La fisica, una strana scienza 3 – il triennio

La *Fisica dei manuali* non è la *Fisica vera*. E’ la sua ricostruzione a posteriori fatta per organizzarne la trasmissione. In essa ci sono *poche domande e troppe risposte*.

Non dobbiamo intrappolare i ragazzi come si fa con i cavalli nelle corsie delle gare di ippica prima della partenza; *molto meglio il canape del Palio di Siena: contrattazioni tra i fantini (dibattito), finte entrate (strade possibili) e un po’ di casino*.

Mi rendo conto che se devi illustrare una legge va molto bene un diagramma falsamente sperimentale che descrive esattamente la legge medesima: però diciamolo che è falso e che quello vero è molto più brutto e difficile da leggere (spesso è anche ambiguo). Provate a guardare i diagrammi dei dati sperimentali pubblicati dal CERN per evidenziare la scoperta di una nuova particella o di un nuovo fenomeno.

Essere sistematici (almeno in parte) è una necessità, se no non si comincia mai. Ma anche nel trasmettere conoscenza organizzata, bisogna insegnare ad essere (in parte) altrove, a *guardare fuori dalla finestra* del particolare ambito fisico che si sta esaminando e anche fuori dalla finestra della fisica verso il mondo della produzione, l’economia, la storia, l’arte.

superare la distinzione classico moderno

Così come non sono nate prima la dinamica, poi la termodinamica, poi la teoria delle onde, … non è mica detto che nell’insegnamento si debba sempre ripercorrere la strada tradizionale della fisica classica seguita, solo alla fine, da un po’ di fisica del 900 (se c’è tempo, se abbiamo finito il

programma, se gli studenti sono interessati, se … se …). Così poi non si fa mai ciò che è interessante. Visto che, parlando di matematica ho sottolineato alcuni aspetti positivi delle Indicazioni nazionali per i Licei non posso dire altrettanto per quelle di Fisica che mi paiono, a prima vista, poco innovative.

Il *programma* è' un tema che mi è caro in generale e che secondo me riguarda fortemente anche i colleghi di lettere e, in parte, quelli di filosofia. Quello del programma, il più delle volte, è l'alibi per non fare. Non mi ricordo il dato preciso ma il tempo di raddoppio della intera conoscenza scientifica è al di sotto del mezzo secolo. E allora cosa facciamo? Insegniamo o ci dedichiamo alla *misura del nostro grado di obsolescenza*?

Certo *bisogna studiare* e *non limitarsi a leggere i nuovi testi per le scuole*, *fare ricerca didattica* (pensare, progettare, produrre, documentare e verificare), avere coraggio, essere convinti di fare *il mestiere più mal pagato ma più bello del mondo* e darci dentro; mettere in conto ogni anno almeno un pezzo di corso monografico.

Se lo studio della relatività ristretta a livello liceale riguarda la sola cinematica e dinamica relativistica perché mai lo si svolge al di fuori della meccanica? Se lo studio dei moderni acceleratori (lineari o circolari) riguarda temi di elettrodinamica con un po’ di relatività perché lo si rinvia *al tempo del mai*.

Sono contento di aver seguito, mentre scrivevo il corso di fisica, la realizzazione di LHC (il large hadron collider) con 27 km di anello intervallato da grandi magneti a 2 Kelvin sopra lo zero assoluto. Vogliamo parlarne e magari partire da lì (sincronizzazione di segnali, basse temperature, superconduttività, contenimento del fascio, …).

Se la conoscenza scientifica e la produzione culturale

crescono continuamente bisogna *saper tagliare* e *saper innovare* perché altrimenti il taglio lo fa la fine dell'anno e ci si ferma comunque dove si era arrivati.

usare a piene mani i modelli

Supponiamo che la mucca sia una sfera … inizia così l'intervento del fisico in una barzelletta-aneddoto sulle strategie risolutive ai problemi di un allevamento zootecnico in cui il sociologo si chiedeva se le mucche sono felici, mentre il fisico faceva modelli e sulla base di essi analizzava le ragioni delle dimensioni e caratteristiche fisiche della mucca. Si veda in proposito Paura della fisica – una guida per i perplessi di Lawrence Krauss.

L'uso dei modelli è parte integrante della fisica e del suo insegnamento. C'è una situazione complessa da esaminare. Possiamo fare ipotesi semplificative grossolane che consentano di trovare rapidamente una soluzione, magari non accurata, ma sensata?

Le *sensate esperienze* di Galilei sono questa cosa. Oggi lo si chiama *senso fisico*; si tratta della capacità di trascurare il superfluo, l'inutile, l'accessorio che diventerà rilevante solo in seconda battuta. Trovare una soluzione del primo ordine aiuta a trovare quella del secondo ordine e a controllare se, per effetto di una distrazione o di una ipotesi sbagliata, quest'ultima non sia clamorosamente errata.

