

La crisi della scienza nel 900

A. Verso la nuova scienza

1. [Le scoperte scientifiche tra fine 800 ed inizio 900](#)

La fine dell'800 mostra l'avvio delle rivoluzioni che avranno luogo nel Novecento, sconvolgendo la fisica classica e diverse altre scienze, grazie ai significativi sviluppi che si verificano in più ambiti disciplinari.

E' fondamentale, innanzitutto, l'elaborazione delle **geometrie non euclidee** (già con Gauss, quindi con Riemann, Lobačevskij e Bolyai), che mostrano la concreta possibilità di costruire geometrie perfettamente coerenti pur senza rispettare il quinto postulato di Euclide (secondo il quale per un punto P non appartenente alla retta r passa una e una sola retta s parallela a r), ritenuto fino a quel momento impossibile da negare.

In secondo luogo, è importante il tentativo, da parte del **programma fondazionalista in matematica** (formulato secondo prospettive diverse da Hilbert e da Brouwer), di riportare le leggi della matematica a quelle della logica. Questo tentativo, però, fallisce nel momento in cui Gödel, con il suo *Teorema di incompletezza* (1930-31), dimostra l'impossibilità di reperire i fondamenti della matematica senza produrre un regresso all'infinito.

Infine, sono da ricordare gli esiti delle ampie **discussioni sull'elettromagnetismo**, avviate già all'inizio del XIX secolo (da parte di Ørsted, Ampère e Faraday), che mostrano come non si possa più pensare la struttura e il comportamento della materia secondo i canoni della fisica classica.

2. [Il processo di unificazione](#)

Verso la fine dell'800 le discipline scientifiche tendono ad un'unificazione interna delle loro diverse branche.

Il processo di unificazione della **fisica** è già molto avanzato: la termodinamica è ormai collegata alla meccanica, l'elettricità al magnetismo e alla teoria della luce.

La **chimica**, benché ancora lontana dal trovare nella fisica il fondamento dei suoi principi, si vale diffusamente della meccanica statistica per convalidare l'ipotesi atomico-molecolare.

Anche le **scienze biologiche** conoscono un processo di unificazione interna, tendendo a raccogliere in unità fisiologia, microbiologia ed evolucionismo darwiniano.

3. [Meccanicismo e teleologia](#)

Il **meccanicismo** - dominante nell'impianto newtoniano, sostanzialmente valido fino a quel momento - inizia a diminuire la propria attrattiva, mentre la **biologia** comincia a rivalutare la

teleologia, cioè la convinzione che gli eventi naturali siano spiegabili non in termini di "cause", bensì di "fini".

Questo orientamento si giustifica non solo perché si stanno evidenziando i limiti delle impostazioni meccanicistiche, ma anche a causa dei recenti fatti storici: la crisi economica avviata nel 1873, il declino dell'egemonia borghese e il sorgere impetuoso dei movimenti socialisti, il carattere fortemente conflittuale di una stagione dominata dall'imperialismo hanno fatto perdere la fiducia nel progresso lineare e garantito della società e della scienza, sostenuto dal positivismo. La scienza abbandona la propria pretesa di essere spiegazione onnicomprensiva e definitiva, sorgono nuove istanze metafisiche e si avvia una nuova collaborazione tra riflessione scientifica e filosofica.

Infine, all'interno delle varie discipline emergono **approcci e modelli metodologici diversi** e a volte incompatibili: non si può più parlare di *una sola* verità scientifica. Cambia il modo di intendere la verità stessa delle teorie, alle quali si chiede non tanto di essere "vere", quanto di essere "consistenti", cioè coerenti sul piano formale e potenti su quello dimostrativo.

4. [Scienza e senso comune](#)

La nuova visione produce uno sconcertante contrasto con l'immagine della realtà fornitaci dai sensi e apparentemente confermata dalla scienza classica. Nel mondo dell'esperienza ordinaria le misure dello spazio e del tempo sono assai poche e semplici, mentre nel mondo della fisica è necessario ricorrere a misure enormi (per le misurazioni dell'universo) o piccolissime (per le misurazioni dei corpuscoli subatomici); allo stesso modo, la cosmologia utilizza tempi esprimibili solo con potenze molto elevate, per descrivere gli eventi cosmici. Le categorie della scienza non sono semplicemente più ampie di quelle del pensiero comune: le prime si svelano adesso completamente diverse dalle seconde, concettualmente incommensurabili. Ci sono entità o eventi che sfuggono del tutto alla logica comune: la retta non è più la linea più breve fra due punti, non è più possibile individuare la traiettoria di una particella, diventa insensato parlare di eventi simultanei.

5. [Le questioni fondamentali](#)

Fra i temi che emergono nell'intreccio a volte polemico, a volte fecondo, di riflessione filosofica e ricerca scientifica, tre meritano di essere evidenziati:

1. Il mondo naturale è organizzato in modo deterministico o indeterministico?
2. Qual è il nesso fra scienza, filosofia e sapere comune?
3. C'è continuità fra mondo fisico e natura vivente?

6. [Determinismo o indeterminismo](#)

Nella filosofia classica il carattere **deterministico** del mondo naturale era stato affermato più volte: da [Democrito](#), da tutta la scienza secentesca, dalla [fisica newtoniana](#), dalla filosofia di [Kant](#). Accantonato il finalismo di matrice aristotelica, sembrava che il determinismo costituisse l'unico presupposto su cui era possibile costruire una scienza della natura.

Anche la **teoria della relatività** sostiene l'organizzazione deterministica del mondo naturale. Il fatto che essa neghi il carattere assoluto dello spazio e del tempo sostenuto da Newton non toglie che le leggi fisiche valgano per tutti, e che il comportamento della natura sia regolato dal principio causale. Che poi, per certi eventi, non si riesca ad ottenere una spiegazione definitiva e perfettamente determinata, è dovuto, semplicemente, alla mancanza di nozioni o di strumenti adeguati. L'impossibilità di conoscere in maniera piena la natura era stato affermato già nel pensiero moderno: nel quarto libro del *Saggio sull'intelletto umano* [Locke](#) aveva individuato un ampio ambito di oggetti intorno ai quali non si poteva raggiungere alcuna certezza, ma solo nozioni probabili.

La **fisica quantistica**, opponendosi alla teoria della relatività, sostiene che tutto il mondo naturale è in sé indeterminato e che non è retto dal principio di causa, perché l'accadere degli eventi segue una logica probabilistica. I limiti della nostra conoscenza derivano, perciò, dalla costituzione stessa della realtà.

7. [Scienza, filosofia e sapere comune](#)

Scienza e filosofia hanno sempre intrattenuto relazioni controverse con il sapere comune. C'è chi le ritiene in sostanziale continuità, chi, come [Hegel](#), le oppone senza mediazioni. Se, però, la scienza classica sembrava confermare le intuizioni del senso comune, ciò non vale per la scienza novecentesca. In realtà, la geometria euclidea o la fisica newtoniana sono ancora oggi perfettamente in grado di gestire il nostro rapporto immediato con la realtà, quando si tratta, ad esempio, di misurare l'area di un triangolo o di costruire una ferrovia, ma mostrano la loro insufficienza non appena si passi al mondo delle entità subatomiche o allo studio del cosmo.

8. [Mondo fisico e vita](#)

Fino all'Ottocento, molti studiosi, sia biologi che filosofi, hanno visto un'opposizione irriducibile fra mondo fisico ed esseri viventi. La vita era considerata un fenomeno che sfuggiva a ogni comprensione scientifica, a qualsiasi spiegazione fisica di tipo causale; così è anche per i pensatori del Novecento che si richiamano al **vitalismo**.

Gli sviluppi novecenteschi della biologia e di altre scienze limitrofe mostrano, invece, che il fenomeno della vita si sviluppa senza soluzione di continuità dalla materia non vivente e che può essere affrontato in modo del tutto rigoroso. Infine, la spiegazione dell'organizzazione e dell'**evoluzione degli esseri viventi** viene adesso riportata a una logica che, pur senza implicare un'intelligenza trascendente come quella di [Anassagora](#) (il *Noûs*), di [Platone](#) (il demiurgo del *Timeo*) o del Cristianesimo, e nemmeno un'intelligenza interna come quella di [Schelling](#), si richiama, per certi versi, a un'**impostazione teleologica**.

B. Dal vecchio al nuovo

1. [La teoria del campo elettromagnetico](#)

[Newton](#) aveva concepito lo spazio come un contenitore vuoto in cui si disponevano gli oggetti, e che su questi non poteva esercitare nessun influsso. Il dibattito sulla natura dello spazio riemerge negli studi sull'elettromagnetismo, cioè sulla trasmissione della corrente elettrica.

Nella seconda metà dell'Ottocento, soprattutto ad opera del fisico scozzese [Clerk Maxwell](#) (1831-79), viene formulata una nuova teoria, nella quale il campo elettromagnetico (il "luogo" in cui hanno luogo le interazioni fra particelle) è concepito come un *continuum* che unifica materia e spazio. La carica elettrica non agisce direttamente su altre cariche, ma modifica lo spazio e perciò le influenza solo in modo indiretto.

2. [L'etere come medio universale](#)

Secondo [Maxwell](#), lo spazio non è vuoto, perchè altrimenti non sarebbero possibili le interazioni: esso è pregno di una materia che funge da medio, chiamata **etere**. Si ripropone, così, lo scontro, che ha origini antichissime, fra i sostenitori del carattere **continuo** della materia (a cominciare da [Anassagora](#), e quindi dagli [stoici](#), fino ad arrivare a [Cartesio](#)) e i sostenitori del suo carattere **discreto**, cioè della sua articolazione in particelle minime (primo fra tutti [Democrito](#), poi [Epicuro](#), [Gassendi](#), infine gli [atomisti inglesi](#) del Seicento). Maxwell si oppone chiaramente alla concezione secondo cui la materia, detta in questo caso "materia ponderabile", sarebbe costituita da molecole e atomi.

L'esistenza dell'etere non ottiene alcuna conferma sperimentale. Fra il 1881 e il 1904 [Albert Abraham Michelson](#) e [Edward William Morley](#) cercano di misurarlo con uno strumento chiamato **interferometro**, costituito da due specchi e una sorgente luminosa. Questo apparecchio avrebbe dovuto cogliere lo scarto fra il tempo impiegato all'andata e quello impiegato al ritorno da un raggio di luce; la differenza che ci si aspettava fra i due tempi è la misura dell'interferenza dell'etere, che

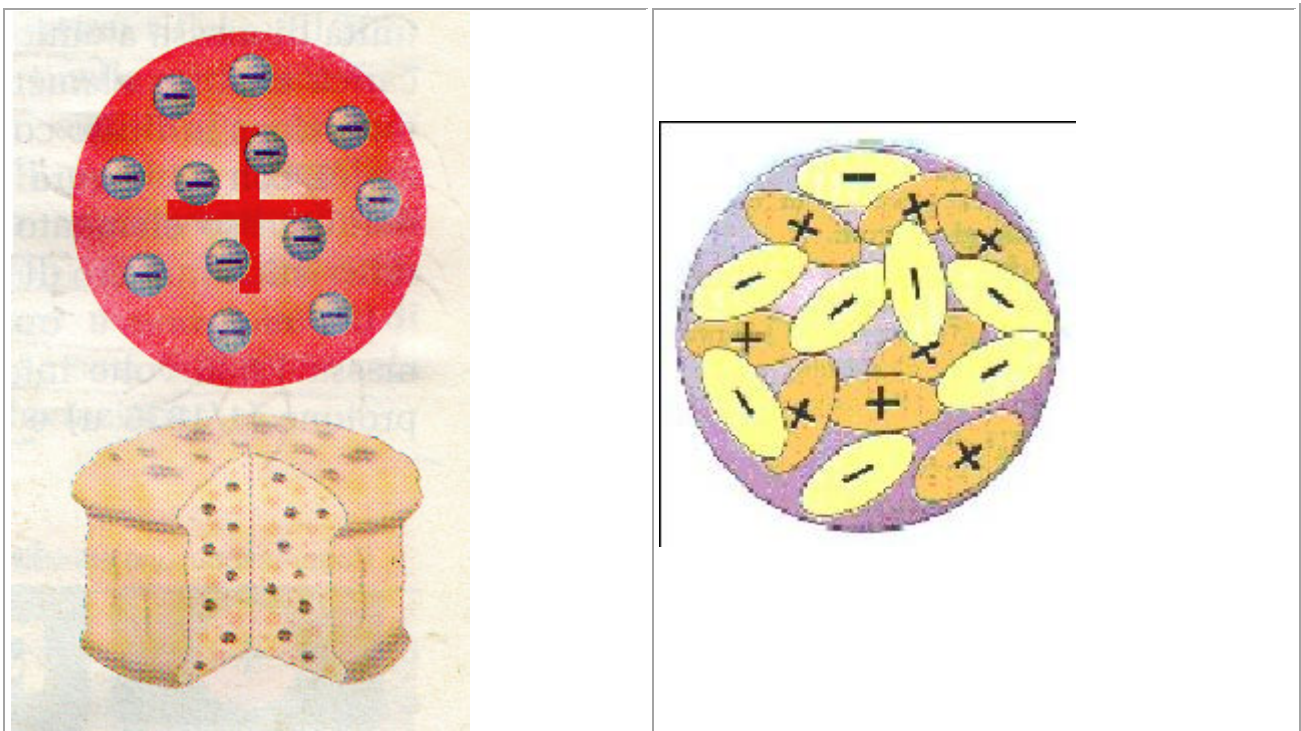
avrebbe dovuto incrementare o diminuire la velocità della luce. Tuttavia il risultato dell'esperimento è pressoché nullo: nulla prova, quindi, l'esistenza dell'etere.

