

## La candela

Leggo nell'ultimo numero un lungo articolo di Salvatore Lazzara: *Vedi alla voce scienza*, col sottotitolo "La filosofia, la scienza e la 'complessità'". Il tema è di quelli che non possono non interessare chi si occupa di scienza in generale, e in particolare dell'insegnamento; per cui vorrei descrivere l'impressione che ne ho ricevuto. Ma non è un'impresa facile; in parte certamente per miei limiti, ma credo anche per altre ragioni, che risulteranno chiare più avanti.

Credo di poter riassumere l'articolo come un'esposizione dei cambiamenti di prospettiva che si sono prodotti in questo secolo nel pensiero scientifico, e delle strade che oggi la scienza si trova di fronte. Detto in questo modo l'argomento va molto oltre le mie competenze, e la mia educazione (riduzionista?) mi rende difficile addentrarmi in argomenti che padroneggio poco. Però mi conforta un'asserzione di Lazzara: "Fu invece nell'ambito della fisica, scienza newtoniana per eccellenza, che si mostrarono sconvolgenti mutamenti in prospettiva." (L'autore contrappone qui la fisica alla biologia, dove a suo modo di vedere la rivoluzione evolucionista non ha avuto un impatto paragonabile.) Stando così le cose, mi sento più sul mio terreno: di che cosa sia accaduto nella fisica nel secolo scorso e nel presente so qualcosa, e ci ho anche riflettuto sopra. Quindi almeno da questo punto di vista posso tentare dire la mia.

Già l'incipit dell'articolo mi ha suscitato un certo disagio:

"La storia del pensiero scientifico e filosofico contemporaneo è segnata, già a partire dalla fine del XIX secolo, dalla progressiva presa di coscienza di un lento ma inesorabile dileguarsi delle certezze, dei fondamenti teorici e pratici del sapere. Una alla volta, tutte le categorie del pensare e dell'agire scientifico e filosofico, idee e concetti ritenuti immutabili come il Tempo, lo Spazio, il rapporto tra Causa ed Effetto, sono stati messi alla prova."

È solo la prima di una serie di affermazioni perentorie, che non lasciano spazio ad alternative: o si è con l'Autore o si è contro di lui... A me verrebbe da osservare anzitutto che non c'è niente di nuovo: per esempio la rivoluzione copernicana non è stata da meno, quanto a sconvolgimento delle certezze e dei fondamenti del sapere. Inoltre, non posso parlare come filosofo; ma come fisico direi che la cosa non mi spaventa: è un fenomeno che si ripete periodicamente, e che, come cercherò di mostrare più avanti, non ha mai impedito ai fisici di proseguire il proprio lavoro.

Forse è più chi guarda la scienza dall'esterno, spesso e volentieri formandosi un'immagine falsa, che rimane turbato dai cambiamenti di ciò che credeva assoluto e immutabile. In effetti uno dei problemi della fisica, non da oggi, ma

certo molto di più negli ultimi due secoli, è la sua sostanziale impenetrabilità da parte di chi non sia un “addetto ai lavori”; non abbia cioè compiuto un lungo tirocinio e non partecipi dall’interno alle ricerche, alle discussioni, alle valutazioni dei risultati. Si cerca di supplire a questa difficoltà con la divulgazione, i cui limiti sono però purtroppo ben noti; oppure ricorrendo alla mediazione di alcuni pensatori (la bibliografia di Lazzara ne fornisce un elenco rappresentativo) i quali a loro volta, nella maggior parte dei casi, hanno della fisica una conoscenza di seconda o terza mano, e quasi sempre piegata e distorta a beneficio delle proprie tesi.

Sulla scia, prima di tutti, di Prigogine, Lazzara prende la termodinamica come emblema di questa trasformazione nella visione del mondo data dalla “tranquilla” fisica cartesiana-newtoniana. Debbo precisare che l’apparentamento Cartesio-Newton non è mio: a me appaiono più forti le differenze che le somiglianze; ma nella corrente di pensiero di cui qui si tratta interessa anzitutto mettere in evidenza quel tanto di “meccanicismo” che hanno in comune.

