effetti la nostra auto *non è un sistema rigido*, e le forze interne (per es. quelle agenti all'interno dei cilindri) *fanno lavoro*.

Grazie al collegamento meccanico esistente tra pistoni e ruote, questo lavoro va ad aumentare l'energia cinetica *di traslazione* dell'auto.

Il vero problema però è: *come si fa* a spiegare tutto questo *in seconda*?

Notate una difficoltà che definirei psicologica:

- da un lato sappiamo che solo le forze esterne possono cambiare la velocità del cdm
- dall'altro, all'energia cinetica, anche quella di traslazione, può contribuire pure il lavoro delle forze interne.

Ma come può cambiare l'energia cinetica se non cambia la velocità?

Bel rompicapo...

Concludiamo

A parte difetti emendabili dell'enunciato, il problema è *del tutto inadatto* per una seconda, almeno come lavoro a casa o come esercizio in classe.

Tutt'al più, a condizione di dedicarci *molto tempo*, potrebbe essere utilizzato per una discussione collettiva, che permetta un ripasso di cose già note e un'introduzione ad aspetti nuovi.

Come l'attrito statico che accelera l'auto o le forze interne che fanno lavoro.

Lo dico come possibilità, ma con molti dubbi...

Comunque ripeto che a mio parere è *tutta la dinamica* che non è adatta alla seconda.