3. [Il modello planetario dell'atomo](#)

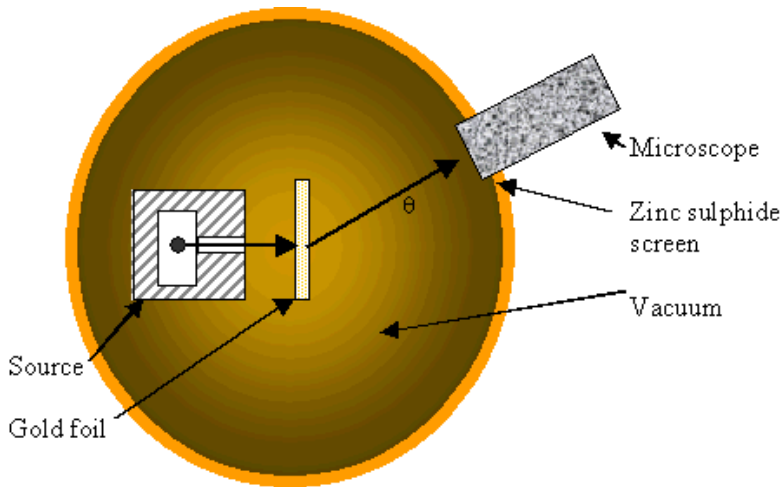
Dopo che vari studiosi avevano immaginato l'atomo come una sfera indivisibile, dotata di carica elettrica, **Ernest Rutherford** (1871-1937), grazie a un esperimento (**Rutherford Scattering**), si rende conto che la materia non è "piena" e concepisce l'atomo come un piccolo sistema solare, per cui il modello che costruisce è detto "planetario". Al centro sta il **nucleo** e intorno ad esso ruotano di moto circolare, attratti dalla sua forza elettrostatica, gli **elettroni**. Questa tesi sembra smentita dal fatto che gli elettroni, irraggiando anch'essi energia, dovrebbero "scaricarsi" e precipitare, il che non accade, visto che continuano indefinitamente a ruotare intorno al nucleo. Dovremo attendere **Niels Bohr** (1885-1962) per la soluzione della difficoltà.

4. [I modelli di Thomson e Rutherford](#)

Nella prima parte del 900, il modello atomistico più diffuso era quello proposto da **J.J. Thomson** con il suo modello detto "**plum pudding**" (panettone), secondo il quale gli atomi sono costituiti da una massa carica positivamente, uniformemente distribuita (protoni), all'interno della quale sono conficcati gli elettroni, carichi negativamente, in numero tale da determinare l'equilibrio delle cariche e quindi la neutralità. In pratica Thomson concepiva l'atomo come una massa nella quale si trovavano sparsi al suo interno gli elettroni, più o meno come l'uvetta che riempie l'interno di un panettone.

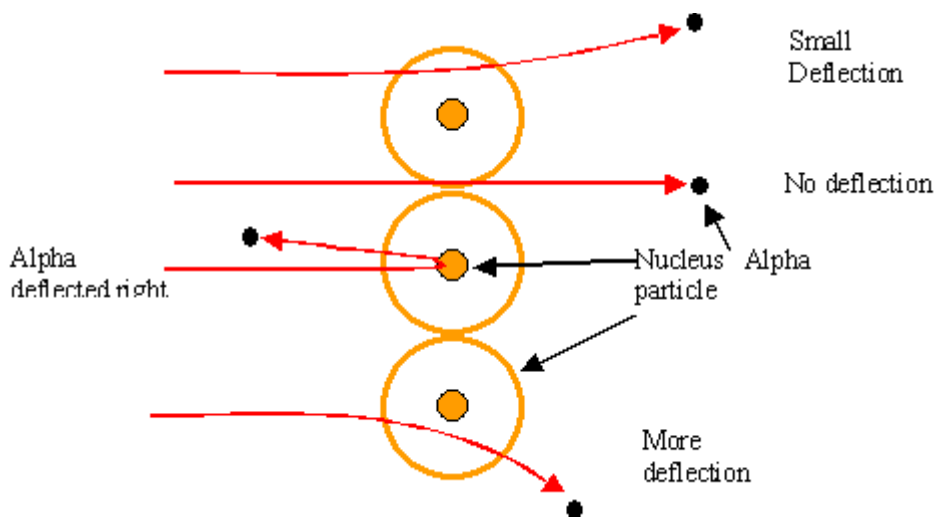


Ernest Rutherford (1871 – 1937) usò particelle alfa per studiare la natura della struttura atomica con il seguente esperimento, noto come la diffusione di Rutherford (**Rutherford scattering**):



In tale esperimento vennero fatte collidere particelle alfa (nuclei di elio) con sottilissimi fogli metallici di oro o platino.

Il loro comportamento risultò sorprendente ed incompatibile con il modello di Thomson: la maggior parte delle particelle attraversava indisturbata il diaframma metallico proseguendo in linea retta, ma alcune particelle subivano vistose deflessioni, in alcuni casi rimbalzando addirittura indietro. Il numero delle particelle deviate risultava correlato al numero atomico degli atomi bombardati.



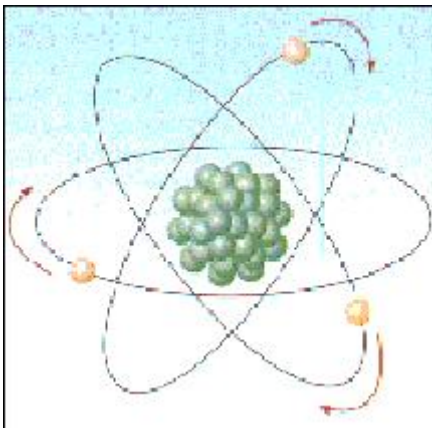
L'esperienza suggerisce che:

a) La struttura atomica sia estremamente rarefatta, visto l'alto numero di particelle in grado di attraversarla

b) la diffusione sia provocata dalla repulsione tra particelle alfa incidenti ed una carica positiva estremamente concentrata il cui valore cresca al crescere del numero atomico.

Infatti se la carica positiva fosse diffusa, distribuita uniformemente su tutto il volume atomico, le particelle a sarebbero sottoposte sempre ad una forza risultante nulla o quasi nulla, sia passando all'interno di un atomo, sia passando tra gli atomi (è quel che accade utilizzando come proiettili-sonda gli elettroni, i quali attraversano la materia subendo deviazioni molto piccole, a causa della distribuzione più omogenea e diffusa delle cariche negative dell'atomo).

Per giustificare i risultati dei suoi esperimenti, Rutherford propose dunque un nuovo modello atomico, detto **modello planetario** con gli elettroni che andavano a costituire una specie di corteccia esterna al massiccio **nucleo** positivo, in modo da garantire la neutralità a livello macroscopico. Per non cadere nel nucleo, attirati dalla carica positiva in esso presente, gli elettroni negativi dovevano naturalmente possedere un'energia cinetica agente in senso opposto.



Da calcoli effettuati sulle percentuali e sugli angoli di deviazione, Rutherford giunse a calcolare che, mentre l'atomo doveva possedere un diametro dell'ordine di 10^{-8} cm, il nucleo avrebbe dovuto presentare un diametro dell'ordine di 10^{-12} - 10^{-13} cm.

C. La teoria della relatività

1. [Spazio, tempo e materia](#)

Nel 1905 [Albert Einstein](#) pubblica *Sull'elettrodinamica dei corpi in movimento*, che mette ordine nella serie complessa e contraddittoria delle teorie che si erano accavallate fino a quel momento. Viene definita, così, nel 1905, la teoria della relatività ristretta (o relatività speciale), che tre anni dopo ottiene una elegante sistemazione formale grazie al matematico [Hermann Minkowsky](#) (1864-1909).

2. [La relatività ristretta](#)

La teoria della relatività ristretta consiste fondamentalmente in due postulati:

Primo postulato: Le leggi della fisica sono le stesse in tutti i sistemi di riferimento inerziali. Non esiste un sistema di riferimento privilegiato.

Secondo postulato: La velocità della luce nel vuoto ha lo stesso valore in tutte le direzioni e in tutti i sistemi di riferimento inerziali.

La relatività implica l'abbandono del punto di vista della fisica classica e anche del [senso comune](#)¹. Non c'è più uno spazio tridimensionale statico, un "contenitore", dove gli oggetti si muovono nel flusso del tempo, ma un **continuum quadridimensionale** in cui tutto (distanze, tempi, velocità, accelerazione, massa) varia al variare del sistema di riferimento. Non è più possibile misurare la distanza fra due punti, come si fa abitualmente in geometria, prescindendo dalla quarta coordinata, quella temporale.

3. [Il problema della simultaneità](#)

Come, allora, stabilire la **simultaneità** fra due eventi?

Einstein si affida al sincronismo degli orologi. Due eventi sono simultanei se entrambi accadono mentre due orologi stazionari sincronizzati fra loro indicano lo stesso momento.

Di conseguenza, la simultaneità è sempre relativa a un determinato sistema di riferimento: dipende da *chi* misura e da *come* misura. Einstein spiega questa tesi ricorrendo all'esempio del treno. Se dal centro di un treno, che corre a una velocità prossima a quella della luce, viene emesso un segnale

1



L'influenza dei recenti sviluppi della scienza è sensibile nelle opere di Duchamp, e soprattutto nel suo Grande Vetro, in cui esplicita la ricerca di una visione non retinica (non legata a quanto si percepisce normalmente con l'occhio) capace di esplorare una "Quarta dimensione" inaccessibile ai sensi.

luminoso, esso raggiungerà la testa e la coda nello stesso istante, cosicché i passeggeri potranno sincronizzare i loro orologi. Un osservatore posto sui binari vedrà invece il raggio raggiungere prima la coda, che gli si avvicina, e solo dopo la testa, che si allontana da lui. La simultaneità non è dunque una proprietà degli eventi.

4. [La dilatazione del tempo](#)

Questa definizione ha anche una fondamentale conseguenza a proposito del tempo. Prima di Einstein, esso era ritenuto una costante universale, nel senso che trascorrevano allo stesso modo per tutti gli osservatori, indipendentemente dalla situazione in cui venivano a trovarsi. Non aveva alcun senso parlare di un "medesimo" intervallo temporale più lungo per alcuni e più breve per altri. Le cose cambiano con la relatività e lo stesso Einstein lo spiega con un esempio.

Se nel treno fosse inviato un raggio luminoso dall'alto verso il basso, esso assumerebbe per i passeggeri una traiettoria rettilinea, ma per l'osservatore sui binari una obliqua, a causa del moto stesso del treno. Il tempo impiegato dal raggio a raggiungere il basso sarebbe più breve per i passeggeri e più lungo per l'osservatore (stante la costanza della velocità della luce), che vedrebbe "più lenti" i moti del treno e assisterebbe alla dilatazione delle masse che vi sono contenute.

Anche la massa, quindi, varia al variare dei sistemi di riferimento. A seconda della velocità e della distanza del treno, l'osservatore vedrà una massa diversa.

5. [La relatività generale](#)

Con la **relatività generale** (1916) [Einstein](#) estende il principio relativistico ai sistemi accelerati. Ad esempio, è inerziale il sistema di riferimento di un osservatore immobile; è accelerato quello di un osservatore che si muove stando seduto su un treno. L'allargamento della teoria della relatività porta a una **visione cosmologica** del tutto **nuova**.

Lo [spazio](#) della cosmologia relativistica non è più un contenitore vuoto, indipendente dalla materia, nel quale - secondo la concezione newtoniana - era inserita la materia stessa. Piuttosto, deve le sue caratteristiche geometriche alla distribuzione di materia ed energia. La gravitazione non è più imputabile a forze misteriose che agiscono a distanza, ma è l'effetto di un modo spontaneo degli oggetti lungo le **geodetiche** (linee di lunghezza minima, equivalenti alle rette dello spazio euclideo). Viene introdotta la nozione di un **continuum quadridimensionale a curvatura variabile**, cioè di uno spazio curvo già previsto, in termini esclusivamente matematici, nella geometria ellittica di [Riemann](#).

5b. [Spazio e luce nell'opera di Delaunay](#)

La teoria della relatività mette fortemente in crisi la nozione newtoniana dello spazio e del tempo. Sarebbe semplicistico indulgere a facili analogie, affermando che la pittura si sia ispirata direttamente alla relatività.

Sono, tuttavia, innegabili, nella produzione artistica di inizio Novecento, nuovi modi di cogliere e rappresentare lo spazio, contro le istanze rappresentative dei secoli precedenti.

Si osservi, ad esempio, la *Tour Eiffel* di Robert Delaunay (1885-1941), nel quale l'energia luminosa fa esplodere la struttura metallica della *Tour Eiffel* ed essa si staglia verso l'alto, facendo vacillare le case che le si addensano intorno. Non è uno spazio realistico, quello raffigurato da Delaunay, ma il modo personale in cui egli percepisce il proprio spazio cittadino. Dissoluzioni ancora più sconcertanti delle coordinate spazio-temporali si hanno, nello stesso periodo, nelle opere della pittura astratta.



6. [Il dibattito filosofico sulla teoria della relatività](#)

Che la teoria della relatività sia gravida di conseguenze speculative appare chiaro subito. Si sviluppa così, a cavallo fra gli anni Dieci e Trenta, un ampio dibattito fra **neopositivisti**, soprattutto **Schlick** e **Reichenbach**, e **neokantiani**, in particolare **Cassirer**.

