

# L'UNIVERSO VISIBILE



## DAL BIG BANG ALLA COMPARSA DELLA VITA SULLA TERRA

Estratti sintetici da *Dio e la scienza*, di J. Guitton, I. e G. Bogdanov, MI 1991  
con adattamenti, integrazioni e aggiornamenti  
a cura del Prof. S.F. Mingiardi



Università  
del Tempo  
Libero  
Seregno

## IL BIG BANG: ORIGINE ED EVOLUZIONE DEL COSMO

### **Le domande**

- *Perché c'è qualcosa anziché niente?*
- *Perché è comparso l'universo?*
- *Cosa è successo 13 miliardi e 730 milioni di anni fa?*
- *Che origine ha avuto il primo atomo di realtà grande mm  $10^{-32}$  cioè  $1/10^{32}$ ?*

## **EXCURSUS STORICO**

### **L'UNIVERSO DEGLI ANTICHI**

- **COSMOGONIE:** concezioni mitiche sulla nascita degli dei, dell'universo e dell'uomo.
- **COSMOLOGIE:** concezioni filosofiche o scientifiche intorno al cosmo.

### **COSMOGONIE**

Tradizioni mitologiche diffuse in disparate aree geografiche evocano immagini di divinità supreme o demiurghi, increate o createsi da sole, che danno origine in tutto o in parte agli elementi dell'universo o creando dal nulla o modellando sostanze amorfe.

1. **BABILONIA:** la dea babilonese ARURU formò dentro di sé l'immagine del dio del cielo prima inesistente.
2. **EGITTO:** il mondo ebbe origine quando SHU, dio spazio-moto, staccò HUT, dea cielo, dal dio GEB, dio terra, a cui era unita in amplesso, e la sollevò in alto.
3. **INDIA:** il dio SHIVA, scendendo dal suo stato perfetto verso stati inferiori, si unì alla NATURA, materia primordiale. Da questa unione affiorarono alla vita le *forme*. Tutto poi si dissolverà e le *forme* della vita saranno riassorbite nel dio originario.
4. **GRECIA:** mentre Omero, poeta del IX sec. a.C., si rifà alla tradizione secondo cui OCEANO (dio dell'acqua) fu all'origine del tutto, Esiodo, poeta dell'VIII secolo a.C., nella TEOGONIA, narra che all'origine del tutto vi fu la coppia URANO (cielo) e GEA (terra).
5. **CULTURE DELL'AFRICA ORIENTALE:** divinità demiurgiche chiamarono fuori dalla TERRA tutte le cose che già, comunque, esistevano.
6. **EBRAISMO:** a incominciare dal VI secolo a.C., durante la cattività babilonese, cominciarono a prendere forma i testi della Genesi in cui si narra della creazione da parte di Dio del cosmo, degli esseri viventi e dell'uomo.
7. **CULTURE DEGLI INDIANI D'AMERICA:** un demiurgo furfante, Corvo o Coyote, chiamò all'esistenza le cose a dispetto della suprema divinità.
8. **CULTURE DELL'AMERICA CENTRALE, I MAYA:** secondo i Maya il mondo fu generato da Hurakàn, il cuore del cielo. Gli dei costruirono nel nulla originario la terra orientata verso i quattro punti cardinali; crearono poi gli animali, le piante e l'uomo. Il mondo Maya appare quadripartito, con quattro dei "atlanti" sostenitori del cielo, i Bacaboob. Gli uomini dell'ul-

tima era, la nostra, sono composti di mais, e nel loro corpo scorre la bevanda del mais. La missione degli uomini è nutrire gli dei.

## **COSMOLOGIE ANTICHE**

1. **BABILONESE:** la terra è piatta al centro dell'universo, circondata e sostenuta da un oceano sotto il quale si apre una cavità che rappresenta il mondo dei morti. Sopra la terra si estende la volta del cielo che poggia sulle acque dell'oceano. Attraverso il firmamento si muovono il Sole, la Luna e gli altri corpi celesti.
2. **EBRAICA:** la struttura dell'universo è immaginata simile a quella babilonese.
3. **GRECA:** con i Pitagorici (VI sec. a.C.) si afferma la concezione sferica dei corpi celesti: al centro dell'universo prima si pensò ci fosse un fuoco (Filolao, V sec. a.C.), poi si pensò ci fosse il sole (Aristarco di Samo III sec. a.C., sistema eliocentrico).  
Con Aristotele, IV sec. a.C., si affermò la concezione geocentrica dell'universo concepito come una grande sfera: al centro la terra e attorno ad essa in movimento tutti gli altri corpi celesti fino al cielo delle stelle fisse.

## **COSMOLOGIE MODERNE: TAPPE DELLA RIVOLUZIONE ASTRONOMICA**

### **LA PRIMA RIVOLUZIONE COSMOLOGICA**

1. **COPERNICO:** nel 1543 Niccolò Copernico pubblicò il suo *De revolutionibus orbium coelestium* in cui sosteneva, contrariamente ad Aristotele e alle Chiese cristiane, l'eliocentrismo. La sua concezione fu fatta propria da Keplero e da Galilei che fu processato nel 1633 e costretto ad abiurare per non finire sul rogo, come era accaduto a Giordano Bruno il 17 febbraio del 1600.  
Tra il 1684 e il 1687 Isaac Newton formulò la teoria della *gravitazione universale* secondo cui *I corpi si attraggono proporzionalmente al prodotto delle masse e in ragione inversa al quadrato delle distanze:*  $F = f \cdot m' \cdot m'' / d^2$ .
2. **KANT-LAPLACE:** Kant nel 1755 e Laplace nel 1796 ipotizzarono, indipendentemente l'uno dall'altro, che l'universo avesse avuto origine da una nebulosa primitiva da cui, poi, si sarebbe originato il sistema solare.
3. **ALBERT EINSTEIN:** nel 1917 ipotizzò l'universo chiuso e lo spazio curvo.

### **LA SECONDA RIVOLUZIONE COSMOLOGICA**

4. **EDWIN HUBBLE:** nel 1929 scoprì il moto di allontanamento delle galassie le une dalle altre in quanto queste presentano, in relazione alla distanza, l'effetto di spostamento della luce verso il rosso (effetto Doppler, analogo a quello dei suoni). **L'universo è, dunque, in espansione.**
5. **GEORGE GAMOW:** nel 1948 formulò la **teoria del big-bang** e della conseguente radiazione fossile ancora presente nell'universo.

6. **ARNO PENZIAS E ROBERT WILSON:** nel 1965 scoprirono la *radiazione fossile* del big bang.
7. **SATELLITE WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe):** lanciato dalla NASA il 30 giugno 2001, ha terminato il suo compito nel 2010. Ha consentito di calcolare l'età dell'Universo con più precisione: 13,730 miliardi di anni; ha ulteriormente confermato la presenza in esso della radiazione fossile del big bang, che ha una temperatura di 270,3° sotto zero; ha rilevato che è piatto; ha verificato che per il 4,56% è formato di materia barionica, cioè di atomi; per il 22,7% di materia oscura e per il 72,8% di energia oscura (cfr. D. Panek, *l'Universo oscuro*, Ed. Le Scienze, RM 2011, pag 271).

## LA COSMOLOGIA OGGI

*Nessuna legge fisica di carattere osservativo ci permette di rispondere alle prime due domande poste all'inizio di questa sezione. Tuttavia, queste stesse leggi ci autorizzano a descrivere in modo preciso quello che è successo all'inizio, a  $1''/10^{43}$  dopo il miraggio del tempo zero, un lasso di tempo di una piccolezza inimmaginabile dal momento che la cifra uno è seguita da 43 zeri.*

*Che cosa è dunque successo all'origine, 13,75 miliardi di anni fa? Per saperlo bisognerà risalire fino al tempo zero, fino a quel muro originario che i fisici chiamano «muro di Planck». In quest'epoca lontana, tutto ciò che racchiude il grande universo - pianeti, soli e miliardi di galassie - era raggruppato in una "singolarità" microcosmica di una piccolezza inimmaginabile. Appena una scintilla nel vuoto.*

*Senza dimenticare, certamente, che parlare dell'emergere dell'universo ci conduce inevitabilmente alla seguente domanda:*

- *da dove proviene il primo "atomo di realtà"?*
- *qual è, quindi, l'origine di quell'immensa tappezzeria cosmica che oggi si estende, avvolta in un mistero quasi totale, nella direzione dei due infiniti?*

### **Le risposte della scienza, le riflessioni della filosofia**

#### **I primi tre minuti**

Per rispondere alla domanda sull'origine dell'universo dobbiamo risalire il più lontano possibile. Percorriamo circa 13 miliardi e 730 milioni di anni nel passato. Che cosa è avvenuto a tale epoca?

La fisica di oggi ci dice che l'universo è nato da una gigantesca esplosione che ha provocato quell'espansione della materia che ancora osserviamo. Prendiamo per esempio le galassie: queste nubi costituite da centinaia di miliardi di stelle si allontanano le une dalle altre sotto la spinta di quella esplosione originaria. È sufficiente misurare la velocità di allontanamento di queste galassie per poter dedurre l'istante primordiale in cui erano raggruppate in un certo punto. È quello che incominciò a fare Edwin Hubble negli anni '20. Un po' come se guardassimo un film alla rovescia: **riavvolgendo immagine dopo immagine il grande film cosmico, finiremmo per scoprire l'istante preciso in cui l'intero universo aveva la misura di una capocchia di spillo.**

Gli astrofisici prendono come punto di partenza **i primi miliardesimi di secondo** che sono seguiti alla nascita dell'universo. Eccoci dunque a  $10^{-43}$  di secondo dopo l'esplosione originaria. A questa età, incredibilmente piccola, l'intero universo, con tutto quello che conterrà più tardi, le galassie, i pianeti, la Terra con i suoi alberi, i suoi fiori, tutto questo è contenuto in una sfera di una **piccolezza inimmaginabile**: mm  $1/10^{32}$  (cioè un millimetro diviso 1 seguito da 32 zeri), ossia alcuni miliardi di miliardi di miliardi di volte più piccola del nucleo di un atomo. Tanto per fare un paragone, il diametro del nucleo di un atomo è «soltanto» di mm  $1/10^{12}$ .

**La densità** e il calore di questo universo originario raggiungono grandezze che la mente umana non può cogliere: una temperatura folle di  $10^{32}$  gradi, cioè **uno seguito da 32 zeri**. Siamo qui di fronte al "**muro della temperatura**", una frontiera di calore estremo al di là della quale la fisica che conosciamo crolla. A questa temperatura, l'energia dell'universo nascente è mostruosa; quanto alla "materia" - se è possibile dare un senso a questa parola - essa è costituita da un **brodo di particelle primitive**, lontane antenate dei quark, che interagiscono continuamente tra loro. Non c'è ancora differenza alcuna tra queste particelle primarie che interagiscono tutte nello stesso modo: **in questo stadio le quattro interazioni fondamentali (gravitazione, forza elettromagnetica, forza atomica forte e forza atomica debole) sono ancora indifferenziate, confuse in una sola forza universale.**

Tutto ciò in un universo che è molti miliardi di volte più piccolo della capocchia di uno spillo!

Quest'epoca è forse **la più folle di tutta la storia cosmica**. Gli avvenimenti si susseguono a un ritmo allucinante, a tal punto che succedono molte più cose in questi miliardesimi di secondo che nei miliardi di anni che seguiranno.

Un po' come se questa effervescenza degli inizi assomigliasse a una specie di eternità. Perché se degli esseri coscienti avessero potuto vivere durante queste prime età del cosmo, avrebbero certamente avuto la sensazione che tra un avvenimento e l'altro passasse un tempo immensamente lungo, per non dire eterno.

Facciamo un esempio: un avvenimento che percepiamo oggi come un flash fotografico era equivalente, in questo universo nascente, a una durata di alcuni miliardi di anni. Come mai? Perché a quest'epoca l'estrema densità degli avvenimenti implica una distorsione della durata. Dopo l'istante originario della nascita, sono bastati alcuni miliardesimi di secondo affinché l'universo entrasse in una fase straordinaria che i fisici chiamano **l'era inflazionaria**.

Durante quest'epoca incredibilmente breve, che si estende da  $10^{-35}$  a  $10^{-32}$  secondi, l'universo si espande di un fattore di  $10^{50}$ . La sua lunghezza passa dalla misura del nucleo di un atomo a quella di una mela di dieci centimetri di diametro. In altri termini, questa espansione vertiginosa è molto più importante di quella che seguirà: dall'era inflazionaria fino ai giorni nostri il volume dell'universo aumenterà solo di un fattore relativamente debole:  $10^9$ , ovvero appena un miliardo di volte.

