

La scienza tra certezze e limiti

Eros Gambarini

Alla fine di ogni secolo sembra sia diventata una consuetudine interrogarsi sullo stato dell'arte per quanto riguarda la conoscenza scientifica ed i suoi possibili limiti. Anche la fine del XX sec. non fa eccezione: Prigogine riprende un tema a lui caro e parla di fine delle certezze (Ilya Prigogine, *La fine delle certezze*, Bollati Boringhieri, Torino 1997), John Horgan si interroga sulla fine della scienza (J. Horgan, *La fine della scienza*, Adelphi, Milano 1998), la decima cattedra dei non credenti promossa dal card. Martini si pone come tema 'Orizzonti e limiti della scienza' (Raffaello Cortina, Milano 1999), la Fondazione Sigma-tau organizza gli incontri di Spoleto-scienza su '*Limiti e frontiere della scienza*', (Laterza, Bari 1999) ed un divulgatore scientifico attento come John Barrow propone un'analisi dettagliata del concetto di impossibilità all'interno della scienza (J.D.Barrow, *Impossibilità- i limiti della scienza e la scienza dei limiti*, Rizzoli, Milano 1999). Esistono limiti alle nostre possibilità di conoscere, o no? E se esistono come e dove si possono collocare?

Domande che hanno molto a che fare anche con gli obiettivi del nostro corso. Per dialogare bisogna almeno conoscersi, e la scienza, oggi, si può conoscere meglio parlando dei suoi limiti anziché delle sue certezze. Il mio intervento parlerà di questi limiti e spero che al termine di esso si possa cogliere il senso dell'affermazione di R. Feynman citata nell'introduzione: *Io vivo sempre senza risposte*. Un'immagine di scienza più umile di quella normalmente diffusa, che non si pone nella prospettiva di una conoscenza completa, che non pretende di essere l'unico racconto umano importante. La scienza può aiutarci a fare previsioni ma non a prendere decisioni, per le quali entrano in gioco anche altri racconti, quelli che riguardano la ricerca di senso, quelli di cui ha parlato Giacomo Facchinetti nei primi due incontri.

C'è chi trova insensato parlare di limiti della scienza: l'esperienza dovrebbe insegnare qualcosa, ed allora dovremmo ricordare che alla fine dell'800 Max Planck veniva consigliato dal suo maestro a non dedicarsi alla fisica perché lì rimaneva da chiarire solo qualche dettaglio (come lo spettro della radiazione di corpo nero non ancora spiegato dalla teoria) e Michelson affermava che le novità in fisica avrebbero riguardato la sesta cifra decimale poiché la teoria esistente spiegava bene le prime cinque.

Cosa sia avvenuto in realtà è noto: Planck, proprio da quel dettaglio che sembrava essere il problema della radiazione di corpo nero, pose le basi di una teoria completamente nuova: la meccanica quantistica, ed Einstein partì dall'esperimento di Michelson per elaborare la teoria della relatività ristretta prima, e generale poi.

Ma se a fine 800 da una situazione di impasse si è usciti con un ribaltamento generale, non è detto che questo meccanismo si debba riprodurre tutte le volte che ci si trovi in una situazione analoga. In fin dei conti, come osservava R. Feynmann, l'America può essere scoperta solo una volta. Allora può darsi che i decenni appena trascorsi siano stati l'epoca d'oro della scienza, e che gli stessi grandi successi ottenuti ci abbiano portato considerevolmente vicino alle nostre possibilità ultime, almeno in alcuni settori di punta della ricerca scientifica.

Con questo voglio sostenere che a fine 900 il problema dei limiti si pone in maniera completamente nuova rispetto a fine 800, come vedremo sono le stesse rivoluzionarie teorie emerse in questo secolo a fare la differenza.

Per teorie rivoluzionarie mi riferisco soprattutto alla meccanica quantistica. Nella prima parte di questo intervento ne parlerò abbastanza a lungo per un paio di buoni motivi: primo perché si tratta della storia più sconvolgente che sia accaduta in ambito scientifico, secondo perché la visione del mondo che emerge da questa teoria è semplicemente incommensurabile con quanto si conosceva in precedenza. Spesso si pensa alla conoscenza scientifica come a qualcosa che procede per accumulo all'interno di un quadro di riferimento costituito dal metodo scientifico, obiettivo, universale ed immutabile. Non è così. Il mutamento intervenuto con il passaggio dalla visione classica a quella

quantistica non può in nessun modo essere visto come uno sviluppo lineare di versioni precedenti alle quali si è aggiunto qualche informazione in più secondo il meccanismo dell'accumulo. Alcune concezioni non potranno mai trasformarsi in altre mediante piccoli passaggi proprio perché la loro differenza non consiste nel conoscere qualche dato in più ma nel diverso modo in cui gli stessi dati sono guardati ed interpretati. Concezioni diverse del mondo che non si possono derivare l'una dall'altra con semplici trasformazioni. E' così per ogni rivoluzione scientifica: era già accaduto mettendo il sole al posto della terra, sembrava un giochetto innocuo e fu rivoluzione. Ciò che rende speciale la meccanica quantistica è che essa ha a che fare soprattutto con il problema della misura che è la premessa di ogni conoscenza scientifica. Conoscere scientificamente vuol dire misurare, operazione che appariva scontata nelle precedenti teorie e che invece la nuova meccanica ha rivelato trattarsi di un profondo mistero. Già questo dice qualcosa dei cambiamenti intervenuti: l'operazione fondamentale con cui possiamo acquisire conoscenza è di per sé un mistero e come se non bastasse è condizionata dall'emergere di limiti teorici di cui nessuno aveva mai sospettato l'esistenza. La prima parte di questo intervento tratterà di questo mistero. Nella seconda parte vedremo alcuni limiti connessi con il paradigma evolutivo, limiti che hanno a che fare con la nostra realtà di esseri umani emersi dopo un tortuosissimo percorso evolutivo durato 15 miliardi di anni.

1) **Limiti della conoscenza e mondo microscopico**

Galileo è l'autore della release 1.0 della scienza moderna.

Egli dà inizio ad un processo di astrazione e di schematizzazione dei sistemi che si vogliono studiare, inaugurando, con ciò, un nuovo modo di guardare la natura, che consentirà di fare decisivi passi avanti nella sua comprensione.

In un celebre passo de *Il Saggiatore* Galileo afferma che:

“La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto dinanzi agli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non si impara a intender la lingua, e conoscer i caratteri ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i suoi caratteri sono triangoli, cerchi, e altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro labirinto”

Quindi al di sotto delle apparenze l'universo è semplice, regolare e ordinato, ed esso va interrogato con il linguaggio geometrico.

Il programma iniziato con Galileo raggiunse il suo massimo sviluppo alla fine del 700 con Pierre Simon de Laplace, al quale si deve uno dei passi più citati nella storia della scienza, tratto dal suo *Essai philosophique sur les probabilités*:

“Noi possiamo considerare lo stato attuale dell'universo come l'effetto del suo passato e la causa del suo futuro. Una mente che ad ogni istante conoscesse tutte le forze che animano la natura e le posizioni relative di tutti gli oggetti che la compongono, e che fosse sufficientemente grande da riuscire ad analizzarne i dati, potrebbe condensare in una sola formula il vasto movimento dei corpi più grandi dell'universo e degli atomi più leggeri: per questa mente, niente sarebbe incerto e il futuro, così come il passato, sarebbe sempre chiaro davanti ai suoi occhi.”