Per i **neopositivisti**, la gnoseologia kantiana, che ritiene la nostra intuizione dello spazio un a priori euclideo e tiene rigidamente separati spazio e tempo, viene smentita dalla relatività. Quest'ultima mostra da un lato che la fisica è costruita in base all'esperienza e a delle regole opportunamente scelte dal ricercatore, dall'altro che non c'è alcun a priori dotato di validità universale e necessaria.

I **neokantiani**, invece, interpretano la teoria einsteniana come l'inveramento della rivoluzione copernicana, in quanto essa conferma il fatto che l'oggettività per l'uomo non è mai un dato, bensì un costrutto che coinvolge operazioni della mente. Nella loro lettura, Kant afferma il carattere spaziale (e temporale) della nostra intuizione, ma non ne sostiene esplicitamente il carattere euclideo. Aggiungono, poi, che la relatività completa un processo che percorre tutta la fisica moderna e che mostra il passaggio dalla vecchia concezione della conoscenza come mero rispecchiamento del dato (tipica del realismo) a una del tutto nuova, che la intende come conferimento della forma al dato empirico.

Dal canto suo, anche **Einstein** si mostra in qualche misura **debitore del kantismo**, almeno quando ritiene che il mondo fisico, che egli da realista reputa esistente indipendentemente dall'uomo,

assuma un rilievo per la conoscenza solo quando ricostruito razionalmente in base a regole. Queste **regole** non sono degli a priori in possesso di validità universale e necessaria, ma vengono costruite in stretto rapporto con l'esperienza. Il tratto che le rende scientifiche non è, tuttavia, la loro verità o corrispondenza effettiva con il mondo fisico, quanto la loro **coerenza formale**.

7. [La deflessione dei raggi luminosi](#)

Nella fisica relativistica, contrariamente a tutti gli assunti dell'ottica classica, **anche la luce può incurvare la sua traiettoria**, per il fatto che anche l'energia ha una sua massa. Nell'esempio sopra riportato del treno, abbiamo visto che i raggi luminosi possono percorrere traiettorie curve anziché rettilinee. Questo fenomeno si spiega per il fatto che la gravità viene accresciuta o diminuita da un'accelerazione. In presenza di una massa sufficientemente grande, l'attrazione modifica il campo gravitazionale e produce una deflessione dei raggi luminosi.

Questa conclusione, che inizialmente genera un notevole sconcerto, è provata nel 1919 da un esperimento condotto dal fisico **Arthur Eddington** e adesso è largamente confermata sperimentalmente in astronomia. In occasione di un'eclissi di sole, Eddington calcola che, se era corretta la tesi di Einstein, la massa lunare avrebbe prodotto una deflessione dei raggi solari, per cui essi avrebbero dovuto arrivare in un determinato punto di un'isola del Pacifico, l'isola Prince, cosa che invece non sarebbe successa se aveva ragione l'ottica classica. E in effetti fu possibile constatare l'arrivo dei raggi.

7a. [I concetti scientifici e la realtà \(Einstein\)](#)

Tutta la scienza non è altro che un raffinamento del pensiero comune. E' per questa ragione che il pensiero critico del fisico non può verosimilmente venir ristretto all'esame dei concetti del suo campo specifico. [...]

Contrariamente alla psicologia, la fisica si interessa direttamente soltanto delle esperienze sensoriali e della "comprensione" delle loro connessioni. Ma anche il concetto di "realtà esterna" del pensiero comune si fonda unicamente sulle impressioni sensoriali. [...]

Io credo che il primo passo verso una descrizione sistematica di un "mondo reale esterno" sia la formazione dei concetti di oggetto corporeo e di oggetti corporei di varia conformazione. Dalla massa delle nostre esperienze sensoriali non preleviamo certi complessi di impressioni ricorrenti (in parte in connessione con impressioni sensoriali che vengono interpretate come segni delle

esperienze sensoriali altrui), e attribuiamo loro un significato, il significato di oggetto corporeo. Considerato da un punto di vista logico, questo concetto non si identifica con la totalità delle impressioni sensoriali cui si riferisce, ma rappresenta una creazione arbitraria della mente umana (o animale). D'altra parte, questo concetto trae il proprio significato e la propria giustificazione esclusivamente dalla totalità delle impressioni sensoriali che noi gli associamo. Il secondo passo consiste nel fatto che nella nostra concezione teorica (che a quella che determina le nostre previsioni) noi attribuiamo a questo concetto di oggetto materiale un significato in gran parte indipendente dalle impressioni sensoriali che hanno presieduto al suo sorgere. Questo è ciò che intendiamo quando attribuiamo all'oggetto corporeo "un'esistenza reale". [...] D'altra parte, la costruzione degli oggetti reali e in generale l'esistenza del "mondo reale", posseggono una giustificazione solo in quanto sono collegati con le impressioni sensoriali tra le quali essi stabiliscono una connessione mentale.

[...] Una delle grandi scoperte di Immanuel Kant fu il riconoscimento che la costruzione di un mondo esterno reale sarebbe priva di senso senza la sua comprensibilità.

Nel parlare qui di "comprensibilità", l'espressione viene usata nel suo significato più ristretto. Essa, in generale, implica la produzione di un qualche tipo di ordine fra le impressioni sensoriali, tale ordine essendo prodotto dalla creazione di concetti generali, dalle relazioni fra questi concetti, e dalle relazioni fra i concetti e l'esperienza sensoriale, relazioni determinate in ogni maniera possibile. E' in questo senso che il mondo delle nostre esperienze sensoriali è comprensibile. Il fatto che sia comprensibile è davvero un miracolo.

Secondo me non si può dire nulla riguardo al modo in cui i concetti devono essere costruiti e collegati, come pure riguardo al modo in cui noi dobbiamo coordinarli con le esperienze. Il successo dei risultati rappresenta il fattore determinante che ci guida nella creazione di un tale ordine fra le esperienze sensoriali. Tutto ciò che è necessario è l'enunciazione di un gruppo di regole, poiché senza tali regole l'acquisizione della conoscenza nel senso desiderato sarebbe impossibile. Si può paragonare tale situazione a quella di un gioco: le regole possono anche essere arbitrarie, ma solo il loro rigore e la loro inflessibile applicazione rendono possibile il gioco. La loro scelta, tuttavia, non sarà mai definitiva: essa varrà solo per un particolare campo di applicazione (in altre parole, non esistono categorie definitive nel senso di Kant). [...]

Il fine della scienza è, da una parte, la comprensione più completa possibile della connessione fra le esperienze sensoriali nella loro totalità e, dall'altra, il raggiungimento di questo fine mediante l'uso di un numero minimo di concetti e di relazioni primarie (mirando, per quanto è possibile, all'unità logica della rappresentazione del mondo, cioè a tener ristretto il numero di elementi logici).

7b. [Guida all'analisi de "I concetti scientifici e la realtà" \(Einstein\)](#)

Scienza e senso comune

Secondo Einstein, la scienza sviluppa criticamente il pensiero comune. Ciò non significa che, per fare un esempio, la relatività possa essere intesa immediatamente da tutti, e nemmeno che si possano comprendere i suoi concetti riportandoli alle nostre esperienze quotidiane. La fisica, a differenza della psicologia, si interessa esclusivamente alle esperienze sensoriali dell'uomo, cioè ai dati della conoscenza empirica, per individuarne i rapporti interni necessari: non si occupa, dunque, del significato che i dati possono eventualmente assumere per la psiche umana. Alle esperienze sensoriali, è riconducibile anche il concetto di "realtà esterna", così come è concepito dal pensiero comune.

La creazione del "mondo esterno"

La creazione di un mondo reale esterno avviene mediante la formazione di concetti che rimandano a oggetti. Sulla base dell'insieme delle esperienze sensoriali che facciamo, elaboriamo un concetto, a cui attribuiamo un significato che riferiamo a un oggetto esterno. Fissare alcune di queste esperienze, attribuire loro stabilità ed esistenza esterna è il risultato di un'operazione arbitraria: è l'uomo (o l'animale) che deve selezionare, nella congerie delle sensazioni, quali possono essere associate fra loro per formare l'oggetto e quali, invece, no.

L'esistenza del "mondo esterno"

All'oggetto così formato noi attribuiamo caratteristiche indipendenti dalle sensazioni che hanno portato alla sua formazione. Ad esempio, io parto dal circolare, dal rosso, dal dolce e dal profumato per arrivare a postulare l'esistenza di una mela, ma poi la ritengo esistente indipendentemente dalle mie sensazioni: essa diventa, così, da oggetto interno della mia esperienza sensibile (privata e in certo modo incerta), oggetto esterno che si offre alla percezione di tutti. D'altro canto, gli oggetti che diciamo reali sono davvero tali solo se connessi a nozioni empiriche, cioè solo con riferimento alle impressioni sensoriali che hanno generato il concetto ad essi riferito. In questa affermazione si mostra il fondamento empiristico della concezione di Einstein, perché la nozione di un determinato oggetto, per quanto definita arbitrariamente, ha senso solo se fondata su un accertamento empirico.

La "conoscibilità" del mondo

Il mondo esterno sorge per via delle connessioni mentali che noi stabiliamo. Vale anche per Einstein la "rivoluzione copernicana" di Kant: l'esistenza del mondo esterno è qualcosa di insensato senza la sua "comprensibilità", anzi sarebbe assurdo porla se ammettessimo l'assoluta indipendenza

del mondo dell'uomo. Non è, dunque, possibile ammettere l'esistenza della cosa in sé. Solo l'uomo (il soggetto) con la propria attività mentale è in grado di dare un significato e senso agli oggetti del mondo esterno. In questa affermazione consiste, per Einstein, il merito di Kant. Se, da un lato, dunque, Einstein è un realista, per il fatto di essere convinto che la realtà fisica possiede un grado di esistenza propria indipendentemente dall'uomo, dall'altro egli si rende conto che l'idea stessa di una realtà *del tutto* indipendente dall'uomo è un controsenso: questa concezione, infatti, la renderebbe addirittura impensabile.

Le regole della conoscenza

Kant assumeva come un dato di fatto non spiegabile, specifico della costituzione intellettuale dell'uomo, il fatto che egli è in possesso di determinate regole di sintesi per costruire gli oggetti. Allo stesso modo, Einstein, ritiene che sia impossibile giustificare le regole che ci consentono di mettere ordine tra le esperienze sensoriali e rendono possibile la conoscenza. Ciò che dobbiamo fare è, invece, identificarle ed enunciarle: «*non si può dire nulla riguardo al mondo in cui i concetti devono essere costruiti e collegati*». La scelta delle regole è legata alla loro capacità di rendere conto dei fenomeni osservati e si sottopone al successivo giudizio dell'esperienza. Esse non sono, dunque, invariabili, ma se ne possono scegliere di vario tipo (come in effetti è accaduto di continuo nella storia della scienza), e si possono e si devono modificare. Sono come le regole di un gioco, che, anche se scelte arbitrariamente, devono essere applicate rigorosamente, fino a quando sono ritenute valide, onde evitare di rendere impossibile lo svolgimento del gioco stesso. Einstein nega, così, l'esistenza di qualsiasi a priori kantianamente inteso.

Lo scopo della scienza

La scienza deve tendere alla più completa comprensione delle connessioni mentali fra le diverse esperienze sensoriali e deve costruire l'immagine più ampia possibile della realtà naturale nel modo più economico, cioè facendo ricorso al numero più ristretto possibile di esperienze e di concetti.

8. [Il significato della relatività](#)

In fisica

- nuova concezione del tempo e dello spazio
- individuazione di un rapporto fra massa ed energia: a velocità prossime a quella della luce, la forza trasmessa a un corpo si trasforma in massa
- scoperta che anche la luce può curvare la sua traiettoria

In astronomia

- nuova spiegazione della gravitazione

- unificazione di spazio e tempo in un continuum quadridimensionale a curvatura variabile

In filosofia

- dibattito sul kantismo, in particolare sulla sua concezione dello spazio e tempo come a priori

D. Tempo oggettivo e tempo soggettivo in Bergson

1. [Tempo e durata](#)

Nella fisica relativistica non c'è niente di "relativo", se con questo termine intendiamo, come nel linguaggio comune, un approccio soggettivo, variabile da individuo a individuo. Anche se si ammette una molteplicità di sistemi di riferimento, resta che le leggi della fisica valgono allo stesso modo in tutti questi sistemi. Che il tempo della fisica non abbia nulla a che vedere con quello della nostra esperienza è, invece, la convinzione di partenza di **Henri Bergson**.

Nella sua prima opera di rilievo, il *Saggio sui dati immediati della coscienza* (1889), Bergson distingue il tempo della scienza, che chiama **tempo**, omogeneo, reversibile (cioè ripetibile, com'è possibile ripetere infinite volte un esperimento), discreto e in possesso di connotati esclusivamente quantitativi, dal tempo dell'esperienza umana, che chiama **durata**, discontinuo, irreversibile, qualitativamente determinato. In esso, ogni istante interferisce con gli altri creando una struttura aggrovigliata come una matassa di lana. Un minuto è sempre un minuto, ma nella percezione individuale un minuto di divertimento è estremamente più breve di un minuto di sofferenza. Il tempo che vive il soggetto è registrato nella sua coscienza, i suoi momenti trapassano in gran parte nell'inconscio, ma sono tutti funzionali al suo agire e interagiscono gli uni con gli altri.

