

Due statuti epistemologici a confronto: fisica e biologia

Nicola Dallaporta

Fino a poco fa, quale eredità dell'Ottocento, si sarebbe parlato di un unico statuto epistemologico, con due diverse appendici eventuali: quello della Scienza, con caratteristiche ben precise che ancora, all'inizio del secolo, veniva considerato chiaro e indiscutibile.

Quest'unico statuto, basato essenzialmente sulla fisica, era costituito dalle leggi della meccanica classica, considerate fondamentali, e s'impernava interamente sul determinismo.

Stessa posizione per le leggi dell'elettrologia.

Le forze, gravitazionali ed elettromagnetiche, erano viste come campi.

Struttura atomica, gradatamente elaborata, ridotta inizialmente a sole palline.

Ciò imponeva, per un gas la trattazione di sistemi a molti corpi, e si faceva applicando al moto delle palline la pura casualità.

Pertanto: necessità e caso.

Visione filosofica: leggi fisiche di base

universali sempre uguali; quadro volutamente semplificato che astraeva dalle imperfezioni sperimentali e dai disturbi casuali di fondo.

Appendice speciale per la biologia:

interamente basata sul darwinismo (o neodarwinismo), combinazione di caso (mutazioni casuali del gene) e necessità (selezione naturale dell'ambiente).

Tale visione viene sconvolta dalla fisica del XX° secolo: due tappe principali.

- 1) Meccanica quantistica che mette in crisi il determinismo a livello microscopico, e lo sostituisce con una nuova forma di casualità, non più dovuta ai molti corpi, ma inerente alle singole particelle ed onde.
- 2) La complessità: che col caos deterministico mette in crisi il determinismo ad ogni livello, anche macroscopico; e colla considerazione delle strutture complesse, capovolge la visuale della scienza: la complessità che porta alla non-prevedibilità ed alle strutture non analizzabili è la regola, le grandi leggi semplici (gravitazione) un'eccezione che si manifesta solo nei rari casi, quando i disturbi sono pochi o piccoli (leggi astronomiche del sistema solare). Pertanto la complessità, base della biologia, diventa il paradigma principale, mentre le grandi leggi universali ideologiche sono difficilmente riscontrabili in pratica fuorché nei casi suddetti.

Da questo punto, si potrebbe tentare di tracciare i due statuti epistemologici richiesti: la possibilità più semplice consisterebbe nel basarsi sulle attuali constatazioni sperimentali, e sui collegamenti teorici più accettati.

Personalmente, la mia linea di ricerca è stata spesso diversa, col cercare di tutto ricondurre ad una qualche idea unificante. Dovendo ognuno di noi presentare un quadro personale del tema, mi sarebbe difficile fare diversamente e non tentare di tutto impostare in funzione di tale possibile unificazione.

La seconda mia caratteristica personale è di ricondurremi sempre alla visione tradizionale, essenzialmente metafisica, che giace a monte del cosmo; se le leggi metafisiche sono la struttura della Realtà, non è pensabile che la scienza non vi si possa adeguare. La mia visione è pertanto basata sui pochi versetti iniziali della Genesi, nei quali l'atto creativo si presenta come risultato della bipolarizzazione dell'Essere: da un lato in un aspetto di substrato sostanziale, informe, incontaminato e passivo, "la terra, informe e vuota colle tenebre che coprivano la faccia dell'abisso"; e dall'altro, l'aspetto complementare, l'essenza, ovvero "lo Spirito di Dio, che aleggiava sulla superficie delle acque", e colla sua indiretta azione, plasmatrice, formativa, imprimeva la "forma" alla "materia" sottogiacente del substrato mentre ne

tirava fuori gradatamente il cosmo. La mia visione del mondo fisico è quindi interamente fondata sul dualismo tra “materia o sostanza di base” su cui agisce “l’essenza formativa” che inciderà nel mondo le proprie caratteristiche.

La prima grande distinzione da fare nell’ambito corporeo è tra quanto spetta alla “sostanza” e quanto spetta alla “essenza”. La sostanza non è la “materia prima” di san Tommaso, totalmente non-manifestata e non-manifestabile, bensì la “materia secunda” substrato del nostro mondo. Questa neppure coincide colla “materia dei fisici”, che è un miscuglio di aspetti sostanziali ed essenziali. La caratteristica basilare che specifica la “materia secunda” è la sua “quantificabilità”, che consente di sottoporla al “numero” e alla “misura”. Se tale specifica era sufficiente nel passato (come risulta dagli autori che l’hanno formulata) non è oggi bastante per il minimo di aspetti irrinunciabili da attribuirle. Nella visione della fisica classica odierna essa non è pensabile senza attribuirle quel tanto di energia cinetica (o termica) disordinata, in quanto mai si presenta in fisica allo zero assoluto, ma sempre dotata primordialmente d’un certo quantitativo di tale energia, che di per sé costituisce il “caos” informe che la contrassegna. Se poi ciò basta per la fisica classica, non è sufficiente per caratterizzare la “sostanza” della fisica quantistica. Si può facilmente venire indotti a pensare che tutti i paradossi del mondo quantistico sono inerenti al caos microscopico della materia secunda primordiale, caos che si specifica basilamente nel cosiddetto “principio di sovrapposizione” degli stati quantistici, per cui uno “stato” di tale materia non è mai uno stato puro, ma può sempre scomporsi in un’infinità di stati sovrapposti (ad esempio lo stato che descrive la posizione di una particella è la somma di infiniti stati corrispondenti a vari valori della quantità di moto o dell’energia, e la misura dell’energia compiuta sulla particella costringe questa a saltare in uno degli stati energetici “a caso”). Tale incomprensibile logica della fisica quantistica (per la quale si spandono tuttora fiumi d’inchiostro senza averne ancora ricavato un gran ché), altro non sarebbe che un’ulteriore espressione del “caos primordiale” inerente alla materia, prima del “Fiat Lux”. In tale modo “caos”, “disordine”, “casualità”, che si manifestano nel creato altro non sarebbero che il residuo del “tohu e bohu” primordiale, non ancora riordinato dallo “Spirito di Dio” che da tale caos tirerà fuori le forme. Questo sarebbe quanto espresso tra l’altro nel mito del “drago primigenio” che viene domato dall’eroe luminoso solare in tutte le leggende della creazione.

