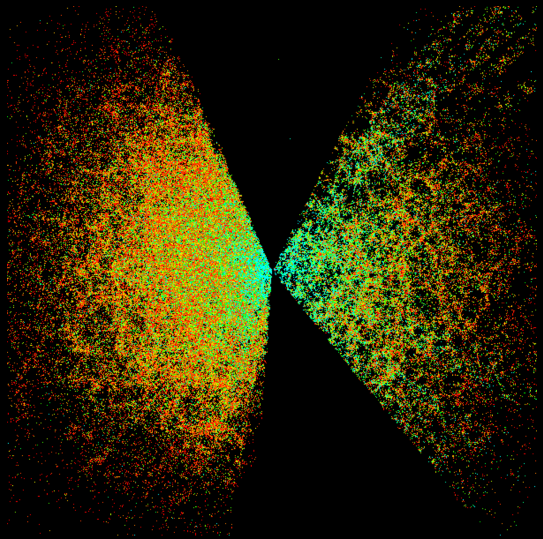
Universo in fiore

Struttura a Larga Scala



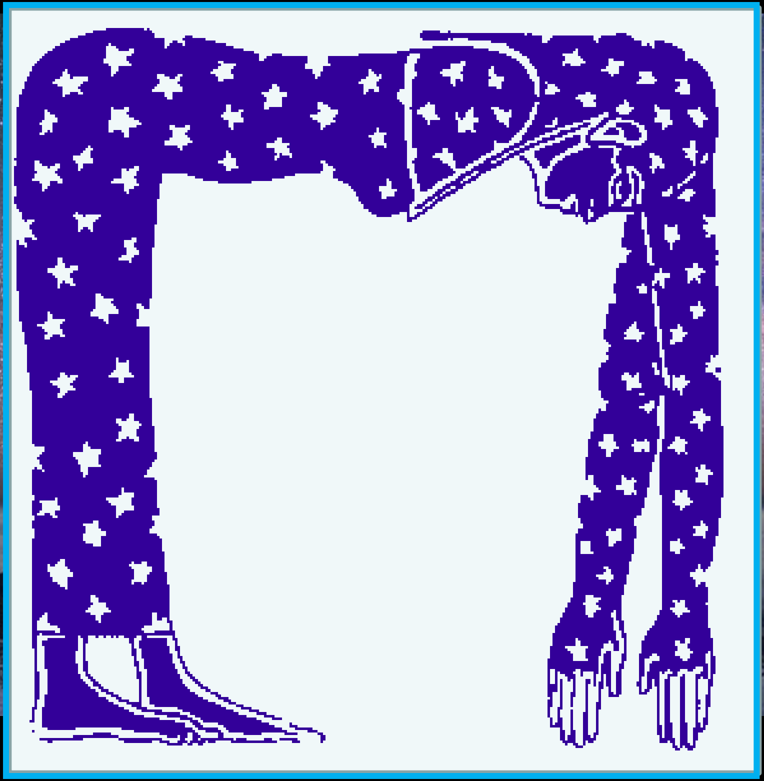
Angela Iovino

angela.iovino@brera.inaf.it

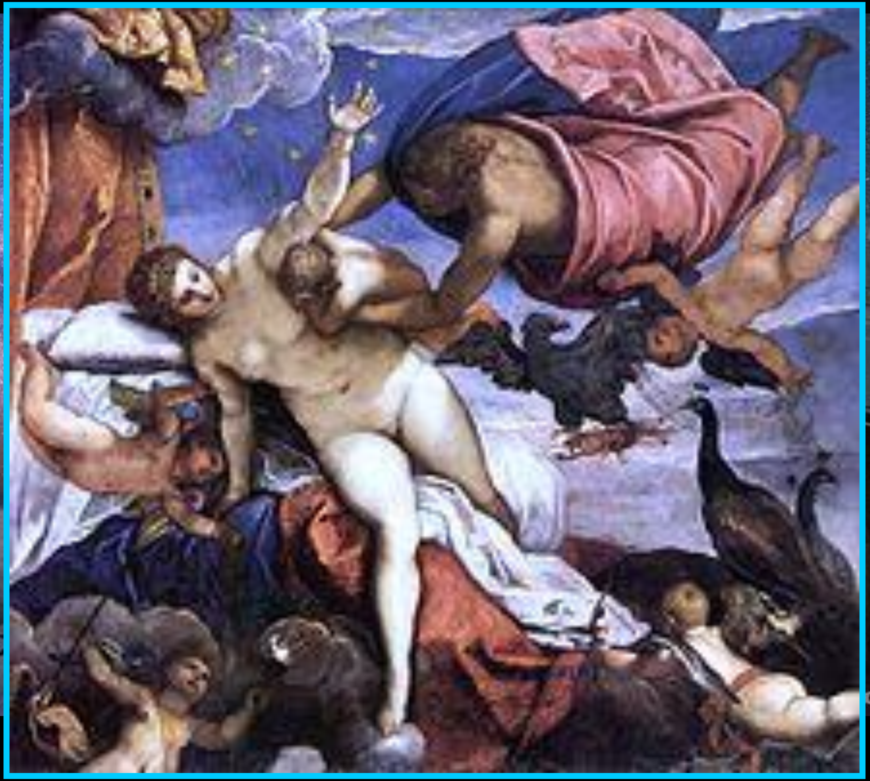
INAF - Osservatorio Astronomico di Brera

