

Corso di aggiornamento UNICAM
Camerino (MC)
23 marzo 2011

L'Universo

dalle galassie alle teorie
sull'origine dell'Universo





**L'UNIVERSO
OSSERVABILE**

LE GALASSIE

LE GALASSIE

Con il termine galassia i greci indicavano la Via Lattea, quella striscia lattescente che attraversa il nostro cielo notturno e ben visibile sotto cieli sufficientemente bui.

La Via Lattea nel Sagittario

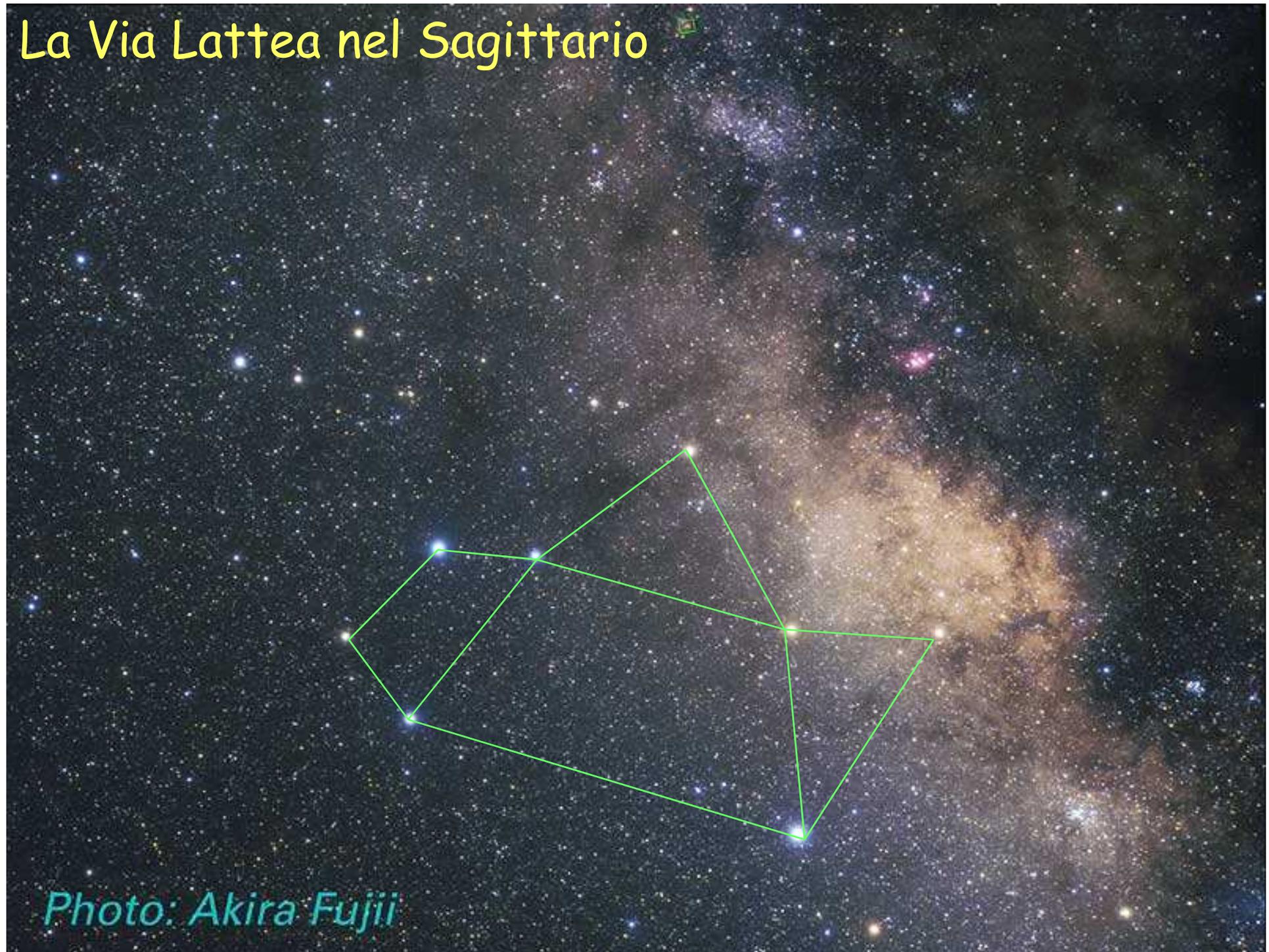
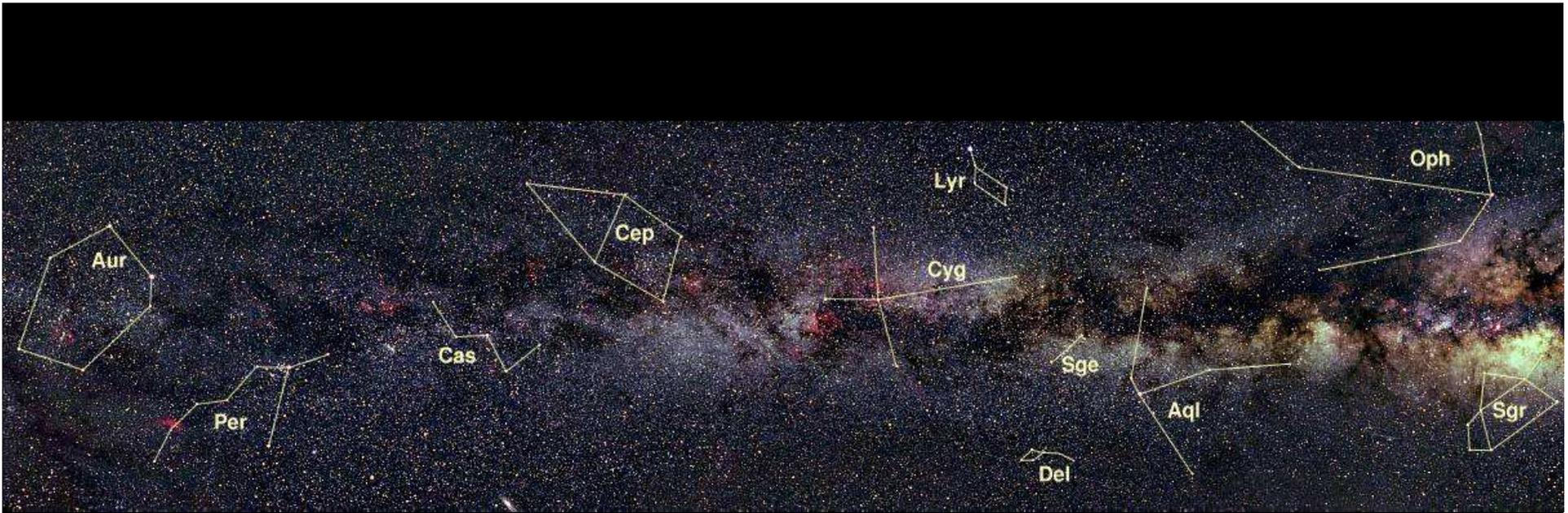
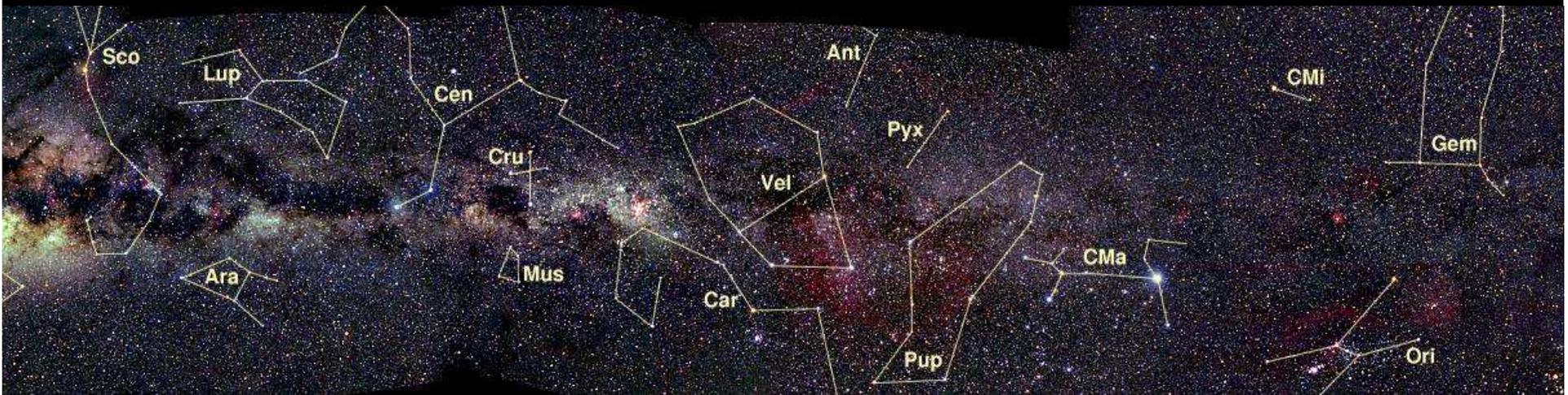


Photo: Akira Fujii



La Galassia vista dalla Terra



LE GALASSIE

Oggi con questo termine indichiamo dei sistemi composti da gas, polveri, stelle, pianeti, . . . tenuti insieme dalla forza di gravità.

Il Sole fa parte di una galassia chiamata Galassia di cui la Via Lattea è la parte visibile dalla Terra.

Agli inizi del 1900 ancora non si era stabilita la natura delle nebulose visibili nel cielo attraverso i telescopi.

LE GALASSIE

Il diametro delle galassie va da alcune decine fino a centinaia di migliaia di anni luce.

Le stelle che compongono le galassie hanno un moto di rotazione intorno al centro.

Dalle misure di velocità delle stelle ci si è accorti che nelle galassie c'è molta più materia di quella che si vede (MATERIA OSCURA).

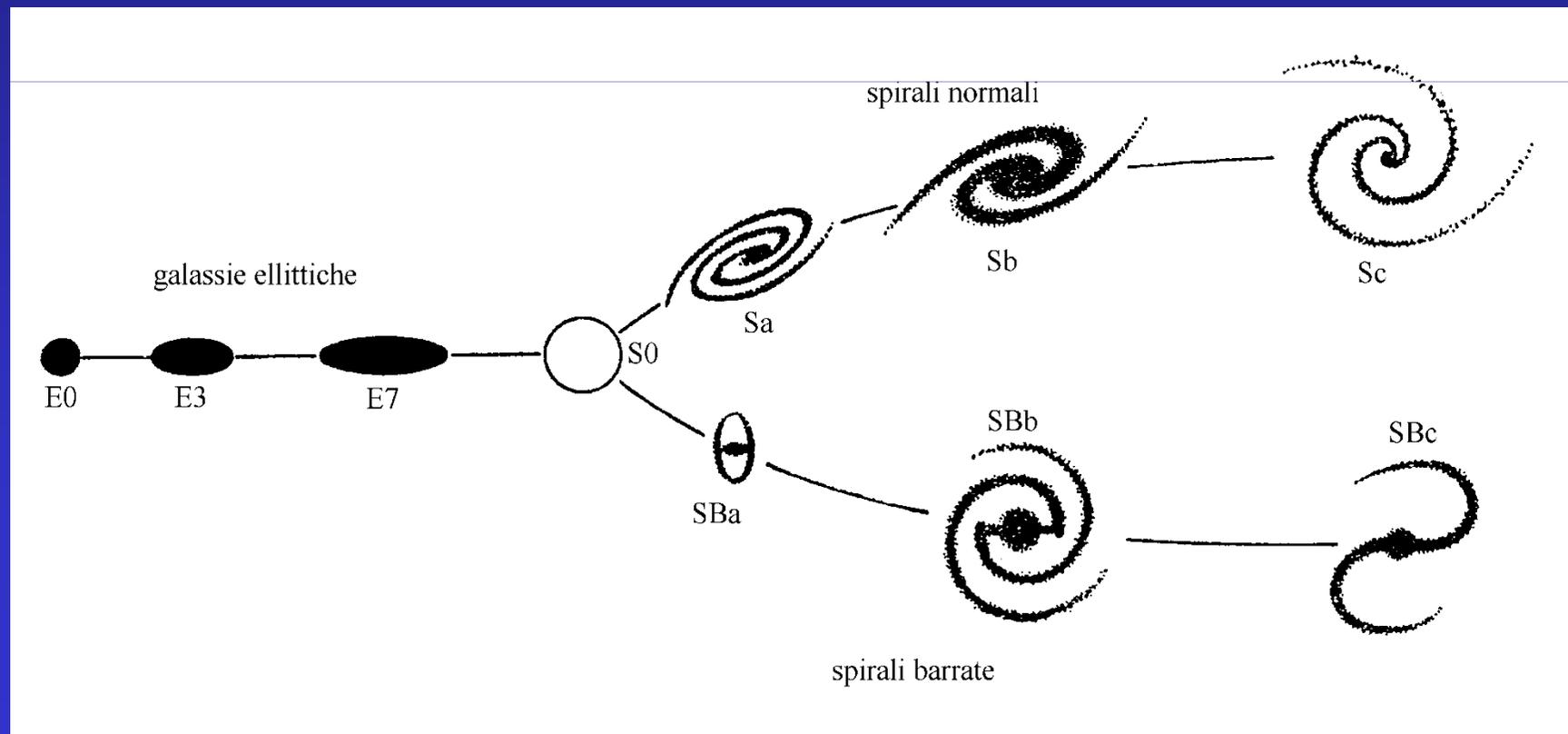
CLASSIFICAZIONE DELLE GALASSIE

Tra il 1924 e il 1926 Edwin Hubble, con il telescopio di 2,54 m dell'Osservatorio di Mount Wilson in California, ottenne delle foto della nebulosa di Andromeda nelle quali erano evidenti le stelle che formano i bracci della spirale.

CLASSIFICAZIONE DELLE GALASSIE

Successivamente altre nebulose furono risolte in stelle ed anche esse furono chiamate galassie.

Hubble propose una classificazione delle galassie ancora oggi utilizzata: le divise in tre tipi fondamentali: ellittiche (E); a spirale (S); irregolari (I).



GALASSIE ELLITTICHE

Sono così chiamate per la loro forma ellittica o circolare.

Sono composte da stelle di Popolazione II, cioè da stelle giganti rosse o gialle, nane rosse o gialle e da una quantità di stelle bianche di luminosità non troppo alta; mancano le giganti e le supergiganti bianco-blu.

Pur contenendo polvere interstellare non mostrano segni di attività di formazione stellare in corso.

Dall'esterno le galassie differiscono solo per il loro maggiore o minore appiattimento.

La massa varia da $10^6 M_{\odot}$ a $10^{12} M_{\odot}$.

Le galassie ellittiche sono circa il 60% di tutte le galassie.

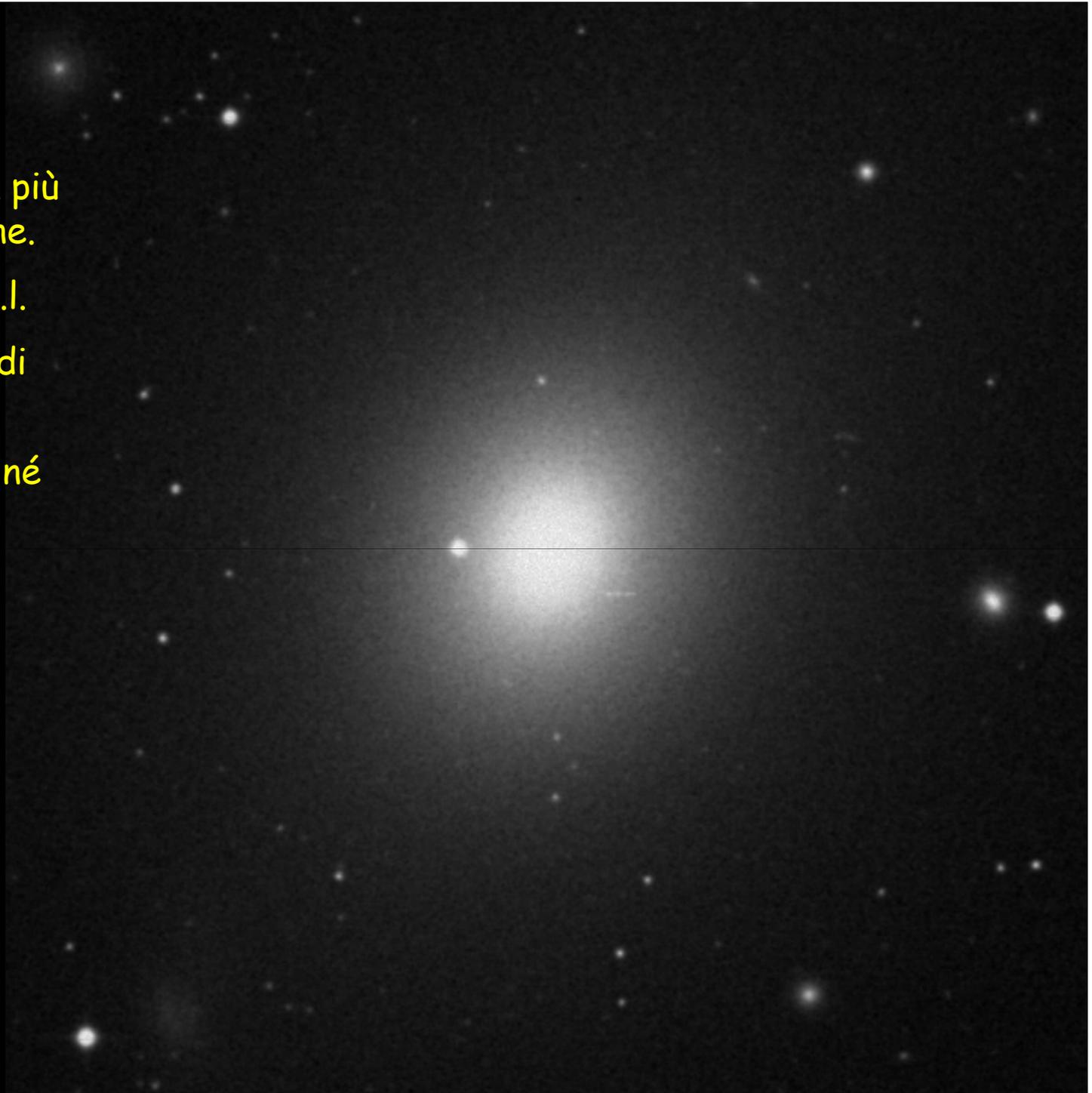
M49 - Tipo E4

È la galassia ellittica più luminosa della Vergine.

