



*Ministero dell'Istruzione
dell'Università e Ricerca*

OLIMPIADI DI ASTRONOMIA 2012

IL BIG BANG

(letteralmente

il Grande Botto)

è il fenomeno che ha dato
inizio all'Universo.

**Come nasce l'idea
del Big Bang?**

A seguito della rivoluzione copernicana, con gli studi di Keplero e Newton e le osservazioni di Galileo ed altri si giunge al concetto di

*Universo infinitamente grande,
popolato da un numero infinito di
stelle.*

. . . ma . . .

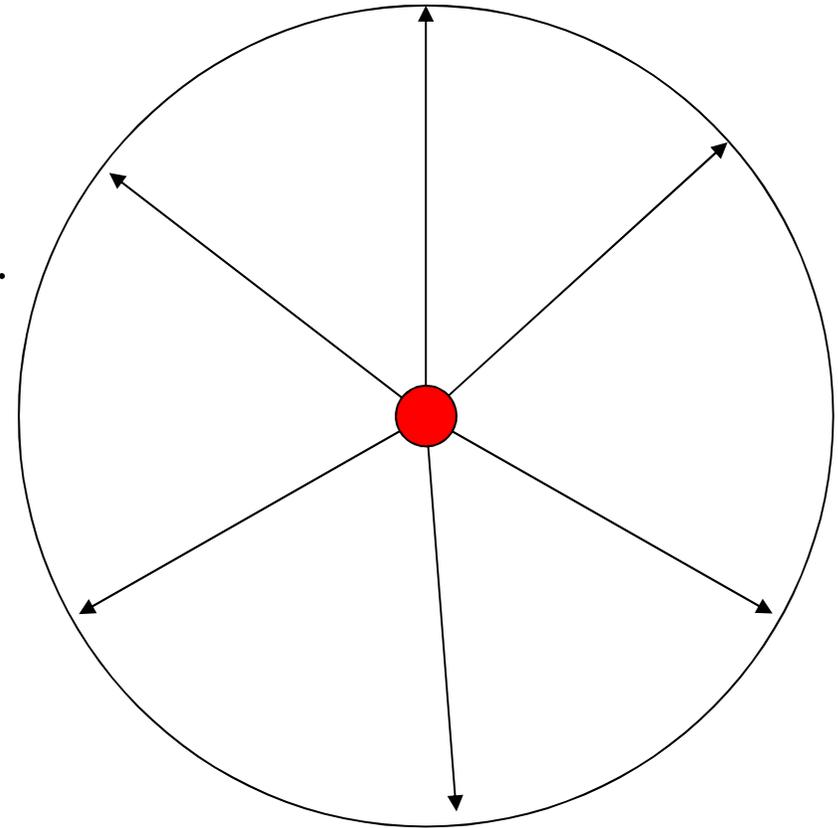
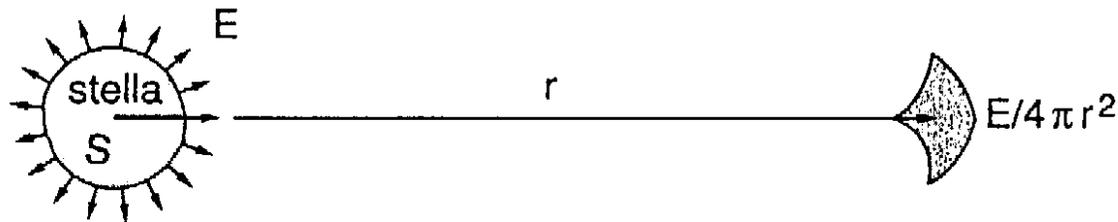
Consideriamo una stella.

Essa emette, in ogni secondo, una quantità di energia E in tutte le direzioni.

Dopo un tempo Δt tale energia si è distribuita sulla superficie di una sfera di raggio $r = c \cdot \Delta t$.

Ogni unità di superficie di tale sfera riceverà una parte di energia pari a

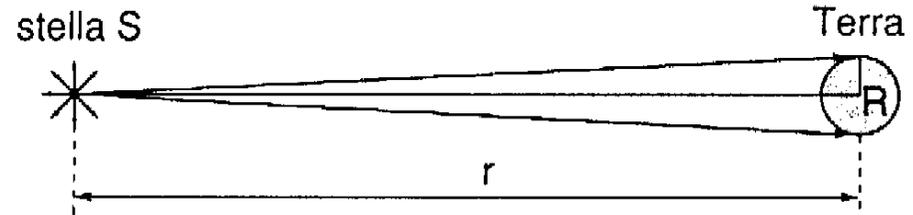
$$\frac{E}{4\pi r^2}$$



Supponiamo che la Terra, di raggio R , disti r dalla stella . . .

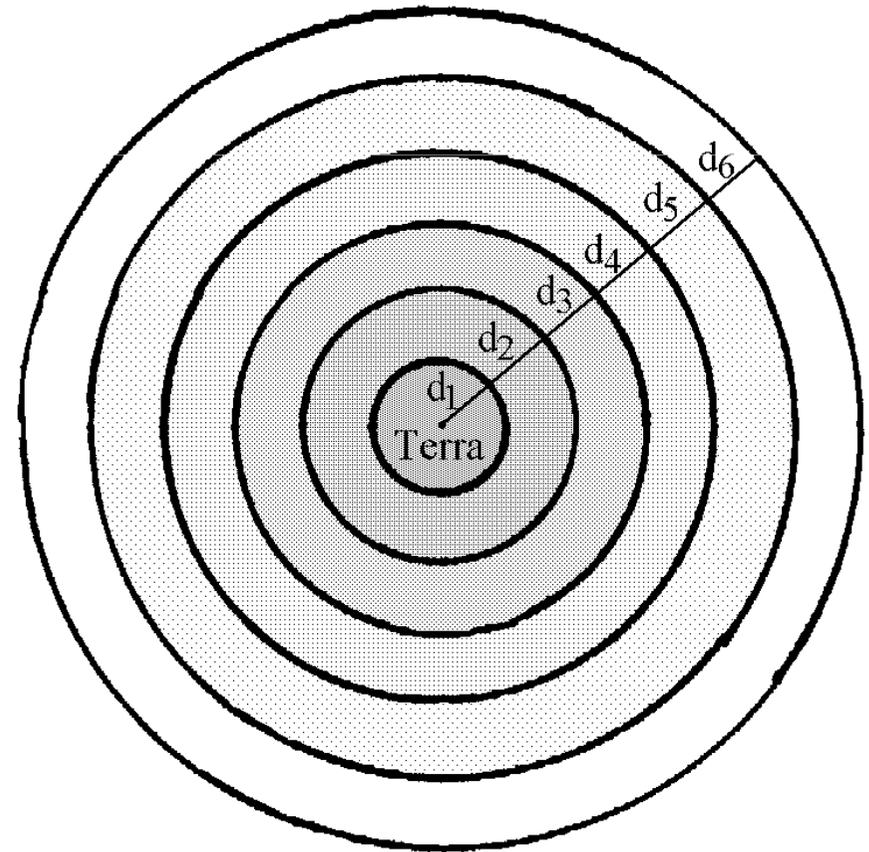
. . . la Terra riceve, in un secondo, una quantità di energia pari a

$$\frac{E}{4\pi r^2} (\pi R^2) = \frac{E}{4} \left(\frac{R}{r} \right)^2$$



Se l'Universo è infinitamente grande, possiamo pensare di dividerlo in infinite sfere concentriche con la Terra al centro.

Ognuna di queste sfere ha uno spessore d_1 , d_2 , d_3 , . . . , d_n , . . .



Se le stelle nell'Universo sono uniformemente distribuite, possiamo supporre che ce ne siano N ogni unità di volume.

Un guscio sferico di spessore d alla distanza r dalla Terra conterrà circa $4\pi r^2 d N$ stelle.

Da tale guscio arriverà sulla Terra una quantità di energia pari a

$$\frac{E}{4} \left(\frac{R}{r} \right)^2 (4\pi r^2 d N) = \pi E R^2 d N$$

Sommando l'energia che viene da ogni guscio si ottiene

$$\begin{aligned} \pi E R^2 d_1 N + \pi E R^2 d_2 N + \pi E R^2 d_2 N + \dots = \\ = \pi E R^2 N (d_1 + d_2 + d_3 + \dots) = \infty \end{aligned}$$

. . . La quantità di energia che arriverebbe sulla Terra dovrebbe essere infinita.

Evidentemente non è così !

Perché ?