Da questa citazione appare chiaro quale fosse l'ideale conoscitivo a cui si aspirava, in linea di principio si credeva fosse possibile una conoscenza che verso l'alto non aveva alcun limite. La differenza tra noi e un'eventuale supermente che tutto conoscesse, sarebbe solo una differenza quantitativa, e le differenze quantitative non sono insormontabili in linea di principio. All'interno di questa concezione affermazioni di "non prevedibilità in linea di principio" non avevano cittadinanza. Questo programma, che identificava il progresso della conoscenza con la possibilità di determinare con sempre maggiore accuratezza i dettagli di ogni oggetto di cui l'universo è costituito, abbagliò i fisici a tal punto che essi non si accorsero che sarebbe stato sensato proporsi

l'obiettivo indicato da Laplace solo se le leggi della meccanica classica avessero posseduto una speciale proprietà: che una piccola variazione delle condizioni iniziali di un moto producesse solo piccole variazioni dello stato finale che ne risultava. In tal caso si poteva immaginare di poter aumentare indefinitamente la precisione con cui si conosceva lo stato iniziale di un qualsiasi sistema ottenendo informazioni sempre più precise sul futuro del sistema stesso, per quanto complesso esso fosse. Sfortunatamente non era così: le semplici leggi della meccanica classica contenevano molte più insidie di quante Laplace non potesse mai supporre, che rendevano il suo ideale impossibile da raggiungere anche in linea di principio.

Paradossalmente ci si è accorti dei limiti impliciti nella dinamica classica solo negli ultimi decenni, quando si è scoperto che i sistemi appena un po' complessi presentano un comportamento caotico, tale, cioè, da essere estremamente sensibile alle più piccole variazioni delle condizioni iniziali, un minimo cambiamento delle quali introduce effetti a cascata nel sistema tali da rendere il suo comportamento imprevedibile dopo un tempo insospettabilmente breve.

Per questi sistemi vale la citatissima, ma sempre efficace, immagine della farfalla nell'Amazzonia il cui battito d'ali è sufficiente a cambiare le condizioni dell'atmosfera fino a scatenare un tornado nel Texas.

E' il fenomeno del caos deterministico, che si annida nelle stesse equazioni di tipo deterministico usate dalla meccanica classica, e che determina un'impossibilità a prevedere al di là di un certo limite, che in taluni casi, come nella meteorologia, è sorprendentemente prossimo.

Il concetto di caos deterministico venne introdotto in ambito scientifico a partire dal 1960, quando era ormai consolidata l'idea che l'incapacità di predire esprimeva di norma la natura delle cose, prima ancora che l'arretratezza delle nostre conoscenze.

La pretesa di Laplace era già stata messa in crisi dallo studio dei sistemi microscopici iniziata alla fine dell'800.

Ci si accorse che questi sistemi presentavano un comportamento estremamente bizzarro (dal nostro punto di vista), che non poteva più essere interpretato seguendo le tracce dell'antico, fu necessario sviluppare un linguaggio completamente nuovo: la meccanica quantistica fu questo nuovo linguaggio.

Sulle implicazioni filosofiche di questo nuovo linguaggio sono scorsi fiumi di inchiostro; mi limito a sottolinearne due aspetti connessi con il nostro tema, il primo riguarda la ritirata strategica che la descrizione scientifica ha dovuto compiere nel momento in cui ha dovuto arrendersi al fatto che la nostra conoscenza non si sviluppa "nella chiara luce del giorno" ma nel "crepuscolo delle probabilità".

Il secondo aspetto riguarda l'enigmatico processo di misura, processo su cui si fonda qualsiasi nostra osservazione. Generazioni di libri di testo ci hanno insegnato che alla base del metodo scientifico c'è l'esperienza, l'osservazione (eppure niente è così solidamente fondato sull'osservazione come il fatto che il sole ruota attorno alla terra, capita spesso che osservazioni ed esperimenti parlino con lingua biforcuta), ora si scopre che ogni processo di misura comporta qualcosa di misterioso che si colloca al di là della nostra possibilità di poterlo raccontare, e che ci pone di fronte alla necessità di riconoscere che il nostro stesso linguaggio, plasmatosi sulla realtà del nostro ambiente vitale, abbia dei limiti strutturali, e si possa rivelare completamente inadeguato per descrivere ambiti della natura lontanissimi dalla nostra esperienza.

Questa considerazione è alla base della cosiddetta "interpretazione di Copenhagen" della meccanica quantistica, elaborata da Niels Bohr e Werner Heisenberg, e che per molti decenni fu "l'interpretazione ortodossa".

La scienza è parte dell'esperienza umana, come tale deve fondarsi su una comunicazione intersoggettiva su ciò che gli uni e gli altri hanno fatto e appreso. Quando cerchiamo di realizzare questa comunicazione ci rendiamo conto che, a livello del linguaggio, la nostra situazione effettiva è tale che noi non abbiamo alternativa al far uso dei concetti classici. Anche se questi concetti si rivelano inapplicabili al livello atomico essi formano la struttura del nostro linguaggio e ad essi dobbiamo ricorrere per poter comunicare ad altri gli esperimenti fatti ed i risultati ottenuti. Questo

significa che la formulazione delle proposizioni fondamentali della meccanica quantistica è essenzialmente impossibile senza includere in essa la meccanica classica che costituisce la base stessa del nostro pensare e del nostro comunicare, è una situazione che ha a che fare con la nostra struttura di esseri umani:

'l'uso dei concetti classici è infine una conseguenza del modo generale di pensare degli uomini'.
(W.Heisenberg, Fisica e filosofia, Il Saggiatore, 1982, pag.68)

Come osservato da Wittgenstein: *i limiti del nostro mondo sono i limiti del nostro linguaggio.*

1.1) Nel crepuscolo delle probabilità

Laplace non divenne famoso solo per i suoi studi di meccanica celeste.

Il suo nome, assieme a quello di Bayes, sarà per sempre legato alla prima formulazione esplicita di un altro straordinario programma di ricerca: la teoria classica della probabilità.

Sembrirebbe un paradosso: perché mai lo scienziato che più ha contribuito all'affermazione dell'idea di un universo completamente deterministico doveva occuparsi anche di studiare le leggi del caso? Perché mai un sogno deduttivistico si doveva accompagnare con un sogno probabilistico? E' lo stesso Laplace a spiegarlo:

L'ignoranza delle differenti cause coinvolte nella produzione di eventi, come pure la loro complessità, congiuntamente con l'imperfezione dell'analisi, ci impediscono di raggiungere [...] la certezza sulla grande maggioranza dei fenomeni.[...] E' così che dobbiamo alla debolezza della mente umana una delle più raffinate e ingegnose teorie matematiche, la scienza del caso o della probabilità. (citaz. da S.J.Gould, Il millennio che non c'è, Il Saggiatore, Milano 1999, pag.11).

La funzione della probabilità risulta chiara: le leggi che regolano l'universo sono deterministiche, ma incontriamo delle difficoltà nel ricavare da esse quelle previsioni esatte (il futuro nostro e di tutto quanto) che vorremmo assolutamente conoscere: le equazioni in gioco possono essere risolte in maniera esatta solo nei casi più semplici (già quando si ha a che fare con solo tre corpi si comincia ad entrare nel caos), e le cause in gioco risultano difficili da conoscere nei dettagli.

In questa situazione di ignoranza la probabilità risulta la guida migliore.

Nel frattempo i nostri sforzi si dovranno concentrare nel migliorare l'analisi e nell'aumentare la conoscenza delle cause in gioco, è così che la scienza avanza ed i confini dell'incertezza si restringono. Sempre ed irresistibilmente? Sempre finché ci si scontrò con i fenomeni del mondo atomico, per studiare i quali fu necessario sviluppare un nuovo linguaggio.

In questo nuovo linguaggio è assente il concetto di certezza nel prevedere il comportamento futuro di un oggetto; il posto centrale è occupato dalla probabilità, che pertanto assume un ruolo ben più importante di quello assegnatole da Laplace. Essa non va più intesa come un ripiegamento in attesa di..., il sostituto con cui cerchiamo di compensare le carenze della nostra conoscenza. Non c'è nulla di più fondamentale della probabilità che essa debba in qualche modo compensare, la probabilità circa le possibili evoluzioni dei sistemi è tutto ciò che la nuova scienza ci consente di conoscere, l'unica grande strategia di cui disponiamo per estorcere un po' di ordine da un mondo recalcitrante.

L'aspetto sostanziale della questione è che questo limitarci a calcolare delle probabilità non è dovuto ad una momentanea situazione di ignoranza che sviluppi futuri potrebbero superare; purtroppo o per fortuna la Natura è fatta in modo tale che ci consente di calcolare solo delle probabilità che gli eventi accadano o che vadano in una certa direzione.

