

La fisica è tanta ma ... il problema è capire che ... non c'è bisogno di farla tutta

di Claudio Cereda

fisica materia di area comune, perché?

Il sogno di Prometeo

Nella origine della storia della Fisica che coincide poi, in larga misura, con la storia della scienza moderna, è presente l'idea che sia possibile, attraverso le *sensate esperienze*, conoscere il mondo, capire cosa ci sia di regolare, di necessario, di prevedibile in ciò che accade.

L'idea di una conoscenza che non fa appello a verità rivelate o *doni degli dei* ma che scopre con fatica il *perché accade ciò che accade* è da alcuni secoli (5 o 25 a seconda dei punti di vista) il lievito o il motore della nostra civiltà occidentale e la fisica ha a che fare con tutto ciò.

Il metodo

Osservazione e creatività

Per comprendere il mondo bisogna osservarlo, ma gli occhiali con cui lo guardiamo, non sono *neutri*; le risposte che otteniamo dipendono dalle domande che facciamo e dunque il vero problema è quello di costruire occhiali adatti o, se volete, fare le domande giuste. Ma per fare le domande giuste bisogna essere *sottili* (*sottile è il signore, ma non malizioso* – Einstein) e curiosi (*se non fate domande cosa siete qui a fare* – Feynman).

Le strane definizioni della fisica: libere ma mirate

Tutte le definizioni delle grandezze fisiche si portano dietro qualche dato di esperienza (*la massa è il rapporto costante di forza e accelerazione* definisce la massa inerziale ma si porta dietro una legge *le forze producono accelerazioni ad esse proporzionali*). Come osservava Rudolf Carnap potremmo usare *le uscite di casa del mio vicino* per misurare le unità di tempo, ma poi troveremmo delle leggi bizzarre e faremmo fatica a scoprire regolarità nella natura.

Questo è un tema che attraversa tutta la fisica e dunque non si dà insegnamento della fisica senza farlo oggetto di continua riflessione e sottolineatura.

La introduzione alla dinamica è un buon esempio di quanto dico, ma la maggior parte dei testi continua a non definire la massa e a presentare la prima legge (inerzia) come un caso particolare della seconda.

Il faticoso cammino della scoperta

L'energia o gli atomi sono cose talmente note e accettate che ci si dimentica, quando le si utilizza di parlare della fatica che l'umanità ha fatto per accettarle o anche solo per pensarle. I fisici credono molto nella conservazione della (massa)-energia al punto che di fronte ad una violazione si mettono a cercare qualcosa di *elusivo* che non abbiano visto (come nel caso dei neutrini).

Ma perché c'è voluto sino alla metà dell'800 per parlare di energia? Serviva lo sviluppo di campi separati del sapere (fisiologia, meccanica, elettromagnetismo, ottica, termodinamica ...) per capire che qualcosa cambiava aspetto ma si conservava.

Feynman in un brano famoso delle sue lezioni paragona la ricerca ad una partita a scacchi giocata dagli dei; noi osserviamo la partita ma non conosciamo le regole e nemmeno le strategie. Quando ci pare di capire una regola gli dei, che sono *sottili*, ogni tanto fanno delle mosse stravaganti e questo ci mette in crisi perché ciò che avevamo creduto di capire viene smentito dall'ultima mossa.

Riuscire a trasmettere la fatica del processo di costruzione di una teoria o di elaborazione di un modello è altrettanto importante quanto saperne vedere gli aspetti applicativi, anzi di più.

i fisici, un po' pazzi, un po' aristocratici

che ti importa di ciò che dice la gente

Se uno è curioso, libero, creativo, antidogmatico, disposto a cambiare opinione, ironico finisce che il motto di Feynman *Che ti importa di ciò che dice la gente* va a far parte del suo DNA. Il disprezzo o la noncuranza non riguardano ciò che accade, ma piuttosto come giudica e agisce *il senso comune* che, come diceva Einstein (traduzione libera) è *l'insieme di tutte le stupidaggini che ci inculcano quando siamo piccoli*.

Un bravo insegnante trasmette questo atteggiamento verso il senso comune perché lo sente. Non che i fisici la pensino tutti allo stesso modo, ci mancherebbe. Hanno opinioni molto diverse su ciò che non riguarda strettamente la fisica, ma (esemplifico per farmi capire) se prendete un *fisico precario simpatizzante per Rifondazione* e un *fisico di successo inserito nell'Establishment* vedrete che hanno molte cose in comune nel modo di porsi (naturalmente a condizione che entrambi siano ancora dei fisici e non abbiano giurato fedeltà al *padrone del momento*). Se succede qualcosa di grave, prima di pensare alle sanzioni, cercheranno di capire cosa è successo, perché è successo, se ci è sfuggito qualcosa di importante ...Noi siamo fatti così. Non vi so dire se siamo così perché ci ha formato la fisica o abbiamo fatto fisica perché eravamo così, ma siamo così.

dare una occhiata alla carte di Dio

I fisici, da quando sono nati, distaccandosi dai filosofi, hanno avuto la pretesa di *dare la linea* sul piano metodologico alle altre scienze e di *guardare gli altri* con un po' di superiorità. Lo vediamo bene anche oggi nel ripetersi dei richiami a Dio da parte di molti fisici (grandi e meno grandi). L'idea è che la fisica punti a scoprire il livello ultimo della conoscenza e dunque *sfidi gli dei nella partita a scacchi*: magari non sapremo giocare la partita allo stesso livello degli dei (anche se ci proviamo) ma sapremo *scoprire le regole del gioco*.

