
Riduzionismo ed olismo nelle scienze

Ferdinando Boero

*Dipartimento di Biologia, Università di Napoli "Federico II",
Stazione Zoologica Anton Dohrn, Napoli*

Giampaolo Co'

*Dipartimento di Matematica e Fisica "Ennio De Giorgi" - Università del Salento,
e Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sez. di Lecce, Lecce*

Giampaolo Co'

Elogio, ma non troppo, del riduzionismo in Fisica

La discussione su cosa sia la Scienza, quali siano i suoi scopi e le appropriate metodologie per conseguirli, coinvolge studiosi di tutte le discipline, ed è aperta. Per questo motivo, io partirò da una definizione dei compiti della Scienza sicuramente parziale, cioè di parte, la mia, ma questo mi permette di argomentare da una dichiarata ipotesi di lavoro. Considero scopo della Scienza quello di comprendere il comportamento del sistema studiato. A questo punto devo precisare cosa intendo per comprensione. Ritengo che si comprenda un sistema se si è capaci di descriverne il comportamento passato e prevederne il comportamento futuro. Queste due fasi, la descrizione del passato e la previsione del futuro, sono essenziali, a mio avviso, per definire lo scopo dello studio scientifico.

Penso che, nelle scienze naturali, le discipline che ricadono sotto l'etichetta di Fisica sono quelle che hanno ottenuto il maggior successo dal punto di vista degli obiettivi che ho indicato sopra. L'enorme sviluppo tecnologico sviluppatosi con inaspettata velocità nel secolo scorso, e che ha portato a profondi, ed inattesi, cambiamenti sociali, ne è una prova evidente. Un esempio molto recente di sconvolgimento sociale provo-

cato da uno sviluppo tecnologico è quello legato al *World Wide Web*, tecnologia nata nel 1991 al CERN di Ginevra allo scopo di coordinare esperimenti gestiti da un enorme numero di persone dislocate su tutta la superficie del globo.

Il successo della Fisica nella comprensione dei fenomeni che studia è strettamente legato ad un processo di analisi teorica che chiamerò **Riduzionismo**. L'idea riduzionista è quella di analizzare 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.

Mi piace fare una analogia tra il processo di costruzione di una teoria fisica e la cartografia. Evidentemente, la cartografia è una rappresentazione ideale della realtà geografica. Anche in questo caso si rinuncia ad una descrizione iperfedele del paesaggio, a favore di una costruzione che considera solo le caratteristiche più importanti per la sua comprensione. Ciò che ci interessa è concepire lo spazio del paesaggio in modo da poter capire il passato, che strada è stata percorsa, o prevederne il futuro, che strada si percorrerà.

La storia della mappa della metropolitana di Londra [1] è esemplare come analogia con la Fi-

sica. Per informare gli utenti sui percorsi della metropolitana, prima del 1931, le mappe descrivevano la rete della metropolitana di Londra con una concezione da cartina geografica. I percorsi del treno sotterraneo erano disegnati come effettivamente dislocati nel territorio. Nel 1931, un impiegato della *London Underground* ebbe l'idea di descrivere la rete metropolitana non in termini geografici, ma in termini di connessioni tra le varie stazioni e le loro intersezioni. In questa cartina esistevano solo linee verticali, orizzontali, o a 45°. L'enorme semplificazione visiva della cartina, che produce una rappresentazione semplificata ed astratta della rete della metropolitana, ha avuto un successo enorme. Oggi questo schema teorico e rappresentativo è utilizzato per descrivere quasi tutte le reti di trasporto metropolitano del mondo.

Anche in Fisica si segue una procedura analoga. Si cerca di identificare le quantità essenziali che permettono di descrivere il fenomeno nella sua essenzialità, trascurandone, cioè, i dettagli. L'identificazione delle entità teoriche utili per la descrizione dei fenomeni, è un processo lungo, tortuoso e non privo di piste infruttuose. Un esempio eclatante è quello del concetto di calore. Il più semplice dei fenomeni termici, osservato da tutti, consiste nel fatto che due corpi con differenti temperature, messi in contatto, raggiungono una condizione di equilibrio con una temperatura intermedia tra quelle iniziali. In parole semplici, il corpo più caldo si raffredda e scalda quello più freddo. L'idea iniziale è che il calore fosse un fluido invisibile che passava da un corpo all'altro. Questa concezione teorica si è dimostrata incapace di spiegare il riscaldamento dei corpi per attrito, e quindi inadatta a descrivere in maniera sintetica ed efficace i fenomeni termodinamici. Molto più utile la formulazione di quella entità teorica che chiamiamo energia. Questa si conserva sempre in ogni fenomeno a noi noto. Calore e lavoro insieme operano scambiandosi i ruoli ma conservando l'energia del sistema.