Diametro: 180.000 a.l.

Distanza: 55 milioni di a.l.

Non contiene né gas né polvere o sistemi di formazione stellare.



M60 - Tipo E1

Ellittica gigante nell'ammasso della Vergine.

Diametro di 120.000 a.l.

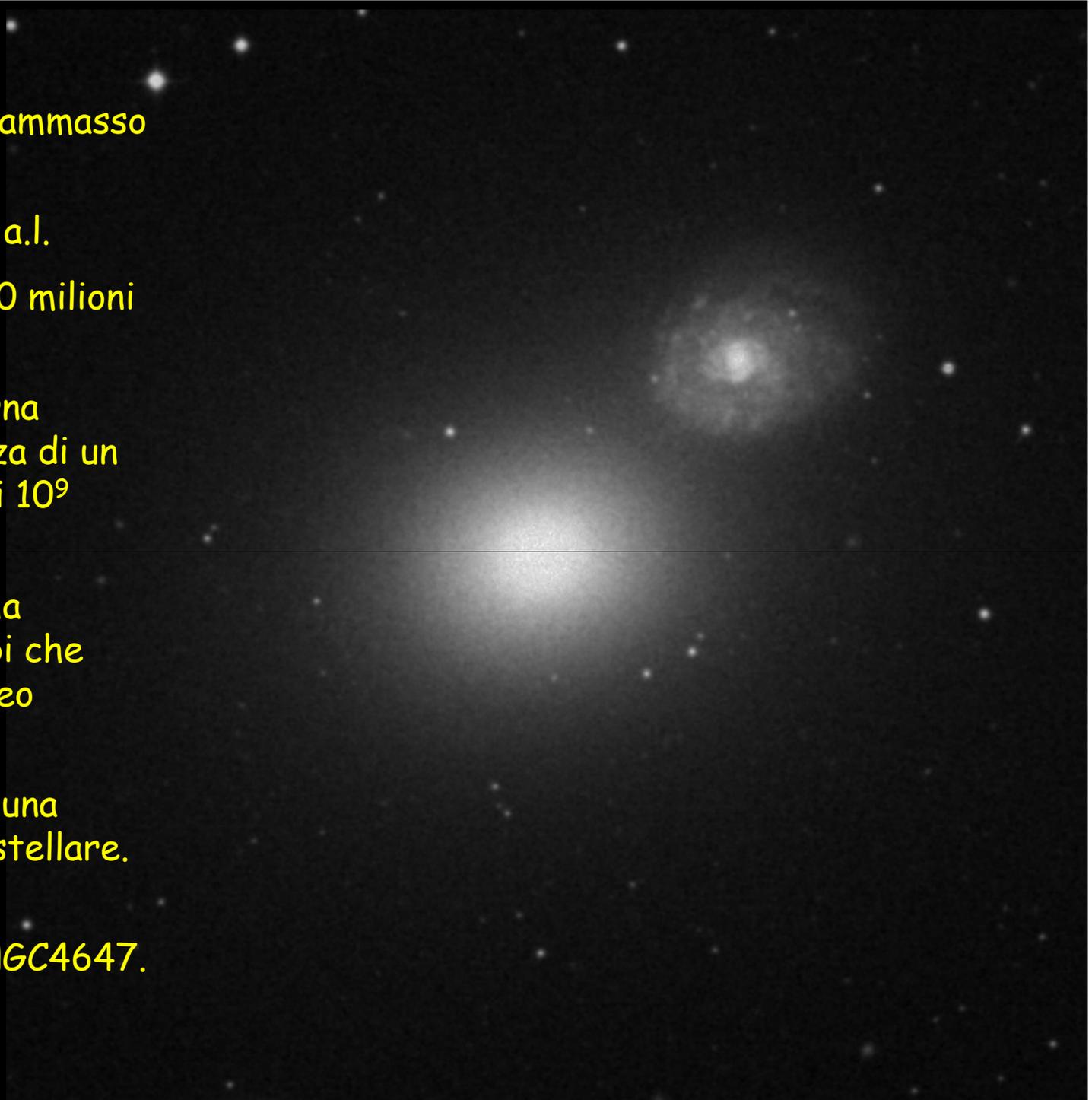
Luminosità di circa 60 milioni di volte il Sole.

La sua dinamica interna suggerisce la presenza di un buco nero centrale di 10^9 masse solari.

Nello spettro radio ha emissioni deboli e lobi che indicano pure un nucleo attivo.

Il suo spettro indica una recente formazione stellare.

La galassia vicina è NGC4647.



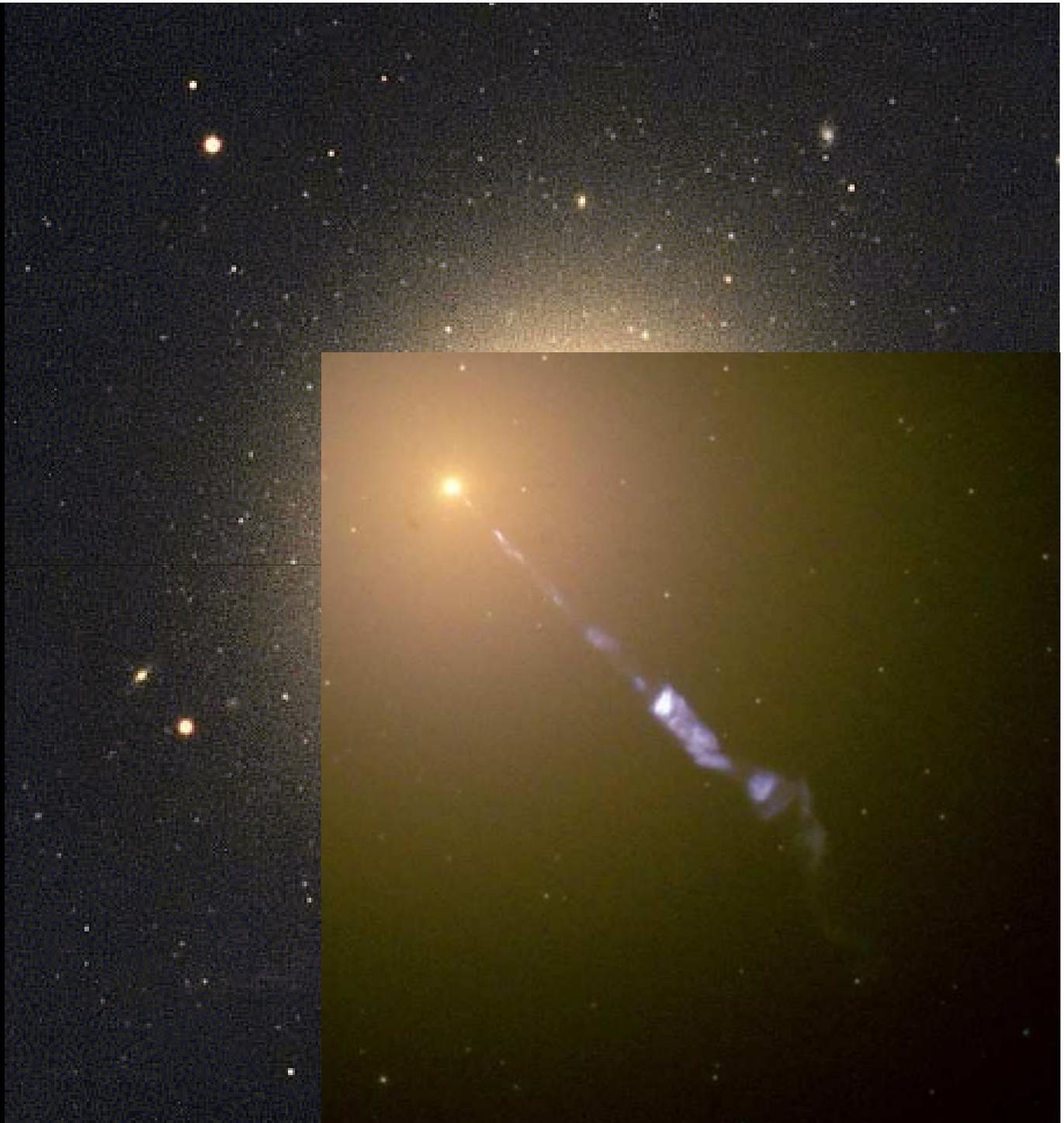
M87 - Tipo E3

È una galassia ellittica gigante distante circa 50 milioni di a.l.

È la galassia al centro dell'ammasso della Vergine.

È quattro volte più luminosa di quanto la nostra Via Lattea apparirebbe alla stessa distanza. M49 è più luminosa del 22%.

Ospita l'intensa radiosorgente Virgo A e l'emissione associata al suo nucleo galattico attivo.



GALASSIE A SPIRALE

Sono costituite da un rigonfiamento centrale, il NUCLEO e di regola da due bracci a spirale che fuoriescono da punti diametralmente opposti del nucleo: essi sono simmetrici e si perdono in due regioni opposte alla periferia della galassia.

Sono noti esempi di galassie con un numero maggiore di bracci a spirale.

Hubble divise le galassie a spirale in sottoclassi in base allo sviluppo dei bracci e alle dimensioni del nucleo.

Sa con bracci poco sviluppati o appena accennati; il nucleo è grande: spesso è circa la metà delle dimensioni della galassia. Le galassie Sa poco sviluppate sembrano ellittiche.

Sb sono galassie i cui bracci sono sensibilmente sviluppati, ma non hanno ricche ramificazioni. Il nucleo è minore che in Sa.

GALASSIE A SPIRALE

Le galassie con bracci fortemente sviluppati, divisi a loro volta e con nuclei piccoli in confronto a questi appartengono al tipo **Sc**.

Tutte le galassie a spirale mostrano regioni oscure costituite da gas e polveri.

I bracci delle spirali sono formati dalle stelle di Popolazione I, cioè da stelle calde giganti; inoltre nei bracci si condensano le masse di materia diffusa, cioè gas e polvere interstellari.

Le galassie a spirale sono estremamente appiattite.

LA GALASSIA DI ANDROMEDA

Con le due galassie satelliti M32 sopra, M110 sotto

Dista 2,2 milioni di anni luce.



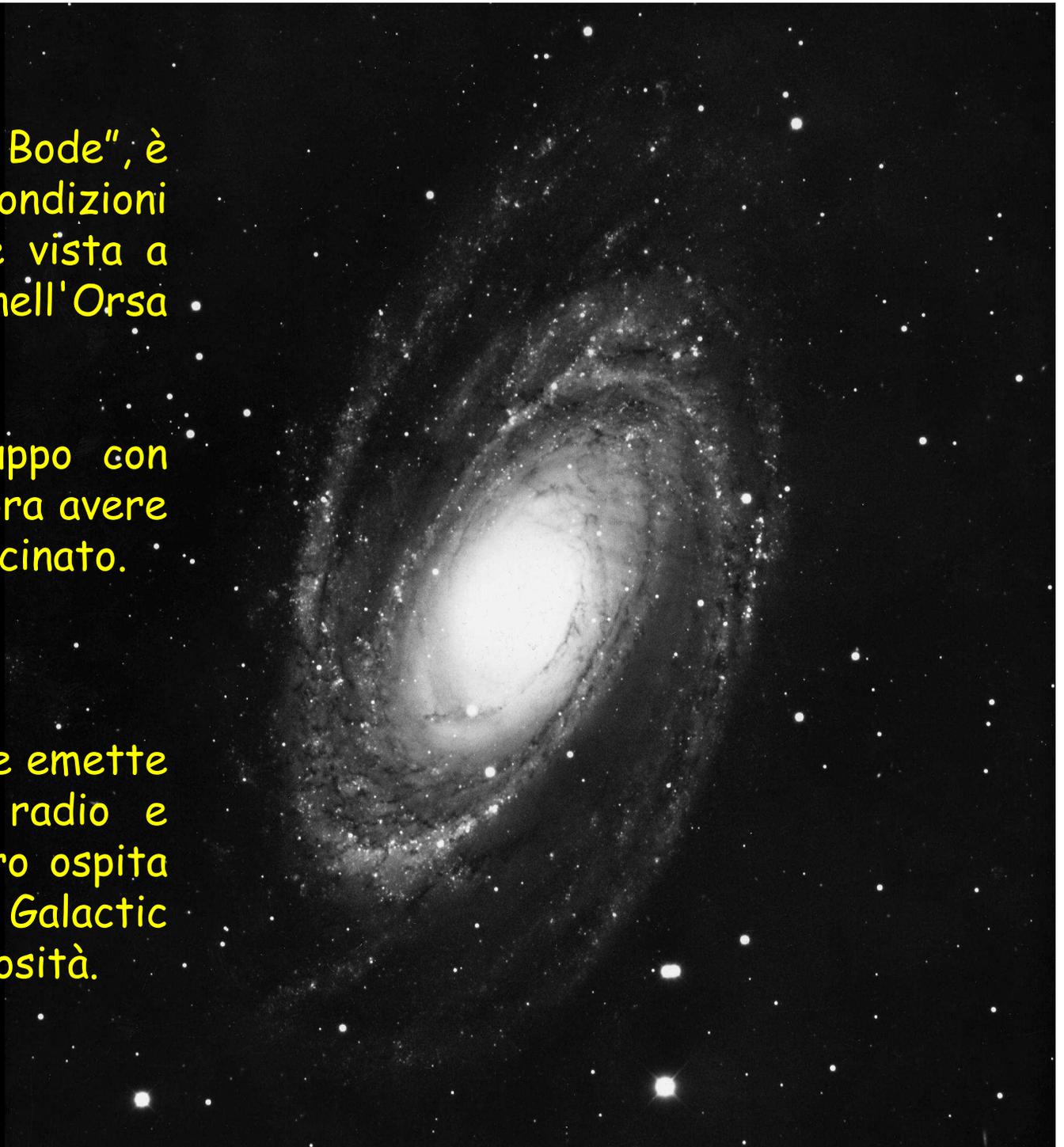
M81 - Tipo Sb

Nota come "galassia di Bode", è molto luminosa e, in condizioni favorevoli, può essere vista a occhio nudo nell'Orsa Maggiore.

Forma un piccolo gruppo con M82 con la quale sembra avere avuto un incontro ravvicinato.

Dista 12 milioni di a.l.

Ha un nucleo denso che emette fortemente in onde radio e raggi X quindi il centro ospita un AGN (Active Galactic Nucleus) a bassa luminosità.



M63 - Tipo Sc.

Galassia "Girasole" nei Cani da Caccia.

È fisicamente in gruppo con M51 e parecchie galassie minori.

Mostra una debole struttura a due bracci.

