

Giuseppe Galletta

# **SCHIZZI DI COSMOLOGIA**

**COSE STRANE  
MA VERE  
NEL COSMO  
IN CUI VIVIAMO**

PADOVA  
**UP**



Prima edizione 2024, Padova University Press  
Titolo originale: Schizzi di Cosmologia

© 2024 Padova University Press  
Università degli Studi di Padova  
via 8 Febbraio 2, Padova

[www.padovauniversitypress.it](http://www.padovauniversitypress.it)  
Redazione Padova University Press  
Progetto grafico Padova University Press

Immagine di copertina: Ammasso di galassie nella costellazione dell'Perseo fotografato dal telescopio spaziale Euclid (foto ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA, image processing by J.-C. Cuillandre (CEA Paris-Saclay), G. Anselmi).

ISBN 978-88-6938-455-4



This work is licensed under a Creative Commons Attribution International License  
(CC BY-NC-ND) (<https://creativecommons.org/licenses/>)

Giuseppe Galletta

# Schizzi di Cosmologia

Cose strane ma vere  
nel Cosmo in cui viviamo

PADOVA  
**UP**



# Sommario

Schizzi di cosmologia	7
1. Casa nostra è il cielo.	9
2. Big Bang, che scoppio!	17
3. Pois e tapis roulant	21
4. Confini ed esseri piatti	25
5. Il centro dell'Universo	29
6. Pianeti flambé.	33
7. Spazio e tempo grandi amici: Archeologi del Cosmo.	37
8. Urca, si è spostato il Sole!	41
9. E prima di noi? Capelli biondi e Big Bang	45
10. Orizzonti lontani	51
11. Universi simili?	55
12. Si sente ancora l'eco	61
13. Creare la materia	67
14. Tempi bui	75
15. E il sasso non ricade più?	79
16. Che oscure, queste galassie!	83
17. Come finisce la Storia? Il più grosso errore di Einstein	91
Conclusione in allegria	101
Ringraziamenti	101
Siti dell'autore	102



# Schizzi di cosmologia

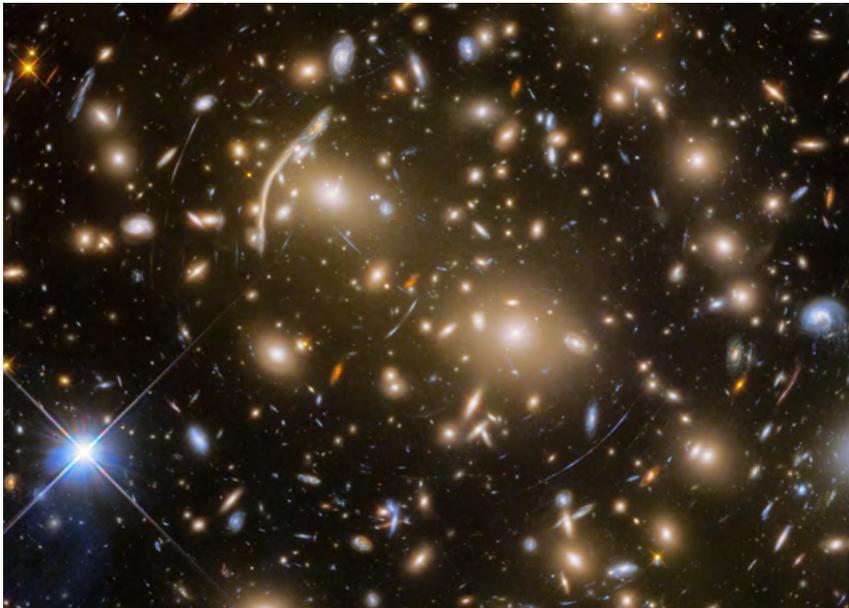
## Piccoli e grandi concetti per profani (digiuni) di Scienza.

Perché un altro libro di Cosmologia con un nome così buffo? Perché invece di annunciare notizie straordinarie e fantastiche novità, vorrei spiegare in maniera concisa e senza formule come funziona il Cosmo, toccando gli aspetti più strani del mondo fisico. Per esempio: possiamo vedere il passato, lo spazio e il tempo non esistono se non c'è materia, e tanto altro. Queste conoscenze, una volta apprese, permettono non solo di leggere facilmente le notizie dei giornali e dei social media, ma ci aiutano a capire il nostro posto nella Natura. Il libro inoltre corregge alcune convinzioni errate fatte nel passato e riportate ancor oggi da alcuni testi.

Imparare l'Astronomia o un'altra Scienza dai giornali, dalla TV o dai *social media* può portare a una conoscenza che io chiamo "a macchie di leopardo": conosco questa cosa in dettaglio ma non so a cosa si colleghi. Ma ogni nuova scoperta annunciata al pubblico si basa su altre conoscenze che chi legge deve già sapere, o ne ricaverà una convinzione inesatta, Parlare della sonda spaziale Galileo inviata su Giove suppone che chi legge sappia cosa sia una sonda spaziale, chi sia Galileo e cosa abbia avuto a che fare coi satelliti di Giove. Troppo per un breve articolo sulla stampa. Per aiutare a capire i concetti di base presento 17 argomenti di Cosmologia. Ogni argomento ha una scheda di 2-8 pagine con schemi e figure. Alla fine di ogni capitolo c'è il concetto principale che è stato spiegato e alla fine del libro c'è un elenco delle cose importanti da tenere a mente. Per il titolo, parlare di "pillole di cosmologia" sarebbe troppo presuntuoso, come pretendere di curarvi. Li ho chiamati "schiz-

zi di cosmologia”, sia come abbozzi di un disegno che come getti di informazioni per macchiare di conoscenza la mente del lettore.

Nel testo usiamo le parole **Universo** e **Cosmo** come sinonimi per tutto ciò che esiste nel mondo fisico. Ogni volta che si spiega un termine nuovo, esso è scritto in **grassetto**, mentre i termini stranieri sono in *corsivo*. Per numeri molto grandi o molto piccoli si usa la notazione esponenziale:  $10^3$  vuol dire 1 con 3 zeri (=mille), mentre  $10^{-3}$  è un millesimo. Le distanze cosmiche vengono espresse in unità di misura particolari: il **parsec** (31 mila miliardi di km), indicato con **pc**. Questa distanza viene percorsa dalla luce, alla velocità di 300 mila km/s in 3,26 anni. Perciò 1 pc=3,26 **anni luce**. Le distanze tra stelle e galassie si esprimono in **chiloparsec (kpc)** e **Mega-parsec (Mpc)** che corrispondono a mille e un milione di pc. E ora siamo pronti a tuffarci nell’enormemente grande?



Abell 370, ammasso di galassie nella Balena a 1460 Mpc. Gli oggetti deformati sono galassie più lontane la cui luce viene amplificata per l'effetto delle lenti gravitazionali (Crediti: NASA, ESA Hubble, HST Frontier Fields).

## CAPITOLO 1

---

# Casa nostra è il cielo.

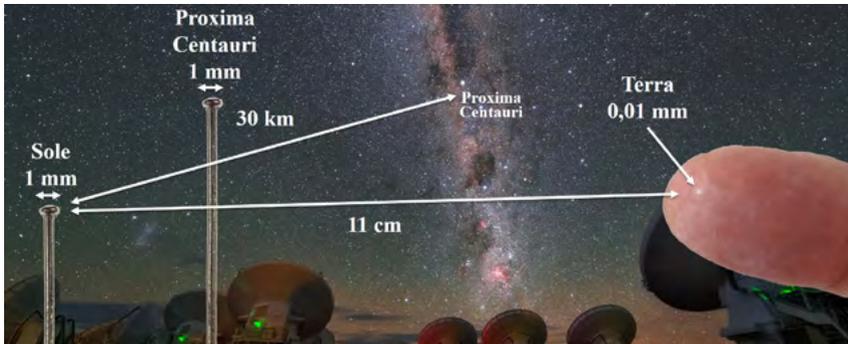
Il cielo stellato ci è familiare. Anche se viaggiamo lontano, in aereo, ci basta alzare gli occhi in una notte serena per ritrovare alcune delle costellazioni per noi domestiche. La nostra casa è la Terra, ed è circondata da stelle. Anche durante il giorno noi vediamo la stella più vicina, il Sole, e quasi tutti gli esseri viventi devono la stabilità della loro vita al Sole. Oltre alle piante, che sfruttano la luce come fonte di energia con la fotosintesi, persino noi non possiamo fare a meno del Sole per il nostro benessere fisico e il nostro umore. E lonta-



I colori delle stelle sono visibili in questa foto a grande campo del cielo, con Alfa e Beta Centauri a sinistra e la Croce del Sud al centro. (Foto ESO/ P. Horálek).

no dalle luci delle città, nel buio della notte, un'enorme quantità di stelle si stende sopra di noi.

Sappiamo che tutte le stelle sono come il Sole, delle sfere di gas idrogeno e altri elementi chimici ad altissima temperatura superficiale, da 1000 a 50000 gradi, che possono risplendere per miliardi di anni producendo calore, luce visibile ma anche ultravioletta, con alcuni lampi di raggi X.



Quanto più massicce sono le stelle, tanto più sono grandi, calde, luminose e azzurre; viceversa, quanto più piccola è la loro massa, tanto più fredda, poco luminosa e piccola è la loro superficie visibile, e la loro luce è rossa. La nostra stella

Sole è in mezzo a questa sequenza di stelle colorate e la sua luce è più intensa nel colore giallo-verde.

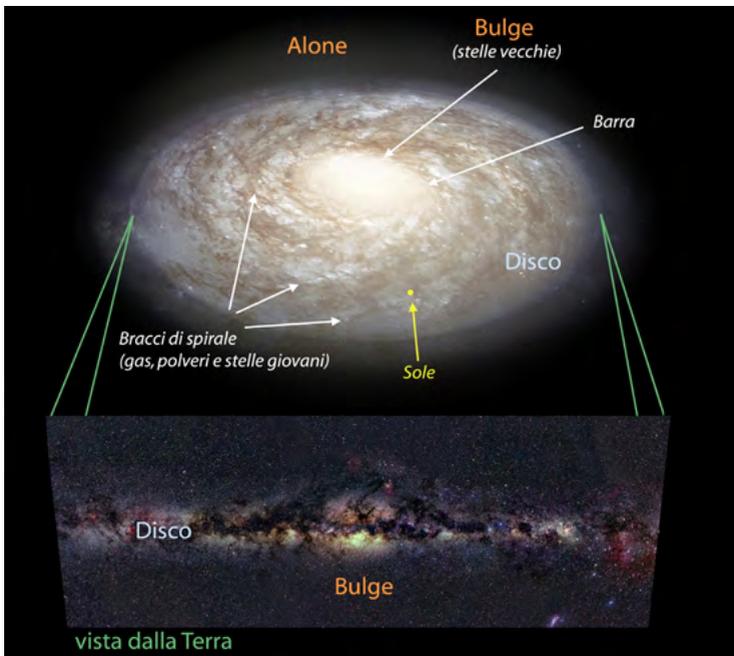


Centro dell'ammasso globulare M92 (foto HST - NASA, ESA, Gilles Chapdelaine).

Le stelle sono lontane da noi, estremamente lontane. Se creassimo un modellino del Sistema Solare, con il Sole che ha un diametro di 1,4 milioni di km rappresentato in piccolo da una capocchia di spillo di 1 mm, la Terra sarebbe un microscopico granellino di 1 centesimo di millimetro a 11 cm di distanza. E la stella più vicina, Proxima

Centauri? Sarebbe un'altra capocchia di spillo a 30 chilometri di distanza! Una vera rappresentazione del vuoto! Però guardando la foto di un ammasso stellare della Via Lattea, sembra che la densità di stelle sia altissima, e che andando laggiù si potrebbe ammirare un cielo luminoso, come se migliaia di soli risplendessero tutti insieme. Ma è solo un'illusione. In realtà anche se viaggiassimo con un'astronave all'interno di quel gruppo di stelle, la notte ci apparirebbe trapuntata da migliaia di stelle luminose, come le più brillanti del nostro cielo, però la luminosità totale della volta celeste sarebbe solo 25 volte maggiore, e 8 volte inferiore a quella di una notte con la Luna piena. Anche all'interno di un ammasso globulare la notte sarebbe sempre molto più buia rispetto al giorno.

Tutte le stelle del nostro cielo sono raccolte in un sistema schiacciato che si chiama **Via Lattea** o **Galassia**, dal termine greco  $\gamma\acute{\alpha}\lambda\alpha$  (gála), che significa latte. Noi la vediamo nelle notti veramente buie come una striscia luminosa che at-



Schema della Via Lattea (Composizione di G. Galletta).

traversa il cielo, solcata da “sentieri” di polvere scura, come si vede nel riquadro della figura a pagina 11. In realtà quella striscia è la proiezione in cielo di un disco schiacciato fatto di stelle giovani e nubi di gas e polveri, che si dispongono in una struttura a spirale con diversi bracci. Noi siamo sul bordo di uno di questi bracci, il Braccio di Orione. Al centro del disco esiste un rigonfiamento di stelle vecchie e rossastre detto *bulge*, che vediamo nella direzione della costellazione del Sagittario. Attorno al disco si trova un alone composto da stelle vecchie e rossastre e da altra materia. Questo insieme di disco+*bulge*+alone, è una galassia come ce ne sono miliardi nell’Universo.

Non tutte le galassie sono come la Via Lattea. Alcune hanno il gas e le stelle giovani disposte lungo una spirale (galassie **Spirali**); altre hanno un disco e un bulge ma non hanno bracci di spirale (galassie **S0**, pronuncia “esse zero”); altre hanno solo stelle vecchie e rossastre e una forma ad ellissoide (galassie **Ellittiche**) e infine alcune sono piccole masse irregolari di gas, polveri e stelle giovani (galassie **Irregolari**).

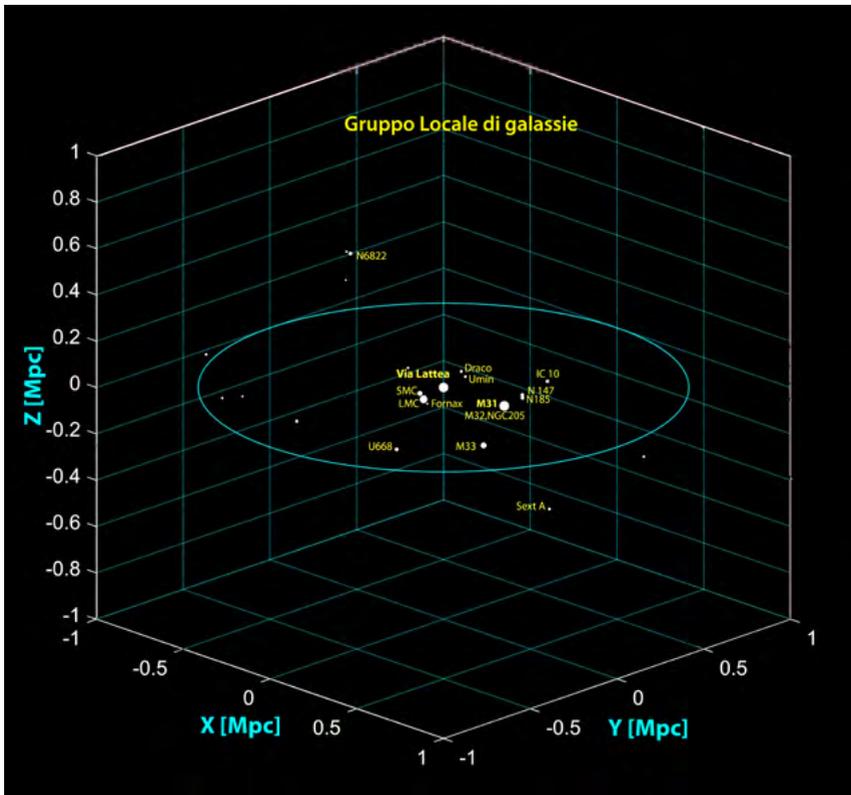


Tipi principali di galassie: Ellittiche, S0, Spirali e Irregolari. I due esempi di galassia Spirale e S0 sono mostrate di faccia (dal polo) e di taglio (lungo il loro piano equatoriale). Composizione di G. Galletta.

La massa di stelle e nubi di gas della nostra Via Lattea può essere stimata in 300 - 400 miliardi di volte quella del Sole, includendo l’alone. Il Sole dista dal centro galattico 30 mila anni luce (10 kpc) e fa un giro intorno al centro galattico, detto **anno galattico**, in circa 250 milioni di anni. Un anno galattico fa

sulla Terra le terre emerse erano raccolte insieme in un unico continente detto Pangea, popolato dai grandi rettili del periodo Permiano, progenitori dei dinosauri e dei mammiferi. In quel periodo, lungo 50 milioni di anni, stava avvenendo una delle più grandi estinzioni in massa degli esseri viventi, con la scomparsa di circa l'80% delle specie viventi terrestri e marine e degli insetti. Oggi siamo di nuovo nella stessa posizione rispetto al centro galattico ma anche le altre stelle hanno modificato la loro posizione rispetto a noi.

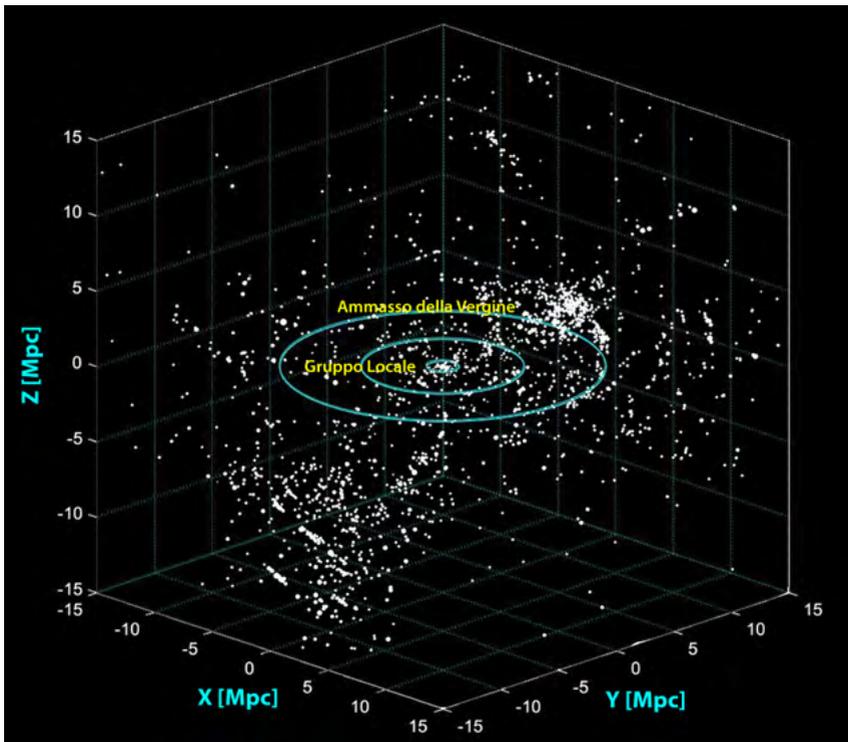
Attorno alla Via Lattea ci sono altre galassie come M31 in Andromeda e M33 nel Triangolo che formano il **Gruppo Locale**. Il suo volume occupa un cubo di due milioni di parsec



Il Gruppo Locale di galassie, con la Via Lattea al centro e intorno le galassie M31 e M33 e vari satelliti. (Composizione di G. Galletta dal catalogo di Tully e al. 1988)

di lato ( $8 \text{ Mpc}^3$ ), cento volte maggiore di quello della Via Lattea. Attorno ad esse, moltissime galassie più piccole che si comportano come dei satelliti, orbitando intorno a loro in tempi molto più lunghi, di centinaia di milioni di anni. Alcune vengono letteralmente ingoiate dalla Via Lattea, in un **canibalismo galattico** che accresce la massa della galassia maggiore. Lo spazio tra le galassie è cento volte più grande di quello tra le stelle, ma le galassie sono molto estese e possono incontrarsi e perturbarsi, con stelle strappate via dall'intensa forza di gravità.