Il concetto di energia, e la sua conservazione nei processi fisici, è uno strumento potentissimo per identificare ciò che può avvenire. Nella mappa di Londra sono identificati quegli elementi importanti per potersi muovere, la posizione relativa delle stazioni, le connessioni tra loro: è

quindi chiaro quali sono le stazioni da superare per arrivare a quella desiderata. La corretta sequenza delle stazioni indica gli unici eventi possibili: una informazione analoga a quella indicata in Fisica dalla conservazione dell'energia.

Il Riduzionismo è essenziale nel processo di comprensione della fenomenologia che ci circonda. La fisica ha utilizzato fortemente il Riduzionismo, costruendo entità teoriche che permettono enormi semplificazioni delle descrizioni dei fenomeni che osserviamo. Ho fatto l'esempio dell'energia, ma sono state costruite altre entità teoriche che si conservano nei processi, permettendoci di selezionare quelli che possono avvenire.

Le entità teoriche che abbiamo prodotto non sono soltanto utili per identificare i fenomeni possibili. Siamo riusciti ad individuare delle relazioni tra loro. Di più, siamo anche riusciti ad esprimere queste relazioni in termini matematici, e così facendo abbiamo avuto l'opportunità di fare descrizioni, e previsioni, quantitative dei fenomeni che osserviamo.

L'insieme di queste relazioni, organizzato in maniera coerente, senza contraddizioni, e utilizzando il minor numero possibile di ipotesi di lavoro, costituisce quello che normalmente definiamo teoria.

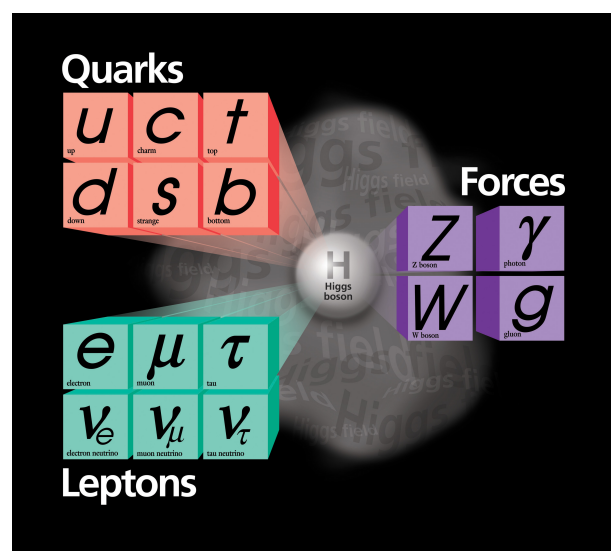


Figura 1: Rappresentazione grafica delle entità fondamentali della materia secondo il Modello Standard.

Probabilmente il più recente, ed eclatante, successo della teoria riguarda la Fisica delle Alte Energie dove, per completezza e coerenza, nel

1964 è stata prevista da Peter Higgs, e indipendentemente da François Englert e Robert Brout, l'esistenza di una particella detta bosone di Higgs che è stata identificata nel 2012 al CERN di Ginevra dagli esperimenti ATLAS e CMS.

L'identificazione di questa particella completa il quadro teorico che oggi, in Fisica, viene identificato come Modello Standard. L'idea è che tutti i fenomeni della natura possano essere ridotti all'interazione tra 6 tipi di leptoni e 6 tipi quark che interagiscono tra loro con 4 interazioni fondamentali: gravitazionale, elettromagnetica, nucleare forte e nucleare debole. Ognuna di queste interazioni è mediata dallo scambio di bosoni: i fotoni, per quella elettromagnetica, i gluoni per la nucleare forte, i bosoni W^\pm e Z^0 per la nucleare debole, e del gravitone per quella gravitazionale.

L'identificazione del bosone di Higgs è forse l'ultimo anello di una catena di successi dell'approccio riduzionistico della Fisica. È umanamente comprensibile l'orgoglio per il successo di una impresa andata a buon fine, e questo può portare ad esaltare i metodi utilizzati senza considerarne i limiti di applicabilità, e a considerare la Fisica con un senso di superiorità intellettuale rispetto ad altre discipline scientifiche.

Un esempio di questo atteggiamento si trova negli scritti di Pierre Simon de Laplace [2]:

"Noi dobbiamo considerare lo stato presente dell'universo come l'effetto di un dato stato anteriore e come le causa di ciò che sarà in avvenire. Un'intelligenza che, in un dato istante, conoscesse tutte le forze che animano la natura e la rispettiva posizione degli esseri che la costituiscono, e che fosse abbastanza vasta per sottoporre tutti i dati alla sua analisi, abbraccerebbe in un'unica formula i movimenti dei più grandi corpi dell'universo come quello dell'atomo più sottile; per una tale intelligenza tutto sarebbe chiaro e certo e così l'avvenire come il passato le sarebbero presenti."

Ma la lezione di umiltà inflittaci dalla fisica moderna non ha prodotto insegnamenti universali. Ad esempio, Antonino Zichichi, nel 1999, afferma che [3]:

"L'evoluzione biologica non è una teoria scientifica in quanto mancante di un'equazione matematica che la spieghi."