La via Lattea vista dalla cima dell'osservatorio di Mauna Kea

Wally Pacholka / AstroPics.co

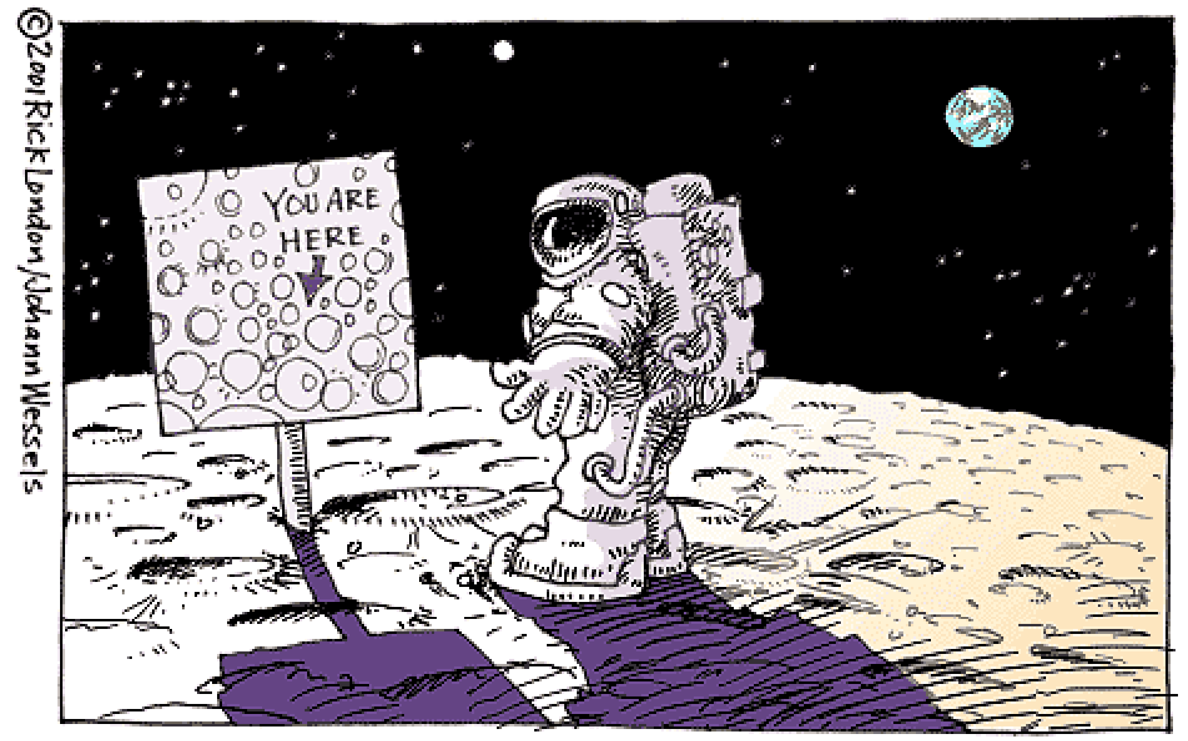


La Dea Nut



Origine della Via Lattea (Tintoretto, c. 1570)

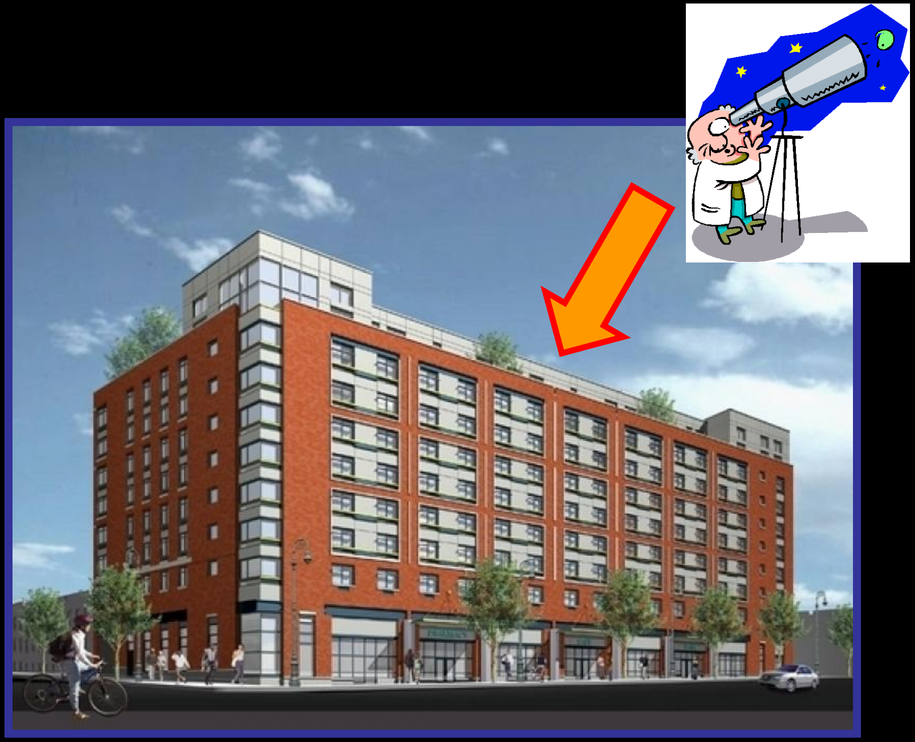
Quando abbiamo cominciato ad avere un'idea delle dimensioni del Cosmo?


