



Pillole pedagogiche

ovvero i tormenti dell'insegnante di fisica

Giovanni Battimelli

La scienza è difficile. La fisica, poi, non ne parliamo. Se la sua posizione di primato nella gerarchia degli statuti epistemologici delle scienze della natura può essere messa in discussione, nessuno le toglie l'altro poco invidiabile ruolo di leader della classifica delle materie di studio ostiche e da cui tenersi per quanto possibile alla larga. Le innumerevoli pillole pedagogiche escogitate da generazioni di insegnanti per renderla più digeribile sono servite soprattutto ad acuire il senso di frustrazione dei loro ideatori, che continuano ad arrabattarsi intorno alla domanda: come si fa a parlare di fisica in maniera semplice? Semplice domanda che, con ogni evidenza, non ammette risposte semplici. Infatti:

- a) la domanda sembra del tutto fondata. Se la pietanza "fisica" risulta poco appetibile ai profani (e in particolare a coloro che sono costretti ad ingurgitarla anche contro voglia, cioè agli studenti) questo è largamente dovuto al fatto che l'immagine che essa offre di sé (o meglio, che di essa viene offerta) è quella di una materia molto astrusa, in cui è difficile, se non impossibile, orientarsi usando le semplici bussole cognitive e linguistiche che ci servono così bene nella vita di tutti i giorni (vita culturale inclusa). La fisica è difficile perché è distante dal senso comune - la scienza della nostra quotidiana semplicità - e parla in modo complicato, recalcitrando ad ogni tentativo di farsi dire semplicemente. Per cui, mentre ci si vergogna ad ammettere di non capire nulla di musica (perché si suppone che, se ciò accade, sia colpa nostra), ci si sente autorizzati a dichiarare con compiacenza di non capire nulla di fisica (perché in tal caso la colpa è sua, della fisica). Viviamo in un mondo dove tutto si riesce ad esprimere con semplicità, tranne le

maledette complicazioni delle vostre equazioni; andate dunque al diavolo, voi e le equazioni, oppure fate uno sforzo per farvi capire, e siate semplici. Ma si potrebbe obiettare che:

- b) la domanda, nei termini in cui l'abbiamo posta, è del tutto priva di fondamento. Non c'è proprio niente da semplificare. È il mondo che è complesso, quel mondo in cui diciamo di saperci orientare "semplicemente". Su quel mondo, la fisica esegue un'impressionante opera di riduzione e selezione, per ridursi a parlare di una sua versione particolarmente distillata, da cui sono stati espunti proprio quegli elementi che rendono il mondo reale "complicato" e che quindi, lungi dall'essere una sorta di fotocopia del mondo "come realmente è", ne fornisce una rappresentazione altamente semplificata. "Semplicità" è una delle parole preferite dai fisici per caratterizzare le doti migliori delle loro migliori teorie. perché allora bisogna sforzarsi di rendere semplice ciò che è già semplice di suo?

«Aspetta un momento. Mi pare che stai un po' giocando con le parole. La "semplicità" di una teoria fisica non è la stessa "semplicità" richiesta da uno studente che vorrebbe capire di cosa parla quella teoria. E "complicato" non è proprio la stessa cosa di "complesso". Anzi, sospetto che la differenza stia proprio nel fatto che, mentre lo studente vorrebbe un discorso semplice nel senso del contrario di complicato, una teoria fisica è semplice nel senso che ha ridotto il complesso...»

«... e che dunque si possono avere, su classi di fenomeni semplificati, teorie anche molto complicate, il che mantiene aperta la questione di come parlarne in modo semplice, cioè non complicato. D'accordo. Ma converrai che è importante avere ben chiara questa intrinseca ambiguità della virtù che stiamo cercando di acchiappare, tanto più che queste due facce della semplicità, nel nostro caso particolare, sembrano essere incompatibili.»

«Stai cercando di suggerire che proprio perché la fisica non parla del "mondo così come è", ma di una sua versione semplificata, è difficile raccontare la fisica in modo semplice?»

«Qualcosa del genere. Diciamo che, per raccontare la fisica in modo semplice, dobbiamo fare ricorso al linguaggio comune, mentre la fisica, per dire cose sensate su quell'immagine semplificata del mondo su cui è polarizzata, ha dovuto costruirsi un linguaggio adeguato a discutere di quell'astrazione. Mi pare che la natura del problema risieda nella difficoltà di fare entrare in risonanza questi due linguaggi.»