Comprendere la validità ed i limiti dei metodi utilizzati in Fisica è essenziale per conoscere l'affidabilità dei risultati ottenuti, e per valutare la possibilità di estendere con successo queste metodologie allo studio di fenomeni differenti da quelli studiati dalla Fisica.

Il grande successo del Modello Standard è legato ad una procedura riduzionista che mi piace definire **Riduzionismo descrescente**. Con questo intendo lo studio di un sistema composito per comprendere da cosa è composto. In Fisica è chiaro il protocollo che permette di identificare se un sistema è composto da altre particelle. Se si sottopone questo sistema a stimoli esterni e questo si eccita, emettendo fotoni, o si spezza, è evidentemente composto da parti più piccole. Da questo punto di vista, al momento, le entità che ho menzionato come fondamentali nel Modello Standard, leptoni quark e bosoni vettori, non mostrano alcuna evidenza di struttura interna.

Un'allegoria che permette di illustrare il processo di studio basato sul Riduzionismo descrescente è quella del bambino che smonta il giocattolo per vedere cose c'è dentro. Ma una volta che tutte le parti del giocattolo sono state identificate, sappiamo rimetterle a posto in modo che il giocattolo continui a funzionare? Come mi ha provocato uno zoologo olista: "Ti dò tutte le parti che compongono una lucertola. Sai ricomporla?" [4]. Partire dalle parti per costruire il sistema è quello che chiamo **Riduzionismo crescente**.

La tradizionale obiezione fatta per giustificare le difficoltà legate al progetto di Riduzionismo crescente è che queste difficoltà sono generate da un problema tecnico, non di principio. Trovare una soluzione delle equazioni da risolvere è molto difficile quando il numero di elementi da considerare è molto grande. Se avessimo a disposizione tempi di calcolo illimitati e computer con memorie sufficienti, la soluzione delle equazioni prodotte dalle nostre teorie ci permetterebbe una descrizione completa dei sistemi compositi. Questa ipotesi di lavoro è in realtà un atto di fede, confortato dal fatto che tutte le volte che si ha avuto la possibilità di comprovarla, nei limiti

delle incertezze sperimentali e di quelle legate al calcolo numerico, è stata verificata.

Dal punto di vista operativo il *modus operandi* del Riduzionismo crescente è estremamente pragmatico e riproduce il metodo riduzionista come in un insieme di scatole cinesi, a questo punto sempre più grandi. Per studiare la stabilità di un ponte non si parte dall'interazione tra le molecole che compongono il cemento, l'acqua, il tondino di ferro. In maniera analoga, quando si studiano sistemi compositi, o a molti-corpi come piace definirli a noi fisici, il punto di partenza consiste nell'identificazione delle parti che compongono il sistema e delle loro interazioni. Ad esempio, per descrivere un protone di dovrebbero risolvere le equazioni che descrivono l'interazione nucleare forte, la teoria si chiama **Cromodinamica quantistica** o, più brevemente QCD. Il numero di quark e antiquark previsto dalla teoria è addirittura infinito, e, di fatto, nonostante gli sforzi numerici fatti, non si riescono a risolvere queste equazioni. Per una descrizione del protone si passa a considerare delle componenti del protone dette **quark costituenti** che sono solo tre e che rappresentano le particelle che generano le caratteristiche macroscopiche del protone. A questo punto potremmo considerare i quark costituenti per descrivere i protoni e i neutroni che formano il nucleo. Anche in questo caso, la soluzione delle equazioni è difficile, quindi, per la descrizione del nucleo, si passa a considerare protoni e neutroni come privi di struttura interna. Ed il processo continua in *crescendo*. Nella descrizione degli atomi il nucleo è trattato come un'entità unica, e si considera la sua interazione con gli elettroni che compongono l'atomo. Per la descrizione delle molecole, si considerano gli atomi privi di struttura interna. Per quella dei liquidi e dei gas, sono le molecole le particelle puntiformi da considerare. A questo punto, risulta conveniente passare da una descrizione discreta della materia ad una continua, nella quale il fluido è considerato nel suo insieme con delle proprietà macroscopiche come volume, pressione, temperatura.

È evidente che la scelta dei gradi di libertà è guidata da un principio riduzionista: cogliere l'essenziale e trascurare il dettaglio. L'essenziale ed il dettaglio sono da definire per ogni sistema studiato e nelle modalità di come questo sistema

è studiato. Sappiamo che le parti che compongono il sistema sono a loro volta composite. La nostra descrizione del sistema composito perde di validità quando la struttura interna delle parti produce effetti sul sistema composito.

La scelta delle componenti del sistema implica anche la definizione della loro interazione. Il sistema può essere descritto semplicemente considerando le componenti che interagiscono tra loro a due a due? Questo problema è definito in letteratura come quello della *pairwise additivity* [5], ed è ampiamente discusso nella Fisica dei sistemi a molti-corpi microscopici.