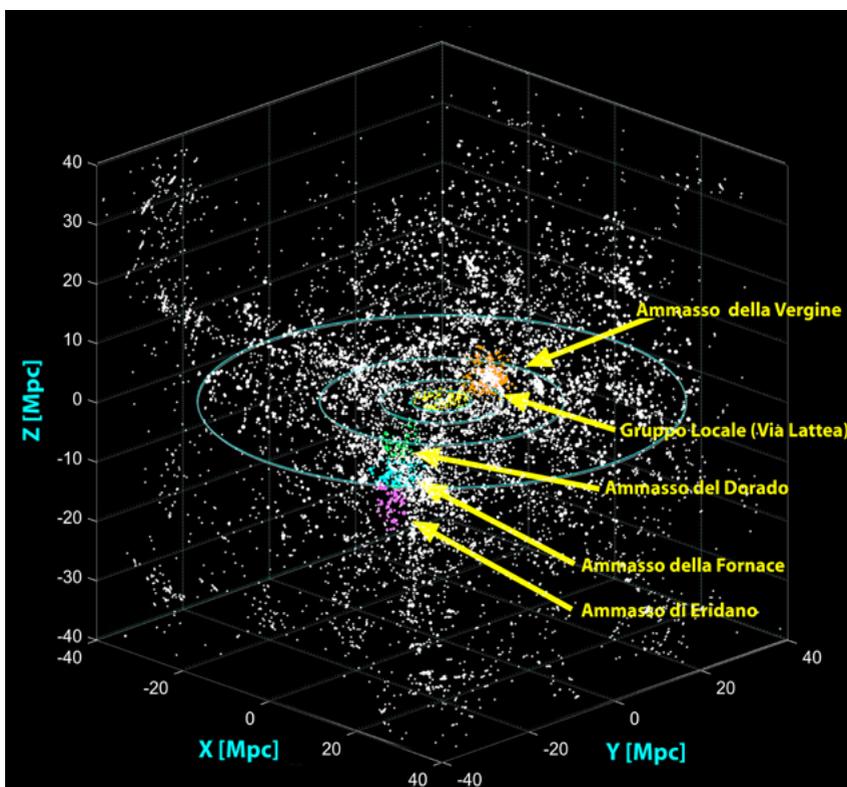
Ma non è finita. Attorno al Gruppo Locale ci sono moltissime altre galassie raggruppate in **ammassi di galassie**, composti da centinaia a migliaia di membri. In mezzo agli ammassi, ci sono zone “vuote” con pochissime galassie. L'ammasso



Distribuzione delle galassie entro 15 Megaparsec. La struttura allungata è il Superammasso Locale. (Composizione di G. Galletta dal catalogo di Tully e al. 1988).

più grande e vicino a noi è l'**Ammasso della Vergine**, nella direzione di quella costellazione. L'insieme, visibile nella figura, occupa un volume di  $27000 \text{ Mpc}^3$ , pari a un cubo con lato di 30 Mpc.

In volumi più grandi, di 80 Mpc di lato, i gruppi di galassie diventano i "mattoni" dell'Universo e la loro distribuzione nello spazio forma dei **Superammassi** di galassie, contenenti una quantità di massa enorme tra stelle, gas, polveri e altra materia. Essi si dispongono nello spazio in filamenti allungati e frastagliati, simili alle strutture studiate dalla matematica dei frattali. L'insieme dei superammassi vicini al Gruppo Locale, visibile nella figura qui sotto, è chiamato **Laniakea** ("Immenso Cielo" in hawaiano) e contiene 100 mila galassie.



Distribuzione delle galassie entro 40 Megaparsec, con i principali ammassi di galassie indicati. (Composizione di G. Galletta dal catalogo di Tully e al. 1988).

In conclusione, l'Universo visibile ha una struttura "gerarchica": superammassi → ammassi → gruppi → singole galassie → stelle e pianeti, come nella sequenza della vita comune continenti → stati → città → palazzi → appartamenti. Le galassie sono composte per più del 90% da stelle e per il resto da gas e polveri. Noi sulla Terra non siamo al centro del Sistema Solare, né il Sole al centro del Gruppo locale, né al centro del Superammasso locale. Siamo piccoli piccoli in un Universo popolato da miliardi di galassie, senza nessun privilegio!

#### CONCETTO FINALE

---

**L'Universo ha una struttura gerarchica, con i superammassi che contengono ammassi di galassie, che contengono galassie singole o in gruppi, che contengono stelle con pianeti, che hanno satelliti, atmosfere e nel nostro caso, esseri viventi. Un insieme enorme e quasi vuoto rispetto all'ambiente in cui viviamo.**

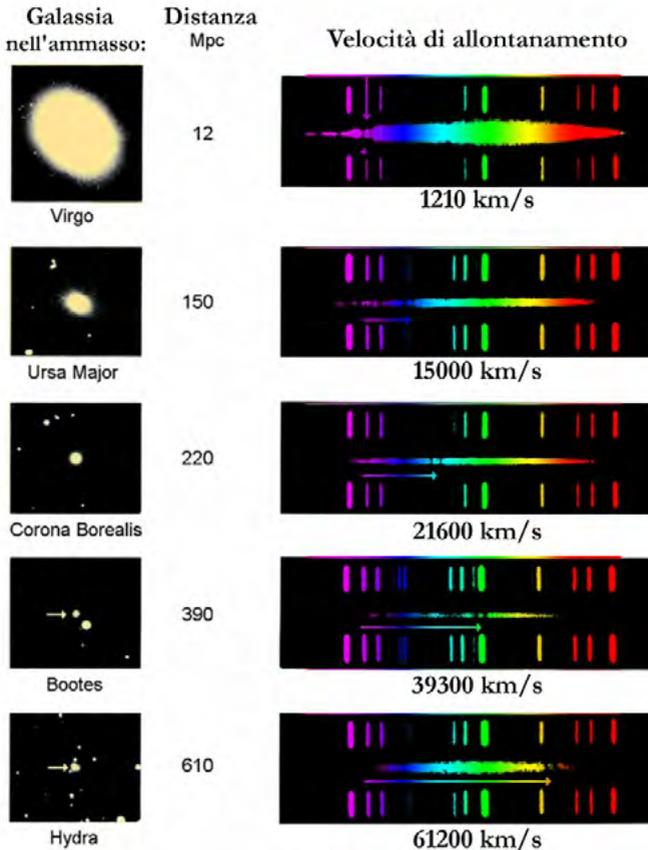
# Big Bang, che scoppio!

All'inizio del '900 non si sapeva ancora che le galassie fossero sistemi di stelle, gas e polveri simili alla Via Lattea. Si credeva che fossero nubi di gas (**nebulose**), anche perché i telescopi non avevano la potenza sufficiente a separare in tanti puntini luminosi le loro stelle, una proprietà detta **risoluzione angolare**. Con una bassa risoluzione tutte le galas-

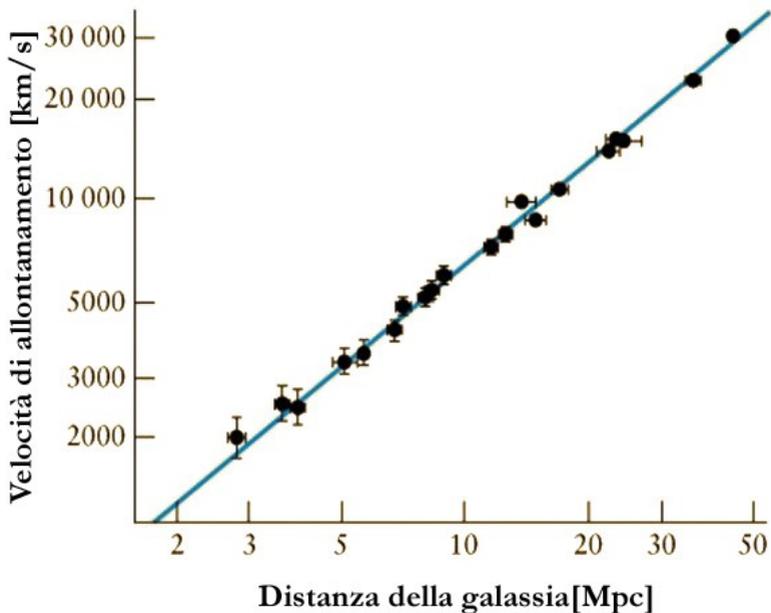


Galassia M31 in Andromeda (Foto Adam Evans).

sie appaiono sfumate e le Spirali come la Via Lattea venivano chiamate “nebulose spirali” come le nebulose di gas. Si è capito che fossero esterne alla Via Lattea e simili a essa solo agli inizi del ‘900, misurando la distanza della Grande Galassia di Andromeda (M31) e altre galassie a noi più vicine con lo studio di stelle variabili di luminosità nota, le **Cefeidi**, che si trovano al loro interno. Con le prime osservazioni, Slipher nel 1912 e poi Keeler e Campbell scoprirono che le righe spettrali degli elementi chimici all’interno delle galassie avevano tutte uno spostamento della lunghezza d’onda verso il rosso (**redshift**). Questo redshift lo osserviamo nella vita comune, nel suono di un’ambulanza e nelle misure dell’autovelox.



Esso è causato dall'**effetto Doppler** nel suono e dall'effetto Fizeau nella luce. In genere si parla di effetto **Doppler-Fizeau**. Anche per le galassie si è fatta l'ipotesi che il redshift sia dovuto alla loro velocità di allontanamento l'una dall'altra. Il risultato è descritto nella figura: nella colonna di sinistra ci sono le immagini di alcune galassie, con la loro distanza da noi in Mpc. A destra gli spettri corrispondenti, con la luce delle loro stelle scomposta dal violetto al rosso. Le righe colorate sopra e sotto ogni spettro sono righe di confronto e servono come riferimento. Le due "righe" oscure che appaiono al centro sono le righe di assorbimento create dagli atomi di Calcio ionizzato (Ca II) nell'atmosfera delle stelle. Come si vede dalla progressiva lunghezza di una freccia orizzontale che le indica, nelle galassie più lontane le righe spettrali appaiono spostate progressivamente verso il rosso. Interpretando questo come un effetto Doppler-Fizeau, si può calcolare il valore della velocità di ogni galassia da noi, indicata sotto ogni spettro. Tutte le galassie appaiono



allontanarsi rispetto al centro della Via Lattea.

In base a queste osservazioni l'astronomo belga Lemaître nel 1927 comprese che il redshift osservato fosse la prova di una espansione cosmica a partire da quello che lui chiamò "atomo primigenio", trovando una relazione tra la velocità di allontanamento misurata e la distanza di ogni galassia. Ma il suo articolo in francese non venne letto negli USA e nella traduzione inglese questa teoria venne omessa. L'articolo fu pubblicato in inglese solo nel 1931, sulla rivista Nature. Nel 1929 quando Hubble e Humason formularono la legge dell'espansione dell'Universo, con la relazione tra la velocità misurata e la distanza, Lemaître non fu citato e per anni si parlò di Legge di Hubble, ribattezzata nel 2018 dall'Unione Astronomica Internazionale come **Legge di Hubble-Lemaître**, rendendo anche a quest'ultimo il merito della scoperta. La teoria dell'Atomo primigenio fu chiamata dall'astrofisico Hoyle **Teoria del Big Bang** (grande scoppio). Se si conosce la velocità degli oggetti in allontanamento, si può calcolare quando essi sono partiti, se la loro velocità è costante. Se un'auto va a 100 km/h ed è partita da un punto distante 200 km, allora sarà partita da due ore ( $200 \text{ km} / 100 \text{ km/h} = 2 \text{ h}$ ). In questo caso, le galassie o la materia da cui sono nate sono partite dal momento del Big Bang, in cui erano tutte raggruppate insieme. I calcoli mostrano che questo è avvenuto circa 14 miliardi di anni fa, molto prima della nascita del Sole, che ha circa 5 miliardi di anni. Questa è l'**Età dell'Universo**.

## CONCETTO FINALE

---

**Le galassie mostrano una velocità di allontanamento da noi tanto maggiore quanto più sono lontane. Questo fenomeno è dovuto all'espansione dell'Universo a partire dal Big Bang, avvenuto circa 14 miliardi di anni fa.**

# Pois e tapis roulant

Immaginiamo di essere seduti in soggiorno con le cuffie, ascoltando musica. Alzando gli occhi verso la finestra, vediamo un “fiore” di fuochi d’artificio, con le traiettorie luminose che si espandono. Ci rendiamo conto che qualcuno ha fatto esplodere un razzo pirotecnico ma noi non abbia-



Fuochi d’artificio sulla baia (foto David Dilbert).

mo sentito il botto perché avevamo le cuffie e ora stiamo vedendo i frammenti luminosi in espansione. Così se oggi vediamo le galassie che si allontanano le une dalle altre, diciamo che l'Universo si sta espandendo in tutte le direzioni e che in passato c'è stato qualcosa di simile a un'esplosione, il Big Bang, ma con notevoli differenze dall'esempio dei fuochi d'artificio.

Una prima differenza è l'enorme dimensione di questo evento, che ha coinvolto tutta la materia dell'Universo e che stiamo chiamando "esplosione" solo per semplicità. Un'altra grande differenza è che le galassie e i gruppi di galassie non si allontanano muovendosi in uno spazio passivo, come i frammenti di un'esplosione, ma stanno ferme nel "loro" spazio, tenute insieme dalla forza di gravità della materia che le compone. Invece è proprio lo spazio a grande scala ad espandersi, come un pavimento che si allarga o un palloncino a pois che si gonfia. I cerchietti dei pois, che prima si trovavano l'uno vicino all'altro, si allontanano fino al completo gonfiaggio del palloncino. Questo spiega la legge di Hubble-Lemaître, secondo cui nell'espansione del Cosmo ogni galassia si allontana con una velocità proporzionale alla distanza. Se fossero le galassie a muoversi in uno spazio passivo, le loro velocità potrebbero essere quasi costanti, come un flusso di auto che corrono in autostrada, o viceversa distribuite a caso come le particelle di un gas che si muovono in tutte le direzioni.

Questo tapis roulant a tre dimensioni è difficile da immaginare ma se pensiamo a un cinema con tante persone sedute sulle proprie sedie e il pavimento che si espande, possiamo capire perché la velocità di allontanamento sia proporzionale alla distanza. Facciamo l'ipotesi che il pavimento si espanda a 1 m/s. La prima fila di sedie vedrà la seconda fila che si allontana a 1 m/s; la seconda fila vedrà la terza fila che si allontana a 1 m/s, ma la prima fila vedrà la terza fila che si allontana a  $1+1=2$  m/s e così per ogni fila di sedie sempre più lontane. La decima fila vista dalla prima si allontanerà a 9 m/s e così via. Ecco che, se è l'intero spazio cosmico a espandersi in tutte le direzioni, con i gruppi di ga-

lassie impernati nel loro volume di spazio locale, le velocità che osserviamo saranno proporzionali alla loro distanza da noi, esattamente come osserviamo nella realtà. Torneremo su questo punto nel capitolo 5, “Il centro dell’Universo”. Ricordiamolo: si muove lo spazio e non le galassie!

#### CONCETTO FINALE

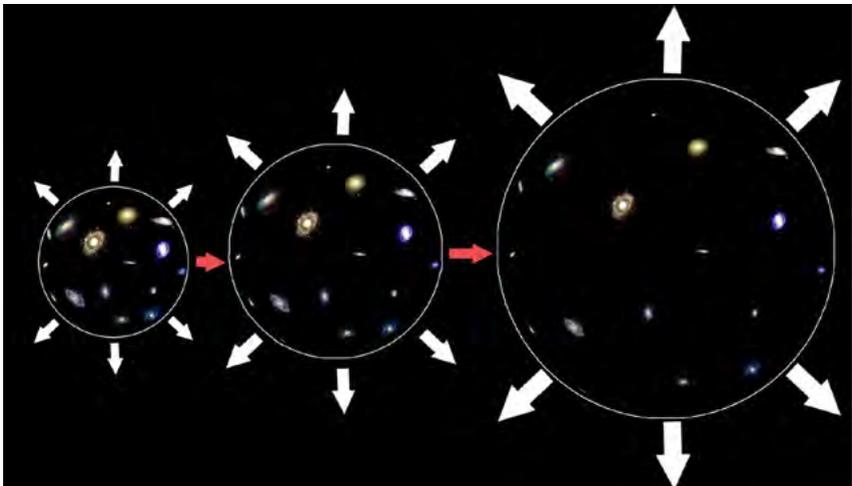
---

**Nell’espansione del cosmo è lo spazio stesso ad espandersi, e le galassie vengono “trascinate” in questo movimento pur restando stabili nel loro volume di spazio. In questo modo si spiega la legge di Hubble-Lemaître.**



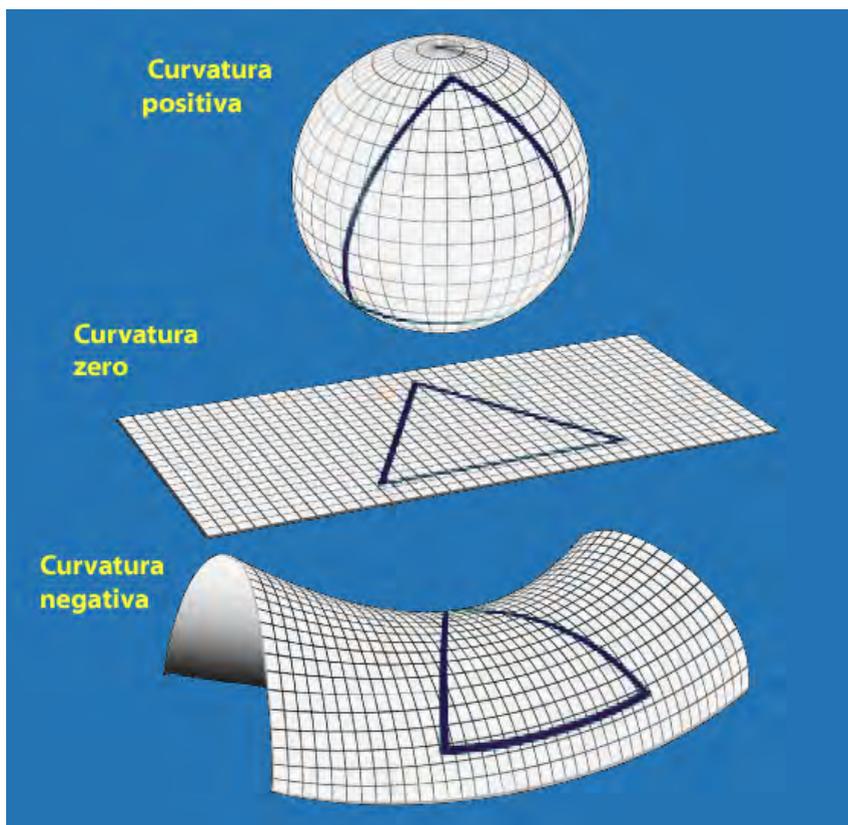
# Confini ed esseri piatti

Un altro esempio di espansione in cui i singoli oggetti si allontanano gli uni dagli altri è quello di cerchietti disegnati su un palloncino che si gonfia. Ogni cerchietto si allontana dagli altri perché il tessuto su cui sono disegnati si allarga. E qui dobbiamo fare un salto di fantasia. I cerchietti disegnati sono oggetti a due dimensioni, lunghi e larghi ma non alti. Se noi fossimo piatti come un foglio, il nostro universo sarebbe a 2 dimensioni: lunghezza e larghezza. Per far gonfiare un palloncino io ho bisogno anche di una terza dimensio-



ne, quella in cui il palloncino si curva, che aumenta col tempo mentre si gonfia. Perciò se noi vediamo il mondo a 3 dimensioni (lunghezza, larghezza e altezza, dette in geometria  $x,y,z$ ), la curvatura del “palloncino” che rappresenta il nostro universo che si gonfia dobbiamo immaginarla in una quarta dimensione. Eh già, ma com'è fatta una quarta dimensione, che non si può vedere né esplorare? Possiamo solo immaginarla o descriverla matematicamente. La sua esistenza è dedotta dalle nostre osservazioni del Cosmo. Si intuisce che ci deve essere ma non la si vede. Come vedremo, ci sono altre cose nell'Universo la cui esistenza è intuita ma non visibile.