Dobbiamo ora insistere su un punto difficile da afferrare visivamente: lo scarto di scala che esiste tra una particella elementare e una mela è, in proporzione, molto più grande di quello che separa la dimensione di una mela da quella dell'universo osservabile.

Eccoci dunque di fronte a un universo grande come una mela! L'orologio cosmico indica  $10^{-32}$  di secondo: l'era inflazionaria si è appena conclusa. Ora, in questo istante non esiste ancora che una sola particella cui gli astrofisici hanno dato il nome poetico di **particella x**. È la particella originaria, quella che ha preceduto tutte le altre. Il suo ruolo consiste semplicemente nell'essere veicolo di forze. Se qualcuno avesse potuto osservare l'universo in quel particolare momento, avrebbe constatato che questa mela iniziale era perfettamente omogenea: non era altro che un campo di forze che non conteneva ancora la minima particella di materia.

Ora, proprio a  $10^{-31}$  di secondo succede qualcosa: le particelle x danno origine a tutte le prime particelle di materia: i **quark**, gli **elettroni**, i **fotoni**, i **neutrini** e le **loro antiparticelle**. Gettiamo un nuovo sguardo su questo universo nascente: ora raggiunge la misura di un grosso pallone. Le particelle che esistono in quest'epoca sono all'origine di quelle fluttuazioni di densità che disegnano, qui e là, striature, irregolarità di ogni genere.

Dobbiamo la nostra attuale esistenza a queste irregolarità presenti alle origini. Infatti queste striature microscopiche si svilupperanno fino a dar vita, molto più tardi, alle galassie, alle stelle e ai pianeti. Insomma, la **tappezzeria cosmica** delle origini, analoga al DNA, genererà tutto quello che conosciamo oggi, nello spazio di qualche miliardesimo di secondo.

Ripercorriamo insieme il cammino dell'universo. A  $10^{-32}$  di secondo abbiamo la prima transizione di fase: la forza forte (che assicura la coesione del nucleo atomico) si stacca dalla forza elettrodebole (che risulta dalla fusione tra la forza elettromagnetica e la forza di disintegrazione radioattiva). A quest'epoca, l'universo è già cresciuto in proporzioni fenomenali: misura ora 300 metri da una parte all'altra. All'interno regnano le tenebre più assolute e temperature inconcepibili.

Il tempo passa. A  $10^{-11}$  di secondo, la forza elettrodebole si divide in due forze distinte: l'interazione elettromagnetica e la forza debole. I fotoni non possono più essere confusi con altre particelle come i quark, i gluoni e i leptoni: le quattro forze fondamentali sono appena nate.

Tra  $10^{-11}$  e  $10^{-5}$  di secondo la differenziazione prosegue. A quest'epoca, tuttavia, interviene un avvenimento essenziale: ***i quark si associano in neutroni e protoni e la maggior parte delle antiparticelle sparisce per lasciar posto alle particelle dell'universo attuale.***

***È del 4 luglio 2012 l'annuncio da parte del CERN di Ginevra della scoperta di una particella compatibile con il bosone di Higgs. La scoperta è stata ufficialmente confermata il 6 marzo 2013, nel corso di una conferenza tenuta dai fisici del CERN a La Thuile.***

Alla decimillesima frazione di secondo, le particelle elementari vengono dunque generate in uno spazio che ha appena trovato un ordine. L'universo continua a dilatarsi e a raffreddarsi. Circa 200 secondi dopo l'istante originario, le particelle elementari si uniscono per formare gli isotopi dei nuclei dell'idrogeno e dell'elio; il mondo come noi lo conosciamo prende progressivamente forma.

## **Il muro di Planck**

La storia che abbiamo percorso è durata circa tre minuti. A partire da quel momento le cose andranno molto più lentamente. Per alcuni milioni di anni l'intero universo sarà intriso di radiazioni e di un plasma di gas vorticoso. A circa 100 milioni di anni si formano le prime stelle entro immensi vortici di gas: è proprio al loro interno che gli **atomi di idrogeno e di elio daranno origine per fusione a quegli elementi pesanti che molto più tardi, alcuni miliardi di anni dopo, si sistemeranno sulla Terra.**

Non si può fare a meno di provare una vertigine di irrealtà di fronte a cifre simili, come se, man mano che ci avvicinassimo agli inizi dell'universo, il tempo sembrasse estendersi, dilatarsi fino a diventare infinito.

Torniamo ancora una volta ai primi istanti dell'universo: se si ammette che sia possibile descrivere con grandissima precisione ciò che è successo a  $10^{-43}$  di secondo dopo la nascita dell'universo, allora **che cosa è avvenuto prima?** La scienza sembra incapace di fornire una descrizione o quanto meno un'*immagine almeno ragionevole*, nel senso più profondo del termine, di quell'istante originario in cui il tempo era ancora allo zero assoluto e *nulla* era ancora avvenuto.

In realtà i fisici non hanno la minima idea di che cosa potrebbe spiegare la comparsa dell'universo. Sono in grado di risalire fino a  $10^{-43}$  di secondo, non oltre. Qui si scontrano con il famoso **muro di Planck**, cosiddetto perché il celebre fisico tedesco era stato il primo ad annunciare che la scienza era incapace di spiegare il comportamento degli atomi nelle condizioni in cui la forza di gravità raggiunge un valore estremo. *Nel minuscolo universo degli inizi la gravità non può ancora esercitare il suo potere su alcun pianeta, alcuna stella o galassia che sia; questa forza, però, è già presente e interferisce con le particelle elementari che dipendono dalla forza elettromagnetica e da quella nucleare.* E proprio questo che ci impedisce di sapere che cosa sia successo prima di  $10^{-43}$  di secondo: ***la gravità erige una barriera che nessuna ricerca può valicare; al di là del muro di Planck è il mistero totale.***

***10<sup>-43</sup> di secondo.*** È il ***tempo (o era) di Planck***, per usare la bella espressione dei fisici. E anche il **limite estremo delle nostre conoscenze, la fine del nostro viaggio verso le origini.** Dietro questo muro si nasconde ancora una realtà inimmaginabile. Qualche cosa che forse non potremo mai capire, un segreto che i fisici non immaginano neppure di poter svelare un giorno.

**Le teorie più recenti riguardanti gli inizi dell'universo fanno appello a nozioni di ordine metafisico, nel senso letterale del termine.**

Il fisico John Wheeler di quel "qualche cosa" che ha preceduto la creazione dell'universo dice: **«Tutto quello che noi conosciamo trova origine in un oceano infinito di energia che assomiglia al nulla».**

### **Il vuoto quantistico**

Secondo la *teoria di campo quantistica*, l'universo fisico osservabile non è fatto di nient'altro che di **fluttuazioni minori su un immenso oceano di energia**. Così le particelle elementari e l'universo avrebbero come origine quell'oceano di energia: non soltanto lo spazio-tempo, e la materia nascono in questo piano primordiale di energia infinita e di flusso quantistico, ma sono anche continuamente animati da esso. Il fisico David Bohm pensa che la materia e la coscienza, il tempo, lo spazio e l'universo non rappresentino altro che un infimo "sciabordio" rispetto all'immensa attività del piano soggiacente, il quale, per quanto lo riguarda, proviene da una fonte eternamente creatrice situata al di là dello spazio e del tempo.

Cerchiamo di capire meglio: quale è, da un punto di vista fisico, la natura di questo **piano soggiacente**. Abbiamo almeno a che fare con qualche cosa di fisicamente misurabile?

Esiste in fisica un concetto nuovo che ha dato prova di grande ricchezza operativa: il concetto di **vuoto quantistico**. Precisiamo subito che **il vuoto assoluto, caratterizzato da un'assenza totale di materia e di energia, non esiste** (si ricordi Parmenide). Anche il vuoto che separa le galassie non è **completamente vuoto**: contiene qualche atomo isolato e diversi tipi di radiazioni. Sia esso naturale o creato artificialmente, il vuoto allo stato puro è solo un'astrazione: nella realtà non si riuscirà mai a eliminare un campo elettromagnetico residuo che costituisce lo «sfondo» del vuoto. A questo livello, è interessante introdurre la nozione di **equivalenza fra materia ed energia**: se facciamo esistere, all'interno del vuoto, un'energia residua, quest'ultima può, nel corso delle sue «fluttuazioni di stato», convertirsi in materia: nuove particelle sorgeranno quindi dal nulla. Il vuoto quantistico è così il teatro di un incessante balletto di particelle, dove queste appaiono e scompaiono in un lasso di tempo estremamente breve, inconcepibile su scala umana.

Se ammettiamo che la materia possa emergere da quel quasi nulla che è il vuoto, non disponiamo in questo caso di un abbozzo di risposta alla domanda che abbiamo posto prima? E cioè da dove viene il *big bang*? Che cosa è successo prima di  $10^{-43}$  di secondo?

Prendiamo uno spazio vuoto: la teoria dei quanti dimostra che se vi trasferiamo una quantità sufficiente di energia possiamo veder emergere materia da questo vuoto. Per estensione ci è dunque permesso di supporre che all'origine, poco prima del *big bang*, un flusso incommensurabile di energia sia stato trasferito nel vuoto iniziale causando una **fluttuazione quantistica primordiale da cui sarebbe nato l'universo che conosciamo**.

- Ma da dove viene allora quella colossale quantità di energia che è all'origine del *big bang*?
- Forse quello che si nasconde dietro il muro di Planck è una forma di energia primordiale, di una potenza illimitata?
- *Perché* l'universo è stato creato?
- È opera di un Creatore?
- Forse la scienza non potrà dirlo mai direttamente, ma con il suo silenzio può servire da guida alle nostre intuizioni.

### **Le prove del big bang**

Di certo, quello descritto, e cioè il *big bang*, si fonda su quello che la maggioranza degli astrofisici ammette oggi come modello standard. Ma abbiamo prove tangibili che le cose siano davvero andate così? C'è stato veramente il *big bang*?

Ci sono, di fatto, almeno tre indizi importanti che ci permettono di pensare di sì.

1. Il primo è l'età delle stelle. I dati ricavati da quelle più antiche indicano un'età che va da dodici a quattordici miliardi di anni, che corrisponde alla durata dell'universo dalla sua presunta comparsa.
2. Il secondo argomento si fonda su un'analisi della luce emessa dalle galassie: quest'ultima indica inequivocabilmente che gli oggetti galattici si allontanano gli uni dagli altri con una velocità tanto più elevata quanto più sono distanti. Secondo calcoli recenti il numero delle galassie visibili ammonta a circa 200 miliardi (ma il numero totale sembra essere di 500 miliardi. Cfr. il n° 515 di *Le Scienze* del luglio 2011, *Le galassie perdute*, di J.E. Geach). Ciascuna galassia a sua volta contiene circa 200 miliardi di stelle.

Questo fatto ci suggerisce che nove miliardi di anni fa, secondo calcoli recenti, le galassie erano raggruppate in un'unica regione dello spazio, all'interno di una nube primordiale, scoperta da E. Hubble e matematicamente dimostrata nel 1929.

3. Rimane ora il terzo fenomeno, quello più decisivo. Nel 1965 è stata messa in evidenza da Wilson e Penzias l'esistenza, in tutte le regioni dell'universo, di una radiazione molto poco intensa, analoga a quella di un corpo a temperatura molto bassa: *tre gradi al di sopra dello zero assoluto* ( $-273^{\circ}$ ). Si dà il caso che questa radiazione uniforme non sia altro che una specie di fossile, l'eco fantomatica dei torrenti di calore e di luce dei primi istanti dell'universo.
4. SATELLITE WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe): lanciato dalla NASA il 30 giugno 2001, Le rilevazioni del WMAP sono più precise di quelle dei suoi predecessori; secondo il modello Lambda-CDM, l'età dell'universo è stata calcolata in  $13,73 \pm 0,12$  miliardi di anni, con una costante di Hubble di  $70,1 \pm 1,3 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ , una composizione del 4,6% di materia barionica ordinaria (protoni e neutroni); 23 % di materia oscura di natura sconosciuta, la quale non assorbe o emette luce; 72% di energia oscura la quale accelera l'espansione; infine meno del 1% di neutrini (dati leggermente diversi, a volte arrotondati per eccesso, da quelli riportati a pag. 4).

Tutti questi dati sono coerenti con l'ipotesi che l'universo abbia una geometria piatta, e anche con il rapporto tra densità d'energia e densità critica di  $\Omega = 1,02 \pm 0,02$ . Questi dati supportano il modello Lambda-CDM e gli scenari cosmologici dell'inflazione, dando anche prova della radiazione cosmica di fondo di neutrini. Alla fine del 2008 il satellite WMAP era ancora in funzione, mentre la sua dismissione è stata effettuata nell'ottobre 2010.