Questa impostazione avrebbe il merito di completamente separare il “caso” inerente alla “materia secunda” e pertanto agli aspetti primordiali di “Dio non-manifestato” e totalmente indeterminato (Dio come tenebra insondabile, Brahma nirguna nell’induismo). Il “caso” o il “caos” è del tutto estraneo al Dio-luce, che si manifesta attraverso le sole “essenze”, dalle quali nascono le leggi sia fisiche che biologiche.

Il modo di vedere gli aspetti essenziali divini è funzione dell’intelligenza umana che li coglie; ed a seconda del suo grado di sviluppo e di approfondimento essa può vedere tali aspetti essenziali a livelli e profondità diverse. Ciò fa sì che ci sono, per noi, almeno due visuali essenziali, quella classica e quella quantistica, ognuna delle quali prevale nel campo che le compete.

Un’altra distinzione importante, come è facile constatare, sta nel fatto che le “forme essenziali”, molto numerose in quanto traducono i vari modi in cui l’intelligenza umana coglie le modalità dell’Intelligenza divina, possono sistemarsi in un’ampia graduatoria di crescente complessità ed ampiezza di coinvolgimento. Ne segue che per presentare questo quadro conviene suddividerlo nei suoi vari livelli, cominciando dai più elementari e salendo gradatamente sempre più in su. Ed è proprio in questa scalata gerarchica che ad un dato punto si potranno distinguere gli aspetti caratteristici delle varie scienze.

Per presentare un quadro quanto mai ridotto al nocciolo, diremo che nell’ambito della fisica classica il primo livello di parametri essenziali comprende la definizione delle stesse grandezze fisiche che si decide di misurare (coordinate, quantità di moto, energie, ecc.) il cui insieme definisce ciò che chiamerei la “corporeità” (da non confondersi con la “sostanzialità”); sono “corpi” cioè quelle entità per cui le grandezze fisiche che li definiscono risultano misurabili. In fisica classica, tutte le grandezze così definite, primo livello delle essenze, sono tra loro “compatibili”, nel senso che la misura dell’una non influisce su quella dell’altra. Non così in fisica quantistica, dove la misura di certe grandezze inibisce quella di certe altre; donde il tipico indeterminismo di questa scienza. Senza qui avere il tempo di addentrarmi, questo indeterminismo non è effetto della misura, come talvolta si pensa (influenza dell’osservatore sul fenomeno), ma è inerente al “principio di sovrapposizione” che contrassegna gli stati del substrato. L’incompatibilità delle misure di certe grandezze non fa che tradurre la “casualità” inerente alla natura del substrato sostanziale, e non dipende, a parer mio, dall’atto della misura e dall’intervento dell’osservatore.

Se vogliamo ora passare al livello successivo di relazioni essenziali, ci troviamo di fronte alla constatazione (empirica) di relazioni (per lo più quantitative) tra le grandezze di livello elementare di poco fa. Queste ovviamente altro non sono

che le comuni leggi della fisica, che collegano tra loro queste grandezze. Ed anche qui, come nel caso precedente, sarà bene distinguere tra leggi classiche e leggi quantistiche.

A cominciare dalle prime, le grandezze che in esse figurano sono considerate come implicitamente dipendenti da quattro grandezze principali, chiamate dimensioni, scelte generalmente come lunghezza, tempo, masse e carica elettrica. La messa in evidenza del carattere essenziale delle relazioni a questo livello è strettamente legata alla scelta delle grandezze considerate fondamentali.

La fundamentalità della massa o della carica elettrica dipende dal fatto che le concepiamo come “quantità di materia” o “quantità di elettricità”; ciò che mette principalmente in luce l’aspetto “sostanziale” delle “quantità” inerenti alla “materia secunda”. E tale auspicata fundamentalità imprime alla massa una certa equivocità di funzione; infatti, nella legge base della dinamica $f=ma$, il ruolo della massa è di inerzia: tanto maggiore la massa, tanto minore l’accelerazione dovuta ad una forza data. Viceversa, nella legge della gravitazione $f=kmm'/r^2$, la massa ha un ruolo attivo di sorgente creatrice della forza. Vedere nella massa la sorgente della forza è l’origine stessa del materialismo, perché una massa attiva da sé fa tutto, e non c’è bisogno d’altro per il funzionamento del mondo (idem mutatis mutandis per la carica elettrica).

L’aspetto essenziale invece delle relative leggi fisiche si mette in luce uniformando la massa ad un solo ruolo, quello passivo di inerzia; la fonte delle azioni fisiche non è la massa (o la carica) ma la forza, che non è intrinseca alla materia, cioè creata dalla materia, ma estrinseca, imposta alla materia dall’alto, da un livello superiore, e che se mai la massa ostacola nelle sue azioni. In altre parole, la sorgente delle azioni fisiche è avulsa dalla materia, e viene imposta dall’alto nella gerarchia dei livelli; ed è tale che tutto avviene in modo da realizzare sul piano corporeo la legge di Newton, la quale però non è più “causa” del moto ma un requisito “estetico” imposto come condizione per la “bellezza” dei risultati, affinché il mondo vada nel modo in cui di fatto va. Sotto tale interpretazione, la fisica traduce esattamente l’idea medievale degli “angeli” che muovono dall’alto le sfere cosmiche, affinché il mondo funzioni in un certo modo; e cioè all’idea di “causa” si sostituisce l’idea di “finalità”. Nelle relazioni tra le grandezze, nulla è cambiato, ma la visione è capovolta: non è più la materia che muove il mondo, bensì tanto la materia quanto il mondo vengono mossi dall’alto, la legge fisica essendo una “essenza”, una “idea” in senso platonico, tanto per dire, che l’Intelligenza plasmatrice impone.