Un simile cambiamento di prospettiva cambia lo scopo programmatico della scienza, ma cambia anche la visione che noi ci facciamo del mondo che ci circonda, cambia anche la risposta alla domanda che da sempre ci poniamo: se al fondo delle cose ci sia una situazione dominata dall'ordine o dal disordine.

E' una vecchia questione presente in tutti i miti della Creazione e che Galileo sembrava aver risolto in maniera definitiva: il mondo parla un linguaggio matematico e quindi esso deve essere ordinato ed il suo comportamento prevedibile.

Ora la situazione è ribaltata: al fondo delle cose domina il caso e noi non possiamo avere certezze sul comportamento di alcunché, possiamo solo presentare varie possibilità di evoluzione, varie storie possibili, ognuna delle quali caratterizzata da una propria probabilità.

1.2) Misura e contesto

La seconda caratteristica fondamentale del nuovo linguaggio si potrebbe così esprimere: il contesto risulta decisivo nel determinare ciò che si osserva.

Anche questa affermazione esprime una radicale rinuncia rispetto agli ideali del passato: ora è l'idea di realtà oggettiva, esistente con proprietà indipendenti da chi osserva, che viene meno.

Per capire perché si è dovuti giungere a questa conclusione, bisogna dire della difficoltà imprevista che sorge quando l'oggetto che noi osserviamo è dell'ordine di grandezza atomico.

Mi limito ad una considerazione ovvia, ma che ciò che è ovvio sia anche comprensibile non è poi tanto ovvio. Questo è un caso: noi partiamo da una considerazione ovvia e arriviamo ad un risultato che appare completamente sballato per il senso comune.

La considerazione ovvia è che per compiere una misurazione su un oggetto lo si deve osservare, e per osservare dobbiamo interagire con ciò che osserviamo.

Nella release 1.0 si era supposto che tale interazione fosse trascurabile. E' ragionevole, avrebbe potuto esserlo. E invece non lo è. Se lo fosse stato l'attività dello scienziato si sarebbe potuta considerare una specie di *birdwatching*, effettuata da un nascondiglio perfetto. Non è così.

L'osservare comporta sempre l'intervento di un mezzo che trasmetta ai nostri sensi (la nostra interfaccia con il mondo esterno) le informazioni provenienti da ciò che osserviamo. La nostra conoscenza non è altro che l'elaborazione che il nostro cervello fa di queste informazioni. La luce (in genere la radiazione elettromagnetica) è indispensabile a questo scopo.

Un fascio di luce proveniente da una sorgente colpisce un oggetto, viene riflesso, entra nei nostri occhi, colpisce le cellule sulla retina, si trasforma in un segnale elettrico, percorre il nervo ottico, giunge al cervello e lì Dio solo sa ciò che succede, ma alla fine noi vediamo l'oggetto.

Sei circondato adesso solo da luce deviata. Luce che avrebbe continuato il suo cammino se non avesse urtato qualcosa di misteriosamente invisibile, incomprensibile e minaccioso che ci appare adesso come quel muro tagliato da un'ombra o quella donna che ti guarda e che si volta. E che non vedremo mai più forse.

L'apparenza visibile si rivela per una rete di riflessioni di luce che hanno avuto luogo su cose inaccessibili e che mai sapremo cosa in realtà "furono". L'unico dato che possiedo è una ipotesi sulla possibile deviazione di un fascio di fotoni diretti lungo una linea e che non continuarono il suo corso. (R.Pierantoni, Monologo sulle stelle, Torino, Boringhieri pag. 12)

Da sottolineare l'ultima frase. Un raggio di luce non è altro che un fascio di particelle (fotoni), ed ogni particella porta con sé un pacchetto di energia indivisibile. L'entità di questa energia è determinata dalla costante di Planck (h) una delle tre o quattro costanti fondamentali che fanno essere il nostro universo così com'è.

L'esistenza di queste costanti fondamentali (h, c) ha molto a che fare con i limiti della nostra possibilità di conoscere.

Il valore di h è molto piccolo, per cui anche l'energia trasportata dal fotone è molto piccola. Ma che accade quando vogliamo osservare oggetti sempre più piccoli la cui energia diventa paragonabile a quella del fotone?

Accade qualcosa di molto notevole: vengono a galla i limiti alle nostre possibilità di conoscere e prevedere.

L'unico modo per non accorgerci di questi limiti sarebbe di starne lontani, occuparci solo di oggetti per cui h è trascurabile e che possiedono una velocità molto bassa rispetto a quella della luce (c), ma

dal momento che i nostri interessi scientifici si sono sempre più allontanati dal mondo della nostra esperienza è diventato inevitabile che la nostra possibilità di conoscere si scontrasse con effetti quantistici e relativistici.

Ma il fatto realmente decisivo è che la perturbazione subita dall'oggetto dipenderà dal tipo di misurazione che su di esso si è effettuata e dalle condizioni sperimentali che si sono dovute realizzare per effettuare questa misura.

Il risultato è che la realtà diventa contestuale, noi creiamo un contesto sperimentale per osservare un certo oggetto, ma l'oggetto osservato manifesterà comportamenti diversi, addirittura contraddittori, a seconda del contesto sperimentale utilizzato. E' un duro colpo per il concetto di realtà oggettiva.

Per il tema che ci riguarda questa considerazione ha conseguenze di vasta portata.

Cosa vuol dire che il contesto risulta decisivo nel determinare ciò che si osserva? Vuol dire che nemmeno a livello delle particelle elementari, cioè delle unità più semplici che si conoscano, è possibile considerare tali unità isolate ed indipendenti da ciò che le circonda. Se questo è vero per le particelle elementari tanto più lo sarà per oggetti di complessità crescente, per i quali risulterà decisiva *la struttura che connette* come la chiamava Bateson:

Avrebbero potuto dirci qualcosa sulla struttura che connette: che ogni comunicazione ha bisogno di un contesto, che senza contesto non c'è significato, che i contesti conferiscono significato perché c'è una classificazione dei contesti" (G.Bateson, Verso un'ecologia della mente, Adelphi, pag. 30-33)

"La struttura che connette. Perché le scuole non insegnano quasi nulla su questo argomento?"

Quale struttura connette il granchio con l'aragosta, l'orchidea con la primula e tutti e quattro con me? E me con voi? E tutti e sei noi con l'ameba da una parte e con lo schizofrenico dall'altra? (G. Bateson, Mente e natura, Adelphi, pag. 21)

A qualunque livello si osservi la natura si scopre l'importanza della pluralità di storie possibili da una parte, e del contesto dall'altra.

Le implicazioni sono evidenti: sottolineare l'importanza del contesto in cui gli eventi si realizzano significa dire della complessità degli eventi stessi, il fatto, cioè, che non esistano eventi isolati che possano essere descritti senza alcun riferimento ad altri sistemi. Tutti gli eventi avvengono in un contesto con il quale formano una unità inscindibile.

Si pone allora il problema di quale strategia usare per descrivere un mondo caratterizzato dalla complessità. In ambito zoologico viene usata una metafora che può avere vaste applicazioni: *'La volpe ne sa tante; una il riccio, importante'*.

Finora abbiamo utilizzato la strategia del riccio, ne avevamo saputa una importante: le cose complesse si possono semplificare studiando i loro costituenti elementari. Questa strategia l'abbiamo sfruttata fino al limite estremo oltre il quale essa non è più applicabile: siamo giunti nel luogo in cui il contesto, la probabilità, le relazioni diventano decisive, il luogo che può essere esplorato solo con la strategia della volpe: una molteplicità di linguaggi e di descrizioni sono l'unica via che consenta di destreggiarci in un mondo complesso come il nostro.

Ormai sembra difficile sostenere che la conoscenza scientifica consista nel costruire modelli formali dai quali trarre conseguenze di carattere universale, diversi filoni di pensiero sembrano convergere verso un indebolimento dell'idea che esistano leggi univoche ed universali, ed a questo arretramento corrisponde un emergere dell'importanza dello sfondo, del contesto, dell'appartenenza, per descrivere i quali non sarà sufficiente tracciare dei segni sulla carta (non dico che siano inutili, dico che non basteranno), dovremo ricorrere anche a criteri narrativi per raccontare di eventi unici ed irripetibili, e davanti ad un mondo così descritto non si aprirà mai una singola storia, ma una possibilità di storie, quale di queste si realizzerà effettivamente dipenderà da molti fattori, alcuni saranno indipendenti dalla nostra volontà, altri saranno la conseguenza delle nostre scelte.