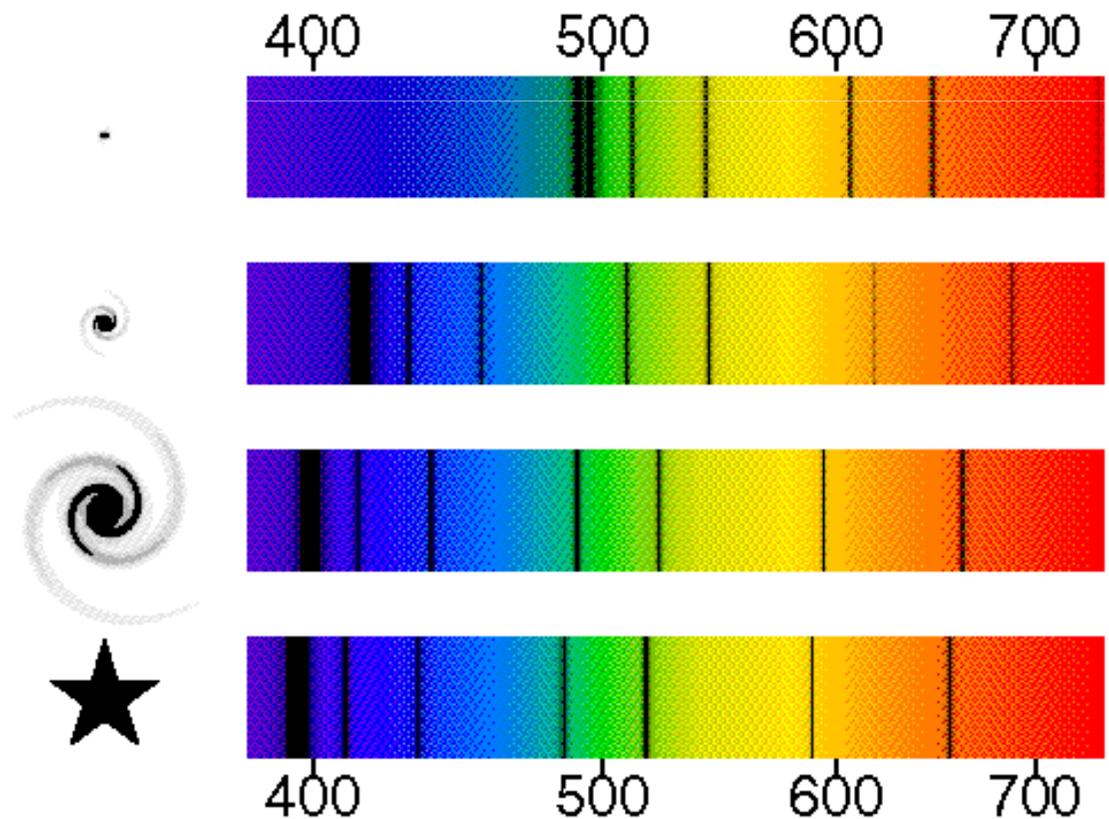
Nessuna delle idee proposte riuscì a spiegare questo paradosso (proposto da Olbers nel 1831).

Verso la fine del 1800 primi del 1900 vennero fatte alcune importanti scoperte.

Alcune stelle variabili (le cefeidi) hanno il periodo di variazione legato alla magnitudine assoluta.

Negli oggetti celesti sono osservabili delle righe spettrali caratteristiche degli elementi chimici noti sulla Terra

Nel 1912 si scoprì che le galassie presentano uno spostamento verso il rosso (**red shift**) delle righe spettrali.



La legge di Hubble

Intorno al 1920 Hubble riuscì a distinguere stelle Cefeidi di alcune galassie e ne determinò la distanza scoprendo che erano extragalattiche.

Nel 1929 propose di interpretare lo spostamento verso il rosso come effetto Doppler; mettendo in relazione la distanza d (determinata col metodo delle Cefeidi) e la velocità radiale v (determinata con lo spostamento verso il rosso).

Trovò la seguente legge (oggi nota come *Legge di Hubble*):

$$v = H_0 \cdot d,$$

dove H_0 è una costante detta *costante di Hubble*.

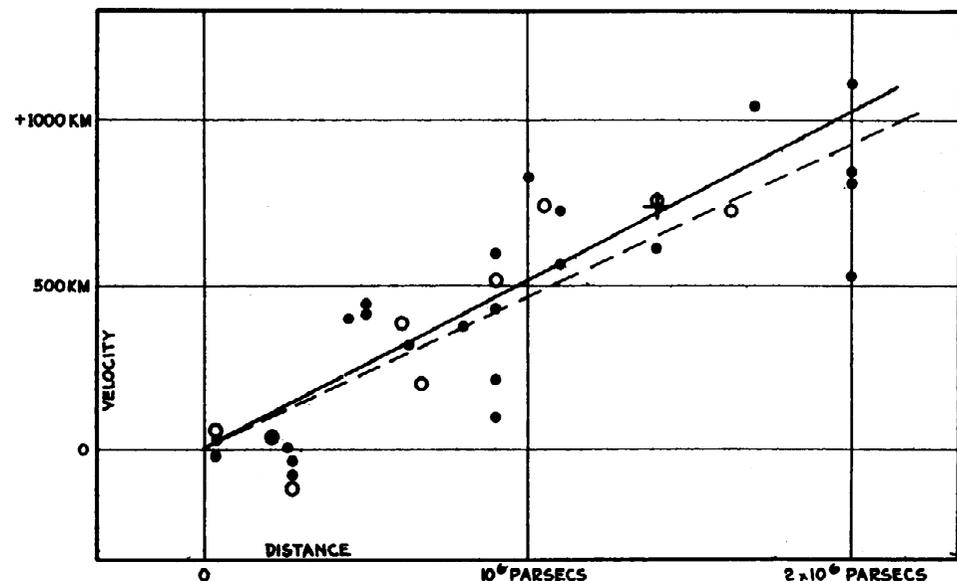


FIGURE 1
Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.

La legge di Hubble

Ciò indusse Hubble alla conclusione fondamentale per lo studio dell'Universo:

l'Universo si espande

Inizialmente Hubble stimò, $H_0 = 520$ km/s per Mpc,
cioè una galassia che si trova a 1 Mpc da noi,
si allontana alla velocità di 520 km/s.

La legge di Hubble

Per determinare il valore di H_0 è necessario misurare contemporaneamente la velocità e la distanza di diverse galassie.

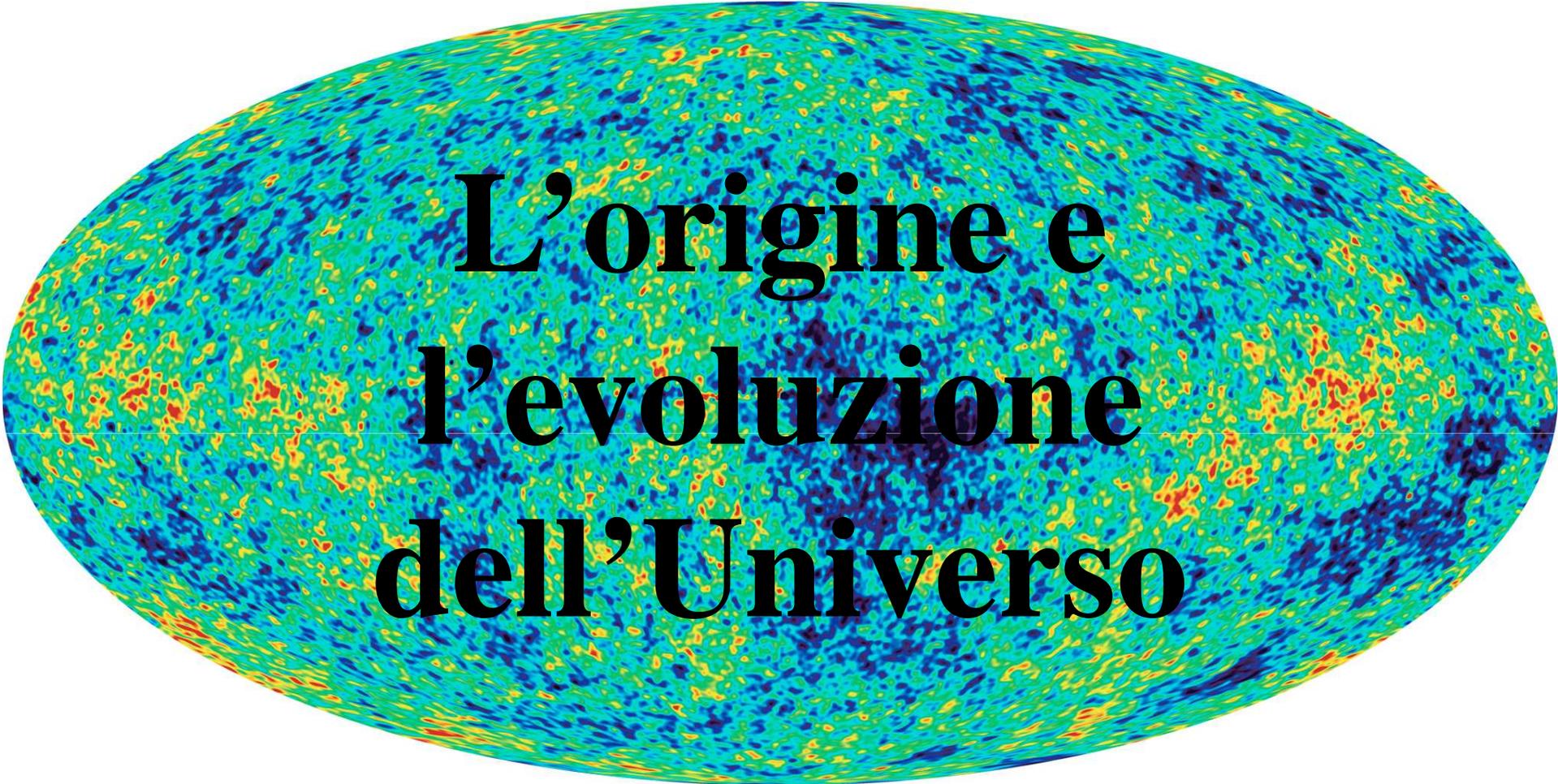
La velocità si determina sempre, in modo abbastanza preciso, dallo spostamento verso il rosso, per la distanza i metodi utilizzati danno risultati più incerti.

