
Discussione

Ferdinando Boero, Giampaolo Co', Claudio Garola, Marco Mazzeo

Giampaolo Co'

Caro Nando, io e te assomigliamo agli scacchisti postali di "Citarsi addosso" di Woody Allen [1], che, avendo perso una lettera, giocano due partite differenti e vincono entrambi. Cerco di chiarire alcuni punti, in modo da recuperare la lettera perduta, con la speranza di (ri)cominciare a giocare la stessa partita, non tanto per vedere chi vince, ma per il piacere di giocare.

1. Concordo con te che non esiste un solo modo di fare scienza. Nel tuo intervento non neghi il successo della Fisica nella descrizione di alcuni fenomeni della natura. Nel mio intervento volevo porre all'attenzione i limiti dell'approccio riduzionista - perturbativo che sta alla base della ricerca in Fisica per valutarne l'applicabilità ad altre discipline.
2. Sono d'accordo che la mia definizione degli scopi dell'attività scientifica sia molto orientata alla Fisica, ma penso che sia molto più universale di come tu l'abbia descritta. Nel definire gli scopi della scienza, tu indichi l'identificazione dell'ignoranza e la sua riduzione, ma non definisci cosa sia l'anti-ignoranza, ovvero la conoscenza. La definizione che utilizzo io, invece, è più coraggiosa perché si azzarda a definire la conoscenza, e lo fa indicandola come la capacità di descrivere, e anche di prevedere, il comportamento del sistema che si sta studiando. Hai amplificato il ruolo descrittivo delle scienze storiche, ma parli di *pattern* e *process* che permettono di, ti cito, "...disegnare scenari futuri, usando un po' di saggezza ...". Ma come si identificano *pattern* e *process* se non con un processo mentale riduzionista? Elimina

i dettagli e concentrati su ciò che è rilevante. E poi, inserisci anche tu il desiderio di prevedere. Il limite è la difficoltà nell'uso della matematica? Può essere un problema per Zichichi, e per chi la pensa come lui. Per me è importante che nel concetto di conoscenza, anche se io preferisco comprensione, di un sistema non ci sia solo la descrizione, ma anche la previsione del suo comportamento. Mi piacerebbe confrontarmi con antropologi, psicologi e sociologi per sentire la loro opinione su quanto il desiderio di descrivere e prevedere sia un'evoluzione dell'istinto cacciatore-preda che ci ha permesso di sopravvivere cacciando e scappando.

3. I due processi di descrizione e di previsione non necessariamente devono essere pesati in maniera egualitaria per dare dignità ad una scienza. L'aspetto previsione in Fisica è molto rilevante, ma, giustamente, affermi che in altre scienze non è così. Concordo che molto spesso questo ha prodotto la formazione di gerarchie tra le varie discipline, e concordo pure che queste gerarchie sono fasulle, ma fortunatamente, le cose si modificano nel tempo. Ad esempio, ricordo che fino ai primi anni '80 del secolo scorso, l'astronomia era considerata una sorella minore dai fisici del mondo microscopico, perché la parte descrittiva era preponderante su quella predittiva. La situazione è profondamente cambiata in questi anni e adesso l'astronomia, che ha preso il nome di astrofisica, è pienamente legittimata, e anche invidiata, all'interno della comunità dei Fisici, per l'enorme ricchezza di nuovi fenomeni che propone allo studio.

4. Qui arriva il punto che mi piacerebbe tu discutessi. Le difficoltà nelle previsioni sono dovute al fatto che il sistema è complesso o, più semplicemente, complicato? Io ho cercato di separare questi due concetti che invece tu confondi. Un sistema è complicato quando il numero di variabili è così grande da non poter essere gestito. Tu parli di contingenze e caos deterministico, ma il concetto è lo stesso: il limite, fisico, alla nostra conoscenza dei dettagli del sistema che vogliamo discutere. Nel limite di una conoscenza infinita di interazioni e contingenze si potrebbe prevedere il futuro? La mia risposta a questa domanda è affermativa fino a quando si parla di sistemi complicati. Ovviamente in quanto affermo c'è anche tutta la visione probabilistica e di incertezza legata dalla meccanica quantistica ma non voglio allargare troppo la discussione. Il punto è che i sistemi non sono soltanto complicati ma sono anche complessi, ovvero, che, entro certi limiti non possono essere descritti come parti separate che interagiscono. Questo è il limite intrinseco del Riduzionismo, ma di questo non parli.

5. Concludo con una precisazione sul falsificazionismo popperiano. Tu insisti nel parlare di scienze con enunciati universali ed essenziali. Il punto non è quello, si tratta di metodologia, non di un certificato di qualità. Un'affermazione scientifica deve correre il rischio di poter essere falsificata, sia fenomenologicamente, per osservazione, sia logicamente, per antinomia, una contraddizione logica. Il risultato della prova di falsificazione è rilevante per le conseguenze cognitive, ma non dal punto di vista metodologico. Il punto è che un'affermazione infalsificabile non è scientifica. Ad esempio, la frase "tutte le persone sagge la pensano come me" non è scientifica, perché non è definito cosa sia saggio, a meno di una tautologia. Mentre "tutte le persone più alte di un metro e ottanta la pensano come me" è scientifica, il fatto che sia vera o falsa, dal punto di vista metodologico, è irrilevante.

Ferdinando Boero

Non ho perso nessuna lettera, caro Giampaolo. Andiamo con ordine. Anzi, no: cominciamo da complesso e da complicato. A volte le parole hanno significati differenti a seconda dei contesti in cui si adoperano. Per me un ecosistema è una cosa, per un informatico è un'altra. Cerchiamole su un dizionario [2]:

complicato agg.