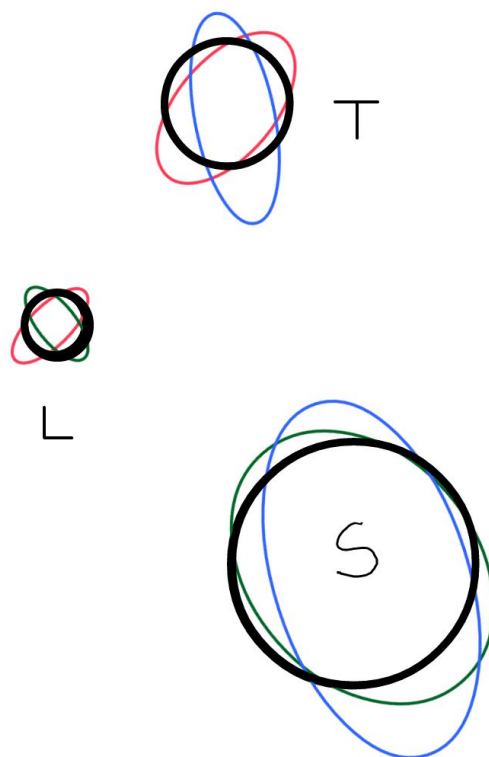


Figura 2: Schema di interazione a tre corpi per il sistema Terra-Sole-Luna. I cerchi neri rappresentano i tre corpi celesti se non ci fosse deformazione. Ma l'interazione tra Terra e Luna le deforma, elissi rosse, ed è in questa configurazione che adesso interagiscono con il sole. Le elissi verdi e blue indicano le deformazioni prodotte dall'interazione con il Sole.

Per semplificare la discussione, uso un esempio legato all'interazione gravitazionale. Se il nostro obiettivo è lo studio del sistema Terra, Sole e Luna possiamo in prima approssimazione considerare questi tre corpi come puntiformi, ognuno dotato dalla sua massa. È noto che il campo gravi-

tazionale esterno ad una distribuzione di massa a simmetria sferica è identico a quello che si ottiene se tutta la massa fosse concentrata al centro della sfera. Quindi il sistema Terra-Sole-Luna può essere descritto considerando l'interazione dei tre corpi a due a due come se fossero puntiformi, privi di struttura interna: Terra-Sole, Terra-Luna e Sole-Luna. Se i tre corpi celesti fossero delle sfere rigide questa sarebbe la fine della storia. Invece, i tre corpi sono deformabili. Quando Terra e Luna interagiscono la loro forma non è più sferica, ma a causa dell'interazione reciproca si trasformano in ellissodi i cui assi di simmetria sono orientati sulla linea che unisce i loro centri. In questo assetto deformato interagiscono con il sole, che a sua volta viene deformato. Questa situazione non può essere descritta come somma di interazioni tra due corpi, la *pairwise additivity*, ma è un termine nuovo dell'interazione; una interazione a tre corpi, nel gergo della Fisica dei multi-corpi.

Forze di questo tipo, a tre, quattro ... n -corpi, sono presenti in tutti i sistemi composti da particelle che hanno struttura interna. La procedura riduzionista analizza gerarchicamente il ruolo di queste forze a multi-corpi, nella speranza che siano molto meno importanti rispetto a quelle a due corpi. In questo modo, si possono risolvere le equazioni che descrivono il sistema considerando solo le interazioni a due corpi, e fare, quindi, piccole correzioni per considerare le altre interazioni.

L'approccio riduzionista è essenziale nel nostro modo di analizzare i fenomeni naturali che ci circondano. Anche la scelta delle parole che usiamo per comunicare è adeguata ad un principio riduzionista. L'affermazione "È arrivato in auto", trascura tutti i dettagli relativi alla composizione dell'automobile, alla velocità d'arrivo, a come e chi guidava l'auto, perché la sola informazione di interesse nel contesto è quella che il soggetto ha viaggiato con un automezzo. In maniera analoga, anche quando affrontiamo lo studio di un sistema con un approccio scientifico, adottiamo un atteggiamento riduzionista.

In Fisica l'approccio riduzionista ha prodotto dei successi enormi, e per questo è spesso considerato l'unico modo di affrontare la descrizione di sistemi composti, senza fare alcuna analisi sui limiti di questa metodologia. Le difficoltà nella

descrizione di sistemi composti sono attribuite a problemi tecnici di soluzione delle equazioni che comunque hanno una loro validità descrittiva, a prescindere.

La situazione è in realtà molto più complicata. Per poter descrivere un sistema composto, è necessario ipotizzare che le parti che lo compongono siano prive di struttura interna. Questa ipotesi funziona fino a quando l'ambito dello studio del sistema è limitato a situazioni in cui le componenti del sistema non vengono modificate. Nel momento in cui l'interazione tra le parti ne modifica la struttura interna rispetto alla situazione in cui le parti sono isolate, il metodo riduzionista perde significato e valore. Un sistema che non può essere diviso in parti che mantengono una loro identità quando interagiscono è un sistema non trattabile in termini riduzionistici, e, in questo senso, lo definirei **sistema complesso**.