Il valore che oggi è ritenuto più vicino al vero è $H_0 = 70$ km/s per Mpc.

La costante di Hubble ha le dimensioni del reciproco di un tempo e tenendo conto delle unità di misura si ha: $H_0 = 2,3 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$

Da ciò si ricava un tempo $t = 1/H_0 = 4,4 \cdot 10^{17} \text{ s} \sim 14$ miliardi di anni (WMAP).

Se la velocità di espansione dell'Universo fosse stata sempre costante questa sarebbe la sua età!!!

A map of the Cosmic Microwave Background (CMB) showing temperature fluctuations across the sky. The map is an oval shape with a complex, noisy pattern of colors ranging from dark blue (cooler) to red and yellow (warmer). The text is centered over the map.

**L'origine e
l'evoluzione
dell'Universo**

L'origine e l'evoluzione dell'Universo

L'Universo è tenuto insieme dalla forza di gravità.

I modelli matematici che descrivono l'Universo fanno uso della teoria della relatività generale enunciata da Albert Einstein nel 1916.

Lo stesso Einstein notò che in tutti i modelli di Universo precedenti c'era un estremo “provincialismo”, nel senso che si era sempre cercato qualcosa da porre “al centro”.

In una memoria pubblicata nel 1917 Einstein richiese che la struttura dell'Universo non fosse data a priori ma scaturisse come soluzione dalle sue equazioni.

Non essendo ancora nota l'espansione dell'Universo, egli impose che la soluzione verificasse dei drastici criteri: doveva descrivere la distribuzione media della materia nell'Universo e doveva essere *omogenea e isotropa sia nello spazio che nel tempo*.

L'origine e l'evoluzione dell'Universo

Principi cosmologici

Alla base di tutte le teorie sull'evoluzione dell'Universo c'è il **principio cosmologico**.

Secondo tale principio la condizione di omogeneità spaziale richiede l'equivalenza per traslazione in tutti i punti dello spazio, mentre la condizione di isotropia l'equivalenza di tutte le direzioni spaziali.

L'origine e l'evoluzione dell'Universo

Principi cosmologici

Esistono due versioni di tale principio:

il principio cosmologico

su grandi scale l'Universo è con buona approssimazione omogeneo ed isotropo, non vi sono cioè posizioni o direzioni privilegiate

il principio cosmologico perfetto

su grandi scale l'Universo è con buona approssimazione omogeneo ed isotropo in ogni istante

ovvero, l'omogeneità e l'isotropia siano le stesse anche nel tempo.

L'origine e l'evoluzione dell'Universo

Modelli di Friedman

Nel 1929 Alexander Alexandrovich Friedman dimostrò che adottando il principio cosmologico esistevano delle soluzioni delle equazioni della Relatività Generale che presentavano un nuovo aspetto.

L'Universo doveva evolversi nel tempo

Nella soluzione di Friedman l'Universo deve:
o avere avuto un'origine da una singolarità;
o collassare verso una singolarità;
o soddisfare entrambe le situazioni.

L'origine e l'evoluzione dell'Universo

Modelli di Friedman

I modelli di Friedman descrivono tre possibili scenari di evoluzione dell'Universo.

In essi gioca un ruolo fondamentale il valore attuale della densità della materia nell'Universo, ρ_0 e il suo rapporto con la densità critica ρ_C .

$$\rho_C = \frac{3H_0^2}{8\pi G}$$

Tenendo conto dell'incertezza sul valore della costante di Hubble si ha:

$$\rho_C \sim 9,2 \cdot 10^{-27} \text{ kg/m}^3.$$

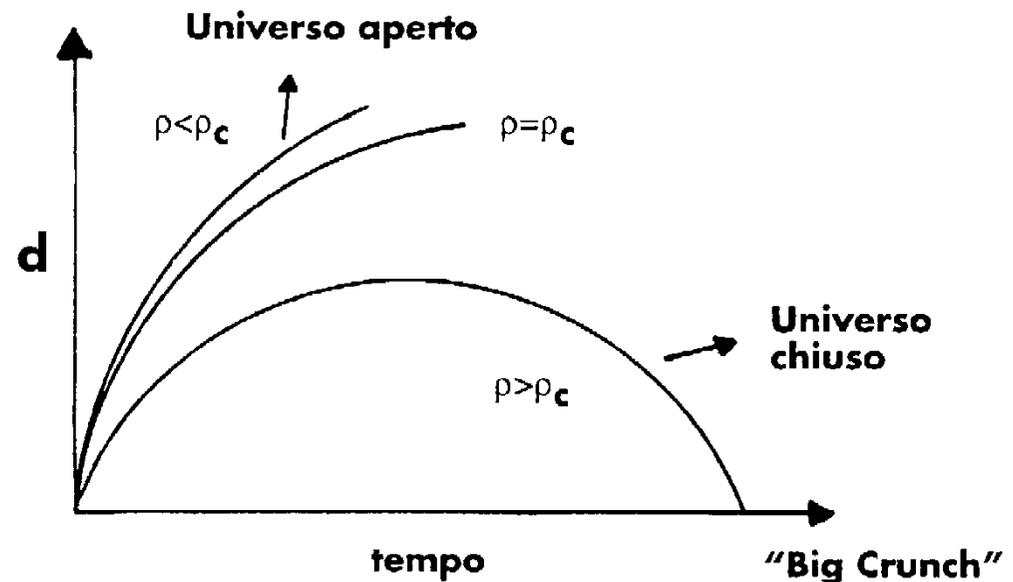
L'origine e l'evoluzione dell'Universo

Modelli di Friedman

Se $\rho_0 > \rho_c$, l'Universo si espanderà fino a raggiungere un raggio massimo R_{\max} dopo di che il moto si inverte fino a diventare un collasso. Si ha quindi un Universo chiuso e oscillante.

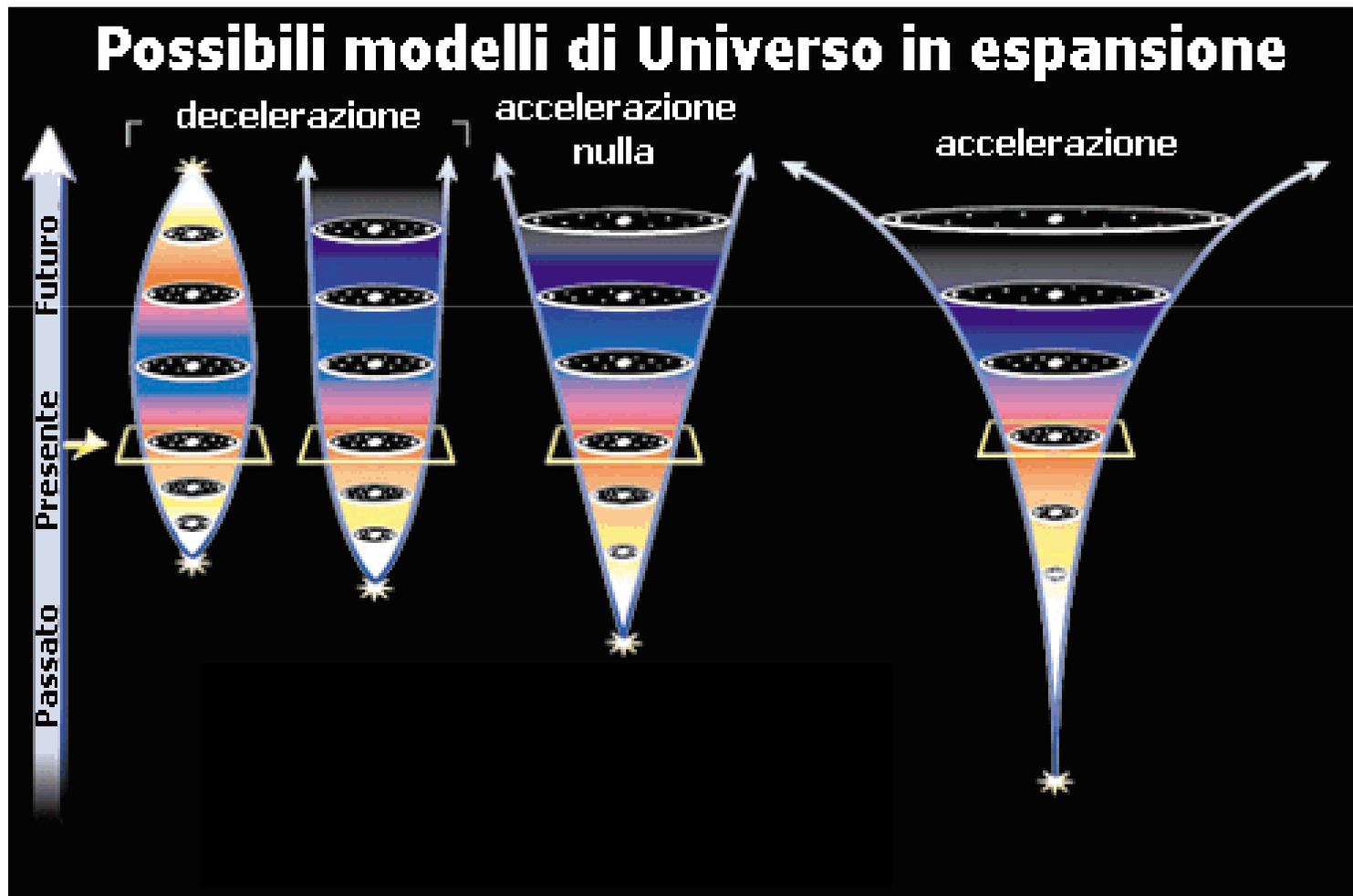
Se $\rho_0 = \rho_c$, l'Universo si espanderà fino all'infinito, ma con una velocità che tenderà a zero.