Mi sembra appropriata una citazione di Ernst Mayr:

"Credo che un'unificazione delle scienze sarà possibile se avremo la volontà di espandere il concetto di scienza fino a includere i principi e concetti di base non solo delle scienze fisiche, ma anche di quelle biologiche. Questa nuova filosofia della scienza...dovrà abbandonare la sua fedeltà a un rigido essenzialismo e

determinismo in favore di un più ampio riconoscimento dei processi stocastici, del pluralismo delle cause e degli effetti, dell'organizzazione gerarchica della natura, dell'emergere di proprietà impreviste ai livelli gerarchici più alti..." (Cit. da: Paolo Vineis, *Nel crepuscolo delle probabilità*, Einaudi, Torino 1999, pag. 13).

La strategia della volpe non potrebbe essere detta meglio.

2) Evoluzione e limiti umani.

Parlare dell'evoluzione significa dire come il tempo ha fatto il suo ingresso nella riflessione scientifica. Fino a tutto l'800 la fisica newtoniana rappresentava il modello delle vere 'scienze dure', ed in essa il tempo compariva semplicemente come un simbolo. Nessun posto, in essa, per ciò che è irregolare ed irreversibile, per ciò che è segnato dal tempo; il suo ideale è quello dell'uniformità, della regolarità, della stabilità. Eppure la dinamica classica era ben lontana dal poter dimostrare la stabilità di alcunché, tanto che Leibniz liquidò i *Principia* di Newton come inadeguati: essi non fornivano nessuna soluzione generale per il moto di un insieme qualsiasi di corpi, ma solo per due alla volta.

Un po' poco se si voleva dimostrare la razionalità del Creatore attraverso la stabilità del sistema che aveva creato.

I *Principia* lasciavano aperta la questione: cosa accade ad un sistema formato da almeno tre corpi? Si avrà ancora ordine e stabilità come per due corpi o la sua evoluzione andrà verso stati assolutamente imprevedibili?

Newton si era reso conto perfettamente che le sue leggi non spiegavano certe piccole irregolarità nel moto dei pianeti e che queste avrebbero potuto sommarsi determinando a lungo andare l'instabilità dell'intero sistema, tuttavia egli sostenne la sorprendente idea che Dio sarebbe intervenuto rimettendo le cose a posto.

Leibniz trovava semplicemente ridicola l'idea di un Dio che periodicamente deve procedere alla manutenzione dell'universo. Tra i due si accese una polemica durissima, a questioni di priorità sulla scoperta del calcolo infinitesimale si sovrapponevano diverse concezioni del mondo e di Dio.

Per Leibniz la perfezione del creatore si doveva riflettere in ciò che aveva creato, Newton, invece, non concepiva l'universo come un orologio perfetto, che Dio si era limitato a caricare all'atto della Creazione, temeva che questa concezione avrebbe tolto qualsiasi spazio all'azione di Dio e alla preghiera, Dio sarebbe diventato superfluo.

Formalmente fu Newton il vincitore, ma gli allievi continentali di Leibniz si rivelarono molto più abili di quelli di Newton nel trattare con il nuovo Calcolo.

Anche se la legge di gravitazione universale di Newton applicata a tre corpi si traduceva in equazioni la cui soluzione presentava difficoltà formidabili, per tutto il 700 attorno ad esse si impegnarono matematici del calibro di Euler, d'Alembert, Lagrange, Laplace. Nonostante non si ottenessero risultati decisivi, si riteneva per certo che le difficoltà fossero solo di carattere analitico, la fiducia che nell'ambito della meccanica celeste si potessero fare previsioni a lungo termine rimaneva intatta. Era il sogno di Leibniz a dominare.

Fino al 1885, anno in cui le riviste *Nature* ed *Acta Mathematica* pubblicarono il seguente annuncio:

Sua Maestà Oscar II, desideroso di fornire una nuova prova del suo interesse per l'avanzamento delle scienze matematiche, (...) ha deciso di accordare un premio, il giorno 21 gennaio 1889, suo sessantesimo genetliaco, a una importante scoperta nel campo dell'analisi matematica superiore. Questo premio consisterà in una medaglia d'oro recante l'effigie di sua Maestà e avente il valore di mille franchi, insieme con una somma di duemilacinquecento corone. (cit. da: H. Poincaré, *Geometria e caso*, a cura di Claudio Bartocci, Bollati Boringhieri, Torino 1995, pag. VII)

Il comitato scientifico che doveva fissare i problemi considerati importanti per l'avanzamento del progresso matematico era presieduto da Karl Weierstrass, personaggio centrale della matematica ottocentesca, che, ormai settantenne, indicò ai giovani matematici i nodi cruciali della disciplina. Al primo posto Weierstrass pose il problema degli n corpi celesti.

Il premio venne vinto da un originalissimo giovane matematico, Jules-Henri Poincaré, con una imponente monografia dal titolo: *Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique*. In questo lavoro Poincaré impegnò tutte le nuove risorse che la matematica offriva e dove non bastavano fondò lui stesso una nuova branca della matematica: la topologia.

Valutando oggi il lavoro di Poincaré viene alla mente una famosa frase delle *Relazioni pericolose*: "*Non esiste una fortezza imprendibile. Esistono solo fortezze attaccate nel modo sbagliato*".

Finora si era attaccata la fortezza con lo strumento dell'analisi matematica come unica via per risolvere le intrattabili equazioni della dinamica. Poincaré non è un'analista, è un geometra, che nei suoi lavori lascia largo spazio all'intuizione e al ragionamento discorsivo- forse per questo è stato sottovalutato dai matematici formati alla scuola della teoria degli insiemi- e la sua linea di attacco è quella di ridurre il problema della dinamica a problema geometrico, che lui considera:

"l'unica breccia attraverso la quale si possa penetrare in una piazzaforte finora ritenuta inespugnabile" (ibid., pag. XXX)

Attraverso questa breccia, Poincaré giunge ad un risultato assolutamente inatteso e di fronte al quale egli stesso arretra. Ecco cosa vide Poincaré con le sue stesse parole:

Le due curve hanno infinite intersezioni...queste intersezioni formano una sorta di reticolo, di ordito, di rete dalle maglie infinitamente fitte; ciascuna delle due curve non deve mai intersecare se stessa, ma deve ripiegarsi su se stessa in maniera assai complicata per poter intersecare un'infinità di volte tutte le maglie della rete. Si rimarrà impressionati dalla complessità di questa figura, che nemmeno tento di disegnare. Nulla è più adeguato a darci un'idea di quanto sia complicato il problema dei tre corpi e in generale tutti i problemi di dinamica nei quali non esistano integrali uniformi... (ibid. pag.XXXIII)

Poincaré era dotato di una fortissima immaginazione geometrica eppure rinunciò a disegnare le orbite descritte dai tre corpi, ora tutti concordano nel ritenere che Poincaré avesse intravisto le orme del caos. Si voleva premiare un lavoro che segnasse progressi sulla dimostrazione della stabilità del sistema del mondo, ma i progressi segnati andarono nella direzione opposta; Poincaré con il suo lavoro intonò il *de profundis* ai nostri sogni di stabilità, cominciava ad emergere un nuovo quadro: quello in cui la perfetta prevedibilità era inconcepibile. Ciò che a Poincaré apparve come un incubo ora appare certo. Nel 1989 Jacques Laskar calcolò le orbite dei pianeti su un arco di tempo di 200 milioni di anni, neanche tanto su scala geologica. Il mondo è risultato essere caotico: il sistema solare non è affatto stabile, su di esso incombe la minaccia del caos.

Ho introdotto il discorso sull'evoluzione con questo episodio della storia della scienza, perché le storie spesso dicono molto di più delle affermazioni di principio, e questa storia dice che quello della stabilità e della prevedibilità era un idolo, spesso venerato, ma in realtà mai esistito nemmeno nelle scienze più *hard*.