Secondo questa visione, infatti, sarebbe la termodinamica, nell’800, a rompere la pacifica costruzione della fisica sei-settecentesca:

“La termodinamica sarà [...] il cavallo di Troia per mezzo del quale, nel mondo ordinato e prevedibile della scienza moderna, faranno il loro ingresso le figure inquietanti del Caos e del Disordine.”

“Questo secondo principio trasformava di fatto la termodinamica, fino a quel momento scienza dell’Ordine, della stabilità in una scienza del Disordine e dell’incertezza.”

Vediamo. Mi sembra che per amore di tesi si semplifichi e si deformi anche macroscopicamente l’andamento delle cose. Per cominciare, quello che è noto come secondo principio non è storicamente successivo al primo: nella forma del teorema di Carnot, che già riconosce un limite al rendimento delle macchine termiche, quindi alla convertibilità del calore in lavoro, esso è anzi di parecchio precedente all’enunciato termodinamico della conservazione dell’energia. Dunque questa termodinamica “scienza dell’Ordine, della stabilità,” contrapposta al disordine e all’incertezza introdotti dal secondo principio, non è mai esistita.

Non solo: il secondo principio di per sé non introduce l’idea di disordine, che si sviluppa in un tempo successivo, soprattutto con Boltzmann, ma ha anche dei precedenti, almeno per l’interpretazione delle proprietà dei gas, in D. Bernoulli nel ’700.

Il problema posto dalla termodinamica nel corso dell’800 è prima di tutto quello della natura del calore, che passerà dal modello di fluido all’inizio del secolo al moto molecolare al suo termine. Perciò nella successione storica la nascita stessa della termodinamica, la scoperta della non convertibilità di calore e lavoro, il problema della natura del calore, il riconoscimento dei fenomeni irreversibili, l’interpretazione microscopico-statistica, sono tutti aspetti che s’intrecciano e si sviluppano insieme.

Può essere interessante esaminare due citazioni. Ecco la prima <sup>(1)</sup>:

“La piena validità del secondo principio [. . .] è incompatibile con l’ipotesi di atomi finiti. Si può prevedere che nel corso degli ulteriori sviluppi della teoria si avrà uno scontro fra queste due ipotesi, che porterà all’estinzione di una di esse.”

È chiaro che chi scrive queste parole dà per tutt’altro che risolto il rapporto fra il secondo principio e la natura discreta della materia; quindi non considera sostenibile l’interpretazione statistica del principio. Siamo nel 1883; l’autore è Max Planck. Di fatto la previsione di Planck si rivelerà sbagliata; ma ciò che conta è che al momento in cui scrive la termodinamica esiste da decenni (il teorema di Carnot da quasi 60 anni).

La seconda citazione è classica:

“L’asserzione che tutti i fenomeni naturali sono in ultima analisi riducibili a fenomeni meccanici non può neppure essere presa in considerazione come utile ipotesi di lavoro: è semplicemente sbagliata. E l’errore è reso del tutto manifesto dal fatto seguente. Tutte le equazioni della meccanica hanno la proprietà di ammettere l’inversione di segno per le grandezze temporali. Vale a dire che, in teoria, processi puramente meccanici possono svolgersi in ugual modo sia in avanti che all’indietro [nel tempo]. Quindi, in un mondo puramente meccanico non potrebbero esserci un prima e un poi, come nel nostro mondo: un albero potrebbe diventare di nuovo germoglio e seme, una farfalla potrebbe tornare bruco, e un vecchio ridiventare bambino. La dottrina meccanicistica non dà alcuna spiegazione del fatto che ciò non si verifica nella realtà; né può darla, a causa della proprietà fondamentale delle equazioni della meccanica. L’irreversibilità effettiva dei fenomeni naturali dimostra dunque l’esistenza di processi che non sono descrivibili dalle equazioni della meccanica; e con questo il verdetto sul materialismo scientifico è stabilito.”

Non ho qui lo spazio per commentare il brano e per tentarne una critica; mi limito a osservare che anche questo autore, per amore della sua tesi, confonde tranquillamente concetti diversi: ad es. identifica materialismo e meccanicismo. La ragione è che vuol contrapporre all’interpretazione “materialistica” di una materia fatta di atomi, secondo lui incapace di spiegare l’irreversibilità, la sua “energetica.” Si tratta infatti di Wilhelm Ostwald (1895).