2. [La natura e lo slancio vitale](#)

In *L'evoluzione creatrice* (1907) Bergson vede nello sviluppo dell'uomo come in quello della natura le conseguenze di quanto è accaduto in passato, ma allo stesso tempo il generarsi di novità imprevedibili. Mentre, però, l'individuo è costretto a fare scelte che limitano la sua esistenza e ne inibiscono molte possibilità, la natura è proprio l'attuarsi di tutte le possibilità. Per questo Bergson definisce **convergente l'esistenza dell'uomo**, costretto a scegliere una sola fra le alternative che di volta in volta gli si presentano, e **divergente quella della natura**, dove troviamo sviluppo molteplici.

Questi sviluppi non seguono un disegno preordinato, non mirano a raggiungere determinati scopi: in questo senso nella natura **non è presente alcun finalismo**. Eppure, il carattere chiaramente coordinato delle creazioni naturali (Bergson fa l'esempio dell'occhio, in cui ogni minima parte è

armonicamente collegata alle altre) mostra che esse non sono governate **nemmeno** dal **determinismo**, che qui assume la valenza di casualità.

Nella natura opera invece uno **slancio vitale**, una forza creatrice che unifica l'intero divenire naturale e lo percorre ancor prima che esso si biforchi nelle sue molteplici risultanze. Questa forza può non essere visibile, come Bergson spiega con la **metafora della mano**. Se una mano attraversa una limatura di ferro, alcuni grani vi rimarranno attaccati assumendo la sua forma. Se poi la mano fosse invisibile agli osservatori, alcuni (i meccanicisti) interpreterebbero la posizione dei grani in forma di mano come un'azione reciproca esercitata dai grani stessi, altri (i finalistici) come l'attuarsi di un piano predeterminato che sovrintende al loro movimento. In realtà, tutto è dovuto a una forza sottesa.

L'articolarsi della natura si spiega con la differenziazione progressiva dello slancio vitale che, agendo sull'inerzia della materia, porta verso forme sempre più evolute di organizzazione e di coscienza.

3. [La polemica con Einstein](#)

Nel 1922 Bergson pubblica *Durata e simultaneità*, una presa di posizione nei confronti della teoria della relatività ristretta. Egli oppone al tempo fisico della scienza quello psicologico dell'esperienza comune. Il **problema della simultaneità**, viene, così, risolto con l'appello a un tempo unico, fondato sulla facoltà della memoria. E' la memoria che, connettendo il prima e poi nel suo "ora", garantisce la simultaneità: quest'ultima non sussiste, perciò, fra due eventi, ma fra due percezioni di eventi distinti. I paradossi del tempo di Einstein sorgerebbero dalla confusione fra il tempo misurabile della fisica e quello qualitativo della coscienza.

La contestazione di Bergson fa sorgere un ampio dibattito, ma è dovuta a un fraintendimento tecnico della teoria della relatività, e tuttavia manifesta, al di là di questo errore, un approccio del tutto diverso al problema del tempo. Bergson vuole affrontare una problematica più ampia di quella einsteiniana; opponendosi al razionalismo cartesiano, egli cerca di sviluppare una teoria del tempo vissuto, del tempo psicologico, che la considerazione scientifica non esclude, ma a cui non è interessata.

4. [Il tempo di Bergson e la pittura](#)



L'assenzio, 1876 (E.Degas)



Donna con l'ombrello, 1886 (C.Monet)

La concezione del tempo di Bergson esercita una vasta influenza sulla letteratura e sulle arti figurative. Nell'ambito di queste ultime, il primo movimento ad accogliere l'orientamento bergsoniano è l'**impressionismo**, sorto nella seconda metà dell'Ottocento e caratterizzato dalla volontà di esprimere l'irripetibilità dell'impressione momentanea. Scrive lo storico dell'arte **Arnald Hauser**: *«Il pensiero impressionista trova la sua espressione più pura nella filosofia di Bergson, e proprio nell'interpretazione bergsoniana del tempo, cioè di quel medium che è l'elemento vitale dell'impressionismo. [...] Il tempo non è più principio di dissoluzione e distruzione, l'elemento in cui le idee e gli ideali e gli ideali perdono il loro valore, la vita e lo spirito la loro sostanza, ma anzi è la forma in cui noi diventiamo padroni e consci del nostro essere spirituale, della nostra natura vivente, opposta alla morta materia e alla rigida meccanica».*

(A.Hauser, *Storia sociale dell'arte*, vol.IV, Torino, Einaudi, 1987, pp.217-18)

4a. [Il fondamento psicologico del tempo \(Bergson\)](#)

Per noi è incredibilmente difficile rappresentarci la durata nella sua purezza originaria; e ciò deriva, certamente, dal fatto che noi non siamo gli unici a durare: le cose esterne - sembra - durano come noi, e, considerato da quest'ultimo punto di vista, il tempo assomiglia molto a un mezzo omogeneo. Non solo i momenti di questa durata sembrano essere esterni gli uni agli altri, come lo sarebbero i corpi nello spazio, ma il movimento percepito dai nostri senso è, in qualche modo, il segno tangibile di una durata omogenea e misurabile. Ma c'è di più, il tempo entra nelle formule della meccanica, nei calcoli dell'astronomo e persino del fisico, sotto forma di quantità. Si misura la velocità di un movimento, il che implica che anche il tempo sia una grandezza. E la stessa analisi che abbiamo

appena tentato deve essere completata, poiché se non viene misurata la durata propriamente detta, cosa misurano allora le oscillazioni del pendolo? Si ammetterà, a rigore, che la durata interna, percepita dalla coscienza, si confonde con l'incastarsi dei fatti di coscienza gli uni negli altri, con l'arricchimento graduale dell'io; ma, si dirà, il tempo che l'astronomo introduce nelle sue formule, il tempo che i nostri orologi dividono in particelle uguali, questo tempo è un'altra cosa, è una grandezza misurabile e quindi omogenea. - Eppure non è così, un esame accurato dissiperà anche quest'ultima illusione.

Quando seguo con gli occhi sul quadrante di un orologio il movimento della lancetta che corrisponde alle oscillazioni del pendolo, non misuro la durata, come potrebbe sembrare; mi limito invece a contare delle simultaneità, cosa molto diversa. Al di fuori di me, nello spazio, vi è un'unica posizione della lancetta e del pendolo, in quanto non resta nulla delle posizioni passate. Dentro di me, si svolge un processo d'organizzazione o di mutua compenetrazione dei fatti di coscienza, che costituisce la vera durata. Mi rappresento ciò che io chiamo le oscillazioni passate del pendolo, nello stesso tempo in cui percepisco l'oscillazione attuale, proprio perché io duro in questo modo. Sopprimiamo ora, per un istante, l'io che pensa queste cosiddette oscillazioni successive; avremo sempre una sola oscillazione del pendolo, anzi una sola posizione di questo pendolo, e quindi nessuna durata. Sopprimiamo, d'altra parte, il pendolo e le sue oscillazioni: avremo solo la durata eterogenea dell'io, senza momenti esterni gli uni agli altri, senza rapporti con il numero. Così, nel nostro io, vi è successione senza esteriorità reciproca; al di fuori dell'io, esteriorità reciproca senza successione: esteriorità reciproca, in quanto l'oscillazione presente è radicalmente distinta dalla oscillazione precedente che non è più; ma assenza di successione, in quanto la successione esiste solo per uno spettatore cosciente che ricordi il passato e giustapponga le due oscillazioni o i loro simboli in uno spazio ausiliario. - Ora, tra questa successione senza esteriorità e questa esteriorità senza successione si attua una specie di scambio, abbastanza simile a quello che i fisici chiamano un fenomeno di [endosmosi](#)². Siccome ognuna delle fasi successive della nostra vita cosciente, che tuttavia si compenetrano fra loro, corrisponde a una oscillazione del pendolo ad essa simultanea, e siccome d'altra parte queste oscillazioni sono nettamente distinte, poiché quando una si produce l'altra non c'è più, contraiamo l'abitudine di stabilire la stessa distinzione tra i momenti successivi della nostra vita cosciente: le oscillazioni del bilanciere la scompongono, per così dire, in parti esterne le une alle altre. Di qui l'idea erronea di una durata interna omogenea, analoga allo spazio, i cui momenti identici si susseguirebbero senza compenetrarsi. Ma, d'altra parte, le oscillazioni pendolari, che sono distinte solo perché quando una appare l'altra si dissolve, traggono in qualche

² Passaggio di un liquido dall'esterno all'interno di un diaframma poroso. Il fenomeno, chimico e fisico, è uno dei due lati dell'osmosi (l'altro, opposto e complementare, è l'esosmosi) e fu scoperto da Jean Antoine Nollet Pimpres (1700-70). Qui Bergson assume il termine per indicare una compenetrazione fra gli eventi esterni all'io, che si sviluppano nel tempo, e la coscienza che li unifica nel suo presente.

modo vantaggio dall'influenza che così hanno esercitato sulla nostra vita cosciente. Grazie al ricordo del loro insieme che la nostra coscienza ha organizzato, esse di conservano per poi allinearsi: insomma, noi creiamo per loro una quarta dimensione dello spazio, che chiamiamo il tempo omogeneo, e che permette al movimento pendolare, sebbene si produca sempre nello stesso luogo, di giustapporsi indefinitamente a se stesso. - Ecco infatti che cosa scopriamo ora provando a stabilire quale ruolo spetti esattamente al reale e quale invece all'immaginario, all'interno di questo processo molto complesso. C'è uno spazio reale, senza durata, ma in cui certi fenomeni appaiono e scompaiono simultaneamente ai nostri stati di coscienza. C'è una durata reale, i cui momenti eterogenei si compenetrano, ma ciascun momento della quale può essere avvicinato a uno stato contemporaneo del mondo esterno e, per l'effetto di questo stesso avvicinamento, separato dagli altri momenti. Dal confronto di queste due realtà si genera una rappresentazione simbolica della durata, ricavata dallo spazio. La durata assume così la forma illusoria di un mezzo omogeneo, e il collegamento fra questi due termini - lo spazio e la durata - è la simultaneità, che si potrebbe definire come l'intersezione tra il tempo e lo spazio.

4b. [Guida all'analisi de "Il fondamento psicologico del tempo" \(Bergson\)](#)

Tempo della scienza e tempo della coscienza

Nella prima parte di questo passo Bergson sembra opporre il tempo della scienza a quello della coscienza. Il primo è omogeneo, misurabile, costituito da elementi discreti, riconducibile a una precisa grandezza quantitativa. Il secondo è un accavallarsi di eventi che si condizionano reciprocamente. Nella prosecuzione, tuttavia, Bergson intende sostenere come anche il tempo della scienza poggi su un fondamento psicologico.

La simultaneità

Bergson descrive ciò che accade quando effettuiamo una misurazione del tempo della scienza, con riferimento al movimento di una lancetta di orologio. Effettuando questa operazione, in realtà noi stiamo sommando degli elementi discreti, e cioè le varie posizioni della lancetta, che di per sé sono irrelate. Il tempo nasce all'interno della coscienza, che connette queste posizioni attribuendo loro il carattere della continuità. Senza coscienza non si dà tempo, non si dà nessun tempo, nemmeno quello della scienza. Il tempo della scienza non ha dunque, una natura opposta a quello della coscienza, perché la nozione generale di tempo (scientifico e non) si fonda precisamente sempre sull'attività della coscienza e sulla memoria.

L'attività della coscienza

Il tempo discreto e quello continuo (quello degli orologi e quello della coscienza) non restano estranei l'uno all'altro, ma si condizionano trapassando l'uno nell'altro. Il tempo della coscienza finisce per essere scandito secondo i ritmi degli orologi, per una nostra erronea convinzione, che considera il tempo interno come una grandezza omogenea, e dunque dimentica le differenze quantitative che corrono fra i diversi momenti che noi viviamo. La realtà è un'altra: il movimento meccanico delle lancette acquista continuità e significato solo all'interno della coscienza. Se ci fermiamo all'intendimento dello spazio visto come mero susseguirsi di momenti discreti e irrelati, fatalmente ne produciamo un'idea del tutto simile a quella dello spazio.

E. Fisica quantistica e indeterminismo

1. La nascita della teoria dei quanti

Se la relatività era riuscita a eliminare il contrasto tra la fisica di Newton e l'elettromagnetismo, restava in piedi il contrasto fra l'elettromagnetismo e la **meccanica statistica** (ramo della fisica che studia il comportamento e le proprietà medie di sistemi costituiti da un numero molto grande di particelle, come i gas, e che, pertanto, usa gli strumenti della statistica). Quest'ultima non era stata in grado di spiegare perché, a temperature elevate, gli urti fra le molecole sono causa di eccitazione negli elettroni, tali da trasformare l'energia cinetica in radiazioni elettromagnetiche. Dopo che sono avanzate, e quindi confutate alcune ipotesi, è il fisico tedesco **Max Planck** (1858-1947) a trovare, nel 1900, la soluzione. Egli ipotizza che l'energia emessa o assorbita viaggia sempre in quantità discrete, in unità che egli chiama **quanti**.

Oltre alle problematiche strettamente fisiche, Planck non trascura di considerare le generali implicazioni filosofiche ed etiche della fisica quantistica, giungendo, però, a conclusioni agnostiche sul nesso tra indeterminismo e libertà. A suo avviso, non è, infatti, possibile derivare la libertà umana dal carattere della materia.