Dovrebbe adesso essere più facile riconoscere carattere di *scientificità* anche a quelle discipline che hanno per oggetto eventi segnati dal tempo e che devono utilizzare un linguaggio narrativo che presti attenzione ai mille dettagli di cui è fatta la storia.

Le teorie che si occupano dell'evoluzione devono utilizzare anche questo linguaggio ed hanno avuto un nuovo sviluppo dopo il 1960, quando si aprirono nuovi campi di ricerca: le teorie del caos, i sistemi complessi, le dinamiche non-lineari.

Soprattutto la nuova idea di *complessità* aveva parecchio a che fare con l'evoluzione.

Cosa si intenda per complessità non è facile dire.

Sono state elencate almeno 41 diverse definizioni di complessità, tuttavia un dato è comune a tutte: i sistemi complessi sono caratterizzati da una intricata organizzazione di un grandissimo numero di componenti molto semplici. Nelle strutture complesse ciò che conta non è tanto l'identità dei componenti ma il modo in cui essi sono organizzati, il risultato di questa organizzazione è l'emergere di nuove proprietà che possono essere studiate solo considerando l'intera struttura. Una caratteristica delle strutture complesse è che sembrano presentare delle soglie di complessità, ogni

volta che si varca una soglia la complessità fa un balzo improvviso ed emergono proprietà insospettite fino ad un livello appena inferiore.

Il nostro DNA differisce da quello degli scimpanzé di un misero due per cento, una variazione del due per cento è sufficiente per far comparire l'evento probabilmente più complesso e misterioso presente nell'universo: la coscienza.

Ci sono alcune soglie a cui siamo particolarmente interessati: la prima è l'emergere dell'universo, la seconda è l'emergere della vita e la terza l'emergere della coscienza. A proposito di limiti è possibile che su nessuna di queste tre soglie sapremo mai niente di definitivo, sia perché possono esistere limiti teorici- nel caso della prima soglia- sia perché possiamo scoprire di essere male equipaggiati per comprendere la logica più profonda di funzionamento dell'Universo, potremmo avere dei limiti, per così dire, strutturali, come diremo a proposito delle altre due soglie.

Inoltre ognuna di queste tre soglie si presenta come un evento unico e probabilmente irripetibile, per trattare con eventi del genere abbiamo bisogno di una pluralità di linguaggi, non solo un linguaggio che sappia parlare di eventi riproducibili e prevedibili (quello della fisica), ma anche un linguaggio che sappia investigare ciò che non si ripeterà più (cosmologia, geologia, biologia evolutiva).

Sarebbe interessante ripercorrere i tentativi con cui abbiamo cercato di costruire una scienza razionale della storia. Accenno solo ad un fatto che alcuni troveranno sorprendente. Nel 1600 erano compresenti due opposte concezioni: quella legata al letteralismo biblico che collocava la data della creazione attorno al 4000 a.c., e quella aristotelica che considerava la Terra esistente dall'eternità.

Potrà sembrare strano, almeno a chi pensa che fosse la Chiesa la massima rappresentante dell'oscurantismo antiscientifico, ma fu proprio contro l'idea di eternità che lottarono i primi scienziati che volevano stabilire delle basi razionali per una scienza storica. Per stabilire queste basi c'era bisogno di criteri che rendessero ogni momento della storia distintamente diverso da ogni altro, ovvio che fosse l'idea di eternità il principale nemico, poiché su una Terra eterna nessun evento può essere unico, tutto deve ripetersi di continuo, l'eternità distrugge la storia.

Ci vorrà ancora un secolo prima che l'idea di una Terra emersa dalla profondità del tempo si affermi e fino a fine 800 nessuno osava pensare ad una Terra più vecchia di 100 milioni di anni.

Ora abbiamo le idee un po' più chiare. Tutto cominciò circa 15 miliardi di anni fa, la Terra emerse dal cosmo circa 4,5 miliardi di anni fa, le prime forme di vita risalgono a tre miliardi di anni fa e la comparsa della coscienza ad un istante cosmico fa, forse 100.000 anni.

Cosa possiamo dire, e cosa no, su questi momenti cruciali della storia universale.

2.1 La comparsa del Tutto

Ho sognato che morivo e andavo in paradiso, e San Pietro mi conduceva alla presenza di Dio. E Dio diceva. "Lei probabilmente non si ricorda di me, ma io frequentai il suo corso di Meccanica quantistica a Berkeley nel 1947"

ROBERT SERBER

Un sogno attraversa la ricerca scientifica: il sogno, o l'incubo, di una teoria finale, una teoria che ci dia la *Risposta*. La risposta ai segreti dell'universo e della vita.

I ricercatori che più tenacemente perseguono questo obiettivo sono sicuramente i fisici delle particelle elementari. Tutti i loro sforzi sono concentrati nell'elaborazione di una Teoria di Grande Unificazione. Di questa teoria si sente parlare come Teoria del Tutto o Teoria di Ogni Cosa.

C'è dell'esagerazione. Per Grande Teoria Unificata si intende una teoria che dia una trattazione unitaria delle quattro interazioni esistenti in natura- la forza gravitazionale, quella elettromagnetica, l'interazione debole, già unificata con quella elettromagnetica, e l'interazione forte esistente all'interno dei nuclei degli atomi- che attualmente sono descritte da teorie diverse e, per certi versi, incompatibili (la relatività generale per la forza gravitazionale e la meccanica quantistica per le altre). Una simile teoria sarebbe quindi la teoria di tutte le forze e di tutte le particelle. Che poi tutto

ciò che esiste possa essere spiegato a partire dalle particelle elementari mi sembra corrisponda ad una concezione estremamente riduzionista del Tutto. Se fosse vera tutto quanto è accaduto e accadrà nell'universo era già stato scritto negli eventi iniziali, quando le particelle elementari si formarono. Una manna per i teorici del tempo statico.

Tuttavia anche se non Tutto certamente spiegherebbe parecchio di ciò che avvenne all'inizio, quando tutte le particelle ebbero origine. A questo evento iniziale si è dato il nome di big bang. Se è vera la teoria standard che descrive i primi istanti di vita dell'universo allora tutto l'universo era confinato in uno spazio ridottissimo ad una temperatura altissima, ed anche tutte le forze erano unificate in un'unica interazione. Insomma proprio il posto giusto in cui doveva valere la Grande Teoria Unificata.

Se avessimo una teoria del genere potremmo allora rispondere a domande del tipo: perché esistono particelle dotate di massa? E perché hanno proprio la massa che hanno? Domande che assomigliano al classico interrogativo perché esiste qualcosa e non il nulla? Che è lo stesso interrogativo che fa da sfondo al racconto della Creazione.

Qualche anno fa gli Stati Uniti intrapresero la costruzione del Supercollisore Superconduttivo, un superacceleratore di particelle che avrebbe potuto conferire alle particelle stesse energie altissime e ricostruire in piccolo le condizioni iniziali. Se l'attuale teoria è giusta e le energie raggiunte sufficienti, si sarebbe potuto scoprire la particella primordiale, il bosone di Higgs, quella che Leon Ledermann in un suo libro chiama la *particella di Dio*. Ledermann sembra dire: dateci 10 miliardi di dollari e noi vi daremo Dio, vi diremo esattamente come sono andate le cose dal primo secondo in poi, ma forse anche prima. Dio vale bene 10 miliardi di dollari. Il governo USA ha bocciato il progetto, credo che nessun fisico delle particelle abbia capito il perché, perché per loro gli acceleratori sono le nuove cattedrali e la fisica delle particelle la strada che porta diritto alla divinità. Un paio di citazioni tratte dal Nuovissimo testamento di Ledermann di cui il suo libro è cosparso:

Sia le cattedrali che gli acceleratori sono monumenti alla fede molto costosi. Entrambi promettono un elevamento spirituale e, pregando molto, la rivelazione.

E il Signore sospirò e disse: Orsù discendiamo e diamogli la particella di Dio così che possano vedere la bellezza dell'universo che ho creato.

Vedere la bellezza del mondo a partire da una particella?

Cosa intendono i fisici per bellezza?