Potrei dire che la storia successiva si è incaricata di smentirlo, ma confesso che in tempi di “New Age” non mi sento più così sicuro che anche Ostwald non venga ripescato. . .

Ma la ragione per queste due citazioni era una sola: mostrare che ancora alla fine del secolo scorso la termodinamica, ben stabilita come scienza dei fenomeni termici, conviveva con un profondo dibattito in materia di fondamenti: interpretazione macroscopica o no del calore, esistenza degli atomi, possibilità di

riconduzione la termodinamica alla meccanica. Il Caos e il Disordine hanno fatto il loro ingresso; certo il mondo fisico come lo vedono i fisici non è più lo stesso; ma da questo a parlare di fine di un mondo “ordinato e prevedibile” secondo me ci corre parecchio.

Inoltre la ricostruzione che fa Lazzara, chissà perché, dimentica un altro protagonista della fisica dell’800: l’elettromagnetismo. Eppure non si capisce niente di ciò che succederà in seguito, ma ancor prima della fine del secolo, senza guardare a questo altro grandioso sviluppo della fisica. Grandioso per le conquiste di pensiero, per la scoperta di nuovi fenomeni, non meno che per la vastità di applicazioni pratiche.

Non sembri fuori luogo il richiamo alle applicazioni pratiche (che ci sono, sappiamo bene, anche per la termodinamica). Come spiegherò meglio più avanti, ritengo che tener d’occhio le applicazioni delle teorie scientifiche sia un criterio di verità sempre fondamentale; e che non a caso chi vuole “destrutturare” la scienza tenda a metterle in secondo piano, come irrilevanti.

\* \* \*

Passiamo ora a un altro tema, adombrato più volte nell’articolo di Lazzara: la crisi del rapporto causa-effetto:

“[...] si è manifestato il carattere puramente *descrittivo* delle leggi scientifiche, la loro incapacità cioè di andare oltre la semplice supposizione di uno stato di cose, di spiegare davvero un fenomeno [...]

“Se le leggi non ci dicono nulla di preciso e affidabile riguardo il verificarsi di un fenomeno nello spazio e nel tempo, se sono ormai soltanto la descrizione della possibilità che le cose accadano [...]”

Qui Lazzara si riferisce da un lato alla questione della complessità; dall’altro alle innovazioni portate dalla meccanica quantistica. Dice infatti, poco sopra le parole citate:

“La ricerca scientifica dei nostri giorni, del resto, sta lasciando evolvere la questione della complessità su un piano che solo apparentemente rompe con la tradizione, ma che in realtà recupera il senso dell’eredità greca, del pensiero dinamico dei primi atomisti, molto più vicini alla meccanica quantistica di quanto non siano state le categorie di Aristotele e i miti demiurgici di Platone.”

Trovo piuttosto audace l’associazione fra gli atomisti greci e la meccanica quantistica odierna, e lascio che sul piano filosofico si pronunci chi vuole; da fisico mi limito a considerare l’interpretazione che Lazzara dà della m.q. per lo sviluppo del suo discorso.

Tutto sembra ruotare intorno a un’idea: che la m.q. abbia scacciato dalla fisica la prevedibilità, la causalità, l’affidabilità delle leggi, per sostituirvi un

universo di possibilità, un indefinito ramificarsi di borgesiani sentieri, che possono solo essere descritti ma non anticipati né compresi. Risponderò con Galileo: “No, signor Lazzara, la cosa non istà così.”

La meccanica quantistica ha ormai tre quarti di secolo; dopo le accese discussioni degli inizi sono venute una serie di applicazioni e anche di approfondimenti; si sono affinate le tecniche sperimentali che hanno da un lato permesso verifiche sempre più accurate, dall'altro hanno portato a risultati inizialmente impensabili. Gravi problemi sono ancora aperti nell'interpretazione della m.q.: prima di tutto quello del suo rapporto con la fisica macroscopica. Ma qui non è il luogo per ampliare il discorso.