## La simmetria originaria

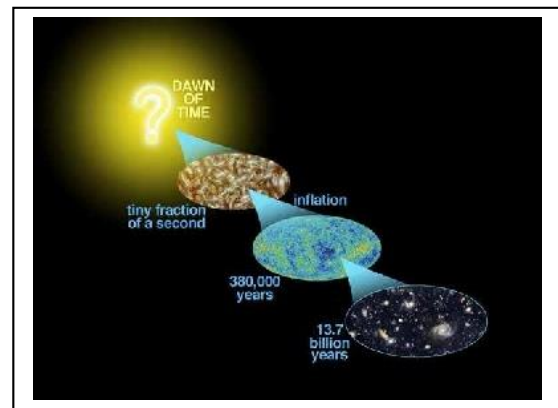
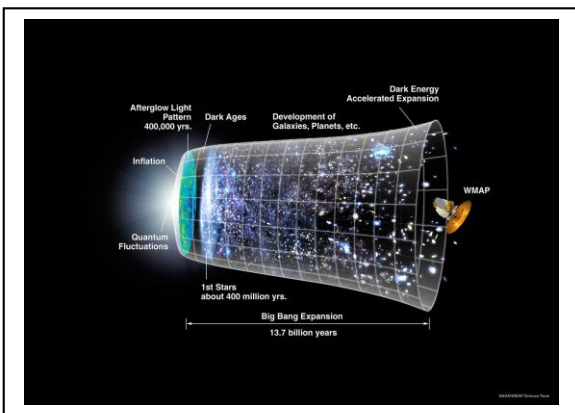
Tramite questo viaggio ai confini della fisica, si prova la sensazione di aver sfiorato la frontiera metafisica del reale, come se una parte della coscienza fosse all'improvviso sensibile a quell'alone invisibile che ci circonda, una sorta di ordine superiore che è l'origine di tutto.

Sembra quasi sicuro che il brodo primordiale, quella mescolanza di materia-radiazione dell'inizio, contenesse, al primo centesimo di secondo, protoni e neutroni in costante interazione. Queste prime interazioni avrebbero creato l'asimmetria materia-antimateria dell'universo, asimmetria di cui la stabilità del protone è oggi una manifestazione.



In compenso, se risaliamo più indietro verso l'origine, per esempio al primo miliardesimo di miliardesimo di secondo, queste particelle non esistevano ancora. Insomma, **la materia** non è altro che **il fossile** di un'età più remota in cui regnava una simmetria perfetta tra le forme di interazione. Infatti, verso il tempo di Planck, quando la temperatura era al massimo, il brodo primordiale doveva essere costituito da particelle più fondamentali dei quark: le particelle x. E quello che è straordinario è che, al primissimo istante della nascita dell'universo, in questo universo dalle altissime energie, in cui non esistevano ancora interazioni differenziate, esso avrebbe avuto una simmetria perfetta. **Insomma, le cose cosmo, come lo conosciamo oggi, dalle stelle fino ai comuni oggetti della vita quotidiana, non sarebbero altro che le vestigia asimmetriche di un universo che era, una volta, perfettamente simmetrico.** L'energia della sfera infuocata primordiale era così elevata che le quattro forme di interazione, cioè la gravità, la forza elettromagnetica, la forza nucleare forte e la forza nucleare di disintegrazione, erano allora unificate in un'unica interazione di una simmetria perfetta. Poi questa sfera infuocata composta di quark, di elettroni e di fotoni ha conosciuto la fase di espansione, l'universo si è raffreddato e la simmetria perfetta si è istantaneamente spezzata.

- Perché mai questa simmetria si è spezzata?
- Era necessario che avvenisse perché si originasse l'universo così come adesso è?
- E perché mai questo universo sarebbe dovuto nascere?



## ALLA RICERCA DELLA MATERIA (Che cos'è la materia?)

### **Le domande**

- *Che cos'è quella che solitamente chiamiamo materia?*
- *Quali sono i costitutivi ultimi di essa?*

## **EXCURSUS STORICO**

### ***I filosofi greci***

La filosofia greca nacque nel VI secolo a.C. come risposta alla domanda sul principio primo di tutte le cose. Le risposte furono le più varie: **Talete** individuò il principio primo nell'*acqua*; **Anassimandro** in un principio *indeterminato* (àpeiron); **Anassimene** nell'*aria*; i **Pitagorici** nel *numero*; **Eraclito** nel *fuoco primordiale*; **Anassagora** in un'infinità di *particelle sostanzialmente diverse* divisibili all'infinito; **Democrito**, invece, in particelle di numero infinito, ma sostanzialmente tutte uguali e indivisibili dette *atomi*; **Empedocle** in quattro elementi fondamentali, ***terra, acqua, aria e fuoco***. Da **Aristotele** in poi essi diventeranno incontestabilmente, fino al 1600, le fondamentali sostanze del nostro mondo, alle quali egli aggiunse una quinta, l'**etere**, di cui pensò fossero fatti i corpi celesti dalla luna in su.

### ***Età moderna***

- **Robert Boyle** (1627-1691), inglese, ripropose la teoria atomistica di Democrito e per la prima volta avanzò l'ipotesi della costituzione chimica della materia distinguendo tra **elementi**, non più scomponibili, e **composti** (1661)
- **Antoine Laurent de Lavoisier** (1743-1794), dimostrò che ci sono sostanze non ulteriormente scomponibili e cominciò a classificarle (metalli pesanti); pose anche le basi della nomenclatura chimica (1787).
- **Amedeo Avogadro** (1776-1856), nel 1811 elaborò la prima formulazione rigorosa dell'ipotesi atomico-molecolare della materia.

### ***Età contemporanea***

- **Max Planck** (1858-1947), tedesco, nel 1900 ipotizzò che l'energia si propaghi in quantità *discrete*, cioè *non continue*, in pacchetti, la cui grandezza è data dalla frequenza d'onda moltiplicata per una costante *h* o **quanto elementare di azione**. (**Teoria quantistica**).
- **Ernst Rutherford** (1871-1937), nel 1911 sostenne che la materia non è uniformemente piena e propose un suo modello nel quale l'atomo è concepito come un sistema solare in miniatura: al centro si colloca un nucleo nel quale è concentrata gran parte della massa dell'atomo, con carica positiva, mentre intorno ad esso ruotano gli elettroni, con carica negativa, in orbite circolari, vincolati dalla forza elettromagnetica.
- **Louis de Broglie** (1892-1987), nel 1924 estese la natura ondulatoria e corpuscolare della luce (scoperta da Einstein), anche all'elettrone.
- **Werner Karl Heisenberg** (1901-1976), nel 1927 annunciò il **principio di indeterminazione**: **non è possibile rendersi conto con certezza e nello stesso tempo di tutti gli aspetti di un fenomeno**.

## **Alla ricerca dei costitutivi ultimi della materia**

La **concezione meccanicistica** dell'universo proposta dalla fisica newtoniana si fonda sull'idea che la realtà comporti due cose fondamentali: **degli oggetti solidi e uno spazio vuoto**. Nella vita quotidiana questa concezione funziona impeccabilmente: i concetti di spazio vuoto e corpo solido fanno totalmente parte del nostro modo di pensare e comprendere il mondo fisico. Il campo del quotidiano può così essere visto come una «regione delle medie dimensioni» dove le regole della fisica classica continuano ad applicarsi.

Tutto cambia però se abbandoniamo l'universo della nostra esperienza per tuffarci nell'infinitamente piccolo, alla ricerca dei suoi costituenti ultimi. Soltanto all'inizio del '900 si sarebbe capita, grazie alla scoperta delle sostanze radioattive, la vera natura degli atomi: non sono delle sfere indivisibili di materia, bensì entità composte di particelle ancora più piccole. Procedendo nella stessa direzione degli esperimenti di Rutherford, le ricerche di Heisenberg e di altri fisici quantistici hanno dimostrato che gli elementi costituenti degli atomi - elettroni, protoni, neutroni e decine di altri elementi subnucleari che sono stati scoperti in seguito - **non rivelano nessuna delle proprietà associate agli oggetti fisici. Le particelle elementari non si comportano assolutamente come se fossero delle particelle «solide»: sembrano comportarsi piuttosto come delle entità astratte.**

*Di che cosa si tratta?*

Per cercare di saperlo, bisognerà abbandonare il mondo che conosciamo, con le sue leggi e le sue certezze. E saremo allora costretti ad ammettere che **l'universo è non soltanto più strano di come lo pensiamo, ma anche molto più strano di come possiamo pensarlo.**

### **Le risposte della scienza, le riflessioni della filosofia.**

Da quasi un secolo siamo entrati nell'era *dei quanti*: in che cosa questa nuova concezione rimette in discussione il nostro modo di comprendere gli oggetti da cui siamo circondati nella vita quotidiana?

Qualunque oggetto noi consideriamo ci obbliga ormai ad ammettere che è fatto di entità che appartengono a *un altro mondo*, quello dell'infinitamente piccolo, dell'atomo e delle particelle elementari. Ma come far coincidere l'evoluzione delle nostre conoscenze teoriche con l'esperienza che ci viene dalla realtà quotidiana?

Tutto quello che la fisica quantistica ci insegna non ci impedisce in realtà di fare l'esperienza delle cose come di un oggetti materiali, di cui possiamo sentire il peso e la consistenza. Ma ciò è **solo un'illusione in quel teatro che è la realtà**. Che cosa c'è quindi *al di là* della sostanza solida degli oggetti?

Partiamo da qualcosa di visibile: per esempio una goccia d'acqua. Quest'ultima è composta di molecole (circa mille miliardi di miliardi), ciascuna delle quali misura mm.  $1/10^6$ . Penetriamo ora in queste molecole: scopriremo degli atomi molto più piccoli che misurano mm.  $1/10^9$ . Proseguiamo il nostro viaggio. Ogni atomo è composto da un nucleo ancora più piccolo (mm.  $1/10^{11}$ ) e di elettroni che vi "gravitano" intorno.

Ma la nostra indagine non si ferma qui. Ancora un salto ed eccoci nel cuore del nucleo: questa volta incontriamo una moltitudine di particelle nuove, i **nucleoni**, di cui le più importanti sono i **protoni** e i **neutroni** (bosoni), di una piccolezza straordinaria, dato che raggiungono una dimensione di mm.  $1/10^{12}$ . Siamo davvero giunti al termine del nostro viaggio? È questa l'ultima frontiera al di là della quale non c'è più nulla? Niente affatto.

Da una cinquantina d'anni a questa parte sono state scoperte delle particelle ancora più piccole, gli

**adroni** a loro volta composti di entità infinitesimali che raggiungono la “misura” inimmaginabile di mm.  $1/10^{15}$ : i **quark**. Vedremo tra poco perché queste particelle rappresentano una specie di «**muro dimensionale**», non esiste alcuna grandezza fisica *più piccola*. Dal luglio 2012 si è aggiunta la particella chiamata **bosone di Higgs**, che conferisce massa alle particelle elementari.

La cosa principale di cui siamo ormai certi è che le cose sono **fatte apparentemente di vuoto**. Un esempio ci permetterà di capire meglio che l'universo intero è essenzialmente composto apparentemente di vuoto.

Immaginiamo di avere in mano una chiave e che essa cresca, fino a diventare grande come la Terra. Su questa scala, gli atomi che compongono la chiave gigante raggiungerebbero appena la misura di una ciliegia.

Ma ecco qualcosa di ancora più stupefacente. Supponiamo di prendere in mano uno di questi atomi della grandezza di una ciliegia. Per quanto lo esaminassimo, anche con l'aiuto di un microscopio, ci riuscirebbe assolutamente impossibile osservarne il nucleo che, su questa scala, è di gran lunga troppo piccolo. In realtà, per vedere qualche cosa, bisognerà cambiare ancora una volta scala. La ciliegia che ora rappresenta il nostro atomo sarà fatta crescere di nuovo fino a diventare un enorme globo alto duecento metri. Malgrado questa grandezza impressionante, il nucleo del nostro atomo non sarà tuttavia più grande di un minuscolo granello di polvere. E questo il vuoto dell'atomo.

