

## DETERMINISMO E INDETERMINISMO

DA *LE RADICI DELLA BIOLOGIA* DI MARIO AGENO (1986)

### L'idea di necessità fisica nel pensiero occidentale

Per quasi duemila anni, le concezioni e i metodi aristotelici hanno continuato a condizionare il pensiero scientifico e filosofico. Solo nel tardo medioevo infatti la riflessione teologica ha cominciato a suggerire nuovi orientamenti. Gli spunti più importanti sembrano essere stati:

- a) l'idea di creazione, completamente estranea al pensiero aristotelico, ed essenziale invece al pensiero cristiano, che la ricollega a quella di una volontà divina libera e incondizionata, condizionante tuttavia l'intero mondo creato;
- b) l'idea di legge divina, e quella di legge morale come libera adesione del volere ai decreti della divinità;
- c) l'idea di predestinazione, fino ad un certo punto almeno implicita nei caratteri di onniscienza e onnipotenza attribuiti alla divinità, e in conflitto mai completamente risolto con le idee di libertà e responsabilità dell'uomo.

Questi spunti sembrano aver aperto la strada all'istaurarsi di un nuovo clima intellettuale, precludendo a una nuova concezione del mondo, basata sulla convinzione che nulla può accadere contro o al di fuori della volontà divina, sulla idea quindi di una armonia, di una razionalità, di una legalità della natura, clima che rappresenta un profondo rinnovamento rispetto al clima intellettuale precedente, del pensiero greco.

Ora, nel pensiero cristiano, la presenza di Dio nel mondo non lascia più spazio ad alcun evento che non sia previsto e consentito dalla sua volontà: la legge divina diventa anche *legge universale* e inviolabile della natura. Ma perchè questo ultimo passo possa effettivamente compiersi, il pensiero religioso deve ancora una volta incontrarsi con la pratica dell'artigianato, così come era avvenuto agli albori della scienza greca. La fede in Dio dell'uomo semplice, che nulla sa di lettere e filosofia, ma che vive a contatto con le esigenze della vita pratica, vede nella validità di procedure tradizionali, nella costante riproducibilità dei risultati della tecnica, il segno della presenza nel mondo della legge divina. Ed è portato a chiedersi se non sia suo dovere, dovere di cristiano, scoprire attraverso il manifestarsi di questa legge la volontà di Dio. Così, il perfezionamento dei metodi artigianali, tramandati di generazione in generazione, si presenta dapprima come opera di fede e un po' per volta l'esperimento viene riconosciuto esplicitamente quale valida fonte di conoscenza: del disegno divino realizzato nella creazione dapprima e poi della legge universale e inviolabile che regola tutti i processi della natura.

È dunque con l'idea di legge naturale e con l'esperimento che l'idea di necessità fisica fa la sua prima comparsa nel pensiero scientifico. Con la prima grande sintesi della scienza moderna, nell'opera di Newton, il determinismo diventa la concezione ufficiale degli scienziati. Da allora, per oltre due secoli, tale concezione è andata conquistando sempre nuove posizioni, fino ad informare di sé, nonostante molte resistenze e qualche deciso rifiuto, l'intera rappresentazione del mondo impostata sulla fisica classica. Com'è ben noto, questa ha trovato la sua più precisa enunciazione nelle parole scritte da Pierre-Simon de Laplace all'inizio del suo *Essai philosophique sur les probabilités*. In questo brano non potrebbe essere più esplicito e chiaro il passaggio dalla teoria newtoniana logico-deduttiva a una visione cosmologica che, di fatto, va molto oltre i risultati delle osservazioni e degli esperimenti su cui la prima si basa. Tuttavia, la legittimità di questa generalizzazione cosmologica, essenzialmente metafisica, del newtonianesimo non è stata messa in discussione se non in tempi recenti: vedremo tra poco perchè e come.

Concludiamo, per il momento, mettendo in rilievo come l'idea di necessità fisica, di una concatenazione tra gli eventi più forte della concatenazione storica, risulti in definitiva essersi originata dalla religione e dal mito, dall'idea di legge divina e da quella di

volontà del fato. Per cui, una giustificazione di essa, un suo rapporto di coerenza con la realtà, potrà eventualmente dimostrarsi solo, come ci aspettavamo, attraverso un'analisi della natura e delle origini del pensiero comune.