- *sottile è il Signore, ma non malizioso* (Einstein)
- *non posso credere che Dio giochi ai dadi* (Einstein, che aveva torto)
- *voglio conoscere i pensieri di Dio, tutto il resto non sono che dettagli* (Einstein)
- *la particella di Dio*: il campo di Higgs dovrebbe spiegare perché le particelle elementari hanno masse diverse e ciò che è strutturalmente unitario appaia invece come molteplice (Leo Lederman – premio Nobel)
- *davanti alla meta; e Dio?* (Steven Weinberg – premio Nobel – il sogno dell'unità dell'universo)
- *una occhiata alla carte di Dio* (Giulio Ghirardi sui paradossi della meccanica quantistica e sui problemi della casualità che facevano impazzire Einstein)

In tutto ciò c'è il senso del trasmettere o meglio incitare alla conoscenza fisica. La sfida è grandiosa e vale la pena di giocarla. Non tutti parleranno con Dio ma si sentiranno parte di una grande sfida.

l'insegnamento nel biennio

Ho un ricordo tragico del mio incontro con la fisica a 14 anni. Facevo il primo anno dell'Itis (60/61) e portavo ancora i calzoncini corti. Ci fu una riforma ad anno già iniziato e fisica diventò materia di biennio: libri assurdi e professori anche.

Mi ricordo quei simboli senza senso sulla cinematica da imparare senza capire. Andai a ripetizione da un cugino neolaureato in ingegneria e riuscii a cavarmela. Mi è rimasta una certezza:

l'insegnamento della fisica non deve cominciare con la cinematica.

Oggi ci arrivano dalla media ragazzi, magari non preparatissimi, ma certamente curiosi. Non dobbiamo ammazzarli di formule e di tecnica né in matematica né tanto meno in fisica. Sanno leggere un diagramma e hanno tanta voglia di *fare e sperimentare*. Smanettano meglio di tanti

professori con il computer. Non mettono i *prodotti notevoli* o i *radicali* tra le cose che contano nella vita (meno male).

scatenare la curiosità e la creatività

Se loro sono così noi dobbiamo stimolarli e guidarli lungo il cammino della conoscenza sapendo che apprezzeranno di più un *fatto* (participio passato) di un *pensato*. Vogliono capire e noi dobbiamo stimolarli ad interromperci, rispondere alle loro curiosità quando vogliono sapere qualcosa dell'energia nucleare e noi avevamo in mente di fare l'equilibrio delle forze. Loro sono più avanti di noi perché sono giovani e la sistematicità può anche attendere di fronte a una domanda; perché una sensata risposta ad una buona domanda genera nuove domande.

far leggere i testi di Frova

Da qualche anno sono disponibili da Rizzoli (nella Bur) dei volumetti (o volumoni visto che sfiorano le 400 pagine) scritti da un docente dell'Università di Roma che ha lavorato in America e che scrive da fisico.

Costano poco e hanno titoli autoesplicativi: 1) *perché accade ciò che accade*; 2) *ragione per cui*; 3) *la fisica sotto il naso*; 4) *Luce e colore: perché si vede ciò che si vede*.

Dentro si trovano dei lunghi elenchi (più di 200) di FAQ del tipo *perché se piove e si corre con l'ombrello aperto bisogna inclinarlo in avanti per non bagnarsi le gambe?* E naturalmente ci sono le risposte.

Ma come, ci hai parlato di Dio, e adesso scendi al livello del *perché quando fa freddo l'alito fuma?* A chi fa queste obiezioni rispondo consigliando di leggere i *Principi della filosofia* di Cartesio. Scoprirà che anche Cartesio si faceva domande del genere e cercava di rispondere. Anzi la sua riflessione metodologica nasceva dal tentativo di rispondere a domande come queste.

stimolare il gusto del montare e smontare

Del mio primo anno di ITIS nel 60/61 ricordo ancora con rimpianto le 4 ore settimanali di *Falegnameria* una cosa che già nel 61/62 era sparita (certo non eravamo a posto con la 626). In seconda, in cantina a casa mia, ho fatto delle cose terribili con reagenti chimici che si compravano in farmacia. Avevo poi una serie di trasformatori con cui producevo *corti circuiti* a bassa tensione e passavo ore a cambiare le condizioni dell'esperimento e a guardare il filo metallico diventare rosso, bianco e poi fondere.