Fermiamoci su un fatto così sconcertante: il paradosso di una moltitudine di elementi che alla fine si risolvono nel vuoto, nell'inafferrabile. Per capire, supponiamo di voler contare tutti gli atomi contenuti in un granello di sale. E supponiamo anche di essere sufficientemente veloci da poterne contare un miliardo al secondo. Malgrado questa notevole prestazione, ci vorrebbero più di cinquanta secoli per effettuare il censimento completo della popolazione di atomi contenuti in questo minuscolo granello di sale. Vediamo un'altra immagine: se ogni atomo del nostro granello di sale fosse grande come la capocchia di uno spillo, l'insieme degli atomi che lo compongono ricoprirebbe tutta l'Europa di uno strato uniforme dello spessore di venti centimetri.

Anche tra le particelle elementari regna un vuoto immenso. Se rappresentiamo il protone di un nucleo d'ossigeno come una capocchia di spillo, se, per esempio ci troviamo a Parigi, allora l'elettrone che gli gravita intorno descrive una circonferenza che passa tra l'Olanda, la Germania e la Spagna.

**Questa è la ragione per cui se tutti gli atomi che compongono il nostro corpo dovessero avvicinarsi fino a toccarsi, gli altri non ci vedrebbero più. Nessuno d'altra parte potrebbe vederci a occhio nudo: misureremmo solo qualche millesimo di millimetro, come una polvere finissima.**

In realtà, dopo aver compiuto quel tuffo allucinante che li ha condotti nel cuore della materia, i fisici si sono accorti che il loro viaggio, lungi dal finire ai confini del nucleo, li conduce invece all'immenso oceano di quelle particelle nucleari che abbiamo designato più sopra con il nome di **adroni**. Tutto avviene come se, dopo aver abbandonato il fiume sul quale avevamo l'abitudine di navigare, ci trovassimo di fronte a un mare senza limiti, solcato da onde misteriose che si perdono in un orizzonte oscuro e lontano.

Tutto questo vale anche per l'infinitamente grande. Se volgiamo gli occhi verso le stelle, che cosa incontriamo? Anche qui, apparentemente, il vuoto. Un vuoto enorme tra le stelle e, sempre più lontano, a milioni o miliardi di anni luce da qui, il vuoto intergalattico: un'immensità inconcepibile, nella quale non si incontra assolutamente niente che abbia a che fare con la materia ordinaria, all'eccezione, forse, di un atomo vagante sperduto per sempre nell'infinito buio, silenzioso e glaciale. Ma questo non è altro che quello che concerne la materia visibile, che corrisponde al 4,5% o 5% dell'universo intero, mentre l'altro 95,5% o 95%, è costituito di materia ed energia oscure che sfuggono alla nostra conoscenza. Sembra, comunque, esistere come una similitudine tra l'infinitamente grande e l'infinitamente piccolo.

**Con la differenza che, mentre le stelle sono degli oggetti materiali, le particelle subatomiche non sono dei piccoli granelli di polvere. Sono piuttosto, come abbiamo visto, delle tendenze a esistere, o anche delle “correlazioni tra osservabili macroscopici”.**

Per esempio, quando un semplice elettrone passa attraverso una lastra fotografica, lascia una traccia che assomiglia a una successione di puntini che formano una linea. In condizioni normali, tenderemmo a pensare che questa «pista» sia il risultato del passaggio di un solo e medesimo elettrone sulla lastra fotografica, un po' come una palla da tennis che rimbalza su una superficie in terra battuta. Niente di tutto ciò. La meccanica quantistica afferma che la relazione tra i punti che rappresentano un *oggetto* in movimento è un semplice prodotto della nostra mente: in realtà, l'elettrone che si suppone lasci una traccia *puntuale* non esiste. In termini più rigorosamente aderenti alla teoria quantistica, postulare l'esistenza indipendente di una particella è una convenzione indubbiamente comoda, ma infondata.

Ma che cos'è che lascia una traccia sulla lastra fotografica?

Per rispondere a questa domanda dobbiamo passare a un nuovo campo della fisica. I fisici ormai pensano che le particelle elementari, lungi dall'essere oggetti, siano in realtà il risultato, sempre provvisorio, di interazioni incessanti tra “campi” immateriali.

Una sessantina di anni fa si è parlato per la prima volta di questo concetto di campo. Tale nuova teoria sembra risultare una concezione *vera* del reale: il tessuto delle cose, il sostrato ultimo, **non è materiale ma astratto: un'idea pura** la cui conformazione è discernibile, direttamente, solo tramite un atto di intuizione matematica.

C'è da ritenere che la regina delle scienze, quella che ci permette di penetrare nei segreti del cosmo, non sia tanto la fisica quanto la matematica, o la fisica matematica. Questo si vede bene guardando l'esperienza di due illustri scienziati: i fratelli de Broglie. Il maggiore, il duca Maurice, era prima di tutto un fisico; ma suo fratello minore, Louis, matematico di formazione, ha fatto più scoperte sulla sua lavagna nera che Maurice nel suo laboratorio. Perché? Probabilmente perché l'universo nasconde il **segreto** di una **eleganza astratta, un segreto per il quale la materialità è poca cosa.**

Ma è possibile dire di più a proposito di questo **segreto** che si nasconderebbe dietro l'universo?

Quando si considera **l'ordine matematico** che si rivela essere al cuore del reale, la ragione ci obbliga a dire che questo sconosciuto che si nasconde dietro o dentro il cosmo è almeno un'intelligenza ipermatematica, calcolante e, anche se la parola non è molto bella, *relazionante*, cioè in grado di attuare relazioni.

**Sotto il volto visibile del reale c'è dunque quello che i greci chiamavano *logos*, un elemento intelligente, razionale, che regola, dirige e anima il cosmo, e che fa sì che questo cosmo non sia caos ma ordine, anche se si tratta di un ordine spesso diverso da quello che possiamo immaginare.**

Le considerazioni circa questo elemento strutturante ricordano il modo in cui oggi sono pensati i campi fisici fondamentali.

Ritorniamo su questo punto più in là. Prima è indispensabile esaminare meglio a che cosa si riferisce oggi la nozione, tutto sommato abbastanza vaga, di particella elementare.

Prima di tutto bisogna sapere che ci sono solo, in tutto e per tutto, quattro particelle stabili nel mondo atomico: **il protone, l'elettrone, il fotone e il neutrone**. Ne esistono altre centinaia, ma sono infinitamente meno stabili, dato che si disintegrano o quasi subito dopo essere apparse oppure dopo un periodo di tempo più o meno lungo.

Man mano che le ricerche avanzano, si trovano sempre più particelle nuove, sempre più

*fondamentali*. In realtà, quando si sono immersi nel cuore del nucleo, i fisici hanno scoperto un oceano immenso di queste particelle nucleari che, a partire da quella scoperta, sono state chiamate **adroni**.

Una cosa sembra certa. Ci sono solo tre possibilità riguardo a ciò che si nasconde oltre la frontiera del nucleo.

- ✓ La prima ipotesi è che la corsa all'infinitamente piccolo non debba aver fine. Da una quarantina d'anni a questa parte, grazie ad acceleratori di particelle sempre più potenti, i fisici hanno identificato una moltitudine di particelle sempre più fondamentali, più piccole, più instabili, più inafferrabili, di modo che sembra che sussista un numero infinito di livelli successivi di realtà. Di fronte a questa proliferazione vertiginosa, che ha subito ancora un'accelerazione in questi ultimi anni, certi ricercatori sono oggi colti da un dubbio: e se, in fondo, non esistessero particelle veramente **elementari**? Le particelle identificabili non sono forse costituite da particelle sempre più piccole, con un processo di inscatolamento che non avrebbe mai fine?
- ✓ Il secondo approccio, sviluppato da una minoranza di specialisti del nucleo, si fonda sull'idea che riusciremo un giorno a fare la conoscenza del livello fondamentale della materia, una specie di **«fondo roccioso»** costituito da particelle indivisibili, al di là delle quali sarebbe assolutamente impossibile trovare qualsiasi altra cosa.
- ✓ Resta infine la terza ipotesi: a questo livello ultimo, le particelle identificate come fondamentali saranno *nello stesso tempo* elementari e composte. In questo caso, le particelle saranno sì costituite di elementi, ma questi elementi saranno della loro stessa natura. Per usare un'immagine, tutto avviene come **se una torta di mele tagliata in due desse luogo a due nuove torte di mele intere, assolutamente identiche alla torta originaria. In qualsiasi modo si operi, è impossibile in questo caso ottenere due mezzette torte.**

E questa terza ipotesi che sembra oggi raccogliere l'adesione della maggioranza dei fisici nucleari: essa ha permesso, in particolare, di costruire un modello per la **teoria dei quark**.

Quale che sia l'ipotesi che si vuole adottare, il tuffo nel cuore della materia presenta in ogni caso aspetti sconcertanti. Ma qual è oggi la particella più elementare, più fondamentale, che i fisici hanno messo in evidenza?

Sembra che questa entità ultima sia stata identificata, almeno a livello teorico, in quello che i fisici hanno battezzato **«quark»**. Perché? Perché queste particelle esistono per gruppi di tre, esattamente come i famosi quark inventati da James Joyce nel suo *Finnegans Wake*. Per scoprirli, tuffiamoci nel cuore del nucleo: vi incontreremo gli adroni, oggi ben identificati, che prendono parte a tutte le interazioni conosciute. Ora, queste particelle sembrano anch'esse scomporsi in entità più piccole, i quark, appunto.

Con i quark entriamo nel dominio della pura astrazione, il regno degli esseri matematici. Fino a ora non è mai stato possibile constatare le dimensioni fisiche di questi quark: per quanto si cerchi dappertutto nei raggi cosmici, in innumerevoli esperimenti di laboratorio, non sono mai stati osservati. Insomma, il modello dei quark si fonda su una specie di finzione matematica che presenta, stranamente, il vantaggio di funzionare.

La teoria di questa particella ipotetica è stata proposta per la prima volta nel 1964 dal fisico Murray Gell Mann. Secondo questa teoria, tutte le particelle che oggi conosciamo risulterebbero dalla combinazione di alcuni quark fondamentali, differenti gli uni dagli altri. Quello che più stupisce è il fatto che oggi, per la maggior parte, i fisici accettano l'idea che i quark saranno per sempre inafferrabili: resteranno irreversibilmente confinati «dall'altra parte» rispetto alla realtà osservabile. Con questo si riconosce implicitamente che la nostra conoscenza della realtà si fonda anch'essa su una dimensione **non materiale**, un insieme di entità prive di attributi e di forma, che **trascendono lo spazio-tempo**, la cui sostanza non è altro che una **nuvola di cifre**.

Queste entità fondamentali non presentano forse una doppia faccia?

- Una, astratta, è in relazione con il dominio delle essenze;
- un'altra, concreta, che sarebbe in contatto con il nostro mondo fisico. In questo ordine di idee, il quark sarebbe una specie di "mediatore" tra i due mondi.

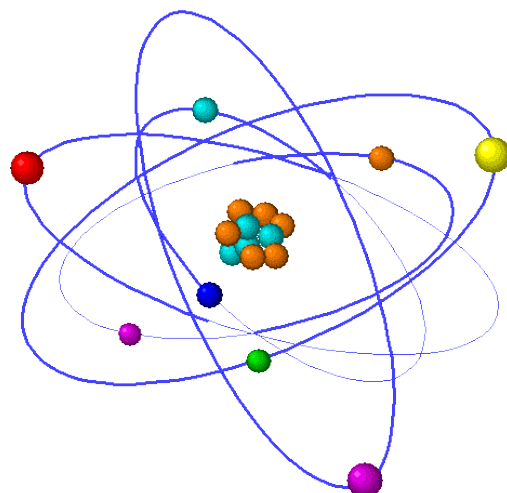
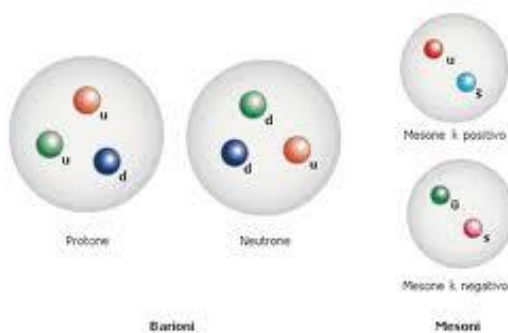
A favore di questa intuizione possiamo proporre un primo abbozzo che sembra per il momento corrispondere meglio a quello che sono i quark, se mai esistono. Questo approccio comincia oggi a essere conosciuto nell'ambiente della fisica con il nome un po' misterioso di **matrice s**.

Di che cosa si tratta?