### Rappresentazione intuitiva e pensiero comune

Da moltissimo tempo, filosofi e scienziati continuano a chiedersi quali siano l'origine e il significato della rappresentazione intuitiva, pittorica, che ciascun uomo (o presumibilmente ciascun animale superiore) si fa fin dai primi anni di vita del mondo attorno a lui. Le risposte che sono state date e le considerazioni acute e illuminanti che sono state fatte in proposito sono estremamente numerose e le più diverse. Tuttavia, come vedremo, una sola teoria scientifica è stata in grado di proporre, nel suo quadro, una spiegazione completa e sotto molti aspetti persuasiva, anche se, sotto altri, tale da rischiare in modo quasi ovvio, l'accusa di "petitio principii".

Incominciamo con l'osservare che la rappresentazione in questione è un possesso personale ed esclusivo di ciascun individuo, e che non è possibile alcun confronto diretto tra le rappresentazioni proprie di individui diversi. Tuttavia, il confronto è possibile indirettamente, *attraverso il linguaggio* e, più in generale, attraverso tutti gli atti di comunicazione tra viventi (siano essi o no della stessa specie). Questi atti di comunicazione consentono però di accertare solo se elementi della realtà, che un individuo si raffigura come in qualche modo simili tra loro, sono raffigurati come simili anche dagli altri individui. Ciascuno confronta tra loro due o più delle sue proprie raffigurazioni ed è solo il risultato di questo suo personale confronto ciò di cui poi parla con gli altri. L'unica cosa di cui possiamo parlare e su cui poi possiamo accordarci, non è il modo in cui appaiono a ciascuno di noi singole entità reali, ma l'eventuale esistenza di somiglianze e differenze tra aspetti della realtà, che ciascuno tuttavia si rappresenta in modo personale che non può essere messo a confronto, né direttamente né indirettamente, col modo in cui se li rappresentano gli altri.

Ne segue che non ha alcun particolare significato il modo in cui, per esempio, ci si rappresenta un determinato oggetto: come ce lo rappresentiamo pittoricamente. Sono significative solo le relazioni di somiglianza e di dissomiglianza che noi scopriamo tra quell'oggetto e un gran numero di altri. E sono sempre e solo queste *relazioni* ciò di cui parliamo, quando descriviamo un oggetto, dicendo, per esempio, che è liscio, rosso, lungo 25 centimetri eccetera. Di un singolo oggetto, concettualmente isolato, non sappiamo invece dire assolutamente nulla. Gli impegni ontologici del discorso ordinario risultano così del tutto arbitrari ed è necessario porsi il problema della esatta significatività dei concetti della scienza e delle loro determinazioni quantitative.

In uno scritto molto conosciuto del 1936, Albert Einstein ha esposto riassuntivamente con molta chiarezza il suo modo di intendere i rapporti fra fisica e realtà. Egli scrive:

Tutta la scienza non è altro che il raffinamento del pensiero comune. È per questa ragione che il pensiero critico del fisico non può verosimilmente venir ristretto all'esame dei concetti del suo campo specifico. Egli non può procedere, senza considerare criticamente un problema molto più difficile: quello di analizzare la natura del pensiero comune.

Si può dire Einstein, affermare che il concetto di "realtà esterna" del pensiero comune si fonda unicamente sulle impressioni sensoriali e che sulle nostre esperienze sensoriali e sulla comprensione delle loro relazioni è fondata la scienza. Il primo passo verso una descrizione sistematica del mondo reale esterno sarebbe la formazione del concetto di "oggetto materiale" e di quelli di oggetti dei vari tipi. Dal punto di vista logico, questi concetti non si identificano con le impressioni sensoriali cui si riferiscono: sono, secondo Einstein, creazioni arbitrarie della mente umana (o animale). Il secondo passo consisterebbe nell'attribuire (come noi facciamo istintivamente) a questi concetti un significato in gran parte indipendente dalle impressioni sensoriali che hanno presieduto

al loro sorgere: in altre parole, attribuiamo agli oggetti una esistenza reale indipendente.

La giustificazione di una tale costruzione, scrive ancora Einstein, riposa esclusivamente sul fatto che mediante tali concetti e le loro relazioni mentali noi siamo in grado di orientarci nel labirinto delle impressioni sensoriali. Nozioni e relazioni, pur essendo null'altro che libere convenzioni, prodotti della nostra attività intellettuale, appaiono più solide e inalterabili della stessa esperienza sensoriale individuale.

Il fatto... che la totalità delle nostre esperienze sensoriali - conclude Einstein - sia tale che mediante il pensiero... essa può venir ordinata, ci lascia pieni di stupore, ed è un fatto che non riusciremo mai a spiegarci... Si potrebbe dire che l'eterno mistero del mondo è la sua comprensibilità.

Di fatto per quanto acute siano le considerazioni di Einstein, manca in esse qualunque effettivo collegamento tra le rappresentazioni sensoriali, che sono un fatto privato, e il pensiero comune e la scienza, che sono invece pubblici. Gli stessi concetti sono strumenti per pensare, e se è il pensiero che ordina la totalità delle mie esperienze sensoriali, come si passa di qui al fatto pubblico?

