

L'UNIVERSO VISIBILE



A CURA DEL PROF S. F. MINGIARDI



Università
del Tempo
Libero
Seregno

AVVERTENZA

La presente dispensa, come le altre sull'evoluzione della vita e sull'evoluzione umana, è stata pensata e realizzata per gli utenti dell'UNITEL di Seregno che frequentano il Corso di Antropologia che prevede preliminarmente un ragguaglio essenziale e aggiornato su temi di Cosmologia, Fisica, Paleontologia e Paleoantropologia.

I temi presenti in questa dispensa non si limitano ad una semplice rassegna delle conquiste della scienza in ambito cosmologico e fisico, ma intendono anche stimolare alla riflessione filosofica sui grandi temi dell'essere e dell'esistere.

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 832 milioni di anni fa?*
- *Da dove venne il primo atomo di realtà grande $mm\ 1/10^{32}$?*

EXCURSUS STORICO

L'UNIVERSO DEGLI ANTICHI

- **COSMOGONIE:** (dal gr. κόσμος "cosmo" e γονεία "generazione") concezioni mitiche sulla nascita degli dei, dell'universo e dell'uomo.
- **COSMOLOGIE:** (dal gr. κόσμος "cosmo" e λόγος "studio") concezioni filosofiche o scientifiche intorno al cosmo.

COSMOGONIE

Tradizioni mitologiche diffuse in disparate aree geografiche evocano immagini di divinità supreme o demiurghi, increate o creati 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'ultima 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, poi si pensò ci fosse il sole (sistema eliocentrico)
Con Aristotele 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 nel 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).
8. **SATELLITE PLANCK dell'Agenzia Spaziale Europea: Il lancio è avvenuto il 14 maggio 2009**

È stato progettato per acquisire un'immagine della radiazione cosmica di fondo (CMB). Questa radiazione avvolge l'intero cielo e la missione ne ha realizzato una immagine, pubblicata il 12 marzo 2013, con la massima precisione angolare e sensibilità mai ottenuta, fornendo un ritratto dell'Universo a 380.000 anni dal Big Bang. I dati rilevati correggono quelli del WMAP, in particolare:

- **L'età dell'universo, risulta essere di 13 miliardi e 832 milioni di anni**
- **La materia oscura sarebbe il 26,8% (in precedenza era risultata 22,7%)**
- **La materia ordinaria il 4,9% e non il 4,5%.**
- **L'energia oscura sarebbe presente in quantità inferiore: costituirebbe il 68,3% del cosmo e non il 72,2% come in precedenza. (Dati ANSA del 23 marzo 2013).**

La missione del satellite Planck è cessata il 23 ottobre 2013.

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, 13,832 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 832 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 poterne 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, finiremo per scoprire l'istante preciso in cui l'intero universo ha 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 forze 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.***

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.

(Nel novembre 2010 al CERN di Ginevra si è riuscito a ricreare il *brodo iniziale* di particelle facendo scontrare ioni di piombo).

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** (1858-1947), 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^{-43} 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 (1911-2008) 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 (1917-1992) 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 la **materia oscura** e l'**energia oscura**, oltre a 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 dall'apparente 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 lo dirà 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.