©2001 Rick London/Johann Wessels
YOU ARE HERE

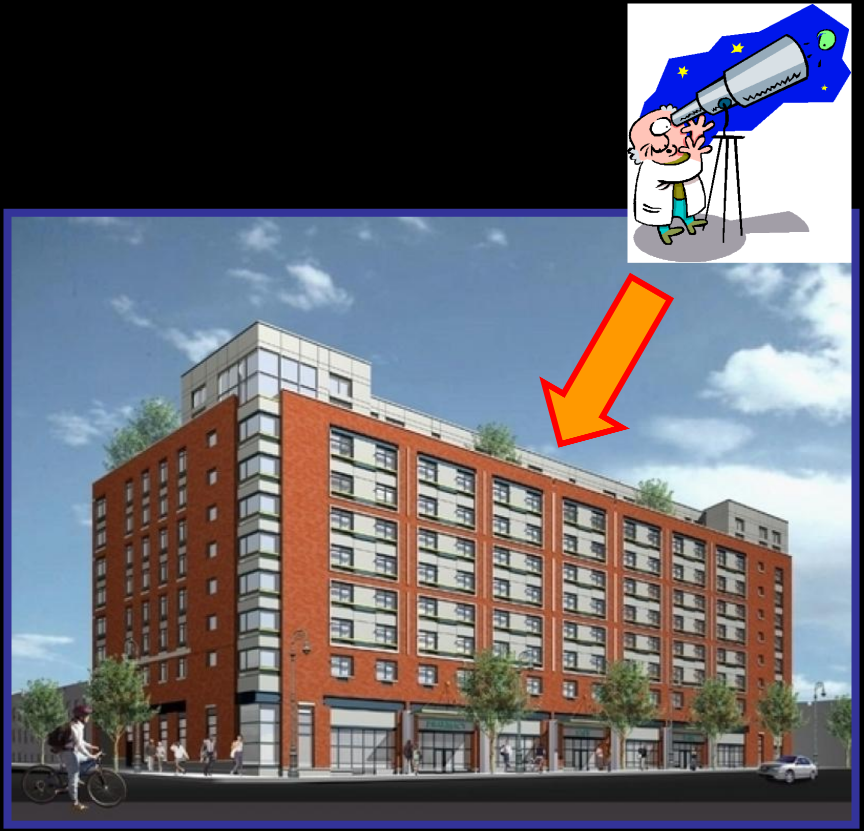
1

Peculiarità delle distanze astronomiche …

Osserviamo dalla Terra …

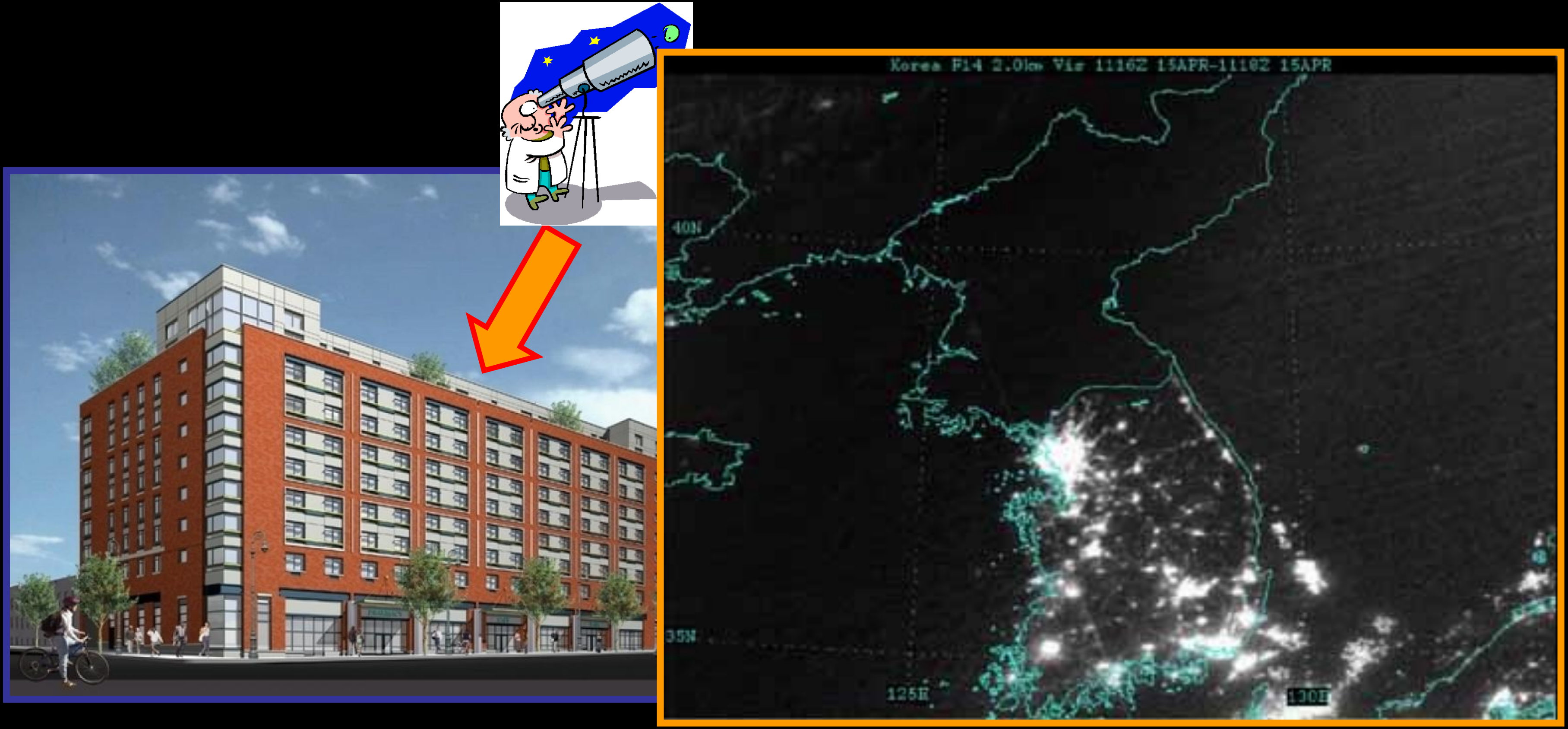


1 Peculiarità delle distanze astronomiche …