Con poche modifiche (su cui non mi soffermo) la stessa trasformazione si attua passando dalla descrizione newtoniana a quella della relatività generale, in cui è in gioco la “curvatura spazio-temporale” anziché la forza.

Ed ugualmente senza dilungarmi, è facile capire come dal quadro della forza si passa a quello del campo $F=km/r^2$, che rende indipendente la considerazione del “campo” imposto dall’alto, dalla massa m' su cui agisce.

La visione completa s’illustra meglio col campo elettromagnetico che non con quello gravitazionale; la relazione tra cariche elettriche e campo è bene rappresentata da una partita a tennis. I giocatori, che sono le cariche, si lanciano dall’uno all’altro le palle, che sono il campo. Ed è questo palleggio del campo tra i giocatori che crea l’interazione (indiretta tramite le palle ma che sembra diretta tra i giocatori) manifestantesi come forza elettrostatica di Coulomb (visione materializzante). Ma viceversa, se si mette l’accento sulle palle, tutta la partita altro non è che un insieme di palle che rimbalzano dall’uno all’altro dei giocatori i quali ogni tanto le deviano. Ma il gioco tra le palle può fare anche a meno dei giocatori, ed allora sono le palle che giocano solo colle palle: il campo elettrico variabile crea il campo magnetico pure variabile, e il campo magnetico ricrea il campo elettrico, senza più bisogno dei giocatori: visione essenziale che dà tutto il peso al campo e corrisponde alla luce pura, senza più interazioni colla materia. Questo quadro idealizzato è quello che permette di distinguere i vari livelli essenziali, il livello del puro campo essendo più alto, e quello delle cariche ad esso sottogiacente. Le equazioni di Maxwell, nell’ambito della sola fisica classica, sono l’espressione più alta dell’Intelligenza che ha concepito il mondo classico della fisica ed il livello massimo delle sue essenze.

Il passaggio dalla visione classica a quella quantistica è molto facilitato dal fatto che questa si è presentata in tre diverse forme successive: matrici di Heisenberg, onde di Schrödinger, vettori hilbertiani di Dirac.

Per quanto riguarda la prima, si può dire che essa riflette esattamente l’impostazione classica, se non che le grandezze classiche sono ora diventate “operatori”, rappresentabili con matrici. E la differenza essenziale sta nelle regole di non-commutazione cui sono soggetti gli operatori. Come si sa, l’introduzione di tali regole può avvenire in modo puramente matematico formale sostituendo con queste le cosiddette “parentesi di Poisson”. Per tale ragione si può dire, dal punto di vista fisico, che esse costituiscono un postulato a sé, la cui introduzione, elemento nuovo, è giustificata dalla perfetta coincidenza che ne deriva coi dati sperimentali. Come risulterà più avanti, le regole di non-commutazione, imposte alle grandezze fisiche, costituiscono il terzo livello della visione essenziale, e sono un approfondimento ulteriore di tale realtà.

Inizialmente le grandezze-operatori erano tutte collegate con osservabili corpuscolari (posizioni, quantità di moto, energie particellari...). Con Heisenberg, si procede pure alla quantizzazione del campo elettromagnetico; sono le ampiezze delle onde del campo ad essere quantizzate, i quanti di campo emessi ed assorbiti essendo i fotoni. Ormai, grandezze particellari e campi diventano tutti operatori.

La seconda versione della fisica quantistica, di Schrödinger, riveste un equivoco che essa da sola non risolve: che cosa è la funzione d'onda, la Ψ ? Ci sono due possibili risposte: 1) in quanto le onde associate al moto di una particella hanno di fatto una realtà fisica, la ψ (minuscola) rappresenta tali onde, e come tale è dotata di fisica realtà; 2) d'altronde, l'interpretazione probabilistica di $|\Psi|^2$ come probabilità di presenza della particella fa pensare che la Ψ (maiuscola) sia un ente puramente matematico.

L'equivoco si risolve solo mediante la terza visione, di Dirac, e risulta dal fatto che nei problemi con una particella sola, ci sono due identiche equazioni di Schrödinger di cui l'una è soddisfatta dalla ψ fisica e l'altra dalla Ψ matematica. Queste due equazioni, confuse nel caso di una particella, si differenziano formalmente nei problemi a più particelle. Cercheremo di brevemente approfondire questo punto.

Se, secondo la prima alternativa, la ψ rappresenta l'aspetto ondulatorio dell'ente particellare (elettroni), allora il campo ψ è della stessa natura del campo elettromagnetico. Con questo, esso va quantizzato, ogni quanto del campo rappresentante un solo elettrone (come per il campo elettromagnetico ogni quanto è un fotone). La natura quantistica esige anche per il campo particellare elettronico, e così per tutte le particelle con spin mezzo intero, relazioni equivalenti alle relazioni di non-commutazione del campo elettromagnetico e dei campi a spin intero: esse sono le cosiddette relazioni di anticommutazione. L'insieme delle relazioni di non-commutazione (per particelle a spin intero) e di anticommutazione (per particelle a spin mezzo intero) costituisce il terzo livello di approfondimento della visione essenziale del mondo fisico.