Se $\rho_0 < \rho_c$, le galassie tenderanno ad allontanarsi sempre più, anche quando l'Universo sarà infinitamente grande e diluito.



L'origine e l'evoluzione dell'Universo

Le misure fatte sulle supernove di tipo Ia, negli ultimi quindici anni hanno portato ad ipotizzare che l'Universo si sta espandendo accelerando.



L'origine e l'evoluzione dell'Universo

Rispetto a cosa si espande l'Universo? e quando è iniziata questa espansione ?

Consideriamo lo spazio come una fettuccia elastica sulla quale sono fissati, a varie distanze, dei segni a simulare la posizione delle galassie.

Tendendo l'elastico per gli estremi, le distanze tra questi segni aumentano, infatti, se ne prendiamo in considerazione uno allora le distanze degli altri aumentano.

Se cambiamo il punto di riferimento si ha ancora che le distanze dei segni dal nuovo riferimento aumentano.

In conclusione non esiste un segno privilegiato rispetto al quale gli altri si muovono, ma tutti vedono gli altri segni allontanarsi.

Si può dimostrare che ognuno vede gli altri segni muoversi con la stessa legge.



L'origine e l'evoluzione dell'Universo

Rispetto a cosa si espande l'Universo? e quando è iniziata questa espansione ?

Consideriamo lo spazio come una fettuccia elastica sulla quale sono fissati, a varie distanze, dei segni a simulare la posizione delle galassie.

Tendendo l'elastico per gli estremi, le distanze tra questi segni aumentano, infatti, se ne prendiamo in considerazione uno allora le distanze degli altri aumentano.

Se cambiamo il punto di riferimento si ha ancora che le distanze dei segni dal nuovo riferimento aumentano.

In conclusione non esiste un segno privilegiato rispetto al quale gli altri si muovono, ma tutti vedono gli altri segni allontanarsi.

Si può dimostrare che ognuno vede gli altri segni muoversi con la stessa legge.



L'origine e l'evoluzione dell'Universo

Rispetto a cosa si espande l'Universo? e quando è iniziata questa espansione ?

Consideriamo lo spazio come una fettuccia elastica sulla quale sono fissati, a varie distanze, dei segni a simulare la posizione delle galassie.

Tendendo l'elastico per gli estremi, le distanze tra questi segni aumentano, infatti, se ne prendiamo in considerazione uno allora le distanze degli altri aumentano.

Se cambiamo il punto di riferimento si ha ancora che le distanze dei segni dal nuovo riferimento aumentano.

In conclusione non esiste un segno privilegiato rispetto al quale gli altri si muovono, ma tutti vedono gli altri segni allontanarsi.

Si può dimostrare che ognuno vede gli altri segni muoversi con la stessa legge.



L'origine e l'evoluzione dell'Universo

Rispetto a cosa si espande l'Universo? e quando è iniziata questa espansione ?

Consideriamo lo spazio come una fettuccia elastica sulla quale sono fissati, a varie distanze, dei segni a simulare la posizione delle galassie.

Tendendo l'elastico per gli estremi, le distanze tra questi segni aumentano, infatti, se ne prendiamo in considerazione uno allora le distanze degli altri aumentano.

Se cambiamo il punto di riferimento si ha ancora che le distanze dei segni dal nuovo riferimento aumentano.

In conclusione non esiste un segno privilegiato rispetto al quale gli altri si muovono, ma tutti vedono gli altri segni allontanarsi.

Si può dimostrare che ognuno vede gli altri segni muoversi con la stessa legge.



L'origine e l'evoluzione dell'Universo

L'espansione dello spazio-tempo e l'età finita dell'Universo fanno sì che lo spazio da cui riceviamo luce (sempre più spostata verso il rosso man mano che ci allontaniamo) sia finito (una sfera di raggio pari a 14 miliardi di anni luce).

Ciò risolve il paradosso di Olbers.

L'origine e l'evoluzione dell'Universo

Il modello del Big Bang

Intorno al 1940 George Gamow pose le basi per il modello del *Big Bang* .

Egli stava ricercando i luoghi nell'Universo caldi dove potessero aver luogo le reazioni nucleari che portano alla formazione degli elementi chimici.

Compresse che risalendo indietro nel tempo la materia dell'Universo sarebbe stata più compressa e molto calda tanto da poter realizzare le condizioni per la sintesi dei nuclei atomici pesanti.

Calcolò come ciò potesse avvenire a partire dal nucleo dell'atomo di idrogeno.

Tale idea si rivelò sbagliata, solo l'elio (e un po' di litio) si formano in un tempo sufficientemente rapido da poter essere prodotto in grande quantità nei primi istanti dell'Universo.

Circa il 25 per cento dell'idrogeno inizialmente presente si convertì in elio nei primi 3 minuti, e praticamente tutto l'elio oggi esistente deriva da quei primi istanti.

L'origine e l'evoluzione dell'Universo

Il modello del Big Bang

Fred Hoyle, sostenitore della teoria dello stato stazionario, negli anni '40 antagonista del big bang, dimostrò che gli elementi più pesanti dell'elio potevano formarsi all'interno delle stelle.

La prova decisiva per la teoria del *Big Bang* fu la scoperta nel 1965 da parte di Penzias e Wilson della *radiazione cosmica di fondo*, ossia di una radiazione proveniente da tutte le parti del cosmo e che rappresenta il resto del *big bang*.

Questa radiazione di fondo ha un'emissione tipica di un corpo nero a 2,7 K).

Le odierne teorie sulle particelle elementari ci permettono di realizzare un quadro ragionevole sui primi istanti dell'Universo.

FERMIONI

I fermioni sono le particelle che costituiscono la materia presente nell'Universo.

I fermioni si dividono in leptoni e quark a seconda se sono o no soggetti alla forza forte.

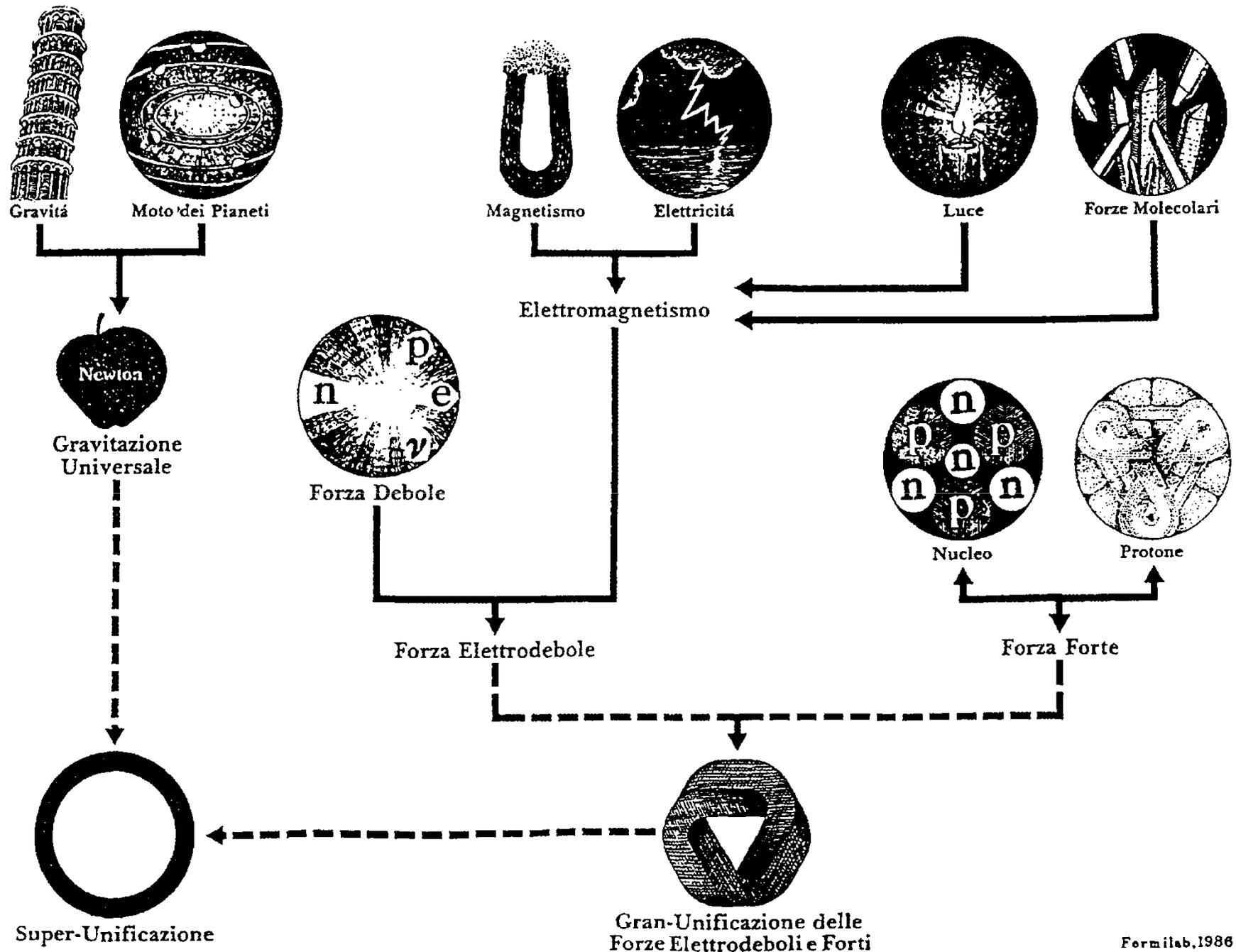
	Leptoni		Quark	
Prima generazione	Elettrone	Neutrino	Up	Down
Seconda generazione	Mu	Neutrino mu	Charm	Strange
Terza generazione	Tau	Neutrino tau	Top	Bottom