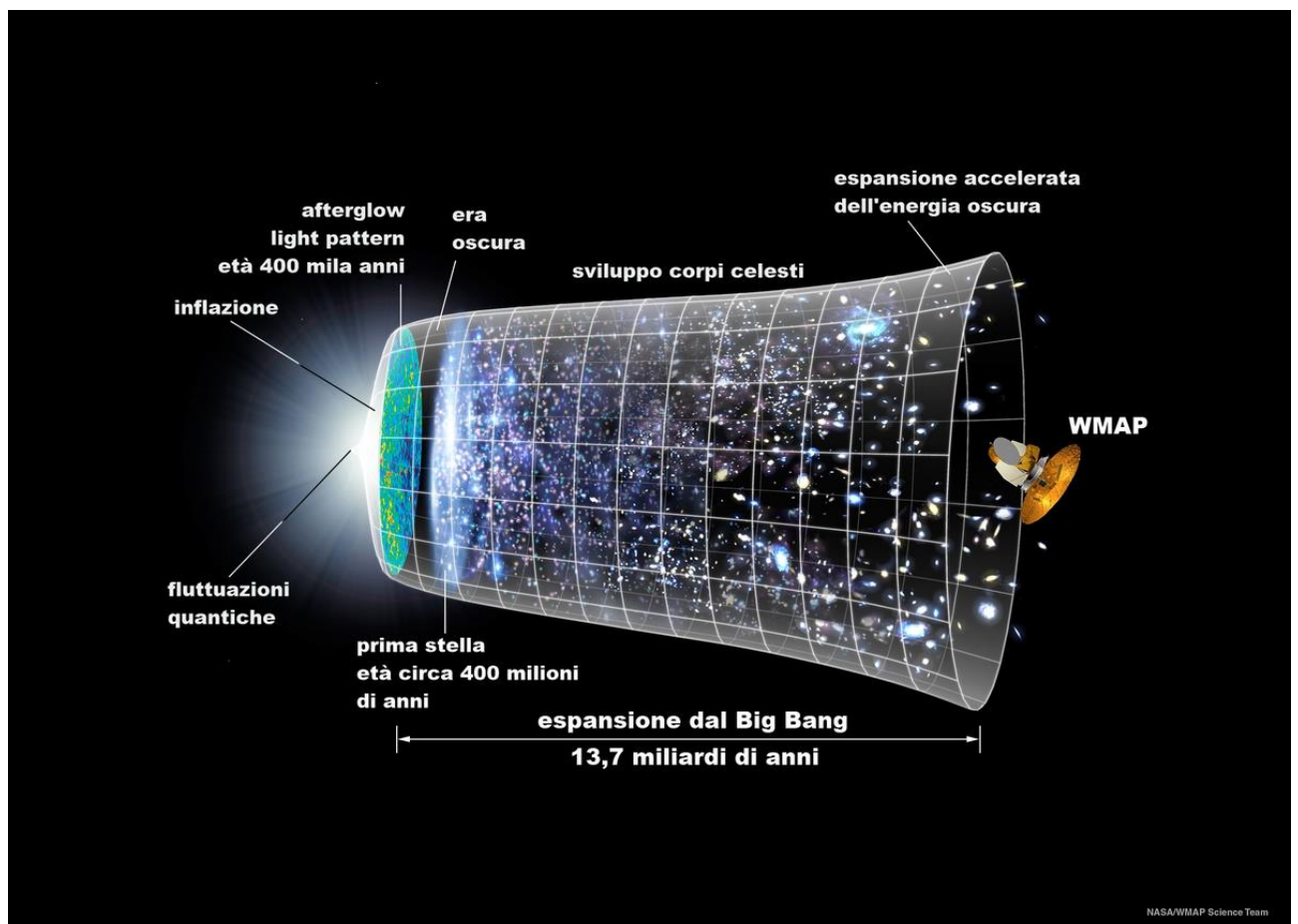
1. Il primo è l'età delle stelle. I dati ricavati da quelle più antiche indicano un'età che va da dodici a quattordici miliardi di anni, che corrisponde alla durata dell'universo dalla sua presunta comparsa.
2. Il secondo argomento si fonda su un'analisi della luce emessa dalle galassie: quest'ultima 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 Edwin Hubble (1889-1953) 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°). 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.