Il caso più interessante si ha con l'uso del calcolo dimensionale che funziona bene se si ha fretta, si è disperati o interessati solo ad una conoscenza degli aspetti esssenziali. Di una certa faccenda non se ne sa molto; a prima vista sembra che il fenomeno sia influenzato da queste cause; ce la facciamo a dedurre qualche legge senza far appello ad altro che non sia l'idea che se a sinistra dell'uguale ci sono pere anche a destra ci devono essere pere? La cosa funziona e spesso funziona bene. Nel mio corso di fisica potete trovare

degli esempi nella parte dedicata ai processi di attrito in presenza di un mezzo (resistenza viscosa e resistenza da pressione).

Sul piano didattico è esemplare lo studio dei modelli cinetici della materia, ma non bisogna limitarsi a scrivere equazioni e far vedere come siamo bravi a dedurre leggi che prima conoscevamo solo per induzione. Grande vittoria: abbiamo dedotto le leggi dei gas dalla meccanica delle palline e cioè le abbiamo spiegate. Si chiama *riduzionismo* e oggi in fisica si discute sia del suo valore sia dei suoi limiti in relazione al *modello standard delle particelle.*

Bisogna discutere a fondo le ipotesi che si fanno, perché si fanno, quanto siano fondate (oltre che utili) e alla fine saper criticare (o delimitare) i risultati trovati. Questo lo abbiamo spiegato, ma quest'altro rimane da spiegare e il riduzionismo qui non funziona. Per quanti modelli facciamo le vecchie leggi che avevamo trovato in un certo ambito qui sembrano non valere. Forse le crepe indicano che ci attende una rivoluzione nella conoscenza.

Per capire come funzionano queste cose nella didattica concreto vi invito a leggere la deduzione della equazione del gas perfetto nell'ambito della teoria cinetica dei gas. Troverete la discussione dettagliata del valore e dei limiti di validità di ogni ipotesi. Adesso prendete un manuale di liceo e andate a vedere come è trattato l'argomento.

A proposito di indebite banalizzazioni basta vedere come vengono trattate nei manuali la *teoria dei fotoni* di Einstein e gli esperimenti sull'effetto fotoelettrico di Millikan (quali erano le difficoltà sperimentali? Cosa si conclude da quell'esperimento? Perchè ad un certo punto entra in scena l'effetto Compton? I problemi, sia teorici, sia sperimentali c'erano e non si trattava di cose banali (altro che la soglia e un diagramma con una linea retta).

trasmettere la complessità e il potere esplicativo di una teoria

Uno dei grandi risultati della fisica del 900 che i filosofi si ostinano a non capire, ossessionati come sono dalla costruzione di metodologie e dinamiche della conoscenza scientifica, è che *le leggi fisiche (anche quelle molto generali) hanno natura di scala* ovvero valgono in un determinato ambito. Attenzione le nuove teorie devono ammettere le vecchie come caso limite; la conoscenze procede anche attraverso rotture, ma si tratta di rotture di crescita, non di capovolgimenti di fronte.

Si devono o no insegnare, seppur in forma semplificata, i nodi concettuali della elettrodinamica quantistica, il modo di procedere della ricerca sul modello standard delle particelle, il ruolo delle simmetrie e il peso che le corrispondenti teorie matematiche giocano nel costruire le teorie fisiche?

Se si rimane sul terreno concettuale, secondo me sì e in questo caso non è importante seguire tutte le vie reali della scoperta perché molte di esse sono risultate improduttive, erano frutto di ritardi concettuali e meritano di essere oggetto di approfondimento solo in ambito storico.

Uno dei grandi risultati della fisica delle particelle è il seguente: *ciò che non è espressamente vietato da una simmetria* (legge di conservazione) *prima o poi accade anche se si tratta di qualcosa cui non siamo abituati o che ci appare aberrante*. Si potrebbe dire che *bisogna avere pazienza*, e i fisici aiutano la pazienza aumentando le occasioni (così si fa prima). Questo bisogna insegnarlo a scuola (Emmy Noether, questa sconosciuta).

proporre letture monografiche

Tra divulgazione scientifica di qualità, testi di storia della scienza, scritti di epistemologia (manuali e testi classici) è

solo una questione di gusto perché siamo inondati da proposte. Bisogna insistere nel segnalare le migliori agli studenti; i testi vanno presentati se si vuole che scattino i meccanismi di interesse e bisogna aiutarli a separare l'erba buona dalle cose insignificanti o tradotte male, anzi malissimo.