Benissimo, ora immaginiamo di essere piatti e di trovarci su una sfera in espansione. Possiamo muoverci sulla sfera



lungo la sua superficie e non trovare mai la “fine” del nostro universo piatto. Il palloncino non è infinitamente grande, tuttavia non ha un confine, un bordo fisico. Così possiamo comprendere che può esistere un Universo finito (non infinito intendo) ma illimitato, in cui si può tornare al punto di partenza dopo un percorso lungo, mooolto lungo in questo caso, sempre in teoria. Vedremo che esistono dei limiti non fisici della nostra esplorazione, detti “orizzonti”. Ma questa è un altro schizzo di cosmologia.

Diventa anche chiaro che per descrivere il nostro Universo occorre pensare all’esistenza di una dimensione in più rispetto a quella dei tre assi  $x,y,z$  che abbiamo imparato a scuola, la cosiddetta **Geometria Euclidea**. In Cosmologia essa viene chiamata anche geometria dell’**Universo Piatto** o a curvatura zero, ma possono esistere geometrie a curvatura positiva come quella su una sfera o un palloncino (**geometria di Riemann**) o a curvatura negativa come su una superficie a sella (**geometria di Lobačevskij**). Ovunque ci sia una curvatura le tre dimensioni spaziali euclidee non bastano.

#### CONCETTO FINALE

---

**Non è necessario che l’universo sia infinito, per non avere limiti. Può essere finito ma illimitato, come una sfera o altre superfici chiuse.**



# Il centro dell'Universo

Nell'antichità si credeva che la Terra fosse al centro dell'Universo perché si vede il Sole, la Luna, i pianeti e le stelle fare un giro più o meno lungo sorgendo e tramontando sul nostro orizzonte. Poi si è capito che il Sole è al centro del Sistema Solare e che le altre stelle orbitano intorno al centro della Via Lattea. Ma se tutti i gruppi di galassie si allontanano da noi, siamo allora di nuovo al centro dell'Universo? Riprendendo l'esempio immaginario della stanza col pavimento in espansione, in una classe ogni studente e la maestra vedranno gli altri nella stanza allontanarsi in tutte le direzioni, lunghezza e larghezza. Ognuno di essi potrebbe credere di essere al centro dell'espansione.

Ma questo è proprio l'effetto dell'espansione dello spazio, in cui gli oggetti sono fissi nel loro volume di spazio e nessuno tra quelli che osservano il fenomeno è al centro. Tornando all'esempio del palloncino (o della sfera) dove i singoli punti disegnati sulla superficie si allontanano tra loro mentre si gonfia, sulla sua superficie a 2 dimensioni non esiste un centro, come non esiste un limite. Centro e limite, in questo esempio si trovano nella quarta dimensione.

Ma l'esempio è solo approssimato. Io posso immaginare una superficie infinita che si espande senza un centro preciso. Posso anche immaginare, come per la sfera, che il nostro

Universo abbia una superficie finita (non infinita) che si espande pur non avendo confini. Perciò anche il Cosmo non ha un centro e ogni punto nello spazio può essere visto come un centro apparente di espansione.



L'allontanamento apparente delle cose intorno a noi ci farebbe pensare di essere al centro di questo fenomeno.



In realtà, se lo spazio intorno a noi si espande, senza un riferimento esterno, è difficile capirlo. (Composizione di G. Galletta)

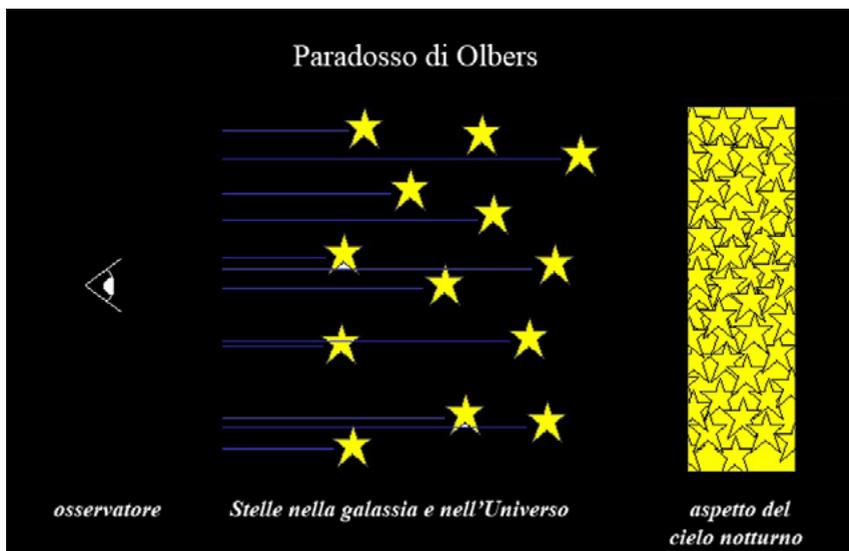
## CONCETTO FINALE

**Né la Terra né il Sole o la Via Lattea sono al centro dell'Universo. Non esiste un centro dell'Universo. Pensando che fossimo al centro del Cosmo, gli antichi saggi avevano torto.**



# Pianeti flambé.

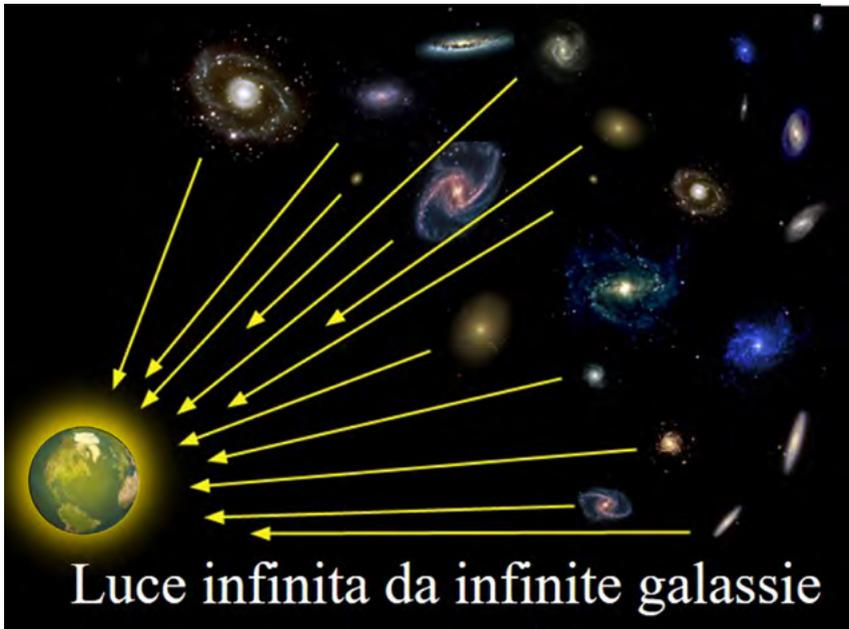
Guardando il cielo di notte sappiamo che stiamo vedendo ad occhio nudo solo qualche centinaio dei miliardi di stelle che popolano la Via Lattea e solo tre delle galassie più vicine: la Grande e la Piccola Nube di Magellano, satelliti della Via Lattea, e la grande galassia di Andromeda. Ma ci sono miliardi di altre stelle più lontane, miliardi e miliardi di altre galassie in ammassi e superammassi. Se potessimo vederle,



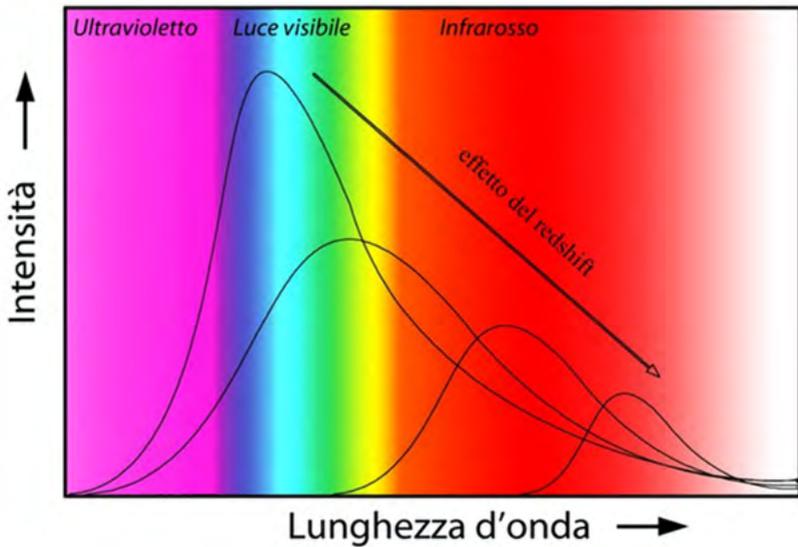
il cielo sarebbe così popolato da riempire ogni angolo della luce di queste galassie. E invece di notte il cielo è buio. Ma perché?

Se la Via Lattea fosse infinita, ci sarebbero infinite stelle e la somma della loro luce e del loro calore sarebbe infinitamente grande. Finiremmo tutti flambé, come un piatto alla fiamma. Anche se le stelle più vicine nascondessero l'infinito numero di quelle più lontane, arriverebbe così tanta luce da abbagliarci. E anche se ci fossero delle nubi di polvere a proteggerci, prima o poi esse si riscalderebbero fino a evaporare, lasciando passare tutta l'energia dallo spazio esterno. Questo dilemma fu enunciato per la prima volta nel '600 da Keplero e ripreso più tardi da Olbers nel 1826. Esso è noto infatti come il Paradosso di Olbers.

Quando si scoprì che le stelle della Via Lattea non sono infinite e che essa ha un limite a qualche migliaio di parsec verso l'esterno, il problema sembrò risolto, ma la scoperta



Se l'Universo fosse statico la luce di un numero enorme di galassie, sebbene ridotta dalla distanza, sarebbe in grado di bruciare la Terra e qualsiasi altra cosa nello spazio.



L'espansione dell'Universo invece sposta la luce che riceviamo dalle galassie verso lunghezze d'onda tanto più rosse e meno energetiche quanto più esse sono lontane. L'effetto globale è una luce del cielo molto fioca.

che le galassie sono altre “vie lattee” in numero enorme ripropose il dilemma: perché il cielo di notte è buio e noi non bruciamo? L’energia trasmessa nello spazio ha un’intensità che diminuisce col quadrato della distanza: a distanza doppia è  $\frac{1}{4}$  (1 diviso  $2 \times 2$ ); a distanza tripla è  $\frac{1}{9}$  e così via. Però il numero di galassie alla stessa distanza può aumentare con il quadrato della distanza (è la superficie di una sfera!). Così il contributo diventa costante (l’intensità decresce ma il numero di sorgenti cresce allo stesso modo) e alla fine si arriva al solito patatrac teorico: con infinite galassie avremmo luce infinita!

Ma l’espansione dell’Universo risolve questo problema. Infatti, come si vede nella figura della pagina precedente, per l’effetto del redshift non solo il picco della luce si sposta verso il rosso ma diminuisce velocemente anche in intensità. In base ai calcoli fatti dai cosmologi misurando la luce delle singole galassie e applicandovi la riduzione per il redshift, alla fine la somma (l’integrale) di tutti questi contributi di energia si traduce in una luminosità di fondo molto bassa. Quindi le galassie più lontane fanno una luce sempre più fioca e sempre più spostata verso il rosso, l’infrarosso e le onde radio. Proprio per studiare con maggiore facilità l’Universo lontano, i nuovi telescopi spaziali Webb della NASA e Euclid dell’ESA hanno strumenti sensibili all’infrarosso e la grande batteria di radiotelescopi ALMA dell’Osservatorio Europeo (e non solo) ha ricevitori che osservano a lunghezze d’onda nella banda delle microonde.

Oltre ad essere figli delle stelle, che hanno generato i nostri elementi chimici, esistiamo perché l’Universo si espande e così facendo diventa sempre più buio e più freddo.

## CONCETTO FINALE

---

**Grazie all’espansione dell’Universo non siamo cotti e stracotti e il cielo di notte è sempre buio.**

# Spazio e tempo grandi amici: Archeologi del Cosmo.



La nostra interazione con il mondo passa attraverso le onde elettromagnetiche, le onde meccaniche e le variazioni della velocità. Esse sono percepite dai nostri sensori biologici: la vista, l'udito, il tatto e i canali semicircolari per l'alto, il basso e l'accelerazione. Nello spazio, a densità di materia bassissima, le onde meccaniche come il suono non si propagano. Getti di materia a 500 km/s come

le eruzioni solari o le esplosioni di supernova che raggiungono i 15000 km/s possono muoversi in un assoluto silenzio. Sono molto più veloci le onde elettromagnetiche (radio, microonde, infrarosso, luce visibile, ultravioletto, raggi X e raggi gamma). Esse sono create dalle variazioni di un campo elettromagnetico e viaggiano nello spazio a una velocità di 299792,458 km/s (circa 300 mila km/s), detta **velocità della**

**luce nel vuoto.** Come vedremo nel prossimo capitolo, sappiamo che anche le onde gravitazionali, create dalle variazioni della forza gravitazionale, viaggiano alla velocità della luce. Riflettiamo innanzitutto come questa velocità, sebbene altissima, non sia infinita e sulle conseguenze di questo fatto.

Se la velocità con cui viaggia una lettera fosse infinita, l'avremmo già sul tavolo nel momento stesso in cui il mittente ce l'ha spedita. Ma sappiamo che non è così. Se scoccasse un fulmine a 1 km di distanza, lo sentiremmo dopo circa 4 secondi, il tempo che ci mette il suo suono a raggiungermi.

Allo stesso modo, se ho davanti a me una persona a 10 metri di distanza che accende una luce, io non vedrò la luce accendersi all'istante, ma dopo 33 miliardesimi di secondo. Un tempo irrilevante, vero? Questo ci spiega perché nella vita di tutti i giorni non ci importi della velocità della luce.

Ma pensiamo agli specchi lasciati sulla Luna, distante 384 mila km, dagli astronauti del programma Apollo negli anni '70. Se lanciamo verso di loro un impulso laser con un telescopio e riceviamo il bagliore riflesso dopo 2,56 secondi, possiamo dire che la Luna si trova in quel momento a 1,28 secondi-luce (2,56 diviso 2) intendendo così la distanza per-

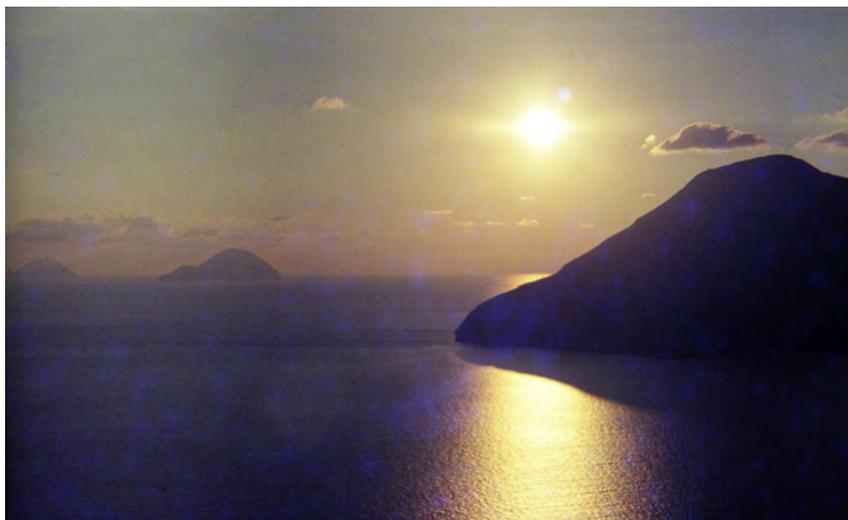


La Luna sui Colli Euganei, a circa 1 secondo luce da noi (Foto: G. Galletta).

corsa dalla luce in 1,28 secondi di tempo. Quindi possiamo parlare di spazio-tempo e assegnare agli oggetti una distanza di tempo-luce: una stella a 3 anni luce sarà a una distanza che la luce percorre in 3 anni, e una galassia a 1 milione di anni luce sarà a una distanza che la luce percorre in un milione di anni.

È importantissimo capire che lo spazio e il tempo sono legati indissolubilmente tra loro, poiché la nostra conoscenza del mondo si basa su radiazioni che si trasmettono alla velocità della luce. Lo spazio non può essere disgiunto dal tempo e immaginato come una cosa a sé stante, perché possiamo dire che ogni contatto che abbiamo con esso dipende dal tempo attraverso la velocità della luce.

Inoltre se vedo un oggetto distante, non lo vedo com'è ora, ma come era quando è partita la luce che mi raggiunge adesso. Quando vediamo tramontare il Sole, a 8 minuti luce, in realtà era già tramontato da 8 minuti. Se avviene un'eruzione sulla sua fotosfera, la vedrò 8 minuti dopo. E la stella più brillante del cielo, Sirio a 8,6 anni luce, la vedo come era 8,6 anni fa. La stella potrebbe avere già espulso i suoi strati superficiali creando una "nebulosa planetaria" e il suo nucleo essere già diventato una stella "nana bianca" ma noi



Il Sole, a 8 minuti luce, tramonta tra le Isole Eolie (Foto: G. Galletta)

continuiamo a vedere la sua luce emessa quando era ancora una gigante bianco-azzurra. E che dire della grande galassia di Andromeda, a 2,5 milioni di anni luce di distanza, o della galassia NGC 1964 grande come la Via Lattea? Le foto che facciamo oggi ce le mostrano com'erano rispettivamente 2,5 e 66 milioni di anni fa. Molte delle sue stelle non esistono più e si sono evolute, ma noi le vediamo ancora com'erano quando la loro luce è partita. Quindi lo studio dell'Astronomia è come l'Archeologia o la Paleontologia, uno studio del passato del nostro Universo.



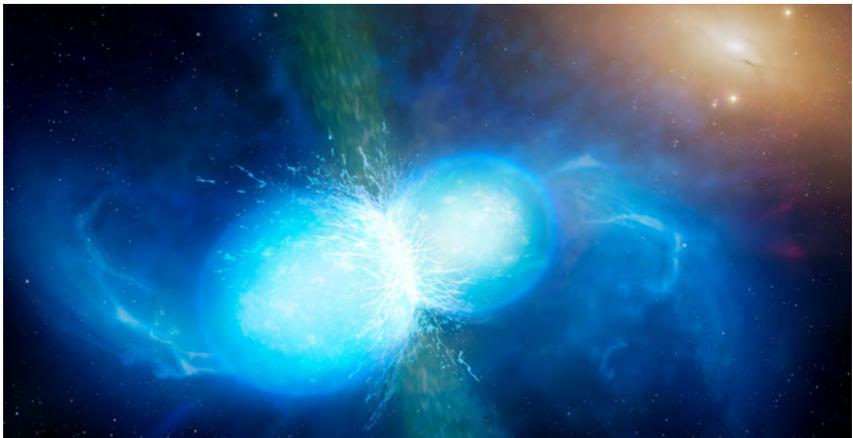
La galassia NGC 1964, a 66 milioni di anni luce, vista tra le stelle della nostra Via Lattea, più vicine a noi. Le zone azzurre più brillanti che vediamo nei bracci di spirale sono fatte da stelle che all'epoca attuale sono già esplose come supernovae e non esistono più. (ESO/Jean-Christophe Lambry).