E' fondamentale che un ragazzo di 14 anni acquisisca il gusto dello smontare. La nostra società è ormai strutturata a scatole cinesi. Ciascuno non sa quasi nulla, ma mettendo insieme tanti manufatti prodotti da ciascuno, si ottiene una struttura complessa che non si sa come funzioni ma funziona (pensiamo per esempio a un forno a micro-onde o alle schede di un computer). Quando si rompe si butta via; anzi esistono dei posti deputati allo smaltimento di ciò che non funziona più. Si chiamano isole ecologiche e sono un monumento alla stupidità della nostra epoca.

Così lo schiavo rimane uno schiavo e quando riesce ad accumulare qualche soldo comprerà una cosa inutile che poi butterà via.

Quante cose si possono imparare smontando un PC vecchio o un monitor (tra l'altro si impara a saldare e dissaldare a stagno). Prendiamo un compressore cinese da 5 euro di quelli che servono a gonfiare i pneumatici e rompiamolo: ci sono un motorino a 12 volt, degli ingranaggi per ridurre la velocità e aumentare la forza, un pistone, un meccanismo biella manovella che trasforma il moto rotatorio in moto alternato, ...

Se vi capita di leggere una biografia di Feynman scoprirete che da piccolo *smantava* con le radio. E' del tutto influente il fatto che Einstein (che notoriamente si occupava di teoria ma finiva i suoi articoli con proposte di verifica sperimentale di tipo epocale) lavorasse all'Ufficio Brevetti di Berna?

Non importa quanti esperimenti un ragazzo farà in corso d'anno. Non importa se avrà fatto esperimenti correlati strettamente a ciò che si è fatto a lezione. Aggiungo una affermazione

provocatoria: non importa nemmeno se si va regolarmente (un'ora su tre) in laboratorio perché il suono della campana è nemico della attività di laboratorio.

Ciò che importa è che abbia pensato al da farsi, si sia procurato il materiale e gli strumenti (fabbricandosene qualcuno), che impari a progettare, che impari a misurare, che impari a criticare ciò che ha fatto per migliorarlo, che capisca che la prima legge fisica è quella secondo cui *gli esperimenti non vengono mai oppure vengono sempre* (che è la stessa cosa). Infine che riesca a lavorare con altri; che insieme scoprano chi è più tagliato per una cosa e chi più per un'altra; che si confrontino; che provino a scrivere ciò che hanno fatto. All'inizio le relazioni sono proprio buffe, perché sono false; poi man mano che gli studenti scrivono la verità (con le sue contraddizioni), diventano interessanti.

trasmettere l'idea della unitarietà e terminare con una visione di insieme

Sì ma alla fine cosa rimane? Hanno *smontato il compressore, sanno perché il cielo al tramonto diventa rosso*, ma non sanno ancora esprimere bene *l'enunciato del teorema dell'energia cinetica*. A parte che se si lavora bene, sanno anche quello; ma supponiamo che non lo sappiano. E allora? Hanno 16 anni e nel triennio potranno continuare a crescere (sia che facciano l'Itis e studieranno le scienze applicate, sia che facciano il liceo e si misureranno con la fisica generale sapendo di cosa si parla).

l'insegnamento nel triennio

assumere da subito un atteggiamento unitario

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 nelle corsie delle gare di ippica prima della partenza; molto meglio *il canapo* 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: diciamolo però che è falso e che quello vero è molto più brutto e difficile da leggere (spesso è anche ambiguo).

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.

Questo 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: il programma.

Non mi ricordo il dato preciso ma il tempo di raddoppio delle conoscenze in ambito scientifico 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 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 a ...mai.

Quest'anno a Ginevra inizia a funzionare LHC (il large hadron collider) con 27 km di anello intervallato da grandi magneti a 2 gradi sopra lo zero assoluto. Vogliamo parlarne a magari partire da lì (sincronizzazione di segnali, basse temperature, superconduttività, contenimento del fascio, ...).

Se la conoscenza e la produzione letteraria 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 è 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.

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 estremo si ha con l'uso del *calcolo dimensionale* che funziona bene se si ha fretta o si è disperati. 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.

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 conoscevano solo per induzione. Grande vittoria: abbiamo dedotto le leggi dei gas dalla meccanica delle palline e cioè le abbiamo spiegate.

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.

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, perché la conoscenza 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.

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 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 agli ingegneri.

Qualche anno dopo l'avvenuta *lettura della 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 della biologia molecolare. Dimensionalmente è solo un rapporto di 1 a 100 ma vi pare poco? Ci sono la vita, l'evoluzione, le malattie, la morte.

Supponiamo di avere finito una partita a scacchi; 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 in 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 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. 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 disponibile all'indirizzo

<http://www.ilsalottoesoso.it/fisica/corsofisicagenerale.html>

E alla fine?

Mi accorgo, rileggendo, di non aver parlato di valutazione. Sarà per un'altra volta. Dico solo che le cose da indagare sono molte e dobbiamo, secondo me, valutare il meglio. Testare su molti fronti per dare carattere formativo alla valutazione ma poi far emergere ciò che c'è di positivo che, per ogni studente, potrebbe essere su aspetti, contenuti, competenze e abilità di tipo diverso.

Un messaggio a tre voci: meglio meno ma meglio; solo chi ha passione trasmette passione; ne vale la pena.