

# Physics Education Laboratory Lecture 15 PCK for Electromagnetism

Francesco Longo - 25/11/20

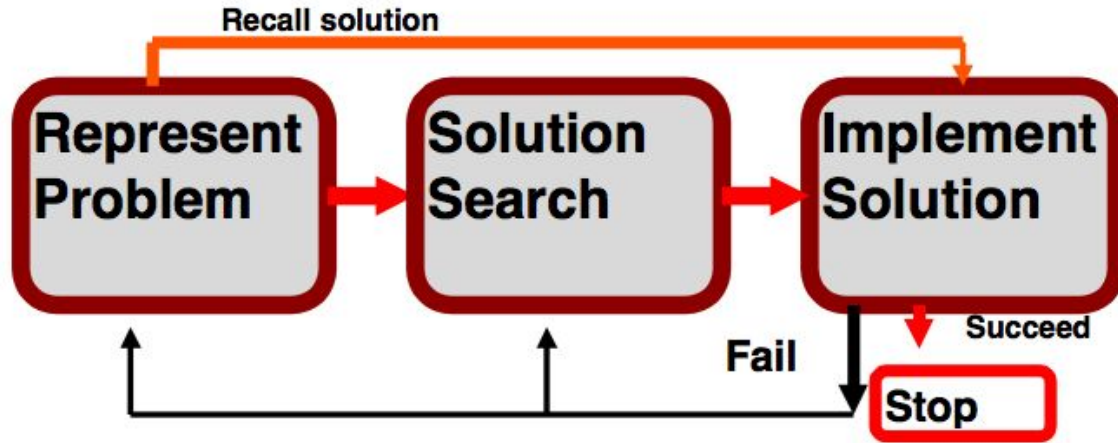


Electricity and Magnetism

Conceptual Assessment (EMCA)

<https://drive.google.com/file/d/1pG16k-lvDqwohShthWi8MpTn9tK2D8NZ/view?usp=sharing>

# PROBLEM SOLVING MODEL



This model identifies a basic sequence of three cognitive activities in problem solving:

- *Representing the problem* includes calling up the appropriate context knowledge, and identifying the goal and the relevant starting conditions for the problem.
- *Solution search* includes refining the goal and developing a plan of action to reach the goal.
- *Implementing the Solution* includes executing the plan of action and evaluating the results.

(Foshay, 1998)

# I problemi in Fisica

*Articolo e presentazione di Elio Fabri*

<http://www.sagredo.eu/articoli/problemi92.pdf>

<http://www.sagredo.eu/varie/problemi-fisica-short.pdf>

# I problemi in Fisica (E.Fabri)

*I problemi di fisica  
perché e come usarli*

# I problemi in Fisica (E.Fabri)

## Funzioni del problema

- Addestramento
- Esercitazione su argomenti noti ← secondo una tradizione di insegnamento "deduttivo" delle scienze
- Introduzione a nuovi argomenti ← (secondo me, poco usati in qs. senso)
- Valutazione
- ...

*Non bisogna confonderle, anche se spesso possono coesistere.*

L'importante è operare in modo cosciente.

# I problemi in Fisica (E.Fabri)

## *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.

# I problemi in Fisica (E.Fabri)

## 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.*



# I problemi in Fisica (E.Fabri)

## Perché i numeri nei problemi?

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

# I problemi in Fisica (E.Fabri)

## 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*.

# I problemi in Fisica

## 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”...

# I problemi in Fisica (E.Fabri)

## **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*.

# I problemi in Fisica (E.Fabri)

## 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*.

# I problemi in Fisica (E.Fabri)

## **Raccomandazioni conclusive**

1. Enunciare le “regole del gioco”: che cosa ci si aspetta dallo studente.
2. Evitare schematizzazioni assurde, o quanto meno discuterne l’uso.
3. No alle regole catechistiche, ma no anche agli “indovinelli”.
4. Abituare alle stime, al confronto con la realtà: a questo servono i numeri.
5. Gli errori sperimentali sono una cosa (e nei problemi di regola non andrebbero considerati). Le approssimazioni numeriche sono un’altra, ma non dobbiamo preoccuparcene.
6. Un problema dovrebbe includere più domande graduate, di difficoltà crescente.