Gli studenti più bravi, e si è visto anche dopo, hanno lavorato un intero anno sull'argomento di apertura dell'esame di stato. Lo hanno fatto per loro stessi perché lo schema dell'esame ha i suoi riti e i suoi vincoli ma, guardando alle scelte universitarie successive direi che si è trattato di un lavoro utile: le cose stanno sui libri e bisogna imparare a leggere; farsi consigliare ma poi leggere e pensare in proprio.

Una delle cose più belle che ho visto negli ultimi anni di insegnamento è stato il vedere che gli studenti più appasssionati di *scienze dure* non necessariamente sceglievano matematica o fisica; qualcuno ha fatto economia, medicina, … nessuno ha mai scelto quei corsi di laurea ad accesso facilitato che non danno professionalità e nemmeno cultura, ma cnsentono di continuare a non scegliere nemmeno a 30 anni.

la fisica è utile ma non la studiamo per quello

A cosa serve la fisica? E’ una domanda tipica che ci rivolgono gli studenti, i genitori e anche i politici (quando ci sono di mezzo grandi investimenti).

La risposta giusta è che serve a *dare un’occhiata alle carte di Dio*; poi se in mezzo alle carte viene fuori qualcosa di utile dal punto di vista tecnologico tanto meglio (tra l’altro succede quasi sempre); ma questo lo lasciamo fare agli ingegneri.

Qualche anno dopo l’avvenuta lettura delle carte di Dio la grande cultura se ne occupa (risvolti epistemologici,

divulgazione, titoli sui giornali) ma intanto *i fisici si stanno occupando d'altro* perché, come è noto, *la risposta alla domanda cosa c'è dietro un angolo è che c'è un altro angolo*. E questo rimane vero anche ora che, in fisica delle particelle *ci pare di aver capito quasi tutto*.

Abbiamo capito quasi tutto ma non sappiamo (tra materia ed energia) cosa sia e da dove venga il *90 % delle cose dell'Universo*. Se poi pensiamo al *tema dei sistemi complessi* basta osservare che tra la dimensione degli atomi o delle molecole (su cui ci sembra di sapere tutto) e la scala a cui riusciamo ad intervenire direttamente nella microelettronica (decimillesimo di millimetro) c'è tutto il mondo della genetica e quello della biologia molecolare. Dimensionalmente è solo un rapporto di 1 a 100 ma vi pare poco? In quell'intervallo dimensionale ci sono la vita, l'evoluzione, le malattie, la morte.

Supponiamo di *avere finito una partita a scacchi* contro gli dei; siamo felici ma ci apprestiamo ad iniziarne un'altra perché *il Signore sarà anche non malizioso ma ne sa una più del diavolo*.

prendere sul serio la storia della fisica

Chiudo con un *po' di prezzemolo*: come la mettiamo con la storia? Non vorrei essere stato frainteso quando ho accennato alla necessità di trascurare le strade infruttuose battute in meccanica quantistica.

La storia della scienza bisogna insegnarla quando il tema merita e *in quel caso bisogna insegnarla bene*. Si presta allo scopo tutta la vicenda del passaggio tra fine 800 e primo 900: nascita dell'atomismo, raggi X, modelli atomici, scoperta delle prime particelle elementari. Ma anche se rimaniamo in fisica classica ci sono la riflessione sui principi della dinamica con il tema connesso dei sistemi di riferimento, la strana sciemza della termodinamica, che inizia con la macchina

a vapore (leggersi i contributi di Sadi Carnot) ma finisce con le molecole e il riduzionismo o con la natura del II principio della termodinamica, la costruzione del grande edificio dell'elettromagnetismo.

Su queste tematiche lo studio della storia insegna a non essere banali perché ci fa scoprire che stabilire la realtà fisica di una particella, cioè di qualcosa che non si vede ma su cui si fanno misure e classificazioni, è complesso e metodologicamente sofisticato.

Il lavoro vero dei fisici di fine 800 e del primo 900 è leggibile sui lavori originali o sulle Nobel Lectures disponibili in Internet. Chi avrà la pazienza di leggere scoprirà tanta fisica vera. Per averne un'idea si può leggere la sesta parte del mio corso di fisica che inizia con la scoperta dei raggi X. Ci sono le fonti originali e per esempio tutto la fase di passaggio dal modello atomico a panettone di J.J. Thomson a quello nucleare di Rutherford è illustrato atteverso i lavori originali che mi sono preso la briga di tradurre in italiano. Se ne scoprono delle belle, altro che storia della fisica modello figurine Panini.

e la matematica?