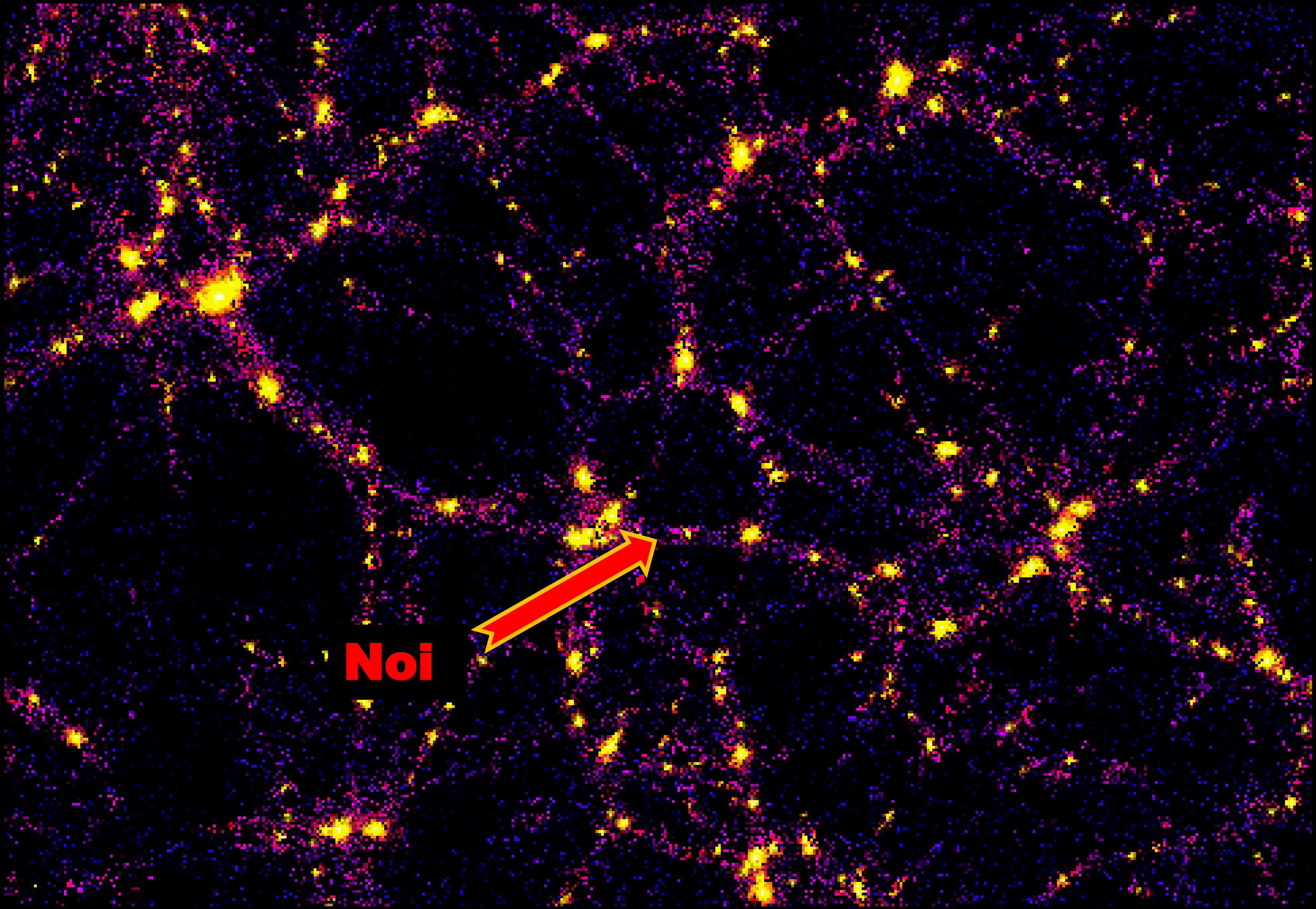


1 Osserviamo dalla Terra …

Peculiarità delle distanze astronomiche …


Korea F14 2.0km Vis 1116Z 15APR-1118Z 15APR
40N
35N
125E
130E

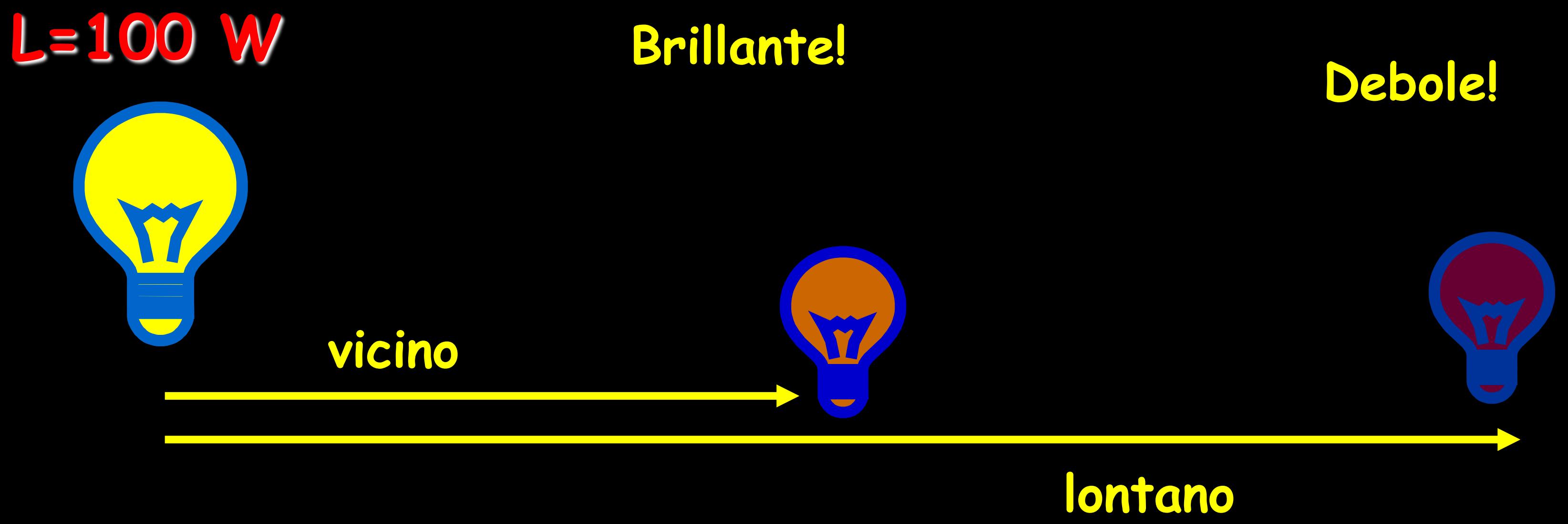
1 Peculiarità delle distanze astronomiche …