# Non solo formule

*Analisi e costruzione della prova interdisciplinare di  
Matematica e Fisica per l'Esame di Maturità*

<https://drive.google.com/file/d/156cR4r5O3024X78u6WGM6fwFgt3scgeK/view?usp=sharing>

# L'analisi del testo

Il cambiamento concettuale richiesto per affrontare la nuova prova interdisciplinare di matematica e fisica nell'Esame di Maturità introdotta con il decreto ministeriale 769 (2018), non è stato ancora del tutto messo in atto nell'azione didattica da parte dei docenti che devono preparare i loro studenti ad affrontare il più temuto dei temi. Sono da evitare infatti sia, come spesso è consuetudine, una mera applicazione strumentale della matematica confinata alla risoluzione procedurale di una situazione problematica fisica, sia una limitazione della risoluzione dei problemi fisici al loro puro 'risultato' matematico, non sviluppando la competenza argomentativa nell'attribuire senso fisico ai medesimi risultati.

## Si è scelto come argomento interdisciplinare LE DERIVATE E L'INDUZIONE ELETTROMAGNETICA

All'interno di un solenoide lungo  $l = 20$  cm, composto da  $N_1 = 1000$  spire e percorso da una corrente stazionaria di intensità  $i = 3.0$  A, è disposta una seconda bobina di  $N_2 = 50$  spire circolari di raggio  $r = 3.0$  cm. La bobina, posizionata inizialmente con il suo asse perpendicolare a quello del solenoide, viene messa in rotazione intorno a un asse perpendicolare alle linee di forza del campo magnetico prodotto dal solenoide con una frequenza di  $\nu = 100$  Hz. Determinare l'espressione del flusso  $\Phi(t)$  del campo magnetico concatenato con la bobina e tracciarne il grafico in funzione del tempo. Dedurre da questo il grafico della forza elettromotrice indotta nella spira  $\mathcal{E}(t)$  in funzione nel tempo e ricavare la sua espressione analitica.

Esercizio tratto da un libro di testo di liceo scientifico<sup>1</sup>

La richiesta di tracciare il grafico del flusso è decontestualizzata da una sua interpretazione dal punto di vista fisico. Rappresentare in linguaggio grafico, in questo modo, non aggiunge alcun valore concettuale. Come non viene aggiunto se si mantiene la descrizione in termini relazionali tra le grandezze, senza attribuirne una misura.

Una bobina è costituita da  $N$  spire quadrate di lato  $l$ , ha una resistenza elettrica  $R$  ed è montata su un carrello che può muoversi con attrito trascurabile su un piano orizzontale. Il carrello viene tirato con velocità costante  $v$  ed entra in una zona in cui è presente un campo magnetico  $\vec{B}$ , perpendicolare al piano della spira<sup>2</sup>. Spiegare perché la bobina si riscalda e determinare l'espressione della potenza dissipata. Cosa accade se il carrello viene lanciato con velocità  $v$  verso la stessa regione?

Seconda prova scritta 2019, sessione suppletiva (questo 7)

Assegnato un asse cartesiano nello spazio, si considerino le funzioni  $f$  e  $g$  definite

$$f(x) = \sqrt{2(x-1)} \quad g(x) = e^{\sqrt{2}(x-1)}$$

1. Provare che, qualunque sia  $x > 1$ , nell'intervallo  $[0, 1]$  il grafico di  $f$  ha un unico punto di incontro  $F(x, y, z)$  ed il grafico di  $g$  ha un unico punto di incontro  $G(x, y, z)$ . Verificare che si ha  $\vec{FG} = \sqrt{2}\vec{i} + \vec{j} + \vec{k}$ .
2. Verificare che, qualunque sia  $x > 1$ , i grafici delle due funzioni sono ortogonali nell'origine, solo a dire che le derivate sono tangenti tra loro può essere una loro ortogonalità. Determinare per quale valore positivo di  $x > 1$  il grafico di intersezione ortogonale delle due loro derivate passa per il punto  $(1, 0, 0)$ .

Il problema sottoposto non integra le due discipline, ma sostanzialmente rimane un problema solo di matematica. Infatti, i primi due quesiti sono solo esercizi di matematica e il terzo e quarto fanno riferimento alla fenomenologia fisica ma solo come contesto generale.