## CONCETTO FINALE

**Lo spazio e il tempo sono legati tra loro e la nostra visione del mondo è una visione del passato, anche di miliardesimi di secondo. Il “Qui e ora” sono solo nel nostro cervello. Più guardiamo lontano, più vediamo indietro nel tempo. E il futuro? Non è raggiungibile con l'esplorazione.**

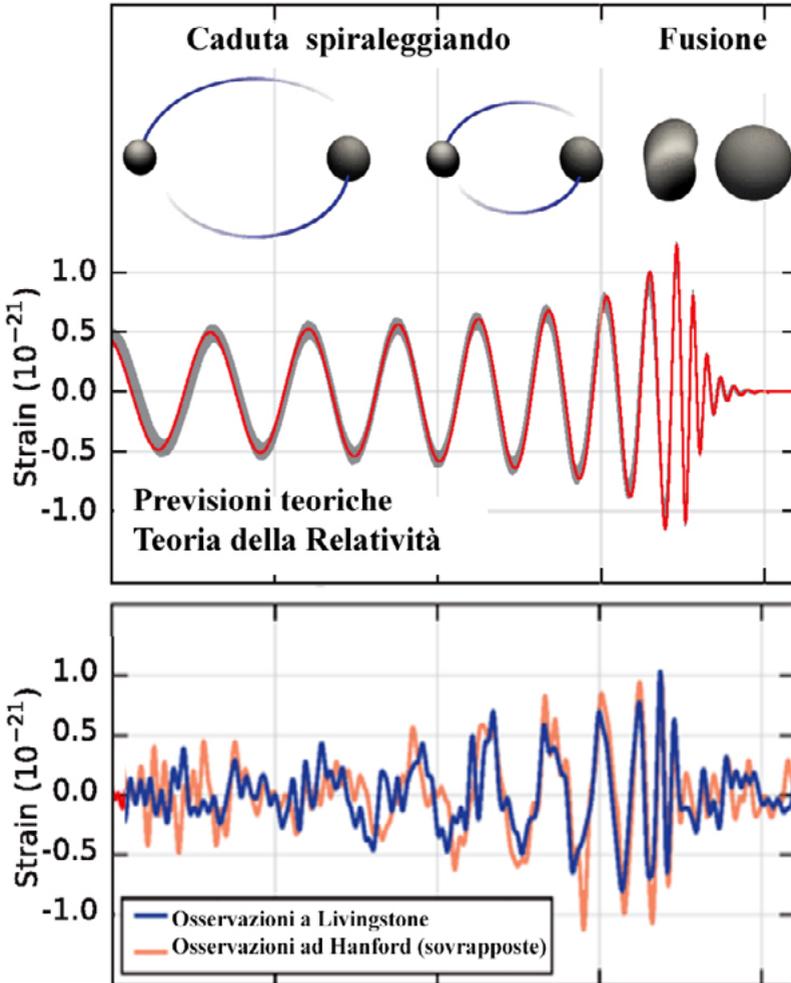
# Urca, si è spostato il Sole!

In base agli studi più recenti anche le onde gravitazionali, create dalle variazioni della forza di gravità, viaggiano alla velocità della luce come le onde elettromagnetiche. Una variazione di forza di gravità col tempo genera onde gravitazionali, rivelabili solo con grandi strumenti costruiti recentemente. Possiamo rivelare queste onde solo in caso di enormi variazioni di gravità; non è che se passa un elefante la sua variazione di massa nello spazio può essere osservata e



Fusione di stelle a neutroni. (Elaborazione di University of Warwick/Mark Garlick)

tanto meno un battito di ali di farfalla dall'altro lato del globo! Devono essere catastrofi come un'esplosione stellare di supernova, o di una massa stellare che cade dentro un buco nero, o due masse stellari super-compatte che si fondono insieme.



Misura delle onde gravitazionali causate dalla fusione di due buchi neri, osservata il 14/9/2015 dai rivelatori LIGO ad Hanford e Livingstone (USA). Elaborazione di G. Galletta da Abbott e al. 2016 (PRL 116, 061102).

In tutti questi casi, la forza di gravità del materiale che si sparge o si condensa varia enormemente e lo spazio-tempo oscilla a frequenze di poche decine di Hertz, ovvero decimi di secondo tra un'oscillazione e la successiva. Per esempio, nel 2015 sono state registrate delle onde gravitazionali dovute a una fusione di due buchi neri di 36 e 29 masse solari in un unico buco nero di 62 masse solari. La differenza di massa tra prima e dopo la fusione si è tramutata in un'onda gravitazionale, di energia pari all'annichilazione di 3 volte la massa del Sole. Dalla distanza di 1,4 miliardi di anni luce (440 Mpc) l'onda si è propagata nello spazio fino a raggiungerci con un segnale ormai debolissimo di quasi 1 microwattora. L'evento di fusione tra buchi neri è avvenuto quindi più di 1 miliardo di anni fa ma è stato registrato solo nel 2015, un altro esempio di come osserviamo il passato dell'Universo. Il calcolo non è preciso ma qui ci serve solo capire le grandezze in gioco, enormi energie per un'onda gravitazionale debolissima captata a grande distanza.

Un altro esempio delle conseguenze del fatto che la velocità della luce non è infinita è il seguente: il Sole ruota intorno al centro della Via Lattea alla velocità di 220 km/s, sotto l'effetto della forza di gravità di tutta la materia che c'è tra noi e il centro galattico (stelle, nubi di gas, ecc.). La Terra nella sua orbita subisce la forza di gravità del Sole che si



sposta velocemente nello spazio. La variazione della forza di gravità causata da questo spostamento si muove anch'essa alla velocità della luce e negli 8 minuti che impiega per raggiungere la Terra il centro del Sole si è spostato di 110 mila km, circa il 15% del suo raggio. L'effetto è maggiore per i pianeti esterni, come Saturno: negli 80 minuti necessari perché la variazione di gravità raggiunga il pianeta, il Sole si sarà spostato di 1 milione di km, circa una volta e mezza il suo raggio. In questo esempio Saturno si muove attratto dalla forza di gravità di un punto nello spazio dove non c'è più materia! Quindi non solo i pianeti vedono la luce del passato del Sole, ma "sentono" anche il passato della sua forza di gravità. Strano essere attratti da un punto vuoto!

In verità ogni punto dello spazio ha una realtà fisica che dipende dai segnali elettromagnetici e gravitazionali del resto del Cosmo. Anche se dal Centro della Galassia il Sole si è spostato, dalla Terra o da Saturno il Sole è fisicamente lì dove appare. Ognuno esiste in un "suo" universo locale.

Proiettiamoci infine sempre più lontano, tra galassie distanti che sono sempre più indietro nel tempo: la loro forza di gravità, sommata insieme, determina il movimento delle singole galassie nei gruppi di galassie e nei raggruppamenti più grandi come gli ammassi, con migliaia di membri, o gli immensi superammassi con milioni di galassie. Ogni galassia sente la forza di gravità "del suo passato" provenire da posizioni dove le altre galassie non ci sono più.

## CONCETTO FINALE

---

**La variazione della forza di gravità si propaga alla velocità della luce e quella che misuriamo oggi per oggetti lontani proviene dal nostro passato. Siamo attratti dal passato!**

# E prima di noi? Capelli biondi e Big Bang

Ci si interroga sempre sulla fine dell'esistenza e su cosa ci sia "dopo", mentre non ci si chiede spesso cosa c'era "prima". In questo caso parliamo del "prima" della nascita dell'Universo. Se vedo le luci dei fuochi d'artificio che si espandono, misurando la loro velocità posso calcolare quanto tempo prima essi erano raggruppati insieme, cioè quando c'è stato lo scoppio. Allo stesso modo, se utilizzo la velocità di allontanamento delle galassie posso calcolare quanto tempo fa tutte erano l'una attaccata all'altra, quindi quanto tempo fa è iniziata l'espansione col Big Bang, quindi quanto è vecchio l'Universo. Vi dico subito che non è facile. Le galassie non sono distribuite nello spazio come i nodi di un reticolo, tutte a uguale distanza. Essendo dominate dalla forza di gravità, hanno il dannato vizio di raggrupparsi in gruppi, ammassi di galassie e superammassi di ammassi di galassie, giusto per rendere la vita più difficile a chi vuole studiare la cosmologia. Infatti le misure si fanno sulla luce delle stelle delle singole galassie e ognuna di esse orbita intorno al centro del suo gruppo o del suo ammasso. Bisogna fare la media delle velocità per dedurre la velocità di allontanamento di quel gruppo, se si vuole studiare l'espansione dell'Universo. Le stime attuali ci dicono che il Big Bang è avvenuto 14 mi-

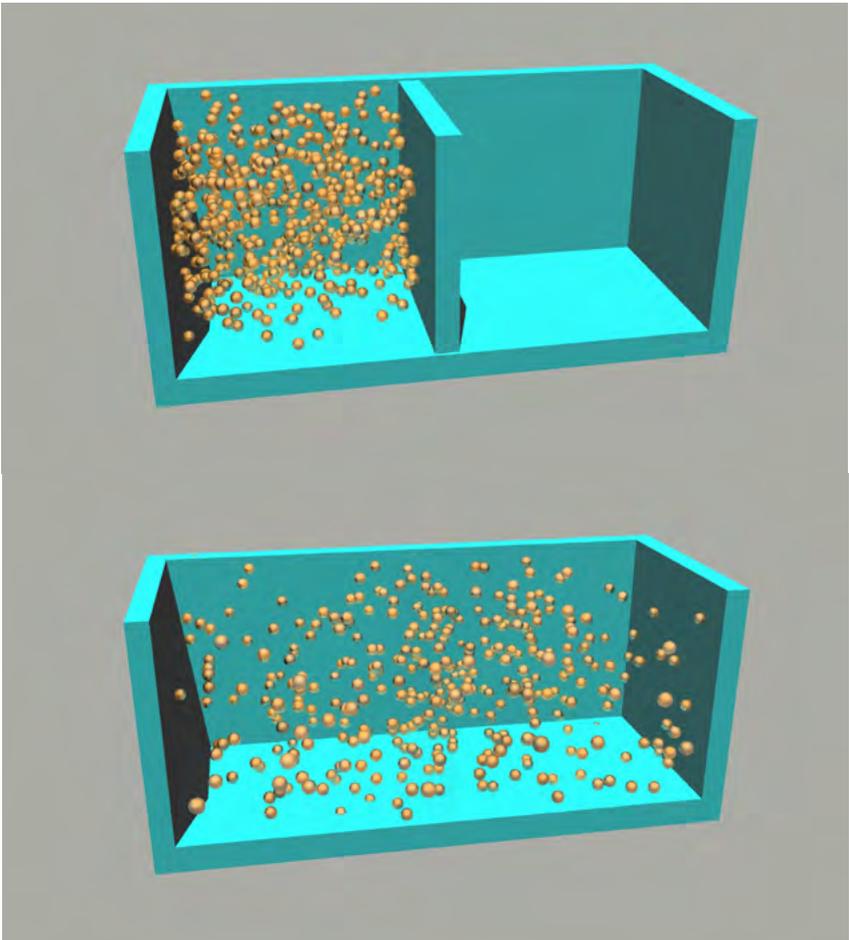
liardi di anni fa (o forse 12 o 15, come capite metodi diversi portano una grande indecisione). In ogni caso un tempo molto grande, se si pensa che la nascita del Sole risale a 4,6 miliardi di anni fa, che le rocce terrestri hanno 4,3 miliardi di anni e che le prime tracce di vita appaiono 3,95 miliardi di anni fa. A questo punto ci si potrebbe chiedere: e prima del Big Bang cosa c'era?

Ma questa domanda è sbagliata e la facciamo perché ci hanno insegnato a scuola che esiste uno spazio a 3 coordinate  $(x,y,z)$  e un tempo che scorre  $(t)$ . Un oggetto si può trovare in un qualsiasi punto dello spazio e in un qualsiasi istante di tempo. Posso immaginare pure una scatola (uno spazio) completamente vuota di materia, niente oggetti, niente aria, nulla di nulla. Nella mia immaginazione dentro la scatola il tempo scorre lo stesso e ci sono tre dimensioni. Ma ecco la sorpresa: lo spazio e il tempo non sono entità a sé stanti, ma una proprietà della materia. **NON ESISTONO** nel mondo fisico se non c'è materia. Gli oggetti fisici hanno un volume, emettono radiazioni, creano una forza di gravità o altri tipi di interazione con la materia di cui siamo fatti. In questo caso possiamo studiarli, misurarli e attribuire loro tre dimensioni nello spazio. Ma in questa scatola (immaginaria) che non contiene nulla non è possibile fare misure di dimensioni. Il tempo poi, relativo a un oggetto nel mondo fisico, è connesso all'idea di "variazione". Una cosa che non varia



non può essere collocata nel tempo. E tanto meno il vuoto, che non ha passato né futuro.

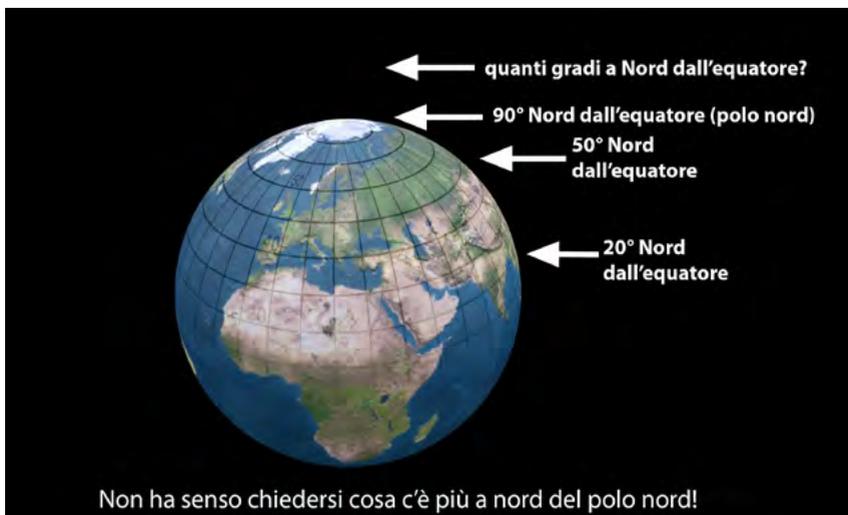
Il tempo si manifesta chiaramente con una precisa direzione nel comportamento dei gas o della radiazione. Per esempio consideriamo le figure di questa pagina: abbiamo due disegni della stessa scatola, mostrata con tetto e parete trasparenti. In quello superiore c'è un gas rappresentato come un insieme di particelle sferiche, confinato nella parte sinistra a causa di un tramezzo. Nel disegno inferiore invece lo stesso gas è sparso per l'intera scatola. Chiunque di voi potrebbe dirmi che il disegno con le particelle in tutta la scatola



la rappresenta un fenomeno successivo nel tempo rispetto all'altro disegno. Anche se esiste una minima possibilità che le particelle rimbalzando avanti e indietro sulle pareti rientrino tutte nella metà a sinistra da sole, sappiamo che la tendenza dei gas è quello espandersi verso l'esterno. La maggior parte delle particelle troverà uno spazio libero e si allontanerà dalle altre. In questo esperimento immaginario, la variazione di posizione delle particelle nella scatola determina lo scorrere del tempo. Un esperimento ideale simile si può immaginare con la luce di una sorgente di radiazione, per esempio una stella. La sua luce si diffonde nello spazio e l'allontanamento dei fotoni o delle onde elettromagnetiche mi indica che il tempo scorre.

Attenzione però: lo spazio cosmico tra le stelle e tra le galassie o i superammassi non è totalmente vuoto, come nella nostra ipotetica scatola. Anche se a bassissima densità, l'esistenza di materia e di radiazione **crea** attorno a sé lo spazio e il tempo e lo deforma rispetto allo spazio e al tempo della geometria Euclidea, che abbiamo studiato a scuola.

Torniamo dunque alla domanda iniziale: prima del Big Bang cosa c'era? Ma se lo spazio e il tempo sono proprietà della materia, come il "biondo" o il "nero" sono una proprietà dei capelli, o il sud e il nord sono proprietà della latitudine, come



potrei dire che un calvo è biondo o bruno? E cosa c'è più a nord del polo nord? La domanda perde di significato e ci fa comprendere il limite del ragionamento comune. Come vedremo, nel Big Bang c'è una grande concentrazione di energia, ma non c'è materia, né spazio né tempo. Lo spazio e il tempo, ma anche la forza gravitazionale, elettromagnetica e altre forze nascono dopo, con la nascita della materia.

#### CONCETTO FINALE

---

**Lo spazio e il tempo nascono dopo il Big Bang. Non ha senso chiedersi cosa c'era “prima”.**



# Orizzonti lontani

Anche se l'Universo può essere senza limiti, esistono dei limiti teorici e fisici alla sua presenza nel nostro mondo. Vengono chiamati "orizzonti", perché al di là di quella distanza non ci arriva nessuna radiazione o informazione trasportata dalle onde elettromagnetiche.

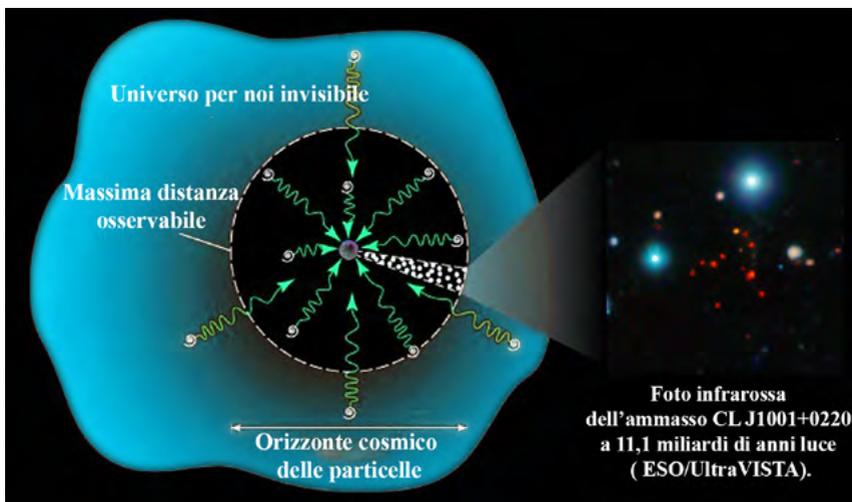
Un primo orizzonte "temporale" deriva dal fatto che, poiché guardando più lontano guardiamo indietro nel tempo, se l'Universo è nato 14 miliardi di anni fa non potremmo vedere galassie più distanti di 14 miliardi di anni luce, semplicemente perché l'universo non c'era "prima". Sappiamo che di fatto non esisteva né il tempo, né lo spazio perché non c'era la materia prima del Big Bang. Questo è un orizzonte che non dipende dal fatto che l'Universo si espande. Col passare del tempo però questo orizzonte si allarga e nuove galassie entrano nella nostra visuale, venendo a far parte del nostro Cosmo.

Un secondo orizzonte deriva dal fatto che vediamo le galassie allontanarsi con una velocità proporzionale alla loro distanza da noi. Perciò da galassie sempre più lontane riceviamo una luce a lunghezze d'onda sempre maggiori, dall'ottico verso le onde radio e oltre, e sempre più fioca. In teoria - e vedremo dopo perché non è così - i fotoni luminosi (o i pacchetti di onde elettromagnetiche) di una galassia

che dovesse muoversi alla velocità della luce non ci arriverebbero mai.

Questi due orizzonti in realtà sono più lontani rispetto a questo semplice calcolo, perché è vero che la velocità della luce nel vuoto è costante e non si somma o si sottrae alla velocità della sorgente rispetto a chi la osserva, ma **solo nello spazio-tempo locale**. Poiché lo spazio-tempo si espande, la luce percorre a velocità costante uno spazio “elastico” (**spazio co-movente**) che si dilata man mano che la radiazione si diffonde. Perciò in pratica noi potremmo ricevere la luce di sorgenti che appaiono muoversi a velocità maggiori a quelle della luce.