Ha anche un nucleo blandamente attivo



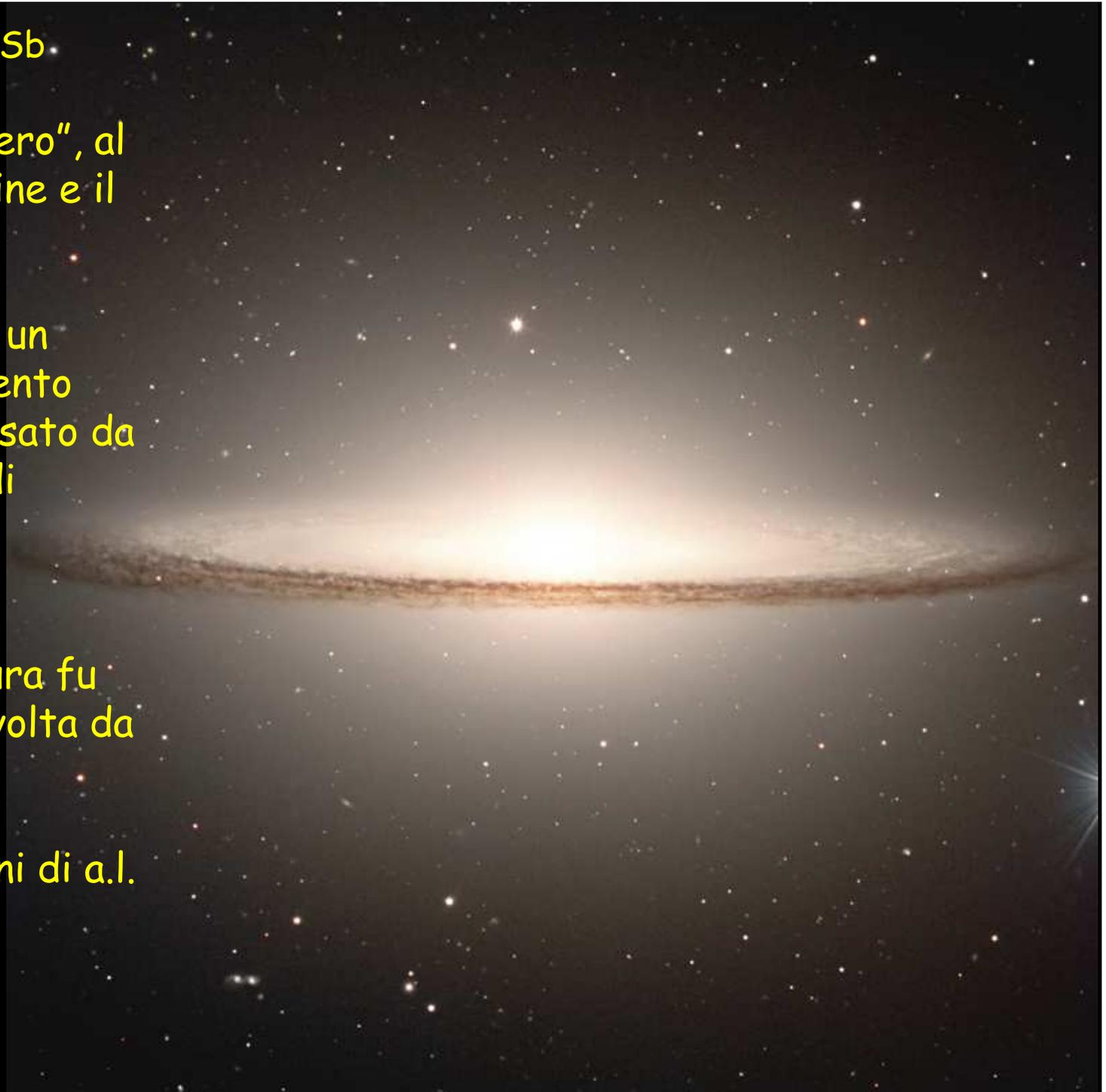
M104 - Tipo Sa/Sb

Chiamata "Sommbrero", al limite tra la Vergine e il Corvo.

Le foto mostrano un grande rigonfiamento centrale attraversato da una scura banda di polvere nel piano galattico.

Questa banda scura fu rilevata la prima volta da William Herschel.

È a circa 35 milioni di a.l.



NGC4565 - Tipo Sc

Esempio di spirale vista di taglio nella Chioma di Berenice.

La Galassia avrebbe un aspetto assai simile vista alle stesse condizioni.

La striscia scura è l'insieme di gas e polvere che blocca la luce dall'interno, rendendola rossastra.



GALASSIE A SPIRALE BARRATE

Sono galassie in cui il nucleo è situato nel mezzo di una "barra" dritta di stelle ed i bracci a spirale iniziano proprio dagli estremi di queste barre.

Come quelle normali, le spirali barrate si suddividono in tre sottoclassi indicate con **SBa**, **SBb**, **SBc** a seconda del grado di sviluppo dei bracci.

Non è ancora chiara la ragione dell'esistenza della barra.

M109 - Tipo SBb/SBc

Nell'Orsa Maggiore.

È evidente la barra di materia galattica.

Gran parte della sua regione centrale mostra uno spettro di linee di emissione dovuto a gas ionizzato, prova di attività nel nucleo.



M95 - Tipo SBb

Nel Leone.

Si presenta quasi di faccia mostrando una barra centrale e bracci spirali strettamente avvolti che insieme creano la forma della lettera greca θ .

Forma una coppia con la vicina M96.

Considerata distante circa 25 milioni di a.l., misure con l'HST suggeriscono una distanza maggiore del 50%.



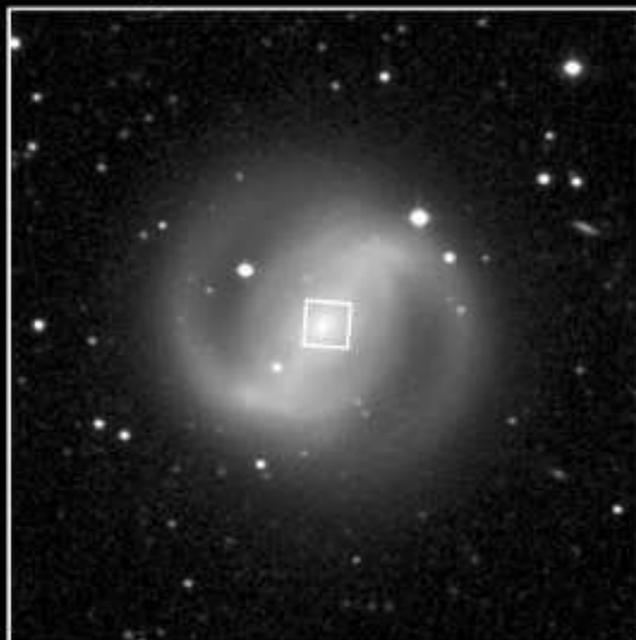
M91 - Tipo SBb

Nella Chioma di Berenice.



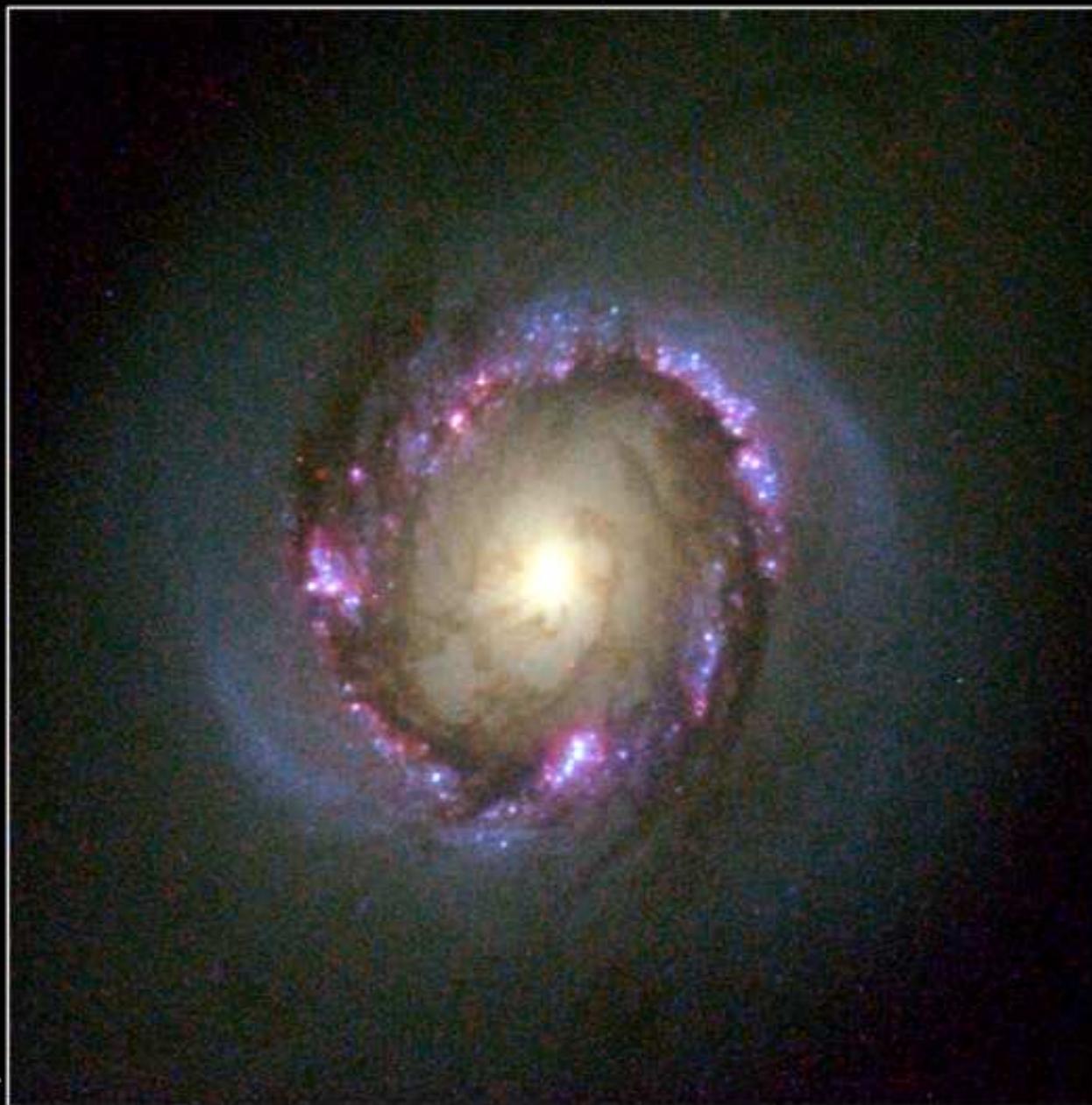
Galaxy NGC 4314

Hubble Space Telescope • WFPC2



McDonald Observatory

PRC98-21 • June 11, 1998
ST ScI • OPO
G. F. Benedict (University of Texas)
and NASA



HST

GALASSIE IRREGOLARI

Sono galassie di forma irregolare, senza nessuna regola d'insieme per la loro struttura.

GRANDE NUBE
DI MAGELLANO



PICCOLA NUBE
DI MAGELLANO



M82

È una galassia a disco
parecchio più piccola
della Via Lattea e si
trova nel gruppo di
M81 a 12 milioni di a.l.



STRUTTURA DELLA GALASSIA

Struttura della Galassia

La Galassia è costituita da circa trecento miliardi di stelle simili al Sole disposte a formare un disco.

È circondata da un alone costituito da ammassi globulari visibili e immersa in un altro alone, ancora più ampio, di materia invisibile, rilevabile solo per i suoi effetti gravitazionali.

La Via Lattea vera e propria è invece una debole striscia luminosa (meglio visibile dall'emisfero meridionale) costituita di un gran numero di stelle risolvibili già con un binocolo, ed è la parte del disco galattico visibile dalla Terra.

Nella Via Lattea sono presenti dei "buchi": nubi di polveri e gas freddi che oscurano la visuale delle parti retrostanti.

Le osservazioni nelle onde radio hanno permesso di stabilire che il materiale della Galassia ha una struttura a disco, con bracci a spirale che si avvolgono nello stesso piano.

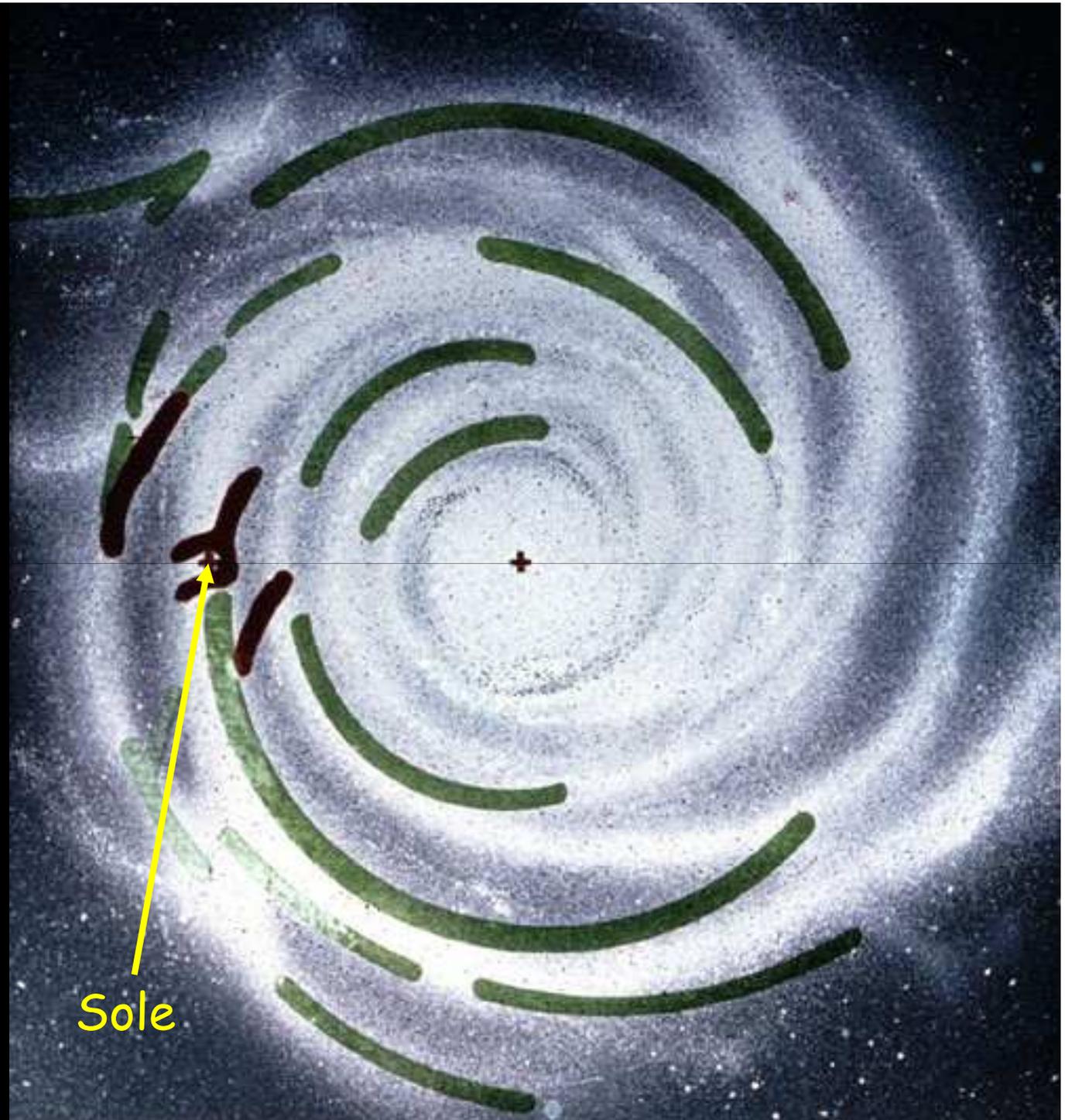
Un elemento che ci ha permesso di riconoscere la struttura della Galassia è stata l'esistenza di altre galassie a spirale viste in tutte le inclinazioni.