1. che presenta difficoltà (non sempre inevitabili) di comprensione o di orientamento; oscuro, tortuoso: un ragionamento c.; un lavoro c., che presenta difficoltà di esecuzione Difficile a chiarirsi o risolversi: un caso davvero c.; un problema c.

complesso 1 agg.

1. che presenta difficoltà per la comprensione o l'orientamento, dovute a profondità od oscurità di concetti oppure a una molteplicità di elementi o di aspetti: un ragionamento piuttosto c.; una personalità c. Configurato, strutturato o funzionante in modo complicato: un c. meccanismo di trasmissione.

2. Risultante di due o più parti interdipendenti (contrario di semplice). In grammatica: proposizione complessa, che presenta, oltre alle parti essenziali (soggetto, predicato, eventuale complemento oggetto), anche uno o più complementi indiretti In diritto: atto complesso, che risulta dalle manifestazioni di volontà di più soggetti, tendenti al medesimo scopo In matematica: numero complesso, in passato, ogni espressione di grandezze suddivise in modo non decimale; oggi, numero che è la somma di un numero reale e di un numero immaginario In chimica: composto complesso, vedi coordinazione.

Come vedi i significati sono tanti. Per me un sistema complesso (o complicato) è intrinsecamente imprevedibile: per esempio la storia. Non puoi scrivere il giornale di dopodomani, oggi. Oggi si scrive quello di domani, riportando i fatti già accaduti. Ma non quello di dopodomani. Non c'è un modo per saperlo. Gli economisti cercano di farlo, e prevedono il futuro. Ovviamente sbagliano quasi sempre. E hanno portato la situazione ad un punto tale che i sistemi economici stanno sballando. Assieme ai sistemi sociali.

No, guarda, non ci siamo per quel che riguarda la falsificazione. Prendi l'evoluzione. Per Darwin l'evoluzione è graduale e, fino al 1972, per tutti l'evoluzione era graduale. Piano piano una specie diventa un'altra specie. Un enunciato universale. Nel 1972 Eldredge e Gould [3] propongono la teoria degli equilibri punteggiati: le specie restano immutate per molto tempo e poi, in periodi brevi, compiono salti evolutivi e diventano altre specie. Eldredge e Gould sono popperiani di ferro, e quindi dicono di aver falsificato il gradualismo filetico darwiniano. I gradualisti ovviamente si incazzano e quando trovano esempi di gradualismo dicono di aver falsificato il saltazionismo. I creazionisti godono. Non esiste una legge universale su come avvenga l'evoluzione. Eldredge e Gould hanno falsificato l'universalità del gradualismo, non la sua esistenza. E i gradualisti falsificano l'universalità del saltazionismo, non la sua esistenza.

Per voi è diverso, per quel che capisco io. I tipi che pretendevano di aver dimostrato che ci possono essere cose più veloci della luce erano molto contenti perché se avessero dimostrato questo sarebbe stato necessario riscrivere la fisica.

E vabbé, ma questo non vale per la biologia: esiste l'evoluzione per salti ed esiste l'evoluzione graduale. Gli enunciati esistenziali si possono solo verificare e non si possono falsificare. Mentre gli universali si possono solo falsificare e non si possono verificare. Ma quando entri nel vicolo buio di scienze dove valgono più regole assieme, esisten-

ziali, i tuoi strumenti universali di indagine non riescono a funzionare. Ci vuole altro. Quell'altro si chiama complessità. Una realtà molto complicata. Dove non c'è vero o falso. Bianco o nero. Dove non butto via tutto se mi accorgo che qualche fenomeno non va come pensavo che andassero tutti i fenomeni.

La teoria darwiniana è stata riformata con il neodarwinismo, e poi con la sintesi moderna, e poi con l'evo-devo, e poi con il saltazionismo. È diventata sempre più complessa. Ma non è mai predittiva. Spiega gli eventi e identifica le cause che li hanno determinati, ma non succederà mai, di nuovo, la stessa cosa. Sarebbe come pensare di avere la formula per prevedere i numeri che usciranno nel gioco del lotto. Mi piacerebbe molto prevedere il futuro con una bella formula. Ma come mai tutti i fisici che si sono avventurati in biologia non sono stati in grado di farlo? Tutt'al più trovano il caos, e le loro equazioni perdono di stabilità, e le predizioni sono sempre più vaghe, oltre il breve termine. A noi non interessa il breve termine, a noi interessa il medio e lungo termine. Noi una teoria solida l'abbiamo.

La fisica, per quel che capisco, ancora non c'è riuscita. Ma solo perché vuole la teoria del tutto. Noi sappiamo che non si può, nei nostri ambiti di interesse. Ma riusciamo a spiegare come originano le specie, e come siamo originati noi. A me va benissimo la fisica, non ci penso neppure di insegnare ai fisici come si fa il loro mestiere, ma so che il mio non prevede lo stesso modo di operare. La riduzione dell'ignoranza consiste nell'osservare i *pattern* e nel comprendere i processi che li determinano. Ma questo non significa prevedere il futuro. Significa capire il passato (la storia) e comprendere come dal passato si sia arrivati al presente. La saggezza consiste nell'effettuare previsioni deboli, non di inserire i dati in un computer, far girare gli algoritmi, e avere il futuro. Questo lo fanno gli economisti. Alcuni.

Ho scritto un libretto, si chiama "Ecco perché i cani fanno la pipì sulle ruote delle macchine." [4] Parlo delle due leggi della natura.