Quanto all'indeterminismo della m.q., non c'è dubbio che esso esiste e si manifesta nettamente in situazioni sperimentali semplici. Se ad es. mandiamo un singolo fotone su uno specchio semitrasparente, non siamo in grado di prevedere se verrà riflesso o trasmesso; se isoliamo un atomo in uno stato eccitato (cosa oggi possibile) non possiamo dire in quale istante esso emetterà un fotone; e molti altri esempi analoghi potrei fare.

Ma questo non è tutto ciò che la m.q. c'insegna. E mi viene sempre da chiedermi se a coloro che sembrano ridurre la m.q. a tali semplici asserzioni, non debba sorgere il dubbio di come passino il tempo i fisici (teorici e sperimentali): a trastullarsi con calcoli di mere eventualità e a costruire complicate apparecchiature per studiare cose che forse accadranno e forse no? Non dovrebbero essere sfiorati da un piccolo, modesto dubbio: non sarà che forse ci siamo fatta un'idea molto parziale e riduttiva di ciò che la m.q. ha prodotto nella fisica?

A titolo di brevissima e sommaria ricapitolazione, vediamo dunque alcune delle cose che grazie alla m.q. siamo riusciti a comprendere (spiegare, prevedere, verificare, costruire ...).

In primo luogo ci sono certamente gli atomi: livelli di energia, righe spettrali. Dagli atomi alle molecole: e basti pensare al legame chimico, con tutto ciò che ne consegue per la comprensione delle proprietà della materia, inclusa quella vivente. E tutta la biologia molecolare, che non esisterebbe senza queste basi.

Voglio essere chiaro: non sto sostenendo che la biologia molecolare *si riduce* alla meccanica quantistica, ma solo che non la si può comprendere senza questa. Le proprietà delle proteine, come quelle del DNA, dipendono dal gioco e dalle interazioni degli elettroni atomici. La fotosintesi è un complicato (almeno per me) lavoro di elettroni che saltano da un livello energetico a un altro assorbendo fotoni, modificando legami chimici, ecc. ecc. E queste e le molte altre che non so neppure elencare sono situazioni in cui non c'è niente d'indeterministico: le energie di legame sono sempre quelle; le reazioni avvengono sempre allo stesso modo. Né si può dire che si tratti di una regolarità statistica, come quella di un gas, derivante dall'enorme numero di molecole che sono presenti in ogni quantità anche piccola alla scala umana. No: un gene in un organismo unicellulare può essere presente in unica copia, ed essere tuttavia sufficiente a causare *riprodu-*

*cibilmente* la sintesi di un enzima essenziale per la vita della cellula. E così via.

Le proprietà dei gas e della materia condensata; la fisica nucleare. (Per questa via la m.q. è stata tra l'altro un passaggio obbligato per capire la costituzione e l'evoluzione delle stelle.) Un cenno al caso dei solidi: importante perché ha prodotto lo sviluppo dell'elettronica, dai transistor ai circuiti integrati. Che cosa discenda dall'elettronica degli ultimi 40 anni non dovrei ricordarlo, se non vedessi come si tenda a trascurarne l'importanza proprio sul piano che stiamo qui trattando.

Se infatti oggi siamo circondati da aggeggi elettronici; se praticamente non esiste momento della nostra vita in cui non abbiamo a che fare, anche senza saperlo, con qualche microprocessore; e se tutto questo di solito funziona in modo completamente prevedibile (e quando non funziona le cause sono sempre a tutt'altro livello, in cui il comportamento microscopico è largamente fuori causa) ... bene: considerato che tutto ciò esiste, è concepito, progettato, realizzato grazie alle leggi della m.q., mi pare che siamo di fronte a un argomento fortissimo che taglia alla radice la presunzione d'imprevedibilità e inaffidabilità che si diceva sopra.

Che l'uomo della strada quando usa il cellulare o ascolta un CD non sia tenuto a rendersi conto di tutto quello che c'è dietro, è comprensibile e forse necessario; ma da un filosofo mi aspetterei una maggiore attenzione, dato che il regolare svolgimento di una conversazione, così come la fedele riproduzione di un quartetto di Beethoven o dell'ultimo brano pop dipendono, in ultima analisi, dal fatto che un laser faccia il suo dovere, che milioni di transistor nascosti in minuscoli circuiti integrati si comportino come previsto dal progettista. Come conciliare questo con le generiche affermazioni su "leggi [che] non ci dicono nulla di preciso e affidabile"?