Elogio, ma non troppo, del'olismo nelle scienze della vita

Ci sono tante definizioni di scienza. Trovo particolarmente significativa quella riportata sopra da Giampaolo Co', nella prima parte di questo contributo:

"Considero scopo della Scienza quello di comprendere il comportamento del sistema studiato. A questo punto devo precisare cosa intendo per comprensione. Ritengo che si comprenda un sistema se si è capaci di descriverne il comportamento passato e prevederne il comportamento futuro. Queste due fasi, la descrizione del passato e la previsione del futuro, sono essenziali, a mio avviso, per definire lo scopo dello studio scientifico."

Io ho una definizione differente:

la scienza ha due scopi principali, il primo è di identificare l'ignoranza e il secondo è di ridurla.

Facendo questo, gli scienziati si scontrano con l'ignoranza irriducibile, cioè con cose che non possiamo sapere, per quanto proviamo. Tipo: prevedere il futuro, almeno in certi ambiti. La fisica pretende di prevedere il futuro, e lo fa con equazioni. Ovviamente lo fa con sistemi che Darwin chiama semplici.

Prendiamo un sistema complesso: la storia. Possiamo pensare di avere un sistema di equazioni che ci permetta, letto il giornale di oggi, di scrivere il giornale di domani? Possiamo prevedere il corso futuro della storia? Certo, gli economisti ci provano con i loro modelli. Ma abbiamo visto con quale accuratezza. La storia è fatta di contingenze, altrimenti... non ci sarebbe storia. Basterebbe un bel sistema di equazioni, un computer, e il futuro verrebbe fuori da lì. Ma se riuscissimo ad avere quel computer, quelle equazioni, probabilmente ci comporteremmo in un certo modo, e influenzeremmo il sistema, inficiando le nostre previsioni. Certo, potremmo prevedere l'esito della nostra influenza ma, tenendone conto, eserciteremmo un'altra influenza

e l'indeterminazione procederebbe comunque all'infinito.

I sistemi in cui, conosciuto il passato, si prevede il futuro sono governati da vincoli. Sono sistemi semplici. Per quanto possano essere complicate le loro equazioni, sono sempre semplici. Appena entrano in gioco le contingenze, i vincoli, che pure restano, perdono la loro forza e le contingenze spostano il corso degli eventi. Lo hanno dimostrato anche i fisici, con la teoria del caos. I sistemi caotici sono deterministici ma sono intrinsecamente imprevedibili, nel medio e lungo termine. I sistemi di Lorenz sono relativi alla meteorologia, e ci spiegano perché i meteorologi non possono prevedere il tempo con precisione, nel medio e lungo termine.

Sempre fisica è: ora proviamo a metterci la vita, e noi. Il numero di variabili da considerare diventa talmente grande che solo un ipotetico dio potrebbe pensare di prevedere il corso degli eventi. Chi produce equazioni, di solito, non è in grado di riconoscere l'importanza delle variabili che dovrebbe mettere nel modello, tipo: un virus presente nei pangolini della Malesia, o nei pipistrelli frugivori.

La fisica si confronta con sistemi semplici, i biologi studiano quanto di più complesso esista nell'universo conosciuto. Cosa è molle e cosa è duro?

La biologia è una scienza storica, proprio come la storia umana. L'evoluzione è la storia della vita. Solo chi ha scarsa dimestichezza con l'epistemologia può pretendere di chiedere un'equazione a chi studia fenomeni di questo tipo. E, visto che non c'è l'equazione, solo chi ignora i rudimenti dell'epistemologia può dire che allora chi li studia non pratici la scienza.

Cosa fanno le scienze storiche? Prima di tutto descrivono un *pattern*, uno schema di eventi. È per questo che sono descrittive: ricostruiscono gli eventi del passato e descrivono gli eventi odierni. Poi, una volta identificati i *pattern*, cercano di comprendere i processi che li hanno determinati, e di interpretarli: *pattern* e *process*. La conoscenza di *pattern* e processi ci permette di disegnare scenari futuri, usando un po' di saggezza, ma gli storici non si sognano neppure di descrivere il futuro in termini matematici. Il motivo è semplicissimo: i fenomeni complessi sono spesso determinati da cause molteplici che in-



Figura 3: Connessioni trofiche nella colonna d'acqua. Al centro la via microbica. Lato superiore destro: proliferazione microbica. Lato inferiore destro: la via microbi-crostacei-pesci-umani. Lato inferiore sinistro: La via microbi-plancton gelatinoso erbivoro. Lato superiore sinistro: la via microbi-crostacei-pesci-plancton gelatinoso carnivoro. Il Carbonio si deposita e viene sequestrato sul fondo. Concetti di F. Boero, Arte: Alberto Gennari. da [6].

teragiscono tra loro. Se le analizziamo una ad una, separatamente, non possiamo capire. Col riduzionismo, in effetti, le analizziamo una ad una, ma poi dobbiamo passare al passo successivo, e le dobbiamo mettere assieme. Cercando di capire quali possono essere i loro effetti sul sistema che stiamo studiando. Ma solo a posteriori possiamo capire l'importanza di un virus che vive nei pipistrelli, o dell'11 settembre. Tanto per citare due contingenze recenti che hanno cambiato il corso della storia e che nessuno aveva predetto, in termini matematici.