Equazione logistica

L'equazione logistica descrive l'evoluzione di una popolazione con un tasso di crescita r in un ambiente che può sostenere al massimo un numero K di individui. L'equazione differenziale che descrive questo processo di crescita è:

$$\frac{dN(t)}{dt} = rN(t) \left(1 - \frac{N(t)}{K} \right) .$$

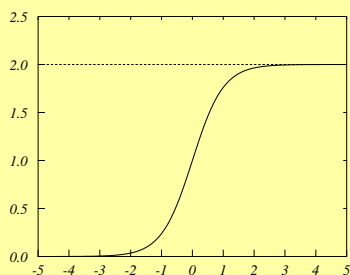
In assenza del secondo termine dell'equazione si avrebbe una crescita esponenziale.

La soluzione dell'equazione precedente può essere espressa come

$$N(t) = \frac{KN_0e^{rt}}{K + N_0(e^{rt} - 1)}$$

dove N_0 è la popolazione iniziale.

L'andamento di questa funzione, calcolata per $N_0 = 1$, $r = 1.0$ e $K = 2$ è presentato nel grafico qui sotto.



Eccole qua:

- tutte le specie tendono ad aumentare di numero (la legge della crescita),
- anche se tutte le specie tendono ad aumentare di numero, non tutte possono farlo perché il mondo non ha risorse sufficienti per tutte (la legge del limite).

L'equazione logistica, e il grafico che ne deriva (si veda l'inserito), contiene r (il tasso di crescita) e K (la capacità portante: il numero massimo di individui di una specie che un ecosistema può sostenere). Una sola equazione contiene tutt'e due le leggi, ma non

la possiamo usare per prevedere il futuro. La possiamo trasformare in una curva, per capire meglio. La curva cresce, ma a un certo punto si ferma e diventa orizzontale. Ha raggiunto K , l'equilibrio. Però l'evoluzione, la competizione, la predazione, le malattie etc. modificano queste semplici variabili. La curva è solo teorica, così come l'equazione. Un balletto. La vita vera (nel vicolo scuro) è differente. Quello che basta sapere è che c'è la crescita (r) ma c'è anche il limite (K).

Quando siamo passati da cacciatori e raccoglitori a agricoltori e allevatori abbiamo spostato il limite, la capacità portante. E siamo cresciuti di numero. Ora, mi potresti chiedere di prevedere il numero massimo di umani che il pianeta può sostenere. Ma che me ne faccio? E comunque: dipende da quanto consuma ogni umano. Se è un americano, allora ci vogliono già 4 pianeti. Se è un africano c'è ancora un po' di spazio, visto il diverso tasso di consumo di risorse nei due popoli.

A me non interessa la predizione dura (che tanto potrebbe anche fallire, visto che le cose cambiano: la storia), mi interessa la predizione molle (nel senso che non è precisa): se continuiamo così prima o poi i sistemi collassano. E dato che tutti i sistemi economici ci chiedono di crescere, posso affermare con assoluta certezza, prevedendolo, che prima o poi ci schianteremo. Non so dirti quando, ma nessuno lo sa.

Intanto vediamo come possiamo cavarcela con questo virus pandemico. Il Ministro Boccia ha ragione a chiedere predizioni alla scienza, visto che gli epistemologi dicono che le scienze serie sono predittive e che gli scienziati duri dicono di essere in grado di effettuare predizioni. Se consulta gli scienziati e questi non prevedono, che scienziati sono? Boccia ha ragione ad arrabbiarsi. La colpa è di noi scienziati che non gli abbiamo spiegato che non tutte le scienze possono essere predittive. Quelle che affrontano problemi semplici lo sono, quelle che affrontano problemi complessi no.

Boccia è un economista, e gli economisti usano la matematica per prevedere il futuro

in sistemi storici. Usare gli strumenti che funzionano in sistemi a-storici (governati da vincoli e in cui le contingenze non sono importanti,) per prevedere il comportamento di sistemi storici (governati da vincoli e contingenze) è un errore epistemologico capitale. E i guai in cui ci siamo cacciati dipendono proprio da questo. Sarebbe bellissimo prevedere il futuro nei sistemi storici, ma allora ti devi rivolgere ai chiromanti, e lo strumento è la sfera di cristallo. Magari mascherata da algoritmi.

Marco Mazzeo

Cari Giampaolo e Ferdinando, il vostro articolo testimonia i punti di vista epistemologici sulla scienza attraverso due discipline scientifiche molto diverse tra loro, ovvero la fisica e la biologia. Entrambi avete esordito nel definire cosa sia la scienza, attraverso l'identificazione dei compiti cui una teoria scientifica deve assolvere per poter, a buon diritto, essere considerata una buona teoria. Giampaolo Co' ha sottolineato che una buona teoria scientifica deve avere la capacità di spiegare i fenomeni attraverso il suo potere predittivo, nel senso di essere in grado di produrre affermazioni su come evolverà nel tempo il sistema in oggetto. Dunque è fondamentale che essa si basi su equazioni differenziali o comunque predittive. Al contrario Boero, zoologo, riprendendo una definizione dello storico Yuval Harari, ha evidenziato che la scienza deve identificare e ridurre l'ignoranza, là dove può. Boero, rendendosi conto che ogni scienza ha i suoi metodi, ha dato una definizione più generale di Co' ma rispetto a quella è risultata, a mio avviso, estremamente minimalista e blanda, e alla fine inefficace nell'identificare una teoria scientifica separandola dalla pleora delle teorie non-scientifiche, in quanto anche la psicoanalisi cerca di ridurre l'ignoranza sugli eventi passati di un individuo, ma definirla scienza è un azzardo. Tuttavia quando poi si procede nelle singole discipline, la fisica e la biologia, entrambi gli autori risultano più puntuali: Co' fa della fisica una scienza predittiva anche e soprattutto in virtù del suo statuto epistemologico riduzionista; Boero fa, al contrario, della biologia una scienza intrinsecamente

olistica e dunque da un lato imprevedibile, dall'altra storica e descrittiva.