Non è un aspetto secondario della ricerca. Le richieste di bellezza nei confronti di una teoria sono una guida potente, soprattutto in ambiti dove i progressi sperimentali si stanno già rivelando eccessivamente costosi per la comunità. Nel campo delle particelle elementari la bellezza è strettamente collegata con una proprietà matematica chiamata simmetria. Nessuna teoria che non sia caratterizzata dalla simmetria verrebbe presa in considerazione in questo ambito. Dire simmetria è come dire geometria.

Se la firma di un Dio che gioca a dadi è il caos, la firma di un Dio geometra è la simmetria. Questa firma è scritta sul nostro mondo? (Ian Stewart, *Terribili simmetrie*, Boringhieri, Torino 1995, pag.16).

Nessun dubbio. Se la teoria standard delle particelle elementari è vera, il Tutto è costruito con pochi mattoni elementari. Si potrebbe dire che Dio creò sei particelle leggere, sei particelle pesanti e quattro particelle messaggere, il tutto disposto in uno schema altamente simmetrico. Il 2 marzo 1995 è stato un giorno importante per la scienza, è stato il giorno in cui il Fermilab annunciò di aver 'visto' il topquark, l'ultima particella pesante che mancava all'appello. Dire *visto* è un eufemismo, naturalmente, non solo per le dimensioni della particella ma anche perché i quark sono particelle che non esistono allo stato individuale, si presentano solo a gruppi a costituire le altre particelle; ciò che è stato segnalato è la loro impronta digitale, come se li si fosse visti solo di schiena, per usare un'immagine biblica, o avvolti nella nebbia delle particelle che li contengono. Anche se è stato

rilevato solo nel 1995 nessun fisico dubitava che esistesse: un mondo con sei particelle leggere e cinque pesanti era un pugno in un occhio dal punto di vista della bellezza.

Una teoria unitaria delle particelle elementari è indispensabile per la cosmologia, per descrivere i processi che ebbero luogo nei primissimi istanti di vita dell'universo, ma è possibile che esista una barriera teorica del tempo all'indietro della quale non si possa andare. E' quanto previsto dalla cosmologia inflazionaria, oggi una delle teorie più accreditate. Questa teoria aggiunge una postilla decisiva alla normale teoria del big bang. L'espansione dell'universo non è andata sempre decelerando.

Ci fu un brevissimo istante (diciamo 10^{-35} sec. dal big bang), in cui l'universo subì una violenta espansione accelerata. A 10^{-30} sec questa espansione inflazionaria era già finita e poi l'espansione riprese a procedere decelerando. Un istante infinitesimo di accelerazione che risolve annosi problemi cosmologici, per esempio quello del perché l'universo sia lo stesso in qualsiasi direzione: il breve istante di accelerazione cosmica avrebbe appiattito qualsiasi irregolarità e l'espansione avrebbe raggiunto la stessa velocità in tutte le direzioni. Ma l'ottenimento di questa spiegazione ha un prezzo: non potremo mai saper com'era l'universo prima dell'era inflazionaria, poiché l'inflazione ha appiattito tutte le irregolarità. Non potremo mai accedere all'era di Planck, quella che dovette regnare sull'universo a 10^{-43} secondi dal suo inizio, l'era della Grande Unificazione in cui il Tutto era ancora indifferenziato.

La teoria inflazionaria porta con sé altre possibilità, per esempio che l'inflazione abbia la tendenza ad auto riprodursi. Esisterebbero allora universi-madre ed universi-figli in una intricata rete di universi-bolle autoriproducentesi dall'eternità. Noi ci troviamo per caso in un universo bolla in cui le costanti della fisica risultano favorevoli alla vita.

Non sfuggirà il fatto che il quadro di un universo inflazionario eterno non potrà mai essere verificato da nessuna osservazione dal momento che la velocità finita della luce ci pone un ben preciso limite fisico: nessuna informazione che si trovi oltre il nostro orizzonte (la distanza che la luce ha potuto coprire dall'inizio ad oggi) potrà mai giungere fino a noi. Noi non potremo mai sapere se oltre la nostra bolla-universo ne esistono altre.

A proposito di queste teorie John Horgan parla di scienza ironica e in questo proliferare di teorie che sfuggono a qualsiasi possibilità di verifica sperimentale vede il segno che probabilmente in cosmologia siamo arrivati vicini alle nostre possibilità ultime.

E' anche significativo che le teorie cosmologiche si appoggino su quelle delle particelle elementari. Secondo Steven Weinberg nello studio delle particelle elementari stiamo imparando qualcosa di molto, molto profondo circa la struttura logica dell'universo.

Una cosa però non impariamo certamente dallo studio delle singole particelle: i principi organizzativi che sono alla base della costruzione di strutture sempre più complesse a partire dai soliti mattoni elementari.

Sembra che per questi mattoni valga il principio: più siamo e meglio stiamo. Accade così che per strutture composte da molti di questi mattoni si manifestino realtà che per le singole particelle semplicemente non esistono.

Il tempo per esempio. Più gli oggetti sono semplici e meno sentono il passare del tempo, potremmo dire che le particelle elementari sono le primogenite del caos, i primi passi della creazione di ordine dal completo disordine. Si tratta di una realtà molto primitiva, dove non c'è una chiara distinzione tra lo spazio ed il tempo, dove tutti gli oggetti di un certo tipo sono assolutamente indistinguibili l'uno dall'altro: detto altrimenti visto un elettrone li hai visti tutti.

Ma quando un numero molto elevato di queste particelle si organizzano in strutture accade che in una maniera misteriosa faccia la sua comparsa il tempo con il suo caratteristico divenire e questo ci pone di fronte al grande mistero del mondo vivente: la vita che passa. Per la verità non tutti lo considerano un mistero. Einstein ad esempio riteneva che la freccia del tempo, cioè la percezione che il tempo ci segni in maniera irreversibile, sia solo la nostra illusione più tenace.

Ma una cosa è fuor di dubbio: la freccia del tempo è un problema che la fisica non è in grado di risolvere.[...] La fisica è l'arte di conversare con le pietre, e le pietre possono narrare favole straordinarie sul tempo di un universo

che è troppo estraneo, troppo vasto e inospitale per la vita. Ma la loro realtà non comprende il passare del tempo. Non è il caso di preoccuparsi: gli esseri umani possono narrare storie più interessanti e cantare canzoni più ricche di quanto non potrà mai fare l'universo delle pietre. (J.T. Fraser, *Il tempo: una presenza sconosciuta*, Feltrinelli, Milano 1991, pag. 282)

Forse Dio non è un geometra e neanche un matematico.

2.2 La comparsa della vita.

Nel 1859 comparve il libro di Darwin *'L'origine delle specie'* nel quale spiegava come le specie non fossero fisse ma potessero tramutarsi l'una nell'altra per effetto delle mutazioni casuali, che fornivano la materia prima su cui poteva agire la selezione naturale.

L'evoluzione è un fatto storico accertato e la teoria Darwiniana propone un buon modello interpretativo di questo fatto. Il problema è che il meccanismo darwiniano può intervenire solo una volta che la vita è cominciata.

Un creazionista furbo dovrebbe smetterla di attaccare la teoria dell'evoluzione e concentrarsi sull'anello di gran lunga più difficile da spiegare nella catena evolutiva: l'origine della vita.

Come ricostruire un evento unico e che probabilmente non si ripeterà mai più?

Alcuni pensano che la via da seguire sia quella di far girare delle equazioni su un calcolatore e vedere a quali risultati conducono certi modelli matematici. Ma la chimica non può limitarsi ad essere qualcosa di scritto sulla carta. Meglio allora i tentativi che all'inizio degli anni 50 fece un giovane chimico, Stanley Miller, il quale provocò scariche elettriche in un recipiente chiuso contenente quelle sostanze che si pensa formassero la primordiale atmosfera terrestre. Il risultato fu la produzione di amminoacidi, che sono i componenti base delle proteine, a loro volta materie prime fondamentali della vita. Sembrava il primo passo nella costruzione di una molecola autoreplicante da cui potesse aver avuto inizio la grande avventura dell'evoluzione. In 50 anni la via della sintesi chimica non ha registrato progressi, tanto più che le proteine non sono più considerate le migliori candidate al ruolo di molecole autoreplicanti come si credeva all'epoca di Miller.