La Galassia

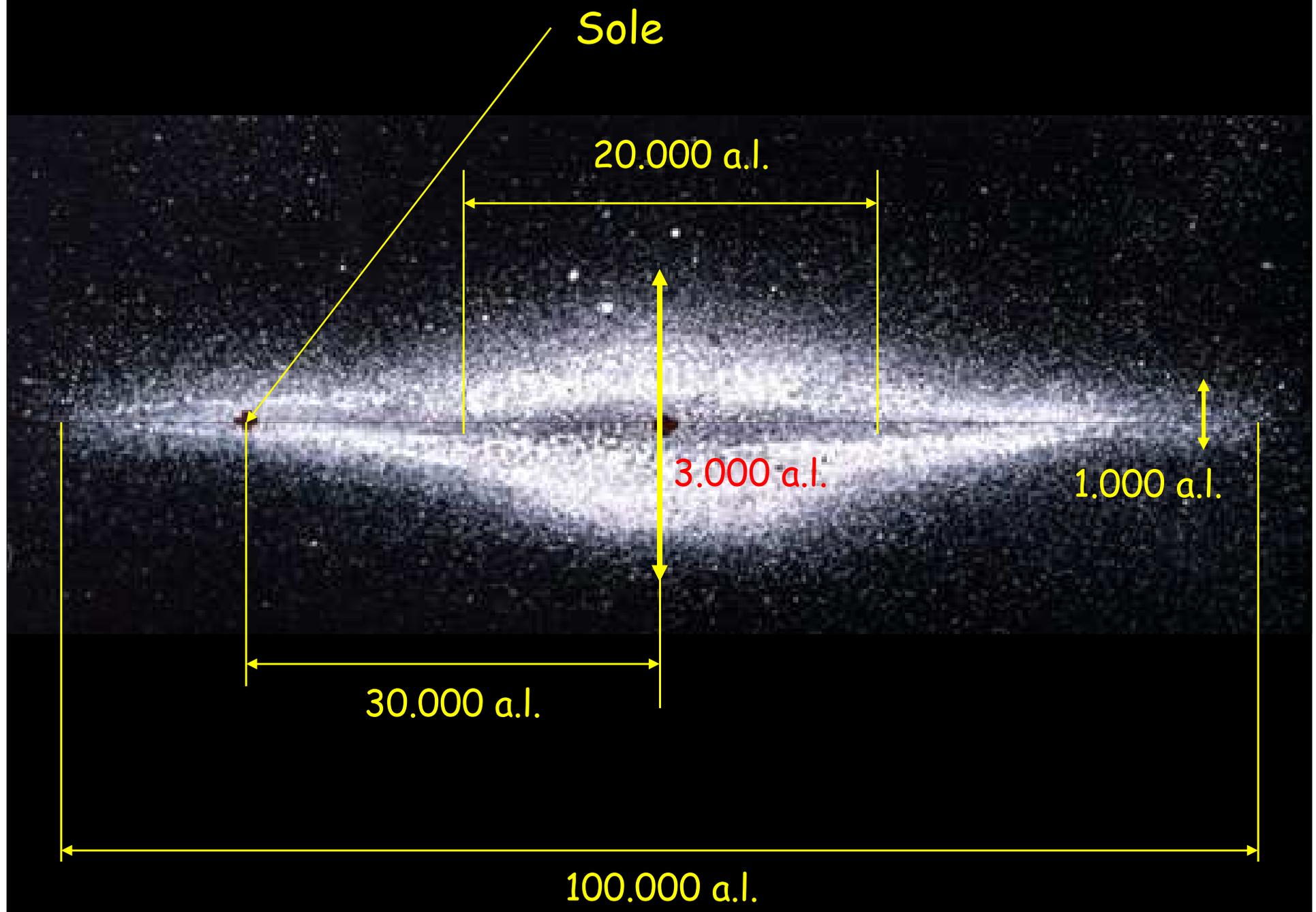
Schema della Galassia vista di fronte.

I tratti in rosso sono le zone che è stato possibile studiare con metodi statistici applicati agli oggetti visibili.

I tratti in verde sono zone che è stato possibile studiare con le onde radio (di 21 cm di lunghezza d'onda) emesse dall'idrogeno neutro che si concentra nei bracci a spirale.



La Galassia



Struttura della Galassia

Nella Galassia si osservano stelle di tutte le età.

Le stelle molto vecchie (oltre 10 miliardi di anni) sono distribuite nel nucleo e nell'alone e dovrebbe essere quanto rimane del primo periodo di formazione stellare coincidente con l'epoca della formazione della Galassia stessa.

Le stelle giovani (di Popolazione I) sono concentrate in uno strato di circa 1500 a.l. di spessore medio sul piano del disco, in cui la formazione delle stelle è ancora in atto.

Le stelle di età intermedia, tra le quali il Sole, si distribuiscono sull'intero disco.

Le stelle del disco orbitano intorno al centro della Galassia e la loro velocità dipende dalla distanza: stelle più lontane dal centro sono più lente. Il Sole ha una velocità di 250 km/s e impiega circa 225 milioni di anni per un giro completo.

Lo studio del moto delle stelle permette di determinare la massa complessiva della Galassia (circa 1000 miliardi di masse solari), più o meno tre volte la massa dedotta dalla materia visibile.

Ammassi globulari

Sono densi raggruppamenti di centinaia di migliaia (o addirittura milioni) di stelle.

Si trovano in un alone sferico in cui la Galassia è immersa e contengono le stelle più vecchie che si conoscano.

Ammassi globulari sono stati osservati negli aloni di altre galassie.

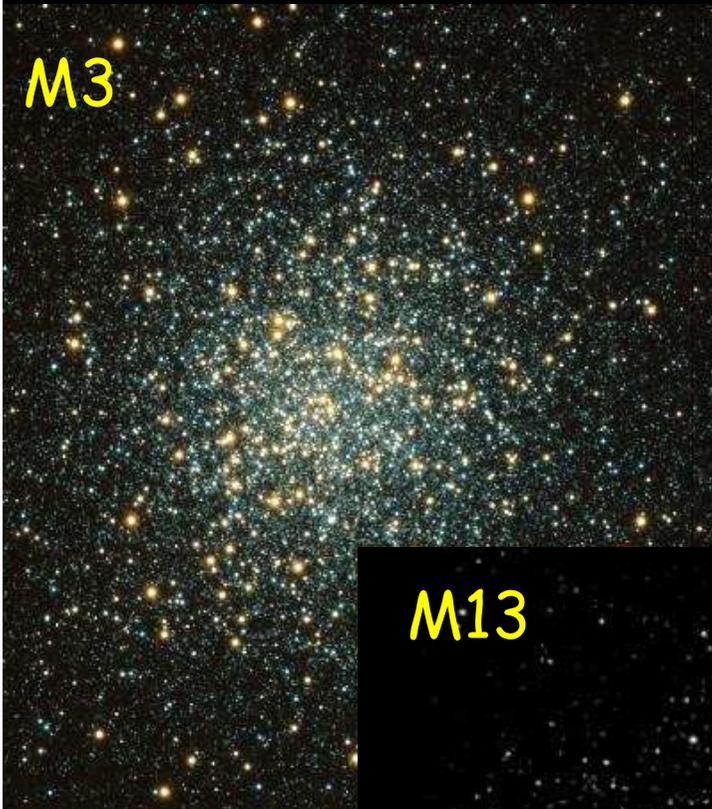
Nella Galassia sono noti 150 ammassi globulari e le distanze vanno da 6000 a oltre 55000 anni luce.

La densità centrale è tale che in un cubo di un anno luce di lato ci sono una trentina di stelle (intorno al Sole non ce n'è nessuna).

La distribuzione, le piccole abbondanze di metalli negli spettri, l'età delle stelle fanno ritenere che questi oggetti siano tra i primi formatisi nell'Universo.

AMMASSI GLOBULARARI

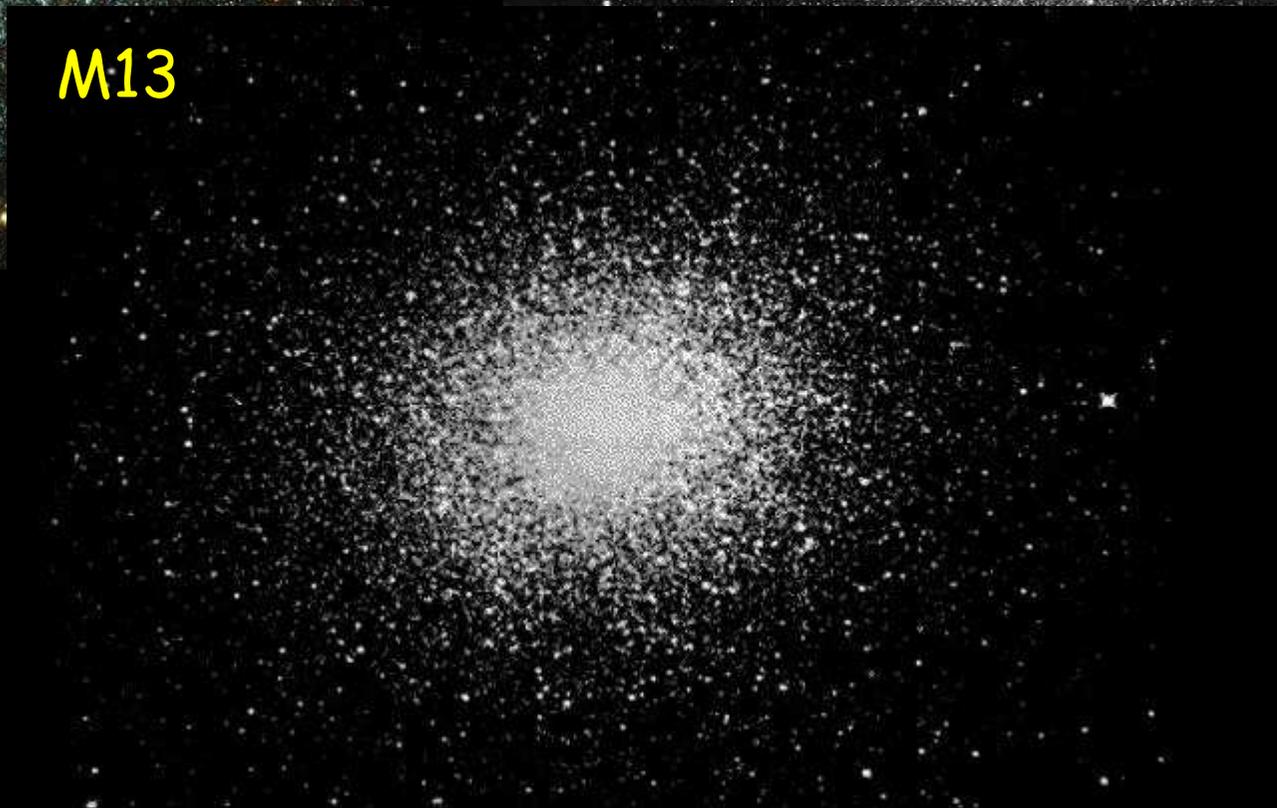
M3



M5



M13



ORIGINE
ED
EVOLUZIONE
DELLE
GALASSIE

Origine ed evoluzione delle galassie

I meccanismi di formazione delle galassie non sono ancora chiari.

Di certo si sa che la maggior parte delle galassie o ha forma a spirale o ha forma ellittica.

Le galassie ellittiche e quelle a spirale nascono come tipi diversi oppure una è l'evoluzione dell'altra ?

Origine ed evoluzione delle galassie

Nel primo caso si ritiene che i diversi tipi di galassie si siano formati dal lento raffreddamento di immense nubi di gas primordiale le quali per la conseguente contrazione e frammentazione in stelle hanno dato origine alle galassie così come le osserviamo oggi.

In questo scenario le galassie ellittiche si sarebbero formate per prime a seguito di un rapidissimo processo di formazione stellare, processo più rapido del successivo collasso.

Al contrario le spirali nascerebbero a seguito di processi di frammentazione molto più lenti nei quali prima la nube collasserebbe a formare un disco e poi si frazionerebbe a formare le stelle.

Origine ed evoluzione delle galassie

Nel secondo caso, poiché per vari motivi non è possibile che le galassie a spirale si formino dall'evoluzione di galassie ellittiche, si suppone che l'Universo inizialmente fosse formato da galassie a spirale che fondendosi a seguito di "scontri" o meglio "incontri ravvicinati" hanno dato origine alle galassie ellittiche.

Il problema dell'origine del materiale di cui sono costituite le galassie sembra invece risolto dai modelli che descrivono l'origine dell'Universo.

GALASSIE IN COLLISIONE - M51 - Tipo Sc

La Galassia Vortice (Whirlpool Galaxy) nella costellazione dei Cani da Caccia.



L'accentuata forma a spirale è stata causata da interazioni con la vicina NGC 5195.

GALASSIE IN COLLISIONE

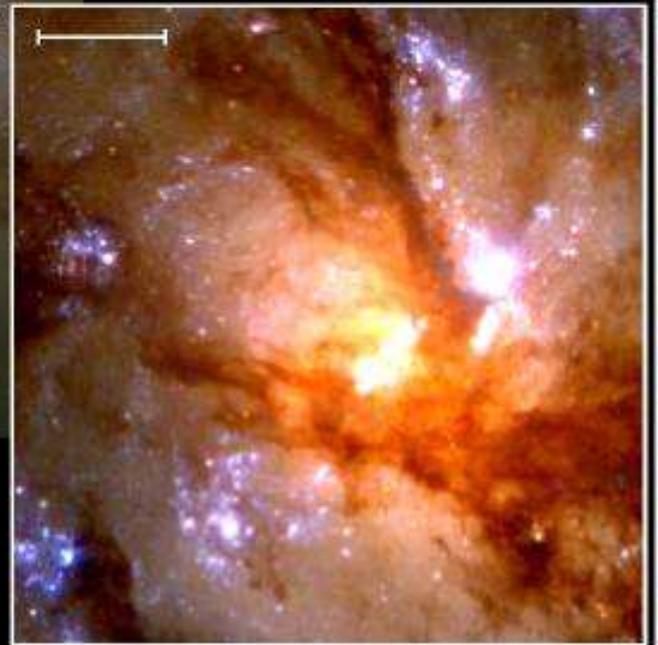
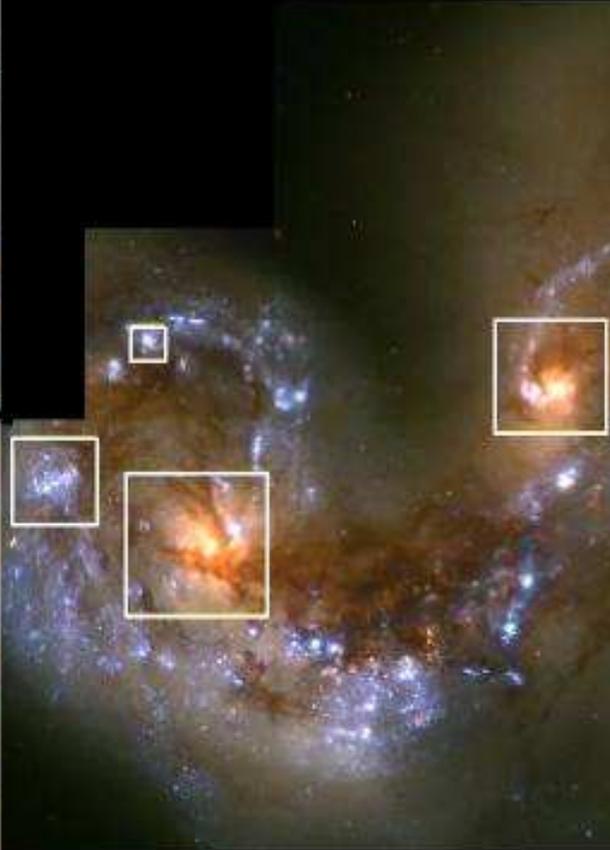
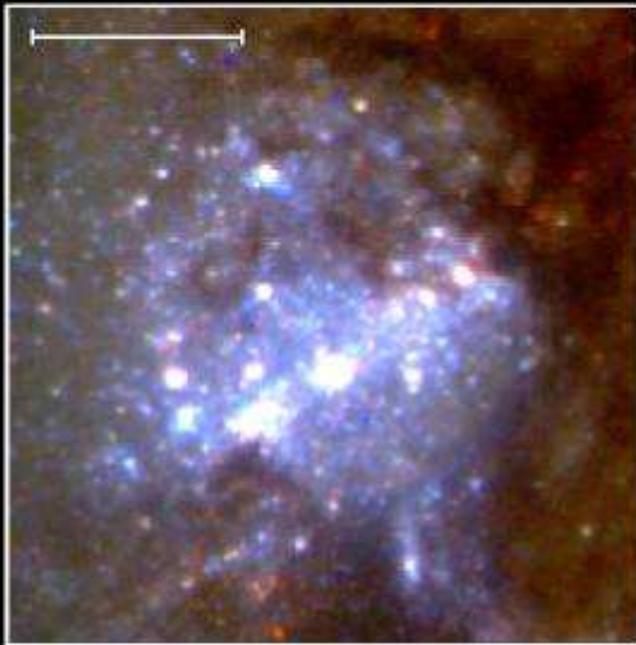
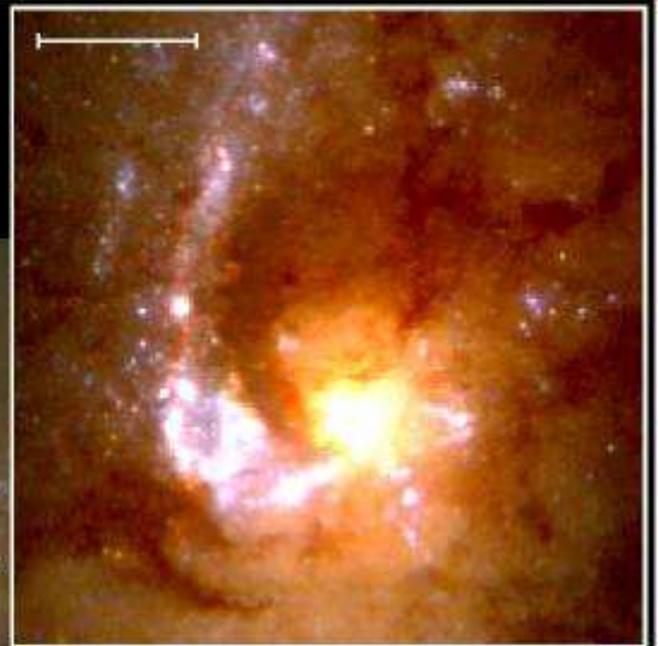
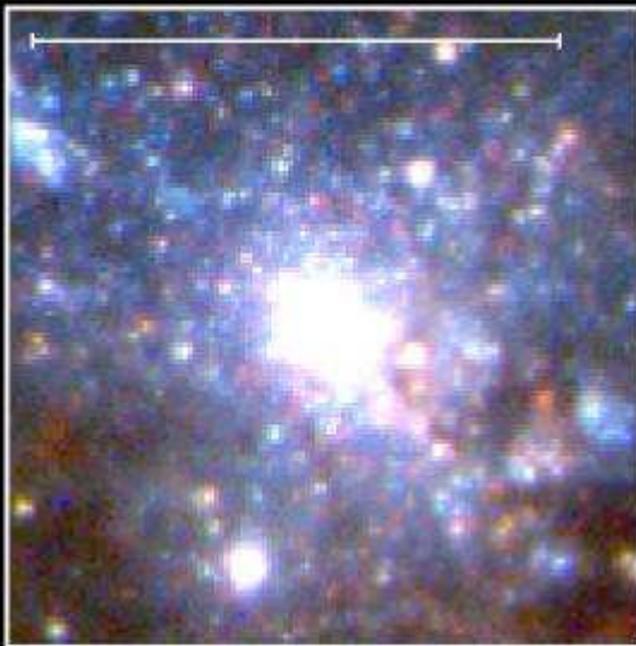