Tutto questo costituisce ciò che vorrei chiamare il lato deterministico della meccanica quantistica, in quanto il moto comandato dalla equazione di Schrödinger, da quella di Dirac per elettroni relativistici, e da quelle di Maxwell per il campo elettromagnetico, obbedisce di fatto a tutti i crismi del determinismo. Ma vi è inoltre un aspetto non deterministico della teoria che costituisce la base concettuale della terza impostazione di Dirac, la quale nel cosiddetto spazio hilbertiano rappresenta mediante vettori hilbertiani gli "stati" del mondo quantistico Ψ , che fanno per noi parte del substrato sostanziale della "materia secunda", e che sono soggetti al "principio di sovrapposizione"; questi vettori-stato non fanno quindi parte del dominio degli aspetti essenziali, ma sono enti matematici colla sola funzione di rappresentare i giochi del principio di sovrapposizione, e pertanto di calcolare le probabilità di un certo trapasso da uno stato all'altro; trapasso non deterministico, ma "casuale". Gli operatori essenziali, siano essi particellari o di campo, (relativi a fotoni ed elettroni) agiscono sulle funzioni di Hilbert degli stati e le trasformano l'una nell'altra (in modo puramente casuale). E tale operazione si esprime mediante un altro tipo di equazione di Schrödinger in cui le incognite sono le probabilità degli stati, e pertanto enti matematici. Solo per i problemi ad una particella le due equazioni di Schrödinger formalmente coincidono, ma le loro soluzioni, sia pure uguali, conducono a risultati che riguardano entità (ψ fisica e Ψ matematica) totalmente diverse.

Nella visione di Hilbert, le relazioni di non-commutazione e di anticommutazione degli operatori possono esprimersi come condizioni matematiche imposte alle funzioni di stato. Per enti a spin intero, la funzione di stato relativa ad un insieme di n particelle deve risultare totalmente simmetrica per lo scambio di due particelle qualunque; per campi a spin mezzo intero, essa invece deve essere totalmente antisimmetrica per lo stesso scambio. Il principio di Pauli che così viene in luce rappresenta al punto di vista essenziale una "idea" interamente nuova (a livello delle non-commutazioni), pregiudiziale e non a priori prevedibile per quanto concerne la struttura dell'atomo.

Fin qui, lo statuto epistemologico può dirsi uno solo, quello della scienza, che nondimeno di può, se si vuole, attribuire alla sola fisica, in quanto gli aspetti e gli esempi fin qui addotti, riferendosi sempre a situazioni relativamente semplici, sono proprio tipici della fisica. Con un ulteriore approfondimento della visione scientifica, questo unico statuto potrà suddividersi nei due principali che ne derivano, di fisica e di biologia, in funzione dei nuovi problemi che si presenteranno.

Per quanto concerne la fisica, è presto detto, in quanto essa si è gettata a capofitto verso lo studio del sempre più piccolo, e cioè la subatomicità. Le indagini spinte verso l'interpretazione delle sempre più alte energie hanno messo in evidenza un'intera giungla di nuovi stati particellari, instabili nelle nostre presenti condizioni. Il problema era di capire il perché di tutta questa giungla.

La linea che oggi viene adottata è quella della ricerca delle "simmetrie", che in sostanza riprendono e generalizzano ad altri spazi matematici l'idea del principio di Pauli. Questo principio, come s'è visto, si può considerare come un'ulteriore "idea" imposta dall'alto sulle essenze elementari, sottoponendole a requisiti cui da sole non soddisferebbero. E tale idea, come si è visto in quel caso, si esplicita praticamente in un "archetipo" il principio di Pauli,

per cui ad esempio un insieme di elettroni può organizzarsi in atomi di azoto e di ossigeno, ma mai in qualcosa che corrisponda ad una struttura miscelata tra azoto ed ossigeno. Così, le “simmetrie” che giocano su spazi matematici interni del mondo particellare (spazio dello spin isotopico, della stranezza, della parità, ecc.) consentono di prevedere e di ordinare a priori certe famiglie di particelle, e non altre.

Un’ulteriore caratteristica delle simmetrie è che col crescere dell’energia le costanti delle tre interazioni fondamentali, forte, elettromagnetica e debole, tendono ad avvicinarsi tra loro; si fondono ed unificano tra loro (sui 100-200 *Gev*) prima le interazioni deboli ed elettromagnetiche, per divenire l’interazione elettrodebole; si prevede che ad altissime energie (10^{15} *Gev*), zone che mai saranno accessibili sperimentalmente, anche le interazioni forti si unificheranno colle altre, per formare una grande simmetria totale (GUT, great unification theory) la quale, nelle condizioni in cui fosse applicabile, ridurrebbe il cosmo intero ad una completa uniformità. Tutta la ricchezza e la bellezza del mondo non dipende quindi dalla perfezione delle simmetrie sottogiacenti, bensì al contrario dalle rotture delle simmetrie che avvengono ad energie più basse e per varie ragioni che si stanno ancora individuando. Senza la rottura delle simmetrie come condizione per differenziare il mondo, la ricchezza e la varietà nella natura non esisterebbero.

In questo senso, anche la rottura delle simmetrie prelude ad avviare il mondo verso la complessità. Ma quando, oltre a questa, subentra anche la vera complessità, quello che oggi è chiamata tale, allora si sviluppa un altro regno di entità, di cui l’apice di complessificazione è costituito dal mondo dei viventi. Ed è a tal punto che sullo statuto epistemologico della fisica si innesta lo statuto epistemologico della biologia.