Ora sappiamo che ogni essere vivente contiene nelle proprie cellule una molecola estremamente complessa, il DNA, che porta inciso il messaggio che serve per la costruzione dell'organismo stesso.

Come ha potuto un sistema del genere venire al mondo per la prima volta se ancora non c'era nessun organismo che potesse raccogliere le informazioni in esso codificate?

La difficoltà si può così descrivere: Il DNA contiene le informazioni per produrre le proteine di cui l'organismo vivente ha bisogno, tuttavia non può produrre copie di se stesso o altre proteine senza l'aiuto di speciali proteine catalitiche chiamate enzimi. Si ripropone il classico problema dell'uovo e della gallina: prima le proteine o il DNA?

Questo senza contare che già una 'semplice' molecola di proteina è talmente complessa che si può escludere la possibilità di una sua formazione casuale- del tipo mischia un po' di sostanze, scaldi il tutto e stai a vedere cosa succede- nel breve volgere di quattro miliardi di anni, per di più all'inizio non ci deve essere nemmeno stata una semplice proteina, ma un sistema estremamente più complesso, tanto da essere capace di replicarsi e di trasmettere l'informazione genetica.

J.T. Fraser dà una bellissima descrizione di questa molecola:

La molecola di DNA è un sistema dinamico di milioni di atomi. Si agita, vibra e oscilla senza sosta, muovendosi come se respirasse. [...]. Al museo della scienza di Boston ne è esposta una ricostruzione fatta di aste metalliche e palline di legno. E' larga circa un metro. Se fosse costruita in tutta la sua lunghezza misurerebbe un milione di chilometri. [...] Un buon modo per cercare di visualizzare la molecola reale del DNA è quello di sostituire mentalmente le barre di connessione del museo con delle molle. Immaginiamo poi di fare a pezzi le sfere (cioè le molecole) e di collegarne gli atomi con altre molle. E ancora ogni atomo deve avere una struttura nucleare e la sua nube di elettroni, tenuti insieme da altre molle. Immaginiamo di dare un bello strattone a questo strano marchingegno che si estende da Boston a un milione di chilometri verso l'alto, fare un passo indietro e stare a vedere cosa succede. [...] Ci sarebbero delle onde longitudinali che si muovono lungo l'asse della molecola, che si assottiglia e ingrossa ritmicamente come se fosse percorsa da onde di pressione. Questo sistema che frulla, ronzia, respira e danza rimane un unico orologio, al tempo stesso minuscolo e gigantesco, che porta il suo messaggio solo

finché le sue innumerevoli oscillazioni rimangono coerenti, coordinate in ogni istante in un presente organico. Contiene informazioni ereditarie non per quello che è, ma per quello che fa. Le informazioni non risiedono nella disposizione della struttura nello spazio, ma nel canto e nella danza che esegue. Come funzionano il canto e la danza?' (ivi pag. 144)

La situazione può effettivamente apparire disperante: la molecola autoreplicante su cui si basa il codice genetico di tutto ciò che vive è di una estrema complessità tanto da rendere pari a zero la probabilità di una sua formazione casuale, inoltre può autoreplicarsi solo con l'aiuto di quelle proteine che essa stessa dovrebbe produrre.

Non c'è da stupirsi se Francis Crick, lo scopritore della struttura del DNA e premio Nobel, abbia fatto l'ipotesi che i batteri siano giunti sulla terra miliardi di anni fa portati da una astronave di alieni. Più o meno la stessa ipotesi sostenuta da un famoso astrofisico: Fred Hoyle.

Questa soluzione si limita a spostare il problema dell'origine un po' più in là nell'universo, tuttavia bisogna stare attenti a non prendere troppo alla leggera gli argomenti di questi due scienziati, hanno avuto ragione troppe volte. Ma, se come sembra più probabile, la vita è nata sulla terra, allora i dati sembrano indicare che la vita non è affatto un evento estremamente delicato che per manifestarsi abbia avuto bisogno di condizioni particolarissime (quando apparve per la prima volta sulla terra l'ambiente terrestre doveva assomigliare da vicino all'inferno), e nemmeno che abbia avuto bisogno di tempi lunghissimi per manifestarsi, come avrebbe dovuto essere se fosse la conseguenza di eventi estremamente improbabili. La cosa sorprendente è che la vita sulla terra ebbe inizio non appena le condizioni fisiche lo permisero, come se ci fosse una inevitabilità chimica nella sua origine. Basta considerare il seguente cammino evolutivo: la terra si forma circa 4,5 miliardi di anni fa. All'inizio la temperatura è molto alta e la sua superficie è ancora allo stato fuso. Le prime rocce solidificano dalla fase liquida circa 3,8 miliardi di anni fa. Sono le rocce più antiche che si conoscano ma qui non c'è speranza di trovare tracce di vita poiché sono state sottoposte a temperature e pressioni altissime. Le rocce più antiche in cui sperare di trovare tracce di vita sono appena successive, risalgono a 3,6 miliardi di anni fa, e si trovano in Sudafrica ed in Australia. Ebbene in entrambi i depositi sono state trovate tracce di organismi unicellulari. Questa successione temporale dà un'indicazione precisa: il caso, con la sommatoria delle sue circostanze improbabili, non ha avuto il tempo di operare, c'è stata una inevitabilità chimica nella comparsa della vita. A meno che non abbia ragione Francis Crick.

La chimica è una delle branche della scienza che conosciamo meglio, eppure non abbiamo la più pallida idea dei meccanismi che furono alla base di questa inevitabilità. Certo non si può escludere vengano scoperti meccanismi completamente nuovi, sul tipo di una teoria evolutiva a livello prebiotico, in grado di spiegare il primo passo della vita, ma non è irragionevole o antiscientifico supporre che ci troviamo di fronte ad un limite ben preciso, può essere che il tentativo di ricostruire la sequenza di eventi che portarono al primo organismo vivente non possa essere ridotto ad un esercizio di chimica, di astronomia o di informatica, ma sia anche un problema di storia e può darsi che non ricostruiremo mai più l'esatta sequenza storica di quegli eventi, come sottolinea la biologa Lynn Margulis:

La vita è nata in condizioni ambientali complesse. Ci sono giorno e notte, inverno ed estate, variazioni di temperatura, variazioni di umidità. Si tratta di processi cumulativi storici. I sistemi biochimici sono effettivamente accumulazioni storiche. Quindi non credo che ci sarà mai una ricetta bell'e pronta per la vita: aggiungere acqua e mescolare, ed ecco la vita. (citaz. Da John Horgan, *La fine della scienza*, Adelphi, pag. 220)

Forse Lynn Margulis è pessimista, forse i limiti di carattere storico si potranno superare, in fin dei conti la biologia ha fatto passi giganteschi in brevissimo tempo, ed a questi passi hanno dato un contributo decisivo fisici come Francis Crick e Max Delbrück. La buona notizia è che i fisici potrebbero portare nella biologia i metodi e la precisione della fisica, la cattiva notizia è che la fisica ha subito l'onda d'urto della meccanica quantistica e si ritrova non determinista. Erwin Schrödinger, padre della meccanica quantistica, al termine della carriera ha scritto l'importante libro *Che cos'è la vita?* che ha influenzato la generazione successiva di biologi molecolari, e Niels Bohr

ha esteso alla biologia la lezione che si può trarre dalla meccanica quantistica. Secondo Bohr non sono solo gli oggetti atomici ad essere intrinsecamente indeterminati, la stessa incompletezza si ritrova in tutte quelle situazioni che possono essere descritte solo con spiegazioni complementari ed irriducibili.

Così è per la vita, dove ogni dispositivo che pretenda di descrivere nei dettagli un organismo vivente è incompatibile con il mantenimento in vita dell'organismo stesso, la vita può essere studiata solo rinunciando a spiegarla troppo nei dettagli.