Colliding Galaxies NGC 4038 and NGC 4039

HST • WFPC2

PRC97-34a • ST ScI OPO • October 21, 1997 • B, Whitmore (ST ScI) and NASA

GALASSIE IN COLLISIONE



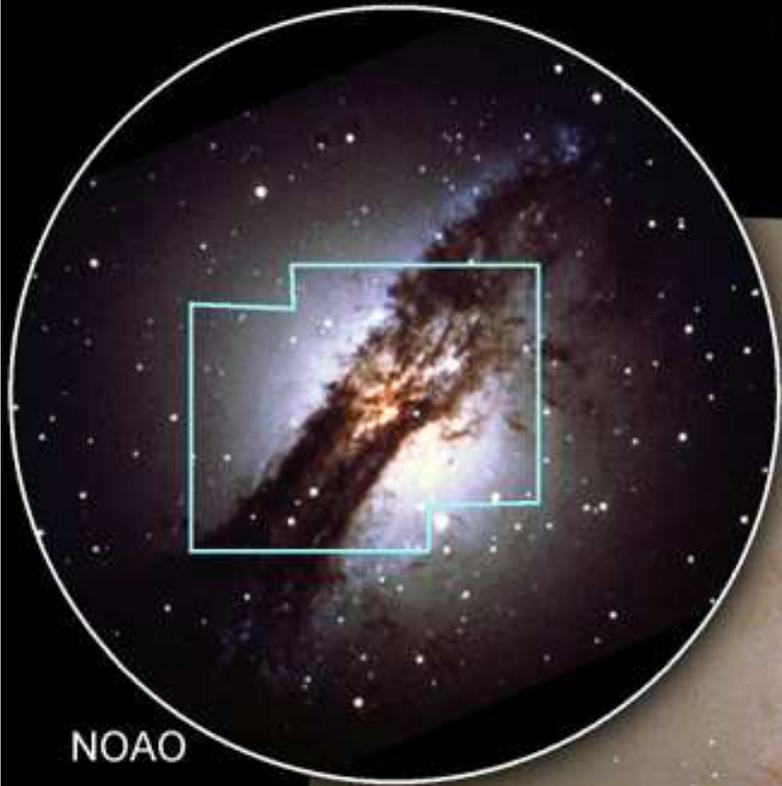
Galaxies NGC 4038 and NGC 4039 • Details

HST • WFPC2

PRC97-34b • ST ScI OPO • October 21, 1997 • B, Whitmore (ST ScI) and NASA

Active Galaxy Centaurus A

GALASSIE
IN COLLISIONE



NOAO

HST
WFPC2

PRC98-14a • ST ScI OPO • May 14, 1998 • E. Schreier (ST ScI) and NASA

GALASSIE IN COLLISIONE



GALASSIE IN COLLISIONE



GALASSIE IN COLLISIONE



Simulazioni al computer della collisione tra galassie

LA
STRUTTURA
DELL'UNIVERSO

La struttura dell'Universo

Le statistiche hanno rivelato che la distribuzione delle galassie nello spazio non è affatto uniforme che si pensava.

Le galassie si presentano in genere riunite in *gruppi* di alcune decine, in *ammassi* con migliaia di componenti i quali fanno parte di strutture ancora più grandi, dette *superammassi*, composte da dozzine di ammassi e disposte a formare lunghi filamenti.

Le ultime ricerche danno per l'Universo una struttura a "schiuma" formata da bolle vuote sulle cui pareti si dispongono i filamenti dei superammassi.

La struttura dell'Universo

La Galassia appartiene ad un gruppo, il cosiddetto Gruppo Locale, di cui fanno parte la galassia di Andromeda (una spirale un po' più grande della Galassia), la galassia M33 nel Triangolo (anch'essa è una spirale, ma è più piccola delle altre due) e una trentina di galassie nane ellittiche o irregolari (tra cui le due Nubi di Magellano, visibili nei cieli dell'emisfero meridionale), tutto il gruppo è contenuto in una sfera di circa 2 Mpc di diametro.

Il Gruppo Locale si trova alla periferia dell'Ammasso della Vergine (una struttura ricca di un migliaio di galassie) e presenta un moto rilevabile in direzione del suo centro; moti su grande scala come questo sono stati rilevati in molti ammassi vicini.

GRANDE NUBE
DI MAGELLANO

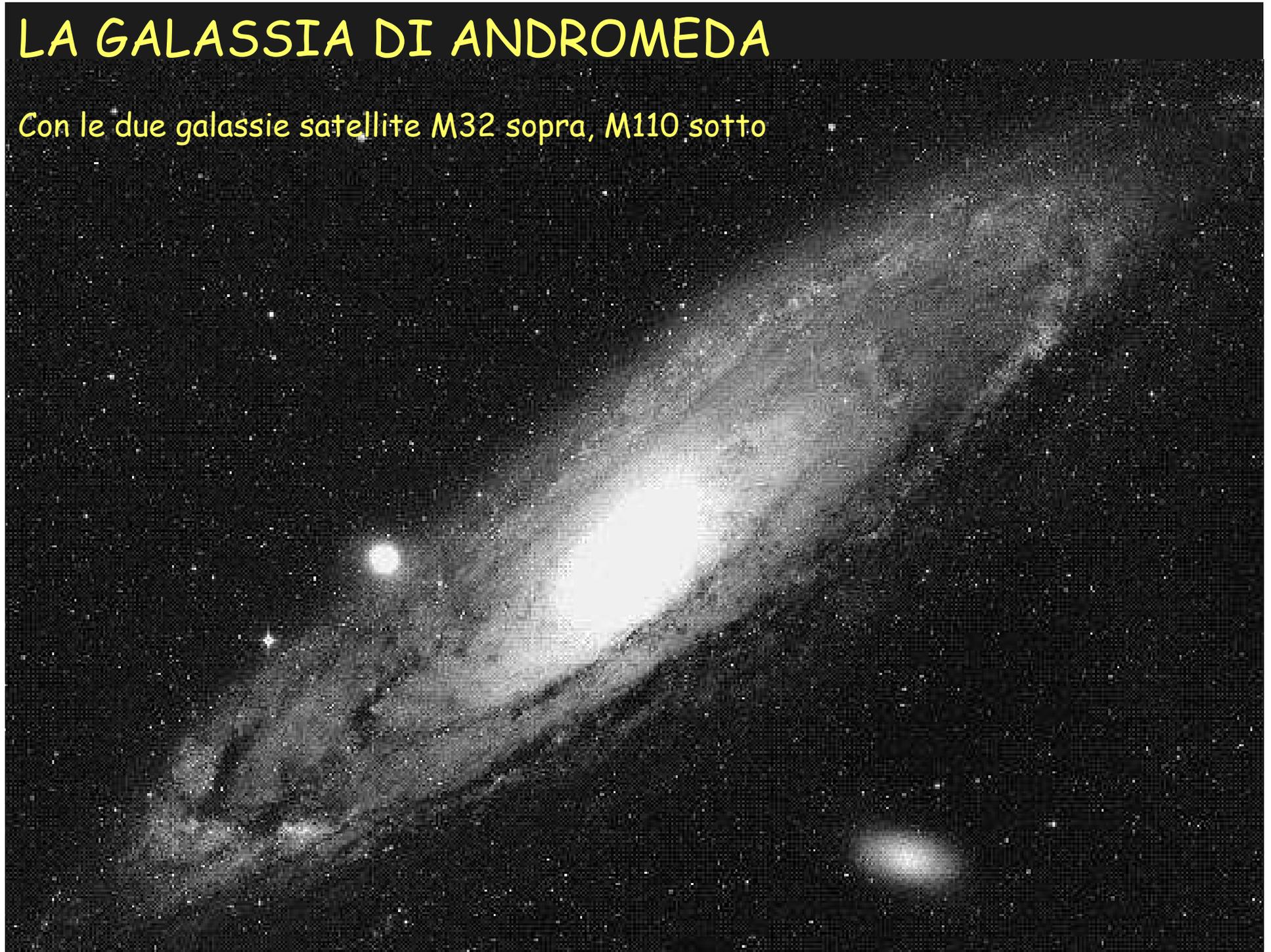


PICCOLA NUBE
DI MAGELLANO



LA GALASSIA DI ANDROMEDA

Con le due galassie satellite M32 sopra, M110 sotto



LA GALASSIA DEL
TRIANGOLO M33



La struttura dell'Universo

Esistono diversi tipi di ammassi: i più ricchi e densi hanno forma tondeggiante, quelli meno numerosi hanno forma appiattita ed irregolare.

Generalmente la parte centrale degli ammassi è gremita di galassie ellittiche, prive di gas e di stelle in fase di formazione; le regioni più esterne contengono spirali ed irregolari.

Si pone una questione: nelle regioni ricche degli ammassi le spirali non si sono mai formate o si sono in qualche modo distrutte o trasformate?

Il dibattito è aperto nonostante siano molte le prove che le spirali, un tempo numerose, sono state trasformate da fattori esterni in ellittiche.

Un meccanismo di trasformazione è quello della fusione tra galassie e, sebbene attualmente sia raro, alle alte velocità rilevate negli ammassi potrebbe essere stato, un tempo, più rilevante.

La struttura dell'Universo

Sovrapposizione di 342 esposizioni da parte di HST tra il 18 e il 28 dicembre 1995. L'immagine mostra circa 1.500 galassie nelle profondità dell'Universo e ricopre una zona di cielo pari a quella che copre 1 eurocent a circa 20 m di distanza in direzione dell'Orsa Maggiore.



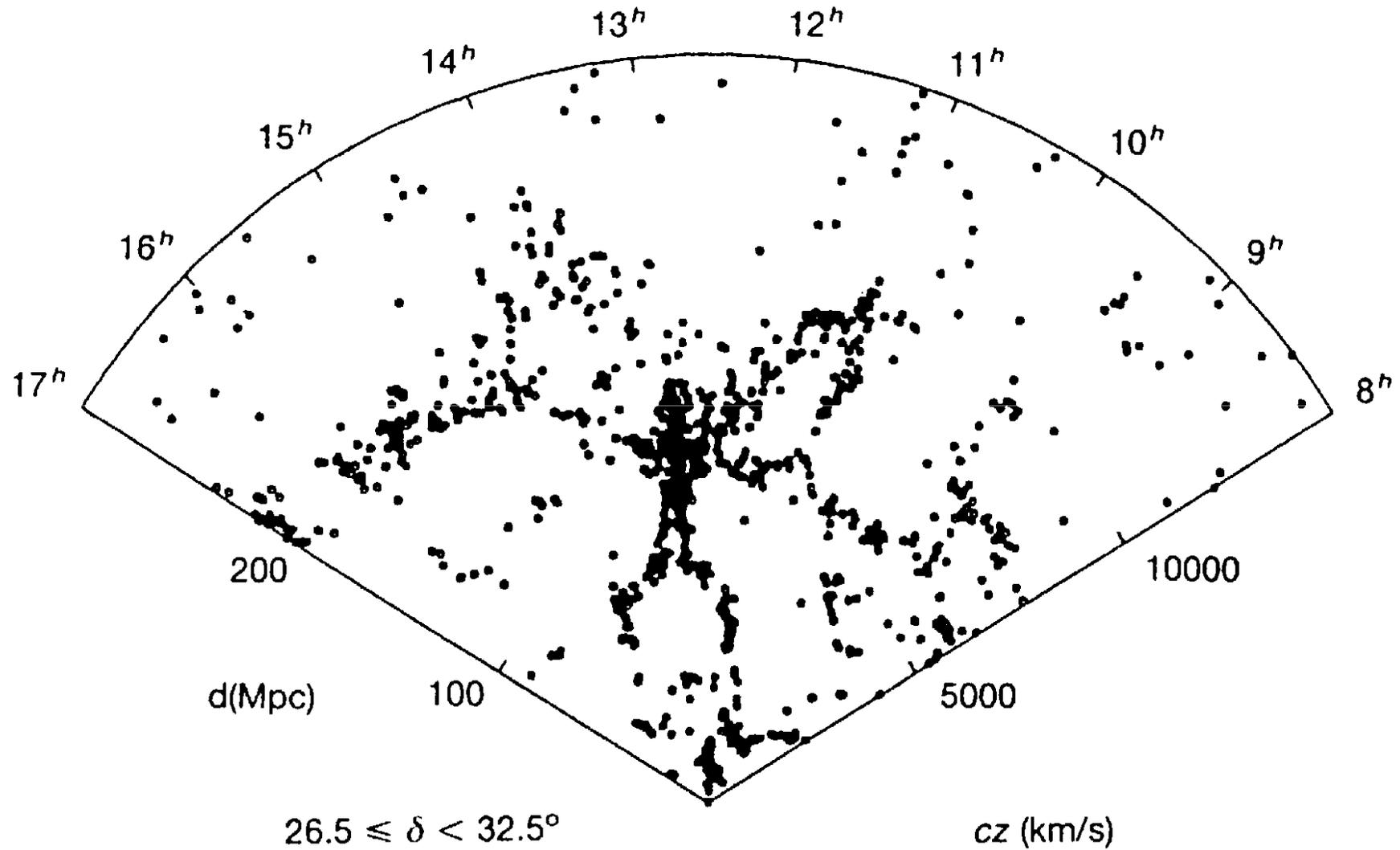


La struttura dell'Universo

Almeno 10 000 galassie
distanti fra 12,7 e 13
miliardi di anni luce.

Il campo inquadrato si
estende per meno di un
decimo del diametro della
Luna ed nella costellazione
della Fornace.

La struttura dell'Universo



$26.5 \leq \delta < 32.5^\circ$

cz (km/s)

1065 galassie

La struttura dell'Universo



La struttura dell'Universo

La distribuzione in gruppi, ammassi e superammassi delle galassie porta con sé informazioni sull'Universo primordiale.

Se la distribuzione della materia nella fase precedente alla formazione delle galassie era uniforme, come lasciavano intendere i primi dati del satellite COBE, per avere la struttura attuale sarebbe stato necessario un tempo maggiore dell'età stimata per l'Universo.

Misure più recenti della distribuzione della Radiazione Cosmica di Fondo hanno evidenziato delle strutture iniziali che giustificano la struttura attualmente osservata.