È già difficile scoprire tutte le microcause e i microeffetti che, assieme, determinano i processi che portano alla realtà osservata: il *pattern*. Certo, possiamo pensare a piani inclinati senza attrito, a liquidi senza turbolenze, a gas perfetti. Ma la

vita non è così o, almeno, lo è per un po'. Poi arriva l'attrito, la turbolenza.

Che possiamo dire, allora, del futuro? Possiamo dire che se la situazione è A, allora potrebbe diventare B; se questo non succede c'è qualcosa di strano. Ma, prima o poi, qualcosa di strano succede. Potrebbe essere l'11 settembre, o il coronavirus, o il crollo dei mutui subprime, o... l'elenco delle contingenze è infinito. Qualcuno aveva predetto la pandemia da coronavirus. Un momento... qualcuno, avendo visto altre pandemie del passato, aveva predetto che, prima o poi, ne sarebbe arrivata una più forte delle precedenti. Ma non aveva predetto, con una formula, quando questo sarebbe avvenuto, e quale sarebbe stato il virus.

Io posso prevedere che tutti i lettori di questo

pezzo moriranno. Ma non posso dire quando morirà ogni singolo lettore. Anche se prevedo che una buona parte dei lettori farà gli scongiuri dopo aver letto la mia predizione. Non ho detto tutti, ho detto una buona parte. Magari qualcuno, come me, pensa che essere superstiziosi porti male, e quindi non avrà fatto gli scongiuri. Posso fare predizioni probabilistiche. Ma non uso equazioni per farle. Uso la conoscenza del sistema, una conoscenza che va oltre il mero calcolo matematico.

Una volta compreso il fenomeno, la matematica ci aiuta a produrre modelli che, in modo probabilistico, ci permettono di prevedere l'esito di nostri comportamenti, tipo: fare la quarantena oppure no, quando riprendere le attività. Ma bisogna conoscere molto bene le variabili, e le loro interazioni, prima di produrre formule.

I sistemi complessi sono come la lingua. Si fondano su una realtà semplice, come l'alfabeto. Poche lettere. Poi le assembliamo e facciamo parole. Ecco il dizionario, con tutte le parole di una lingua. Poi prendiamo la letteratura di quella lingua. È stata fatta assemblando le parole del dizionario e le lettere dell'alfabeto. Possiamo leggere quelle opere (il *pattern*) e possiamo studiare i processi che hanno portato ogni autore a produrre le sue opere. Possiamo, fatto questo, scrivere le letterature che sarà prodotta dagli autori del futuro? Dove ci manderebbe uno storico se gli chiedessimo di prevedere il futuro dei sistemi che studia? Soprattutto con formule matematiche? Beh, risponderebbe: non sono mica un economista!

La materia vivente è costruita attraverso un alfabeto fatto di adenina, guanina, citosina e timina. I geni sono fatti da triplette di queste basi azotate (il dizionario). I loro assemblaggi portano alla codifica di strutture che noi chiamiamo organismi, ognuno appartenente a una specie. Basta una piccola modificazione nelle sequenze di geni e abbiamo specie differenti. È come con la punteggiatura, basta cambiare un poco e le sequenze di parole assumono significati completamente differenti:

I fisici dicono: i biologi sono scienziati di serie B.
I fisici, dicono i biologi, sono scienziati di serie B.

Le specie sono come opere letterarie. Possiamo pensare, con sistemi di equazioni, di prevedere

come saranno le specie del futuro? Non è scienza. Ha ragione Zichichi. E non è quello che vuol fare la biologia evoluzionistica. Però è quello che vuol fare l'ingegneria genetica. Modifichiamo i geni, una volta scoperto cosa codificano, per ottenere organismi che rispondano meglio alle nostre necessità. Ma i geni interagiscono tra loro, e con l'ambiente. Dopo un po' le cose non vanno come pensavamo. Il futuro che avevamo previsto non arriva.

Ora, va benissimo studiare le espressioni semplici della natura. È essenziale conoscerle. Non possiamo capire la letteratura se non conosciamo l'alfabeto. E abbiamo anche bisogno del dizionario per capire la letteratura. Ma che i detentori dell'alfabeto o del dizionario pensino di essere i detentori della conoscenza intima della letteratura ...è troppo. Il bello è che lo fanno (vedi Zichichi) e arrivano a etichettare come dure le proprie scienze predittive e come molli le scienze che, con un malcelato disprezzo, chiamano descrittive.