Quanto più lontano sia l’orizzonte cosmico rispetto a questi semplici ragionamenti dipende dal modello geometrico dell’Universo, un aspetto che qui non affrontiamo. In genere si parla di **orizzonte delle particelle** intendendo la massima distanza da cui possiamo ricevere radiazione elettromagnetica dalla nascita dell’Universo. In alcuni modelli esiste un **orizzonte degli eventi** dalle cui galassie la luce non ci arriverà mai. Per avere un’idea della differenza dovuta all’espansione dello spazio-tempo, in alcuni modelli cosmologici l’orizzonte delle particelle può essere di 46.5 miliardi di anni luce anziché 14 miliardi. Quello che possiamo comprendere però è che la forza di gravità e le onde elettromagnetiche



delle galassie più lontane dell'attuale orizzonte delle particelle non possono raggiungerci. Perciò queste galassie non esistono per noi nel mondo fisico. Esse esistono però per le galassie a loro vicine ma noi non esistiamo per loro! È come se le galassie che vediamo e quelle al di là dell'orizzonte vivessero in universi diversi.

#### CONCETTO FINALE

---

**La realtà è ciò che possiamo captare con le onde elettromagnetiche e gravitazionali. A causa dell'età del Cosmo e della sua espansione possono esistere galassie, stelle e pianeti che non esistono nella nostra realtà fisica. Esse sono al di là dell'orizzonte cosmico.**



# Universi simili?

Facciamo una parentesi quasi filosofica. Parlando degli orizzonti cosmologici abbiamo affrontato un problema che tocca l'idea stessa del nostro Cosmo. Anche negli Schizzi 7 e 8 abbiamo visto che possiamo vedere gli oggetti e sentire la loro forza di gravità solo quando la loro azione, che viaggia alla velocità della luce, ci raggiunge. Può sembrare assurdo pensare che l'orbita dei pianeti più esterni intorno al Sole sia riferita a un punto nello spazio dove il Sole non c'è più, essendosi spostato lungo la sua orbita intorno al Centro della Via Lattea. Ma ciò che per me sulla Terra è reale, come la posizione dei pianeti, per un osservatore su Plutone non è ciò che osserva. Alcuni poeti del '900 hanno dedicato poesie a stelle come Sirio, la più brillante del nostro cielo, Altair, Antares o Betelgeuse. Essendo tutte stelle giovani o già evolute queste stelle probabilmente sono già morte, anche se per noi la loro presenza è reale. Nel senso comune, la realtà è tutto ciò che esiste intorno a noi. Esistere fisicamente vuol dire emettere o riflettere luce o altra radiazione o attrarre gravitazionalmente. Il resto non c'è, o non fa parte del nostro mondo.

Questo tipo di ragionamenti può facilmente prendere il volo immaginando dimensioni parallele, esseri viventi non in contatto col mondo fisico, ecc. Ma questa non è Astronomia

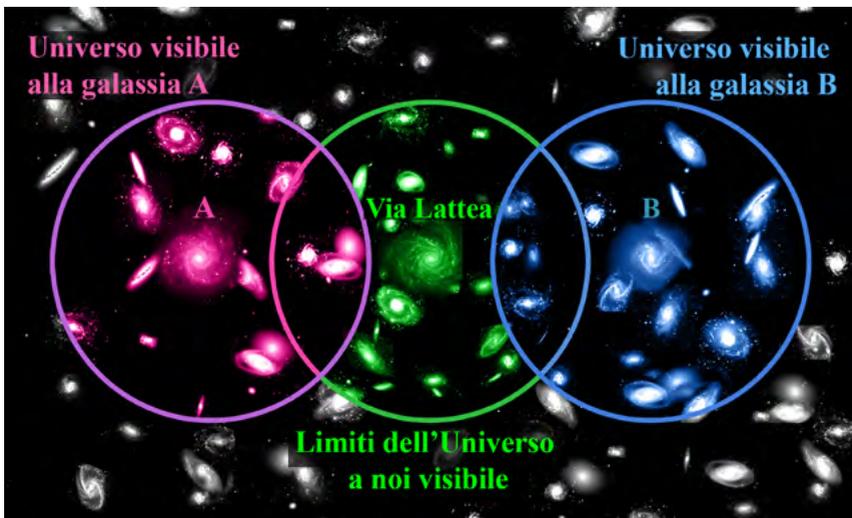
o Fisica o Scienza. Nella Scienza si osserva un fenomeno, si fanno delle ipotesi e si progettano esperimenti per confermare o smentire quell'ipotesi ed eventualmente farne di nuove. Le parole della Fisica hanno delle definizioni precise: forza, energia, magnetismo, e altri. Esse possono essere attribuiti ai fenomeni solo se rientrano in queste definizioni; è un gioco che ha delle regole. A volte degli amici e delle amiche mi intrattengono piacevolmente sul loro modo di vedere il mondo, con forze invisibili, dimensioni nascoste, energie psichiche. Trovo queste cose molto belle e suggestive, ma non sono fisiche. È come se alcune persone decidessero di giocare a calcio e a un certo punto un paio di loro prendesse la palla tra le mani e corresse a metterla in porta come nel rugby. Funziona, ma non è calcio. Così l'energia dell'Universo può scorrere quanto vuole nelle menti e nel corpo di chi ci crede, ma non è l'energia della Fisica. Si tratta di un gioco diverso.

Chi vorrà provare quel brivido che prende chi attraversa la linea borderline ai limiti tra Cosmologia e Filosofia, troverà in libreria diversi testi interessanti. Ma qui, nei piccoli spunti di riflessione del libro, tra le tante argomentazioni strane ma vere della Cosmologia scegliamo quella degli orizzonti che definiscono cos'è il Cosmo. Tutto ciò che è nel mio orizzonte delle particelle esiste, può essere osservato oggi o in futuro e ha influenza sul mio mondo. Le galassie lontane possono essere considerate un sistema di riferimento "stabile" per misurare i movimenti locali, dalle orbite dei pianeti al piano del pendolo o del giroscopio che sono orientati sempre nella stessa direzione anche se la Terra ruota o se io mi sposto nello spazio. Le galassie o la materia che si trovano al di là dell'orizzonte cosmico non hanno nessuna interazione fisica (radiazione o gravità) sulle galassie del mio Universo. E posso chiedermi se nel loro mondo le leggi fisiche sono le stesse che misuriamo sulla Terra e nello spazio. La questione non è di poco conto: l'esistenza della materia e della vita stessa è legata a proprietà delle molecole, degli atomi e delle particelle elementari che si basano su costanti fisiche molto importanti: la costante di Newton per la forza di gravità, la carica dell'elettrone, la costante di Planck per l'energia mi-

nima della radiazione, la costante della velocità della luce nel vuoto, e altre ancora. Basterebbe che solo una di queste costanti cambi il suo valore perché l'impalcatura stessa del mondo cada. La forza di gravità potrebbe non tenere più in equilibrio le galassie, le molecole potrebbero non sostenere più i legami elettronici e via dicendo. Sto facendo ipotesi estreme, ma serve a capire che tutto ha raggiunto un equilibrio.

Guardiamo allora la figura in cui è disegnata in centro e in verde una galassia che rappresenta la Via Lattea, circondata da un cerchio che rappresenta il nostro orizzonte cosmico. Le galassie che esistono per noi nel disegno hanno un colore verde oppure sono incluse nel cerchio verde. Tutte le galassie fuori dal cerchio non esistono e qualunque sia la loro natura o forma non hanno nessuna influenza sul nostro mondo.

Ora prendiamo in considerazione una galassia A disegnata in viola, con intorno il suo cerchio di orizzonte cosmologico che include galassie disegnate in viola, e dall'altro lato una galassia B disegnata in blu col suo orizzonte e le galassie del suo universo in blu. Le galassie dell'universo di A non esistono nell'Universo di B e viceversa. Li chiameremo per brevità Universi viola e blu. Ma ora prendiamo in considera-



zione quelle galassie, lontanissime da noi ma entro il nostro orizzonte, nelle intersezioni tra il cerchio verde e quello viola o quello blu. Se l'Universo viola avesse delle proprietà diverse da quello blu, le galassie nelle due intersezioni sarebbero diverse. Invece noi ci accorgiamo che tutte le galassie che osserviamo mostrano nella loro luce analizzata con gli spettrografi le stesse righe degli elementi chimici che troviamo sulla Terra, le stesse proprietà di temperatura di corpo nero e tante altre cose. Perciò posso pensare che le leggi fisiche che esistono laggiù siano le stesse. In altre parole, nell'Universo viola e nell'Universo blu ci sono le stesse nostre leggi della Fisica, gli stessi valori delle costanti fisiche e gli stessi fenomeni. E come possiamo spiegarci questa cosa, senza tirare in ballo entità sovranaturali esterne agli universi? L'ipotesi che viene fatta è che al Big Bang tutto era in contatto e alla nascita della materia e delle forze fisiche sia stata imboccata una sola strada, con uguali leggi e costanti. A questa partenza è seguita una fase di velocissima espansione, detta fase di inflazione, dall'inglese *inflate*, gonfiare. Solo dopo l'Universo avrebbe rallentato e le diverse parti dello spazio, per esempio quelle della galassia A e della galassia B non sarebbero venute più in contatto tra loro separando i rispettivi universi. L'epoca di inflazione spiegherebbe anche la regolarità della radiazione di fondo, di cui parleremo nel prossimo schizzo.

Cito solo una curiosità: poiché tutti i valori delle costanti fisiche hanno permesso di creare la Terra, la vita e gli esseri umani, l'Universo sembra fatto a nostra misura (**Principio Antropico**). Questo è stato criticato da molti ricercatori o rafforzato da altre teorie, che rispondono a questa ipotesi dicendo che questo è l'unico Universo in cui possiamo farci questa domanda e che forse esistono altri universi senza pianeti né vita o intelligenza (teorie dei multiversi). Ma discutere qui di questa ipotesi ci porterebbe molto lontano rispetto a un libro di piccoli spunti di riflessione. Però spero di aver stimolato la vostra curiosità per cercare altrove.

Anche se ci possono essere galassie al di là dell'orizzonte cosmico, possiamo dedurre nelle zone di intersezione del nostro orizzonte che le leggi fisiche siano le stesse in tutte le parti nate dal Big Bang. Per spiegare questo, occorre ipotizzare un periodo di espansione velocissima, detta inflazione.



# Si sente ancora l'eco

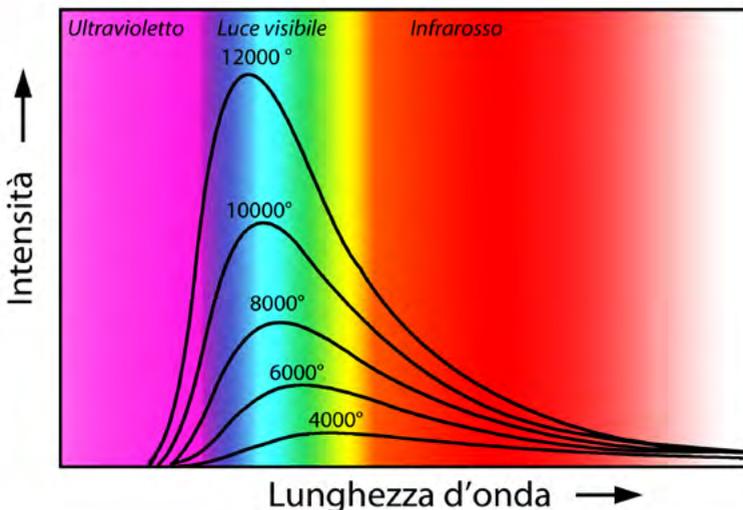
Quanto freddo è lo spazio? Quando un oggetto è immerso in un fluido, come l'aria o l'acqua, la sua temperatura viene determinata dallo scambio di energia con l'ambiente tramite gli urti delle particelle. Nell'aria calda, le molecole si muovono più velocemente che nell'aria fredda e i loro urti sono molto frequenti. Nel vuoto o nel gas rarefatto gli urti sono così rari che il nostro termometro, che reagisce agli urti delle particelle in cui è immerso, non misurerebbe nulla. Nei gas rarefatti si misura la velocità media delle particelle, detta **temperatura cinetica**.

Se possiamo immaginare un gas sempre più freddo, immaginiamo anche che le sue particelle si muovano sempre più lentamente. E quando le particelle sono veramente ferme? In questo stato ideale la temperatura cinetica è detta dello zero assoluto, 0 K nella scala Kelvin di temperature. Questa temperatura corrisponde a  $-273,15$  °C. È ovvio che le particelle non possono essere più lente di quando sono ferme e si capisce che questa è la temperatura minima che può esistere nell'Universo. Non possono esserci temperature inferiori allo zero assoluto!

Ma esiste un'altra misura di temperatura. Quando gli atomi, le molecole e le altre particelle passano da uno stato di energia maggiore ad uno di energia minore emettono un fotone

di energia pari a questo salto energetico. Gli atomi di un gas possono avere scambi di elettroni, detti **ionizzazione** quando l'elettrone viene perso e **ricombinazione** quando viene catturato dal nucleo atomico. Un gas in equilibrio con continue ionizzazioni e ricombinazioni emette energia a tutte le frequenze, con un picco che corrisponde alla temperatura del gas. In questo caso la temperatura si chiama **Temperatura di corpo nero**, perché un oggetto ideale in questo stato apparirebbe nero a temperatura ambiente, emettendo nelle lunghezze d'onda infrarosse. Il nostro corpo emette radiazione infrarossa ed è infatti visibile ad una telecamera a infrarossi. Nonostante l'aggettivo "nero", le stelle emettono energia seguendo la **Legge di corpo nero** o **Legge di Planck**, con temperature da 1000 a 50 mila gradi, come mostrato nella figura qui sotto.

Sembrerebbe che lo spazio lontano dalle stelle o tra le galassie debba essere a 0 K, ma quando si provò a misurare la temperatura dello spazio interstellare attraverso l'assorbimento della luce delle stelle, nel 1941 l'astronomo Mc Kellar trovò un valore di 2,3 K. Nel 1948 il fisico teorico Gamov stimò che il Big Bang avrebbe dovuto lasciare una traccia nella temperatura dello spazio e nel corso degli anni fisici



teorici come Dicke, Peebles e altri cercarono di calcolarla. Nel 1965 entrarono in scena Penzias e Wilson, due fisici dei Laboratori Bell che lavoravano sulle trasmissioni a microonde. I due usavano una grande antenna orientabile a forma di cornetto acustico e cercando di calibrarla erano infastiditi da un rumore di fondo di cui non si capiva la provenienza, che non mutava con le ore del giorno né con le stagioni e perciò non poteva provenire né dal Sole né dalla Via Lattea. Wilson parlò di questo problema al suo amico Burke, fisico di Princeton. Ma in quel periodo a Princeton Dicke e Peebles cercavano di progettare uno strumento per misurare la radiazione residua del Big Bang. Avvertiti da Burke, essi capirono subito che quello che stavano cercando era stato appena scoperto. Quel fastidioso rumore radio di fondo era come l'eco della grande esplosione all'origine dell'Universo. Per questa scoperta Penzias e Wilson ottennero il premio Nobel nel 1978.

Questa radiazione si è generata 379 mila anni dopo il Big Bang, nell'epoca in cui l'Universo aveva una temperatura di

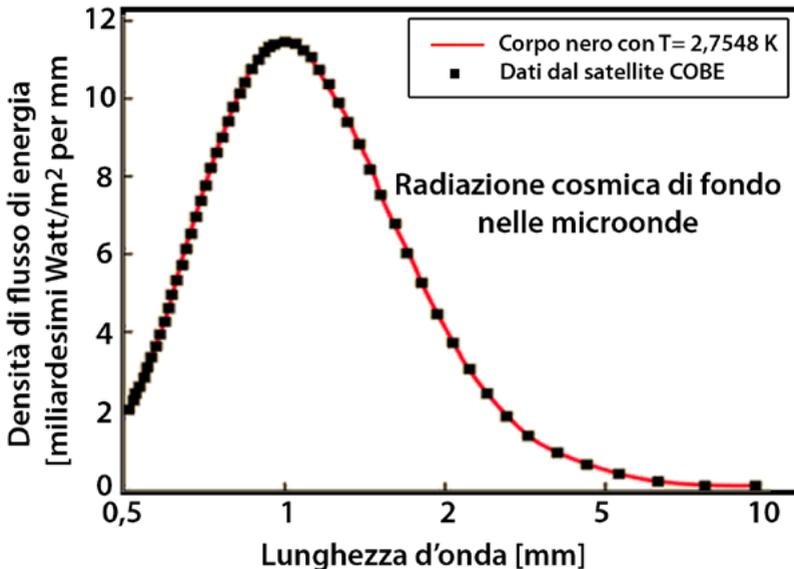


Penzias e Wilson con l'antenna a microonde nel 1986. (Foto Nokia Bell Laboratory)

circa 2700 °C e gli elettroni venivano catturati dai protoni (nel processo di ricombinazione) creando atomi di idrogeno. L'energia perduta da questo processo veniva emessa in tutte le direzioni, irradiando questa radiazione di fondo, che segue perfettamente una curva di corpo nero, come si vede nella figura in questa pagina. Dopo 14 miliardi di anni l'espansione dell'Universo l'ha fatta raffreddare fino alla temperatura di 2,73 K (-270,42 °C), E in futuro la temperatura cosmica sarà destinata a diminuire.

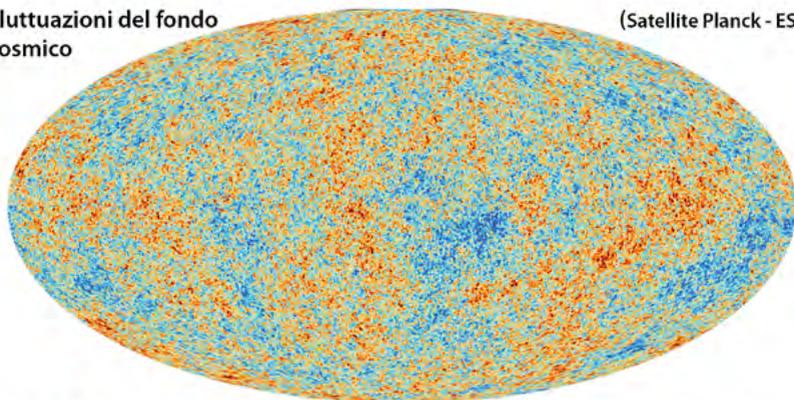
Nessun oggetto nello spazio può avere una temperatura più bassa di 2,73 K, minore di quella attuale dell'Universo. Le nubi di polvere oscura nella Via Lattea hanno una temperatura di 25 K (-248 °C), e quelle di idrogeno atomico di 100 K (-173 °C). La fotosfera delle stelle, la parte visibile, ha una temperatura da 1000 a decine di migliaia di gradi.

All'epoca della ricombinazione, quando dai singoli protoni ed elettroni è nato l'idrogeno, il Cosmo era grande 5 anni luce, poco più della distanza tra il Sole e la stella più vicina. La sua temperatura era simile a quella delle stelle e proveniva da fasi ancora più calde e più dense.



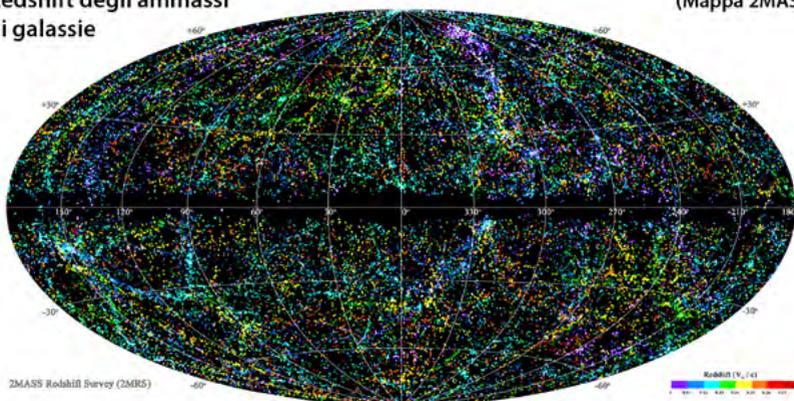
Fluttuazioni del fondo  
cosmico

(Satellite Planck - ESA)



Redshift degli ammassi  
di galassie

(Mappa 2MASS)



Il cielo visibile

Satellite GAIA- ESA)



Ma bisogna riflettere su un fatto: la sfera calda del Cosmo in rapida espansione avrebbe potuto essere uniforme e di conseguenza tutti gli agglomerati di atomi nati in quell'epoca non avrebbero formato strutture grandi come le galassie e gli ammassi. Un universo uniforme di puro idrogeno non avrebbe stelle e pianeti e noi non saremmo qui a parlarne semplicemente perché la Terra e la vita non sarebbero mai nate. Ma le fluttuazioni casuali previste dalla fisica quantistica hanno creato zone più dense e meno dense, che sono visibili come fluttuazioni di energia da un punto all'altro del cielo. La mappa del cielo fatta con il satellite Planck e ripulita dalle emissioni della Via Lattea (in alto nella nella figura della pagina precedente) mostra che queste variazioni in quell'epoca erano minime, inferiori a 1 centomillesimo. Nelle epoche successive la materia nelle zone più dense ha iniziato a raggrupparsi sotto l'effetto della gravità e a formare le enormi strutture da cui sarebbero nati i superammassi, (parte centrale della figura). La Via Lattea e le altre galassie sono il risultato dell'aggregarsi di nubi fredde di idrogeno che hanno formato stelle.