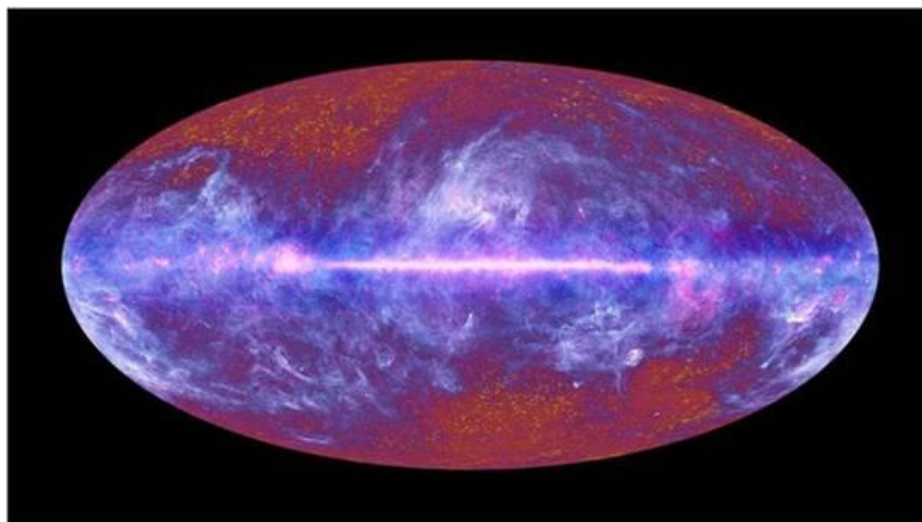


Questi dati sono stati in parte confermati, in parte corretti dal

5. SATELLITE PLANCK dell'Agencia Spaziale Europea: Il lancio è avvenuto il 14 maggio 2009. Il satellite è stato progettato per acquisire un'immagine della radiazione cosmica di fondo (CMB). Questa radiazione avvolge l'intero cielo e la missione ne ha realizzato una immagine, pubblicata il 12 marzo 2013, con la massima precisione angolare e sensibilità mai ottenuta, fornendo un ritratto dell'Universo a 380.000 anni dal Big Bang, un po' più vecchio e un po' più lento nella sua espansione: è questo l'universo che emerge dai risultati delle osservazioni del satellite Planck dell'ESA. I suoi strumenti hanno prodotto una nuova, dettagliata mappa della radiazione cosmica di fondo, considerata la lontana eco del big bang, che conferma nelle sue linee essenziali il modello standard della cosmologia, ritoccando anche la composizione percentuale dell'universo tra materia ordinaria, materia oscura ed energia oscura. Le disomogeneità su larga scala della mappa dovranno però essere spiegate da nuove teorie. Questi i dati rilevati che correggono quelli del WMAP::

- L'età dell'universo, risulta essere di 13 miliardi e 832 milioni di anni
- La materia oscura sarebbe il 26,8% (in precedenza era risultata 22,7%)
- La materia ordinaria il 4,9% e non il 4,5%.
- L'energia oscura sarebbe presente in quantità inferiore: costituirebbe il 68,3% del cosmo e non il 72,2% come in precedenza. (Dati ANSA del 23 marzo 2013).

La missione del satellite Planck è cessata il 23 ottobre 2013.



Un'unica mappa racconta l'intera storia dell'universo, dalla nascita delle prime stelle alle radiazioni diffuse oggi dalla Via Lattea

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, il cosmo, come lo conosciamo oggi con tutto ciò che contiene, 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?

Sono domande cui scientificamente non è possibile, per ora, dare risposta.

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.Cr. 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** (1743-1783), dimostrò che ci sono sostanze non ulteriormente scomponibili e cominciò a classificarle (metalli pesanti); pose anche le basi della nomenclatura chimica (1787). Nel 1789 enunciò il principio che in natura *nulla si crea e nulla si distrugge, ma tutto si trasforma*.
- **Amedeo Avogadro** (1776-1856), elaborò la prima formulazione rigorosa dell'ipotesi atomico-molecolare della materia (1811).

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. Oggi si sa che gli elettroni non ruotano in orbite circolari ma ellittiche e variano costantemente il piano di rotazione.
- **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 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 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 circa sessant'anni 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*.

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%, 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.

Più di ottanta 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 (1892-1987), matematico di formazione, ha fatto più scoperte sulla sua lavagna nera che Maurice (1875-1960) 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.