A dir il vero, l’insieme dei fenomeni che oggi va sotto il nome generico di complessità, lungi dal costituire un apporto omogeneo alla scienza, è formato da molti rivoli distinti, ognuno dei quali si riferisce a capitoli diversi del quadro complessivo scientifico. In vista di una presentazione che miri ad una sintesi epistemologica, sarà qui conveniente affermare che possiamo, in una prima approssimazione, dividere le situazioni in cui gioca la complessità e gli effetti ch’essa produce in due grandi correnti distinte, di cui la prima, che possiamo chiamare la complessità dinamica, ha per conseguenza principale il fallimento del determinismo e della completa prevedibilità dei fenomeni fisici, non più solo a livello microscopico, ma pure a tutti i livelli macroscopici possibili. Sono quindi gli effetti di questa complessità dinamica a capovolgere lo statuto epistemologico della scienza in genere e in particolare quello della fisica attuale rispetto a quello della fisica ottocentesca.

Come è noto, questa prima rivoluzione è dovuta al fatto che, nella sua ansia di pervenire a leggi semplici ed universali, la fisica d’un tempo tendeva ad eliminare come disturbi insignificanti tutte le azioni secondarie, di modo che tutte le espressioni fondamentali della meccanica ed elettrologia divenissero lineari e le loro soluzioni rivestissero un aspetto deterministico. Ma non appena si tenne conto non solo delle azioni principali ma di tutte le interazioni secondarie, le equazioni vere, per le quali questi disturbi secondari non sono mai assenti, diventano non-lineari, e non danno luogo a soluzioni d’universale validità, ma fortemente dipendenti dalle condizioni, sovente quelle iniziali, del problema; in modo tale per cui una variazione praticamente infinitesima di tali condizioni può condurre a soluzioni asintoticamente divergenti in modo esponenziale l’una dall’altra. E il fatto che, fisicamente ed umanamente parlando, tali condizioni iniziali non siano precisabili oltre certi limiti, conduce alla non conoscenza e non prevedibilità delle soluzioni vere, non di quelle idealmente spogliate da tutte le loro piccole perturbazioni, ma di quelle reali che non possono non includerle. La situazione cui in tal modo approda ciò che era la fisica classica va oggi sotto il nome di caos deterministico, e conduce appunto al caos nella descrizione dei moti fisici, pur in teoria regolati da equazioni che deterministiche sarebbero. Solo fenomeni relativamente eccezionali quali quelli astronomici del sistema solare, in cui le perturbazioni secondarie sono minuscole rispetto alle azioni principali, hanno potuto di fatto alimentare e apparentemente convalidare l’idea deterministica. Ma oggi, sappiamo che in tutta la fisica ci sono solo due casi di problemi rigorosamente deterministici: il pendolo (oscillatore armonico) ed il problema newtoniano dei due corpi (terra-sole), e questo solo se isolati da tutto il resto del cosmo, il che è ovviamente impossibile.

La conclusione brevemente riassunta è che oggi lo statuto epistemologico della fisica macroscopica è quello della non-prevedibilità e del caos deterministico. La filosofia della natura nel mondo fisico risulta con ciò capovolta rispetto all’Ottocento. Per non allargare il campo smoderatamente, rinuncio a delineare alcune conseguenze, per passare subito al secondo genere di complessità, non più di origine dinamica, ma che si manifesta nei sistemi contenenti un numero stragrande di componenti; e data l’enormità di casi eterogenei che rientrano in questa categoria, mi limiterò qui a considerare le situazioni che sono alla base di quei sistemi più complicati tra tutti quelli possibili, e che aprono il capitolo particolare della biologia.

Un sistema componentalmente “complesso” è costituito da n subunità, dove n può variare da qualche unità a numeri enormi (miliardi in biologia). Dato che le interazioni a due corpi costituiscono le unità basilari note per sé stesse, la via naturale per affrontare i casi complessi sembrava il considerare l’interazione complessiva come la somma di $n(n-1)/2$

interazioni a due corpi. Tale procedimento sintetizzava l'idea filosofica riduzionistica, alla base finora di tutte le trattazioni, secondo la quale l'interazione totale è la somma esatta delle interazioni parziali.

Se tale procedimento poteva praticamente applicarsi finché n rimaneva relativamente piccolo, esso diveniva del tutto inverificabile per n grande, ed assumeva unicamente un carattere ideologico. Tale ideologia (di ricondurre il complesso al semplice) ha dominato fino ad oggi tutta la scienza degli n corpi, ed i suoi effetti devastanti sono tuttora i responsabili della piattezza materialista della mentalità moderna. Eppure l'insufficienza e la falsità è già sensibile a livelli relativamente semplici. Ad esempio, l'interazione di 7 elettroni a $7(7-1)/2 = 21$ coppie, mi permette forse di ricavare le proprietà d'un atomo di azoto? Nemmeno per sogno, la struttura dell'atomo di azoto si ottiene solo quando ai 7 elettroni si impone il principio di Pauli, l'antisimmetria totale della funzione d'onda complessiva: un' "idea" superiore che concerne la totalità dei 7 e non è per nulla inclusa nelle interazioni a due a due; in altre parole, un tale esempio di interazione di tipo essenziale di alto livello, come già si è visto, è la ragione profonda della struttura e può concepirsi come d'un "archetipo" ideale che dall'alto pilota la strutturazione.

Se ciò può valere per una struttura ancora semplice di particelle tutte uguali, che mai ci si dovrà aspettare passando a sistemi sempre più complessi, in cui n può diventare di diversi miliardi, e le particelle possono diventare di tipi indefinitamente diversi, come i vari atomi, o combinazioni di atomi che compongono le grosse molecole organiche od i macromolecoloni della chimica biologica? Pertanto, in questo salto nel campo biologico che così si compie, l'idea direttrice che subito si affaccia è che, per capirci qualcosa, occorra innanzi tutto abbandonare l'ingenuo riduzionismo delle $n(n-1)/2$ interazioni, e pensare anche qui in termini di "archetipi" preesistenti, grazie ai quali le proprietà complessive non sono la somma delle proprietà elementari, ma vengono imposte come "idee a priori" che sole, tra mille altre senza conseguenze, condizionano l'essere in combinazioni di fatto realizzabili.