«Insomma, stai dicendo che il problema è nella natura ostica (complicata) del linguaggio specifico della fisica. E allora dilla tutta: il problema è che i fisici parlano in matematica. Non è questo “il linguaggio della fisica”? Ma se questo è il nocciolo della faccenda, mi pare che non abbiamo di fronte un ostacolo insormontabile. Linguaggi diversi riescono a comunicare: si tratta solo di un problema di traduzione. Per parlare in modo semplice di fisica, occorre solo riuscire a ri-tradurre nel linguaggio ordinario quei significati che l’attività di semplificazione del mondo fatta dagli scienziati ha incorporato nelle strutture formali della matematica.»

«Sembrerebbe che le cose stiano più o meno così. Ti farà piacere scoprire che il tuo modo di formulare il problema non è originale, ma è stato proposto già molto tempo fa, per la precisione nel 1857, da un personaggio illustre della storia della fisica, Michael Faraday, in uno scambio di corrispondenza con un altrettanto illustre collega, il suo connazionale James Clerk Maxwell.»

C’è una cosa che avrei piacere di chiederle. Quando un matematico si impegna a indagare azioni e risultati fisici e arriva a conclusioni proprie, non è forse possibile formulare tali conclusioni nel linguaggio comune con la stessa completezza, chiarezza e definitezza che in formule matematiche? E se ciò è vero, non sarebbe forse un gran vantaggio esprimerle in tal modo, ritraducendole dai loro geroglifici, così da permetterci di lavorare sperimentalmente su di esse? Io credo che debba essere così, poiché ho sempre pensato che Lei potrebbe darmi un’idea perfettamente chiara delle sue conclusioni che, anche senza permettermi una comprensione compiuta dei passi da Lei seguiti nel procedimento, mi darebbero però risultati che non sono né al di sotto né al di sopra della verità, e così chiari per natura da permettermi di pensare e lavorare in base ad essi. Se ciò è possibile, non sarebbe buona cosa se i matematici, che lavorano su questi soggetti, ci dessero i loro risultati sotto questa forma popolare, utile e pronta per il lavoro, oltre che in quella che è a loro appropriata?

È chiaro che la domanda che Faraday sta ponendo è proprio quella intorno a cui stiamo girando: si possono avere i risultati della fisica in forma “popolare, utile e pronta per il lavoro” (o altrimenti, per usare la nostra parola chiave, in forma semplice) traducendoli nel linguaggio comune dai geroglifici matematici in cui sono stati partoriti? Ed è altrettanto chiaro che Faraday ritiene che si possa (e quindi si debba) rispondere affermativamente alla

domanda, e soprattutto - e questa specifica è della massima importanza - che questa operazione di traduzione si possa effettuare per così dire in modo integrale, “con la stessa compiutezza, chiarezza e definitezza”. Se dunque si potesse seguire la strada suggerita da Faraday, saremmo a posto, e non ci sarebbe gran che da aggiungere, salvo mettersi al lavoro con gli appropriati dizionari; ma il fatto che stiamo ancora a discutere della faccenda a distanza di un secolo e mezzo lascia sospettare che forse Faraday si sbagliava, e che le cose non sono - è il caso di dirlo - così semplici.

Il punto è che questo modo di porre il problema rischia di far leggere il rapporto tra matematica e fisica in maniera fortemente riduttiva. Sostenendo la possibilità di una traduzione integrale dei contenuti conoscitivi della fisica dalle strutture formali della matematica al linguaggio ordinario si suggerisce l'idea che la funzione della matematica si limiti all'offerta di un linguaggio compatto, potente e preciso in cui condensare contenuti semantici che sarebbero peraltro esprimibili altrimenti: una sorta di stenografia particolarmente efficace. Si perde completamente, in questa maniera, l'aspetto cruciale della stretta interconnessione che lega le due discipline, aspetto che ha ben espresso J. M. Lévy-Leblond definendo quello tra fisica e matematica un rapporto *costitutivo*. Si vuol dire che i termini della fisica non sono semplicemente traducibili (esprimibili) in termini delle strutture formali della matematica, ma che essi acquistano letteralmente la propria esistenza nel momento in cui sono definite le strutture formali che permettono di esprimerli. La matematica è, in questo senso, il linguaggio che è stato necessario mettere a punto per poter articolare il discorso sul mondo che è la fisica moderna. Un eccellente esempio al riguardo è fornito proprio da quello che si può ben considerare l'atto di nascita della moderna scienza del movimento: senza l'invenzione del calcolo infinitesimale, Newton non avrebbe potuto parlare di dinamica nel modo in cui lo ha fatto, ridefinendo i significati di tutte le grandezze cinematiche nel contesto di una teoria che è pienamente esprimibile *solo* in quel linguaggio formale.