Oggi sappiamo — come ho accennato sopra — isolare un singolo atomo, tenendolo fermo con fasci laser (alle ricerche in questo campo è stato attribuito il Nobel 1997 per la fisica). L'atomo sta così fermo, che un limite iniziale a tali esperimenti è stata ... la gravità: l'atomo fermato coi laser "cadeva"! (Quanto cade un atomo in un secondo? Galileo sarebbe entusiasta di sapere che cade tanto quanto le sue pietre, ossia quasi 5 metri!). Il problema è stato risolto con una repulsione magnetica: un espediente del tutto simile a quello col quale un dirigibile resta sospeso in aria in un giocattolino che mio nipote Marco ha trovato come sorpresa in un uovo di Pasqua.

E non basta: sono state realizzate le "fontane atomiche," in cui gli atomi vengono prima fermati e poi lanciati verso l'alto, a velocità di circa 2 m/s. Alla sommità della loro traiettoria (a che altezza? la stessa di un grave galileiano: 20 cm), prima che ricadano, gli atomi sono completamente liberi e isolati, e se ne possono misurare con grandissima precisione (si pensa di arrivare a 16 cifre!) i livelli energetici.

Quegli atomi che per Ostwald non esistevano affatto, oggi sappiamo trattarli a questo modo; poi emettono fotoni quando gli pare. Così è fatta la fisica di oggi, e bisogna conoscerla prima di filosofarci sopra...

\* \* \*

Il discorso è tutt'altro che concluso: dovrei infatti affrontare altri due nodi delle argomentazioni di Lazzara:

- la sua visione del rapporto fra teoria ed esperimento
- la “complessità.”

Ma per questa volta lo spazio (o meglio, il limite di spazio che mi sono autoimposto) è finito. Mi resta solo la possibilità di aggiungere, a scopo anedddotico, un'altra citazione:

“Gli atteggiamenti di fine millennio, di cui la filosofia New Age rappresenta una componente di notevole importanza, non hanno in sé alcun germe che possa essere ricondotto al filone dell'irrazionalità. Al contrario, possono essere catalogati come irrazionali solo da chi non vuole comprenderli a fondo.

“D.: Che cosa la spinge a essere così drastico?”

“R.: Una considerazione molto semplice. Da quando Fritjof Capra ha pubblicato il suo *Il Tao della Fisica*, e sono ormai molti anni, non c'è settore della scienza ufficiale, perfino di quella più avanzata, che non ne abbia tratto utilissime indicazioni. Perché c'è, lì dentro, un modo estremamente interessante di riconsiderare il rapporto fra l'uomo e il cosmo.

[...]

“D.: Eppure la New Age sta conquistando credito in ogni angolo del mondo. Come mai?”

“R.: Dipende da tre fattori. Il primo riguarda tutti ed è legato a questioni di carattere astrologico. Vale a dire alla ‘precessione degli equinozi,’ che avviene ogni 2160 anni e ci sta trasportando dall'Era dei Pesci (dominata dalla sofferenza, dai sensi di colpa, dal cosiddetto ‘peccato originale’) a quella dell'Acquario: contraddistinta — almeno si spera — dalla solidarietà e dall'armonia fra i popoli.”

Questo è Giorgio Galli, docente di Storia delle dottrine politiche alla Statale di Milano, sull'*Espresso* del 16 aprile. La sua competenza a giudicare circa l'importanza di F. Capra per la fisica moderna la lascio decidere a voi. Sull'era dell'Acquario non occorrono commenti.

Mi chiedete che c'entra la New Age e Giorgio Galli con la nostra discussione? C'entra, c'entra... Una sola indicazione: Capra si trova (con altri; direi “i soliti altri”) nella bibliografia all'articolo di Lazzara.

E ora rileggete in questa luce, o leggetelo se non l'avete ancora fatto, il documento del MPI su "I contenuti essenziali per la formazione di base," soprattutto nel capitolo che riguarda l'educazione scientifica. Eventualmente ne riparleremo.

(<sup>1</sup>) Traggio queste citazioni dal bel libro di E. Bellone: *Il mondo di carta* (EST Mondadori, 1976).