Abbiamo già risposto alla domanda chiave: "Di che cosa possiamo effettivamente parlare tra noi?" mettendo in evidenza gli strettissimi vincoli del sistema. Ma allora, come possiamo mettere in comune nozioni e relazioni? Come possiamo essere certi di parlare delle stesse cose?

Da Cartesio in poi, tutte le filosofie individualistiche, che hanno cercato la via alla sicurezza del sapere nell'introspezione, hanno miseramente fallito i loro scopi, e anche Einstein è evidentemente incapace di superare la barriera del suo io individuale, anche se ha l'intuizione della natura collettiva, pubblica della scienza e del problema della comprensibilità del mondo. L'unico sbocco logico del suo individualismo conoscitivo è il solipsismo, anche e egli se ne ritrae, riconoscendone evidentemente l'assurdità, con il trincerarsi sistematicamente dietro il plurale "noi".

### **Teoria biologica e pensiero comune**

La soluzione non si può trovare che in un completo capovolgimento della impostazione. Ce la suggerisce ancora una volta il modello biologico di una popolazione di sistemi coerenti dotati di programma, che scambiano segnali, mediante i quali accordano le loro coerenze interne, realizzando così un'unità di un livello gerarchico più elevato.

Possiamo del resto descrivere la situazione, continuando ad usare il linguaggio di sempre. Incominciamo subito col dire che l'errore sta nell'aver ignorato un aspetto importantissimo del divenire individuale: il fatto che esso non è esclusivamente autonomo, ma *guidato*, e che gli strumenti di pensiero di ciascuno non sono per nulla da lui arbitrariamente costruiti (come l'ambigua affermazione di Einstein può interpretarsi), ma sono per la maggior parte derivati, acquisiti in qualche modo acriticamente, quasi direi passivamente, dalla comunità a cui egli appartiene.

Ciò che io, prima di tutto, non posso fare a meno di riconoscere, è che la mia personale rappresentazione del mondo non è esclusivamente fondata sulle *mie* impressioni sensoriali esotiche, esclusivamente derivata dalla *mia* attività intellettuale. Si è andata formando con difficoltà, negli anni della prima infanzia, sotto l'impatto di un flusso di impressioni sensoriali specificamente *pilotato* che mi ha largamente condizionato, e si è andata poi sempre progressivamente approfondendo e arricchendo, non tanto per *esperienze* sensoriali dirette, quanto soprattutto indirettamente, attraverso *l'uso sistematico del linguaggio* parlato e scritto.

La prima guida che io ho avuto è stata quella dei genitori e delle altre persone di famiglia. Sono stato pazientemente guidato ad orientarmi in un certo modo, nella confusione delle mie prime

impressioni sensoriali. Sono stato guidato a riconoscere certe somiglianze e dissomiglianze tra mie impressioni sensoriali diverse, e a trascurarne certe altre. Ho acquisito i primi concetti, non attraverso la mia libera attività intellettuale, ma attraverso definizioni ostensive: ed è stata proprio tale acquisizione che ha rappresentato lo stimolo, se non per avviare, certo per incrementare progressivamente la mia attività intellettuale, attraverso un processo che si è andato ovviamente autoesaltando.

L'acquisizione dei primi concetti è andata di pari passo, e si è consolidata, con l'apprendimento del linguaggio e con l'uso di questo si è andata sempre meglio definendo una mia rappresentazione personale del mondo che mi circonda, come riproduzione più o meno strettamente analogica della rappresentazione *comune* ai miei famigliari. È così che io sono entrato a far parte della comunità.

Così, attraverso un continuo scambio di segnali (prevalentemente linguistici) si è stabilita una precisa *coerenza* tra il mio modo di analizzare ed elaborare i dati sensoriali, tra la mia attività intellettuale, e quella degli altri. È l'esistenza di questa generale coerenza dei processi mentali gestita dal linguaggio, che fa sì che si possa con una sufficiente sicurezza "parlare delle stesse cose", e che si possa convenzionalmente far riferimento ad una *rappresentazione comune* del mondo, ad un *pensiero comune*, anche se ciò che di fatto esiste sono presumibilmente solo tante rappresentazioni personali diverse, tra loro coerenti e quindi in un certo senso rappresentazioni *analogiche* ciascuna delle altre.