L'esercizio proposto sul libro di testo del liceo risulta della stessa complessità di quello universitario perché viene richiesto di determinare la relazione matematica che descrive il flusso di un campo magnetico concatenato: questo implica un numero molto elevato di passaggi concettuali che non sono nemmeno esplicitati nella descrizione.

Una spira conduttrice di raggio  $a$ , avente resistenza elettrica  $R$ , è posta in una zona di spazio in cui è presente un campo di induzione magnetica  $\vec{B}$  uniforme, diretto perpendicolarmente al piano della spira. Il modulo  $B$  varia nel tempo con andamento sinusoidale  $B(t) = B_0 \sin(\omega t)$ . Risolvere:

- l'andamento della forza elettromotrice indotta in funzione del tempo  $\mathcal{E}(t)$ ;
- la potenza massima  $P_{max}$  dissipata per effetto Joule nella spira;
- il modulo del campo elettrico indotto  $E(t)$  al variare del tempo.

Esercizio tratto da un libro di testo universitario<sup>3</sup>

La richiesta di questo quesito non è commisurata al livello degli studenti, perché per essere risolta correttamente richiede di capire che la velocità, come funzione del tempo, debbe essere trovata risolvendo un'equazione differenziale. La richiesta di argomentazione invece è adeguata e poteva essere valorizzata maggiormente, richiedendone casomai una giustificazione matematica, come caso limite.

1. Data la spirale, assumere  $\vec{a} = 1$ . In un riferimento cartesiano, dare la tangente reale rispetto ai vettori  $\vec{i}$ ,  $\vec{j}$ ,  $\vec{k}$ . Partendo dagli archi di curva di equazioni  $y = f(x)$  e  $z = g(x)$ , per  $x \in [0, 1]$ , rappresentare il profilo di una spira circolare. Sia  $R$  la regione piana delimitata da tale spira.

2. Supponendo che nella regione  $R$  sia presente un campo magnetico uniforme, perpendicolare al piano di  $R$ , avente intensità  $B_0 = 1.0 \cdot 10^{-2}$  T, verificare che il valore analitico del flusso di tale campo attraverso  $R$  è pari a  $1.0 \cdot 10^{-10}$  Wb.

3. Supporre che la spira abbia resistenza elettrica  $R$  pari a  $70 \Omega$  e che il campo magnetico, rimanendo perpendicolare al piano di  $R$ , si partecia dall'istante  $t_0 = 0$  s, inizi a variare sinusoidalmente in legge:

$$B(t) = B_0 \sin(\omega t)$$

con  $\omega = \pi \text{ rad/s}$  e  $t \geq 0$  (premere le virgole). Determinare l'intensità della corrente indotta nella spira in funzione di  $t$ , specificando la spira (rispetto al primo vettore della corrente circolare scelta). Qual è il valore massimo di tale corrente per  $t \geq 0$ ? Spiegare quale relazione esista tra la relazione del campo che induce la corrente e il verso della corrente indotta.

Simulazione seconda prova scritta 2019 (problema 2)

Sono stati confrontati quattro esercizi sull'argomento scelto



La relazione matematica scelta per descrivere il campo magnetico è ben nota agli studenti, che ne conoscono bene le caratteristiche matematiche.

### Spira metallica in un campo magnetico variabile

Una spira metallica quadrata di lato  $l = 60$  cm e di resistenza elettrica per  $l$  è  $R = 70 \Omega$  si trova in una regione di spazio dove è presente un campo magnetico  $\vec{B}$ , uniforme e perpendicolare al piano della spira. A partire dall'istante di tempo  $t_0 = 0$  s, l'intensità del campo magnetico inizia a variare secondo la legge:

$$B(t) = B_0 \cos(\omega t)$$

con  $B_0 = 2.0 \cdot 10^{-2}$  T,  $\omega = \pi$  rad/s e  $t \geq 0$  espresso in secondi (s).

L'applicazione della formula di derivazione nella legge di Faraday-Neumann.