Contrariamente alle teorie classiche, quest'ultima non cerca di descrivere il quark *in sé*, ma permette di coglierne l'ombra che traspare dalle sue interazioni. Da questo punto di vista **le particelle elementari non esistono in quanto oggetti, come entità che hanno significato di per se stesse, ma sono percepibili solo attraverso gli effetti che genereranno. In questo modo i quark possono essere considerati come degli "stati intermediari" in una rete di interazioni.**

Dove si fermerà dunque la ricerca dei costituenti ultimi? Forse su tre particelle che, da sole, sembrano costituire l'intero universo: l'**elettone** e, con esso, **due famiglie di quark**, il quark U (per *up*) e il quark D (per *down*), dove U e D rappresentano un carattere che i fisici hanno chiamato «**sapore**». Da sole **queste tre famiglie sembrano assicurare tutta la prodigiosa varietà di forze, fenomeni e forme che si incontrano in natura, in quel 4-5% di realtà da noi percepibile.**

Insomma, eccoci giunti alla fine del nostro viaggio nell'infinitamente piccolo. Che cosa abbiamo incontrato nel nostro periplo nel cuore di quella realtà che continuiamo a chiamare materia? (Si noti che il termine *materia* deriva dalla radice latina *mater* = *madre*). Quasi **niente**. Ancora una volta la realtà si dissolve, si annulla nell'evanescente, nell'impalpabile: la «sostanza» del reale non è altro che una nuvola di probabilità, un fumo matematico. Il vero problema è sapere **di che cosa è fatto questo impalpabile: che cosa c'è al disotto di questo "niente" sulla cui superficie si estende l'essere?**



## LA COMPARSA DELLA VITA SULLA TERRA

### **Le domande**

*Sulla Terra di quattro miliardi di anni fa il cielo e le acque sono ancora vuoti. Tuttavia le molecole primitive sono costantemente mescolate dai temporali mostruosi che si scatenano, incessantemente spezzate dalle formidabili radiazioni ultraviolette del Sole. E a questo stadio che appare quello che, retrospettivamente, assomiglia a un miracolo: nel cuore di questo caos le molecole si raggruppano, si combinano per formare progressivamente strutture stabili, riflessi di un ordine. Una ventina di aminoacidi esistono ora negli oceani: sono i primi mattoni della materia vivente.*

*Oggi ritroviamo in ognuno di noi i lontani discendenti di questi primi "abitanti" della Terra.*

*Così, dopo una lunghissima e misteriosa ascesa verso la complessità, emerge finalmente la primissima cellula vivente: la storia della coscienza può cominciare.*

*Ma come restano inquietanti le domande:*

- ✓ *Come è possibile che un flusso di energia che scorre senza scopo possa diffondere la vita e la coscienza nel mondo?*
- ✓ *Ma la vita, che cos'è?*
- ✓ *Che cosa c'è dietro la vita?*
- ✓ *È comparsa per caso o, al contrario, è frutto di una segreta necessità?*

### **Le risposte della scienza, le riflessioni della filosofia**

Prima di risalire alle origini della vita, cominciamo con il capirla meglio così come esiste oggi.

Consideriamo una farfalla che si è posata vicino a un sassolino. Quella è vivente, questo no, ma quale è, precisamente, la differenza tra i due? Se consideriamo la cosa a livello nucleare ovvero sulla stessa scala delle particelle elementari, sasso e farfalla sono rigorosamente identici. Al livello appena più alto, quello atomico, vengono alla luce alcune differenze che riguardano però solo la natura degli atomi e restano quindi poco significative.

Passiamo allo stadio successivo: eccoci nel reame delle molecole. Questa volta le differenze sono molto più importanti e riguardano gli scarti di materia tra il mondo minerale e quello organico. Ma il salto decisivo avviene solo a livello delle macromolecole. È a questo stadio che la farfalla appare infinitamente più strutturata, più *ordinata* del sasso.

Questo piccolo esempio ci permette di cogliere la sola differenza fondamentale tra l'inerte e il vivente: **quest'ultimo è semplicemente più ricco di informazione dell'altro.**

Ma se la vita non è altro che materia meglio informata, da dove viene questa informazione? Colpisce il fatto che ancora oggi sono molti i biologi e i filosofi che pensano che le prime creature viventi siano nate **per caso** tra le onde e le risacche dell'oceano primitivo quattro miliardi di anni fa.

Le leggi dell'evoluzione enunciate da Darwin esistono ed è vero che lasciano ampio spazio all'aleatorio:

- Ma *chi* ha deciso queste leggi?
- Quale "caso" ha fatto sì che certi atomi si siano avvicinati per formare le prime molecole di aminoacidi?
- E in virtù di quale caso, ancora, queste molecole si sono raggruppate e hanno portato a quell'edificio terribilmente complesso che è il DNA?



- Come il biologo François Jacob, ci poniamo questa semplice domanda: *chi* ha ideato i piani della **prima molecola di DNA** che contiene il messaggio iniziale che permetterà alla prima cellula vivente di riprodursi?

Queste domande — e molte altre — restano senza risposta se ci si attiene alle sole ipotesi che fanno intervenire il caso; è questa la ragione per cui, da qualche anno a questa parte, le idee dei biologi hanno cominciato a cambiare. I ricercatori dei settori più avanzati non si accontentano più di ripetere in modo meccanico le leggi di Darwin, ma costruiscono delle teorie nuove, spesso notevolmente sorprendenti; delle ipotesi che poggiano chiaramente sull'intervento di un **principio organizzatore**, trascendente rispetto alla materia.

Se vogliamo dare ascolto a questi nuovi approcci che fanno vacillare ogni giorno di più il *dogma del caso creatore*, la vita sarebbe una proprietà emergente della materia, un fenomeno che ubbidisce a una sorta di *necessità* iscritta al centro stesso dell'inanimato...

Questo è tanto più sorprendente in quanto sappiamo che a livello cosmico la vita deve aprirsi un difficile varco tra mille ostacoli prima di poter finalmente emergere.

- ▶ Lo spazio vuoto, per esempio, è così freddo che una creatura vivente, anche la più semplice, verrebbe congelata all'istante dal momento che la temperatura scende a -273 gradi.
- ▶ All'estremo opposto, la materia delle stelle è così rovente che nessun essere vivente potrebbe resistervi.
- ▶ Ci sono infine, nello spazio dell'universo, radiazioni e bombardamenti cosmici continui, che vietano quasi ovunque il manifestarsi del vivente.
- ▶ L'universo, insomma, è la Siberia, è il Sahara; in altre parole, è come il freddo esteso all'infinito, il caldo esteso all'infinito, i bombardamenti ripetuti. Ora, nonostante tutto ciò, la vita è comparsa ugualmente, almeno sul nostro pianeta.

Di conseguenza, il problema che si pone agli uomini di scienza e ai filosofi è quello di sapere se esista una transizione continua tra la materia e la vita. Oggi la scienza lavora su questa connessione tra l'inerte e il vivente e tende a mostrare che esiste un'area in cui domina la continuità; in altre parole, **il vivente è il risultato di una promozione inevitabile della materia**.

Aggiungiamo che sembra che la vita sia irresistibilmente chiamata a percorrere una scala ascendente, elevandosi con l'evoluzione dalle forme più vicine alla materia (come gli ultravirus) fino alle forme più alte: **l'avventura della vita è ordinata da un principio organizzatore**.

Vediamo allora più da vicino in che cosa può consistere un principio del genere. Per far questo ci serviremo dei lavori di uno dei più grandi scienziati, il premio Nobel per la chimica Ilya Prigogine (1917-2003). All'origine delle sue ricerche c'è un'idea semplicissima:

**il disordine non è uno stato "naturale" della materia, ma piuttosto uno stadio che precede l'emergere di un ordine più elevato.**

Questa concezione, che si opponeva nettamente alle idee correnti, in un primo momento ha suscitato l'ostilità degli ambienti scientifici; tanto che hanno perfino tentato di impedire a Prigogine di proseguire le sue ricerche. Niente, però, è riuscito ad allontanarlo dalla sua convinzione: **delle leggi sconosciute dovevano spiegare in quale modo l'universo e la vita sono nati dal caos primordiale**.

Questa convinzione non era puramente teorica, ma si fondava anche sul risultato estremamente inquietante di un esperimento: l'esperimento di Bénard.

È semplicissimo: prendiamo un liquido, per esempio dell'acqua. Facciamolo riscaldare in un recipiente: che cosa constatiamo? Che le molecole del liquido si organizzano, si raggruppano in modo ordinato per formare delle cellule esagonali, che assomigliano un po' agli elementi che

compongono una vetrata. Questo fenomeno piuttosto imprevisto, conosciuto con il nome di *instabilità di Bénard*, non dava pace a Prigogine. Perché e come queste “cellule” compaiono nell’acqua? Che cosa poteva provocare la nascita di una struttura ordinata in seno al caos?

Non potrebbe darsi che all’origine della vita, all’interno del brodo primitivo, ci sia stato un fenomeno di autostrutturazione simile a quello che si osserva nell’acqua riscaldata?

È la conclusione a cui è giunto Prigogine: quello che è possibile nella dinamica dei liquidi deve ugualmente esserlo in chimica e in biologia.

Ma per capire meglio il suo ragionamento, bisogna ripercorrerne le tappe principali. Innanzitutto occorre constatare che le cose che ci circondano si comportano come dei sistemi *aperti*, e cioè scambiano continuamente materia, energia e, cosa più importante ancora **informazione** con il loro ambiente. In altri termini, questi sistemi in perenne movimento variano regolarmente con il passare del tempo e devono essere considerati fluttuanti. Si dà il caso che queste fluttuazioni possano essere così ampie che l’organizzazione che costituisce la loro sede si trovi nell’incapacità di tollerarle senza trasformarsi. A partire da questa soglia critica sono possibili due soluzioni, descritte nei particolari da Prigogine: o il sistema viene distrutto dall’ampiezza delle fluttuazioni, oppure accede a un nuovo ordine interno caratterizzato da un livello superiore di organizzazione. Ed eccoci al fulcro della scoperta di Prigogine: la vita si fonda su strutture dinamiche che egli chiama “strutture dissipative”, il cui ruolo consiste appunto nel dissipare il flusso in entrata di energia, di materia e di informazione responsabile di una fluttuazione.

Questo nuovo approccio al problema dell’ordine va contro il secondo principio della termodinamica secondo il quale con il trascorrere del tempo i sistemi chiusi passano inevitabilmente dall’ordine al disordine: se, per esempio, versiamo alcune gocce di inchiostro in un bicchiere d’acqua, queste vi si disperderanno e non riusciremo più a separare i due liquidi.

Questo ben noto principio della termodinamica è stato formalizzato dal fisico francese Carnot nel 1824. Secondo la sua opinione e quella delle successive generazioni di scienziati, non c’era il minimo dubbio: ***l’universo è in lotta perenne contro l’irreversibile aumento del disordine.***

Ma non è il contrario che succede nei sistemi viventi? Se esaminiamo la storia dei fossili, vediamo che le organizzazioni cellulari si sono costantemente trasformate e strutturate per gradi di complessità crescente. In altre parole, la vita non è altro che la storia di un ordine sempre più elevato e generalizzato. Infatti, a mano a mano che l’universo rifluisce verso la sua condizione di equilibrio, trova sempre il modo, nonostante tutto, di creare strutture sempre più complesse.

Ed è quello che dimostra Prigogine. A suo parere, i fenomeni di autostrutturazione mettono in luce una proprietà radicalmente nuova della materia. Esiste una specie di trama continua che unisce l’inerte, il previvente e il vivente, dato che la materia tende, per costruzioni successive, a strutturarsi fino a diventare materia vivente. E a livello molecolare che avviene questa strutturazione, secondo leggi che sono ancora per la maggior parte enigmatiche. È possibile di fatto constatare il comportamento stranamente «intelligente» di certe molecole o aggregati molecolari senza tuttavia che si sappia dare una spiegazione di questi fenomeni.

Profondamente turbato dall’onnipresenza di questo ordine soggiacente al caos apparente della materia, Prigogine ha dichiarato un giorno che *“Quello che è sconcertante è il fatto che ogni molecola sa quello che fanno le altre molecole contemporaneamente ad essa e a distanze macroscopiche. I nostri esperimenti ci mostrano che le molecole comunicano. Tutti accettano l’esistenza di questa proprietà nei sistemi viventi, ma nei sistemi non viventi essa giunge quanto meno inaspettata”*

Ed ecco che siamo indotti a compiere questo passo decisivo: **c’è continuità tra la materia detta inerte e la materia vivente.**

«È un fatto che le proprietà della vita derivino direttamente da questa misteriosa tendenza della

materia a organizzarsi da sola, spontaneamente, per andare verso stati sempre più ordinati e complessi. Si è già detto: **l'universo è un vasto pensiero**. In ogni particella, ogni atomo, ogni molecola, ogni cellula di materia vive e opera, all'insaputa di tutti, un'onnipresenza.