Struttura a Larga Scala

Il concetto di lampione standard

La luminosità osservata cala con il quadrato della distanza !



L=100 W

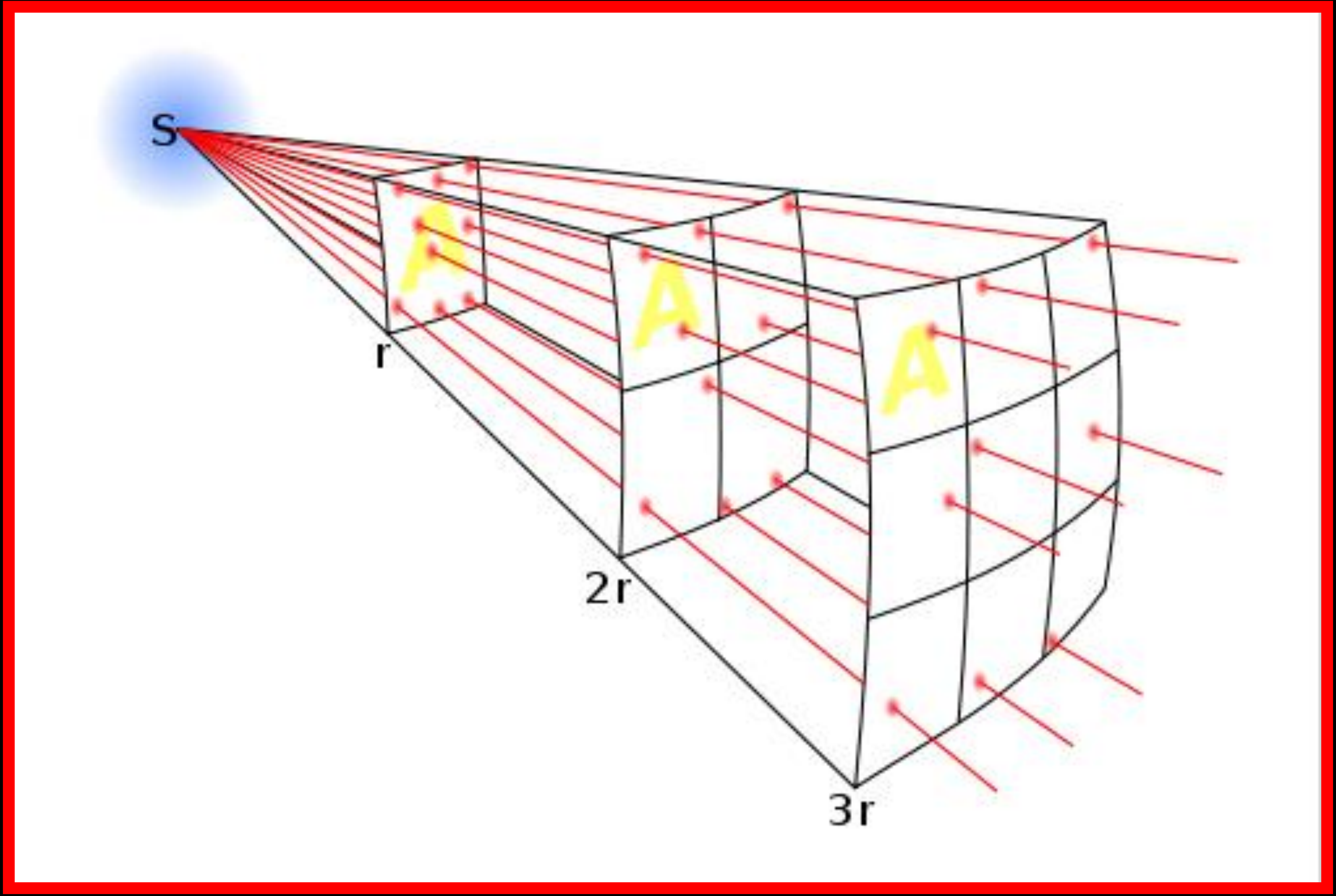
Brillante!

Debole!