1. Rappresentare graficamente il flusso del campo magnetico  $\Phi(t)$  concatenato alla spira, in funzione del tempo e descriverne l'andamento.
2. Dopo aver esposto che tipo di relazione esiste tra la variazione di flusso concatenato alla spira e la corrente indotta in essa dedurre, per via grafica, l'andamento della corrente indotta. Fornire quindi un'interpretazione fisica del fenomeno osservando i due grafici.
3. Ricavare l'espressione analitica della corrente indotta  $i(t)$  al variare del tempo, trovare gli istanti di tempo in cui essa cambia verso e calcolare il suo valore massimo  $i_{max}$ .
4. Spiegare perché la spira si riscalda e trovare l'espressione della potenza elettrica dissipata  $P(t)$  al variare del tempo. Cosa si può dire del grafico di  $P(t)$ ? Calcolare il suo valore agli istanti  $t_1 = 0$  s,  $t_2 = 0.5$  s,  $t_3 = 1.0$  s,  $t_4 = 1.5$  s,  $t_5 = 2.0$  s.
5. Supporto adesso che il campo magnetico nel nel tempo secondo la funzione

$$B(t) = B_0 e^{-t} \cos(\omega t)$$

(dove  $\omega$  e  $B_0$  hanno gli stessi valori numerici) il cui andamento è rappresentato dal seguente grafico per  $t \geq 0$ .

La rappresentazione grafica è funzionale alla descrizione del fenomeno fisico.

Il confronto tra le due descrizioni del campo magnetico conferisce alla relazione matematica un valore predittivo che offre la possibilità di integrare veramente le due discipline.

Come cambierà l'andamento della corrente indotta  $i(t)$  rispetto alla situazione precedente? Ricavare anche in questo caso l'espressione analitica di  $i(t)$ .

6. Si vuole sfruttare la spira in questione per alimentare un dispositivo che funzioni grazie all'induzione elettromagnetica. Quale dei due andamenti temporali del campo magnetico sopra descritti è più conveniente considerare per avere la migliore efficienza? Giustificare la risposta confrontando i valori di  $P(t)$  tra le due situazioni negli istanti di tempo  $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5$ .

Contestualizzazione del problema alla fenomenologia fisica.

La descrizione dell'andamento deve essere sia di tipo matematico che di tipo fisico.

L'argomentazione viene supportata dall'esemplificazione.

L'attenzione è stata focalizzata sulla costruzione delle prove, calibrate nelle richieste, nell'uso del formalismo, nella rappresentazione del fenomeno secondo i diversi linguaggi disciplinari tra loro opportunamente integrati; questo al fine di offrire allo studente la possibilità di incontrare e affrontare la pluralità dei significati che si possono evincere da una corretta interpretazione e dalle diverse traduzioni della medesima realtà fisica.

La costruzione del testo

È stato proposto a cinque classi quinte (per un totale di 110 studenti) del liceo scientifico G. Oberdan di Trieste un percorso sulle simulazioni in preparazione all'esame di Stato che avesse come scopo l'integrazione tra le due discipline. L'attività prevista ha coinvolto le classi dalle 5 alle 6 ore curricolari in presenza tra gennaio e febbraio del 2020.



Nella fase di somministrazione gli studenti sono stati guidati nella risoluzione del problema della spira metallica in un campo magnetico. Durante lo svolgimento del problema è stata posta particolare attenzione ai linguaggi disciplinari, sia matematico sia fisico, cercando di integrarli il più possibile nell'ottica di argomentare i risultati sia dal punto di vista di entrambe le discipline. Particolare attenzione è stata data alla descrizione della situazione fisica presentata, che, se non è correttamente compresa non può essere nemmeno rappresentata in linguaggio matematico<sup>1</sup>.

**Parallellismo di un alternatore**

Un alternatore è un dispositivo in grado di trasformare energia meccanica in energia elettrica. Il suo principio di funzionamento consiste nel far ruotare, con frequenza  $f$ , una bobina di  $N$  spire in un campo magnetico uniforme di intensità  $B$  costante, in modo tale che la normale al piano della bobina forma con le linee del campo magnetico un certo angolo  $\theta(t)$  variabile nel tempo.