Qui pongo già una critica a entrambi, in quanto se da un lato Co' sottovaluta nel suo intervento la sotto-determinazione delle teorie, ovvero il fatto che più teorie possano spiegare bene e addirittura fare previsioni sugli stessi fenomeni, Boero non riconosce, non in modo esplicito, l'importanza del riduzionismo e determinismo in termini di causazione dal basso per la biologia. Un esempio di sotto-determinazione è il modello tolemaico e quello copernicano che, almeno fino al modello a orbite ellittiche di Keplero, facevano le stesse previsioni circa le posizioni dei pianeti. Dunque è evidente che, pur essendo importante, la previsione non può essere l'unico criterio per selezionare una teoria. E d'altro canto previsione non vuol dire spiegazione. Posso prevedere cinematicamente dove sarà il pianeta (che prevede l'individuazione di una regolarità che diviene legge) ma senza capire il perché, la sua dinamica, ovvero senza individuare una causa sottostante. D'altro canto un esempio di causazione dal basso (il contrario dell'olismo che si basa sulla causazione *top-down*) è proprio il paradigma fondamentale della biologia: DNA → proteina → espressione fenotipica. La causazione dal basso e il mantenimento dell'ordine sequenziale delle strutture degli acidi nucleici è ciò che garantisce l'espressione dello stesso carattere ereditario per più generazioni. Questo è un aspetto che evidenziato molto bene proprio da Schrödinger, che prevede nel suo libro "Che cos'è la vita" la necessità di esistenza di un semicristallo periodico, il DNA appunto, che potesse conservare l'informazione esprimendola mediante un processo di replicazione e codifica causale. Qui i limiti. Andiamo invece ai successi delle loro definizioni.

È evidente che le definizioni che entrambi hanno dato sono manifestazioni degli statuti epistemologici su cui le discipline in oggetto si sono strutturate, e di cui tuttavia, mentre l'epistemologia della fisica è abbastanza nota, meno nota, se non completamente ignorata anche a molti filosofi, è quella della filosofia della biologia. Il motivo è che, almeno in età moderna, mentre la filosofia della fisica nasce contemporaneamente alla fisica stessa, con Cartesio e Galilei, anzi a suo fondamento, nonché come rigetto del programma aristotelico delle qualità e delle cause

finali, la filosofia della biologia nasce in realtà negli anni sessanta del secolo scorso, un secolo dopo la teoria dell'evoluzione darwiniana, mezzo secolo dopo la sintesi neo-darwiniana e la scoperta dei geni e circa un decennio dopo la scoperta del DNA. Tuttavia la giovinezza di questa branca della filosofia non ha giovato certo alla sua diffusione. Se infatti, per ammettere che i fisici tendono a credere che i loro metodi siano quelli veri e che le scienze che non li usano siano sorelle minori della fisica, Boero non è nuovo a scegliersi un facile avversario come Antonino Zichichi, è anche vero che da Ernest Rutherford, che riteneva la biologia una collezione di francobolli, a Murrey Gell Mann, che riteneva che tutto fosse ri(con)ducibile alla fisica, i fisici non si sono sprecati nell'esternare un fisicalismo estremista, facendo così coincidere la filosofia della scienza con la filosofia della fisica e la scienza con ciò che fa dichiarazioni universali e predittive. Le conseguenze non sono solo accademiche, in quanto vedere la natura come un insieme di enti fisici, di cose dotate di meccanismi, rende il livello del nostro rapporto con la natura strettamente utilitaristico: la natura non è più "lo sfondo immutabile che fece uomini e déi" come ebbe a dire Platone oppure un flusso perenne in equilibrio come ebbe a dire Eraclito, bensì un forziere di risorse da scassinare, come nemmeno tanto implicitamente ammette Bacone. Inoltre alcuni settori di ricerca attorno alla vita extraterrestre sono l'espressione dell'idea di considerare il vivente come un fenomeno universale al pari della fusione nucleare o della gravità, rinunciando alla sua contingenza. Carl Sagan è stato un grande divulgatore dell'idea che la vita sia un fenomeno universale. Tutto ciò deriva da un impianto filosofico riduzionista, meccanicista e in cui le leggi la fanno da padrone. Ma non sono solo i fisici ad abbracciare il riduzionismo spinto, che intelligentemente Co' rifiuta grazie al suo elogio, "ma non troppo", di questa posizione filosofica. Infatti anche Richard Dawkins, biologo evoluzionista, è dichiaratamente riduzionista, come è evidente da alcuni suoi best seller come "il gene egoista", per il quale gli organismi viventi non sono altro che contenitori di DNA il cui unico scopo è diffondere quella sequenza specifica il più possibile. Tuttavia biologi come Ernst Mayr e Stephen J. Gould, quasi sconosciuti ai fisici, sono

chiari circa le difficoltà, e spesso l'inutilità, dell'epistemologia riduzionista e in generale che le metodologie fisiche hanno per descrivere il vivente. Proprio Ernst Mayr scrisse un bellissimo volume dal titolo (edizione italiana) "L'unicità della biologia: sull'autonomia di una disciplina scientifica". Ma su cosa si fonda la filosofia della biologia?