Dal punto di vista del filosofo, questa osservazione è gravida di conseguenze: significa in realtà che l'universo ha un asse, o meglio ancora, un *senso*.

Questo senso profondo si trova al suo stesso *interno*. Se è vero, come abbiamo appena visto, che l'universo ha una «storia», se è chiaro che aumenta l'improbabilità a mano a mano che saliamo verso il passato e che la probabilità invece aumenta non appena si discenda verso il futuro, se esiste nel cosmo un passaggio dall'eterogeneo all'omogeneo, se esiste un progresso costante della materia verso stati più ordinati, se siamo di fronte a un'evoluzione delle specie verso una "superspecie" (l'umanità, forse, provvisoriamente), allora sono portato a pensare che esiste, al fondo dell'universo stesso, una causa dell'armonia delle cause, un'intelligenza.

La presenza evidente di questa intelligenza nel cuore della materia mi allontana per sempre da una concezione secondo cui l'universo sarebbe apparso "per caso", avrebbe prodotto la vita *per caso* e l'intelligenza ugualmente *per caso*». (J. Guilton, op. cit., pag. 41)

Una cellula vivente è composta da una ventina di aminoacidi che formano una «catena» compatta. La funzione di questi aminoacidi dipende a sua volta da circa duemila enzimi specifici. Proseguendo sulla stessa linea di ragionamento, **i biologi giungono a calcolare che la probabilità che un migliaio di enzimi differenti si raggruppino in modo ordinato fino a formare una cellula vivente (nel corso di una evoluzione di diversi miliardi di anni) è dell'ordine di  $10^{1000}$  potenza contro uno. È come dire che questa probabilità è nulla.**

È proprio questo che ha spinto Francis Crick, premio Nobel per la biologia per la scoperta del DNA nel 1953, a una conclusione che va nella stessa direzione: *"Un uomo qualsiasi, con tutto il bagaglio di conoscenze oggi a nostra disposizione, potrebbe affermare solo che l'origine della vita sembra allo stato presente appartenere all'ordine del miracolo, tante sono le condizioni che dovrebbero trovarsi riunite per poterla realizzare"*.

Ritorniamo alle origini, quattro miliardi di anni fa. In quell'epoca lontana, ciò che chiamiamo vita non esiste ancora. Sulla terra delle prime età, spazzata eternamente dai venti, le nascenti molecole vengono senza tregua formate, spezzate, riformate e poi di nuovo disperse dal fulmine, dal calore, dalle radiazioni e dai cicloni

Ora, fin da questo stadio ancora così primitivo, cominciano a formarsi i primi corpi semplici seguendo leggi che, già qui, non devono niente al caso. Per esempio, in chimica sussiste un principio, oggi conosciuto sotto il nome di «stabilizzazione topologica delle cariche». Questa «legge» ci dice che le molecole che comportano, nella loro struttura, catene di atomi alternati (e, in particolare, il carbonio, l'azoto e l'ossigeno) danno luogo, riunendosi, a sistemi stabili.

Di quali sistemi si tratta? Niente meno che dei pezzi fondamentali che compongono la meccanica del vivente: gli *aminoacidi*.

Sempre seguendo la stessa legge di affinità atomica, essi si raggrupperanno a loro volta per formare le prime catene di quei preziosi materiali della vita che sono i *peptidi*.

Nel nucleo di questo brodo primitivo, tra le onde nere dei primi oceani del mondo, cominciano così a emergere, seguendo lo stesso processo, le primissime molecole azotate (che hanno il nome di "**purine**" e "**pirimidine**") dalle quali più tardi nascerà il codice generico. Comincia qui una grande avventura che trascinerà lentamente la materia verso l'alto, in un'irresistibile spirale ascendente: le prime particelle azotate si rinforzano associandosi a qualche fosfato e a zuccheri, fino a elaborare i prototipi dei nucleotidi, quei famosi elementi di base che, formando a loro volta catene interminabili, porteranno a quella tappa fondamentale del vivente che è l'emergere dell'acido ribonucleico, il celebre RNA, quasi altrettanto conosciuto del DNA.

Così, nello spazio di appena qualche centinaio di milioni di anni, l'evoluzione ha generato sistemi biochimici stabili, autonomi, protetti dall'esterno da membrane cellulari e che, già a questo stadio, assomigliano a certi batteri primitivi.

A parte il rifornimento di energia (di cui l'ambiente di quell'epoca traboccava), il vero problema cui si sono trovate di fronte queste cellule arcaiche è quello della riproduzione. Come fare infatti a tenere in vita queste preziose costruzioni? In che modo queste piccole meraviglie della natura potevano garantire la loro perpetuità? Abbiamo appena visto che gli aminoacidi di cui erano formate ubbidivano a un ordine preciso. Era quindi necessario che queste prime cellule imparassero a «ricopiare» da qualche parte quella concatenazione che presentano nell'elaborazione delle loro proteine di base, in modo che esse stesse fossero in grado di fabbricare nuove proteine conformi in ogni minimo dettaglio alle precedenti.

Il problema è quindi quello di sapere che cosa sia successo a questo stadio: **come hanno fatto queste primissime cellule a inventare gli innumerevoli stratagemmi che hanno portato a questo prodigio: la riproduzione?**

**Anche in questo caso è una “legge iscritta” nel cuore stesso della materia che ha reso possibile il miracolo: gli aminoacidi più «polari» (e cioè quelli che comportano una carica elettrostatica elevata) sono spontaneamente attirati dalle molecole azotate, mentre i meno polari si uniscono piuttosto con molecole di altre famiglie, come la citosina.**

È nato in questo modo il primo abbozzo del codice genetico: **avvicinandosi a certi nucleotidi (e non a certi altri), i nostri aminoacidi hanno elaborato i piani della loro propria costruzione, e quindi gli strumenti e i materiali necessari alla loro fabbricazione.**

Bisogna insistere ancora una volta su questo punto: *nessuna* delle operazioni evocate prima poteva essere effettuata per caso.

**Consideriamo un esempio tra i tanti: affinché la formazione dei nucleotidi porti «per caso» all'elaborazione di una molecola di RNA utilizzabile, sarebbe stato necessario che la natura moltiplicasse i tentativi a *casaccio* nello spazio di almeno  $10^{15}$  potenza di anni, ossia per un tempo centomila volte più esteso dell'età complessiva del nostro universo.**

**Un altro esempio: se l'oceano primitivo avesse generato tutte le varianti (cioè tutti gli isomeri) suscettibili di essere elaborati «per caso» a partire da una sola molecola contenente qualche centinaio di atomi, saremmo giunti alla costruzione di più di  $10^{80}$  potenza di isomeri possibili. Ora è fuor di dubbio che l'intero universo contiene meno di  $10^{80}$  potenza di atomi.**

In altri termini, un solo tentativo a caso sulla Terra sarebbe stato sufficiente a esaurire l'universo nella sua interezza. Un po' come se tutti gli schemi evolutivi fossero stati scritti in precedenza, fin dalle origini.

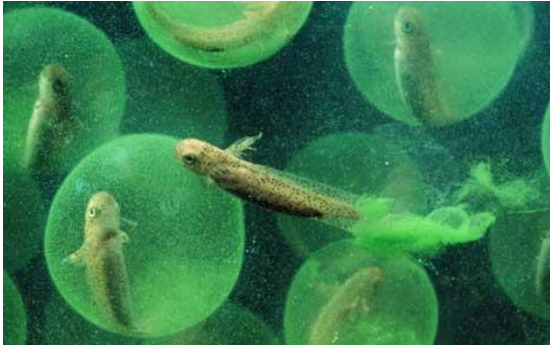
Ma qui si ripropone una domanda. Se è vero che l'evoluzione della materia verso la vita e la coscienza dipende da un *ordine*, di quale ordine si tratta?

Il caso tende a distruggere l'ordine, l'intelligenza si manifesta invece con l'organizzazione delle cose, con la messa in opera di un ordine a partire dal caos. C'è da concludere, quindi, osservando la stupefacente complessità della vita, che lo stesso universo è intelligente.

Ma ancora una volta: quale è la natura profonda di questo *ordine*, di questa *intelligenza* percepibile in tutte le dimensioni del reale?

Per rispondere a questa domanda bisogna riflettere più a lungo su quello che è chiamato *caso*.

## L'evoluzione della vita



**Era Archeozoica**

**Era Paleozoica**



**Era Mesozoica**



**Era Cenozoica**

**Era Neozoica**

Con il termine "biosfera" si intende quella parte del nostro pianeta in cui, attraverso un processo lungo e complesso, si sono determinate le condizioni adatte alla nascita e all'evoluzione della vita.

Comprende tutte quelle aree in cui è possibile trovare degli *ecosistemi*, siano essi estremamente semplici o articolati; di conseguenza si estende non solo sulla superficie terrestre ma include anche ambienti marini, lacustri, fluviali, parte del sottosuolo e della troposfera. Pur essendo l'ultima componente del sistema Terra ad essersi formata, costituisce l'elemento fondamentale che distingue il nostro pianeta da tutti gli altri all'interno del sistema solare.

L'importanza della biosfera è facilmente intuibile considerando la sua capacità di porsi in relazione con le componenti inorganiche (aria, acqua, terra) e di modificarle profondamente. Questo discorso è valido soprattutto oggi, se si tiene presente la capacità dell'uomo di condizionare ed alterare pesantemente non solo il mondo vegetale ed animale (componenti biotiche ed organiche) ma anche l'atmosfera e la *litosfera* (aria, acqua, suolo ossia componenti abiotiche ed inorganiche) attraverso comportamenti scorretti dal punto di vista ecologico ( es. immissione di *gas-serra* , scarichi di sostanze inquinanti, etc...).

Attraverso l'analisi di *fossili* animali e vegetali, conservatisi in *rocce sedimentarie* appartenenti ad epoche diverse, è possibile comprendere le tappe che hanno portato alla nascita della vita e alla sua evoluzione, dai primi microrganismi all'uomo. Per capire questo processo si ricorre alla suddivisione della storia del pianeta in "ere geologiche".

### Era Archeozoica

(Era dei primi esseri viventi)  
(4,5 miliardi - 570 milioni di anni fa)

Le prime forme di vita risalgono a circa 3 miliardi e mezzo di anni fa. Sono *batteri*, microrganismi molto semplici in grado di vivere in assenza di ossigeno e a temperature estreme. In questa prima fase, infatti, l'atmosfera non conteneva l'ossigeno, formatosi solo più tardi, grazie allo sviluppo di organismi più complessi simili ad alghe, in grado di compiere un processo analogo alla *fotosintesi*.



La presenza di questo gas e la conseguente formazione di uno strato di *ozono* aprirono un nuovo capitolo dell'evoluzione biologica. Fino ad allora, infatti, la vita si era sviluppata soltanto nelle acque poco profonde, nelle basse lagune, lungo le coste, nei fondali sabbiosi, dove si trovavano le condizioni più favorevoli. Da questo momento in poi, invece, anche le terre emerse costituiscono uno spazio utile per l'evoluzione biologica. Nell'era archeozoica vengono alla luce i primi "mattoni" dell'edificio biologico: semplici batteri ed organismi invertebrati costituiscono la scintilla della vita sul nostro pianeta.

## Era Paleozoica

(Era degli antichi esseri viventi)  
(570 - 245 milioni di anni fa)

In questo periodo si ha una vera e propria esplosione della vita come è ampiamente testimoniato dai fossili risalenti a quest'era. All'inizio si trova una serie enorme di organismi invertebrati quali molluschi, spugne, vermi e animali non ben classificabili.

Nelle acque la vita muta ed avanza senza sosta: troviamo polipi, meduse, organismi muniti di conchiglia, stelle di mare, ricci, trilobiti ed infine i pesci.



La ricostruzione di un ambiente marino in epoca paleozoica.



Un fossile di trilobite perfettamente conservatosi a testimonianza di questi importanti invertebrati marini.

I *trilobiti*, un progetto biologico di grande successo, sono gli invertebrati marini che si svilupparono in modo eccezionale all'inizio del Paleozoico e si estinsero proprio alla fine di questo periodo.

La vita inizia a diffondersi sulle terre emerse.

Per quanto riguarda le forme floristiche, nelle zone paludose e lungo le coste troviamo piccoli vegetali: soltanto più tardi la flora occuperà le aree interne. Prima felci, poi alberi ad alto fusto daranno vita ad estese foreste che contribuiranno ad arricchire l'atmosfera di ossigeno.