Ed anzi, è facile prevedere come tutto l'andamento delle strutture biologiche, ben lungi dal costituire un unico livello, si disponga invece in vari piani essenziali sovrapposti, ognuno dei quali funge da totalità latrice di nuovi effetti imprevedibili a livelli inferiori, ed invece da semplice componente rispetto a disegni relativi a livelli superiori. In tale modo, i molecoloni della chimica biologica, approdo complessificato di n molecole organiche normali, formeranno una nuova unità biologica, la cellula, contrassegnata da nuove proprietà che in modo forse semplicistico, consideriamo come indicatrici di ciò che chiamiamo "la vita". A sua volta, un insieme di cellule si costituiscono in un "organo", le cui funzioni complessive superano le capacità di ognuno dei suoi componenti cellulari; ed un insieme di organi dotati di funzioni eterogenee vengono finalmente coinvolti in un'unità ancora superiore, quella d'un essere vivente pluricellulare. E nella gerarchia costituita da tutti gli esseri viventi culmina l'uomo, che, per l'insieme di doni contrassegnanti la sua natura, assume una funzione od un ruolo "centrale" nella prospettiva globale cosmica.

Ed è proprio l'idea di questa quasi indefinita gerarchia di livelli di complessificazione, via via più essenziali, di questa concatenazione di "archetipi" sempre più alti, che oggi può fungere da schema generale per impiantarvi ed ordinarvi il gran numero di fatti sperimentali che già da qualche decennio stanno sempre più screditando il neodarwinismo quale fenomeno generale motore per l'evoluzione delle specie. Raramente è stato dato maggior credito ad una teoria in più palese contrasto coi dati elementari della paleontologia. Anzitutto, il gioco puramente casuale delle mutazioni genetiche, controllate e scelte dalla selezione naturale porterebbe, per la fabbricazione dei viventi che conosciamo, a tempi miliardi di miliardi di volte più lunghi della vita dell'universo. Inoltre, ci si dovrebbe attendere una comparsa graduale dei vari tipi e classi e famiglie, con tutte le gradazioni intermedie dalle une alle altre, mentre tali tipi intermedi non esistono; nel mentre praticamente tutti i tipi, classi, famiglie, ecc., appaiono di colpo e quasi contemporaneamente circa 600 milioni di anni fa. Tutto questo è un chiaro indizio di come il "caso" che presiede alle mutazioni, ben lungi dall'essere veramente "casuale", sia invece pesato secondo certi criteri; tali che se "a caso" si riuniscono molecole corrispondenti ad un disegno archetipale, tale archetipo sarà di fatto realizzato, mentre se le molecole casualmente riunite non corrispondono ad un tale disegno, nessun composto riesce a costituirsi.

Benché finora nulla di sicuro possa dirsi circa questi archetipi biologici, va pur rilevato come già oggi, nell'ambito delle ricerche sui livelli di crescente complessità, siano state identificate certe strutture di cui alcune proprietà sembrano notevolmente conformi a taluni dei connotati caratteristici della "vita". Si tratta di strutture formate da vari sottolivelli che danno luogo ad una cosiddetta "gerarchia intrecciata", e cioè tale che in essa certe catene causali circolari fanno retroagire i livelli superiori con quelli inferiori. Il caso più semplice d'una tale retroazione è costituito dal feedback, procedimento ben noto che consente l'autoregolazione pressoché costante del sistema. Un salto di qualità con componenti "non banali" viene però raggiunto quando, nell'anello ricorsivo, il segnale d'entrata in un certo livello produce un segnale imprevedibile in uscita, in quanto dipendente da un certo suo stato interno. Ogni componente fornisce allora alle altre un segnale dotato di significato contenente informazione rispetto ai segnali provenienti dalle altre componenti; ed il sistema assume uno stato stabile quando vi è coerenza tra l'insieme di tutti i segnali d'entrata e d'uscita che consenta ad ogni iterazione d'un qualche segnale di riproporre la situazione precedente. Codesti sistemi, che sono detti "autoreferenziali", ovvero dotati di "autorganizzazione", risultano provvisti di molti livelli suscettibili

ognuno di numerosi stati stabili, derivanti dall'intreccio ricorsivo dei segnali, e sono tali da correggere spontaneamente gli scarti dal programma per essi previsto in sede stessa del progetto che li ha costituiti, in quanto la loro organizzazione interna è la premessa e nel contempo il risultato della loro stessa costituzione. La proprietà caratteristica di tali sistemi autorganizzati sta nel tendere a mantenere invariata la propria struttura, pur essendo in uno stato di non-equilibrio termodinamico, in quanto hanno per base una struttura dissipativa aperta, dato che devono, per mantenersi, assorbire continuamente materiale dall'esterno e restituire scorie ad alta entropia. Tali sistemi mangiano, crescono, eliminano, si riproducono, sempre lontani dall'equilibrio termodinamico, e vi precipitano soltanto quando si disgregano.

Come si vede, la spiegazione della complessità biologica sembra sempre più allontanarsi da quel gioco di cause microscopiche concatenate che era alla base del pensiero riduzionista. E ci si può chiedere se invece di insistere su tali concatenazioni ideologiche, totalmente inaccessibili ed inefficienti, non fosse meglio cercare se a livello degli archetipi biologici non ci fosse un altro paradigma concettuale che più di quello di "causa" potesse rendere direttamente conto di quanto si osserva. Tale paradigma è quello che potrebbe chiamarsi il "finalismo biologico", e come si vedrà, non è a caso che adoperiamo la parola "finalismo". Ma questa può essere intesa con molte sfumature, e occorre anzitutto precisare in quale modo questo finalismo biologico si manifesta negli archetipi.