Senza queste oscillazioni quantistiche di energia dopo il Big Bang, completamente casuali, le strutture del Cosmo non sarebbero mai nate.

## CONCETTO FINALE

---

**Insieme all'espansione della galassie, il fondo cosmico a microonde è una prova del Big Bang. Testimonia l'epoca in cui le particelle subatomiche si combinavano e creavano l'idrogeno, l'elemento più abbondante dell'Universo. Tutte le strutture cosmiche sono nate da fluttuazioni quantistiche di densità, testimoniate dalle piccolissime variazioni del fondo a microonde. Il mondo è figlio di fluttuazioni casuali, e noi siamo figli del caso!**

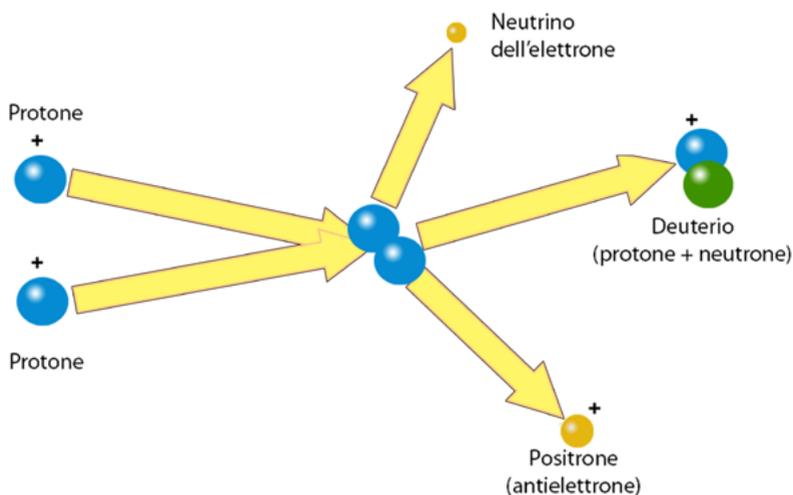
# Creare la materia

Conoscendo l'età dell'Universo dal Big Bang, se calcoliamo quanto dovesse essere caldo 14 miliardi di anni fa, ecco che appare una temperatura enorme:  $10^{28}$  K, ovvero 10 miliardi di miliardi di miliardi di gradi! Cosa succede a quella temperatura, o sarebbe meglio dire all'energia corrispondente a questo valore?

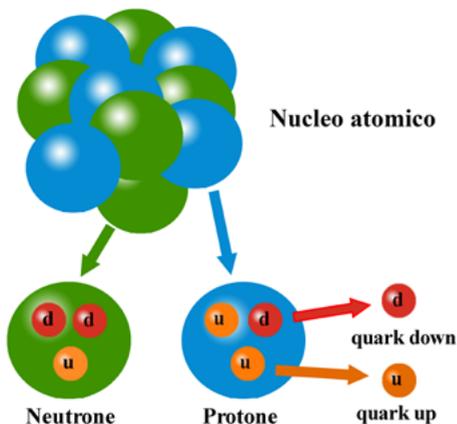
Nel Cosmo massa ed energia sono equivalenti e in circostanze eccezionali possono scambiarsi tra loro. Non è che una pietra d'improvviso possa dissolversi in luce, né che un raggio luminoso possa diventare solido. Ma Einstein ha trovato una relazione tra la massa e l'energia,  $E=mc^2$  che si manifesta nelle transizioni delle particelle subatomiche e nell'annichilazione, l'interazione tra materia e antimateria che si convertono completamente in energia..

L'annichilazione è la massima produzione di energia dalla materia che si conosca. Ogni chilo di materia si trasforma in 25000 GWh di energia, in grado di fornire energia per un mese a una nazione. Avendo a che fare con masse molto piccole, in Fisica atomica si usa come unità l'elettronvolt (eV), l'energia acquistata da un elettrone quando è accelerato dalla differenza di potenziale di un volt, e il suo multiplo MeV. In questa scala, la massa di un elettrone corrisponde a 0,51 MeV, mentre un chilogrammo di materia a  $5,6 \cdot 10^{29}$  MeV.

Diventa così possibile per le particelle elementari parlare della loro massa in termini di energia, quella stessa energia che possono rilasciare nell'annichilazione con l'antimateria o, per altro verso, necessaria per creare la particella stessa. Le particelle di antimateria sono come quelle di cui siamo fatti (protone, neutrone, elettrone) ma hanno proprietà opposte: l'antielettrone o positrone ha la stessa massa dell'elettrone ma carica positiva anziché negativa. L'antiprotone ha la massa del protone ma carica negativa, mentre l'antineutrone ha proprietà simmetriche al neutrone. Dove nasce l'antimateria? Per esempio, quando l'isotopo radioattivo  $^{18}\text{F}$  del fluoro, con un neutrone in meno rispetto al fluoro stabile ( $^{19}\text{F}$ ), diventa  $^{18}\text{O}$ , un isotopo stabile dell'ossigeno. In questa reazione un protone del nucleo si trasforma spontaneamente in un neutrone ed emette un positrone che si porta via la carica positiva. Anche al centro delle stelle, a temperature superiori a 10 milioni di gradi, due protoni che si scontrano (due nuclei di idrogeno) producono deuterio perché uno dei protoni si trasforma in un neutrone, ed emettono un positro-



La creazione di un positrone (o elettrone positivo), la particella di antimateria opposta all'elettrone. Il processo è la fusione di due nuclei di idrogeno (protoni) che formano deuterio, creando un positrone e un neutrino dell'elettrone.



ne. Ma nel gas della stella ci sono altri elettroni liberi e se un positrone incontra un elettrone, avviene un'annichilazione e le loro masse si trasformano completamente in energia. L'energia emessa, almeno 1 MeV in base alle loro velocità reciproche, crea due raggi gamma ( $\gamma$ ) con energia pari alla materia

persa. In maniera banale, possiamo pensare alla materia come fatta da energia concentrata, se questo ci permette di capire meglio le trasformazioni di cui parliamo.

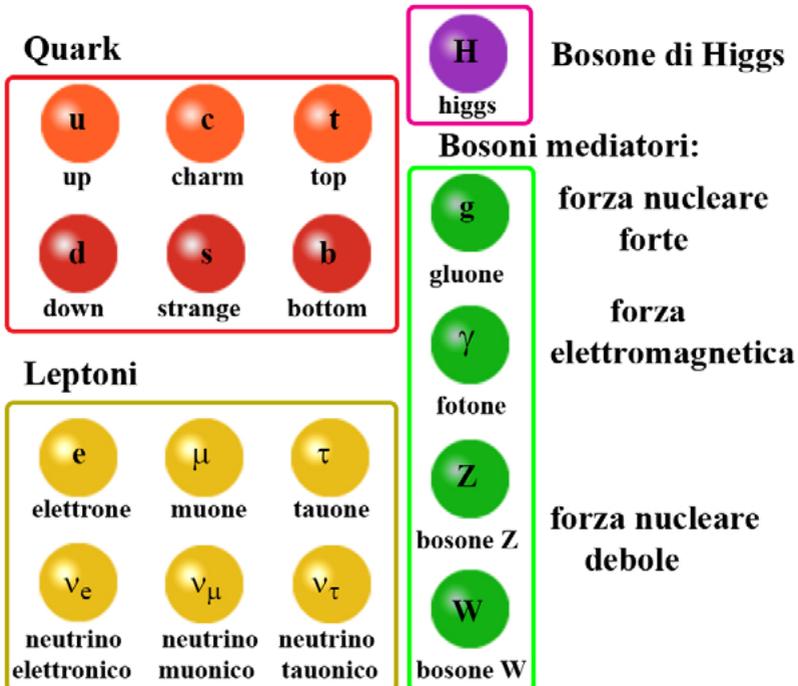
Ma se la materia può trasformarsi in energia, è vero anche l'inverso? Ebbene sì, se l'energia della radiazione (raggi  $\gamma$ ) è più alta della massa equivalente di due particelle, avviene una **creazione di coppie**: due particelle simmetriche di materia e antimateria nascono nello spazio. Per energie di 1,022 MeV si può creare la coppia elettrone-positrone, mentre a 1900 MeV possono nascere protone-antiprotone, e così via per particelle più pesanti. Queste energie possono essere raggiunte solo nei più grandi acceleratori di particelle oppure nel core delle stelle più calde.

I fisici hanno scoperto una varietà di particelle che costituiscono la materia. Se la parola atomo significava in greco "non divisibile", ci si è resi conto che l'atomo è composto da più particelle, i protoni e i neutroni nel nucleo e gli elettroni, 1836 volte meno massicci, intorno ad esso. Una volta noto che l'atomo non è indivisibile nei decadimenti radioattivi e negli acceleratori di particelle, ci si può chiedere se anche i protoni, i neutroni e le loro antiparticelle siano composte da particelle più piccole. Ebbene sì, ciascuna di esse è fatta da tre **quark**, come mostrato nello schema della figura qui sopra. I quark non possono essere individuati da soli in natura e quelli noti sono stati denominati **up**, **down**, **strange**,

**charm, bottom e top.** Non è questo il posto in cui spiegare in dettaglio le loro proprietà, ma ci basta illustrare il variegato zoo di particelle note. Oltre ai 6 quark e all'elettrone, ci sono particelle che appaiono nelle reazioni nucleari, come il **neutrino** (in tre tipi), il **muone** e il **taune**.

La luce, una variazione del campo elettromagnetico, può essere rappresentata da una particella ideale detta  **fotone** che viene scambiata tra due atomi. Lo stesso si può ipotizzare per le interazioni delle altre tre forze della natura: il **campo gravitazionale**, che descrive la forza di gravità, la **forza nucleare debole** tra particelle, il **campo elettromagnetico** e la **forza nucleare forte** che tiene assieme il nucleo atomico. Nella teoria della Fisica delle particelle detta **Modello Standard**, ogni interazione tra particelle può es-

### Schema semplificato del Modello Standard delle particelle elementari.



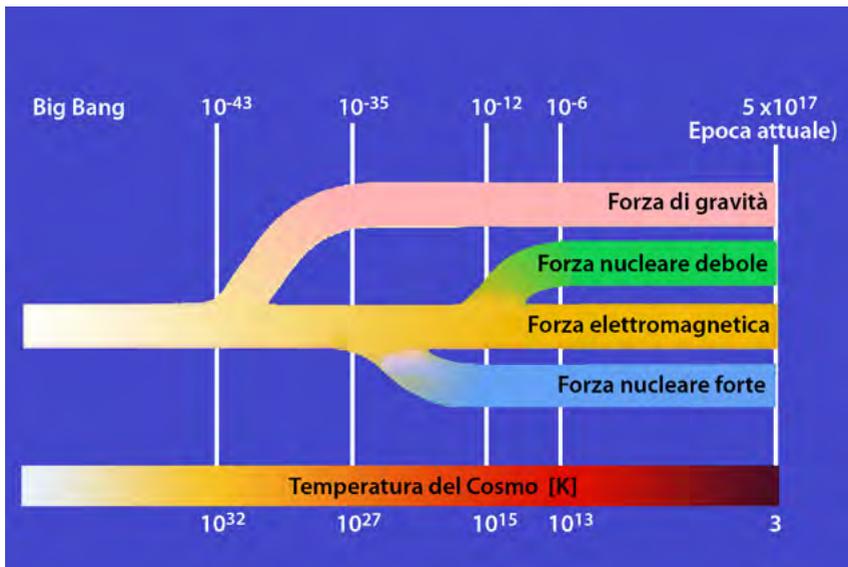
sere descritta come lo scambio di particelle dette mediatori delle forze o **bosoni**. Il fotone trasmette l'interazione elettromagnetica, i bosoni W e Z appaiono nelle interazioni atomiche della **forza nucleare debole** e i gluoni nella **forza nucleare forte**. In parole semplici, quando viene persa energia, si materializzano queste particelle che hanno una vita breve perché si trasformano o vengono assorbite dagli atomi sotto forma di energia. Il **bosone di Higgs** invece è collegato al campo di Higgs che dovrebbe estendersi a tutto lo spazio vuoto dell'Universo, permettendo a tutte le particelle di avere massa.

Il mondo delle particelle è anche più complesso, ma non andremo oltre perché ci interessa solo approfondire il tema della nascita della materia dopo il Big Bang . Ricordo solo che il protone e il neutrone fanno parte della famiglia delle particelle dette **barioni** (di cui siamo fatti) composti da tre quark. Questa famiglia include più di 50 tipi di particelle note, e una dozzina di ipotetiche. In aggiunta esiste la famiglia dei **mesoni**, fatti da due quark con più di 30 tipi di particelle. La gran parte di queste particelle sono instabili e vivono meno di un miliardesimo di secondo prima di decadere in particelle elementari.

A questo punto, dopo aver dato un'occhiata alle particelle elementari, che compongono tutta la materia, possiamo chiederci quando e come sono nate. Abbiamo detto che quando l'energia nello spazio è sufficientemente grande si può creare materia. Quando può accadere questo? Per esempio quando la radiazione elettromagnetica ha un'energia superiore alla massa di una coppia di particelle. Nel caso dell'elettrone e del positrone ( $e^-$  ed  $e^+$ ) si tratta di raggi gamma con energia maggiore di 1.022 MeV, Tutte le volte che ciò avviene si crea sempre una coppia particella-antiparticella. La **creazione di coppie** è il processo opposto all'annichilazione. Essa avviene anche in alta atmosfera quando un fotone  $\gamma$  proveniente da processi di alta energia nello spazio entra in atmosfera e crea una coppia  $e^- - e^+$ . Il positrone si annichila con un elettrone atmosferico e crea un altro raggio gamma che decade a cascata in creazioni di coppie e

annichilazioni finché l'energia finale non va sotto la soglia di 1.022 MeV. A quel punto la creazione di coppie dalla radiazione si ferma.

Torniamo alla storia del Cosmo. Immediatamente dopo il Big Bang, l'energia è così alta che non esiste nessuna particella o forza. In un tempo infinitesimo,  $10^{-43}$  secondi e a una temperatura di  $10^{32}$  K inizia la materializzazione delle particelle elementari e si crea la forza di gravità dovuta alla materia. La forza nucleare appare subito dopo, e man mano che l'Universo si espande e la temperatura scende, a un millesimo di miliardesimo di secondo ( $10^{-12}$  s) appare la forza nucleare debole e la forza elettromagnetica. Come mostrato in figura, dopo un milionesimo di secondo, a temperatura di 10 mila miliardi di gradi, tutte le particelle e i bosoni si erano materializzati. L'Universo di forze e particelle era nato!



La materia è fatta da particelle elementari come i quark e i leptoni. Le interazioni delle quattro forze della natura (gravitazionali, elettromagnetiche, interazione nucleare forte e debole) possono essere descritte come scambio di bosoni mediatori. Se l'energia di una radiazione è molto alta si possono creare coppie particella-antiparticella. La creazione di particelle e delle forze di interazione, insieme allo spazio e al tempo, è avvenuta subito dopo il Big Bang. Quando l'espansione ha raffreddato abbastanza l'Universo la creazione globale di nuove particelle si è fermata.



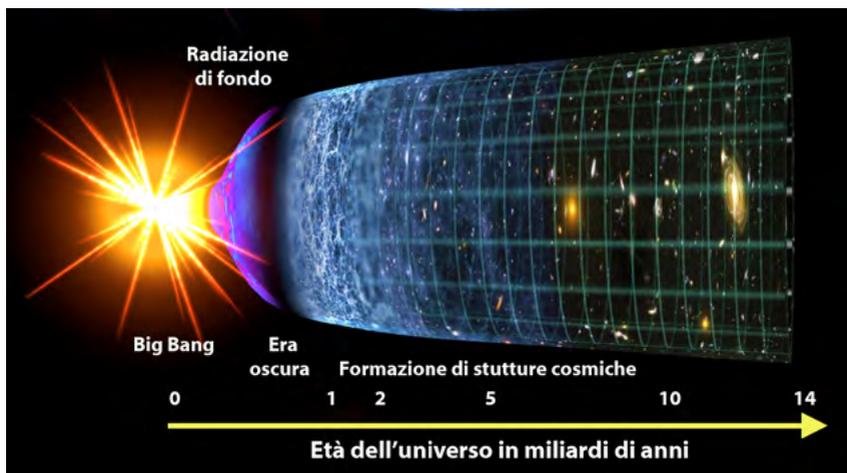
# Tempi bui

C'è stata un'epoca in cui nel Cosmo non c'era nessuna luce, né stelle o nebulose calde e fluorescenti. Questa fase viene chiamata **Era Oscura** (*Dark Age*). Come mai dopo la grande energia del Big Bang l'Universo è diventato buio? Una volta creata la materia in un milionesimo di secondo, 3 minuti dopo il Big Bang l'Universo si era raffreddato a 10 miliardi di gradi e si sono formati i nuclei atomici. I protoni, nuclei di idrogeno, hanno iniziato la fusione nucleare creando una piccola percentuale di elio (2 protoni e 2 neutroni) e litio (3 protoni e 3 o 4 neutroni) rivelabile ancora oggi.

E dopo 379 mila anni, a temperature inferiori a 2700 gradi, i protoni hanno iniziato a catturare elettroni, generando la radiazione di fondo cosmico e creando gli atomi di idrogeno. Si comprende così il perché l'idrogeno sia l'atomo più diffuso nell'Universo. Il Cosmo poi è diventato sempre più freddo espandendosi, finché la sua radiazione di corpo nero si è spostata nel campo delle microonde non emettendo più luce visibile. È nata così l'Era Oscura, in cui lo spazio era pieno di nubi di gas che si condensavano, fredde e oscure.

Ma le nubi di gas freddo sono anche molto massicce, contenendo la massa di una stella e di tutti i suoi futuri pianeti. La forza di gravità di ogni nube attira tutti gli atomi del gas verso il suo centro di massa. L'unica forza che potrebbe op-

porsi alla gravità è la pressione del gas, ma questa dipende anche dalla temperatura. Una tipica nube di gas nella Via Lattea all'epoca attuale ha una temperatura di 25 K e una pressione irrilevante rispetto a quella della nostra atmosfera. Se una nube ha una massa maggiore di un decimo di quella del Sole, la sua forza di gravità sovrasta la pressione gassosa e inizia a contrarsi, in un **collasso gravitazionale**. Ma così si comprime e si riscalda fino a diventare calda e luminosa, emettendo radiazione di corpo nero dall'ultravioletto alle onde radio. Nascono così le stelle. Le prime stelle del nostro cosmo dovevano essere anche più massicce e luminose di quelle attuali. Nel giro di 500 milioni di anni il Cosmo si è acceso di nuove luci stellari, una dopo l'altra, cancellando l'Era Oscura. E luce fu!