Dal punto di vista faunistico, abbiamo all'inizio una prevalenza di *anfibi*; successivamente inizieranno a svilupparsi i *rettili* che diventeranno la specie preponderante sulla superficie terrestre nell'era successiva.

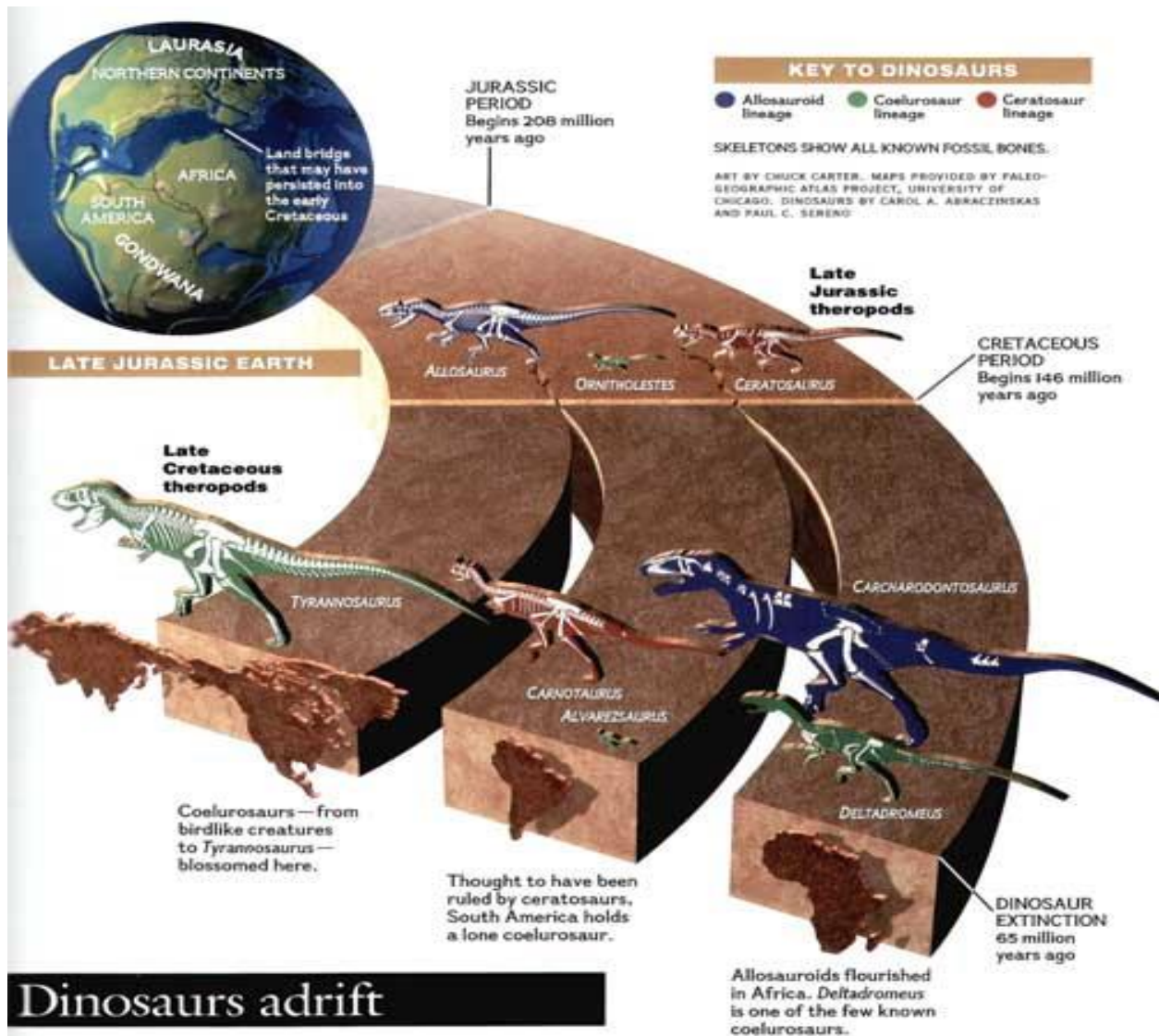


I piccoli rettili sviluppatisi nel periodo paleozoico possono considerarsi i prodromi dei dinosauri.

## Era Mesozoica

(Era degli esseri viventi di mezzo)  
(245 - 65 milioni di anni fa)

E' un'era di transizione nel processo dell'evoluzione biologica, caratterizzata dalla presenza preponderante di rettili di ogni tipo e dimensione e dalla comparsa di specie animali più vicine a noi quali uccelli e mammiferi. Perché questi ultimi possano svilupparsi e occupare un posto sempre più rilevante, sarà necessaria l'estinzione in massa dei grandi rettili (dinosauri) che, durante tutto il mesozoico, avevano occupato ogni spazio possibile per la vita.



L'evoluzione e la scomparsa dei dinosauri costituisce ancora oggi una delle questioni più dibattute della preistoria.

Quali sono le cause di questa estinzione? Ancora oggi abbiamo molte ipotesi e poche certezze: si pensa ad una variazione climatica che abbia determinato condizioni non adatte alla loro vita e riproduzione. A questo periodo risalgono piante più complesse (angiosperme), caratterizzate da fiori e semi racchiusi da un involucro, il frutto.

## Era Cenozoica

(Era priva dei vecchi esseri viventi)  
(65 - 1,8 milioni di anni fa)





Nel Cenozoico si assiste ad una forte riproduzione e differenziazione dei mammiferi: in breve tempo questi occuperanno gran parte della superficie terrestre. Possono essere considerati come i diretti antenati di molte specie animali presenti oggi sul nostro pianeta. Abbiamo, infatti, ippopotami, rinoceronti, equidi, orsi, proboscidi dalle forme tozze e primitive rispetto ai loro discendenti. In questo periodo si sviluppano anche i primati alla cui famiglia appartiene l'uomo. A tre milioni di anni fa, infatti, risale l'australopiteco che, con la sua caratteristica posizione eretta, costituisce il primo passo dell'evoluzione umana

## Era Neozoica

(Era dei nuovi esseri viventi)  
( da 1,8 milioni di anni fa fino ad oggi)

Il neozoico è caratterizzato da alterne vicende climatiche e da una nuova glaciazione che avrà forti ripercussioni dal punto di vista floristico e faunistico. Il forte abbassamento di temperatura porta all'estinzione di alcune specie, incapaci di adattarsi alle nuove condizioni, e ad una massiccio spostamento delle altre verso sud. Lo stesso discorso vale per la vegetazione: boschi di betulle e conifere si trovano in questo periodo anche nella nostra penisola.



L'evoluzione dell'uomo, a differenza di quella di altre specie, va letta non solo in chiave biologica ma anche in relazione alle prime conquiste nell'ambito tecnico e culturale.

Il Neozoico è rilevante soprattutto per il processo di evoluzione dell'uomo, la tappa finale di un processo iniziato tre miliardi e mezzo di anni fa con la comparsa dei primi batteri.

## CASO O NECESSITÀ? LE COSTANTI COSMICHE

### **Le domande**

*Si è visto che l'avventura della vita è il risultato di una tendenza universale della materia a organizzarsi spontaneamente in sistemi sempre più eterogenei. Questo movimento parte dall'unità per andare verso la diversità, creando un ordine a partire dal disordine, elaborando strutture organizzative sempre più complesse.*

*Ma quale è la ragione per cui la natura produce ordine?*

*Non si può rispondere senza ricordare che l'universo sembra essere stato minuziosamente regolato in modo da permettere l'emergere di una materia ordinata, poi della vita e infine della coscienza. Se le leggi fisiche non fossero state esattamente quelle che sono, allora, come sottolinea l'astrofisico Hubert Reeves, "non saremmo qui a parlarne". O meglio ancora: poniamo che una delle grandi costanti universali — per esempio la costante gravitazionale, la velocità della luce o la costante di Planck — fosse stata sottoposta, all'origine, a una minima modificazione. Ebbene, l'universo non avrebbe avuto alcuna possibilità di ospitare esseri viventi e intelligenti; forse non avrebbe neppure mai fatto la sua comparsa.*

*Questa regolazione, di una precisione sconcertante,*

- ▶ *è il frutto del puro "caso", o il risultato della volontà di una Causa Prima, un'intelligenza organizzatrice trascendente o immanente alla nostra realtà?*

### **Le risposte della scienza, le riflessioni della filosofia**

Dopo aver ripercorso il lungo cammino della vita, dalle prime molecole organiche fino all'uomo, ecco che ci troviamo nuovamente di fronte a una domanda ineludibile:

- ▶ l'evoluzione cosmica che ha portato fino all'uomo è, come pensava il biologo Jacques Monod (1910-1976), un puro frutto del caso, oppure si iscrive in un *grande disegno* universale, ogni elemento del quale sarebbe stato minuziosamente calcolato?
- ▶ C'è un ordine nascosto dietro a ciò che, senza comprenderlo, chiamiamo caso?

Per rispondere a questa domanda, dobbiamo rivolgerci verso il *caso profondo*, quello dell'enigma e del mistero: che cosa significa quello che chiamiamo, semplicemente, *l'ordine delle cose*?

Prendiamo un fiocco di neve: questo piccolo oggetto ubbidisce a leggi matematiche e fisiche incredibilmente sofisticate che generano delle figure geometriche ordinate ma tutte differenti le une dalle altre: cristalli e policristalli, aghi e dendriti, piastrine e colonne ecc. La cosa più stupefacente è che ogni fiocco di neve è unico al mondo: dopo aver volteggiato per un'ora nel vento, è stato sottoposto a pressioni di ogni genere (come la temperatura, l'umidità, la presenza di impurità nell'atmosfera) che determineranno la sua forma specifica: la forma finale di un fiocco di neve contiene la storia di tutte le condizioni atmosferiche attraverso le quali è passato. Quello che affascina è il fatto che all'interno di questo fiocco di neve si ritrova l'essenza di un ordine: un equilibrio delicato tra forze di stabilità e forze di instabilità; un'interazione feconda tra forze che operano su scala umana e forze che operano su scala atomica. Da dove viene questo equilibrio? Quale è l'origine di questo ordine? Di questa simmetria?

Per trovare gli spunti per una risposta bisogna scendere un po' più in giù, nell'infinitamente piccolo. Vediamo quello che succede a livello atomico. **Il comportamento delle particelle elementari sembra disordinato, aleatorio, imprevedibile.** Nella fisica quantistica non c'è di fatto alcun modo di *prevedere* avvenimenti individuali o singolari. Immaginiamo di rinchiudere un chilo di radio in una camera a tenuta e di ritornare sul posto 1600 anni dopo per vedere che cosa è successo.

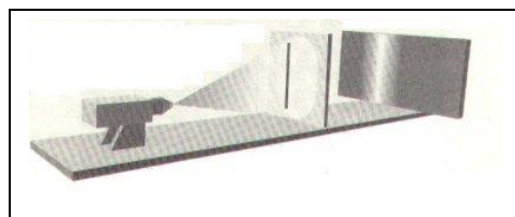
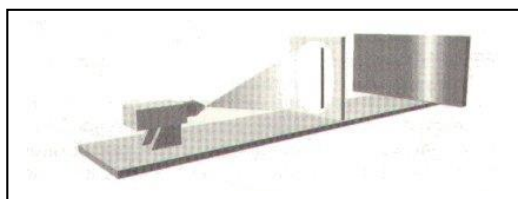
Ritroveremo il nostro chilo di radio intatto? Niente affatto: metà degli atomi di radio sarà sparita come vuole il noto processo della disintegrazione radioattiva. I fisici dicono che la «vita media» o *periodo* del radio è di 1600 anni: il tempo che occorre affinché la metà degli atomi di un blocco di radio si disintegri.

A questo punto, una domanda: **possiamo determinare quali atomi di radio si disintegreranno?** Che piaccia o meno ai difensori del determinismo, non abbiamo alcun modo di sapere *perché* è questo atomo piuttosto che quest'altro a disintegrarsi. Possiamo predire *quanti* atomi si disintegreranno ma siamo incapaci di dire *quali*: nessuna legge fisica ci permette di descrivere il processo che è all'origine di questa selezione. La teoria quantistica è in grado di descrivere con grande precisione il comportamento di un insieme di particelle ma, quando si tratta di una particella singola, potrà fornire solo delle **probabilità**.