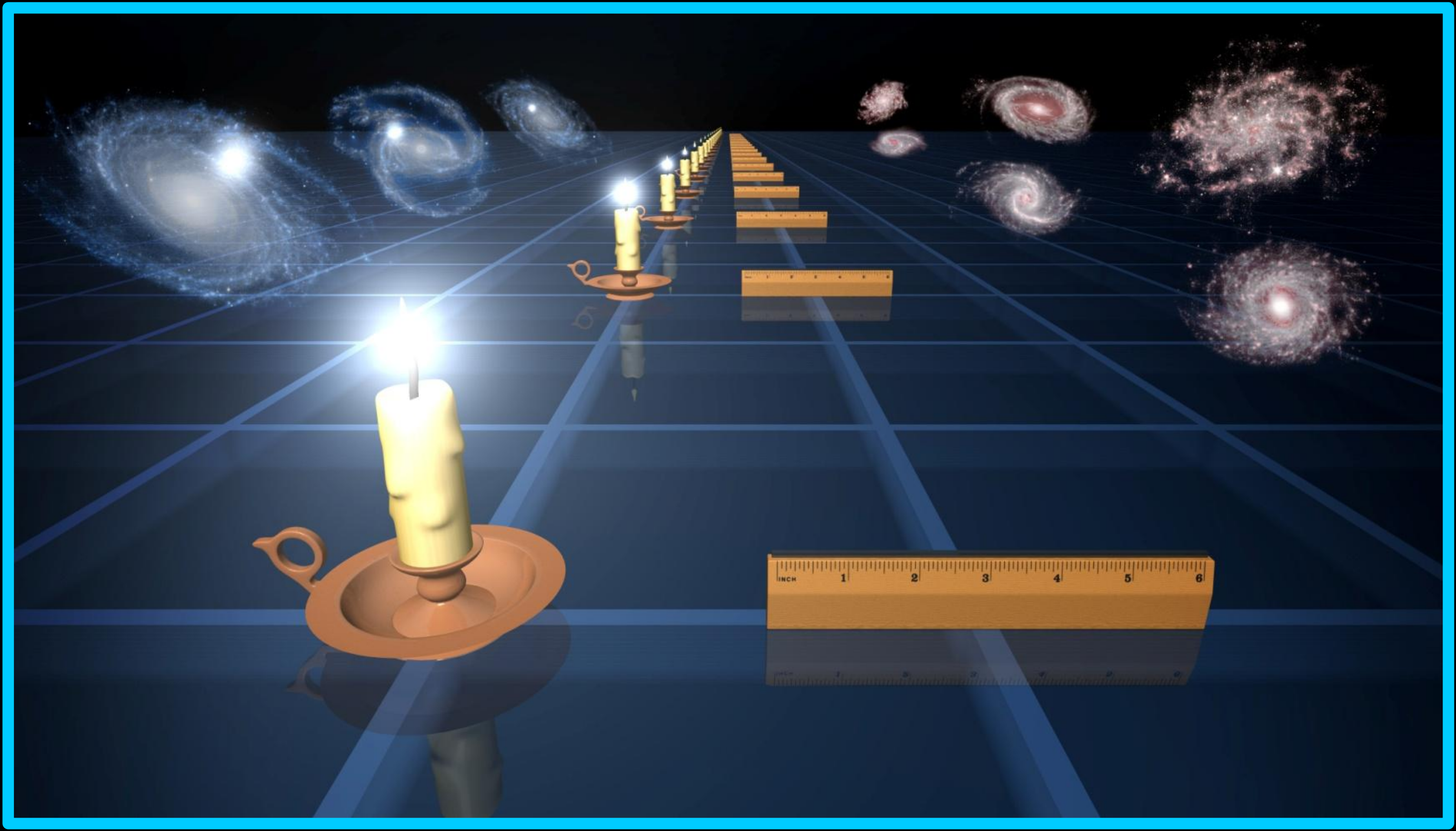
vicino

lontano

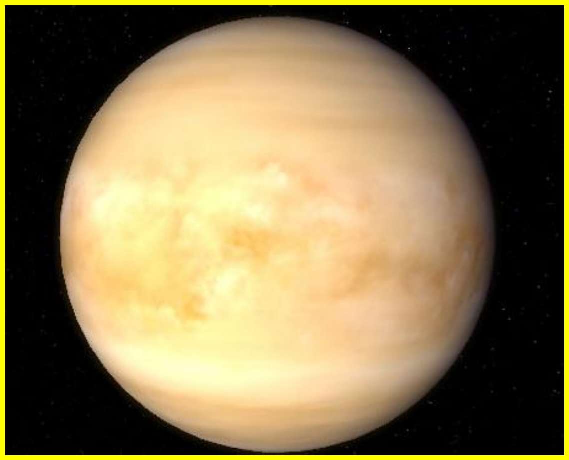
La luminosità osservata cala con il quadrato della distanza !



La luminosità osservata cala con il quadrato della distanza !