La fisica si è sviluppata di pari passo alla matematica e le due hanno goduto di un interscambio reciproco: Fourier si occupa della tarsmissione del calorico ed inventa gli sviluppi in serie di funzioni; Einstein si rende conto che la relatività generale ha bisogno di un suo apparato matematico e qualcuno gli fa notare che quello che cerca esiste già il calcolo tensoriale è stato sviluppato da qualche anno da Levi Civita e Ricci Curbastro.

Facendo della didattica della fisca bisogna adeguare il passo all'età degli studenti. Questa è la ragione per cui mi è piaciuta l'ultima esperienza di insegnamento quando avevo una cattedra verticale che partiva in prima e finiva in quinta in

cui facevo matematica e fisica in due sole classi: si introduce al momento giusto la matematica che serve, oppure la si anticipa negli aspetti concettuali rinviando la rigorizzazione alle lezioni sistematiche di matematica. Nel mio corso di fisica le derivate non si chiamano così ma sono dei delta su delta (quando gli incrementi sono piccoli); il calcolo dell'area non si chiama integrale ma è comunque lo strumento per calcolare i valori medi delle grandezze variabili e ha un legame inatteso con i delta su delta (è l'operatore inverso).

E' una tecnica didattica che ho appreso studiando la fisica sui libri di Feynman che, per i miei gusti, era sin troppo pragmatico. Ho studiato in questo modo l'elettromagnetismo senza impazzire con i gradienti, i rotori e le divergenze che fanno impazzire di gioia quelle professoresse che vedono nel teorema di Gauss il massimo della libidine e si dimenticano di coglierne gli aspetti fondamentali (vale per forze centrali che decrescono con l'inverso del quadrato della distanza).

come e cosa valutare?

Siamo nel triennio e nasce spontanea la domanda che ci si fa anche nel corso degli studi universitari. Cosa sono i problemi di fisica? A cosa servono?

Bisogna distinguere tra i *problemi di semplice traduzione numerica delle leggi* (che servono a poco nel triennio) e la applicazione di più leggi (non precisate) entro un contesto dato (selezione dei dati, scelta opportuna delle leggi, introduzione di ipotesi semplificatrici, individuazione di una strategia di attacco). Questo serve sicuramente e potete farvene una idea andando a vedere i testi delle gare regionali e nazionali delle Olimpidi della Fisica. Ma non serve per i compiti in classe, serve per la crescita culturale e tecnica degli studenti.

Per inciso, *le leggi fisiche sono relazioni tra più variabili*;

a volte si tratta di relaioni di proporzionalità, altre volte nascondono delle equazioni differenziali. Mi vengono in mente le equazioni matematiche con il parametro. Lì, di solito c'è una variabile sottoposta a vincoli algebrici o gemetrici, e c'è un parametro (cioè un'altra variabile che si suppone temporaneamente fissa) che consente di andare a vedere cosa accade alle soluzioni al variare del parametro.

In fisica è tutto più complicato: uno stesso problema può essere analiato assumendo l'una o l'altra delle variabili come parametro e, secondo me, in particolari contesti vale la pena di utilizzare *derive* nella modalità di rappresentazione dellle famiglie di funzioni per vederne all'opera la influenza sul fenomeno considerato.

Ti viene fatta una proposta, la leggi bene, ci pensi, butti giù uno schizzo e poi la lasci sedimentare. All'inizio non accade nulla, ma poi quell'idea lavora da qualche parte nel tuo cervello; ci ritorni sopra, applichi le tue ipotesi semplificatrici, nuovo fallimento. Si va avanti così e vale la pena di discuterne in classe finché arriva, improvvisa e folgorante, *l'idea buona*. Se ci hanno lavorato in dieci ci saranno dieci valutazioni positive di vario grado, non ci sarà stress e ci sarà passione.

A questo indirizzo trovate una raccolta di compiti scritti divisi per area tematica; le tipologie sono diverse e anche il grado di difficoltà che cambia a seconda della età degli studenti. Usavo due strumenti di verifica: gli scritti e la discussione in classe. Nello scritto troverete problemini, problemi, quesiti a risposta sia aperta sia chiusa (vedere le III prove), quesiti a risposta multipla.

Per la discussione, oltre ai momenti formali, di solito a partire da una mappa concettuale, ho sempre usato molto quelli informali con traduzione in voti un paio di volte a quadrimestre attraverso discussione pubblica ed esplicita. E alla fine del percorso, annuale e poliennale, ne abbiamo

discusso e ho sempre chiesto una valutazione su di me.

(3 – Fine)

I precedenti articoli sono:

La fisica una strana scienza 1, con strani personaggi

La fisica, una strana scienza 2 – come partire