Potremmo esprimerci dicendo che l'epistemologia della fisica si concentra soprattutto sulla spiegazione dei processi in termini di cose che, interagendo, producono i fenomeni, mentre al contrario la biologia fornisce soprattutto spiegazioni delle cose in termini di processi evolutivi, i quali producono le cose nel corso della storia. La differenza è evidentemente nella capacità di classificare un fenomeno nella categoria cose o processi. È tuttavia evidente che non possiamo parlare di processi senza cose, né di cose senza processi. Il programma riduzionista che ci spinge all'identificazione delle particelle elementari, cioè prive di struttura interna, è pertanto fondamentale. Ma è anche vero che gli enti della biologia sono cose frutto di una storia di processi, chimici, biologici e persino geologici. Una cellula può essere vista come un laboratorio di chimica aperto, un insieme di processi a *feedback* retroattivo in cui i processi dall'alto possono causare quelli in basso. Dunque abbiamo bisogno di entrambe le visioni. Tuttavia questa modalità di causazione non viene minimamente tenuta in conto dai fisici, nemmeno laddove la fisica assume qualche connotazione storicistica, come nel caso della evoluzione del sistema solare, dell'universo e persino degli atomi. Facciamo un esempio chiaro. La fisica e la chimica illustrano delle tavole dei cosiddetti costituenti elementari, particelle fondamentali la prima, elementi chimici la seconda. Queste tabelle sono statiche e non veicolano alcuna idea di evoluzione. Quando tuttavia si è scoperto che gli atomi pesanti sono stati generati da processi di morte stellare a partire da atomi leggeri la storia è entrata a fare parte della fisica e della chimica. Tuttavia la narrazione che viene fatta è di tipo riduzionistico, ovvero con causazione *bottom-up*, e deterministico. La contingenza rientra solo perché non sappiamo quando la stella esploderà, né dove verranno poi disperse le ceneri di atomi pesanti una volta esplosa. Al contrario la zoologia si basa

su una mappatura delle specie viventi, le quali a loro volta provengono da una evoluzione storica, ma qui non solo la contingenza la fa da padrona, ma i meccanismi di selezione corrispondono a pressioni ambientali sugli individui della specie, e dunque producono una causazione *top-down*.

Perché la fisica guarda più alle cose e la biologia più ai processi? La motivazione risiede in una scelta epistemologica che ha una origine storica ben precisa: Cartesio e Galilei. Cartesio, stabilendo la divisione tra *res-cogitans* e *res-extensa* ha operato una divisione la quale ha finito per attribuire la prima all'uomo escludendo il vivente non umano e, naturalmente, il non vivente. Pertanto animali e piante sono divenute macchine, complesse, ma pur sempre macchine. E come una macchina si comprende a partire dai suoi ingranaggi, le cose, applicando il riduzionismo in toto anche il vivente viene inglobato in questa visione riduzionista e meccanicistica. E qui entra Galilei, il quale, opponendosi alla scienza di Aristotele (biologo e zoologo oltre che filosofo) delle qualità e delle cause finali, e abbracciando la filosofia meccanicistica (nel senso di lasciarsi ispirare dalle macchine) propone una scienza riduzionista, delle quantità, della misura e delle cause efficienti. La fisica non deve cioè discutere delle sensazioni e delle qualità ma, riprendendo il programma atomista di Democrito e Lucrezio, (ovvero delle forme, dimensioni e movimento delle cose ovvero della geometria delle cose), vincola la fisica allo studio di tutto ciò che manifesta un comportamento suscettibile di essere matematizzabile. Ma questa scelta, che ha avuto un successo enorme negli ultimi quattro secoli, ha dei risvolti anche metodologici nella rilevazione dei pattern stessi, cioè di quali cose e quali interazioni tra cose debbano essere selezionate. Tale individuazione avviene mediante un esperimento scientifico che però non è una semplice osservazione passiva, ma una selezione attiva di ciò che occorre considerare importante e ciò che va trascurato. Infatti, proprio per poter fare emergere regolarità matematiche, i fisici studiano quei fenomeni, quei processi e quegli enti selezionati in quanto semplici o forzatamente resi tali, in un esperimento, dal trascurare, come fa notare Co' e come esplicitamente ebbe a dire Galilei ne *Il Saggiatore*, i cosiddetti "accidenti". Rimuovendo gli accidenti, come l'attrito, le asperità, e

tutto ciò che non è descrivibile dalla matematica come il colore, il sapore ecc, l'ente diviene sempre più simile ad un ente geometrico. Isolando il sistema inoltre l'individuazione di regolarità riesce meglio. Pertanto la matematica diventa efficace perché i fisici selezionano o rendono gli enti di natura più semplici (anche isolandoli) e, rimuovendo gli accidenti, più poveri, ma di certo matematicamente trattabili. Platone riteneva il mondo reale una brutta copia di quello della matematica. Galilei rende il mondo reale ... matematico. Trascurare gli accidenti è il mestiere del fisico.

Questa metodologia ha funzionato su molti enti e fenomeni, selezionati in natura o creati in laboratorio, ma ciò ha fatto ritenere che il complesso non sia altro che una manifestazione del semplice e delle sue parti in interazione. Cose che interagiscono in una causazione basso-alto, semplice-complesso. Naturalmente i fisici sono consapevoli che ci sono fenomeni troppo complessi per essere esprimibili attraverso equazioni matematiche di tipo differenziale (che sono le strutture matematiche a cui si riferisce Boero) ma sotto sotto credono che questo sia solo un problema tecnico. L'esempio della lucertola proposto da Co' è chiarificatore. Ebbene il fallimento del riduzionismo è proprio in questa pretesa perché più fenomeni hanno mostrato che in realtà la causazione *top-down* rende la cosa impraticabile anche per via teoretica e non solo tecnica. La scoperta ad esempio del *transfer* di pezzi di genomi tra specie batteriche e viventi con specie pluricellulari complesse ci fa capire come la causazione riduzionista *bottom-up* sia letteralmente un residuo fossile di una idea che stenta a morire. E non voglio parlare dei processi di *entanglement* quantistico, dove è evidente che il riduzionismo, inteso come conoscenza del comportamento del sistema a partire dalla conoscenza completa delle sue parti, è inapplicabile già a sistemi che Boero definirebbe semplici, come gli stati di singoletto, dove possiamo dire tutto circa lo *spin* di un sistema senza conoscere la configurazione di spin delle sue parti (nel senso di non poter nemmeno in linea di principio stabilire se una delle due coppie ha *spin up* o *down*).