INCH
1
2
3
4
5
6

2 Gli oggetti che osserviamo sono molto deboli …

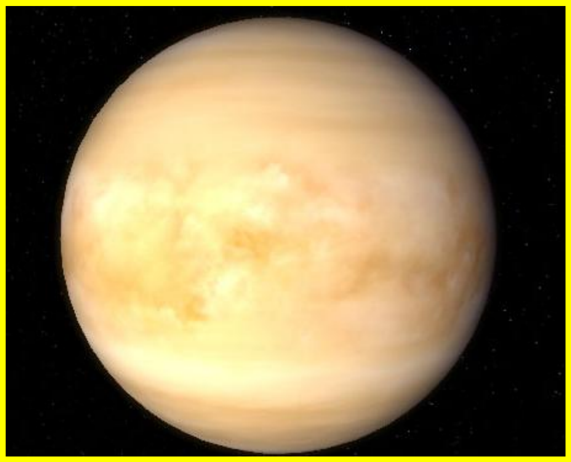


Venere
10’000 fotoni

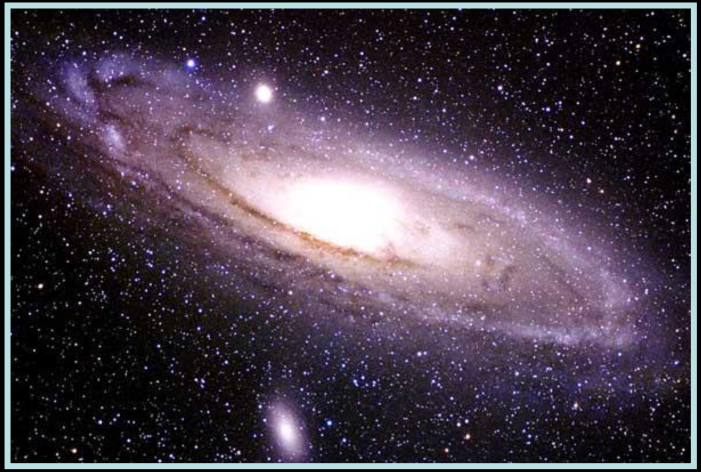
Andromeda
1 fotone

2

Gli oggetti che osserviamo sono molto deboli …



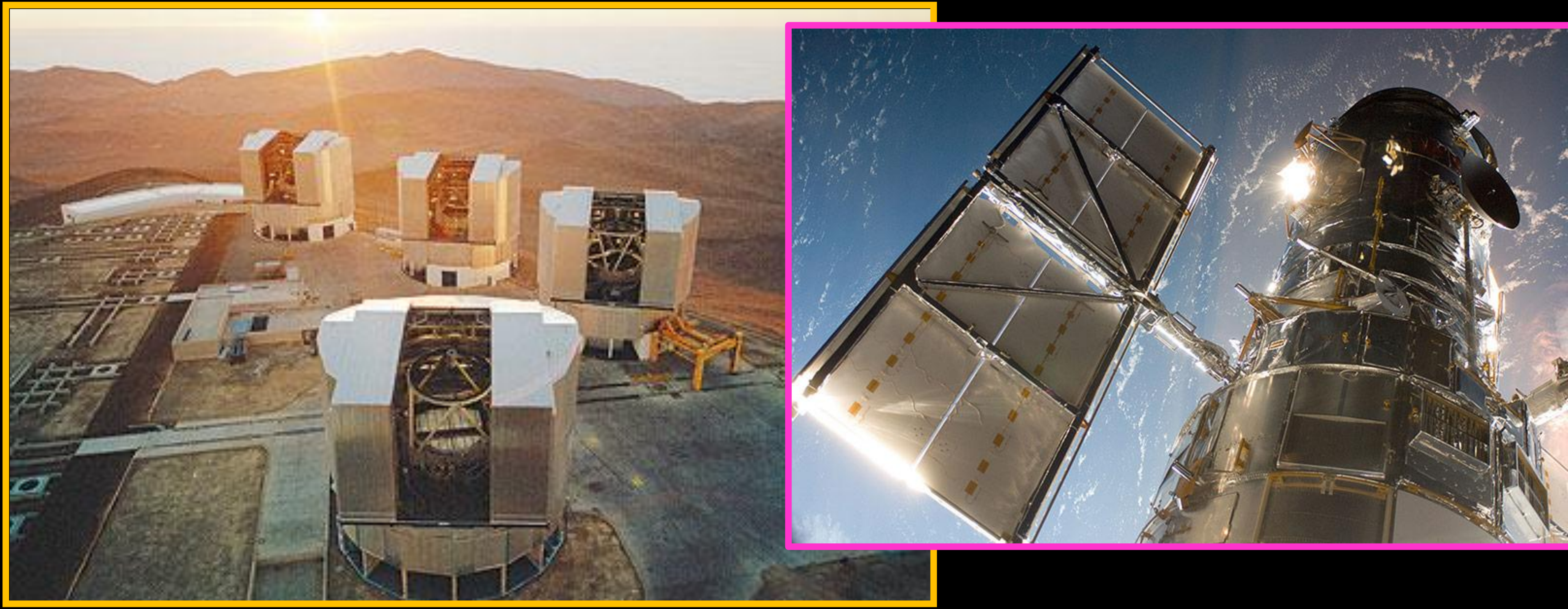
Venere
10’000’000’000
fotoni



Andromeda
1’000’000 fotoni

Galassie piu’ distanti
1 fotone

2 Gli oggetti che osserviamo sono molto deboli …

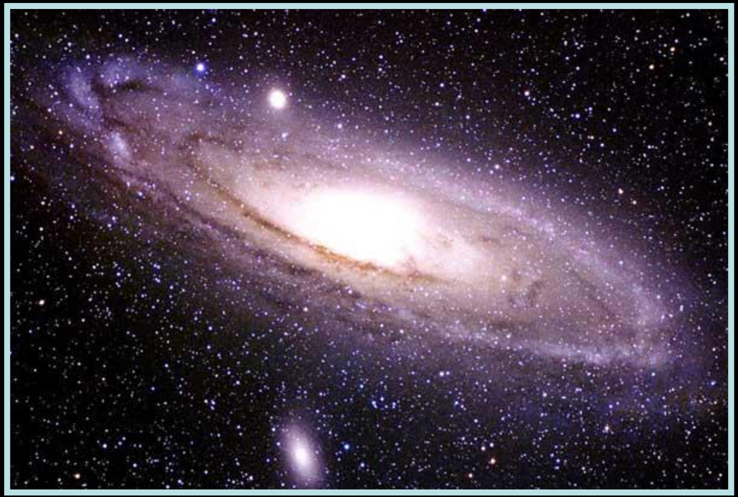


… abbiamo bisogno di strumenti potenti, con detectors sensibili, meccanica precisa, e possibilmente fuori dall’atmosfera !