Queste fasi sono illustrate nella figura, in cui l'espansione dell'Universo è rappresentata con lo spazio a 2 dimensioni e col tempo nell'altra dimensione. Il Cosmo appare come il calice di un fiore che si allarga. Naturalmente il nostro universo è a 3 dimensioni ma l'autore del disegno (io) non sa ancora creare immagini a 4 dimensioni, né voi riuscireste a vederle. Dal Big Bang, si vede la parte rossastra della fase di ricombinazione, quando nasce la radiazione di fondo, e successivamente la parte nera dell'Era Oscura. Le strutture che

si formano poi sono enormi e filamentose. Esse creeranno i superammassi in cui si raggrupperanno le galassie.

#### CONCETTO FINALE

---

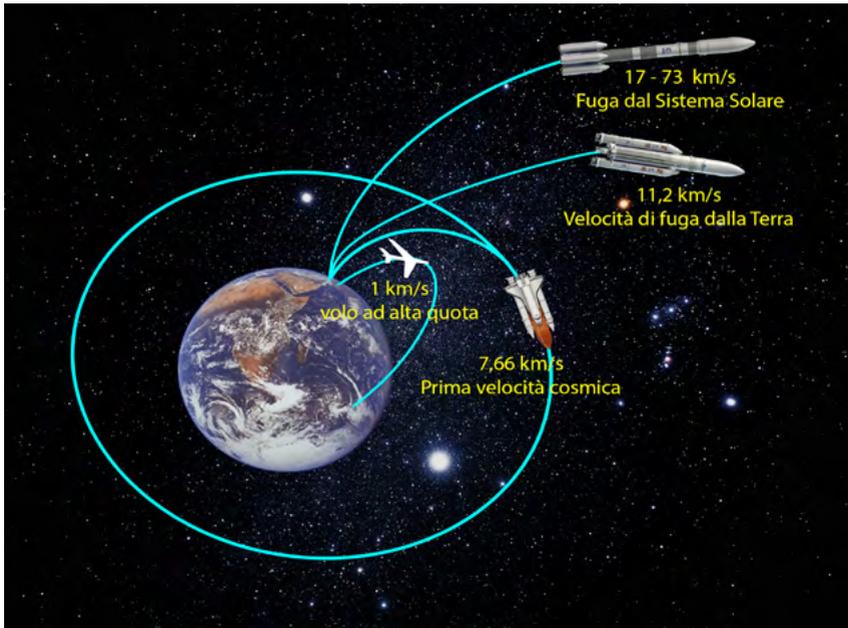
**Circa 14 miliardi di anni fa, all'epoca del Big Bang l'Universo era caldissimo. Poi espandendosi si è raffreddato, formando nubi di gas e diventando buio per circa mezzo miliardo di anni, nell'Era Oscura. La nascita di nuove stelle dalle nubi di gas freddo ha innescato la formazione delle strutture cosmiche, dai superammassi alle galassie.**



# E il sasso non ricade più?

Quando lanciamo un sasso verso l'alto, dopo una parabola più o meno alta, esso ricade a terra, attratto dalla forza di gravità del nostro pianeta. Quanta più energia mettiamo nel lancio, tanto più in alto esso arriva. Ci si può aspettare che con sufficiente energia, esso vada nello spazio e non ricada più. Questo è quello che succede infatti ai missili che lanciano satelliti artificiali o navette per l'esplorazione degli altri pianeti. I missili devono raggiungere la “**velocità di fuga**” che, come dice il suo nome, è quella velocità che permette di sfuggire alla forza di gravità di un corpo celeste. Un oggetto deve avere un'energia di movimento (**energia cinetica**) che supera l'energia potenziale gravitazionale del corpo celeste da cui sfuggire. Sulla superficie terrestre la velocità di fuga (detta **seconda velocità cosmica**), è di 11,2 km/s (=40320 km/h). Tuttavia se la velocità di lancio è superiore a 7,66 km/s (**prima velocità cosmica**) il missile potrà entrare in orbita intorno alla Terra. Altrimenti dopo una traiettoria parabolica esso ricadrà al suolo. Notate che la velocità di fuga è uguale per un missile di molte tonnellate come per un granello di sabbia; entrambi ricadono se non la raggiungono. Naturalmente, poiché l'energia cinetica di un corpo dipende dalla sua velocità ma anche dalla sua massa, ci vorrà molta più energia per sparare nello spazio un missile rispetto a un

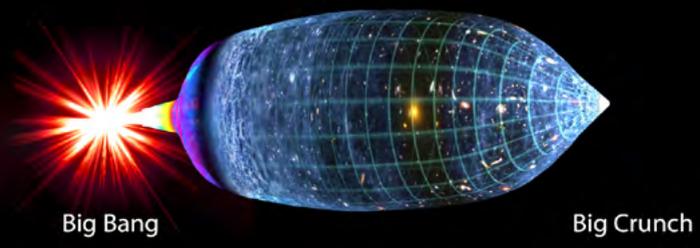
granello di sabbia. Ma non è finita; una volta nello spazio al di là della Terra, la maggior forza di gravità che si percepisce è quella del Sole e per abbandonare il Sistema Solare partendo dalla distanza della Terra dal Sole bisogna superare i 42,1 km/s (=151560 km/h) o si cade sul Sole. Poiché la Terra si muove a circa 30 km/s, la velocità da imprimere a un missile per fargli abbandonare il Sistema Solare, **terza velocità cosmica**, varia se deve andare nella stessa direzione del moto terrestre (17 km/s) o nella direzione opposta (73 km/s).



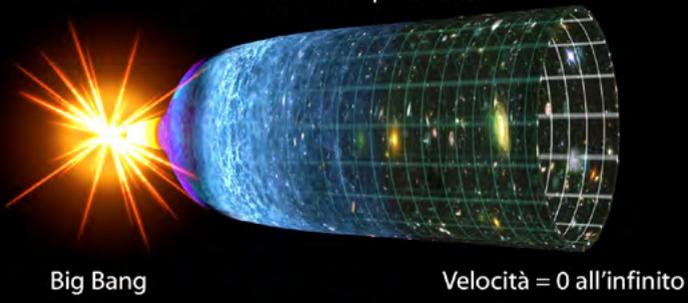
Ma qual è la velocità di fuga delle galassie nel Cosmo? Come il sasso o il missile, l'energia del Big Bang lancia la materia lontano, facendo espandere lo spazio-tempo. Nella figura, l'espansione dell'universo è rappresentata da tre disegni "a calice" che rappresentano tre evoluzioni possibili. Come per il sasso, se l'energia cinetica del Big Bang è minore dell'energia potenziale gravitazionale di tutte le galassie, dopo un allontanamento la velocità osservata delle galassie deve diminuire e tutto "ricade giù" in un **Big Crunch**, un grande



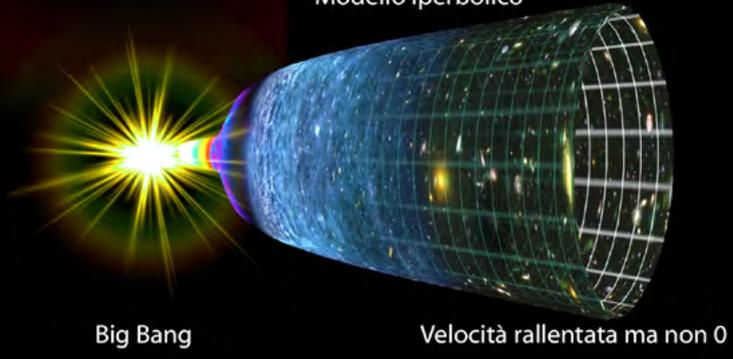
Modello pulsante



Modello parabolico



Modello iperbolico



impasto di materia ed energia, come nel disegno più in alto. Se le due energie si bilanciano, l'espansione è infinita e la sagoma del "calice" è una parabola (**Espansione Parabolica**, disegno al centro) mentre se l'energia è maggiore la sagoma è un'iperbole (**Espansione Iperbolica**, disegno in basso). In tutti e tre i casi, la velocità deve diminuire ma l'Universo rallenta in maniera diversa. Così gli astronomi sperimentali misurano le velocità delle galassie da noi per calcolare la velocità media di tutta l'espansione. Poi passano questo dato ai colleghi teorici che si occupano di Cosmologia perché ci facciano i loro modelli e le loro deduzioni. Personalmente, nella vita non mi sono mai piaciute le cose infinite ed eterne (gusto mio, però!) e negli anni '70 mentre lavoravo per la mia tesi di laurea sulla densità dell'Universo ho sempre sperato che si scoprisse così tanta massa da far finire l'Universo dopo molti miliardi di anni e che il sasso simbolico lanciato dal Big Bang ricadesse giù in una fine luminosa. In effetti già dagli anni '30 si sospettava la presenza di materia non visibile, di cui parleremo dopo. Purtroppo, anche aggiungendo la materia oscura, i calcoli mostrano che l'Universo è destinato ad espandersi per sempre ... e il sasso non ricadrà più!

## CONCETTO FINALE

---

**In base alla quantità di materia esistente nell'Universo e della forza di gravità che essa genera, l'espansione dell'Universo può fermarsi e invertirsi oppure può proseguire per sempre. I dati osservativi indicano che non c'è abbastanza materia per frenare e fermare l'espansione dell'Universo, anzi... ma lo vedremo dopo.**

# Che oscure, queste galassie!

Qui vi racconto come si è arrivati a scoprire che l'Universo è pervaso da una materia oscura che non interagisce con i nostri atomi e che è 5 volte più grande di quella atomica (massa barionica). Ogni tanto qualche "leggenda metropolitana" attribuisce a Tizio o Caia la scoperta della materia oscura grazie a sue mirabolanti osservazioni. Ma il cammino per la scoperta di questa materia è stato molto lungo in realtà e molti astrofisici ci sono arrivati mettendo ognuno un mattoncino anno dopo anno.

Dagli anni '20 del secolo scorso, non appena fu chiara la natura delle galassie come sistemi esterni alla Via Lattea, molti astronomi iniziarono a studiare le singole galassie e i loro ammassi. Lo spazio esterno era un vastissimo continen-

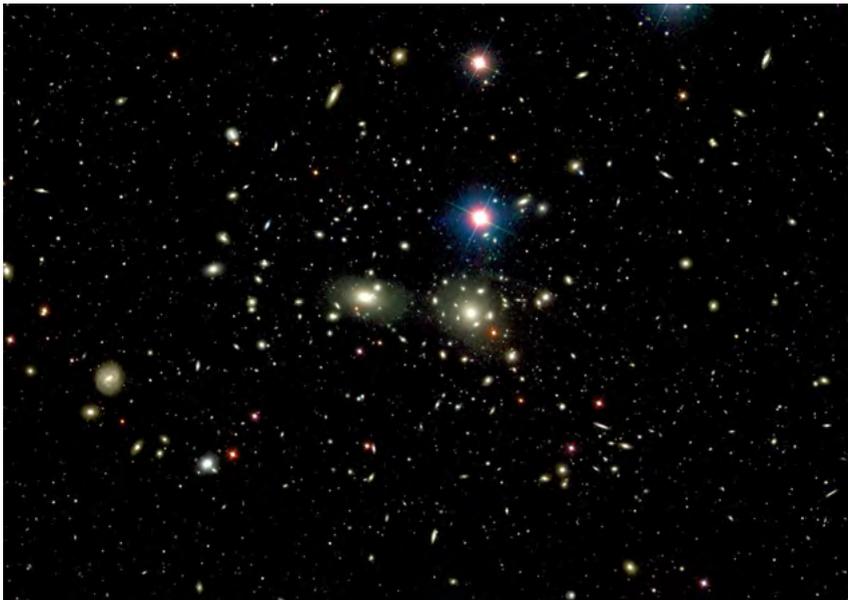


Fritz Zwicky (1898-1974), dedusse l'esistenza della materia oscura e l'uso delle lenti gravitazionali per calcolare la massa delle galassie. (Foto: Unbekannt - Biblioteca Politecnico Federale Zurigo).

te tutto da scoprire.

Spicca in quegli anni la figura dell'astronomo svizzero Zwicky, Nel 1933, studiando l'ammasso della Coma, scoprì che la sua massa è 400 volte più grande della somma delle masse delle galassie che lo compongono. Per spiegare la cosa, fece l'ipotesi che esistesse una «*dunkle materie*» (materia oscura in tedesco). Fece anche la previsione che la grande massa delle galassie potesse fare da **lente gravitazionale**, deviando la luce delle galassie più lontane, come predetto dalla Relatività Generale, fornendo un altro modo per stimare la massa degli ammassi e delle galassie. Ma l'ipotesi della materia oscura non venne presa in considerazione e l'effetto delle lenti gravitazionali non poteva essere osservato con gli strumenti di allora.

Dagli anni '50 molti astronomi iniziarono a studiare la rotazione delle stelle e delle nubi di gas attorno al centro di mas-



L'ammasso della Coma, a 99 Mpc di distanza, denso e ricco di migliaia di galassie, per lo più ellittiche. A parte due stelle brillanti in alto e al centro della foto, e pochissime altre eccezioni, tutti gli oggetti visibili sono galassie, ciascuna con miliardi di stelle al suo interno. Questo ammasso fu uno dei primi gruppi a far sospettare la presenza di materia oscura.

sa delle galassie (la **curva di rotazione**). Per più di 40 anni, la dinamica delle galassie è stato l'argomento principale della ricerca di tanti astronomi, me compreso. Iniziato dalla coppia Goffrey e Margareth Burbidge, due grandi nomi dell'astrofisica, lo studio della curva di rotazione delle galassie permetteva di calcolare la loro massa. Anch'io ho iniziato così nel 1975, studiando la curva di rotazione delle galassie attraverso le righe degli elementi chimici del gas, visibili fino a una certa distanza dal centro della galassia. Usavamo tutti delle piccole lastre fotografiche esposte al telescopio per ore. E altri astronomi studiavano le galassie satelliti, in coppie o nei gruppi, misurando le velocità di rotazione dell'intera galassia rispetto al centro di gravità del gruppo. Anche in questo caso si poteva calcolare la massa totale. Per capire quante stelle c'erano dentro, e quante nubi di gas, si confrontava la massa con la luminosità della galassia e questo "rapporto massa/luminosità" appariva inizialmente di poche unità nelle galassie come la Via Lattea o quella di An-

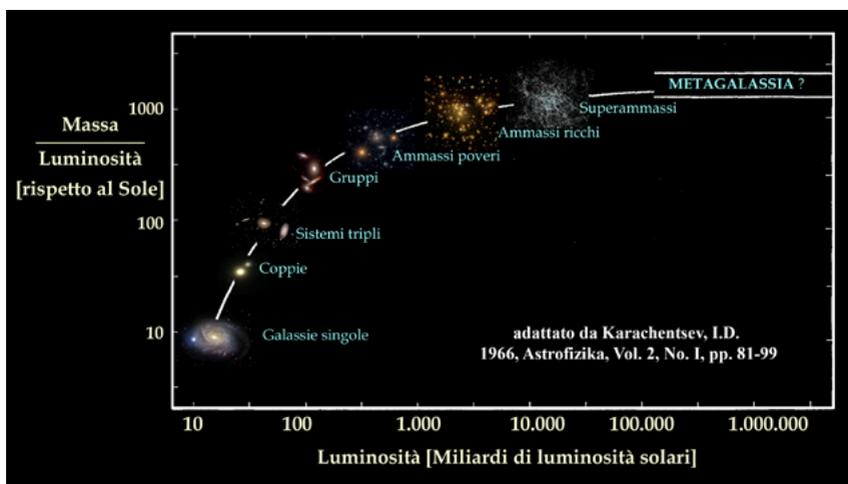
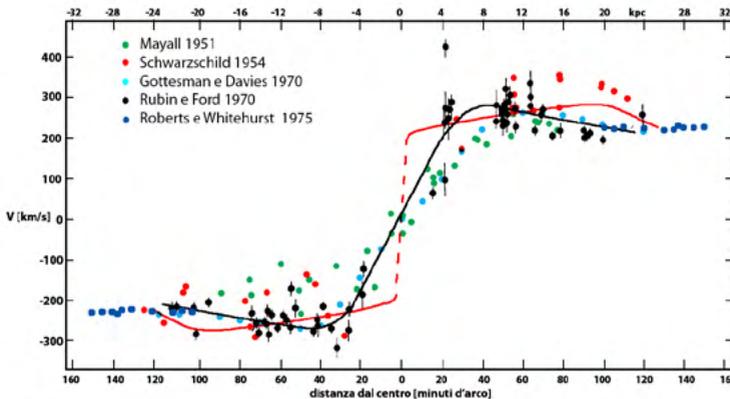


Diagramma di Karachentsev, pubblicato nel 1966, ridisegnato. Mostra come il rapporto massa/luminosità di oggetti astronomici sempre più estesi diventa sempre maggiore rispetto alla loro luminosità. In assenza di materia in mezzo alle galassie il rapporto dovrebbe essere costante e la linea dritta e orizzontale. L'autore faceva anche l'ipotesi che ci fosse una "Metagalassia", un ammasso di superammassi, che oggi non sembra esistere. (Elaborazione di G. Galletta)

dromeda. Ma per gli ammassi di galassie la situazione era diversa e anomala.

Se Zwicky aveva calcolato 400 volte più massa per l'ammasso della Coma, nel 1954 Martin Schwarzschild, studiando lo stesso ammasso di galassie e altri, trovò addirittura un valore 800 per il rapporto massa/luminosità. Anche lui fece l'ipotesi che nelle galassie ci fossero degli oggetti massicci non visibili. Dodici anni dopo, nel 1966, Karachentsev scoprì che il rapporto massa/luminosità aumenta man mano che si prendono in considerazione insiemi di galassie sempre più grandi: galassie doppie, gruppi, ammassi, come se allargando il volume di spazio si includesse una massa sempre maggiore, mentre la luce delle galassie restava costante. Ma lui stesso scrisse che la massa di questa «materia oscura» dovrebbe essere addirittura più grande di quella della materia stellare, come un paradosso. Sappiamo solo oggi quanto



fosse vicino alla verità! Una spiegazione alternativa era che le velocità fossero così grandi perché i gruppi di galassie erano instabili e in espansione.

Karachentsev scriveva sulla rivista in lingua russa *Astrofizika* e Zwicky aveva scritto i suoi primi articoli sull'argomento in tedesco, su *Helvetica Physica Acta*. Queste riviste venivano regolarmente ignorate dalla letteratura scientifica anglosassone. Perciò le loro ipotesi restarono per lo più ignote. In ogni caso, pochi astronomi erano disponibili a credere alla presenza di una materia oscura che non fosse composta da stelle deboli o gas e polveri, ovvero da atomi. Trentatré anni dopo i lavori di Zwicky, il problema era ancora aperto.

La curva di rotazione della grande galassia di Andromeda fu studiata da Mayall nel 1951 e da Schwarzschild nel 1954, dal nucleo fino a 24 kpc (78 mila anni luce). Come si vede nella figura, la curva di Schwarzschild, indicata in rosso, restava quasi costante nella parte esterna. Sedici anni più tardi, con strumenti più potenti, la curva di rotazione di Andromeda fu studiata dai radioastronomi Gottesman e Davies attraverso la radiazione dell'idrogeno neutro a 21 cm di lunghezza d'onda e da Rubin e Ford a lunghezze d'onda visibili. Anche loro trovarono che la rotazione delle nubi di gas resta abbastanza costante, con una parte esterna "piatta". La curva di rotazione fu estesa fino a 32 kpc con osservazioni radio da Roberts e Whitehurst. Le velocità di rotazione misurate non accennavano a diminuire.

Oggi sappiamo che, se la massa aumenta e la luminosità diminuisce in una galassia, vuol dire che esiste una materia oscura; che estendendo l'osservazione ai gruppi di galassie come aveva fatto Zwicky, Schwarzschild e Karachentsev questa materia oscura aumenta, essendo diffusa in tutto l'Universo, all'interno e all'esterno delle galassie. Se ne accorge il gruppo formato da Rood, Rothman e Turnrose, che sempre nel 1970 usarono il termine "*missing mass*" (massa mancante) senza fare ipotesi sulla sua natura.