L'uso di questo concetto astratto di *rappresentazione comune* ci consente di esprimerci in modo chiaro e sintetico, senza che possano sorgere fraintendimenti. Possiamo dire che questa rappresentazione comune, comune patrimonio dei membri contemporanei di una popolazione, viene trasmessa sistematicamente dai genitori ai nuovi nati, passa da generazione a generazione, e naturalmente si modifica raccogliendo sempre nuovi contributi personali. Da una generazione all'altra, essa si riforma infatti continuamente, si conferma e si estende ed anche si corregge, in quanto consente, in forme sempre nuove a ciascun membro della popolazione di orientarsi sempre meglio nel labirinto delle sue impressioni sensoriali.

Superata così naturalmente la barriera che racchiude il nostro mondo individuale e *passati all'aperto*, siamo ora in grado di capovolgere completamente l'impostazione einsteiniana, prendendo le mosse dalla realtà obiettiva di una popolazione che vive e si riproduce in un ambiente variabile con il quale tutti i suoi membri interagiscono nei vari modi.

Dal punto di vista della teoria biologica, è molto interessante osservare che le rappresentazioni intuitive individuali non fanno parte del programma, del patrimonio ereditario: non sono iscritte nei geni di cui ogni individuo è il portatore, la si formano (ovviamente sempre nei limiti della variabilità consentita dal patrimonio genetico), sotto la guida dei genitori e delle altre persone di famiglia, attraverso l'esempio, le definizioni ostensive, gli scambi linguistici, nel modo di cui abbiamo parlato di sopra.

Il significato di questa rappresentazione è che essa è di aiuto nel superare le difficoltà, nel risolvere al meglio i problemi dell'esistenza. In essa vengono in qualche modo colti tutti quegli aspetti del mondo, la cui conoscenza assicura a chi li possiede migliori probabilità di sopravvivenza. Si tratta dunque del risultato di un processo di adattamento all'ambiente, in cui la selezione naturale ha svolto un ruolo ovviamente decisivo: chi possiede del mondo una rappresentazione intuitiva inadeguata non è certamente candidato a riscuotere nella vita un grande successo. Le modifiche la rappresentazione comune subisce attraverso le generazioni non hanno però la loro origine in variazioni casuali, ma sono il prodotto della esperienza personale di singoli che hanno avuto successo, riversato attraverso la trasmissione educativa e il linguaggio nella rappresentazione comune.

Se tutto ciò è vero, la comprensibilità del mondo della esperienza sensoriale, di cui tanto si meraviglia Einstein, certamente non risulta un mistero. È la nostra rappresentazione che si forma ed evolve

adattandosi al mondo, proprio in modo da rendercelo comprensibile, cioè da consentirci di fare previsioni, di regolarci nella maggior parte delle eventualità che possono capitare, e quindi in modo da aiutarci a risolvere i nostri problemi esistenziali. Non si tratta di una caratteristica (sorprendente) della realtà, ma di un adattamento (efficace) della specie. Ciò va tenuto presente, quando viene il momento di chiarire che cosa esattamente si intenda con la parola "comprendere".

In quel capovolgimento concettuale della situazione, che ci ha portato a mettere al centro di essa, non più la consapevolezza personale e la rappresentazione privata del mondo, ma una comunità articolata e riproductesi immersa in un mondo obiettivo, la legalità della natura (il determinismo del nostro modo di descriverla) trova una semplice spiegazione nel fatto che una parte degli organismi viventi, per la risoluzione dei suoi problemi esistenziali, è riuscita a sfruttare il vantaggio evolutivo derivante da un progressivo aumento delle dimensioni corporee. Questi tipi di organismi sono riusciti alla fine a portarsi a dimensioni proprie e caratteristiche di un mondo, in cui ogni evento percettibile è il risultato globale di un flusso di innumerevoli eventi elementari, resi in qualche modo tra loro coerenti, e ogni aspetto stocastico della realtà praticamente sparisce nella media o nella somma. In questo modo la *legalità* della natura si presenta come *una ipotesi approssimativamente valida* e le previsioni che contano ai fini della sopravvivenza della specie risultano in buona parte effettivamente possibili. Ecco dunque la vera origine dall'idea di necessità fisica.

### Le due versioni della teoria biologica

Quale dunque dei due significati alternativi della parola "caso" è quello che deve essere accettato nel quadro della teoria biologica?

La fisica non ci dà una indicazione precisa: le opinioni dei suoi adepti sono divise, ed essa, a quanto sembra, sarebbe in linea di principio disponibile tanto al determinismo quanto all'indeterminismo della teoria. Tuttavia un fatto sembra certo: fisica e biologia sono due terre che, tenuto conto dei nostri attuali mezzi di esplorazione, dobbiamo qualificare *lontane*. Ma il mondo è uno solo e tra le due sponde lontane deve essere possibile gettare un ponte, che le trasformi concettualmente in una sola terra. Così la teoria fisica e la teoria biologica non possono essere deterministica l'una e indeterministica l'altra. Se la teoria fisica non è attualmente in grado di darci un'indicazione precisa, è il caso di voltarsi dall'altra parte e vedere che indicazioni ci dà, se ne dà, la teoria biologica. Dopotutto, non è impossibile che essa risolva il problema anche per la fisica.