La struttura dell'Universo

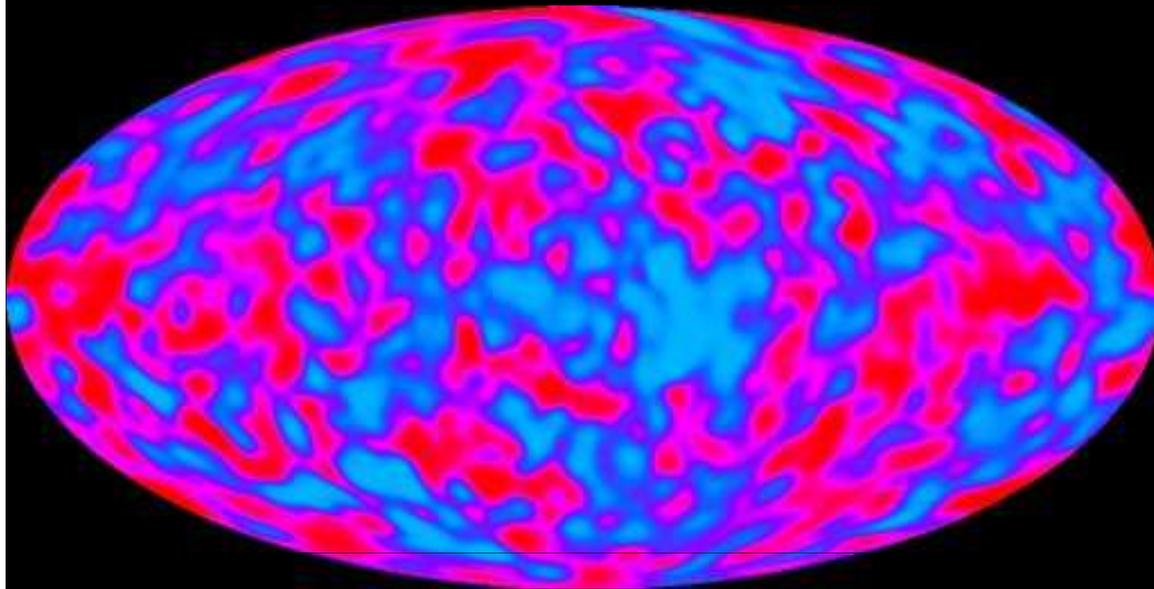


Immagine del
satellite COBE
inizio anni '90

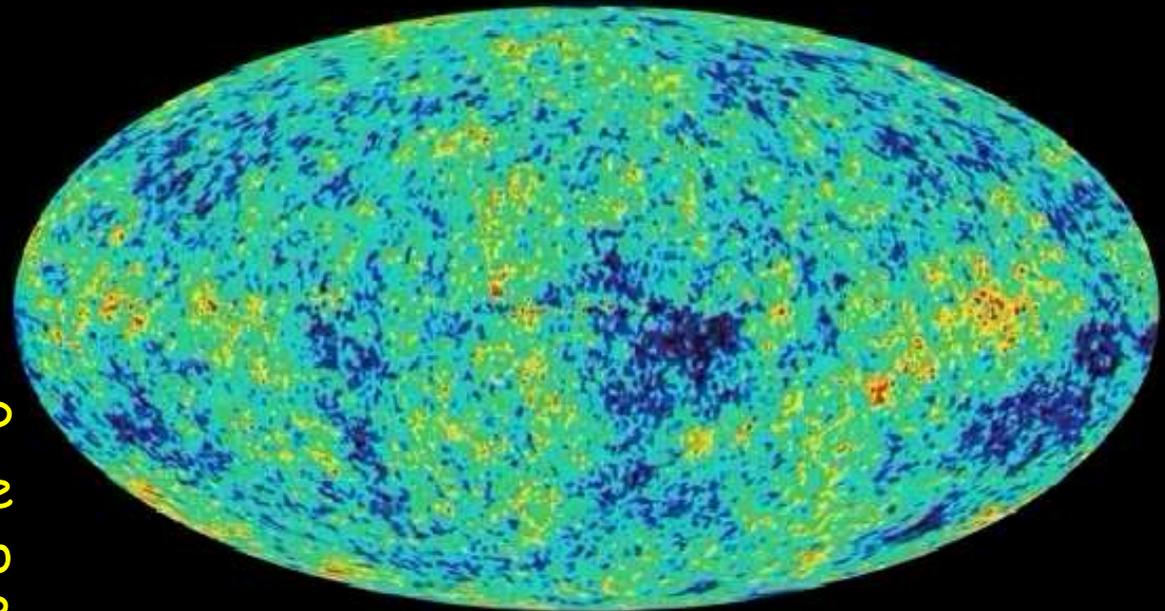


Immagine satellite WMAP
(Wilkinson Microwave
Anisotropy Probe) inizio
2003

L'ORIGINE DELL'UNIVERSO

The image features the title 'L'ORIGINE DELL'UNIVERSO' in a bold, 3D, white font with dark shadows. The text is arranged in two lines, with 'L'ORIGINE' on top and 'DELL'UNIVERSO' below it. The background is a light blue gradient with numerous bright, cyan-colored light rays radiating from behind the text, creating a sense of depth and energy.



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 ...

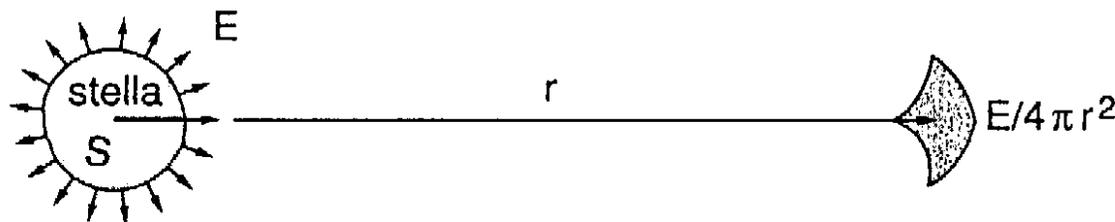
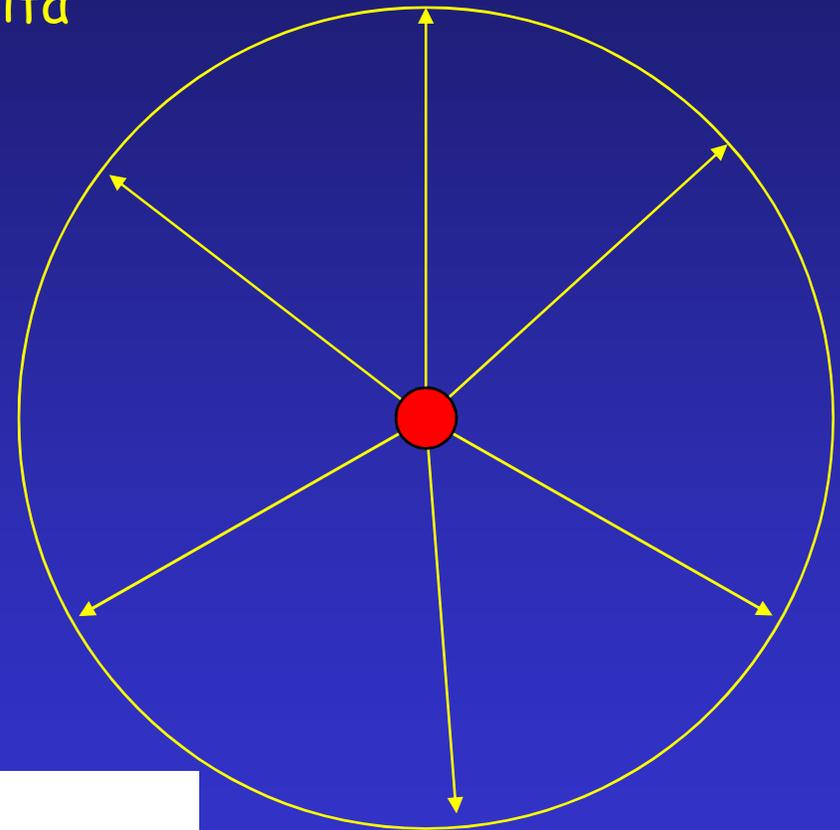
Consideriamo una stella.

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

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



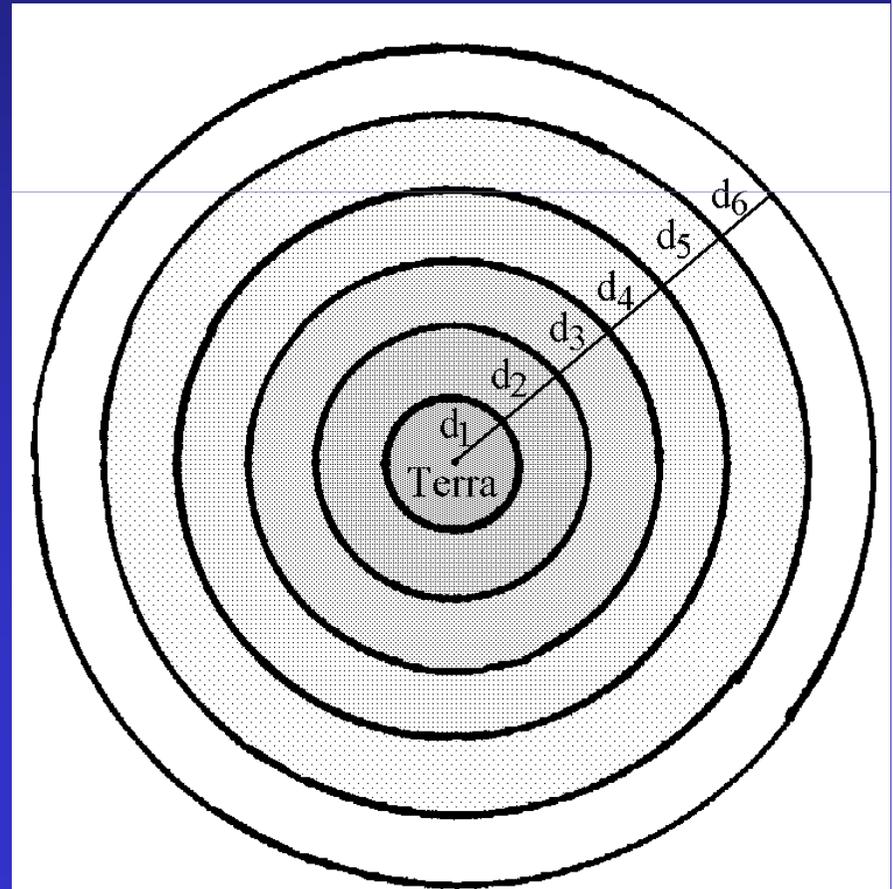
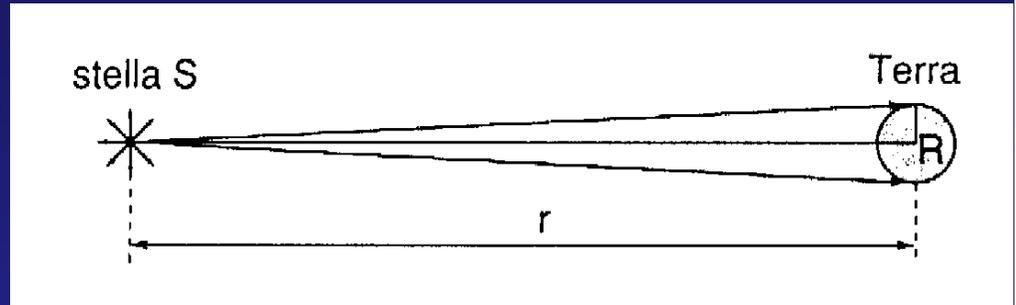
Supponiamo che la Terra, di raggio R , disti r dalla stella . . .

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

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

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 $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n, \dots$



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 $4\pi r^2 dN$ stelle.

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

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

Sommando l'energia che viene da ogni guscio si ottiene

$$\begin{aligned} &4\pi ER^2 d_1 N + 4\pi ER^2 d_2 N + 4\pi ER^2 d_2 N + \dots = \\ &= 4\pi ER^2 N (d_1 + d_2 + d_3 + \dots) = \infty \end{aligned}$$

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

Evidentemente non è così !

Perché ?

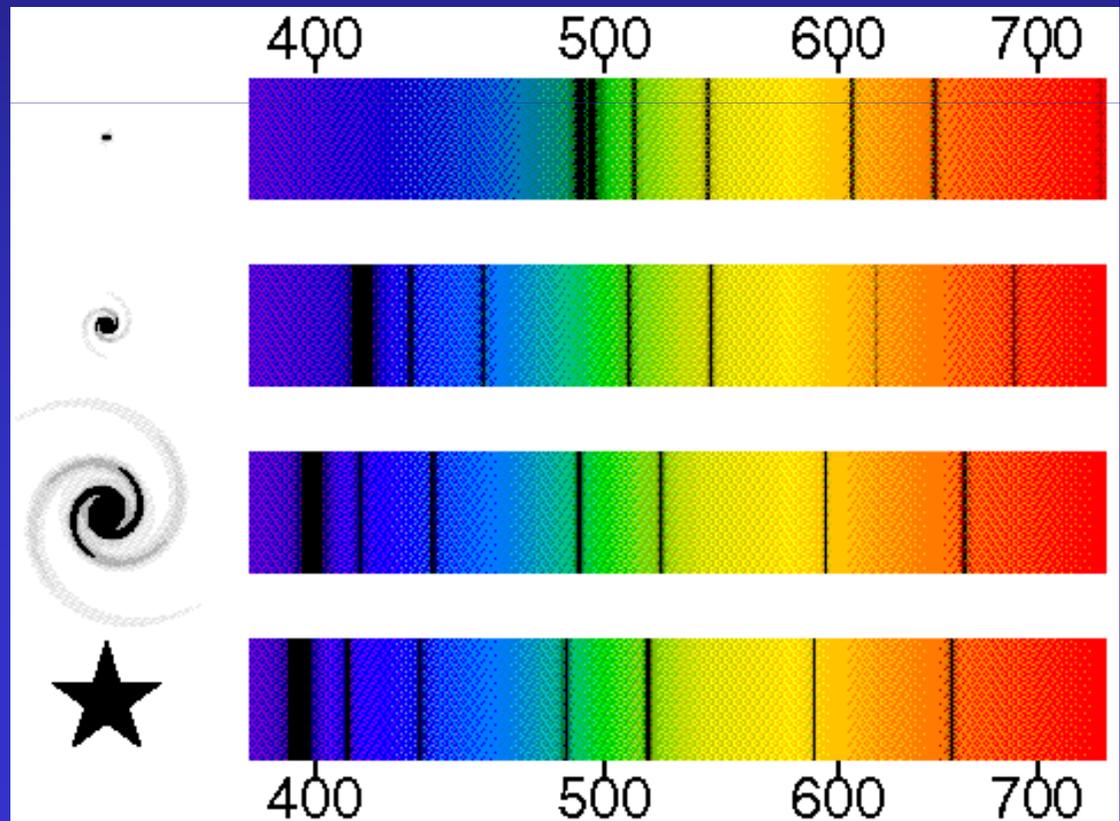
Nessuna delle idee proposte riuscì a spiegare questo paradosso (proposto da Olbers nel 1831).

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 (*Legge di Hubble*):

$$v = H_0 \cdot d,$$

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

La legge di Hubble

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

l'Universo si espande

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

La legge di Hubble

Attualmente per il valore di H_0 si hanno diverse stime, quasi tutte comprese tra i valori di 50 km/s per Mpc e 100 km/s per Mpc.

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

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 oggi ritenuto più attendibile è $H_0 = 71$ 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: $1,6 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1} < H_0 < 3,2 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$

Ciò corrisponde a un'età tra 10 e 20 miliardi di anni. Oggi il valore più probabile è $(13,7 \pm 0,1)$ miliardi di anni (WMAP).

L'origine e l'evoluzione dell'Universo

L'origine e l'evoluzione dell'Universo

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

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 quindi 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 .

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

Utilizzando il valore di H_0 determinato da WMAP si ha:
 $\rho_c = 4,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg/m}^3$.