Insomma, il problema della traduzione dai linguaggi formali delle teorie fisiche al linguaggio comune non si pone negli stessi termini di quello della traduzione tra due lingue differenti. poiché i diversi linguaggi ordinari parlano tutti della stessa cosa (il mondo così come è), è possibile tradurre da una lingua all'altra senza perdita sostanziale di significato (anche se sappiamo che ci sono in ogni caso sfumature, e talvolta valenze semantiche più

sostanziose, che vanno comunque perse nel passaggio). Ma la fisica “parla d’altro”: precisamente di quella versione distillata, astratta e semplificata del mondo che ha costruito nel momento stesso in cui costruiva il linguaggio adeguato a descriverne le proprietà. Che poi si possa “mettere in parole” le equazioni non semplifica la cosa: la “forza” di cui si parla in fisica per illustrare il contenuto delle equazioni del moto non è la “forza” del linguaggio ordinario. Ed è ben noto a chi si occupa di didattica che, se in sede di insegnamento si ricorre a questo tipo di semplificazione senza mettere in opera le dovute cautele, si crea solo una assordante cacofonia, in cui le parole non trasmettono più significati e tutto diventa dicibile perché tutto è privo di senso. Dunque, saper maneggiare un’equazione differenziale non costituisce un’abilità facoltativa che rende più agevole trattare problemi di meccanica: è la condizione stessa per poterne parlare propriamente.

«Se quanto stai dicendo è fondato, mi pare che dobbiamo concludere che le cose si mettono male. Se la particolare semplificazione operata dalla fisica si realizza solo grazie all’invenzione di un linguaggio che non risulta affatto semplice, non c’è scelta: o mangi questa minestra o salti dalla finestra, e la minestra in questione sono i geroglifici matematici che tanto disturbavano Faraday. O ci si impadronisce delle regole d’uso di un linguaggio fortemente specializzato - e, ne converrai, non proprio “semplice” - o bisogna rassegnarsi al silenzio e all’estraneità. Niente equazioni differenziali, niente discorso sensato, dunque nessuna possibilità di parlare semplicemente?»

«Non ho detto questo. Mi sono limitato ad indicare un ostacolo che non può essere aggirato con semplificazioni linguistiche, e con ciò a porre il problema della necessità della matematica. Ma il fatto che la matematica non sia semplicemente un’utile stenografia non vuol dire che essa permetta di esprimere compiutamente tutte le regole di senso del discorso della fisica.»

«Non capisco. Non abbiamo detto che la matematica è il linguaggio della fisica, e che lo è in un senso forte, “costitutivo” per usare la tua espressione, tale da risultare intraducibile in termini semplici? Che quindi maneggiare strutture formali è condizione necessaria per parlare di fisica?»

«Condizione necessaria per parlarne propriamente, ma non condizione sufficiente per esprimersi in modo completo. Voglio dire che i principi semantici della fisica (le “istruzioni per l’uso” che consentono di costruire proposizioni significanti) non si ridu-

cono alle regole della deduzione logico-formale proprie delle strutture astratte della matematica. E questo, bada bene, non perché anche gli oggetti di cui la fisica parla non siano “astratti”, ma perché per loro natura gli oggetti matematici non hanno, almeno in linea di principio, niente a che fare con la realtà (aspirano, diciamo, ad essere buoni per tutti gli usi senza significare niente di particolare), mentre la fisica pretende di dire delle cose su uno specifico pezzo di mondo, e quest’ultimo, per così dire, le presenta sempre il conto.»

«Accidenti a te e alle tue metafore! Che cosa c’entra adesso il mondo? Comunque, metafora per metafora, se il gran libro della natura è scritto in caratteri matematici, che altro c’è da aggiungere?»

«C’è da aggiungere il fatto che “il gran libro della natura” - che è ciò di cui si parla, sia pure in versione semplificata - pone dei vincoli alla libertà di espressione linguistica, vincoli che non sono riducibili a quelli imposti da una logica “pura”, ma che sono dettati dalle proprietà intrinseche dei particolari oggetti in esame. Fuor di metafora, sto cercando di ricordare in un modo un po’ insolito che la fisica è una scienza sperimentale, che ha a che fare con una realtà esterna fatta in un certo modo (qualunque cosa ciò significhi) e non con puri costrutti mentali.»