2. Il principio di indeterminazione

La teoria quantistica mostra immediatamente la sua fecondità: i fisici iniziano subito a riconsiderare le vecchie teorie sulla struttura dell'atomo, a partire dal modello planetario di **Rutherford**. Si sviluppa, così, la **fisica quantistica**, cui danno utili contributi anche altri studiosi.



La fisica classica sa bene che nelle misurazioni sono sempre presenti inesattezze, ma aggiunge che, in teoria, è sempre possibile ridurle con mezzi strumentali più perfezionati. La fisica quantistica, invece, sostiene che è impossibile spingere oltre un certo limite la precisione nella misurazione di due grandezze complementari come sono la posizione e la quantità di moto di una particella.

Werner Karl Heisenberg (1901-76), in una memoria intitolata *Reinterpretazione teorico-quantistica delle relazioni cinematiche e meccaniche*, affronta con un approccio nuovo le transizioni degli elettroni, che producono emissioni e assorbimenti di onde elettromagnetiche.

Nell'articolo *Sulla meccanica quantistica II* (1925) **Heisenberg**, **Born** e **Jordan** danno forma definitiva a questo modello, e Heisenberg può, quindi, formulare il principio di indeterminazione. Secondo questo principio, è impossibile determinare contemporaneamente la posizione e la quantità di moto dell'elettrone.

Il principio di indeterminazione ha un significato più profondo: ogni particella è intrinsecamente indeterminata e si determina solo nel momento in cui cerchiamo di misurare uno dei suoi valori. Non c'è un mondo reale e deterministico, di cui noi ci facciamo un'immagine indeterminata a causa della debolezza dei nostri strumenti di ricerca. Il mondo delle particelle non ha un modo di manifestarsi distinto e separato dalle modalità con cui noi lo osserviamo.

3. [La pittura di Escher](#)

Ellittica	Iperbolica
	
Limite del cerchio IV - xilografia 1960	Farfalle - xilografia 1959

Lo sviluppo della nuova fisica e della matematica non euclidea influenza le opere di **Maurits Cornelis Escher** (1898-1972), che spesso raffigurano paesaggi enigmatici e bizzarre costruzioni architettoniche. Nelle sue tavole più famose, Escher costruisce strutture nelle quali un unico spazio contiene in sé molteplici altri spazi collegati gli uni agli altri in successione continua.

3a. [La causalità degli eventi naturali \(Planck\)](#)

Poiché l'immagine classica del mondo è venuta meno, occorre sostituirla con un'altra. [...]

Ciò è ora avvenuto di fatto. La nuova immagine del mondo della fisica quantica è proprio originata dal bisogno di render possibile la prosecuzione di un rigoroso determinismo anche con il quanto d'azione. Per questo scopo è stato necessario spogliare del suo carattere elementare il punto

materiale, che finora era stato considerato come la parte integrante primordiale dell'immagine del mondo; esso è stato dissolto in un sistema di onde materiali. Queste onde materiali rappresentano gli elementi della nuova immagine del mondo.

Il punto materiale nel suo antico significato appare ora solo come uno speciale caso limite, un pacchetto d'onde infinitamente sottile, il cui impulso è pienamente indeterminato in una posizione determinata del punto, corrispondentemente alle relazioni di incertezza di Heisenberg.

Tuttavia, per quanto riguarda la determinazione delle onde materiali, nell'immagine del mondo della fisica quantica domina il determinismo altrettanto rigoroso che in quella della fisica classica; solo sono diversi i simboli usati e si opera con regole di calcolo diverse. Corrispondentemente, nella fisica quantica, così come prima nella fisica classica, l'incertezza nella predizione degli eventi del mondo dei sensi viene ridotta all'incertezza del nesso tra l'immagine del mondo e il mondo dei sensi, cioè all'incertezza della traduzione dei simboli dell'immagine del mondo al mondo dei sensi e viceversa. Che questa doppia incertezza debba esser tenuta in conto è da prova più impressionante dell'importanza del compito di mantenere innanzi tutto il determinismo all'interno dell'immagine del mondo.

3b. [Tabella sull'origine dell'Universo](#)

Completa la tabella che segue e, a partire da essa, elabora poi un breve testo argomentativo sul tema dell'origine dell'universo.

	Da chi è sostenuta questa tesi?	Come viene spiegata l'origine del cosmo?
Teoria delle superstringhe		
Teoria del tutto		
Teoria del Big Bang		

3c. [L'a priori e la fisica quantistica \(Heisenberg\)](#)

Venendo ora al raffronto delle dottrine di Kant con la fisica moderna, sembra a prima vista che il suo concetto centrale dei "giudizi sintetici a priori" sia stato completamente annichilito dalle scoperte del nostro secolo. La teoria della relatività ha mutato le nostre concezioni sullo spazio e sul tempo, ha rivelato in effetti aspetti del tutto nuovi dello spazio e del tempo, di cui non si ha traccia nelle forme a priori kantiane dell'intuizione pura. La legge di causalità non è più applicata nella

teoria dei quanta e la legge di conservazione della materia non risulta più vera per le particelle elementari. Naturalmente Kant non poteva aver preveduto le nuove scoperte, ma poiché era convinto che i suoi concetti sarebbero stati «la base di ogni futura metafisica che si presenti in forma di scienza» è interessante constatare come i suoi argomenti siano stati erronei. Come esempio pigliamo la legge di causalità. Kant afferma che ogni qualvolta osserviamo un evento noi presumiamo che esiste un evento precedente da cui il primo deve seguire secondo una certa regola. È questo, come dice Kant, la base d'ogni lavoro scientifico. [...] Quindi, la legge di causalità si risolve nel metodo stesso della ricerca scientifica: è la condizione che rende possibile la scienza. Giacché noi in effetti applichiamo questo metodo, la legge di causalità è «a priori» e non derivata dall'esperienza.

È vero questo nella fisica atomica? Consideriamo un atomo di radio che possa emettere una particella alfa. Il tempo dell'emissione della particella alfa non può essere previsto. Possiamo soltanto dire che in media l'emissione potrà avvenire in circa duemila anni. Perciò, quando osserviamo l'emissione noi non cerchiamo in realtà un evento precedente dal quale l'emissione deve derivare secondo una regola. Logicamente sarebbe perfettamente possibile ricercare tale evento precedente, e non è necessario che ci si scoraggi per il fatto che fin qui non se ne è trovato nessuno. Ma perché in questo importantissimo problema il metodo scientifico si è veramente trasformato dopo Kant?

Due risposte sono possibili a questa domanda. La prima è che noi ci siamo convinti con l'esperienza che le leggi della teoria dei quanta sono giuste e che, se lo sono, sappiamo che un evento precedente da considerare come causa dell'emissione ad un momento dato, non può essere trovato. L'altra risposta dice: noi conosciamo l'evento precedente, ma non in modo del tutto preciso. Noi conosciamo le forze del nucleo atomico che sono responsabili dell'emissione della particella alfa. Ma questa conoscenza contiene l'incertezza prodotta dall'interazione fra il nucleo e il resto del mondo. Se volessimo sapere perché la particella alfa è stata emessa in quel momento particolare dovremmo conoscere la struttura microscopica del mondo intero ivi inclusi noi stessi, il che è impossibile. Perciò, gli argomenti di Kant a favore del carattere a priori della legge di causalità non possono più ritenersi validi.

Una discussione simile potrebbe farsi sul carattere a priori dello spazio e del tempo come forme dell'intuizione. [...]

Noi usiamo i concetti classici nel descrivere la nostra attrezzatura sperimentale [...]. L'uso di questi concetti, includenti spazio tempo e causalità, è in effetti la condizione per osservare gli eventi atomici ed è, in questo senso, «a priori». Ciò che Kant non aveva previsto era che questi concetti a priori potessero essere le condizioni per la scienza e avere, nello stesso tempo, soltanto un'area limitata di applicabilità. Quando facciamo un esperimento dobbiamo assumere una catena causale

di eventi che conduce dall'evento atomico attraverso l'apparecchiatura sperimentale fino all'occhio dell'osservatore; se non si ammette questa catena causale nulla si potrebbe conoscere circa l'evento atomico. Dobbiamo tuttavia ricordare che la fisica classica e la causalità hanno solo un'area limitata di applicabilità. Questo è stato il paradosso fondamentale della teoria dei quanta che non poteva essere previsto da Kant. La fisica moderna ha trasformato l'affermazione di Kant circa la possibilità di giudizi sintetici a priori da metafisica in pratica.

I giudizi sintetici a priori hanno di conseguenza il carattere d'una verità relativa.

3d. [Guida all'analisi de "L'a priori e la fisica quantistica" \(Heisenberg\)](#)

Gli "errori" di Kant

Le scoperte della fisica moderna hanno messo in crisi la concezione kantiana del "giudizio sintetico a priori". La teoria della relatività, ad esempio, ha modificato profondamente la nozione degli a priori di spazio e tempo, non più concepiti come due forme distinte. La fisica quantistica ha messo, invece, in discussione il principio di causalità, affermando che gli eventi si producono in base a leggi probabilistiche. Heisenberg annota che Kant non avrebbe potuto prevedere tali sviluppi della scienza, ma che gli errori del filosofo prussiano risiedono in un atteggiamento più generale.

Il principio di causalità

Kant muove dalla fiducia nel principio di causa: in natura, ogni evento ha luogo in virtù di una causa che lo precede, ci sia essa nota o ignota. Questo principio rende possibile la ricerca scientifica che può essere vista, secondo il filosofo di Königsberg, come la generale indagine sulle cause. La fisica quantistica afferma, invece, che non è possibile identificare le cause degli eventi fisici, come quando cerchiamo di sapere perché una particella alfa è stata emessa da un atomo di radio in quel momento particolare e non in un altro. Secondo la teoria dei quanta, infatti, il rapporto di causa ed effetto è regolato da un principio di probabilità, non in modo deterministico. Anche se fossimo in grado di identificare l'evento responsabile di un certo effetto, ci sarebbe impossibile conoscerlo pienamente e in maniera oggettiva ("in modo del tutto preciso"), perché per la fisica quantistica la conoscenza di un corpo non è indipendente dai mezzi che adottiamo per esaminarlo. Una conoscenza completa della cause precedenti a un evento richiederebbe la conoscenza della struttura microscopica del mondo intero, cosa che è impossibile.

Concetti classici e fisica dei quanti

Anche gli a priori di spazio e tempo possono essere criticati alla luce dei risultati della fisica moderna. E' da notare innanzitutto che, comunque, i concetti della fisica classica continuano a far

parte della scienza e che il nostro rapporto immediato con il mondo continua a essere regolato dai concetti di spazio, tempo e causalità. Possiamo dire che questi concetti non sono più a priori nel senso in cui li intendeva Kant, ma che comunque li usiamo in molte aree del nostro conoscere e della nostra esperienza quotidiana. Ad esempio, il ricercatore che aderisce alla fisica quantistica e che, quindi, rifiuta il determinismo e la causalità, continua, tuttavia, a comportarsi come se la causalità esistesse, come quando in laboratorio accende la luce premendo l'interruttore. I concetti della fisica classica hanno, dunque, perso il carattere di universalità e necessità che Kant attribuiva loro, e possiedono soltanto un valore relativo. La loro validità è ormai ristretta ad ambiti determinati. Ad esempio, io posso continuare a utilizzare il concetto classico di spazio per misurare la superficie di una casa o per far volare un aereo, ma non posso più farlo se mi sto occupando del cosmo o di entità subatomiche.

F. Fisica, antropologia ed etica - Indeterminismo e libertà

1. [L'uomo è libero?](#)

L'uomo è libero? Rispetto al determinismo classico, la fisica quantistica sembra aprire per l'uomo la possibilità che il mondo fisico non intacchi la libertà dell'agire. In un mondo costituito da mere possibilità, nulla è preordinato. Questa lettura etica è negata dal fisico **Niels Bohr** (1885-1962). Non vale, dunque, l'apparente connessione fra indeterminismo e libertà.

Epicuro aveva mantenuto il carattere casuale della deviazione degli atomi proprio per offrire un fondamento alla libertà dell'agire umano, mentre nell'universo **stoico** il carattere interamente materiale dell'essere aveva condotto ad escludere qualsiasi libertà dalle leggi naturali. Adesso, il fatto che la materia sia intrinsecamente indeterminata non implica più, per Bohr, che in questo mondo l'uomo possa essere liberato dalla sua soggezione alle leggi fisiche.

Piuttosto, è la nozione di oggetto che in generale cambia la sua natura: tutti gli oggetti, da quelli della fisica a quelli della vita psicologica dell'individuo, non sono che entità poste dal nostro intelletto. Non c'è una sostanza estesa che preesiste e si offre alla conoscenza da parte della sostanza pensante, come secondo il dualismo cartesiano. Non c'è un'ontologia già data, ora che sappiamo come dietro ai grandi oggetti del mondo macroscopico si nascondono oggetti minimi, che sfuggono ai nostri sensi.

2. [Completezza e incompletezza della fisica quantistica](#)

Tuttavia, fra gli stessi teorici dell'indeterminismo si sono sviluppate due contrastanti interpretazioni della meccanica quantistica. La **Scuola di Copenhagen-Gottinga** (a Copenhagen lavora **Bohr**, a

Gottinga ci sono **Pauli, Heisenberg e von Neumann**) sostiene che il mondo fisico è in sé indeterminato. Per contro, **altri studiosi** (fra cui **Einstein, Schrödinger e de Broglie**) affermano che il mondo è e resta deterministico, anche se la limitata conoscenza della cause costringe l'uomo ad accontentarsi di spiegazioni probabilistiche.