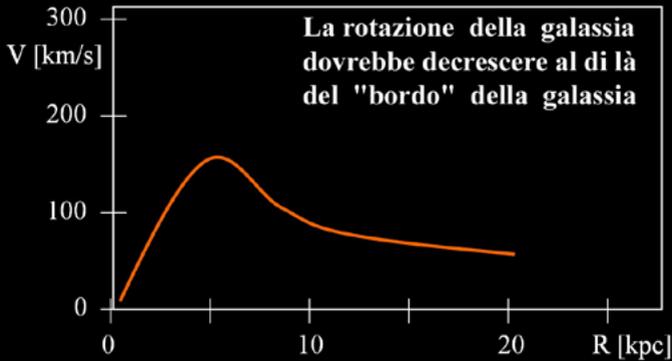
Notate che l'idea che ci fosse una materia di natura ignota, non fatta da normali atomi, che non emette radiazione elettromagnetica ma ha solo forza di gravità, sembrava così

“eretica” che nessuno osava crederci. Per diversi anni, pur di non affrontare l’ipotesi di qualcosa che non si conosce, si dibatteva se la *missing mass* e gli “aloni oscuri” intorno alle galassie fossero stelle morte, pianeti, gas così freddo da non essere visibile neppure nelle onde radio, o altro.

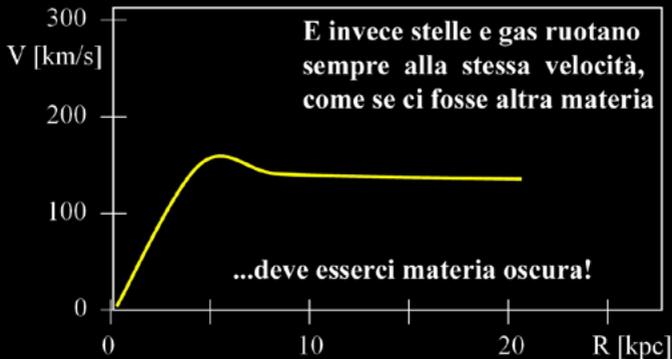


**La materia luminosa diminuisce lontano dal nucleo**

*curva teorica*



*curva osservata*



Bisogna arrivare agli anni '80 per capire che questa materia oscura dotata di massa, se fosse composta da atomi e molecole (**massa barionica**), sarebbe rilevabile nelle onde radio, infrarosse o raggi X. Ma non è mai stata rilevata. L'osservazione di lenti gravitazionali generate dagli ammassi di galassie lontane ha permesso poi di calcolare la massa di questi sistemi come suggerito da Zwicky, ottenendo valori di materia oscura molto alti. E a questo punto sono entrati in scena i fisici delle particelle e sono state avanzate moltissime ipotesi sulla materia oscura, affermando che potrebbe essere costituita da particelle esotiche (neutrini pesanti o altre particelle). Si stima che la sua massa sia 5 volte più grande di quella rappresentata dai barioni (protoni, neutroni, elettroni, ecc.), come aveva stimato Karachentsev nel 1966! E quindi la storia non finisce qui.

#### CONCETTO FINALE

---

**Dagli anni '30 del XX secolo si sapeva che nello spazio esisteva una quantità di massa anche 4 volte maggiore di quella stimata dalle stelle delle galassie. Questo è stato confermato negli anni successivi dal moto delle galassie negli ammassi, dalla rotazione del gas nelle galassie singole e dalle lenti gravitazionali osservate in galassie lontane. La materia oscura è probabilmente composta da particelle esotiche.**



# Come finisce la Storia? Il più grosso errore di Einstein

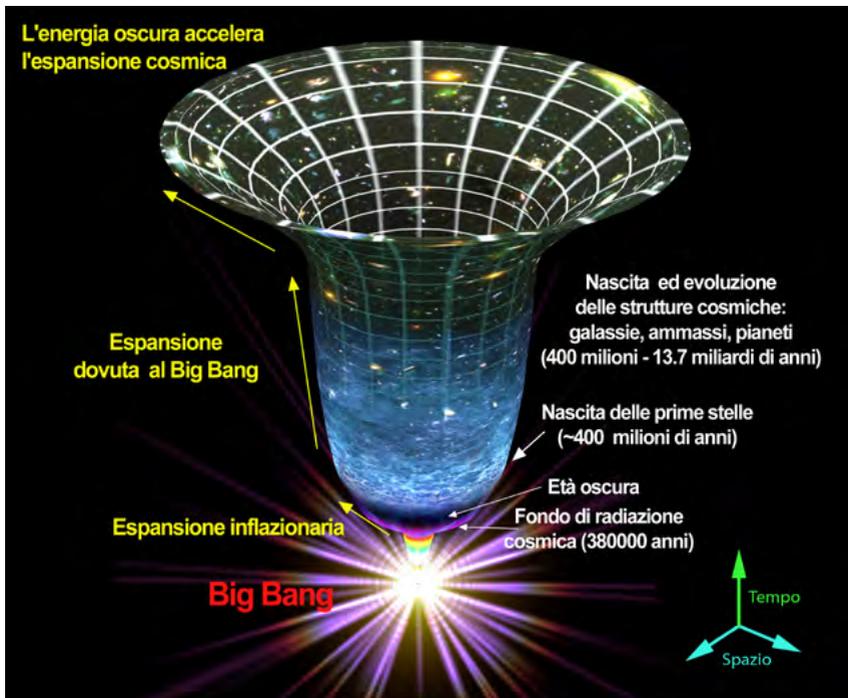
Se lo spazio e il tempo nascono dopo il Big Bang, qual è il futuro dell'Universo? Per molti anni, si era creduto che l'espansione dell'Universo dopo il Big Bang si potesse descrivere anche secondo le leggi di Newton, in un equilibrio tra l'energia cinetica dell'espansione dell'Universo e la sua energia potenziale gravitazionale. L'espansione poteva essere



I premi Nobel 2011 Perlmutter e Schmidt (da destra) tra presentatori, organizzatori e autorità, ricevono il Premio “Padova Città delle Stelle” per la loro scoperta. Io sono l'ultimo a sinistra. (Foto di archivio del 2005)

“pulsante”, con lo spazio che si espandeva rallentando, per poi fermarsi e tornare a collassare, come un sasso lanciato in alto o un missile che ricade giù, oppure “parabolica” con la velocità che rallentava arrivando a zero verso l’infinito, o infine “iperbolica” con la velocità che rallentava di meno, conservando sempre una energia cinetica maggiore di quella gravitazionale. Nella “scheggia” di Cosmologia 15 ho mostrato i tre schemi dell’espansione.

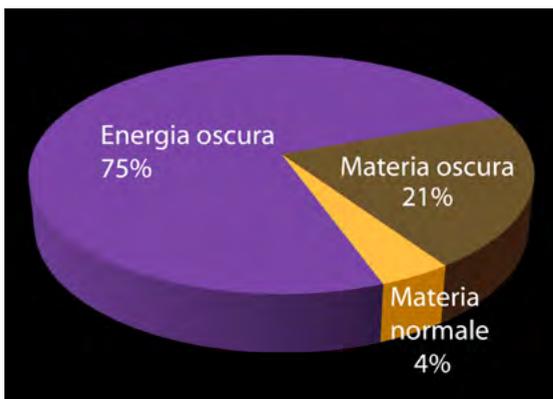
Come distinguere tra loro? Un modo è calcolare la massa totale dell’universo e studiare le velocità di galassie e gruppi di galassie sempre più lontane. Ma come sappiamo dalla “scheggia” di Cosmologia 8, più lontano guardiamo, più indietro nel tempo osserviamo le galassie del nostro Universo. Fino a circa l’anno 2000 non c’erano gli strumenti adatti ad osservare galassie molto lontane e la nostra Cosmologia osservativa era limitata alle galassie più vicine, nel cosiddetto **Universo Locale**. Ma appena fu possibile osservare galassie molto lontane e perciò molto indietro nel tempo ci si accorse



che il nostro Universo non rallenta la sua espansione, ma la accelera! Nella figura si vede come questa accelerazione faccia espandere il “calice” del disegno rispetto a quelli del capitolo 15. Questa scoperta fruttò il Premio Nobel nel 2011 a Perlmutter e Schmidt, autori principali delle osservazioni. Quale forza repulsiva può accelerare lo spazio-tempo dopo il Big Bang? Quando Einstein formulò la teoria della Relatività Generale, nel 1916, non sapeva ancora che l’Universo si espandesse, perché il fatto che le galassie fossero sistemi stellari indipendenti dalla nostra Via Lattea fu dimostrato solo nel 1924, mentre l’espansione dell’Universo fu proposta da Lemaître nel 1927 e da Hubble nel 1929. In un Universo statico, l’energia cinetica, normalmente positiva, è pari a zero e non può opporsi all’energia gravitazionale, negativa, delle galassie. Ma così tutto sarebbe collassato distruggendosi. Per mantenere stabile la struttura del Cosmo doveva esserci, in opposizione all’energia gravitazionale (creata dalla massa), un’energia repulsiva che agisce anche in assenza di materia, nello spazio vuoto, una “energia del vuoto”. Einstein la chiamò “costante cosmologica” ma abbandonò subito l’idea quando si scoprì l’espansione dell’Universo, definendola “il più grosso errore della mia vita”. Oggi che si conosce l’esistenza di una accelerazione, si è tornati a parlare della costante cosmica di Einstein, definendola - senza troppa fantasia - “Energia Oscura”. Quindi l’Universo non si fermerà ma andrà sempre più veloce?

Dell’energia oscura non si sa nulla, ma per spiegare le osser-

vazioni attuali occorre che essa sia il 75% dell’Universo. Vi ricordo che la materia oscura di cui abbiamo parlato sarebbe il 21% e la nostra materia fatta da atomi solo il 4%. L’energia oscura ha a che fare con qualche



materializzazione di particelle “esotiche”, come la materia oscura con i “wimp” o in “neutrini pesanti”, di cui si sta ancora cercando l’esistenza? Non lo sappiamo ancora ma i fisici delle particelle si stanno dando molto da fare in questi anni. E a questo punto possiamo stupirci di quante cose strane si siano dedotte dalle osservazioni e per spiegarle dobbiamo fare ipotesi ancora più strane: materia che non si vede e non si sa di cosa sia fatta, particelle fantasiose che non sono state ancora scoperte e che rappresentano la maggior parte del cosmo, energia invisibile presente anche nel vuoto in assenza di massa... sembra di parlare di Filosofia anziché di Scienza. E posso confessarvi che io, astrofisico sperimentale, ai congressi di cosmologia teorica ho sempre pensato che molti parlassero con la divinità anziché con gli altri e si capissero solo loro. Infatti a un congresso a cui ho partecipato due teorici dibattevano sulle loro diverse teorie e modelli di galassie e ammassi. Un collega del pubblico disse loro: “però i dati delle mie recenti osservazioni non sono in accordo con il tuo modello”. Poiché i dati sono la fonte principale della conoscenza, ci si aspettava che il teorico dicesse “vedrò i tuoi dati e verificherò il mio modello”. E invece la sua risposta fu: “guarda accuratamente i tuoi dati!”, ovvero “la mia teoria è sacra e non è possibile che le osservazioni non la confermino”. Una tale fede in se stessi è piuttosto sconvolgente per un astronomo sperimentale come me. Il mondo è vario e gli umani a volte bizzarri.

Ma la ricerca continua e tra nuove ipotetiche particelle e segnali debolissimi captati da strumenti enormi, il futuro della Cosmologia e della Fisica delle particelle ci riserverà altre sorprese. Non ci resta che aspettare una spiegazione coerente con le misure sperimentali che unisca l’enormemente grande, il Cosmo, con l’enormemente piccolo, il mondo delle particelle.

L'universo appare espandersi in maniera accelerata, anziché rallentare come si era creduto per decenni. Questo sarebbe dovuto a un'energia onnipresente, l'Energia Oscura o Energia del Vuoto che come la materia oscura non è ancora identificabile con altre conoscenze della Fisica. Essa rappresenta il 75% dell'energia dell'Universo.



## **COSA ABBIAMO IMPARATO?**

---

1 - Che l'Universo si espande da circa 14 miliardi di anni, partendo da uno stato di enorme energia detto Big Bang (grande scoppio) (Schizzo n. 2). Ma non sono le galassie a muoversi, lanciate via in uno spazio vuoto, ma è lo spazio ad espandersi, trascinando con sé la materia (Schizzo n. 3).

2 - Che l'Universo a 3 dimensioni in cui viviamo può avere una curvatura in un'altra dimensione. Una superficie curva, per esempio una sfera, può essere illimitata (senza limiti geometrici) ma non infinita! (Schizzo n. 4).

3 - Che non esiste un centro dell'Universo, poiché ogni galassia appare allontanarsi dalle altre e vede la stessa espansione che osserviamo noi. (Schizzo n.5).

4 - Che il cielo di notte è buio perché, anche se ci sono miliardi di galassie fatte da miliardi di stelle, l'espansione dell'Universo sposta la loro luce verso le onde radio, a più bassa energia, e la indebolisce (Schizzo n. 6).

5 - Che lo spazio e il tempo sono indissolubilmente legati tra loro, poiché la nostra esperienza dell'Universo si basa sulle radiazioni elettromagnetiche che si muovono alla velocità della luce. Più lontano guardiamo, più vediamo nel passato (Schizzo n. 7). Perciò il futuro non è osservabile.

6 - Che anche le onde gravitazionali, come quelle elettromagnetiche, si muovono alla velocità della luce e perciò la variazione della forza di gravità si sente solo dopo un certo tempo. Per esempio, Saturno è così lontano dal Sole da orbitare attorno a un punto da cui il Sole si è già spostato. Subiamo l'azione del passato! (Schizzo n. 8).

7 - Che lo spazio e il tempo sono proprietà della materia e non esistono nel vuoto, dove non c'è materia. Perciò essi nascono col Big Bang e non ha senso chiedersi cosa c'era prima o cosa c'era intorno (Schizzo n. 9).

8 - Che a causa dell'espansione dell'Universo e della sua età esistono degli orizzonti cosmici, distanze al di là delle quali

non riceviamo nessuna informazione, né radiazione né forza di gravità, che si allargano continuamente. Tutto ciò che è oltre l'orizzonte cosmico non esiste nel nostro Universo, come noi non esistiamo nel loro Universo (Schizzo n. 10).

9 - Tuttavia, guardando verso gli orizzonti in direzioni opposte, troviamo gli stessi elementi chimici e deduciamo che le leggi fondamentali e le costanti fisiche devono essere le stesse anche nelle zone fuori dal nostro orizzonte cosmico. Questo viene spiegato con un'epoca di velocissima espansione (l'inflazione) che ha allontanato parti di universo che in passato però sono state in contatto, condividendo la stessa Fisica (Schizzo n.11).

10 - Che esiste una radiazione di microonde diffusa ovunque nello spazio. Si tratta dell'eco della radiazione emessa quando l'universo raffreddandosi ha permesso agli elettroni di unirsi ai nuclei atomici, formando gli atomi. Questa radiazione cosmica di fondo è un'altra prova del Big Bang, in aggiunta all'espansione dell'Universo. (Schizzo n. 12).

11 - Che energia e materia possono tramutarsi l'una nell'altra in condizioni particolari, come quelle presenti subito dopo il Big Bang. Dall'energia iniziale nasce la materia e le forze che la modellano (elettromagnetiche, gravitazionali, forza nucleare forte e debole). Prima di  $10^{-43}$  secondi non esisteva nulla e dopo 1 milionesimo di secondo era nato tutto (Schizzo n. 13).

12 - Che le stelle e le galassie si sono formate dopo un'epoca in cui l'Universo era così freddo da essere un vasto spazio buio, l'Età Oscura. Ma dopo la nascita delle prime stelle, la luce si è accesa nel buio (Schizzo n. 14).

13 - Che l'Universo potrebbe fermare la sua espansione o espandersi per sempre, in base alla quantità di materia che possiede e alla sua forza di gravità (Schizzo n. 15).

14 - Che esiste una materia oscura, non fatta da particelle barioniche (atomi) ma da particelle "esotiche" non ancora identificate e che la sua massa è 5 volte maggiore della materia di cui siamo fatti noi, i pianeti e le stelle (Schizzo n. 16).

15 - Che esiste una “energia oscura” di natura sconosciuta che sta accelerando l’espansione dell’Universo. Per spiegare le osservazioni, deve essere 19 volte più grande dell’energia contenuta nella massa barionica dell’intero Universo. In parole povere, la materia ordinaria è solo il 4% dell’Universo (Schizzo n. 17).

E a questo punto la realtà e le teorie più fantasiose si intrecciano. La conoscenza della natura profonda del Cosmo resta affascinante e dal mio punto di vista, quasi filosofica. Ma ricordiamoci sempre che cerchiamo di descrivere con metodi umani (formule, simbolismi matematici, idee) qualcosa che umano non è...



## Conclusione in allegria



Immagine dalla SDDSS J1038+4849, NASA/ESA.

Anche se sembra una faccina sorridente, si tratta di due galassie che con la loro forza di gravità deformano lo spazio-tempo, proiettando un'immagine distorta di una galassia che si trova dietro di loro. Non vi sembra un'allegoria del modo beffardo e misterioso con cui l'Universo si presenta agli esseri umani?

## Ringraziamenti

L'autore ringrazia tutte le persone che con grande pazienza hanno letto le bozze del libro in pochi giorni, dando suggerimenti per migliorarlo o segnalando immagini utili. Tra questi in ordine cronologico: gli Astrofili di Santa Maria di Sala, l'astronomo Prof. Roberto Ciri e il Prof. Mariano Moles, Direttore del Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón. Ringrazio anche gli editori di Padova University Press, Francesca Moro e Enrico Scek Osman.

Ogni riferimento a fatti o persone realmente esistiti è voluto e non casuale. Voglio assicurare i lettori più sensibili sul fatto che nessun cosmologo è stato maltrattato per la stesura di questo libro.

## Siti dell'autore

Per approfondimenti e aggiornamenti, è possibile consultare:

<https://www.galletta.it/gg/it/schizzi-di-cosmologia/>

<https://www.facebook.com/astrogalletta/>



<https://www.padovauniversitypress.it/it/publications/9788869384554>

Gli "Schizzi di Cosmologia", scritti anche per le persone digiune di Scienza, sono sia abbozzi del disegno del Cosmo che getti di informazioni, per macchiare di conoscenza la mente del lettore. Il libro spiega in maniera concisa e senza formule come funziona il nostro Universo, toccando i suoi aspetti più strani. Per esempio: possiamo vedere il passato, lo spazio e il tempo non esistono se non c'è materia, e tanto altro. Queste conoscenze, una volta apprese, permettono non solo di leggere più facilmente le notizie dei giornali e dei social media, ma ci aiutano a capire come è fatto il nostro mondo. Il libro, inoltre, corregge alcune convinzioni errate fatte nel passato e riportate ancora oggi in alcuni testi.

Per aiutare a capire i concetti di base vengono presentati 17 argomenti di Cosmologia. Ogni argomento ha una scheda di 2-8 pagine con schemi e figure. Alla fine di ogni capitolo viene riportato il concetto principale che è stato spiegato e alla fine del libro c'è un elenco delle cose importanti da tenere a mente.

Giuseppe Galletta è Studioso Senior dell'Università di Padova e membro delle maggiori Società Internazionali di Astronomia e Astrobiologia. Ha pubblicato un centinaio di articoli sulle maggiori riviste internazionali di Astrofisica. È un autore della scoperta nel 1978 di un nuovo tipo di galassie con struttura allungata (galassie triassiali) con un anello perpendicolare di gas e polveri (polar ring), e ha sviluppato anche i primi modelli teorici per descriverle. Nel 1985 ha scoperto il fenomeno denominato "controrotazione" nelle galassie a disco, con il gas che ruota in senso inverso alle stelle. Nel 2006 ha diretto la costruzione di un simulatore dell'ambiente marziano per esperimenti biologici.

Da molti anni si occupa di divulgazione scientifica, collaborando con riviste e settimanali nazionali, partecipando a trasmissioni televisive e pubblicando libri di divulgazione astronomica.

ISBN 978-88-6938-455-4



€15,00