Potremo notare anzitutto, quale essenziale caratteristica della vita, come ogni struttura vitale tenda a mantenere invariata la propria configurazione, tanto a livello del singolo individuo, o della specie, o della classe, o del tipo. Questo naturalmente risulta dalle proprietà basilari delle strutture autorganizzate, in base stessa alle definizioni che ne abbiamo date poco fa. Ed ora ci sarà facile mostrare come codesta basilare caratteristica renda conto in modo molto naturale dei contrasegni più generali dell'evoluzione biologica.

Ci sono naturalmente non pochi fattori tendenti ad opporsi a questa immutabilità delle strutture viventi; e sono questi infatti che provocheranno la loro evoluzione. Il principale agente in un tale senso è dato dalle influenze esterne ambientali. Com'è ben noto, esso è sempre stato considerato di primaria importanza in tutte le teorie dell'evoluzione. Per Lamarck, l'ambiente produce variazioni stabili sull'essere vivente, che rimangono acquisite; l'evoluzione avviene come cumulo di queste successive variazioni, ed essa è pertanto frutto del caso, dovuto all'aleatorietà delle influenze esterne. Per Darwin (i neodarwinisti), le variazioni sono dovute alle mutazioni imprevedute del DNA, mentre l'ambiente esterno funge da selettore delle mutazioni più conformi a tale ambiente stesso; l'effetto del caso, stavolta, è dovuto all'imprevedibilità delle mutazioni. Il primo punto di vista è eteronomo; cioè sia l'apprendimento dall'ambiente, sia le variazioni dell'individuo, sia le variazioni della specie, sono il frutto d'un'azione puramente esteriore; il secondo invece è misto: in parte eteronomo per effetto della selezione esterna, in parte autonomo per effetto delle mutazioni interne.

Invece l'autoreferenza delle strutture autorganizzate è totalmente autonoma, ed in quanto insita nella struttura stessa, impone ad essa il fine di mantenersi immutata. Gli effetti dell'ambiente sono perturbazioni contro le quali, ben lungi dal subirle adattandovisi, la struttura vivente resiste; per cui l'effetto dell'ambiente, anziché potere imporre una selezione, viene quanto possibilmente minimizzato; e se l'evoluzione prosegue per effetto di certi minimi adattamenti o cedimenti successivi a tali pressioni ambientali, essa non sarà generalmente spettacolare, ma tale da mantenere immutate le principali caratteristiche della specie.

Le conseguenze di questo finalismo conservativo stabilizzante sono concettualmente enormi. Le realizzazioni di strutture biologiche, ben lungi dall'evolversi a piccoli passi lungo direttive casuali, ciò che consentirebbe il prodursi di tutte le possibili forme di transizione da specie a specie, rimangono ancorate a configurazioni stabili che sono i vari circuiti autoricorsivi possibili, e saltano al più da un livello all'altro di un medesimo circuito, livelli che formano un insieme numerabile finito (anche se molto grande) per ogni archetipo, a scanso di ogni altra configurazione non realizzabile. Vi sono pertanto per ogni archetipo una serie di livelli lungo la quale avviene l'evoluzione quando una perturbazione dovuta all'ambiente provoca una transizione: ma i cambiamenti sono sempre di entità ridotta per l'immutabilità dell'archetipo principale.

Questa visuale spiega:

- 1) anzitutto la permanenza per seicento milioni di anni di tipi, classi famiglie, specie, che si mantengono colle caratteristiche essenziali immutate durante tutti i tempi geologici con variazioni relativamente piccole: effetto principe della stabilità e della finitezza del numero degli archetipi;
- 2) la diversità dell'entità dei cambiamenti evolutivi delle varie classi o specie, in dipendenza della differenza di stabilità dei vari archetipi; certuni, estremamente stabili (tartarughe), non hanno praticamente mai variato; altri (equidi) meno stabili, hanno originato forme diversificate nel corso dei tempi, pur mantenutesi immutate nelle caratteristiche principali;
- 3) il gioco darwinistico mutazione-selezione può valere entro limiti molto ristretti come fenomeno marginale (farfalla bianca che vivendo in mezzo al carbone diventa nera), senza essere in grado di produrre salti tra specie e specie;

- 4) infine l'evoluzione non è per nulla effetto del caso, ma è preordinata e diretta dalla preesistenza delle sole strutture stabili possibili che sono gli archetipi, ovvero i sistemi autorganizzati. Il caso (nei limiti entro i quali il moto caotico dei fluidi è caso) può avere un ruolo secondario nel favorire od inibire (nel "brodo primordiale") l'incontro di due subunità che, messe insieme, costituiranno un livello più elevato di un archetipo di livello superiore. Vi potrà quindi essere una certa dose d'arbitrarietà nell'ordine di successione per la comparsa dei vari archetipi; ma comunque, prima o dopo, saranno sempre le stesse strutture che si formeranno, sicché le forme di vita si troveranno predeterminate. Se il numero di forme stabili a priori possibili risulta sufficientemente grande, non è detto che in ogni mondo tutte le forme singole si debbano realizzare; sicché, malgrado la precostituzione degli archetipi, nulla vieta a priori che varianti diverse di un dato tipo si realizzino in ambienti diversi senza reciproco contatto (ad esempio, confronto di vari tipi di mammiferi con i loro analoghi marsupiali realizzatisi solo in Australia);
- 5) il fatto poi che malgrado retrocessioni ed arresti, la linea evolutiva generale si manifesti come progressiva, nel senso che la vita, la quale appare oltre tre miliardi di anni fa con soli esseri monocellulari, si amplifica, si diversifica, e finisce coll'approdare all'uomo, s'interpreta facilmente sulla base di quanto precede, se si pensa che ogni livello di data complessità potrà solo formarsi quando esistano già i sottolivelli che lo costituiscono. Ciò implica di per sé una scala temporale di realizzazione che va spontaneamente dal semplice verso il complesso, senza che sia necessario, a livello fenomenologico, introdurre per spiegarla un tipo particolare di finalità.