Einstein ritiene che il comportamento del mondo fisico sia fondato sulla causalità, dunque in sé deterministico; in questo senso va letta la nota battuta per cui «*Dio non gioca a dadi*». La fisica quantistica sarebbe, invece, incompleta e non giunge ad una comprensione piena della realtà naturale. Altri fisici hanno accusato la meccanica quantistica di "determinismo nascosto" e hanno cercato di mettere in crisi i sostenitori dell'indeterminismo ontologico con una serie di paradossi. Attualmente si è usciti dall'alternativa stretta fra determinismo e indeterminismo con nuove teorie.

G. Spiegare l'universo - Fisica e cosmologia

1. Nuove particelle e nuove forze

La fisica degli anni Trenta contava meno particelle e meno forze di quelle note al giorno d'oggi; i fondamentali costituenti della materia erano conosciuti, e tuttavia la coesistenza di teorie diverse e incompatibili rendevano impossibile un'unificazione totale della fisica. Nei decenni successivi **Enrico Fermi** (1901-1954) studia l'**interazione debole**, che spiega il decadimento del neutrone, e il giapponese Hideki Yukawa (1907-1981) si occupa dell'**interazione forte**, ipotizzando una particella mediatrice di forza, che viene poi scoperta nel 1947 dal fisico inglese Cecil Frank Powell (1903-1969) e chiamata **pione**. Con questi nuovi risultati, la fisica abbandona il mondo dell'atomo e si rivolge a quello nucleare, occupandosi di oggetti assai più piccoli (di circa centomila volte) degli atomi. Il numero delle particelle a cui ricorre la fisica, risulta, dunque, notevolmente aumentato rispetto ai primi sviluppi della fisica atomica.

2. Le teorie dell'unificazione

Parallelamente a queste scoperte, si avvia una ricerca che mira a cogliere, nella manifestazione delle diverse forze, l'attuazione di un processo complesso ma unitario. Viene così introdotta da **Murray Gell-Mann** l'ipotesi del **quark**, che lo ha così battezzato traendo il termine dal romanzo *Finnegan's Wake* di **James Joyce**. Il quark dovrebbe essere il costituente ultimo dei barioni, la porzione più piccola di materia finora identificata, ma mancano ancora conferme sperimentali di questa ipotesi. Si è, così, lavorato a una teoria dell'unificazione, che finora ha conosciuto tre formulazioni.

La prima, il cosiddetto **modello standard**, è stata da tempo abbandonata.

La seconda, detta **teoria dei campi unificata**, a cui ha lavorato lo stesso **Einstein**, prende in considerazione solo gravità ed elettromagnetismo, e per questo e per altre sue caratteristiche è ormai obsoleta.

La terza è la cosiddetta **teoria delle superstringhe**, formulata per la prima volta nel 1971 da **John Schwarz** e **Andrè Neveu**. Essa reputa che le particelle non possano che essersi create da sole, seguendo il cosiddetto "principio del bootstrap": prende il nome da un tale che, secondo una storiella, cercava di alzarsi da terra tirando i lacci delle sue scarpe. Secondo questa teoria, il costituente unico della materia è una minuscola stringa, priva di spessore ma di lunghezza finita, che vibra secondo nove dimensioni spaziali. Ciascuno dei suoi differenti modi di vibrazione dovrebbe corrispondere a una delle particelle elementari finora conosciute.

3. [Le teorie del tutto](#)

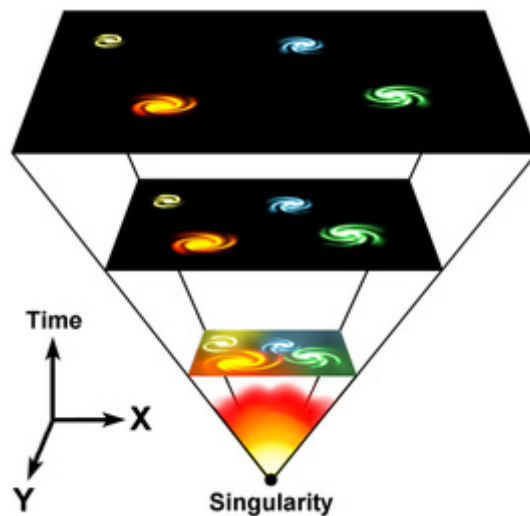
Più recente è l'elaborazione della **teoria del tutto**, la quale, nonostante il nome, non pretende di spiegare per intero la fisica, ma soltanto quella delle particelle elementari. Secondo questa teoria, o almeno secondo alcune sue versioni, **tutto ha avuto origine dal nulla**: una conferma sarebbe il fatto che nell'universo le cariche positive bilanciano con esattezza le cariche negative. Il fatto, apparentemente contrario, che la materia non è controbilanciata da una pari quantità di antimateria potrebbe, invece, spiegarsi se quelle che oggi sono ritenute particelle elementari possedessero, invece una struttura articolata. Le teorie del tutto non possono, attualmente, essere verificate sperimentalmente, e la loro formulazione rigorosa necessita di modelli matematici non ancora elaborati.

4. [Il Big Bang](#)

Sono la relatività, la fisica quantistica e la fisica delle particelle gli strumenti su cui si basa la cosmologia scientifica del ventesimo secolo.

Edwin Hubble (1889-1953), analizzando le righe spettrali delle galassie (e cioè il complesso delle radiazioni che emettono), vi scopre, nel 1929, uno "spostamento verso il rosso", e cioè un fenomeno dovuto alle radiazioni elettromagnetiche spiegabile ipotizzando uno **spostamento fisico delle galassie**: le galassie vanno progressivamente dilatandosi nello spazio cosmico in maniera uniforme. L'ipotesi che ne scaturisce è che, in origine, **materia e radiazioni** dovevano essere concentrate **in un unico punto**. Così **Georg Gamow**, alla fine degli anni Quaranta, formula per la prima volta la teoria del Big Bang. Circa quindici miliardi di anni fa, la materia originaria, inizialmente concentrata

in un punto di materia della dimensione di 10^{-33} centimetri, sarebbe esplosa nei primissimi stadi della vita dell'universo, e continua a espandersi allontanandosi dal centro.



Esistono, oggi, diversi modelli esplicativi del Big Bang. L'idea espressa da alcuni studiosi dei nostri giorni, come **Stephen Hawking** (1942-vivente), è che, in ogni caso, ogni teoria descrittiva lascia in ombra il fondamentale problema del perché: una completa teoria del tutto dovrebbe dare anche le ragioni per cui l'universo esiste e ci metterebbe in condizione di "conoscere il pensiero stesso di Dio".

Hawking ha approfondito la teoria del Big Bang e ha prodotto innovativi contributi sulla questione dei "buchi neri". Questi ultimi sono corpi celesti dotati di un campo gravitazionale così intenso da impedire a qualsiasi oggetto, compresa la luce, di sfuggire alla loro attrazione. Di conseguenza, essi non possono essere mai osservati direttamente e per questo sono chiamati "neri". A seguito di tutti questi studi, Hawking ha proposto una delle prime teorie che integrano la relatività con la fisica indeterministica. Di recente Hawking ha rimesso in discussione la sua teoria, avanzando dubbi e perplessità sulle sue stesse precedenti convinzioni.

Hawking non ha mancato di prendere posizione anche nei confronti del rapporto fra fisica e religione. Consapevole del fatto che, spesso, Dio è stato invocato per spiegare quello che la scienza non riusciva a chiarire, ma che gli sviluppi della scienza stessa hanno relegato Dio in spazi sempre più ristretti, Hawking sposa un prudente **agnosticismo**. Dio è inteso dal fisico inglese come colui che ha posto le condizioni iniziali



dell'esistenza dell'universo: una concezione che molti critici hanno trovato ingenua e ristretta. In ogni caso, egli aggiunge che la scienza è in grado di spiegare il "come" e non il "perché" dell'universo. Chi ha bisogno di rispondere a quest'ultima domanda non può che rivolgersi alla fede.

4a. [Una teoria unificata del tutto \(Hawking\)](#)

Ma può esistere veramente una teoria unificata del tutto? O ciò che stiamo inseguendo è soltanto un miraggio? Sembra che le possibilità siano tre.

- Esiste realmente una teoria unificata completa, che un giorno, se siamo abbastanza intelligenti, riusciremo a scoprire.
- Non esiste una teoria definitiva dell'universo, ma solo un'infinita serie di teorie che lo descrivono in modo sempre più accurato.
- Non esiste alcuna teoria dell'universo. Al di là di un certo limite, gli eventi si verificano in modo casuale e arbitrario e, come tali, non possono essere predetti.

Alcuni argomenterebbero a favore della terza possibilità sostenendo che, se ci fosse un insieme completo di leggi, verrebbe violata la libertà di Dio di cambiare parere e intervenire nel mondo. E' un pò come il vecchio paradosso: Dio potrebbe creare una pietra così pesante da non essere in grado di sollevarla? Ma l'idea stessa che Dio possa voler cambiare parere è un esempio di quella fallacia, evidenziata da sant'Agostino, che consiste nell'immaginare Dio come un essere esistente nel tempo. Il tempo, invece, è una proprietà che si riferisce esclusivamente all'universo che Dio ha creato; e, presumibilmente, Egli, quando lo creò, sapeva ciò che voleva.

Con l'avvento della meccanica quantistica, siamo giunti a comprendere che gli eventi non possono essere predetti con un'accuratezza assoluta, ma che rimane sempre un certo grado di indeterminazione. Volendo, si potrebbe anche ascrivere questa casualità all'intervento di Dio. Ma sarebbe un tipo di intervento molto strano: non c'è infatti prova che sia diretto a un qualche fine (e anzi, se così fosse, non potremmo più parlarne in termini di casualità). In tempi moderni, abbiamo effettivamente rimosso la terza possibilità ridefinendo lo scopo della scienza: il nostro obiettivo, cioè, è oggi quello di formulare un insieme di leggi che ci permettano di predire gli eventi solo fino al limite fissato dal principio di indeterminazione.

La seconda possibilità, che è quella di una serie infinita di teorie sempre più perfezionate, è in accordo con tutta l'esperienza che abbiamo finora maturato. In numerose occasioni, abbiamo accresciuto la sensibilità delle nostre misurazioni o abbiamo introdotto una nuova classe di osservazioni solo per poi scoprire nuovi fenomeni che non erano predetti dalla teoria esistente. Per spiegare questi nuovi fenomeni, abbiamo dovuto sviluppare una teoria più avanzata. Non ci sarebbe quindi molto di che stupirsi se le nostre attuali grandi teorie unificate si rivelassero inadeguate una

volta messe alla prova con acceleratori di particelle più grandi e più potenti di quelli che abbiamo oggi a disposizione. Anzi, se non ci aspettassimo affatto di poterle superare, non avrebbe molto senso spendere un sacco di soldi per la costruzione di macchine più potenti. Sembra, tuttavia, che la gravità possa porre un limite a questa serie di "scatole cinesi". Se avessimo una particella con un'energia superiore alla cosiddetta energia di Planck, pari a 10^{19} GeV ("Gigaelectron Volts", misura usata nella fisica delle particelle per indicare numeri particolarmente grandi: "eV" sta per electron volts" e indica la quantità di energia assunta da un elettrone quando si muove attraverso una differenza potenziale di 1 volt nel vuoto, mentre "G" è un moltiplicatore, sta per "giga", ossia 10^9), la sua massa sarebbe così concentrata che essa si separerebbe dal resto dell'universo e formerebbe un piccolo buco nero. Pare quindi che, procedendo verso energie sempre più elevate, la serie di teorie via via più raffinate dovrebbe infine incontrare un limite: ci dovrebbe essere, pertanto, una qualche teoria definitiva dell'universo. Ovviamente, l'energia di Planck è qualcosa di incredibilmente lontano dalle energie che possiamo attualmente produrre in laboratorio, che si aggirano al massimo intorno a un GeV. Per superare questo abisso, occorrerebbe un acceleratore di particelle più grande dell'intero sistema solare; ma, coi tempi di crisi economica che corrono, è poco probabile che il progetto di un acceleratore del genere riceva i finanziamenti necessari.

Tuttavia, energie di questo livello devono essersi dispiagate nei primissimi stadi della vita dell'universo. Penso che ci siano buone probabilità che lo studio dell'universo primordiale e i requisiti di consistenza matematica ci possano condurre, entro la fine del secolo, a una teoria unificata completa (sempre ammesso che non ci facciamo saltare in aria prima).

Quale significato avrebbe questa nostra eventuale scoperta della teoria definitiva dell'universo? Essa metterebbe fine a un lungo e glorioso capitolo nella storia del nostro sforzo di comprendere l'universo, ma rivoluzionerebbe anche la comprensione che la gente comune ha delle leggi che lo governano.

4b. [Guida all'analisi de "Una teoria unificata del tutto" \(Hawking\)](#)

E' possibile una teoria del tutto?

Hawking avanza provocatoriamente tre possibilità intorno alle teorie del tutto. Forse esiste una sola di queste teorie, quella completa e pienamente coerente; essa costituirebbe l'unificazione della fisica. La seconda possibilità poggia sulla constatazione che non c'è mai stata una scienza "definitiva" e che non c'è ragione di pensare che ci possa essere in futuro. Secondo questa visione, la spiegazione scientifica si sviluppa avvicinando asintoticamente la verità. La terza teoria nega, per ragioni di principio, che una teoria del tutto sia possibile: se gli eventi sono indeterminati in se stessi, non potranno mai essere spiegati in misura piena e perfetta. Le motivazioni teologiche che

supportano la terza ipotesi, secondo la quale si deve tenere presente la libertà dell'azione di Dio e ammettere che egli possa "cambiare idea", sono state smentite fin dall'epoca di Agostino, come lo stesso Hawking rileva sinteticamente.