Prendiamo la realtà conosciuta. Poniamola su una sorta di cursore. Ad un estremo di quel cursore c'è la fisica delle particelle: la scomposizione della materia nelle sue componenti elementari. Ora andiamo all'altro estremo del cursore, e arriviamo all'astrofisica, con l'universo. Tra questi due estremi c'è tutto il resto. Nell'universo conosciuto c'è un posticino piccolo piccolo in cui una parte infinitesima della materia che compone tutto l'universo ha assunto una forma molto particolare: è viva. Non esiste altro posto, nell'universo conosciuto, in cui la materia abbia quelle proprietà. Certo, è fatta di particelle elementari, e si trova nell'universo. Ma ha qualcosa di diverso dal resto della materia. Bene, la biologia studia quella singolarità. Non può esprimere verità universali, esprimibili con equazioni che prevedono il futuro.

Può solo prendere atto di questa condizione della materia e cercare di descriverla, descrivendo anche i processi che la governano, e la storia delle sue condizioni, visto che cambiano continuamente. Anche i fisici hanno trovato cose analoghe, hanno espresso principi di indeterminazione sulla posizione e la velocità delle particelle elementari. Ma come sono semplici questi problemi, se confrontati con le innumerevoli azioni

e reazioni che determinano i rapporti degli otto milioni di specie che, oggi, abitano il pianeta formando gli ecosistemi che permettono la nostra vita, e la storia che, in milioni di anni, ha portato alla situazione attuale! La mente vacilla.

Meglio tornare alle particelle e all'universo. E a rassicuranti equazioni. Magari senza attrito e senza turbolenze. La fisica equazionale è elegantissima, come una danza. La biologia è uno scontro fisico in un vicolo buio (si chiama lotta per l'esistenza). A volte può persino sembrare una danza, ma è un gioco dove si vive o si muore. C'è l'attrito, ci sono le turbolenze, niente è perfetto.

Se prendiamo un ballerino e lo buttiamo in una rissa in un vicolo buio, può darsi che riesca, con qualche passo di danza, a mettere in difficoltà qualche avversario, ma lo farà seguendo regole che non sono rispettate da tutti gli altri, e si troverà a mal partito, nel medio e lungo termine, a meno che non si metta a giocare con le loro regole, che non sono le sue. E probabilmente prenderà un sacco di botte, visto che non ha grande esperienza a seguire quelle regole. I colpi bassi ci sono, così come l'attrito e le turbolenze, i gas non sono perfetti. Magari, se oltre ad essere un ballerino fosse anche un buon fisico, potrebbe avere con sé qualche apparecchio da lui inventato. Tipo una pistola. Ma non basta avere una pistola, bisogna saperla usare, ed essere abituati ad essere sotto stress, in situazioni che richiedono di affrontare contingenze che non sono previste a priori. Ma abbiamo visto che le armi della biologia sono molto più potenti di quelle della fisica, se vogliamo fare a gara a chi è più duro. Un futile esercizio, ma se ci lanciano una sfida... siamo pronti.

Ora siamo pronti per capire la domanda del Ministro Boccia che, di fronte alle incertezze dei virologi, chiede alla scienza certezze inconfutabili. Boccia chiede agli scienziati di fare quello che promettono visto che dicono di essere: capaci di descriverne il comportamento passato e prevederne il comportamento futuro... la descrizione del passato e la previsione del futuro, sono essenziali... per definire lo scopo dello studio scientifico.

Chiaro? Non è colpa di Boccia, è colpa della reputazione che una certa branca della scienza si è costruita: scienza predittiva, che predice il

futuro! E se non riesce, Boccia si arrabbia. Giustamente. Perché gli scienziati duri dicono che la scienza predice il futuro. E che, se non è in grado di farlo, allora non è scienza. E uno potrebbe dire: ma allora è scienza solo quello che fai tu, e il resto? Studiare l'organizzazione della materia vivente non è compito della scienza? Certo, la legge dell'entropia mi dice che aumenta sempre. E ogni ordine generato dall'organizzazione della materia vivente genera maggiore disordine nella materia da cui trae risorse. Bene, lo sappiamo, grazie. Ma questo è come dire che la Divina Commedia è fatta di lettere dell'alfabeto, e pretendere di averla capita.

Dobbiamo spiegare a Boccia, e a Zichichi, che la scienza non è solo fisica. E che le scienze storiche non sono molto matematizzabili. Non perché chi le pratica è un inetto, ma perché ci vogliono altri linguaggi, meno precisi ma certamente più accurati nel descrivere e comprendere la realtà complessa.