“In ogni esperimento eseguito su degli organismi viventi va lasciata una certa indeterminatezza alle condizioni fisiche cui quegli organi sono sottoposti, e tutto induce a ritenere che la libertà minima che si è così venuti a concedere all'organismo sia in ogni caso sufficiente a permettergli di nasconderci, per così dire, il suo segreto. Da questo punto di vista la mera esistenza della vita andrebbe considerata in biologia come un fatto elementare, allo stesso modo come in fisica atomica l'esistenza del quanto d'azione va accettata come un dato primario non derivabile dalla meccanica ordinaria. In effetti, l'essenziale impossibilità di un'analisi di tipo meccanico della stabilità atomica presenta una stretta analogia con l'impossibilità di una interpretazione fisica o chimica delle peculiari funzioni che caratterizzano la vita.” (Niels Bohr, *I quanti e la vita*, Boringhieri, Torino 1974, pag. 33)

2.3 La comparsa della coscienza

Gli anni 90 del XX sec. sono stati definiti il 'decennio del cervello'. Le scienze cognitive hanno avuto uno sviluppo esponenziale. Loro obiettivo cercare di capire come il nostro cervello sia strutturato e funzioni ora. Il problema evolutivo non le riguarda e viene lasciato alla geologia, alla paleontologia e alla biologia evolutiva, scienze in cui la storia entra in maniera decisiva.

Non si può fare a meno di notare come il tempo e la storia compaiano in queste scienze in maniera radicalmente diversa rispetto alla fisica. Il tempo di cui si occupa la fisica manca di direzionalità, addirittura gli oggetti più semplici, e ritenuti fondamentali, di cui si occupa la fisica non conoscono l'azione del tempo: sono sempre identici a se stessi (elettroni, protoni) o vivono in un mondo atemporale (fotoni). Il nostro pianeta ha conosciuto la storia solo con l'inizio dell'evoluzione: una nuova forma di percezione del tempo era cominciata, quella che sfocerà nella coscienza e nella capacità di ricordare.

Queste due diverse percezioni del tempo si traducono in due metafore entrambe necessarie alla vita: il tempo ciclico e ripetitivo ed il tempo lineare della storia. Charles Darwin lo intuì benissimo chiudendo *l'Origine delle specie* con queste parole:

Vi è qualcosa di grandioso in questa concezione della vita....e nel fatto che, mentre il nostro pianeta ha continuato a ruotare secondo l'immutabile legge di gravità, da un così semplice inizio innumerevoli forme, bellissime e meravigliose, si sono evolute e continuano a evolversi.

Da una parte la legge di gravità che conferisce stabilità e certezza al nostro mondo, dall'altra la storia, con tutti i suoi eventi unici e spesso accidentali, che può tuttavia svilupparsi solo sul sottostante substrato di stabilità.

Si è detto che la storia cominciò, non si sa come, con una molecola di DNA. Questa molecola, oltre che trasmettere informazioni danzando, è anche un orologio danzante. I genetisti hanno calcolato che il ritmo delle mutazioni casuali tende a rimanere costante sui tempi lunghi. Tante mutazioni ogni milione d'anni. E' una costanza statistica, ma abbastanza precisa da poter essere utilizzata come orologio biologico e determinare quando si verificarono certi cambiamenti evolutivi. Su questo orologio si possono leggere alcune date interessanti. Sette milioni di anni fa un nostro antenato si differenziò dalla linea dei primati che ci è più vicina, quella degli scimpanzé. Una lunga serie di predecessori appartenenti alla specie australopithecini e *homo*, prima *habilis* e poi *erectus*, ci separano da quell'antenato. Un nuovo balzo verso la complessità crescente si verificò con la comparsa di *homo sapiens* prima e poi di *homo sapiens sapiens*.

Un problema che si pone spesso studiando l'evoluzione è quello di capire come si sia formato un nuovo organo senza antecedenti apparenti, in che modo certi organi possono cambiare posizione e funzione senza distruggere l'integrità di un animale come organismo funzionante?

Qui il caso è più semplice di quello dell'uovo e della gallina. La chiave dell'enigma va ricercata nelle modalità multiple e nel doppio uso. Una tesi cara a Stephen Jay Gould è che se i vari organismi fossero stati costruiti in maniera perfetta e il loro disegno organico fosse stato ottimale, con organi perfettamente progettati per svolgere precisamente quella funzione per la quale erano stati progettati, l'evoluzione si sarebbe fermata a livello dei batteri. L'evoluzione comporta creatività e le parole d'ordine della creatività sono imprecisione, cattivo adattamento, bizzarria e soprattutto ridondanza. Come si potrà creare qualcosa di originale? Quel che ci occorre è un meccanismo di reclutamento e di mutamento di funzione:

Non sempre l'evoluzione opera sviluppando un rudimento. A volte prende una struttura funzionante perfettamente in un tipo di compito per assegnarla ad un uso diverso. Se ogni organo avesse una sola funzione (eseguita con perfezione assoluta), l'evoluzione non genererebbe strutture complesse, e i batteri sarebbero ancora i signori della Terra. Gli organismi complessi esistono grazie all'imprecisione, alla molteplicità d'uso e alla ridondanza. (S.J. Gould, Otto piccoli porcellini, Bompiani, pag. 111)

Più i caratteri sono complessi e più devono contenere in sé molte possibilità:

L'evoluzione acquista la flessibilità di cui ha bisogno grazie al disordine, alla ridondanza e alla mancanza di un adattamento perfetto. La creatività umana non è diversa, giacché penso che stiamo occupandoci di un'asserzione sulla natura stessa dell'organizzazione: qualcosa di così generale che deve potersi applicare a qualsiasi caso particolare....La ridondanza, e il suo corrispettivo dell'ambiguità in significati multipli, sono il nostro modo di essere, il più prezioso, il più umano. (ibid. pag. 134)

E' importante rendersi conto che il nostro corpo e la nostra mente sono il risultato di adattamenti a problemi ambientali che si presentarono in un lontano passato e che le soluzioni adattative non sono mai le più efficienti in assoluto, perché l'evoluzione deve operare sul materiale che ha già a sua disposizione e non può riprogettare sempre tutto daccapo. Ricordiamocene quando abbiamo il mal di schiena. Il nostro corpo si è sviluppato da un antenato quadrupede e l'evoluzione ha fatto quel che ha potuto, con il materiale a disposizione, per farci camminare su due gambe. Questo vale anche per la nostra mente, non ci dovremmo troppo meravigliare se il cervello umano non risultasse sufficientemente complesso per capire la complessità dell'universo, sarebbe un limite impostoci dalla nostra storia evolutiva: il nostro cervello si è strutturato morfologicamente e funzionalmente attraverso processi selettivi di natura darwiniana e le prestazioni conoscitive che esso può dare dipendono dai processi e dai meccanismi biologici che avvengono in esso. Jean Pierre Changeaux, un neurofisiologo, dialogando con Paul Ricoeur sostiene efficacemente l'idea che solo tenendo conto di questi meccanismi biologici si potrebbero impostare correttamente molte classiche problematiche filosofiche. In fin dei conti il nostro cervello non si è evoluto per consentirci di capire Tutto: dalle particelle elementari, alla nascita dell'universo ed al suo destino ultimo. Ciò che ne ha determinato lo sviluppo è stato qualcosa di molto più modesto, esso ha garantito ai nostri lontanissimi progenitori un vantaggio selettivo nella difficile pratica di sopravvivere in un ambiente ostile. Che poi alla lunga ci abbia consentito anche di elaborare complicatissime strutture matematiche tali da rappresentare lo stesso mondo che ci ha originato, questo è un effetto collaterale, un sottoprodotto di quel vantaggio selettivo che ci ha assicurato la sopravvivenza. Mi sembra appropriato concludere con gli stessi interrogativi con cui S.J. Gould conclude un suo saggio:

Perché siamo così mediocri in un gran numero di operazioni mentali? Perché nella nostra attività di classificazione usiamo la tecnica deplorabilmente inadeguata della dicotomia? Perché non siamo neppure in grado di concepire l'infinito e l'eternità? I limiti del nostro pensiero cosmologico attuale consistono in un difetto di dati o in una proprietà della mente che non ci consente l'accesso a tipi di risposta più fecondi? (S.J.Gould ibid. pag. 424)