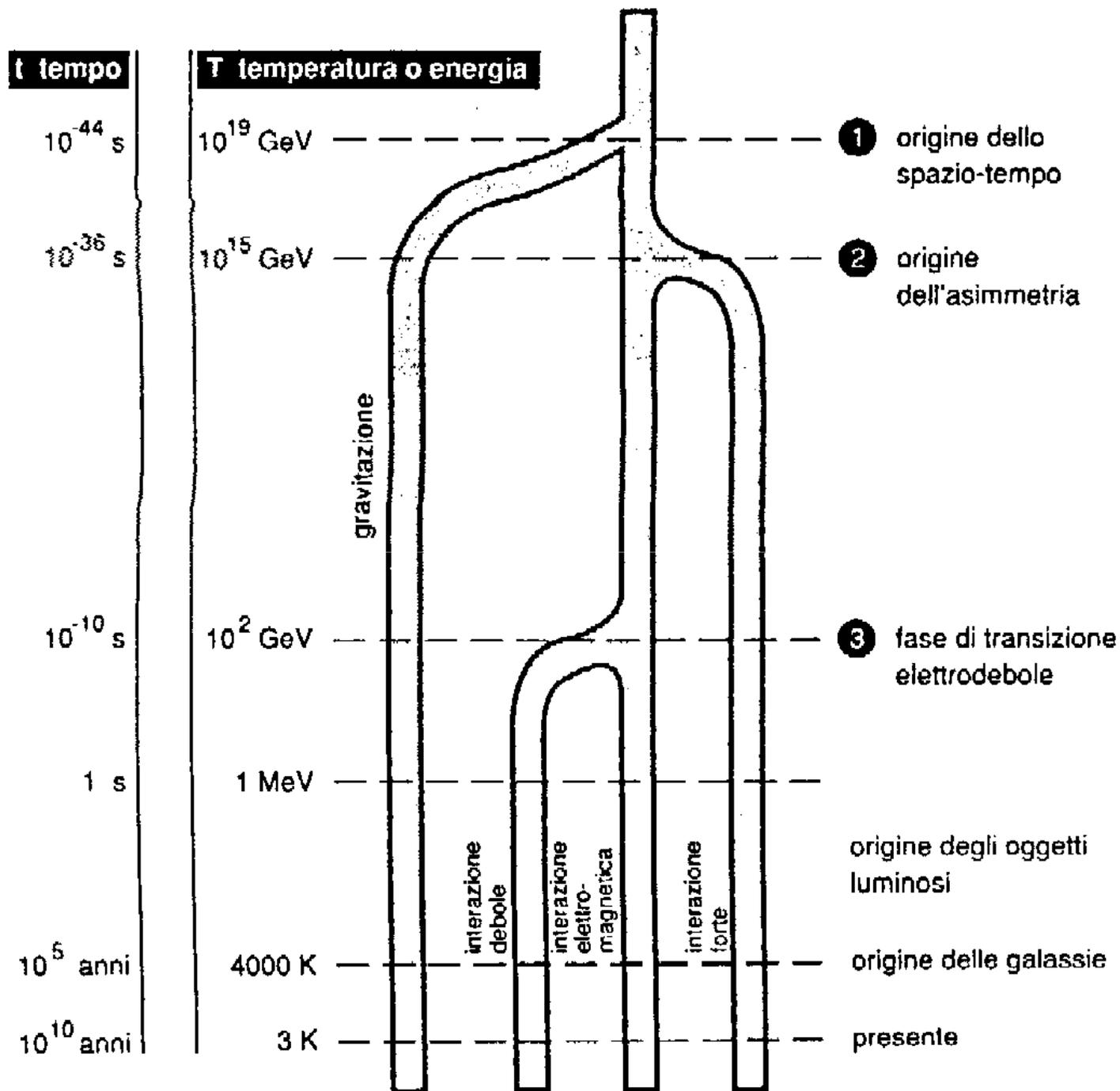
BOSONI

I bosoni sono le particelle responsabili delle interazioni. Quando una particella materiale emette un bosone modifica il suo stato e determina una modifica anche dello stato di una seconda particella materiale che assorbe il bosone; in questo modo tra le due particelle si è avuta una interazione.

I bosoni sono :

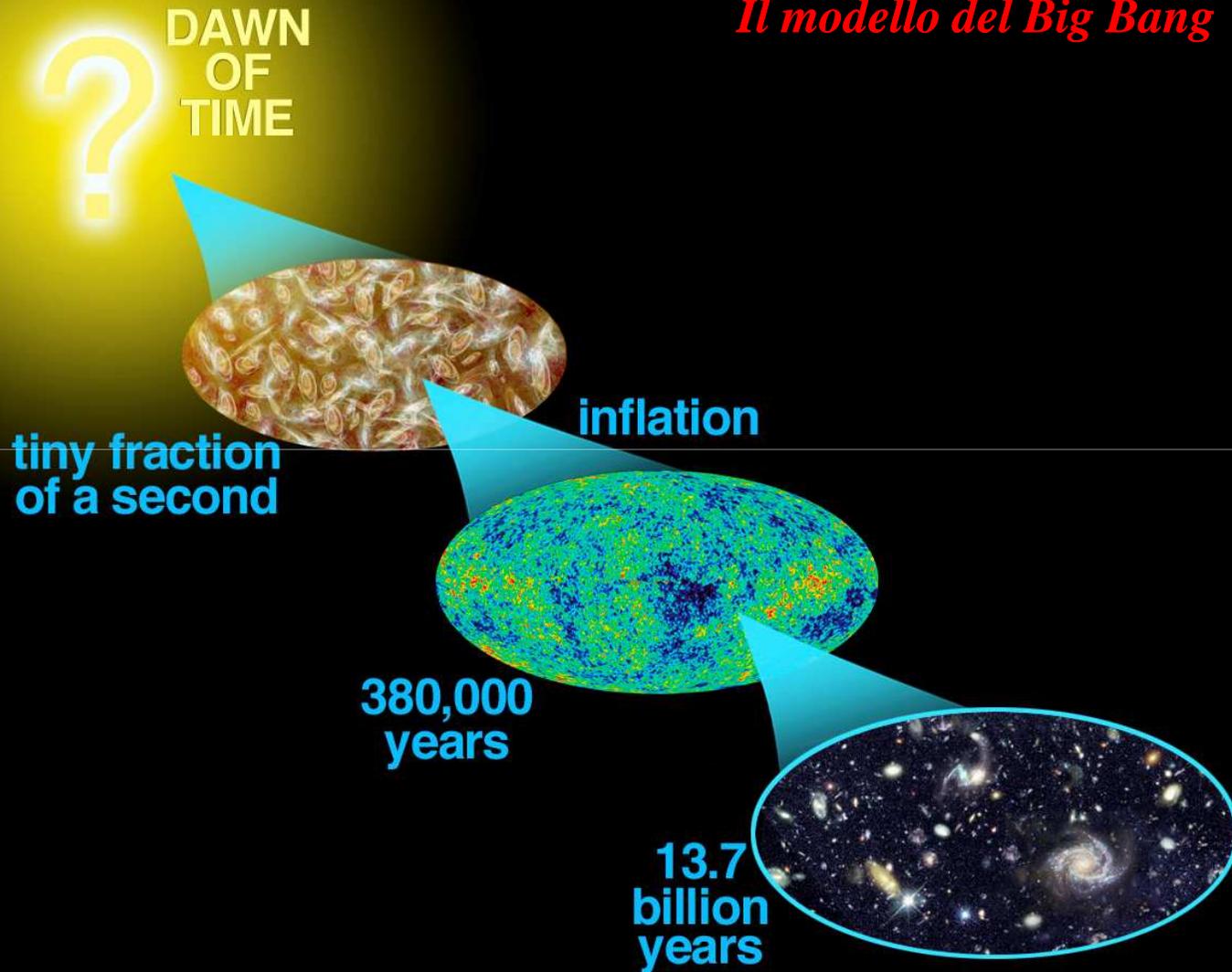
PARTICELLA	INTERAZIONE
Gluoni	Forte
Bosoni vettoriali (elettrodeboli)	Debole
Fotone	Elettromagnetica
Gravitone	Gravitazionale