Inoltre, per tornare alla biologia, se semplifichiamo una cellula trascurando gli accidenti, rendendola simile ad un ente matematico, o non

riusciremo a dire nulla del comportamento futuro della vera cellula oppure parleremo di una cellula morta, cioè di una non-cellula. Boero, che evidentemente comprende da biologo il pericolo oltre che l'inutilità di trasportare questi metodi anche nel vivente o nel sociale, sostiene così che la biologia faccia essenzialmente descrizioni non previsionali ma esistenziali dei processi e degli enti biologici.

La biologia infine non si basa su principi da cui è possibile dedurre il futuro delle specie oppure l'esistenza di certe specie. Può solo prendere atto della esistenza di una specie e descriverle sotto vari aspetti. Per fare una allegoria sarebbe come pretendere di risolvere equazioni differenziali nel tempo con condizioni al contorno mutevoli...nel tempo. Avrebbe ancora senso parlare di determinismo, causazione dal basso, ecc., anche in via del tutto teoretica? Gli enti della biologia vivono pertanto degli accidenti che la fisica tenta di eliminare, accidenti che sono determinanti per l'evoluzione successiva e che sono determinati, spesso, dall'ente stesso nella sua interazione con l'ambiente. Ciò che il riduzionismo, che i fisici hanno abbracciato come il loro statuto epistemologico, rifiuta è dunque una causazione *top-down*, cioè che gli enti e i fenomeni delle macro-scale determinino il comportamento, o le leggi se volete, delle parti. La divisione cellulare è un altro esempio. Una mentalità riduzionista si concentra prevalentemente sul fatto che i cromosomi si dividono e così la cellula, credendo che tale divisione avvenga dall'interno dei cromosomi o solo da lì. Invece ci si rende conto che la cellula forma nel citoplasma dei microtubuli che in un certo senso tirano i cromosomi trasportandoli nelle due cellule figlie: causazione *top-down*, dall'ambiente alle parti. Altro esempio è nei nostri comportamenti, i quali non sono solo il parto di processi molecolari o cellulari nel cervello, ma sono influenzati e spesso determinati o causati dall'ambiente sociale in cui ci troviamo. L'individuo fa le regole ma poi le regole retroagiscono sul suo comportamento e sul suo stesso modo di concepire il mondo, il quale a sua volta retroagisce modificando ancora una volta le regole sociali e così via, in un fluire tra una causazione *bottom-up* e una causazione *top-down*. Separare le due causazioni è tipico del fisico e del biologo, i quali, così facendo dividono il mondo in due:

da un lato fenomeni riduzionisti e a causazione *bottom-up*, dall'altra fenomeni olistici con causazione *top-down*. Evidentemente sono visioni parziali che occorre far dialogare. Alla luce di ciò io credo pertanto che la visione di Boero di ritenere che il mondo sia rappresentabile come uno spettro dove a un estremo abbiamo enti semplici dotati di leggi universali studiati dalla fisica e all'altro estremo enti complessi aperti con caratteristiche solo esistenziali sia superata. Da un lato abbiamo enti selezionati o semplificati dai fisici in quanto suscettibili di descrizione matematica, e costituiti da componenti il cui studio ci dice tutto delle caratteristiche del macrosistema, il cui comportamento rientra nei cosiddetti epi-fenomeni. Qui la causazione va dal basso all'alto. E tuttavia, anche a livello fondamentale, abbiamo visto che ci sono strutture irriducibili come le coppie *entangled*. Dall'altra abbiamo enti complessi come le cellule o gli organismi, i quali vivono in ecosistemi che impongono una causazione dall'alto al basso, l'olismo, e in tal caso si dovrebbe parlare delle componenti come ipo-fenomeni. È evidente però che il DNA impone anche, dal basso, le sue regole. Dunque occorre ripensare la natura come un sistema di causazione reciproca dal basso all'alto e viceversa, ovvero una miscela di riduzionismo e olismo. È per questo che conviene comunque che un biologo studi fisica e matematica al primo anno. Ma certamente lo studio della ecologia, o meglio di tutte quelle teorie matematiche che cercano di descrivere la causazioni *top-down*, sarebbe utile per un fisico qualora la sua disciplina riconoscesse che le leggi potrebbero riflettere comportamenti di sistemi su vari livelli che non necessariamente emergono come epifenomeni che dipendono dalle componenti medesime.

Claudio Garola

Ho letto con attenzione i contributi di Giampaolo Cò, Ferdinando Boero e Marco Mazzeo, e mi sembra interessante il fatto che nessuno di questi colleghi aderisca acriticamente alla prospettiva epistemologica implicitamente accettata dalla Hossenfelder. In particolare, Giampaolo Cò scrive:

"L'idea riduzionista è quella di ana-

lizzare un fenomeno classificandone i vari aspetti che lo caratterizzano in termini gerarchici, e quindi considerare gli aspetti più importanti e trascurare quelli meno importanti. Questo processo implica, per definizione, che lo studio di un sistema richieda l'identificazione di varie parti che lo compongono. Il secondo passo è quello della classificazione gerarchica delle sue parti e, per ultimo, lo studio delle interazioni reciproche."