Più spesso si usa il parametro:

$$\Omega = \frac{\rho_0}{\rho_c}$$

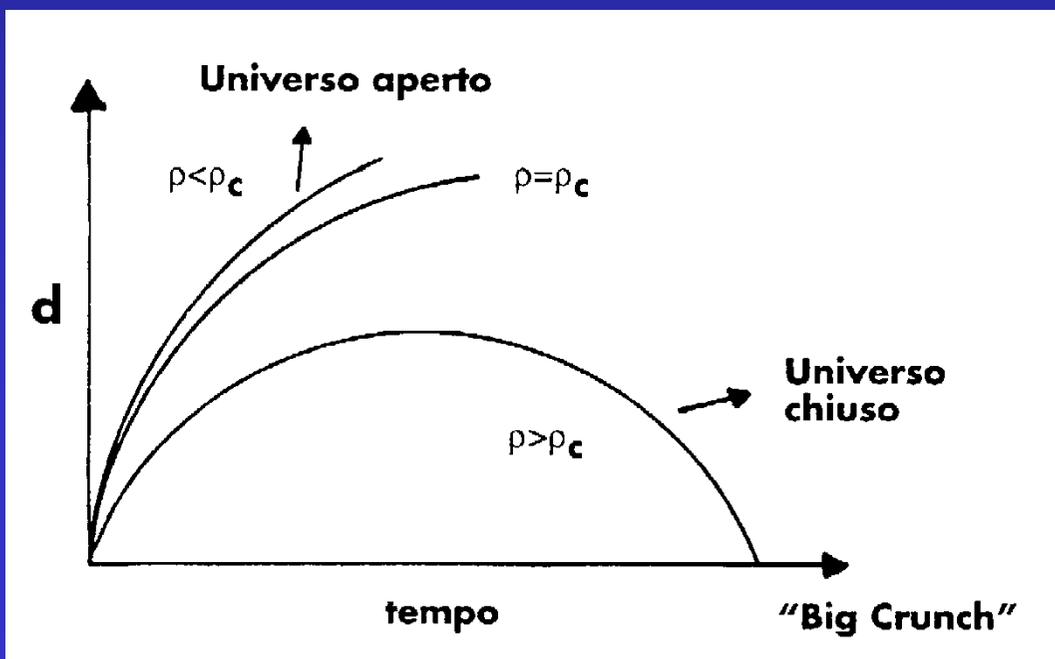
L'origine e l'evoluzione dell'Universo

Modelli di Friedman

Se $\rho_0 > \rho_c$, ($\Omega > 1$) 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, a geometria sferica.

Se $\rho_0 = \rho_c$, ($\Omega = 1$) l'Universo si espanderà fino all'infinito, ma con una velocità che tenderà a 0. La geometria è piana (Universo euclideo).

Se $\rho_0 < \rho_c$, ($\Omega < 1$) le galassie tenderanno ad allontanarsi sempre più, anche quando l'Universo sarà infinitamente grande e diluito. La geometria è iperbolica.



L'origine e l'evoluzione dell'Universo

Modelli di Friedman

Rispetto a cosa si espande l'Universo? 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.

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

Modelli di Friedman

C'è da riflettere sul fatto che non solo le galassie si muovono nello spazio, ma lo spazio stesso si espande (o si contrae a seconda del modello).

Prendiamo ora in esame il problema della determinazione dell'età dell'Universo. La costante di Hubble ha le dimensioni dell'inverso di un tempo e quindi $\tau = 1/H_0$ ha le dimensioni di un tempo, che viene detto *tempo di Hubble*. Tenendo conto dei limiti fissati per la costante di Hubble, si ha:

$$3 \cdot 10^{17} \text{ s} < \tau < 6 \cdot 10^{17} \text{ s}$$

ovvero

$$1 \cdot 10^{10} \text{ anni} < \tau < 2 \cdot 10^{10} \text{ anni.}$$

Si può dimostrare che in tutti i modelli di Universo l'*età dell'Universo* t è inferiore a τ .

In alcuni modelli t è inferiore all'età stimata per gli ammassi globulari della Galassia.

Ultimamente si sta ottenendo H_0 prossimo a 71 km/s per Mpc ($= 2,295 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$) da cui un valore di $\tau = 4,36 \cdot 10^{17} \text{ s} = 1,37 \cdot 10^{10} \text{ anni}$. Inoltre le misure effettuate dal satellite Hipparcos hanno permesso di ridurre la stima dell'età degli ammassi globulari facendo in modo che i due valori diventassero compatibili.

L'origine e l'evoluzione dell'Universo

Il modello del Big Bang

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

Egli stava ricercando i luoghi nell'Universo più caldi del centro di una stella 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 tale sintesi potesse avvenire a partire dal nucleo dell'atomo di idrogeno.

Tale idea si rivelò sbagliata, solo l'elio si forma 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, 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 un rumore 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 2,73 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.

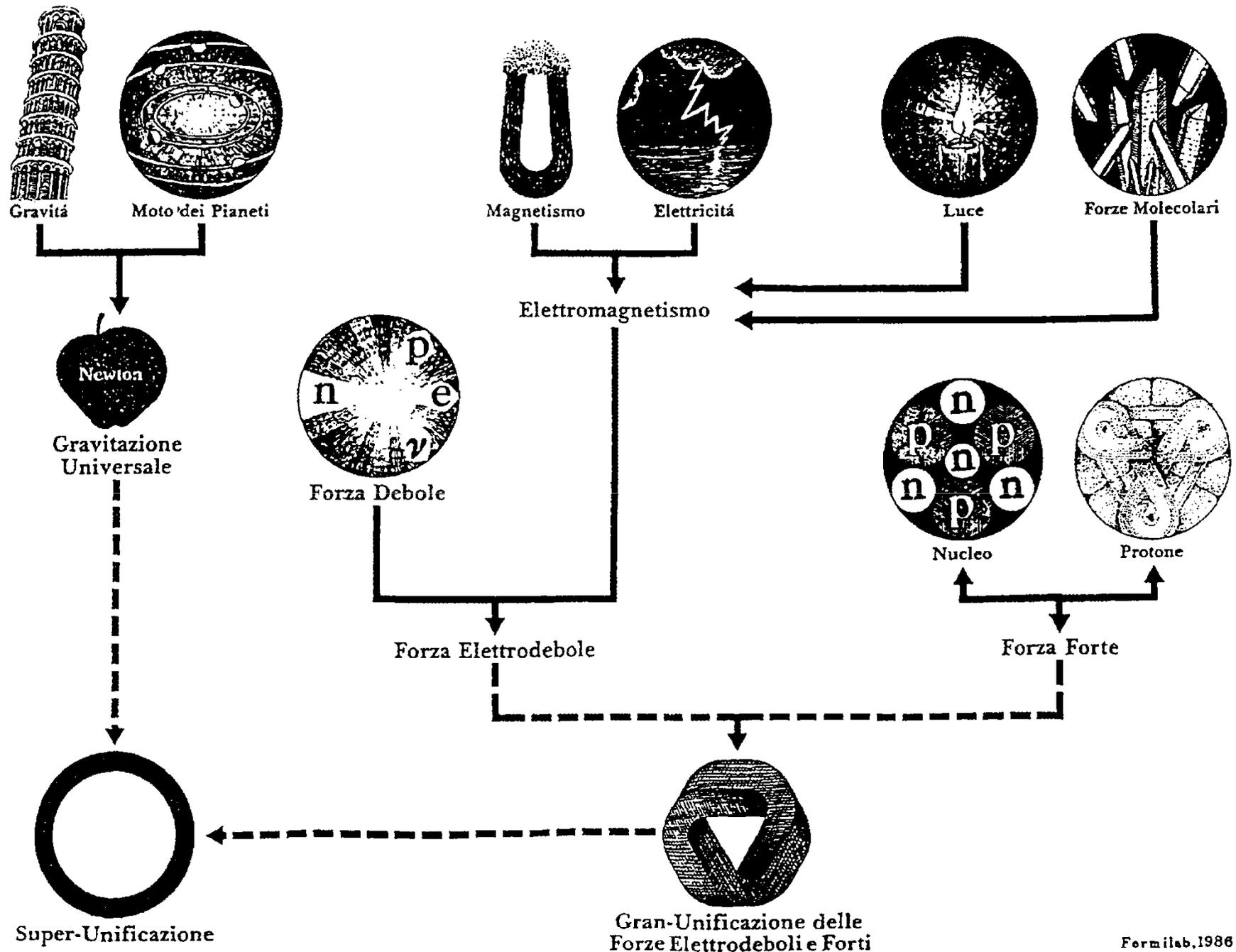
	Leptoni		Quark	
Prima generazione	Elettrone	Neutrino	Up	Down
Seconda generazione	Mu	Neutrino mu	Charm	Strange
Terza generazione	Tau	Neutrino tau	Top	Bottom

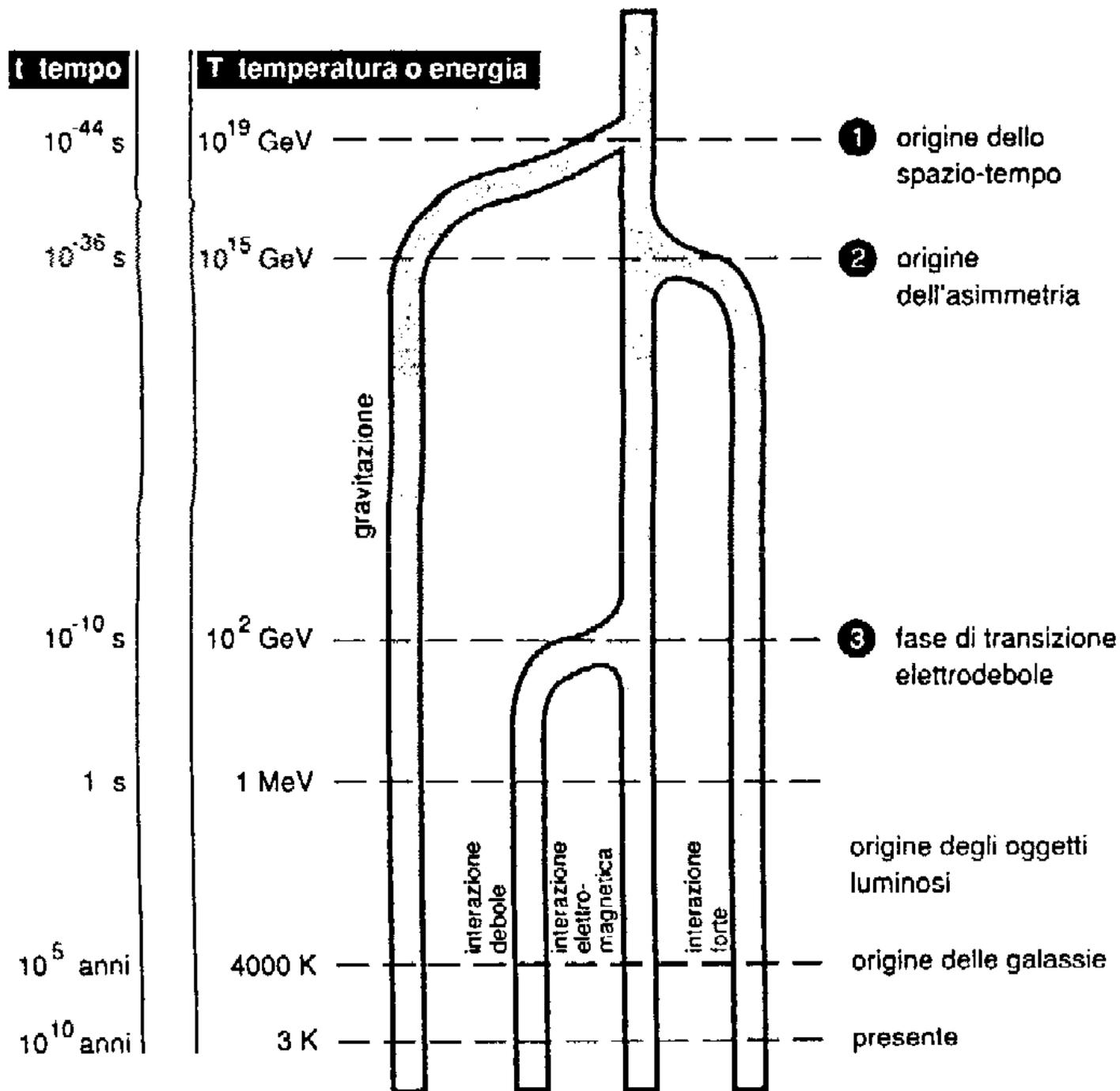
BOSONI

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.

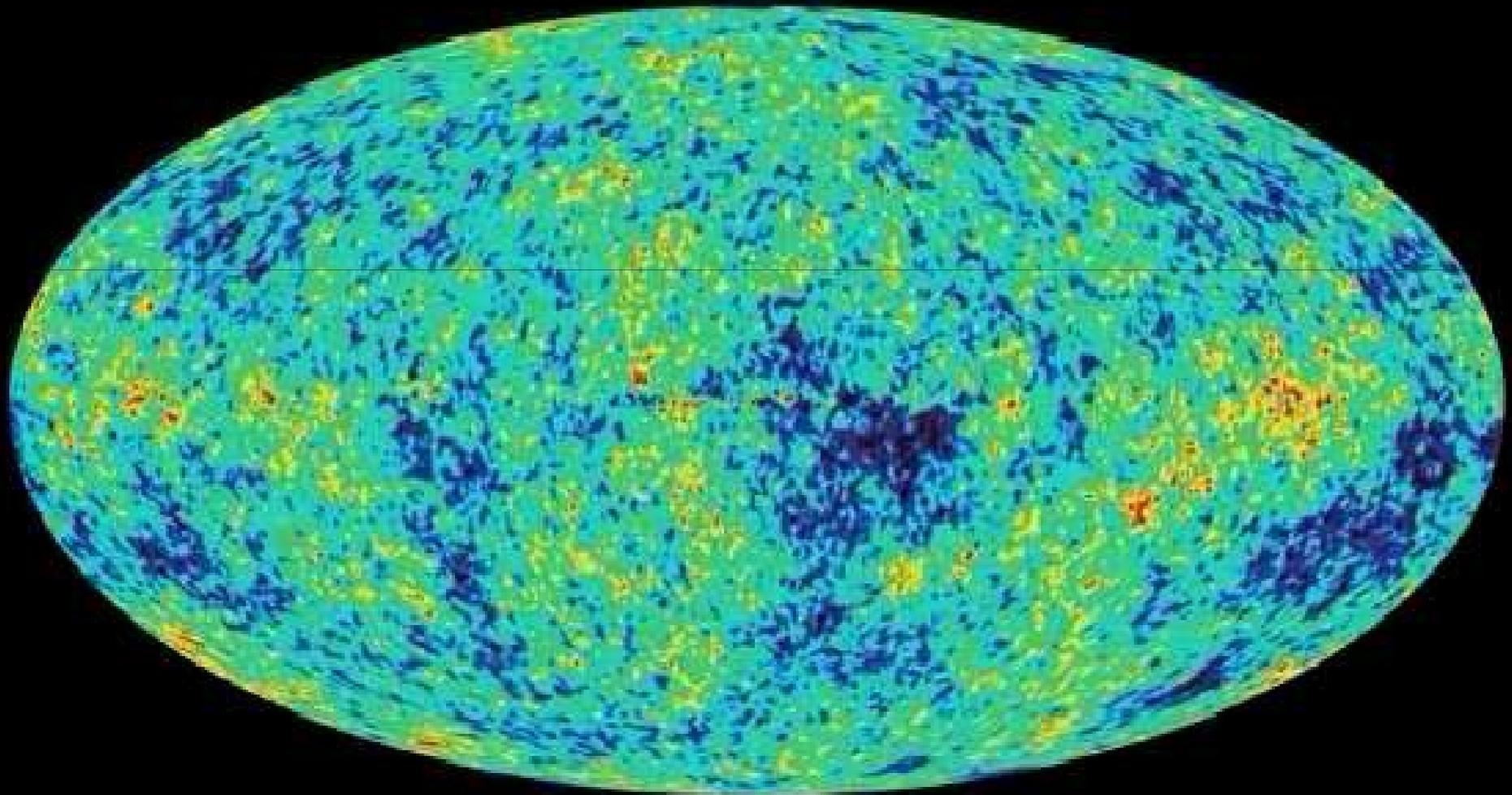
I bosoni sono:

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





Risultati recenti



Risultati recenti

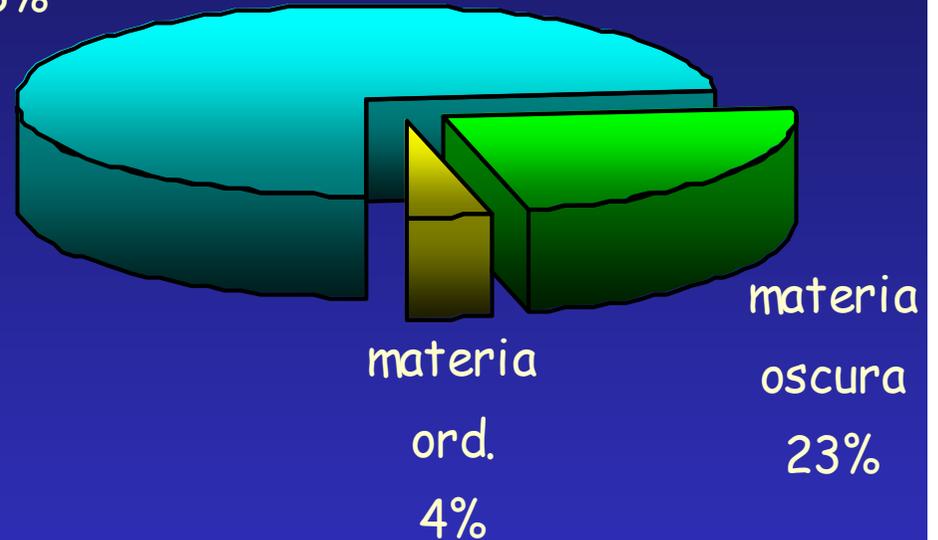
- ✿ La prima generazione di stelle che ha brillato nell'universo ha preso vita 200 milioni di anni dopo il Big Bang
- ✿ L'età dell'Universo è 13,7 miliardi di anni con un errore dell' 1%
- ✿ La teoria del Big Bang e dell'inflazione reggono la prova delle misure