L'origine e l'evoluzione dell'Universo

Il modello del Big Bang



Storia dell'Universo

Tempo cosmico	Temperatura	Energia per particella	Eventi
0s			Avviene il big bang . Può darsi che la singolarità fosse un punto; certamente l'Universo era molto piccolo. Da questo momento esso inizia a espandersi. Forse l'energia totale era (ed è) nulla.
10^{-43} s	$5 \cdot 10^{31}$ K	$6 \cdot 10^{18}$ GeV	<p>È il cosiddetto tempo di Planck.</p> <p>Può essere considerato come l'istante in cui vengono "create" le particelle elementari attuali.</p> <p>Prima di questo momento l'interpretazione comune dello spazio-tempo non aveva senso. Non aveva forse neanche senso parlare di particelle.</p> <p>E' possibile che per tempi più piccoli del tempo di Planck si sia avuta anche l'unificazione della forza Grandunificata con quella gravitazionale.</p>

Storia dell'Universo

Tempo cosmico	Temperatura	Energia per particella	Eventi
10^{-35} s	$5 \cdot 10^{27}$ K	$6 \cdot 10^{14}$ GeV	<p>Termina l'unificazione dell'interazione forte con quella elettrodebole.</p> <p>Prima di questo istante l'Universo è come un gas (alcuni parlano di zuppa) formato di quark, leptoni, antiquark, antileptoni e bosoni X (tra cui i fotoni).</p> <p>Le particelle X sarebbero i bosoni intermedi mediatori della forza di Grande Unificazione, cioè la forza che unificerebbe la forza elettrodebole con quella forte.</p> <p>Si può pensare che in quegli istanti esistesse un solo tipo di materia (il <i>lepto-quark</i>) e una sola forza, la forza Grandunificata.</p> <p>Tra 10^{-35} s e 10^{-32} s ha luogo l'<i>era dell'inflazione</i> durante la quale l'Universo si espande di un fattore circa 10^{40}.</p>
10^{-10} s	$1,5 \cdot 10^{15}$ K	200 GeV	<p>Termina l'unificazione della forza elettromagnetica con quella debole. Dopo quest'istante la forza debole e quella elettromagnetica sono molto diverse l'una dall'altra.</p>

Storia dell'Universo

Tempo cosmico	Temperatura	Energia per particella	Eventi
10^{-6} s	$1,5 \cdot 10^{13}$ K	2 Gev	<i>Bariogenesi</i> Fino a questo istante si poteva parlare di quark come di particelle libere. Ora i quark si uniscono in tripletti per formare i barioni (protoni e neutroni) e gli antiquark si uniscono per formare antibarioni.
10^{-4} s	$1,5 \cdot 10^{12}$ K	200 Mev	<i>Annichilazione protone-antiprotone.</i> Come risultato dell'annichilazione protone-antiprotone e della successiva elettrone-positrone, si ha la scomparsa dell'antimateria, lasciando un numero (relativamente limitato) di protoni ed elettroni.

Storia dell'Universo

Tempo cosmico	Temperatura	Energia per particella	Eventi
1,1 s	$1,4 \cdot 10^{10}$ K	2 Mev	<i>Disaccoppiamento dei neutrini.</i> L'energia media dei neutrini è diminuita, non interagiscono più con il resto della materia e diventano indipendenti.
14 s	$4 \cdot 10^9$ K	0,5 Mev	<i>Annichilazione delle coppie $e^+ e^-$.</i> Si ha contemporaneamente un aumento del numero di fotoni. Inizia l' <i>era della radiazione.</i>
200 s	$1 \cdot 10^9$ K	140 kev	<i>Nucleosintesi.</i> L'intervallo tra 1 e 100 s corrisponde alla scala delle energie "giusta" per la nucleosintesi primordiale. Si forma l'elio, tracce di litio e di berillio.

Storia dell'Universo

Tempo cosmico	Temperatura	Energia per particella	Eventi
30 minuti	$3 \cdot 10^8$ K	45 keV	<p>L'Universo contiene principalmente fotoni e neutrini. Sono presenti piccole quantità di materia, composta in peso per il 24% di elio e per il 76% di protoni. Non ci sono quasi più neutroni liberi.</p> <p>Inizia l'<i>era della materia</i> (prosegue fino a oggi).</p> <p>Non si possono ancora formare gli atomi: ogni volta che un protone cattura un elettrone e forma un atomo di idrogeno, poco dopo avviene una collisione con un fotone che rompe l'atomo.</p>