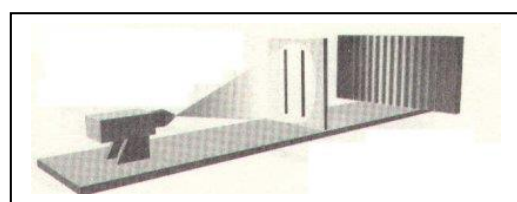
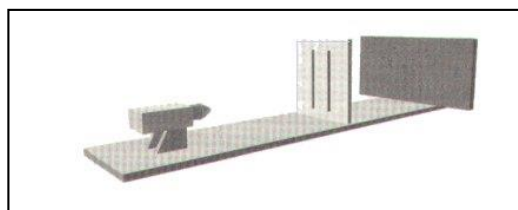
Questo argomento è molto forte. Ma, fino a che punto quello che sembra aleatorio a un certo livello non può rivelarsi ordinato a un livello superiore? Si potrebbe obiettare che quello che chiamiamo caso non è altro che la nostra incapacità di capire un grado di ordine superiore.

Qui ritroviamo le idee del fisico inglese **David Bohm**, secondo il quale i movimenti dei granelli di polvere contenuti in un raggio di sole sono aleatori solo in apparenza: al di là del disordine visibile dei fenomeni esiste un ordine profondo, di **grado infinitamente elevato** che permetterebbe di spiegare quello che noi interpretiamo come il frutto del caso. Ricordiamo, per esempio, un celebre esperimento di fisica: quello delle «doppie fenditure». Il dispositivo è molto semplice: si interpone uno schermo forato da due fenditure verticali parallele tra una lastra fotografica e una sorgente luminosa che permette di inviare dei fotoni, ovvero dei granelli di luce, verso lo schermo.

Se chiudiamo una delle due fenditure, i fotoni attraverseranno quella aperta e si disporranno sulla lastra fotografica formando una riga luminosa.



Ma se si aprono entrambe le fenditure, proiettando le particelle luminose *a una a una* verso di esse ci è impossibile dire *quale fenditura* esattamente sarà attraversata per fissarsi sulla lastra fotografica. Da questo punto di vista i movimenti e la traiettoria della particella luminosa sono aleatori e imprevedibili.



Tuttavia, dopo circa un migliaio di tiri, i fotoni non lasciano una traccia altrettanto aleatoria sulla lastra fotografica. L'insieme delle particelle inviate separatamente forma ora una figura perfettamente ordinata, nota con il nome di frange di interferenza. Questa figura, considerata nella sua interezza, era perfettamente prevedibile. In altri termini, il carattere «aleatorio» del comportamento di ogni particella isolata nascondeva in realtà un grado di ordine molto elevato che noi non potevamo interpretare.

Quindi si potrebbe concludere, filosoficamente, che l'universo non contiene il caso ma diversi livelli

di ordine di cui abbiamo il compito di decifrare la gerarchia.

Si possono considerare certi fenomeni caotici, come un gorgo nell'acqua o le volute di un filo di fumo nell'aria immobile. Apparentemente questi movimenti sono insieme indescrivibili e imprevedibili; ma, contro ogni aspettativa, dietro quello scorrere turbolento, o nei movimenti casuali del fumo, si avverte una specie di *vincolo*: il disordine viene in qualche modo canalizzato all'interno di motivi costruiti su uno stesso modello soggiacente, al quale gli specialisti del caos hanno dato il bel nome di "**attrattore strano**".

Esso esiste nello "**spazio delle fasi**", e cioè nello spazio che contiene tutte le informazioni dinamiche, tutte le variazioni possibili di un sistema meccanico. Un esempio di attrattore elementare? Un punto fisso a cui è sospesa una biglia d'acciaio; questa può muoversi in fondo al filo ma solo percorrendo un'orbita precisa dalla quale la nostra biglia avrà difficoltà ad allontanarsi. Nello spazio delle fasi tutte le traiettorie vicine sono come attratte dall'orbita di rotazione: quest'ultima è l'**attrattore strano** del sistema. Ora, quello che è vero per un sistema semplice lo è tanto più per i sistemi complessi: anche in questi esistono degli «attrattori strani» che ordinano in profondità il loro comportamento.

La presenza su scala macroscopica delle strutture ordinate che caratterizzano l'universo resta, malgrado le nostre conoscenze, un mistero. Per esempio, l'uniformità e l'isotropia della distribuzione della materia nelle galassie sono stupefacenti. La misura dell'universo osservabile è dell'ordine di **Km.  $10^{23}$** . A questo livello la materia ha una densità uniforme che possiamo misurare con una precisione dell'ordine di  **$1/10^5$** . Tuttavia, su scala inferiore, l'universo cessa di essere omogeneo: è costituito da un ammasso di galassie che a loro volta sono composte di stelle ecc. Ora, come è possibile che l'assenza di omogeneità che regna su piccola scala abbia potuto generare un ordine così elevato su grande scala?

Se un *ordine* soggiacente governa l'evoluzione del reale, diventa impossibile sostenere da un punto di vista scientifico che la vita e l'intelligenza sono apparse nell'universo in seguito a una serie di accidenti, di eventi aleatori da cui sarebbe assente ogni finalità. Osservando la natura e le leggi che ne derivano, sembra, al contrario, che tutto l'universo nella sua interezza *tenda verso la coscienza*. O meglio: nella sua immensa complessità, e malgrado l'apparenza del contrario, **l'universo è adatto per generare qualcosa di vivente, di cosciente e di intelligente**. Per quale motivo? Perché "la materia senza coscienza non è altro che il rudere dell'universo". Senza di noi, senza una coscienza che ne sia il testimone, l'universo non potrebbe avere alcuna esistenza: *siamo noi l'universo stesso*, la sua vita, la sua coscienza, la sua intelligenza.

Qui tocchiamo un mistero profondo. Non dimentichiamo che l'intera realtà si fonda su un numero molto **piccolo di costanti** cosmologiche: sono meno di quindici, la costante gravitazionale, la velocità della luce, lo zero assoluto, la costante di Planck ecc. Noi conosciamo il valore di ognuna di queste costanti con precisione notevole.

Ora, se *una sola* di queste costanti fosse stata modificata anche di poco, allora l'universo — almeno quale noi lo conosciamo — non sarebbe potuto apparire. Un esempio significativo è costituito dalla densità iniziale dell'universo: se questa densità si fosse allontanata anche di pochissimo dal valore critico che ha assunto a partire da secondi  $1/10^{35}$  dopo il *big bang*, l'universo non si sarebbe potuto formare.

Oggi il rapporto tra la densità dell'universo e la densità critica originaria è dell'ordine di 0,1; si dà il caso che sia stato incredibilmente vicino a uno all'epoca, molto remota di cui sopra. Lo scarto con la soglia critica è stato straordinariamente piccolo, dell'ordine di  $1/10^{40}$ , un istante dopo il *big bang*, di modo che l'universo ha trovato il suo «equilibrio» subito dopo la nascita.

Ciò ha permesso di mettere in moto le fasi seguenti.

Un altro esempio di questa fantastica regolazione: se aumentassimo dell'uno per cento appena l'intensità della **forza nucleare** che controlla la coesione del nucleo atomico elimineremmo la possibilità che i nuclei di idrogeno hanno di restare liberi: questi si combinerebbero con altri protoni

e neutroni per formare dei nuclei pesanti. A partire da tale momento, visto che l'idrogeno non esisterebbe più, non potrebbe nemmeno combinarsi con gli atomi di ossigeno per formare l'acqua che è indispensabile alla nascita della vita.

Se, al contrario, diminuiamo leggermente la forza nucleare, allora è la fusione dei nuclei di idrogeno a diventare impossibile. E senza fusione nucleare, non ci sono più soli, fonti di energia, vita.

Quello che vale per la forza nucleare, vale allo stesso modo per altri parametri, come la **forza elettromagnetica**. Se la aumentassimo molto leggermente, rinforzeremmo il legame esistente tra l'elettrone e il nucleo; e anche le reazioni chimiche che risultano dal trasferimento degli elettroni verso altri nuclei non sarebbero più possibili. Una grande quantità di elementi non potrebbe formarsi e in un universo siffatto le molecole di DNA non avrebbero nessuna possibilità di comparire.

Quanto alla **forza di gravità**, se questa fosse stata appena un po' più debole al momento della formazione dell'universo, le nubi primitive di idrogeno non avrebbero mai potuto condensarsi per raggiungere la soglia critica della fusione nucleare: le stelle non si sarebbero mai accese. Ma non saremmo affatto più felici se fosse successo il contrario: una gravità più forte avrebbe portato a un vero e proprio «impazzimento» delle reazioni nucleari: le stelle si sarebbero incendiate furiosamente per poi morire così presto che la vita non avrebbe avuto il tempo di svilupparsi.

In realtà, quali che siano i parametri considerati, la conclusione è sempre la stessa: **se si modifica anche di poco il loro valore, si preclude ogni possibilità allo sbocciare della vita. Le costanti fondamentali della natura e le condizioni iniziali che hanno permesso l'apparizione della vita sembrano quindi regolate con una straordinaria precisione.**

Ancora un'ultima cifra: se il tasso di espansione dell'universo all'inizio avesse subito uno scarto dell'ordine di  $1/10^{40}$ , la materia iniziale si sarebbe sparpagliata nel vuoto: l'universo non avrebbe potuto dare origine alle galassie, alle stelle e alla vita. Per dare un'idea della precisione incredibile con la quale sembra che l'universo sia stato regolato, basta immaginare la prodezza che dovrebbe compiere un giocatore di golf per riuscire, tirando dalla Terra, a far entrare la palla in una buca situata da qualche parte sul pianeta Marte!

Ragionando su queste cifre si deve dedurre che né le galassie e i loro miliardi di stelle, né i pianeti e le forme di vita che contengono sono un accidente o una semplice «fluttuazione del caso». Noi non siamo comparsi così, un bel giorno piuttosto che un altro, perché una coppia di dadi cosmici sono rotolati sul lato giusto. Lasciamo queste considerazioni a coloro che non vogliono aver nulla a che fare con la verità dei numeri.

Il calcolo delle probabilità depone favore di un universo ordinato, minuziosamente regolato, la cui esistenza non può essere generata dal caso. È anche vero che i matematici non ci hanno ancora raccontato tutta la storia del caso: non sanno neppure che cosa sia! Hanno però potuto effettuare certi esperimenti utilizzando dei calcolatori che generano numeri casuali. A partire da una regola derivata da soluzioni numeriche alle equazioni algebriche, sono state programmate delle macchine per **produrre il caso**. Qui le leggi di probabilità indicano che questi calcolatori dovrebbero calcolare per miliardi di miliardi di miliardi di anni, ossia per una durata di tempo quasi infinita, prima che possa apparire una combinazione di numeri simile a quella che ha reso possibile lo schiudersi dell'universo e della vita. In altre parole, **la probabilità matematica che l'universo sia stato generato dal caso è praticamente nulla.**

Non sarà che l'universo, come noi lo conosciamo, esiste proprio per permettere alla vita e alla coscienza di svilupparsi?

Ritroviamo qui il "**principio antropico**", formulato nel 1974 dall'astrofisico inglese **Brandon Carter**. A suo parere, **è un fatto che l'universo possieda esattamente quelle proprietà che sono necessarie a generare un essere capace di coscienza e di intelligenza. Da allora le cose sono quelle che sono perché non sarebbero potute essere diversamente: non c'è**

**posto nella realtà per un universo differente da quello che ci ha generato.**

“Se davvero non c'è posto per un universo diverso da quello in cui viviamo, vuol dire ancora una volta che un ordine implicito, molto profondo e invisibile, opera *al di sotto* del disordine esplicito che si manifesta con tanta generosità. La natura plasma *direttamente dal caos* le forme complicate e altamente organizzate del vivente. Al contrario della materia inanimata, l'universo del vivente è caratterizzato da un livello di ordine sempre crescente: mentre l'universo fisico va verso un'entropia sempre più elevata, il vivente è come se risalisse questa corrente contrada per creare sempre più ordine. A partire da ciò dobbiamo rivalutare il ruolo di quello che chiamiamo «caso». Jung sosteneva che l'apparizione di *coincidenze significative* implica necessariamente l'esistenza di un principio esplicativo che deve essere aggiunto ai concetti di spazio, tempo e causalità. Questo grande principio, detto *principio di sincronicità*, è fondato su un ordine universale di comprensione, complementare alla causalità. All'origine non c'è alcun evento casuale, *non c'è il caso*, ma un grado di ordine infinitamente superiore a tutto ciò che possiamo immaginare: un ordine supremo che regola le costanti fisiche, le condizioni iniziali, il comportamento degli atomi, la vita delle stelle. Potente, libero, esistente all'infinito, misterioso, implicito, invisibile, sensibile, c'è, eterno e necessario dietro i fenomeni, lontanissimo al di sopra dell'universo ma presente in ogni particella” (J. Guitton, op. cit., pag. 57).