Se, dopo aver constatato come, a livello puramente corporeo, il finalismo, secondo la presente impostazione, sembri essenzialmente manifestarsi nella stabilità delle forme viventi, occorre pur ricordare ch'esso è pur stato frequentemente concepito come una specie di reciproco inverso rispetto alla causalità. Ci si può chiedere allora se una tale visione del finalismo può trovare anch'essa posto nell'ambito della vita.

Tale inversa reciprocità si manifesta per noi secondo due diverse modalità, in apparenza alquanto discordanti. Da un lato, causalità e finalismo, ambedue presenti come chiavi esplicative della natura, svolgono l'uno rispetto all'altra una specie di ruolo complementare, in ragione del grado di complessità delle situazioni prese in esame; nei problemi più semplici, quali quelli del pendolo e dei due corpi in attrazione newtoniana, la causalità si trova in grado di poter tutto interpretare, ed il finalismo non trova spazio alcuno per farsi sentire; ma nei problemi via via più complessi, ed in particolare per quelli che si presentano di fronte ad un organismo vivente, avviene tutto il contrario: ora è la causalità che si dimostra impotente, nel mentre il finalismo sembra delinarsi come un fattore esplicativo essenziale di quanto avviene. Pertanto, per tale diversità di funzione, viene creata un'asimmetria tra passato e futuro, quali coordinatori esplicativi rispettivamente per i problemi semplici e per quelli complessi, tra loro nettamente differenziati. A tale punto, siamo quasi naturalmente forzati a porre tale asimmetria in diretta connessione con la freccia del tempo termodinamica, che condiziona interamente la nostra normale umana sensibilità.

Da un altro lato però, la connessione tra finalismo e causalità può concepirsi come puro rovesciamento del segno del tempo: il finalismo appare scaturire dalla causalità coll'invertire t in $-t$; operazione che viene spesso adoperata nell'ambito della fisica teorica, e di cui vi sono già diverse applicazioni principalmente nell'ambito delle teorie particellari. Un tale finalismo può allora concepirsi come una causa situata nel futuro, una specie di attrattore che condiziona i movimenti del passato verso una meta avvenire. Va notato che quasi tutte le equazioni basilari della fisica (meccanica ed elettrologia) sono invarianti rispetto al rovesciamento del senso del tempo; ed a questo livello, causalità e finalità avrebbero funzioni esattamente equivalenti, quali apparirebbero a chi fosse fuori dal tempo.

Ci si può chiedere allora se, malgrado il nostro soggiacere alla direzionalità del tempo, un certo riflesso dell'altra prospettiva, di questa insensibilità delle leggi fisiche al segno del tempo non si ritrovi nell'intelligenza umana, e forse nello psichismo degli animali superiori, per il fatto che se l'uomo è perfettamente in grado di ricostruire dietro di sé la concatenazione delle cause che hanno portato ad una certa vicenda, altrettanto egli è capace, - notiamo che nella mente umana i riferimenti a cause od a fini si bilanciano con pesi paragonabili -, di concepire una concatenazione di fini e di progetti secondo la quale egli riesce a programmare il suo futuro e quello degli altri; per cui non è certo improprio affermare che, nel corso della sua vita, più che vivere nell'istante presente, egli trascorra metà del suo tempo nel passato e l'altra metà nel futuro. Ed il fatto che tale duplice trasporto d'interessi a distanza avvenga essenzialmente per l'uomo sembra indicare che tale duplice possibilità d'estensione si allarghi nei due sensi quanto più alto è il livello raggiunto da chi la pratica nella scala biologica.

Ciò lascerebbe pensare che tale possibilità non risulti inerente a qualsiasi livello d'organizzazione delle strutture viventi, ma solo a quelli la cui complessità è progredita al punto di offrire ricettacolo, in qualunque modo questo possa avvenire, a quanti consideriamo essere i livelli psichici degli esseri viventi, e più ancora al livello spirituale che solo dall'uomo è stato raggiunto.

Ora, se a tali alti livelli compete una essenza di libertà, ciò non è per nulla in antitesi colla situazione dei livelli inferiori, i quali, in quanto prodotti della complessità, sono pure soggetti agli effetti non-lineari ad essa inerenti, che conducono

alla non-prevedibilità del loro divenire. Anche a questi pertanto il venir meno del determinismo conferisce una prospettiva di libertà che li rende in questo senso omogenei con i livelli superiori, supporto degli aspetti psichici e spirituale inerenti alla scala della vita.

Questa concezione di un finalismo che tenda a sempre maggiormente affermarsi come aspetto complementare della causalità via via che la vita si porta a livelli di sempre maggiore altezza, è forse quanto maggiormente invita verso un approdo della vita stessa al di là delle contingenze temporali. Per un Essere fuori del tempo, causa e fine appaiono come un'immagine speculare l'uno dell'altra rispetto all'inafferrabile presente, ed è soltanto il senso dell'irreversibilità del tempo, cui siamo soggetti nello stato umano, ed ivi costituisce una nostra basilare limitazione di prospettiva, che qualitativamente le differenzia nel loro ruolo rispetto a noi. Pertanto, ciò che chiamiamo evoluzione altro non è che il sintomo della nostra attuale congenita cecità rispetto al senso dell'eterno, nei riguardi del quale l'intero divenire è come una specie di bolla rinchiusa nel non-tempo, e per la quale Causa e Fine si sovrappongono come punti di vista parziali e diversamente centrati di una sola ed unica Realtà.