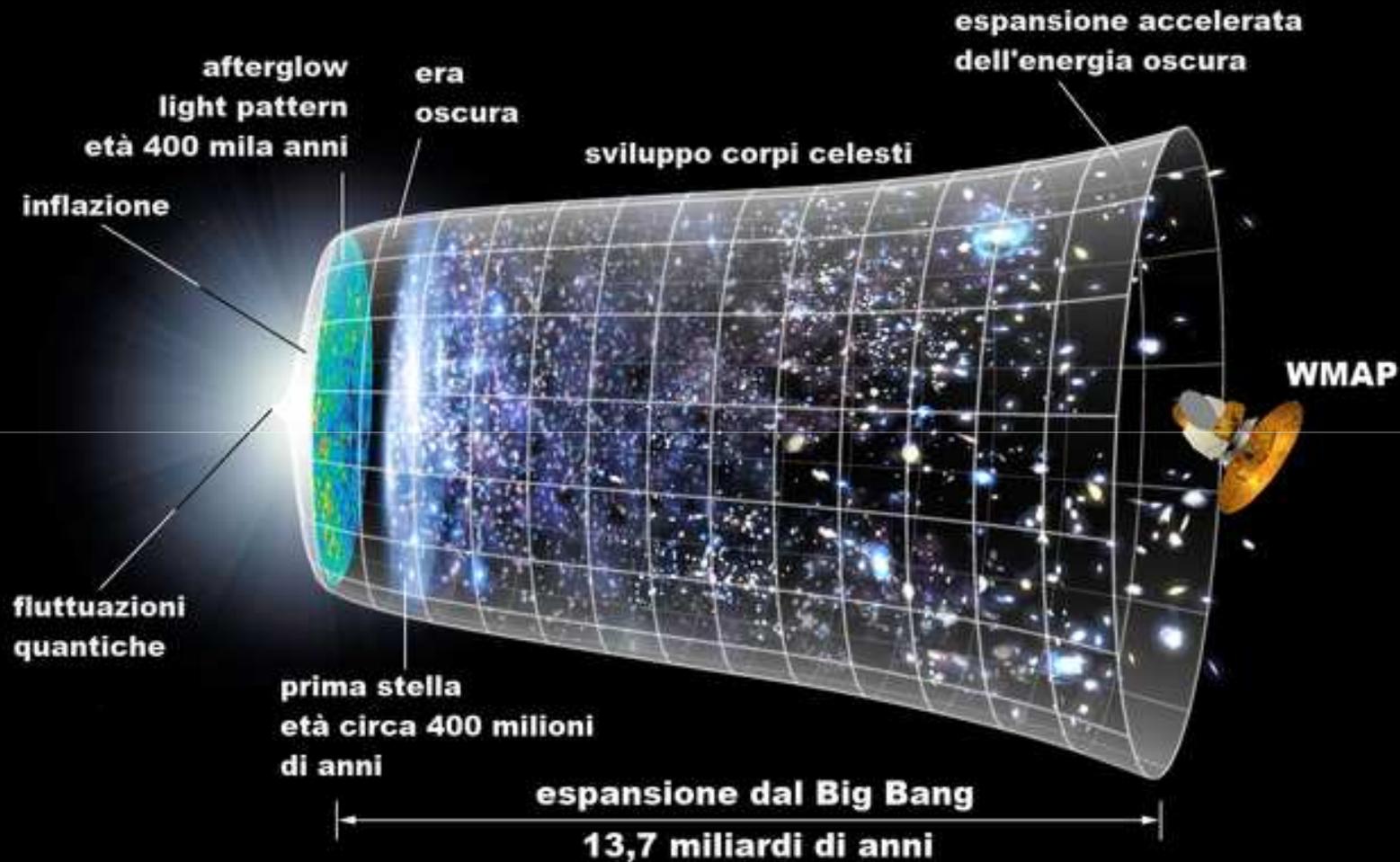
Storia dell'Universo

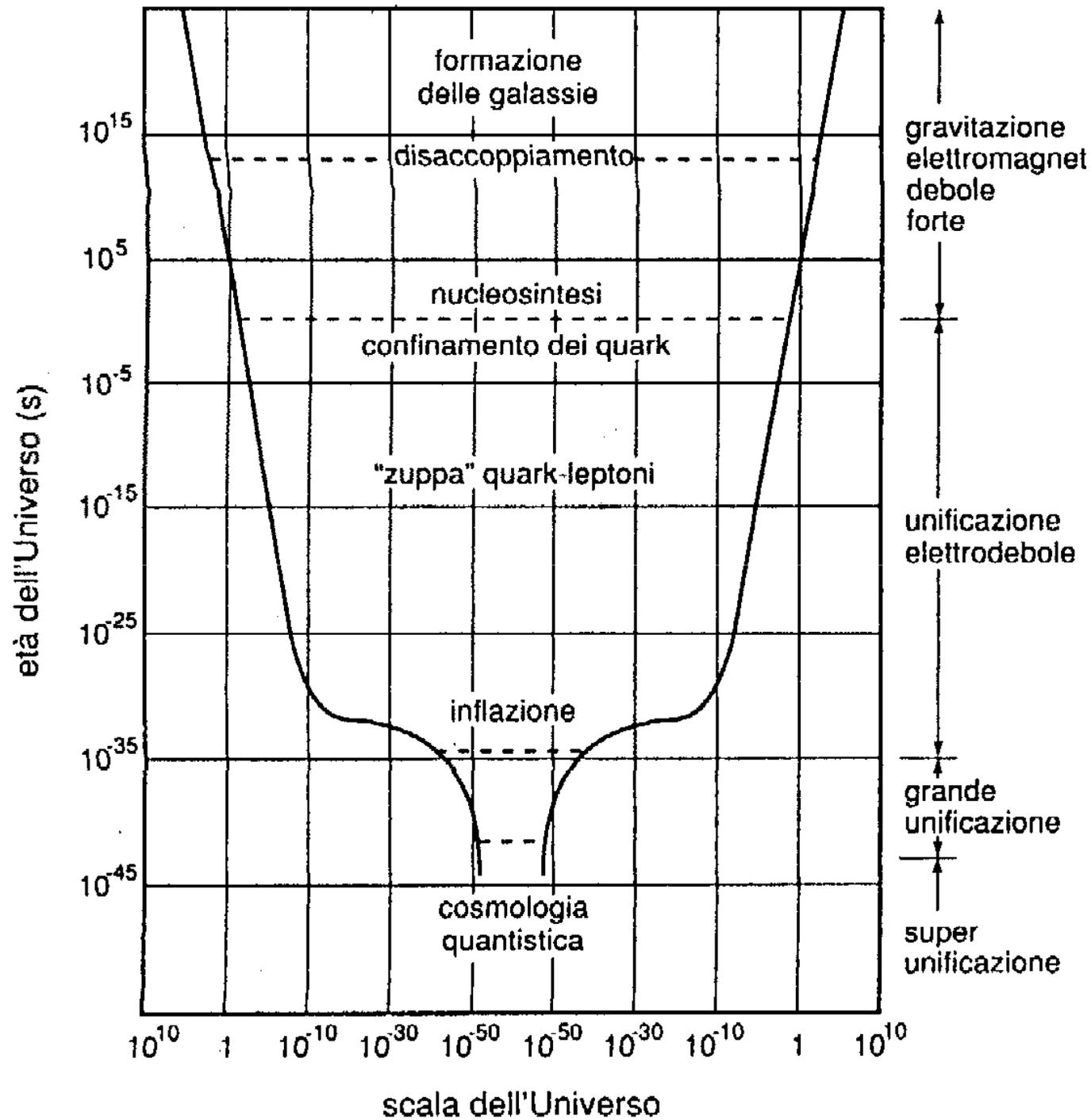
Tempo cosmico	Temperatura	Energia per particella	Eventi
$3,8 \cdot 10^5$ anni	4.000 K	0,5 eV	<p><i>Formazione degli atomi.</i></p> <p>L'energia dei fotoni è diventata così bassa che non sono più in grado di distruggere gli atomi che si vanno formando.</p> <p>L'Universo diventa trasparente alla radiazione elettromagnetica, che da questo momento si disaccoppia dalla materia.</p> <p>Un fotone interagisce con una carica elettrica, quale quella dell'elettrone, ma interagisce molto poco con un atomo neutro.</p> <p>Un elettrone che si unisce a un protone per formare un atomo di idrogeno non avverte quasi più i fotoni e interagisce principalmente con il campo elettrico del protone.</p> <p>È questo l'istante in cui viene emessa l'energia che oggi vediamo come <i>radiazione cosmica di fondo.</i></p>

Storia dell'Universo

Tempo cosmico	Temperatura	Energia per particella	Eventi
$5 \cdot 10^8$ anni			<p><i>Formazione delle prime stelle nelle prime galassie.</i></p> <p>Si formano le prime stelle (osservate dal Keck) in lontanissime galassie.</p> <p>Le disomogeneità presenti nella distribuzione della materia permette il formarsi delle prime stelle in immense strutture che sono le galassie primordiali.</p>
10^{10} anni			<p>Si forma la nube stellare dalla quale nasceranno il nostro Sole e i suoi pianeti.</p> <p>Il materiale raccolto dalla nostra nube contiene in prevalenza idrogeno ed elio, sono presenti anche quantità importanti di materiali come il ferro, sintetizzati in precedenza in una stella massiccia che poi è esplosa.</p>
$1,4 \cdot 10^{10}$ anni	2,7 K		<p>Oggi.</p> <p>Circa un milione di anni fa si sviluppa l'<i>homo sapiens</i> che successivamente inizia a domandarsi come è fatto l'Universo.</p>

Storia dell'Universo



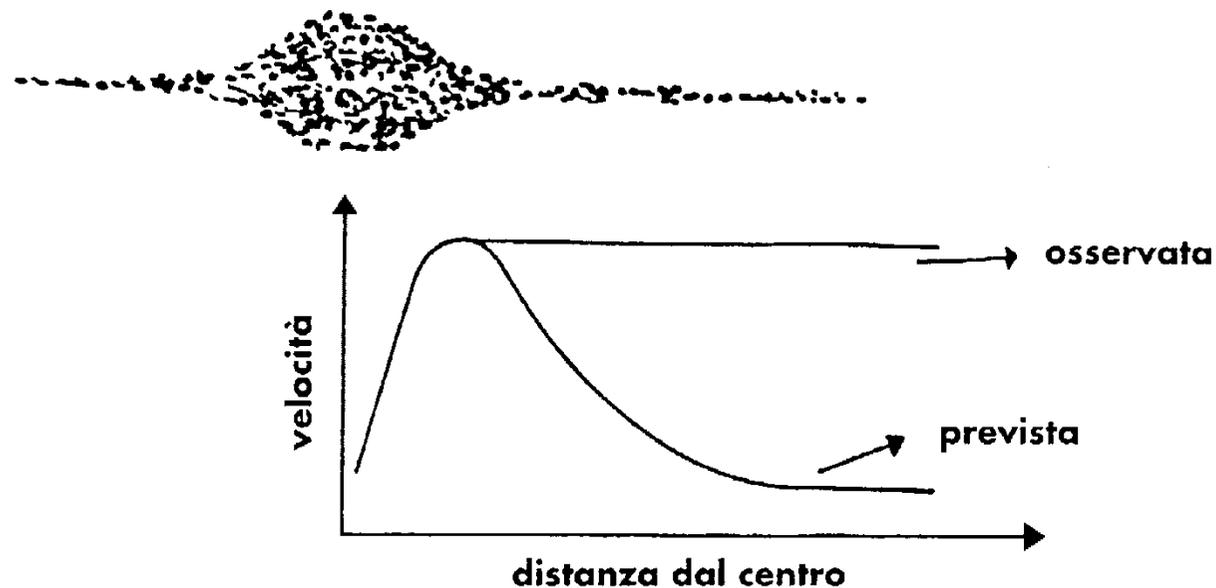


La misura della densità media dell'Universo

In linea di principio non è difficile effettuare tale misura: basta prendere un volume abbastanza grande di Universo e contare quante galassie vi sono racchiuse. Sapendo qual è la massa media di ogni galassia, si arriva abbastanza facilmente a calcolare la densità dell'Universo.

La massa di una galassia tipica può essere stimata misurando la radiazione totale prodotta dalle sue stelle (*massa luminosa*).

Le osservazioni ci dicono che la densità della materia visibile è minore del valore critico.



La misura della densità media dell'Universo

La massa luminosa potrebbe essere solo una piccola parte della materia esistente; la materia si raggruppa anche in nane brune, in pianeti, in buchi neri, o in qualche strana forma di particelle e la nostra stima sarebbe in difetto.

Studiando il moto delle stelle e del gas in una galassia a spirale ci si accorge che considerando solo la massa luminosa, le stelle più lontane dal nucleo dovrebbero ruotare più lentamente (come avviene nel Sistema Solare).

L'andamento della velocità dovrebbe essere proporzionale a $R^{-1/2}$.

Le velocità misurate a varie distanze dal nucleo delle galassie a spirale sono pressoché costanti: ciò suggerisce l'esistenza di altra massa, che per ovvi motivi viene chiamata *materia oscura* o *massa mancante*.

Le osservazioni indicano che essa è circa dieci volte la materia luminosa.

Anche quando si valuta il moto di una galassia in un ammasso otteniamo delle prove che indicano che la maggior parte della massa è oscura.

La composizione di tale massa è tuttora ignota e costituisce un campo attivo di ricerca per la cosmologia.

L'omogeneità della radiazione cosmica di fondo

La misura della radiazione cosmica di fondo ha dimostrato che essa è molto omogenea e ciò comporta alcune difficoltà.