Naturalmente, ciò di cui propriamente stiamo parlando, non è la teoria scientifica in quanto tale, ma (come avevamo rilevato all'inizio) quelle assunzioni di carattere metafisico che stanno (generalmente inavvertite) alla base di essa. Queste assunzioni sono inevitabili e sono, come abbiamo detto, arbitrarie, ma una volta fatte, non si possono poi cambiare quando fa comodo, a metà del lavoro.

Abbiamo di fronte la possibilità di due diverse versioni della teoria biologica, corrispondenti a due diverse concezioni del mondo. Secondo la prima, la concatenazione storica degli eventi è solo l'aspetto superficiale di una concatenazione molto più forte, cui è associato obiettivamente (ontologicamente) un carattere di necessità fisica originario, che trasforma il mondo in una unica rete causale, nel senso del determinismo di Laplace.

In questo quadro, il caso è obiettivamente (ontologicamente) inesistente: ogni evento è determinato e prevedibile. Le condizioni iniziali del mondo ne hanno completamente determinato l'intera evoluzione, per tutto il tempo a venire. Quando si parla di caso, si allude solo ad una nostra, umana, situazione di difficoltà o impossibilità di conoscere i dettagli di una situazione molto complessa e di fare effettivamente

previsioni, d'altronde sempre in linea di principio possibili per l'intelligenza superiore immaginata da Laplace.

Di questo tipo, cioè solo apparente, risulta essere la casualità delle mutazioni genetiche, che sarebbero in realtà tutte determinate fino dall'origine del mondo e in linea di principio prevedibili.

La teoria biologica viene così, in questo quadro, smontata pezzo per pezzo. Ontologicamente, l'evoluzione è un processo già interamente contenuto nelle condizioni iniziali dell'universo: in quel momento, tutto è stato deciso dal creatore, la intera scienza si risolve nella teologia. Parlare di vantaggio evolutivo e di selezione naturale non ha più alcun senso: ancora meno che parlare di "caso", perché se di caso si può ancora parlare figurativamente, in relazione alla limitatezza dei nostri mezzi intellettuali, vantaggio evolutivo e selezione naturale si riferiscono invece esclusivamente alle condizioni oggettive di popolazioni evolute.

Ma gli sconquassi portati da una completa e rigorosa accettazione della concezione di Laplace sono molto più profondi. Viene meno addirittura la possibilità di distinguere, sia pure provvisoriamente, l'osservatore dal mondo da lui osservato: quel modello oggettivo del mondo, che è sempre stato il punto di partenza e il fondamento di ogni teoria scientifica.

Se tentiamo allora di approfondire l'analisi, cercando di capire che senso vengano ad avere i nostri problemi, le nostre ricerche, i nostri esperimenti e le nostre teorie, *compresa quella stessa teoria deterministica che abbiamo cercato di adottare come corretta descrizione del mondo*, il discorso si fa subito confuso e contraddittorio e ben presto ne perdiamo il filo.

Siamo costretti a concludere che una teoria deterministica può essere accettabile, e fornire una fedele descrizione della realtà fenomenica, solo in un campo di validità limitato, come appunto è quello della meccanica classica. È però impossibile estenderne la validità all'intero universo, con una generalizzazione cosmologica sul tipo di quella di Laplace, senza andare incontro a inconsistenze e contraddizioni insuperabili.

Dobbiamo pertanto escludere questa versione classica, deterministica, della teoria biologica che insieme ad una versione deterministica della teoria fisica costituirebbe appunto una teoria cosmologica, risultante come abbiamo visto inconsistente.

Resta l'altra versione della teoria biologica, quella nella quale la parola "caso" comporta l'assunzione di un preciso impegno ontologico: l'assenza, per almeno una certa categoria di eventi, di qualunque concatenazione con eventi precedenti più forte della semplice concatenazione storica.

In questo nuovo quadro, una mutazione non è uno stadio intermedio nel corso di una lunga, illimitata catena casuale, ma un autentico *inizio*. Non ha giocato alcuna necessità, nell'evento che l'ha prodotta: c'erano altre alternative e nessuna intelligenza, per vasta e informata che fosse, avrebbe potuto anticiparne l'esito.