- Spiegare perché un dispositivo del tipo è in grado di generare corrente.
- Si schematizzi l'interno di un alternatore con una bobina di  $N$  spire circolari, ciascuna di raggio  $r = 0,25$  m, che ruota con una frequenza  $f = 50$  Hz costante nel tempo ed è immersa in un campo magnetico uniforme di intensità costante  $B = 0,5$  T. Assumendo  $t = 0$  a la bobina è ferma e il piano delle sue spire è parallelo alla linea di campo.
- Determinare la funzione  $\Phi(N, t)$  che esprime il flusso del campo magnetico concatenato alla bobina in funzione del tempo  $t$  e al numero del numero  $N$  di spire.
- Determinare la funzione  $\mathcal{E}(N, t)$  che descrive come varia la f.e.m. indotta nella bobina al variare del tempo, al variare del numero  $N$  di spire.
- Calcola il numero  $N$  di spire necessario per ottenere una tensione massima di  $V_{max} = 200$  V.
- Con  $N$  stabilito nel punto precedente, rappresentare graficamente l'andamento temporale della corrente indotta  $i(t)$  nella bobina, sapendo che la sua resistenza elettrica vale  $R = 100$   $\Omega$ .

Sapere almeno che la bobina è in grado di ruotare dall'angolo iniziale con accelerazione angolare  $\alpha > 0$  costante e velocità angolare  $\omega$  iniziale nulla.

- Si riporta, in questa situazione, il grafico della funzione  $\Phi(t)$  rappresentando il flusso concatenato alla bobina.

Trovare l'espressione analitica di  $\Phi(t)$  in questa situazione. Quali sarà un andamento grafico approssimativo della funzione  $\mathcal{E}(t)$ ? Fornire una spiegazione fisica di quanto ottenuto.



Il secondo problema proposto aveva le stesse caratteristiche organizzative del testo, la stessa tipologia di difficoltà e gli stessi obiettivi concettuali. Gli studenti sono stati lasciati autonomi nello svolgimento del problema, utilizzando anche gli appunti a loro disposizione. Al termine della somministrazione è stato corretto e commentato il problema cercando di mettere in risalto i nodi risolutivi, l'accettabilità delle argomentazioni matematiche e fisiche e la potenzialità di integrazione delle discipline che il problema voleva evidenziare.

La somministrazione

#### PROPOSTA ELABORATA DA:

V. Bologna\*, A. Frontino Crisafulli\*\*, F. Longo\*\*\*  
Dipartimento di Fisica - Università degli Studi di Trieste

#### IN COLLABORAZIONE CON:

D. La Macchia, M. Massarotti, S. Noviello, G. Turri  
Liceo Scientifico G. Oberdan, Trieste

\* valentina.bologna@phd.units.it

\*\* albertofrontinocrisafulli@studenti.units.it

\*\*\* francesco.longo@ts.infn.it

L'analisi delle prove somministrate ha offerto poi uno strumento per individuare le difficoltà principali e identificare i nodi concettuali meno consolidati sia di tipo matematico che fisico.

Sono state corrette le prove somministrate agli studenti e svolte da loro autonomamente come prova di simulazione. Gli errori sono stati raccolti e organizzati individuando quali competenze disciplinari trasversali alla matematica e alla fisica erano meno sviluppate o segnalavano la presenza di difficoltà concettuali.



È stato fatto un confronto tra il livello degli apprendimenti degli studenti in matematica (sull'argomento delle derivate) e gli esiti della prova di simulazione. Anche chi aveva raggiunto valutazioni molto alte ha evidenziato alcune tra le difficoltà individuate. Sicuramente un approccio didattico in matematica che favorisca l'integrazione degli usi della variabile (secondo il modello per esempio delle 3UV<sup>1</sup>) probabilmente supporterebbe l'integrazione disciplinare come richiesto in una prova interdisciplinare per l'Esame di Maturità.

#### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI:

- <sup>(1)</sup> Caforio, A., & Ferilli, A. (2015). *Fisica! Pensare l'Universo*. Le Monnier Scuola.
- <sup>(2)</sup> Mencuccini, C., & Silvestrini, V. (2016). *Esercizi di Fisica. Elettromagnetismo e Ottica*. Ambrosiana.
- <sup>(3)</sup> Pospiech, G. (2019). *Framework of mathematization in Physics from a Teaching Perspective*. In G. Pospiech, M. Michelini & B. Eylon (Eds.), *Mathematics in Physics Education*, Cham, CH: Springer.
- <sup>(4)</sup> Ursini, S. (2011). *Il Modello 3UV: uno strumento teorico a disposizione degli insegnanti di matematica*. *QuaderniCIRD*, **2**.

Risultati e discussione