«Sarà, ma non è che abbia capito granché, e soprattutto non vedo come tutto ciò abbia qualcosa a che vedere con la questione della semplificabilità del discorso della fisica. Non è che riusciresti per una volta a spiegarti in maniera semplice?»

«D’accordo, ci provo. Qual è quel numero che, elevato al quadrato, è uguale a quattro volte se stesso? Non ti preoccupare, non sto dando i numeri...»

«Dunque, chiamiamo x il numero in questione, si tratta di trovare x tale che $x^2 = 4x$... Lasciamo perdere la soluzione banale $x = 0$, mi pare che il numero cercato sia 4. Quattro al quadrato è ovviamente uguale a quattro volte quattro.»

«Elementare, Watson. E adesso rispondi a quest’altra domanda: quanto è lungo il lato L del quadrato la cui area è uguale al perimetro?»

«Allora: l’area è uguale al lato al quadrato, il perimetro è quattro volte il lato, quindi sto cercando L tale che $L^2 = 4L$... Ma è lo stesso problema di prima! Il lato è lungo quattro.»

«Quattro cosa?»

«Come quattro cosa? Quattro!»

«Voglio dire, questo lato è lungo quattro metri, quattro centimetri, quattro chilometri o quattro cosa?»

«Mah... dipende dall'unità di misura che scegliamo per le lunghezze.»

«E quindi quella che dovrebbe essere una proprietà intrinseca del quadrato verrebbe a dipendere da una nostra convenzione. Il che, sarai d'accordo, non è accettabile.»

«Ma questa obiezione non è valida per il primo problema. Dove sta la differenza?»

«La differenza sta nel fatto che nel secondo caso è stata violata una regola semantica (d'accordo, la ho violata io per primo nel formulare il problema, ma tu ci sei cascato in pieno). È la regola che impone che non si possano confrontare tra loro grandezze dimensionalmente non omogenee: una superficie (l'area del quadrato) è intrinsecamente diversa da una lunghezza (il suo perimetro). Asserire la loro uguaglianza significa, letteralmente, dire una cosa priva di senso.»

«Ma i due problemi sono formalmente identici!»

«Proprio lì sta il problema. Finché ti limiti esclusivamente all'aspetto formale, vedi solo la somiglianza dei due problemi e ti sfugge la differente natura dei vincoli che sono all'opera nelle due situazioni; coi simboli puri si possono fare cose (si possono dire frasi) che non sono più significanti quando nei simboli sono incorporate proprietà del mondo. E il mondo, sotto forma delle proprietà del quadrato, ti ha presentato il conto. Il fatto è che il primo è un problema di matematica pura, il secondo è un problema di fisica.»

«No, scusa: il secondo è un problema di geometria.»

«Vedila così: la geometria è la fisica dello spazio, in cui si opera con una sola caratterizzazione dimensionale, la "lunghezza" (e hai lunghezze, lunghezze al quadrato, cioè aree, lunghezze al cubo, ovvero volumi...); aggiungi la dimensione "tempo" e costruisci la cinematica, metti anche la dimensione "massa" e arriva la dinamica.»

«E perché di tutto ciò non mi hanno mai detto niente quando studiavo fisica?»

«perché una consolidata tradizione didattica ha di fatto ridotto la fisica alla matematica, trasformandone il discorso nell'esibizione di una rigorosa catena di deduzioni logico-formali e trascurando la dovuta attenzione a questi principi semantici che sono specifici della disciplina.»

«Se ho capito dove vuoi arrivare, stai suggerendo che una maggiore attenzione nell'insegnamento (e nel parlare di fisica in generale) a queste componenti del linguaggio non strettamente

formali ma altrettanto costitutive potrebbe rappresentare una buona porta di ingresso nelle complicazioni della disciplina.»

«E soprattutto, la porta di ingresso principale, non una porta di servizio. Il “senso” della fisica, e la natura della semplificazione del mondo che essa opera, si manifestano essenzialmente attraverso l’esplicitazione di queste regole linguistiche, che sono poi il principale armamentario intellettuale con cui i fisici lavorano.»

«E che, non necessitando di una struttura formale sofisticata, possono essere dette in maniera semplice... Siamo arrivati a trovare una possibile soluzione al problema di parlare in modo semplice della semplificazione della fisica?»

«Può darsi. Prendiamola come un’ipotesi plausibile, una strada aperta: per percorrerla, bisognerebbe lavorarci sopra. Per parafrasare una celebre sentenza di un fisico di genio posto di fronte ad un problema apparentemente insolubile, “è semplice: forse è anche possibile”.»