Risulta ora tra l'altro perfettamente chiaro ciò che avevamo trovato, indagando circa le dimensioni dei viventi. La vita non può avere inizio che ad un livello nel quale la stessa struttura sia insieme l'esito imprevedibile e non determinato di un evento dai molti esiti alternativi possibili, e l'inizio di una nuova catena causale. Per questo motivo le sue dimensioni caratteristiche non possono essere che quelle dell'interfaccia tra la regione degli eventi quantici, dove domina il principio di indeterminazione, e quella della necessità causale, ove domina invece il secondo principio della termodinamica.

Con questa scelta della parola "caso", con le assunzioni metafisiche che questa scelta implica, l'intero nostro disegno teorico diventa autoconsistente. Ma se la teoria biologica, per non distruggere se stessa, deve essere indeterministica, anche la teoria fisica dovrà essere tale: questa è per lo meno l'indicazione, il suggerimento, che la biologia dà alla fisica, in cambio dei molti aiuti e strumenti materiali e concettuali che la fisica ha sempre dato alla biologia. Si badi bene che ciò non significa che qualunque teoria fisica, per essere valida nel suo proprio campo limitato, debba essere

indeterministica: deve essere tale una teoria fondamentale, che aspiri ad assumere il ruolo di teoria cosmologica di validità universale.

### Il nuovo paradigma

Vogliamo ora concludere cercando di rispondere ad un'unica domanda: "Se una teoria che aspiri ad assumere validità universale non può essere deterministica, che ne è del paradigma laplaciano? o meglio, quale nuovo paradigma va sostituito ad esso?"

Il paradigma di Laplace era sostanzialmente fondato sul fatto che la meccanica di Newton, teoria macroscopica e deterministica, risultava a quel tempo valida del suo campo con una approssimazione che non avrebbe potuto essere desiderata migliore. Era quindi abbastanza naturale pensare di essere in possesso di uno strumento di validità universale, anche se naturalmente ancora da articolare per adattarlo ai diversi campi di ricerca. Successivamente ci si è resi conto con precisione dei limiti del campo di validità della teoria newtoniana, ma ciò di per se non ha portato a particolari riserve per ciò che concerne il carattere deterministico della teoria più generale da sostituire ad essa.

Tuttavia, come abbiamo accennato all'inizio, la stessa meccanica newtoniana ha dato luogo a difficoltà, quando si è voluto rendere veramente accurato il confronto, in casi concreti, tra le previsioni della teoria e i risultati degli esperimenti. Sono quelle difficoltà che hanno suggerito la tesi che, dopotutto, anche la teoria classica sia fondamentalmente indeterministica.

Di fatto, questa tesi è sbagliata. Le difficoltà nascono non dall'interno della teoria, ma nel momento in cui, fissata la nostra attenzione su un sistema ben definito, noi ci proponiamo di portarlo in un certo stato iniziale, e quando ci proponiamo poi di determinare con grande esattezza i valori di certe grandezze nel corso del moto, o in un certo stato che assumiamo come stato finale. A causa della ben nota distribuzione gaussiana dei risultati di ogni tipo di misura ripetuta, noi non sappiamo mai con precisione quali siano esattamente le condizioni iniziali, adottate in un esperimento, e neppure quali siano esattamente i valori assunti poi dalle varie grandezze che ci interessano. Possiamo solo asserire che essi sono di fatto compresi entro certi limiti.

Si pone quindi una questione nuova, di grande interesse. Se noi conosciamo *esattamente* le condizioni iniziali, la teoria sarebbe in grado di prevedere, in base alle forze in gioco, *esattamente*, lo stato finale corrispondente: la previsione potrà essere giusta o sbagliata, nei confronti delle domande poste alla natura con l'esperimento, a seconda che la teoria sia o non sia valida; ma nel caso delle teorie classiche deterministiche di cui ci stiamo occupando, è *sempre* una previsione molto precisa. Se però, come di fatto avviene, noi non conosciamo che in parte le condizioni iniziali, e spesso neppure l'esatta intensità delle forze agenti, quali previsioni è ancora in grado di fare la teoria, circa lo stato finale?

È chiaro che a una domanda del genere non si può rispondere in generale: occorre precisare il tipo di sistema con cui si ha a che fare e quale parte delle condizioni iniziali e delle forze sia conosciuta e quale no. C'è però un'osservazione molto importante che è suggerita dalla stessa teoria. A parità di forze agenti e di tutte le altre condizioni del moto, a ogni stato iniziale la teoria fa corrispondere una traiettoria ben definita: a tutti gli stati iniziali compresi entro i limiti della nostra incapacità tecnica di realizzare un certo stato iniziale proposto, corrisponde un fascio di traiettorie. Ci sono numerosi sistemi in cui questo fascio di traiettorie si va aprendo col tempo, man mano che il moto procede. Per cui può avvenire che se lo stato assunto come stato finale è sufficientemente lontano nel tempo dallo stato iniziale, la teoria non ci consenta più, in pratica, alcuna previsione utile.