Da biologo, sono felicissimo che ci siano i fisici. Solo che il loro concetto di scienza non è universale, è esistenziale. E qui dobbiamo tirare in ballo Karl Popper. Il quale ci ha insegnato che la scienza deve produrre enunciati falsificabili, tipo "tutti i corvi sono neri": una legge universale che si riferisce al colore dell'universo corvi. Quel "tutti", infatti, la identifica come universale. La legge non prova che tutti i corvi siano neri, perché non possiamo vedere tutti i corvi, ma la riteniamo vera fino a quando non la falsifichiamo. Già, perché gli enunciati scientifici, secondo Popper, devono essere falsificabili. Se trovo un corvo bianco, ecco che ho falsificato "tutti i corvi sono neri". Devo rigettare l'enunciato. E vabbé, ma ora cosa posso dire una volta che ho trovato un corvo bianco? Un biologo direbbe: "ok, è un corvo albino". Posso spiegare perché si è verificata questa deviazione dalla norma. Ma Popper non è contento. È una spiegazione *ad hoc*, e non salva dalla falsificazione quel "tutti" di tutti i corvi sono neri. OK, allora possiamo dire che quel "tutti" si trasforma in qualcosa di statistico, e posso dire con quali percentuali i corvi si presentano neri e in quali si presentano invece bianchi. Ma non è più una legge universale. La falsificazione di tutti i corvi sono neri in effetti falsifica l'universalità dell'affermazione che, quindi, deve essere trasformata in un enunciato esistenziale: "esisto-

no corvi neri, ma alcuni possono essere bianchi". Ci sono scienze che possono produrre enunciati universali, e altre che producono enunciati esistenziali. Gli enunciati universali sono l'alfabeto, gli enunciati esistenziali sono la letteratura.

Chiarito questo, è chiaro perché, se ci ammaliamo, non andiamo da un fisico ma andiamo da un medico (persino i fisici vanno dal medico...). E il medico non ha un sistema di equazioni con cui predice il futuro. Procede per prove ed errori. Soprattutto se arriva un virus sconosciuto. Durante una trasmissione televisiva, una nota conduttrice ha chiesto a un luminare della virologia di effettuare predizioni sulla pandemia da coronavirus. Il virologo ha esordito dicendo: "non sono nè un fisico nè un matematico, e quindi quel che dico non sarà precisissimo ...". Esprimeva sottile ironia che, temo, sarà rimasta oscura ai più. E infatti il ministro Boccia, proprio come Gruber, chiede ai virologi di essere come i fisici: predittivi. E vuole predizioni di precisione matematica.

Non esistono scienze che siano meglio di altre scienze, anche se alcune pensano di esserlo. Sono tutte necessarie e nessuna è sufficiente. Le scienze devono interagire, devono uscire dai buchi iperspecializzati in cui si sono annidate e devono parlare tra loro, proprio come stiamo facendo ora.

Nella Genesi, il Creatore affida un solo compito ad Adamo: dare il nome agli animali. E, in effetti, la nostra cultura nasce con una scienza: la zoologia. Le pitture rupestri rappresentano animali e sono la prima forma di arte e di scienza espressa dalla nostra specie. Da zoologo non sono così fesso da pensare che questo incarico divino conferisca una supremazia logica alla zoologia. Anche se il più grande scienziato di tutti i tempi, un tale Charles Darwin, era proprio uno zoologo. Ha risposto a domande a cui i filosofi hanno cercato di rispondere per millenni, e che altri scienziati non hanno neppure affrontato: da dove veniamo??? Da progenitori scimmieschi, deficiente! Ma questa, per Zichichi, non è scienza, visto che Darwin non ha scritto la formula dell'origine della nostra specie e non siamo in grado, oggi, di fare un esperimento che trasformi una scimmia in un uomo. E così, per rispondere, Zichichi scrive "Perché credo in colui che ha fatto il mondo" [3]! Ovviamente pensa che se una

domanda non trova risposta con una formula e un esperimento, non resti che la religione per darle risposta. La scienza sa fare di meglio, per fortuna.

Le scienze devono interagire, devono colmare gli spazi di ignoranza che le dividono e devono acquisire una caratteristica che ad alcune manca: l'umiltà.



- [1] I. Russell: *Images, representations and heritage: moving beyond modern approaches to archaeology*, Springer, Berlino (2006).
- [2] P. S. de Laplace: *Essai philosophique sur les probabilités*, Rachelier, Parigi (1825).
- [3] A. Zichichi: *Perché credo in colui che ha fatto il mondo*, Il Saggiatore, Milano (1999).
- [4] F. Boero, Comunicazione privata a margine del ciclo di seminari su *Semplice e complesso*, Università di Lecce (2001). <http://www.dmf.unisalento.it/~gpco/bio/home.html>
- [5] D. L. Goodstein: *States of matter*, Prentice-Hall, Englewoods Cliffs, New Jersey, USA (1975).
- [6] F. Boero, F. De Leo, S. Frascchetti, G. Ingrosso: *The Cells of Ecosystem Functioning: towards a holistic vision of marine space*, *Advances in Marine Biology*, 82 (2019) 129.
- [7] W. Allen: *Citarsi addosso*, Bompiani, Milano (1980).
- [8] <http://www.treccani.it/vocabolario/dizionario/>
- [9] 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).
- [10] 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).



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.