In questa definizione il riduzionismo è presentato come un metodo per la costruzione di teorie, quindi utile nel contesto della scoperta. Si tratta del tipo di riduzionismo che ho chiamato metodologico nel mio intervento, e Co' ne sottolinea (a mio parere giustamente) i meriti, evitando però ogni impegno ontologico esplicito. La definizione di Co' presenta anche un aspetto più sottile: se nell'analisi di un fenomeno occorre identificare gli aspetti meno importanti, che poi vengono trascurati, lo schema teorico che si costruisce può costituire solo un modello del fenomeno stesso. La storia della scienza ha dimostrato che occorrono in genere molti tentativi prima di poter individuare ciò che è più importante e ciò che è meno importante, in modo che il modello risultante fornisca spiegazioni e previsioni empiricamente soddisfacenti. Ma la procedura seguita mostra che ogni reificazione delle entità teoriche e delle leggi del modello - che è solo uno fra i molti astrattamente possibili a causa della sotto-determinazione delle teorie - si basa su un discutibile atto di fede. Inoltre il modello ha dei limiti a causa di ciò che è stato trascurato nella sua costruzione idealizzando le parti costituenti come prive di struttura interna. Questi limiti possono emergere se il dominio dei fenomeni presi in considerazione si amplia a causa del progresso della ricerca. Quando ciò accade il metodo riduzionista fallisce, come nell'esempio illustrato da Co' nella Figura 2 del suo intervento (per questo il metodo riduzionista merita di essere elogiato ... ma non troppo). Un riduzionista convinto potrebbe comunque obiettare che non è il metodo riduzionista a fallire in questi casi, ma è piuttosto la scelta, eccessivamente semplificata, delle parti che compongono il sistema. Tuttavia una scelta più dettagliata può richiedere un cam-

biamento di scala e l'impossibilità di ricostruire effettivamente il sistema a partire dalle nuove entità teoriche identificate come parti costituenti (operando secondo quel metodo problematico che Co' chiama 'riduzionismo crescente'). L'ipotesi che questa impossibilità sia tecnica e non di principio è in realtà, afferma Co', un atto di fede: affermazione che a me sembra corretta e coerente con l'analisi critica che ho proposto nel mio intervento (Sezione 4). Se questo atto di fede non viene compiuto l'emergere di nuove entità teoriche e nuove leggi con l'aumento della scala considerata costituisce un fenomeno non spiegabile in termini riduzionistici.

Marco Mazzeo, comunque, imputa a Co' di aver trascurato la sotto-determinazione delle teorie. A me non è chiaro se questa critica sia appropriata. Giampaolo parla delle entità teoriche come costruite e sembra quindi consapevole del ruolo attivo del ricercatore nel produrre entità teoriche utili per descrivere e predire le fenomenologie osservate: consapevole, quindi, della possibilità in linea di principio di concepire entità teoriche diverse ma altrettanto utili allo stesso scopo. Io penso piuttosto che nella definizione data da Co' delle finalità della scienza quando scrive:

"Considero scopo della Scienza quello di comprendere il comportamento del sistema studiato. ... Ritengo che si comprenda un sistema se si è capaci di *descriverne* [corsivo mio] il comportamento passato e prevederne il comportamento futuro."

si dovrebbe sostituire la parola *descrivere* con la parola *spiegarne*. A una teoria scientifica, infatti è richiesto di avere potere esplicativo: di non limitarsi, cioè, a descrivere i comportamenti passati ma di essere anche capace di spiegarli, mostrando che essi sono deducibili dalle nozioni primitive, dalle leggi e dall'interpretazione empirica della teoria. Nella sua forma attuale, comunque, la citazione che precede mostra che, secondo Co', il fatto che una teoria scientifica abbia capacità predittiva non è sufficiente ad accettarla come scientifica, e questo risponde a un'obiezione che Marco avanza nel seguito del suo intervento.

Più in generale, concordo con molte delle osservazioni di Mazzeo. In particolare, concordo con

la sua convinzione che la causazione *bottom-up* e la causazione *top-down* giochino entrambe un ruolo fondamentale nello sviluppo di ogni disciplina scientifica (quindi, sia nella fisica che nella biologia) e condivido la sua critica, basata su un esempio fondamentale, alla posizione di Nando Boero, che sembra escludere ogni causazione *bottom-up* in biologia.

Per quanto riguarda l'intervento di Nando, mi pare che esso ponga implicitamente un problema cruciale: l'uso del linguaggio matematico e la presenza di capacità predittive sono necessari per classificare una disciplina come realmente scientifica? A questo proposito occorre riconoscere che molti fisici (non tutti) hanno sacralizzato la matematica, facendone un fattore discriminante fra scienza e non-scienza e giungendo a ontologizzare le entità matematiche stesse, come ho spiegato nel mio intervento (Sezione 4). In alcuni casi si è giunti a sostenere la tesi razionalistica estrema che le strutture fondamentali del mondo fisico siano raggiungibili tramite la pura speculazione matematica, senza necessità di ulteriori supporti sperimentali. Ora, è innegabile che l'uso della matematica per rappresentare entità fisiche abbia permesso alla fisica (e non solo alla fisica) di raggiungere grandissimi successi, ma è anche vero che tale uso consente solo di costruire modelli, la cui ontologizzazione rivela a mio parere un misto di presunzione e di ingenuità epistemologica. Ovviamente il linguaggio matematico permette un rigore deduttivo e una precisione impossibili con altri mezzi (e questo anche nel caso di sistemi complessi, quando ne sia possibile una modellizzazione matematica). Tuttavia esistono ambiti di ricerca in cui una rappresentazione matematica dei sistemi studiati appare impossibile, e non mi sembra sensato classificare le discipline che se ne occupano in modo sistematico come puramente descrittive o negare loro uno statuto di scientificità. Considerando la biologia come esempio, essa fornisce sia spiegazioni che previsioni. Queste ultime possono essere deboli, o molli, come dice Boero nella sua discussione con Co': ma restano importanti, poiché contribuiscono sostanzialmente alla conoscenza limitando lo spazio delle possibilità. Inoltre Boero ammette che in qualche caso sia possibile anche in biologia effettuare previsioni utilizzando strumenti matematici: ma, osserva,