Un esempio del genere è offerto dal lancio di un dado. Immaginate di fissare con precisione il punto di lancio (le tre

coordinate del baricentro), l'orientazione iniziale del dado attorno al suo baricentro (tre coordinate angolari), la velocità iniziale del baricentro tre componenti. e la velocità angolare iniziale del moto attorno al baricentro (tre componenti). Come stato finale, assumiamo lo stato in cui viene a trovarsi il dado fermo dopo essere caduto su di un piano orizzontale anelastico scabro, posto al di sotto della posizione iniziale. Allora, ad ogni gruppo di valori per i 12 parametri iniziali, corrisponde secondo la meccanica classica uno ben definito tra sei possibili stati finali che considereremo distinti, come è uso, solo se è diverso il numero inciso sulla faccia superiore del dado. Se la traiettoria è sufficientemente lunga, una variazione anche piccolissima delle condizioni iniziali provoca (sempre secondo la teoria) un cambiamento completo dello stato finale. Ne segue che è facile predisporre il sistema in modo che sia sufficiente la indeterminazione dello stato iniziale, dovuta alla limitatezza delle nostre capacità tecniche, per far sì che lo stato finale risulti del tutto imprevedibile (e il gioco d'azzardo del lancio di un dado risulti per tanto un gioco equo). Considerazioni analoghe si possono fare relativamente a un gran numero di altri sistemi meccanici.

È ben chiaro che tutto ciò non significa che la teoria classica sia una teoria indeterministica. Significa invece che la teoria deterministica classica non sempre è in grado di descrivere correttamente i fenomeni di moto macroscopici. Se, come l'esperimento ci dimostra e come universalmente si ritiene, è veramente *in linea di principio* impossibile realizzare con precisione assoluta certe condizioni iniziali assegnate, casi come quello del lancio di un dado mettono in evidenza la necessità di sostituire alla teoria deterministica del moto una teoria più generale, che tenga in qualche modo conto di ciò, teoria che non può essere ovviamente che una teoria indeterministica. Ecco dunque come anche la validità della teoria classica nel suo campo si presenti in definitiva solo come un uso limite, che non contrappone difficoltà all'idea che una teoria più generale, dalla validità più estesa, debba essere appunto indeterministica.

Ci sono, d'altra parte, anche esempi di sistemi macroscopici il cui comportamento meccanico è chiaramente dominato dal principio di indeterminazione, che viene ritenuto di regola importante solo nel caso di particelle atomiche o subatomiche. Il fatto ciò non sia sempre vero, è una importante indicazione per quello che potrà essere il nuovo paradigma, da sostituire all'inconsistente paradigma laplaciano.

L'esempio più semplice è quello di un cono pesante, appoggiato con la punta su di un piano orizzontale liscio. Tale sistema ha, secondo la meccanica classica, una posizione di equilibrio instabile, nella quale, il baricentro del cono si trova in quiete esattamente sulla verticale passante per il punto di appoggio. Secondo la meccanica quantistica invece, tale posizione di equilibrio non esiste: in conseguenza del principio di indeterminazione, se il baricentro viene centrato esattamente sulla verticale per il punto di appoggio, la componente orizzontale della sua quantità di moto è certamente diversa da zero. Per cui in ogni caso il cono cade: o perchè il baricentro non è posizionato esattamente o perchè esso ha una velocità trasversale che lo porta fuori dalla verticale.

Naturalmente, il fatto che non si riesca mai a tenere il cono in equilibrio non è una prova che le cose stiano esattamente così. C'è tuttavia un altro sistema più interessante da questo punto di vista. Una sferetta pesante elastica è lasciata cadere esattamente sulla verticale per il centro di una sferetta identica, mantenuta fissa: secondo la meccanica classica, se la centratura è perfetta, la sferetta continua a rimbalzare indefinitamente sulla sferetta fissa, raggiungendo ogni volta il punto esatto da cui è stata lasciata cedere. Si può invece vedere facilmente che (dimensioni del dispositivo accessibili), a causa sempre del principio di indeterminazione il numero dei successivi rimbalzi non può in media superare 8 o 10, dopo di che la sferetta mobile ormai del tutto fuori centro, ricade senza più incontrare la sferetta fissa.

È chiaro che dispositivi macroscopici di questo genere *amplificano* per così dire gli effetti del principio di indeterminazione: la

divergenza del fascio di traiettorie che partono da stati iniziali classici, tutti contenuti nei limiti dell'indeterminazione quantistica, è tale che gli effetti di tale indeterminazione iniziale vengono ben presto portati a livello macroscopico.