L'indeterminazione degli eventi

Il passo ribadisce che, alla luce del principio di indeterminazione, la scienza non può formulare predizioni più accurate di quanto non sia determinato l'accadere degli eventi. Esiste, perciò, un limite oggettivo all'accuratezza della scienza che non dipende dall'imperfezione dei nostri apparati strumentali o dai limiti dell'intelletto umano. L'indeterminazione non è un ostacolo effettivo all'elaborazione di una teoria del tutto: non ha senso, quindi, abbracciare la terza delle ipotesi delineate, neppure in difesa dell'azione di Dio, che; in assenza di prove del suo finalismo, verrebbe ridotta al caso. Compito della scienza è, invece, definire leggi della natura entro i limiti del principio di indeterminazione.

Lo sviluppo della scienza sperimentale

Le teorie mutano, si correggono, si sorpassano. Dispositivi come gli acceleratori di particelle che siamo oggi in grado di produrre sono ben lontani dal consentire di ricreare in laboratorio condizioni come quelle della nascita dell'universo. Tuttavia, almeno in linea teorica, un dispositivo dotato di tale capacità potrebbe essere costruito in un futuro più o meno lontano. Ciò metterebbe gli studiosi in grado di provare sperimentalmente le loro teorie.

La teoria definitiva

Se tale ipotesi diventasse realtà, allora davvero la scienza potrebbe dire l'ultima parola intorno alla costituzione e alla struttura fisica dell'universo. Per Hawking, questa teoria riuscirebbe a spiegare non solo il *come*, ma anche il *perché* dell'universo stesso.

5. [Lo statuto scientifico della cosmologia](#)

Secondo alcuni cosmologi, il progetto della scienza cosmologica, e cioè la pretesa di poter studiare l'intero universo, è contraddittorio. **John D.Barrow** ha affermato che questa disciplina può esprimersi solo a proposito dell'universo visibile e non dell'universo intero. Se l'universo è infinito, noi non possiamo che ammettere la possibilità di infinite situazioni diverse da quelle che conosciamo, e in definitiva la casualità del tutto. In ogni caso, anche con questa fondamentale limitazione, la cosmologia può al giorno d'oggi aspirare allo statuto di scienza.

La fondamentale difficoltà di ogni cosmologia sta nella scelta delle **condizioni iniziali**, ossia nella definizione di come poteva essere l'universo delle origini: esse, in quanto assolutamente prime, possono essere definite soltanto in base a criteri arbitrari. Nella cosmologia tutte le leggi implicano le condizioni iniziali, e dunque l'intera teoria cosmologica regge, o cade, a seconda della plausibilità di queste, sulle quali, però, non è ovviamente possibile avere conferme empiriche o sperimentali.

Le teorie cosmologiche sono in accordo, almeno, nel prevedere che **l'universo è destinato a finire**. A seconda delle differenti valutazioni, la sua fine potrebbe derivare da un'espansione indefinita, a cui conseguirebbe una lenta degradazione, oppure, se la gravitazione frenerà l'espansione, da un'inversione del moto che lo riporterà alla condizione iniziale, antecedente al Big Bang. Questa seconda ipotesi sembra, tuttavia, smentita da una serie di rilievi sperimentali.

6. [Prospettive della fisica](#)

La fisica contemporanea ha scalzato modelli scientifici e convinzioni culturali che si erano protratti per secoli e secoli. Non si deve, peraltro, credere che la fisica classica risulti del tutto affossata. I suoi presupposti essenziali, la matematizzazione della natura e l'universalità delle leggi della scienza, hanno ancora un ruolo centrale. D'altra parte, per la maggior parte delle applicazioni tecnologiche, non serve ricorrere alla teoria dei quanti o alla relatività, ma è sufficiente attenersi ai principi della fisica newtoniana.

In ogni caso, la fisica e, più in generale, tutte le scienze devono accantonare la pretesa di produrre spiegazioni totali e definitive. I limiti non sono dovuti semplicemente all'imperfezione dei nostri strumenti di ricerca, o alla costitutiva debolezza della nostra intelligenza. Si sta abbandonando sempre più l'idea che esistano, all'interno della natura, delle leggi già "belle e pronte", che aspettano soltanto che la mente umana le possa cogliere. Se **Galileo Galilei** aveva affermato che il cosmo è scritto in caratteri matematici e **Laplace** ipotizzava una mente universale in grado di conoscere e di capire tutto, oggi si guarda alle leggi scientifiche come ai risultati del tentativo umano, e solo umano, di organizzare la nostra conoscenza. In altre parole, **le leggi esistono in natura o solo all'interno della ragione?**

Se tutto è impostato deterministicamente, non c'è alcuna libertà e ogni accadimento finisce per essere necessitato. Per uscire da questa difficoltà Kant aveva dovuto relegare la libertà nell'ambito noumenico. La recente riflessione sulla natura sembra aver trovato il modo di riconsegnare all'uomo la natura, formulando il cosiddetto principio antropico. Esso conosce due formulazioni: secondo quella **debole**, le condizioni dell'universo sono compatibili con l'esistenza umana. Quella **forte** asserisce, invece, che le leggi cosmiche implicano la creazione dell'uomo, assumendo, dunque, una

chiara connotazione teleologica. L'esistenza, nel cosmo, di **sistemi adattivi** (cioè in grado di modificarsi per vivere meglio nell'ambiente) come l'uomo, oppure come quei batteri che si immunizzano nei confronti della penicillina, può farci pensare che il cosmo, se non ha l'uomo come suo fine, contiene almeno la possibilità della sua esistenza.

In secondo luogo, almeno da qualche decennio, gli stessi scienziati rifiutano l'idea che tutto quanto può conoscersi scientificamente debba essere ricondotto all'interno degli schemi della fisica teorica, la scienza per eccellenza, di fronte alla quale altre discipline, dalla biologia alla psicologia, dall'economia alle scienze sociali, non possiedono che un incerto statuto epistemologico.

La complessità dei fenomeni, a cominciare da quelli fisici, non sempre può essere irregimentata in schemi rigorosi: per studiare, appunto, la complessità, inaccessibile alle leggi della fisica, si muovono adesso **la teoria del caos, la geometria dei frattali, la fisica dei sistemi dissipativi**.

H. Dal mondo fisico all'essere vivente

1. [Biologia e crisi del vitalismo](#)

La tradizione scientifica ha sempre attribuito un peso maggiore alle scienze "dure", matematizzabili, le uniche riconosciute sino in fondo come rigorose. Altre discipline, come la biologia, la medicina, la sociologia o la psicoanalisi, hanno, invece, intrattenuto rapporti controversi con la filosofia. Nel Novecento, pensatori come **Bergson, Simmel, Dilthey e Scheler** hanno fondato il proprio pensiero sul presupposto della **irriducibilità della vita alla ragione**. Dal canto loro, alcuni fenomenologi, come **Plessner e Merleau-Ponty**, hanno rigettato in nome del mondo-della-vita la scienza quantitativa, che ha per fine una misurazione, e posto al centro della loro visione naturalistica il concetto di **organismo**. In questo scenario di pensiero acquista grande interesse la biologia, disciplina descrittiva che non aspira a misurazioni matematiche universali, ma all'osservazione e allo studio della varietà dei viventi.

La **biologia** sta, oggi, contribuendo a fare chiarezza su varie questioni: il funzionamento della selezione e dell'evoluzione, il significato di nozioni come "specie", la definizione di "vita", l'identificazione dei tratti che distinguono gli esseri viventi da quelli non viventi.

2. [L'approccio biologico di Monod](#)

Erwin Schrödinger (1887-1961), importante studioso di fisica quantistica e di biologia, identifica l'elemento minimo del vivente nella **cellula**. In tal modo egli contribuisce a indebolire il vitalismo ancora diffuso nella cultura filosofica della metà del secolo scorso.

Il biologo **Jacques Monod** (1910-1976) muove, invece, da considerazioni di carattere genetico. Lo specifico degli esseri viventi è che essi trasmettono i propri geni, ma in questa **replicazione del**

genoma (ossia della struttura della cellula, scritta nel DNA) hanno luogo mutazioni che ne modificano lievemente, ma costantemente, le caratteristiche. Tuttavia, il biologo tiene ferma la tesi dell'improbabilità della **vita** che, a suo giudizio, è il **risultato di un caso**.

Ne *Il caso e la necessità* (1970) Monod caratterizza la vita come il risultato del **caso**, cioè della **mutazione**, e della **necessità**, cioè della **selezione naturale**. L'una è imprevedibile, fortuita; l'altra agisce in modo necessario, consentendo la sopravvivenza degli organismi più idonei all'ambiente. L'approccio di Monod differisce, dunque, da quello del neodarwinismo, per il quale la selezione è l'unico meccanismo responsabile del processo evolutivo. Monod specifica le tre proprietà che, a suo avviso, connotano il vivente, differenziandolo da tutti gli altri esseri: la **teleonomia**, la **morfogenesi autonoma** e l'**invarianza riproduttiva**.

La **teleonomia** è la capacità di funzionare in modo da assicurare la propria riproduzione, in quanto gli esseri viventi non solo si adattano al mutare delle situazioni (lo fanno anche i software o le macchine fotografiche automatiche), ma sono anche in grado di elaborare dei progetti. La teleonomia si pone, così, a metà strada fra determinismo e finalismo, come una capacità non intenzionale ma, comunque, creativa.

I viventi, poi, sono le uniche macchine in grado di costruirsi da sé e di riprodursi, e questa caratteristica è detta **morfogenesi autonoma**: le macchine fotografiche e i programmi per computer, al contrario, non producono altre macchine fotografiche o altri programmi.

Il tratto più importante è il terzo, che consiste nella capacità di conservare, lungo il processo riproduttivo, la norma strutturale della specie, pur nella notevole varietà degli individui. L'**invarianza riproduttiva** non è, tuttavia, assoluta, proprio perché hanno luogo le mutazioni: esse sono necessarie per favorire un migliore adattamento delle specie e per aumentarne le prestazioni.

In ogni caso, per spiegare i fenomeni biologici che conducono alla vita, non è necessario fare appello a un disegno finalistico, e tanto meno teologico. Sia **Monod** che **François Jacob** (che vincono il Nobel per la Medicina nel 1965 insieme ad **André Lwoff**) ritengono che la **vita** sia il **frutto di un progetto**, che, tuttavia, si è sviluppato senza essere indirizzato da una qualche intelligenza superiore, e che, dunque, non possiede un senso ulteriore rispetto alla sua semplice esistenza.

3. [L'origine della vita](#)

I possibili sviluppi della biologia, con la sua feconda alleanza con svariate altre discipline, appaiono molteplici e promettenti. Oggi si è indotti a pensare che non la sola evoluzione, ma una complessa trama di rapporti determini lo sviluppo sia degli organismi, sia delle specie. Non si danno organismi

preformati, soggetti poi alla selezione ambientale, ma piuttosto ha luogo un'interazione fra gli stessi organismi e l'ambiente, che vicendevolmente si modificano.

La vita sulla Terra appare la conseguenza naturale di una lunga serie di processi fisici, chimici, geologici e termodinamici. Essa è diventata possibile circa quattro miliardi di anni fa e si è sviluppata in tempi relativamente rapidi. All'incirca tre miliardi e ottocento milioni di anni fa si è generato il codice genetico degli esseri viventi. Dal dibattito fra le scuole emerge la tesi che la vita non sorge improvvisamente, come un caso fortuito, secondo la nota e ormai criticata convenzione di Monod, ma a seguito di una complessa trama di relazioni e sviluppi di strutture fisiche. Dall'altro lato, però, questo significa che la vita non sta «dall'altra parte della barricata» rispetto ai sistemi chimico-fisici, ma deriva da essi senza soluzione di continuità.

3a. [I caratteri del vivente \(Monod\)](#)

La comparsa, l'evoluzione e il progressivo affinamento di strutture sempre più fortemente teleonomiche sono dovuti al sopraggiungere di perturbazioni in una struttura già *dotata della proprietà di invarianza*, e quindi capace di «conservare il caso» e di subordinarne gli effetti al gioco della selezione naturale. [...] Tale teoria è finora l'unica, tra quelle proposte, che sia compatibile con il postulato di oggettività in quanto riduce la teleonomia a una proprietà secondaria derivata dall'invarianza (la sola proprietà considerata primitiva). [...]

Tutte le altre concezioni, esplicitamente proposte per giustificare la stranezza degli esseri viventi o implicitamente velate dalle ideologie religiose e dalla maggior parte dei grandi sistemi filosofici, presuppongono l'ipotesi inversa e cioè che *l'invarianza è protetta, l'ontogenesi guidata, l'evoluzione orientata* da un principio teleonomico iniziale, di cui tutti questi fenomeni sarebbero manifestazioni. [...]

E' così possibile definire un primo gruppo di teorie, cioè quelle che ammettono un principio teleonomico i cui interventi si presuppongono espressamente limitati all'ambito della biosfera, cioè all'ambito della "materia vivente".

Tali teorie, che chiamerò *vitalistiche*, implicano dunque una radicale distinzione tra gli esseri viventi e l'universo inanimato.