si tratta di previsioni di tipo probabilistico. Il fatto è che questo è esattamente quello che fa la fisica moderna dopo l'invenzione della meccanica quantistica, così come anche la fisica moderna si interessa di sistemi complessi rilevandone l'imprevedibilità a medio e lungo termine. A me sembra perciò che la differenza fra le due discipline sia quantitativa più che qualitativa (nel senso che metodi e procedure simili si ritrovano in entrambe, ma con accenti fortemente diversi) e che Boero, nella sua foga polemica contro le posizioni epistemologiche che non condivide (come quelle, in particolare, che ho analizzato e criticato nel mio intervento), estremizzi le differenze fra le due discipline.

Vorrei concludere con alcune brevi osservazioni. In primo luogo, la richiesta di previsioni esatte da parte di persone e personaggi estranei al mondo della scienza mi sembra dovuta più che altro a un modo di pensare popolare (diffuso peraltro anche in ambienti colti) che spesso irride e contesta gli scienziati, ma che poi li chiama prepotentemente in aiuto in caso di bisogno, in base a una visione mitica secondo cui la scienza deve fornire certezze assolute. L'arroganza degli "scienziati duri" non credo sia determinante in questo caso, come invece afferma Boero. Anche perché neppure gli scienziati duri sono così stupidi da asserire di poter prevedere tutto.

In secondo luogo, la distinzione fra sistemi complicati e sistemi complessi introdotta da Giampaolo mi sembra importante, poiché evidenzia una differenza teorica fondamentale fra due tipi di sistemi fisici, come ho sostenuto nel mio intervento (Sezione 4). Ai termini *complicato* e *complesso* sono attribuiti in questo caso significati tecnici diversi, che si aggiungono e si sovrappongono solo parzialmente ai significati che compaiono nei dizionari, seguendo una prassi invalsa nei linguaggi specialistici delle varie discipline scientifiche.

Infine, Co' e Boero citano il falsificazionismo Popperiano nella loro discussione. Tuttavia l'epistemologia di Popper crea molti problemi che dovrebbero essere approfonditi. Limitandomi a esempi molto semplici, la negazione di un enunciato universale che sia falsificabile ma non verificabile è un enunciato esistenziale verificabile ma non falsificabile: sarà per questo non scientifico? Inoltre, la congiunzione di un enunciato

falsificabile con un enunciato non falsificabile (ad esempio, un enunciato che affermi l'immortalità dell'anima) è comunque falsificabile: sarà allora un enunciato scientifico? Ed è poi possibile ridurre una teoria a una collezione di enunciati osservativi falsificabili? Esistono ovviamente nella posizione di Popper anche problemi più complessi, e oggi la maggioranza degli epistemologi la ritiene superata, benché molti fisici continuino a farvi riferimento. Mi sembra quindi opportuno ricordare che questi temi sono stati affrontati esaurientemente da due studiosi della nostra università in un libro pubblicato nel 2017, cui rimando i colleghi che volessero conoscere più a fondo l'argomento [5].



- [1] W. Allen: *Citarsi addosso*, Bompiani, Milano (1980).
- [2] <http://www.treccani.it/vocabolario/dizionario/>
- [3] N. Eldredge, S. J. Gould: *Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism* pp. 82 - 115. In: T. J. M. Schopf, ed. *Models in Paleobiology*, Freeman, Cooper and Co.; San Francisco, Calif. (1972).
- [4] F. Boero: *Ecco perché i cani fanno la pipì sulle ruote delle macchine. L'uomo e il suo rapporto con gli altri animali e le leggi della natura*, Manni Editori, San Cesario, Le (2018).
- [5] C. Dalla Pozza, A. Negro: *Come Distinguere Scienza e Non-Scienza*, Carocci, Roma (2017).



Ferdinando Boero: è Professore di Zoologia presso l'Università di Napoli Federico II, Associato a CNR-IAS e Stazione Zoologica Anton Dohrn. Si occupa di biodiversità e funzionamento degli ecosistemi.

Giampaolo Co': è Professore Associato di Fisica Nucleare presso l'Università del Salento. Si occupa di sistemi a multicorpi.

Claudio Garola: professore Ordinario, in pensione, di Logica e Filosofia della Scienza presso il Dipartimento di Matematica e Fisica "E. De Giorgi" dell'Università del Salento.

Marco Mazzeo: è ricercatore in Fisica sperimentale presso il Dipartimento di Matematica e Fisica "E. De Giorgi" dell'Università del Salento. Si occupa di nanofotonica e sviluppo di dispositivi

molecolari che vanno dalla generazione di luce incoerente (OLED) e coerente (Laser) allo studio di condensati di Bose Einstein a temperatura ambiente in composti organici. Appassionato di storia della scienza e storia delle religioni.