Sono del resto facilmente immaginabili altri dispositivi macroscopici, in cui le conseguenze di un singolo evento a livello quantico si propagano a livello macroscopico in modo gravido di conseguenze. Ne vedremo alcuni più avanti. Qui, citeremo solo il caso di un atomo di uranio, il cui nucleo a un certo punto si disintegra emettendo una particella alfa veloce. Supponiamo che tale particella vada casualmente a colpire l'innescò di una bomba, costituito di azoturo di argento o di piombo. Se l'innescò, come qualche volta accade, esplose per effetto della particella alfa ciò provoca l'esplosione della bomba, con conseguenze macroscopiche che possono essere di notevole rilievo e con conseguenze che si prolungano nel tempo. È evidente che l'evento iniziale, totalmente casuale, è il punto di partenza di una catena di eventi causalmente correlati, che coinvolge un numero rapidissimamente crescente di particelle, fino a venire a svolgersi a livello macroscopico, interferendo con altre catene causali in corso di svolgimento e deviandole bruscamente da quello che sarebbe stato il loro corso normale.

In conclusione, risalta ora abbastanza chiaro che cosa vede del mondo l'osservatore che, dall'alto della collina, segue lo svolgersi degli avvenimenti nel panorama circostante. La realtà fenomenica gli appare organizzata su due strati paralleli e sovrapposti, ma ben separati tra loro: al di sotto, il livello quantico, i cui eventi sono dominati essenzialmente dal principio di determinazione; al di sopra, il livello macroscopico, in cui i grandi flussi di eventi elementari appaiono strettamente ordinati e coerenti, e al quale in conseguenza della legge dei grandi numeri un determinismo quasi assoluto continua a valere generalmente, così come è postulato dalla descrizione classica.

Il nostro osservatore si rende subito conto che a livello macroscopico il motore del divenire è costituito da grandi concentrazioni di energia distribuite nello spazio. Per noi, abitanti della Terra, la sorgente fondamentale di energia è il Sole e dal flusso di energia elettromagnetica, che provenendo da esso investe il nostro pianeta dipende interamente la nostra vita.

Si rende conto che, dovunque qualcosa accade a livello macroscopico, l'energia libera si va più o meno rapidamente degradando, e che i flussi ordinati di eventi quantici, a cui questa dissipazione si accompagna, appaiono macroscopicamente univocamente determinati: hanno l'aspetto di *catene causali di eventi macroscopici*, per le quali appunto è valida la teoria deterministica classica.

Ma, al contrario di quanto supponeva Laplace nella sua generalizzazione all'intero universo della teoria newtoniana, egli vede ora ben chiaramente che le singole catene causali, che qua e là egli riesce a sorprendere nella sua attenta osservazione di ciò che accade, non si saldano affatto tra loro in un'unica, immensa, universale rete causale, che si estende ininterrotta dalle più lontane profondità del passato verso un futuro senza confini, comunque remoto.

Egli vede che, dal sottofondo caotico di eventi quantici, singolarmente imprevedibili e generalmente inosservabili se non nei moti e nei cambiamenti di insieme che talora producono, salgono continuamente a galla, ora qui ora là, inaspettate e sorprendenti le conseguenze di eventi quantici *singoli*, a spezzare d'un tratto quelle catene causali, o a deviarle per canali completamente nuovi e imprevisibili.

Così, il panorama osservabile dall'alto della collina è completamente diverso da quello che aveva creduto di discernere Laplace. Quell'unica, ininterrotta rete causale, che secondo la fisica classica dovrebbe estendersi senza limiti di tempo, appare in realtà spezzata in un'infinità di frammenti, più o meno ramificati, ma tutti finiti e completamente incorrelati tra loro. Ciascuna di queste catene parziali ha origine in un evento casuale

a livello quantico, viene a inserirsi in modo imprevedibile nel quadro del divenire macroscopico e avrà prima o poi un termine: quando la riserva di energia libera ch'essa sfrutta sia stata interamente dissipata a livello quantico.

Questa è dunque la rappresentazione che le idee generali della fisica e le idee generali della biologia congiuntamente ci suggeriscono. È questa rappresentazione che, convenientemente articolata, deve servirci da guida per portare avanti la nostra descrizione scientifica del mondo.

Resta, naturalmente, per noi, a questo livello, avvolto nel mistero quale sia la natura e l'origine di quelle concentrazioni di energia, che sono responsabili del divenire. Questo è un tema del resto che esce dai limiti della nostra ricerca.

(a cura del prof. M. Savarese - 13/1/08)