Da un altro lato si possono raggruppare quelle concezioni che fanno appello a un principio teleonomico *universale*, responsabile sia dell'evoluzione cosmica sia dell'evoluzione della biosfera, in seno alla quale il suddetto principio di esprimerebbe in modo più preciso e più intenso.

Tali teorie vedono negli esseri viventi i prodotti più elaborati, perfetti, di un'evoluzione orientata in tutto l'universo e sfociata, perché *doveva* sfociarvi, nell'uomo e nell'umanità. Le definirò *animistiche*, e sotto molti aspetti esse sono più interessanti di quelle vitalistiche. [...]

Nell'ambito delle teorie vitalistiche si possono individuare tendenze molto diverse, ma qui ci si limiterà alla distinzione tra ciò che chiamerò "**vitalismo metafisico**" e "**vitalismo scientifico**". Il più illustre sostenitore di un vitalismo metafisico è stato indubbiamente **Bergson**. [...] A differenza di quasi tutti gli altri vitalismi o animismi, il vitalismo di Bergson non è finalistico. Esso si rifiuta di racchiudere in una qualsiasi determinazione la spontaneità essenziale della vita. L'evoluzione, che si identifica con lo slancio vitale stesso, non può dunque avere né cause finali né cause efficienti. L'uomo rappresenta lo stadio supremo a cui è giunta l'evoluzione, ma senza averlo cercato o previsto: egli è piuttosto la manifestazione e la prova della totale libertà dello slancio creatore. [...]

I sostenitori del vitalismo "scientifico" sono stati numerosi e annoverano nelle loro file scienziati di grande valore. [...] I temi delle loro discussioni riguardano ciascuna delle proprietà singolari degli esseri viventi. Per quanto concerne l'invarianza, il suo meccanismo è oggi abbastanza noto da consentirci di affermare che, per interpretarla, non è necessario alcun principio non fisico. [...]

Resta la teleonomia o, più esattamente, restano i meccanismi morfogenetici che costruiscono le strutture teleonomiche. E' verissimo che lo sviluppo embrionale è uno dei fenomeni in apparenza più miracolosi di tutta la Biologia, ma è pur vero che esso, mirabilmente descritto dagli embriologi, sfugge ancora in grande parte (e per ragioni tecniche) alle analisi genetica e biochimica, le sole, con ogni probabilità, che potrebbero consentire di interpretarlo. L'atteggiamento dei vitalisti i quali sostengono che le leggi fisiche sono, o comunque si riveleranno, insufficienti a spiegare l'embriogenesi non è dunque giustificato da conoscenze precise o da osservazioni compiute, ma solo dalla nostra attuale ignoranza. [...]

Per sopravvivere, al vitalismo è necessario che continuino a esistere nella Biologia, se non paradossi veri e propri, almeno "misteri". Gli sviluppi che si sono registrati in questi ultimi vent'anni nella biologia molecolare hanno ridotto singolarmente il loro numero, lasciando praticamente aperto alle speculazioni vitalistiche soltanto il campo della soggettività, cioè quello della coscienza stessa.

Non è troppo arrischiato prevedere che in questo ambito, per il momento ancora "riservato", le speculazioni si dimostreranno sterili come in tutti gli altri campi in cui esse sono state condotte fino a oggi. [...]

All'origine di tali errori vi è naturalmente l'illusione antropocentrica. La teoria eliocentrica, il concetto di inerzia, il principio di oggettività non potevano bastare per dissolvere quest'antico miraggio. La teoria dell'evoluzione, lungi in un primo tempo dal dissipare l'illusione, sembrava anzi conferirle una nuova realtà facendo dell'uomo non più il centro, ma l'erede da sempre atteso,

naturale, dell'intero universo. Dio poteva morire, sostituito da questo nuovo e grandioso miraggio. L'ultimo disegno della Scienza sarebbe stato quello di formulare una teoria unificata che, in base a pochissimi principi, avrebbe giustificato l'intera realtà, compresa la biosfera e l'uomo. Da quest'esaltante certezza traeva alimento il progressismo scientifico del XIX secolo: teoria unificata che i dialettici materialistici credevano di aver già formulato.

Proprio perchè gli sembrava di attentare alla certezza che l'uomo e il pensiero umano sono i prodotti necessari di un'ascendenza cosmica, Engels fu indotto a negare formalmente il secondo principio ed è significativo che lo abbia fatto già nell'introduzione alla *Dialettica della Natura*, e che abbia associato direttamente questo tema a una predicazione cosmologica appassionata con la quale promette, se non alla specie umana, perlomeno al "cervello pensante" un eterno ritorno. Ritorno, in effetti, a uno dei più antichi miti dell'umanità.

3b. [Guida all'analisi de "I caratteri del vivente" \(Monod\)](#)

Teleonomia e finalismo

La teleonomia, cioè la sempre maggiore capacità dei viventi di riprodursi adattandosi all'ambiente, viene conservata e rafforzata dalle mutazioni (chiamate nel testo "perturbazioni") e sottoposta, quindi, alla selezione naturale, ma si inserisce sulla fondamentale invarianza, cioè sulla conservazione della specie nel processo riproduttivo. Le mutazioni favorevoli, che la selezione conserva, hanno luogo senza sconvolgere il complessivo assetto genetico e proprio per questo garantiscono la proliferazione della specie. Le concezioni che invertono il rapporto, giudicando che sia la (relativa) invarianza a essere modificata in base a un qualche progetto finalistico, devono presupporre che la natura funzioni in base a uno schema teleologico. Monod non ammette questa possibilità.

Vitalismo e animismo

Le teorie di tipo teleologico sono distinte in due grandi gruppi: il *vitalismo*, che pone un discrimine netto fra la materia vivente e quella non vivente, e attribuisce un'organizzazione teleologica solo alla prima, e l'*animismo* che, invece, attribuisce un carattere teleologico alla natura intera e vede negli esseri viventi la destinazione necessaria dello sviluppo naturale.

Il vitalismo

Una peculiarità di una delle forme di vitalismo più vicine a Monod, quello di Bergson, è che esso non ha un'impostazione teleologica. Sappiamo, infatti, che, per Bergson, l'evoluzione creatrice non

è né meccanicistica né finalistica. Il vitalismo, sostenendo la sua prospettiva teleologica, ha affermato che in natura permangono dei "misteri", cioè degli eventi inesplicabili. Monod non si nasconde che è difficile spiegare lo sviluppo embrionale, ma contesta la conclusione del vitalismo, e cioè che tale sviluppo si sottrae per principio a ogni tentativo di chiarificazione scientifica. Nulla, infatti, dimostra che gli sviluppi ulteriori non possano far pervenire a una spiegazione rigorosa anche di questo aspetto della biologia: sarebbe, pertanto, sbagliato trarre conclusioni di principio su una difficoltà che riguarda solo la condizione presente della scienza.

L'illusione antropocentrica

L'illusione di una direzionalità dello sviluppo naturale deriva, secondo Monod, da un antico errore di fondo, che consiste nel considerare l'uomo come il fine dell'universo intero. In tal modo, la natura sarebbe guidata da un obiettivo unico e sarebbe possibile spiegarla, secondo quest'ultimo principio, come hanno tentato di fare vitalismi e animismi, ma anche altre dottrine, come il materialismo dialettico di **Engels**. Nella *Dialettica della Natura*, Engels asserisce, in primo luogo, il carattere ciclico dello sviluppo dell'universo e, secondariamente, che esso è avviato a far sorgere lo "spirito pensante" come sua più alta manifestazione. Tali posizioni, tuttavia, vengono liquidate da Monod come un semplice mito, smentito dagli sviluppi della scienza: in primo luogo, la natura ha un cammino lineare e non circolare; in seconda istanza, il fatto che la materia pensante sia più "elevata" di quella non pensante e che, soprattutto, costituisca il fine dello sviluppo naturale, sono giudizi di valore che non trovano nessun fondamento nella biologia o nelle altre discipline scientifiche.

I. Approfondimenti

1. La domanda sull'origine dell'universo è sensata (Odifreddi)

Una delle speranze che si ripongono nella futura teoria unificata è che determini univocamente la struttura dell'universo e della sua storia, e non lasci più aperte diverse possibilità. Già Einstein aveva espresso questa speranza, in seguito alla profusione di modelli che risultarono compatibili con la relatività generale. Ed essa è oggi largamente condivisa, in particolare dai due più noti divulgatori scientifici del momento: **Stephen Hawking**, autore di *Dal Big Bang ai buchi neri*, e **Roger Penrose**, autore di *La mente nuova dell'imperatore*. [...]

Il fatto però che la scienza non abbia (ancora) dato risposte definitive al problema della creazione non deve certo essere considerato negativo: le certezze appartengono al regno dei cieli della religione mentre i dubbi si addicono al regno di questa terra della scienza. Il che non significa che non si siano raggiunti risultati precisi: in sintesi, la dimostrazione che si erano sbagliati tutti coloro

che ritenevano di aver ottenuto una risposta, [positiva come Tommaso o negativa come Kant](#), al problema.

Da un punto di vista logico è infatti risultato essere consistente supporre sia che l'universo abbia un'origine e/o una fine nel tempo, sia che non ce l'abbia; e, per buona misura, anche che abbia un'estensione limitata nello spazio, o che sia invece infinito.

In questo processo, molti miti religiosi hanno subito una metamorfosi, trasformandosi in modelli matematici: il mondo illimitato nel tempo e nello spazio dei [giani](#); la creazione della Genesi e le distruzioni delle varie apocalissi, ebraiche e cristiane; l'uovo cosmico dei misteri orfici, da cui ha origine la vita; il perenne gioco divino mediante il quale Brahma (da bhr, "espansione") si trasforma nell'universo, e l'universo ridiventa Brahma; [...] l'Eterno Ritorno di Platone e Nietzsche, che scaturisce dalla tensione fra il numero finito delle possibili configurazioni dell'universo e l'infinita estensione del tempo; e così via.

La necessità ha dunque ceduto il passo alla contingenza, e la logica all'astronomia: per determinare quale universo sia quello reale, fra i tanti possibili, né la rivelazione né la ragione sono sufficienti, ma è necessaria l'osservazione.

Poiché però il percorso di affinamento del pensiero non è certo concluso, altrettanto si può immaginare per il problema della natura spazio-temporale dell'universo: ci sono infatti più cose in cielo di quante se ne sognino nella cosmologia. E non solo metaforicamente, visto che soltanto il dieci per cento non si sa dove sia [...]. Analogamente, non si sa dove sia finita l'[antimateria](#) che, presumibilmente, era presente in quantità pari alla materia agli inizi dell'universo. Una ipotesi possibile è che, così come galassie quali la nostra sono costituite di sola materia, altre galassie siano invece costituite di sola antimateria: il che introdurrebbe però un nuovo problema, e cioè la spiegazione di questa separazione.

Per ora, comunque, abbiamo almeno capito qualcosa: che, a differenza di altri problemi filosofici, la domanda sull'origine dell'universo si è dimostrata sensata; e che, a differenza di altri problemi scientifici, essa non ha ancora avuto risposta.

2. [La possibilità di una creazione dal nulla è plausibile \(Davies\)](#)

Sebbene Hawking proponga un universo senza una origine definita del tempo, secondo la sua teoria si può anche affermare che l'universo non è sempre esistito. E' corretto allora dire che l'universo "ha creato se stesso"? Io preferirei dire che l'universo dello spazio-tempo e della materia è internamente coerente e autosufficiente. La sua esistenza non richiede nulla al di fuori di esso, e in particolare non è stato necessario nessun primo motore. Questo significa forse che l'esistenza dell'universo può essere "spiegata" scientificamente senza bisogno di Dio? Possiamo considerare l'universo come un

sistema chiuso, che contiene in sé la ragione della propria esistenza? La risposta dipende dal significato che si attribuisce alla parola "spiegazione". Date le leggi della fisica, l'universo è, per così dire, in grado di badare a se stesso, anche alla propria creazione. Ma da dove vengono queste leggi? Non richiedono, a loro volta, una spiegazione? [...]

Questi recenti sviluppi scientifici sono in accordo con la dottrina cristiana della creazione *ex nihilo*? Come ho sottolineato più volte, la creazione dell'universo da parte di Dio non può essere considerata come un atto temporale, poiché essa comporta la creazione del tempo. Nella moderna visione cristiana, creazione *ex nihilo* significa mantenere l'universo sempre in esistenza. Nella moderna cosmologia scientifica non si dovrebbe più pensare allo spazio-tempo come a qualcosa che "nasce". Si dice piuttosto che lo spazio-tempo (o l'universo) semplicemente esiste. [...] L'immagine di Dio evocata da questa teoria, tuttavia, è piuttosto lontana dal Dio cristiano del XX secolo. [...]

Naturalmente, possiamo ancora chiederci: perché esiste l'universo? L'esistenza (atemporale) dello spazio-tempo dovrebbe essere considerata una forma (atemporale) di "creazione"? In questo senso la creazione "dal nulla" non si riferirebbe ad alcuna transizione temporale dal niente a qualche cosa, ma servirebbe soltanto a ricordarci che avrebbe potuto non esserci nulla piuttosto che qualche cosa. Molti scienziati [...] concorderebbero che l'esistenza dello schema matematico di un universo non è la stessa cosa dell'esistenza reale di quell'universo. [...] Nel predire che c'è una probabilità diversa da zero per un particolare universo, si afferma che c'è una possibilità ben definita che esso sarà realizzato. Alla creazione *ex nihilo* viene perciò data l'interpretazione concreta di "realizzazione di possibilità".