Per prima cosa non è possibile che diverse zone dell'Universo abbiano avuto il tempo di “scambiarsi” informazioni e quindi non hanno potuto assumere valori di densità, pressione e temperatura comuni.

Il tempo per scambiare informazioni è quello impiegato dalla luce per viaggiare da una regione a un'altra.

Consideriamo due regioni distanti da noi 10 miliardi di anni luce, in direzioni opposte, e cioè alla distanza tra loro di 20 miliardi di anni luce; la luce partita da una di esse non ha fatto in tempo a raggiungere l'altra.

Segue che ogni parte dell'Universo si sarebbe dovuta evolvere in maniera indipendente conservando la propria identità e senza mescolarsi col resto. Oggi dovremmo vedere delle grandi differenze guardando in direzioni opposte di cielo mentre vediamo invece una grande uniformità.

L'omogeneità della radiazione cosmica di fondo

Un'altra questione riguarda la distribuzione della materia dell'Universo: le galassie si addensano in ammassi che a loro volta formano delle strutture più complesse che fanno sembrare l'Universo una grande groviera, un insieme di grandi vuoti dalle dimensioni di 400-500 milioni di anni luce di diametro le cui pareti sono tappezzate da galassie.

Gli scienziati ritengono che i semi di questa struttura dovevano essere presenti fin dai primi istanti di vita dell'Universo e quindi essere osservati come delle irregolarità nella radiazione cosmica di fondo.

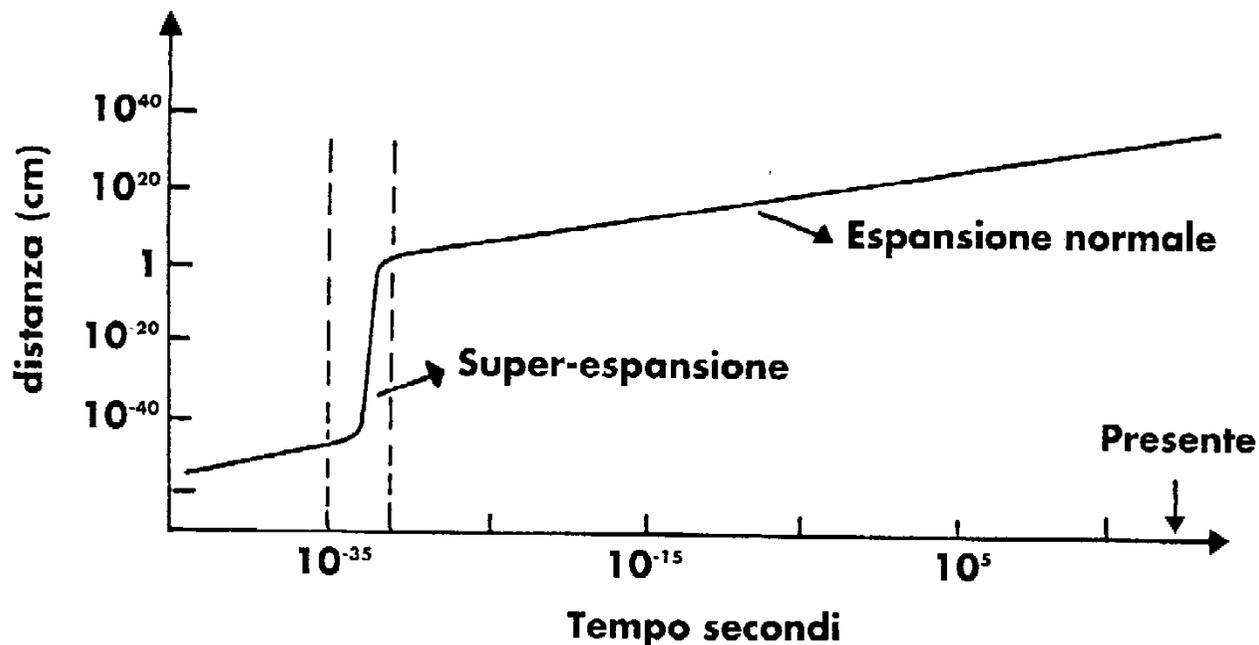
Solo ultimamente misure nell'infrarosso fatte con delle sonde montate su palloni aerostatici lanciati nell'Antartide e quelle fatte dalla sonda WMAP hanno dimostrato delle increspature nella distribuzione della radiazione cosmica di fondo che potrebbero spiegare la struttura attuale dell'Universo.

Teoria dell'Universo inflazionario

Una teoria che ha cercato di dare una risposta a questi problemi è la cosiddetta *teoria dell'Universo inflazionario*.

Si fa uso di conoscenze di fisica delle particelle e di idee derivanti dai tentativi di unificare tutte le quattro forze fondamentali della natura.

Si suppone che l'Universo, appena dopo il *big bang*, abbia subito una fase di “super-espansione”, durata una minuscola frazione di secondo, in cui le dimensioni dell'Universo sono aumentate in un modo eccezionale.



Teoria dell'Universo inflazionario

Immaginiamo l'Universo neonato come un insieme di piccole sferette di dimensioni uguali alla distanza che la luce ha percorso dal *big bang*.

Ogni sferetta è diversa dalle altre, ma una singola sferetta è omogenea e uniforme, perché è così piccola che la luce ha avuto il tempo di attraversarla.

Supponiamo adesso che una di queste sferette si super-espanda ad un ritmo maggiore di quello della luce (questo non è in contraddizione con la teoria della relatività, che proibisce ai *segnali* di avere velocità più grandi di quelle della luce).

Alla fine del processo l'espansione torna al ritmo normale previsto dal *big bang* classico.

Quella che una volta era la minuscola sferetta potrebbe essere adesso il nostro Universo. A noi quindi sembra che zone diverse del cosmo non siano mai state in comunicazione tra loro, secondo la teoria dell'inflazione per un tempo infinitesimo, poco dopo il *big bang*, le varie regioni dell'Universo si sono “parlate”, accordandosi sui valori di densità, pressione e temperatura da assumere.

La teoria dell'Universo inflazionario risolve anche il problema di come mai la densità media dell'Universo sia così vicina a quella critica.

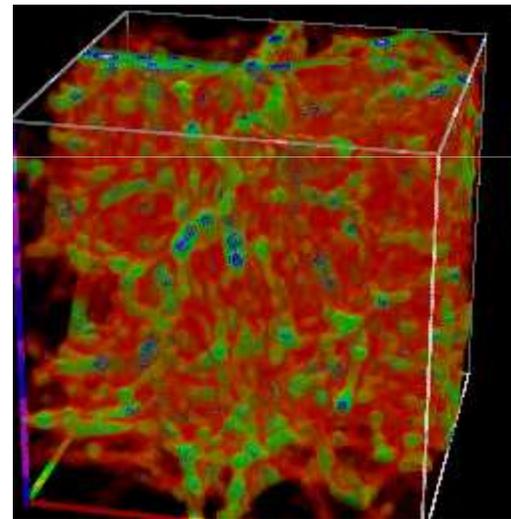
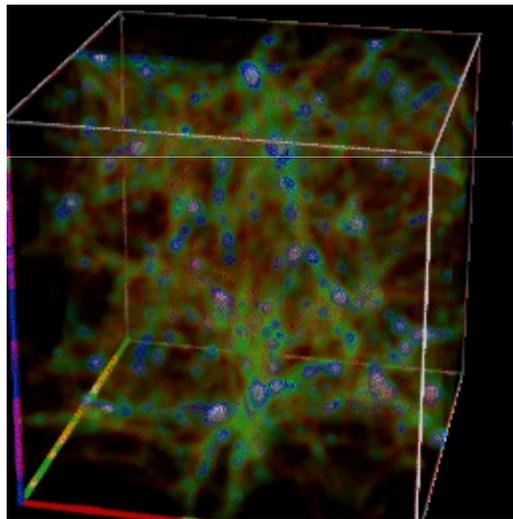
I risultati della sonda WMAP ci danno oggi un quadro dell'Universo di questo tipo:

- ✿ la prima generazione di stelle che ha brillato nell'universo ha preso vita 500 milioni di anni dopo il Big Bang
- ✿ l'età dell'Universo è circa 14 miliardi di anni
- ✿ la teoria del Big Bang e dell'inflazione continuano a mostrarsi vere
- ✿ il contenuto dell'Universo include un 4% di atomi (materia ordinaria), un 23% di uno sconosciuto tipo di materia oscura ed un 73% di una misteriosa “energia oscura” che agisce come una sorta di antigravità.



LA MATERIA OSCURA

Ormai si è certi della sua esistenza, anche se non ne conosciamo la natura. Probabilmente è la responsabile della non omogeneità della radiazione cosmica di fondo e quindi dell'Universo attuale.



Due simulazioni della distribuzione di materia oscura negli ammassi di galassie. Negli ultimi anni sono state compiute numerose simulazioni di questo tipo, per studiare gli effetti gravitazionali della materia oscura sulla dinamica delle galassie e degli ammassi e sulla formazione di strutture a larga scala, confrontando la teoria delle simulazioni con le osservazioni dello spazio profondo.

(Pittsburgh Supercomputing Center - PSC)

FINE