Ritourneremo 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**

mezze 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 scomparsi 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 **tra-scendono 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.

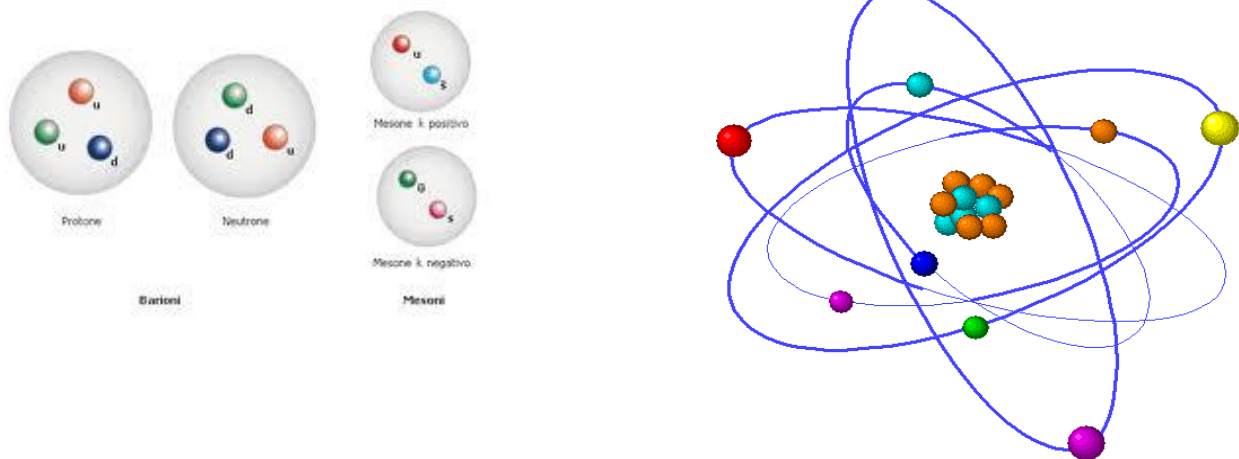
A favore di questa intuizione possiamo proporre un primo abbozzo che sembra per il momento corrispondere meglio a quello che sono i quark, se mai esistono. Questo approccio comincia oggi a essere conosciuto nell'ambiente della fisica con il nome un po' misterioso di **matrice s**.

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'**elettrone** 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?



BIBLIOGRAFIA MINIMA

- Albert Einstein, *Come io vedo il mondo*, ed. Newton, RM 1985
 Steven Weinberg, *I primi tre minuti*, ed. Mondadori, MI 1989
 Stephen Hawking, *Dal big bang ai buchi neri*, ed. Rizzoli, MI 1988
 “ , *Buchi neri e universi neonati*, ed. Rizzoli, MI 1993
 Paul Davies, *Il cosmo intelligente*, ed. Mondadori, MI 1989
 “ , *La mente di Dio*, ed. Mondadori, MI 1993
 “ , *I misteri del tempo*, ed. Mondadori, MI 1995
 Julian Barbour, *La fine del tempo, La rivoluzione fisica prossima ventura* ed. Le Scienze, RM 2008
 N. de Grasse Tyson e D. Goldsmith, *Origini, 14 miliardi di anni di evoluzione cosmica*, ed. Le Scienze, RM 2009
 Chris Impey, *La fine di tutto, Dai singoli individui all'intero universo*, ed. Le Scienze, RM 2010
 Lawrence Krauss, *L'uomo dei quanti, La vita scientifica dell'uomo di Richard Feynman*, ed. Le Scienze, RM 2011
 Richard Panek, *L'universo oscuro*, ed. Le Scienze, RM 2011
 Carlo Rovelli, *La realtà non è come ci appare, La struttura elementare delle cose*, Cortina, MI 2014
 Jim Baggott, *Origini. La storia scientifica della creazione*, ed. Adelphi, MI 2017

Ultima revisione e aggiornamento: Gennaio 2019