Risultati recenti

✿ Costituzione dell'Universo:

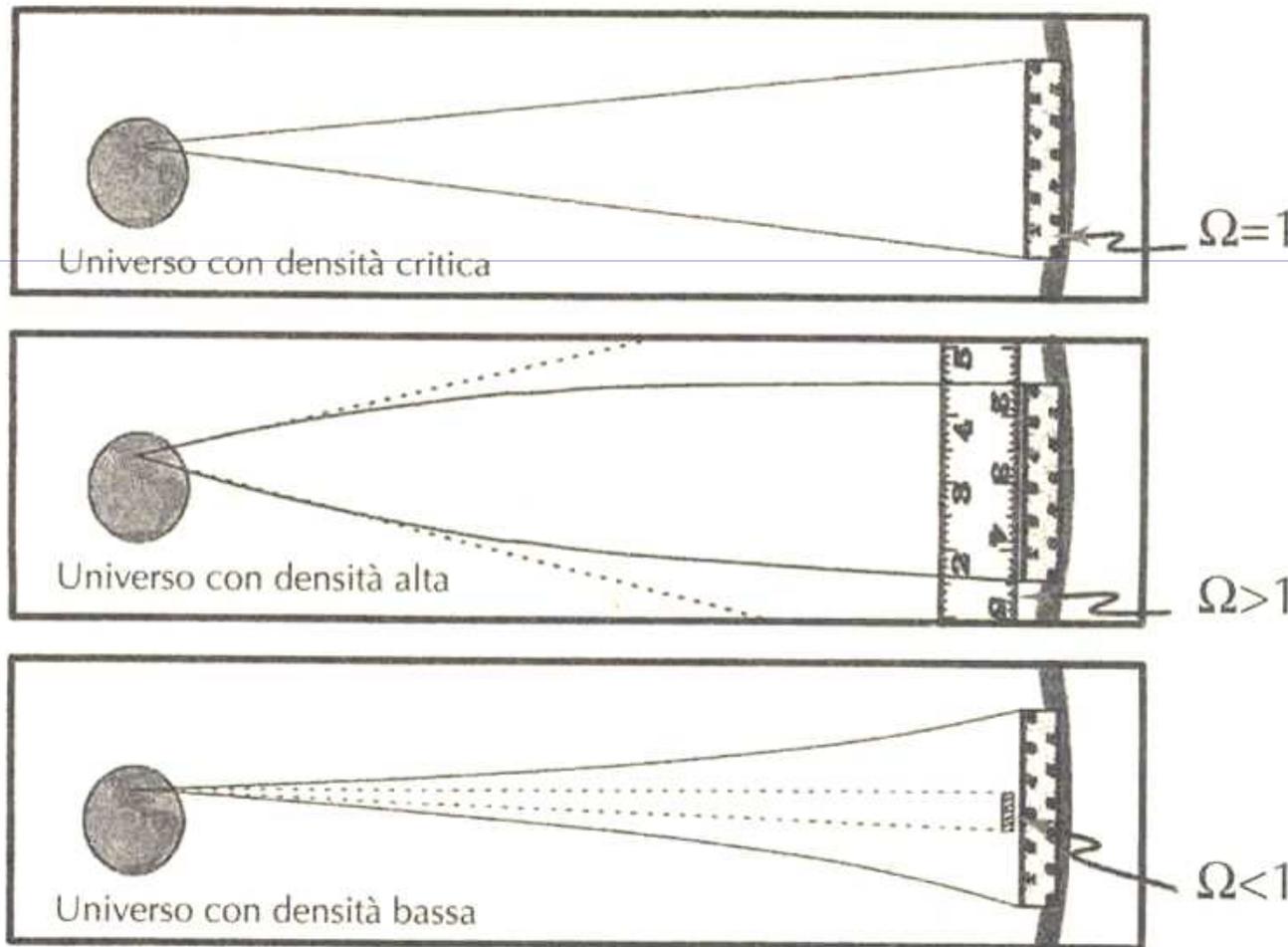
- Materia ordinaria
- Materia oscura: WIMP (Weak Interacting Massive Particles, Particelle Massicce Debolmente Interagenti)
- Energia oscura o energia del vuoto: l'Universo sta "accelerando"
 - Il vuoto (vacuum) non ha energia nulla
 - L'energia del vuoto influenza la gravità
 - L'energia del vuoto è la stessa in tutto l'Universo (costante cosmologica Λ) e rimane costante
 - La densità di materia diminuisce con l'espansione dell'Universo
 - 10 miliardi di anni fa l'espansione era decelerata (dominava la materia), oggi domina l'energia del vuoto

energia
oscura
73%



Risultati recenti

- ☀ l'Universo è piatto (la densità è uguale alla densità critica)



Quando osserviamo la radiazione cosmica di fondo osserviamo l'Universo all'età di circa 400.000 anni, quindi la maggior parte delle strutture deve avere dimensioni di 400.000 anni luce che corrispondono a dimensioni angolari di circa 1° (se l'Universo è piatto). Ciò risulta in accordo con quanto misurato da WMAP.

Prima di $10^{-44}s$

Uno dei problemi maggiori della teoria del Big Bang è riuscire a spiegare cosa accadde prima di $10^{-44}s$ (tempo di Planck).

In tale istante le dimensioni tipiche degli oggetti dell'Universo avevano dimensioni della lunghezza di Planck 10^{-33} cm

Per risolvere questo problema bisogna combinare la teoria della relatività generale con la meccanica quantistica.

Diversa teorie hanno tentato questa strada e attualmente sono due quelle più accreditate.

La teoria delle stringhe

La teoria della gravitazione quantistica nella formulazione a loop

Teoria delle stringhe

L'ultimo tentativo di unificare tutte le forze si trova nella *teoria delle stringhe*, la quale ipotizza che le unità costitutive ultime della natura siano piccolissime stringhe vibranti.

Una corda è capace di vibrare in infiniti modi differenti; secondo la teoria delle stringhe ogni modo di vibrazione di una stringa rappresenta una particella o una forza.

Le stringhe interagiscono con altre stringhe rompendosi e riformandosi.

Le quattro interazioni fondamentali sono considerate semplicemente come differenti manifestazioni dell'unica forza unificante della stringa.

Teoria delle stringhe

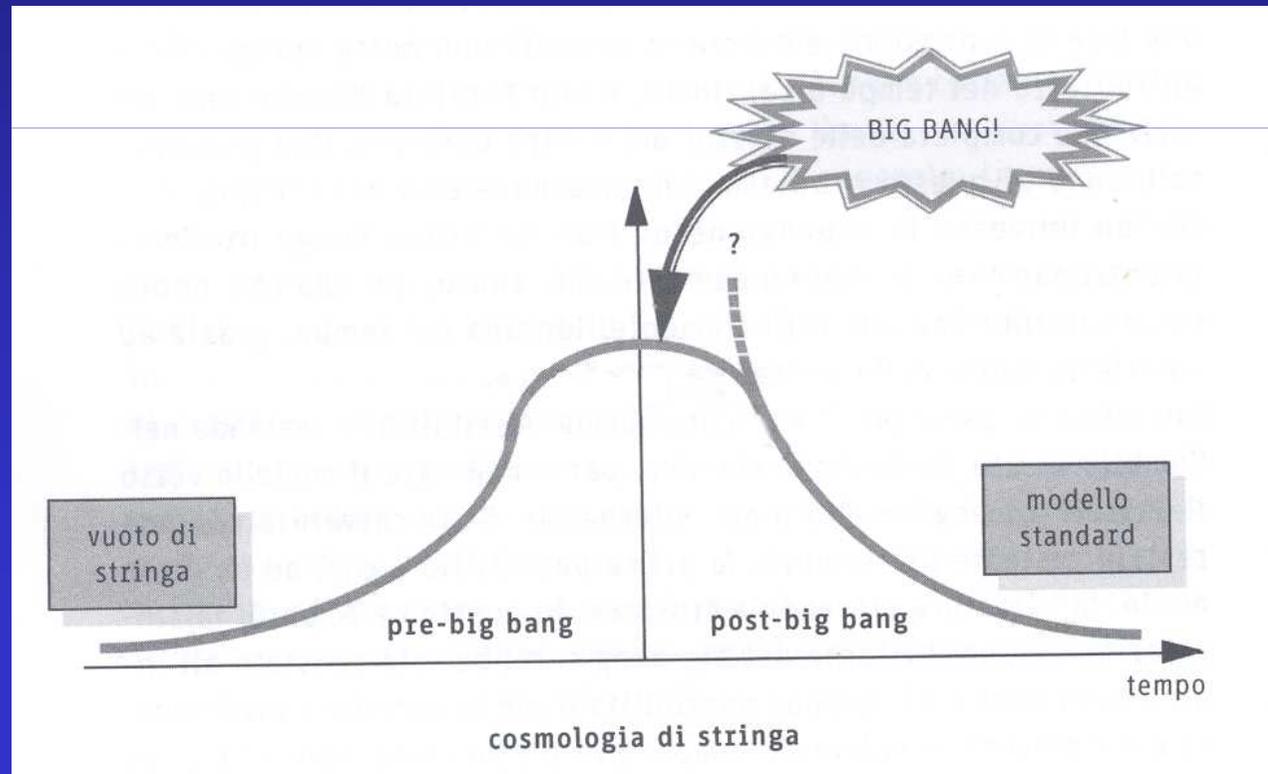
La teoria delle stringhe ipotizza che l'Universo abbia almeno 10 dimensioni (più il tempo, per un totale di 11), che all'inizio erano equivalenti.

Attualmente solo quattro sono percepibili ai nostri sensi; le altre sono troppo piccole per essere osservate.

Le energie necessarie per verificare sperimentalmente la teoria delle stringhe sono troppo grandi per poter essere prodotte in laboratorio.

Teoria delle stringhe

Il fisico teorico *Gabriele Veneziano*, nel 1991, propose un modello di Universo infinito nel tempo in cui il Big Bang è solo una fase di transizione



La teoria della gravitazione quantistica nella formulazione a loop

La gravità quantistica a loop prevede che lo spazio esista in volumi discreti, il più piccolo dei quali misura circa una lunghezza cubica di Planck, o 10^{-99} cm^3 .

Il tempo procede per istanti lunghi quanto il tempo di Planck, 10^{-43} s .

Recenti applicazioni di questa teoria all'origine dell'Universo sembrano indicare che il big bang debba lasciare il posto all'ipotesi del **big bounce** (grande rimbalzo).

Prima l'Universo si trovava in rapida contrazione

L'idea di Halton Arp

E se i redshift non fosse di natura cosmologica ?

A cavallo della metà degli anni '60 vennero scoperti i QUASAR (QUAsi Stellar Astronomical Radio-source, cioè radiosorgenti astronomiche quasistellari); oggetti dall'aspetto stellare caratterizzati da un eccezionale redshift (anche oltre 10 miliardi di a.l.).

I quasar sono oggetti vecchissimi che esistevano agli inizi dell'Universo: vengono interpretati come nuclei di galassie giovani molto attive (all'interno potrebbero esserci enormi buchi neri).

L'idea di Halton Arp

Arp si accorse che la distribuzione dei quasar nel cielo portava possibili collegamenti materiali tra questi ed alcune galassie.

Arp mette in dubbio l'idea assai radicata che lo spostamento verso il rosso delle righe spettrali sia sempre dovuto ad effetto Doppler e quindi sia una conseguenza dell'espansione dell'Universo.

L'idea di Halton Arp

Dalle osservazioni Arp pensa di poter dedurre che i quasar vengano espulsi da galassie madri e che, evolvendosi, dopo miliardi di anni, diventerebbero altre galassie.

Il più importante sostegno teorico a questa idea si fonda su una interpretazione delle equazioni della relatività generale: l'idea è che il redshift sia di natura gravitazionale.

Un'altra idea, compatibile con la relatività generale, è che la massa delle particelle vari nel tempo.

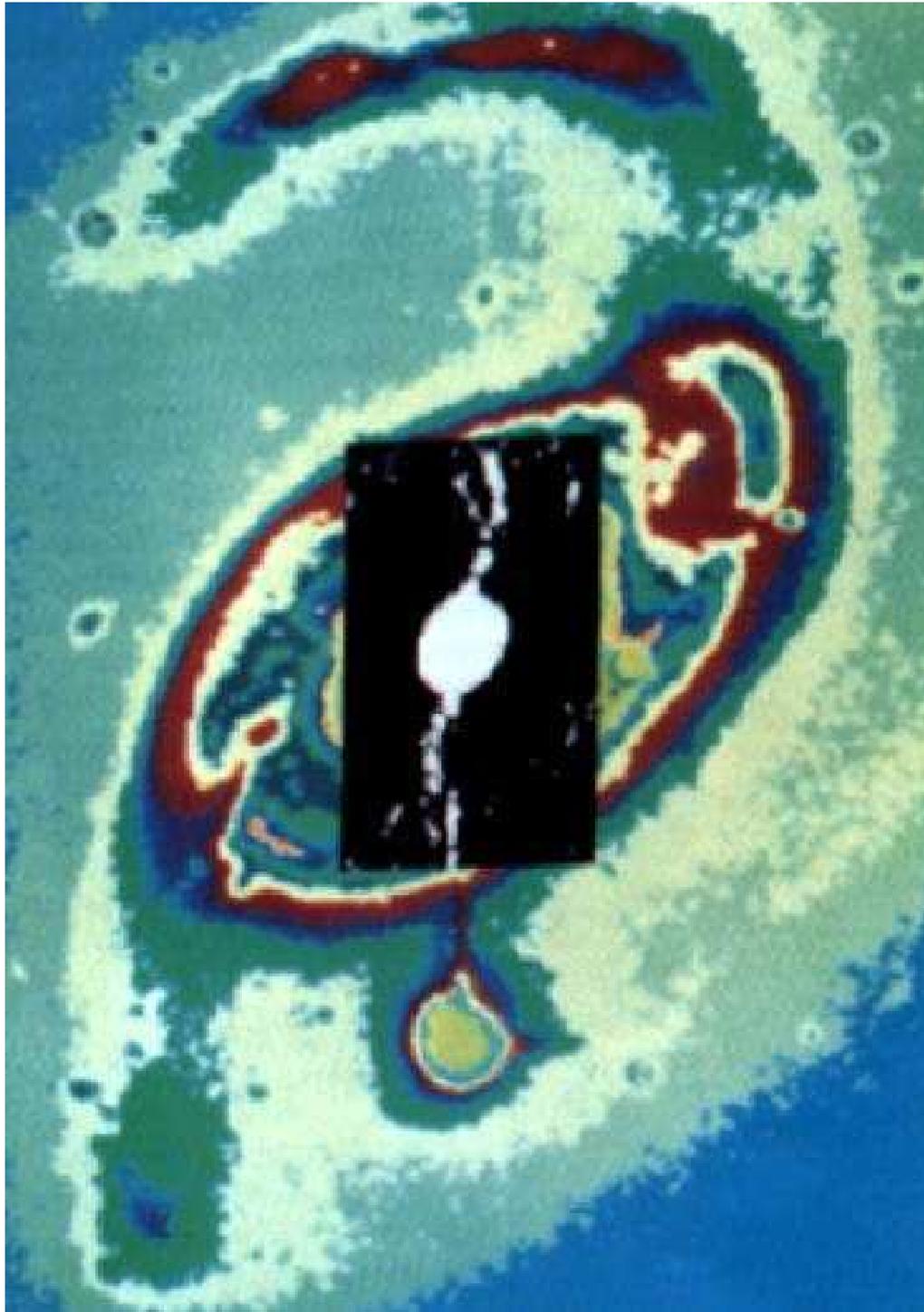


Immagine della galassia NGC 4319 e del quasar Markarian 205 ad essa collegato.

Essi sono il più famoso esempio di oggetti apparentemente interagenti e con redshift molto diversi.

È su immagini di questo tipo che Arp fonda le sue idee sull'Universo.

CONCLUSIONE

La cosmologia progredisce . . .



FINE