3 Gli oggetti che osserviamo sono molto lontani …

Luna → Terra
1.25 secondi

Sole → Terra
8 minuti



Andromeda → Terra
2.5 milioni di anni

Velocità finita di propagazione della luce

3 Gli oggetti che osserviamo sono molto lontani …

Luna → Terra
1.25 secondi

Sole → Terra
8 minuti

Andromeda → Terra
2.5 milioni di anni

guardare lontano nello spazio
≡
guardare lontano nel tempo

guardare lontano nello spazio
≡
guardare lontano nel tempo

Telescopio → macchina del tempo!

guardare lontano nello spazio

≡

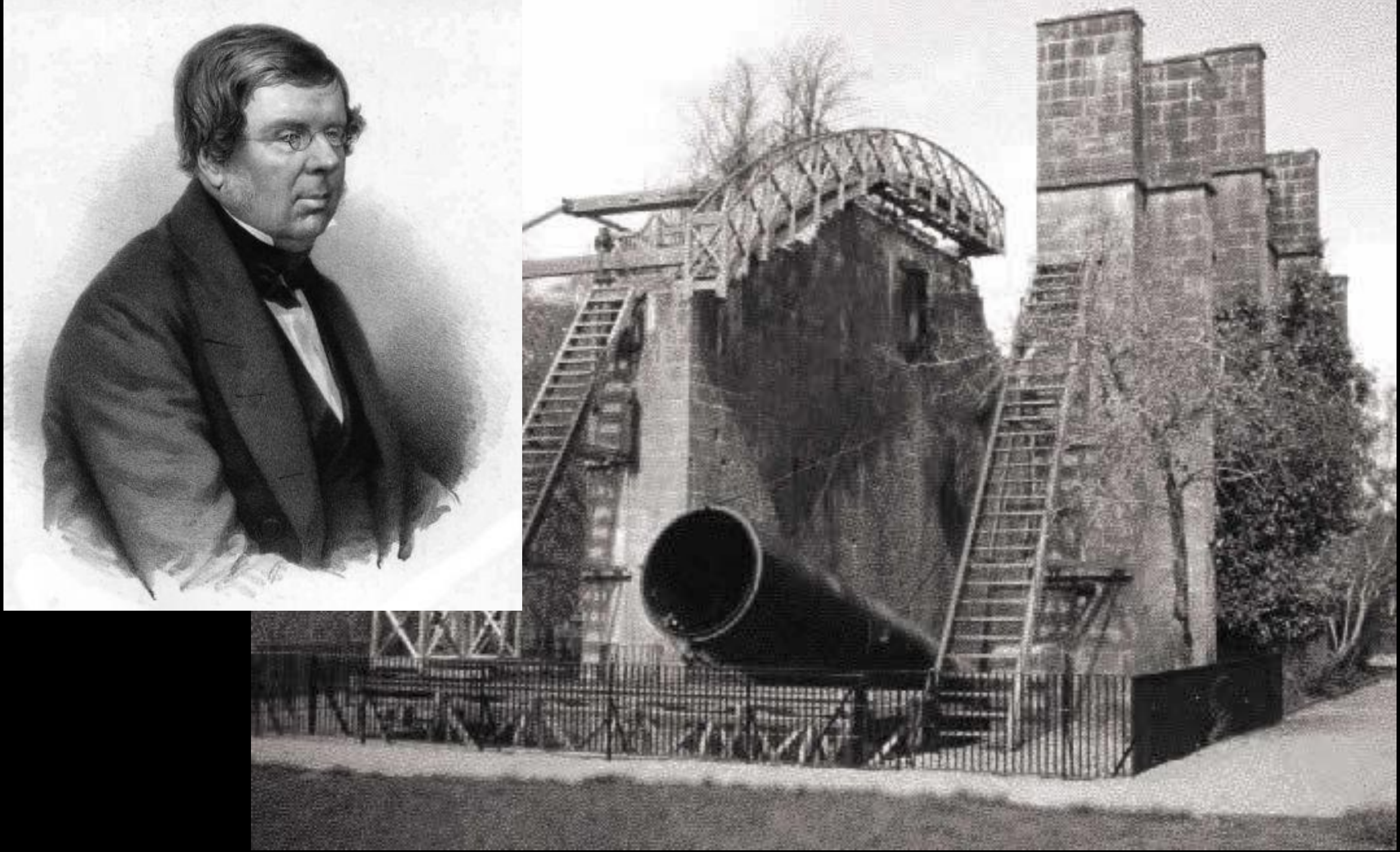
guardare lontano nel tempo

Telescopio → macchina del tempo!

Dobbiamo esser sicuri che
i lampioni vicini
a noi siano uguali
a quelli distanti
da noi!

Struttura a Larga Scala

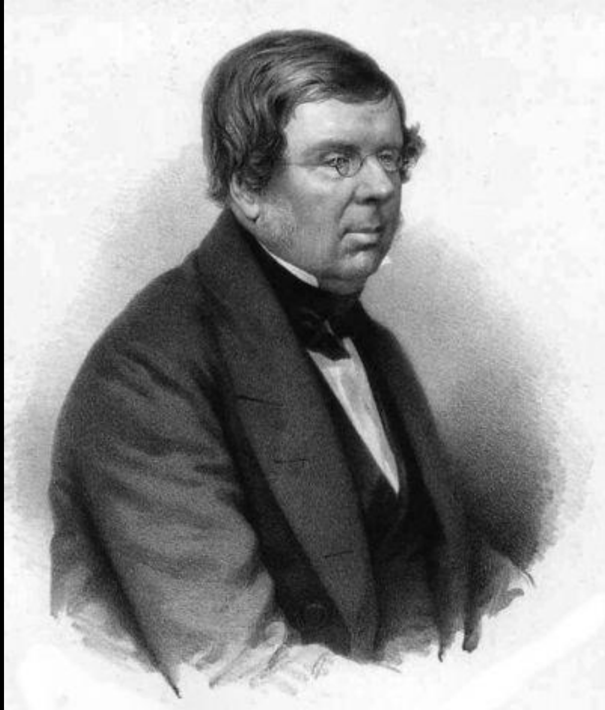
Il telescopio Leviatano di lord Rosse

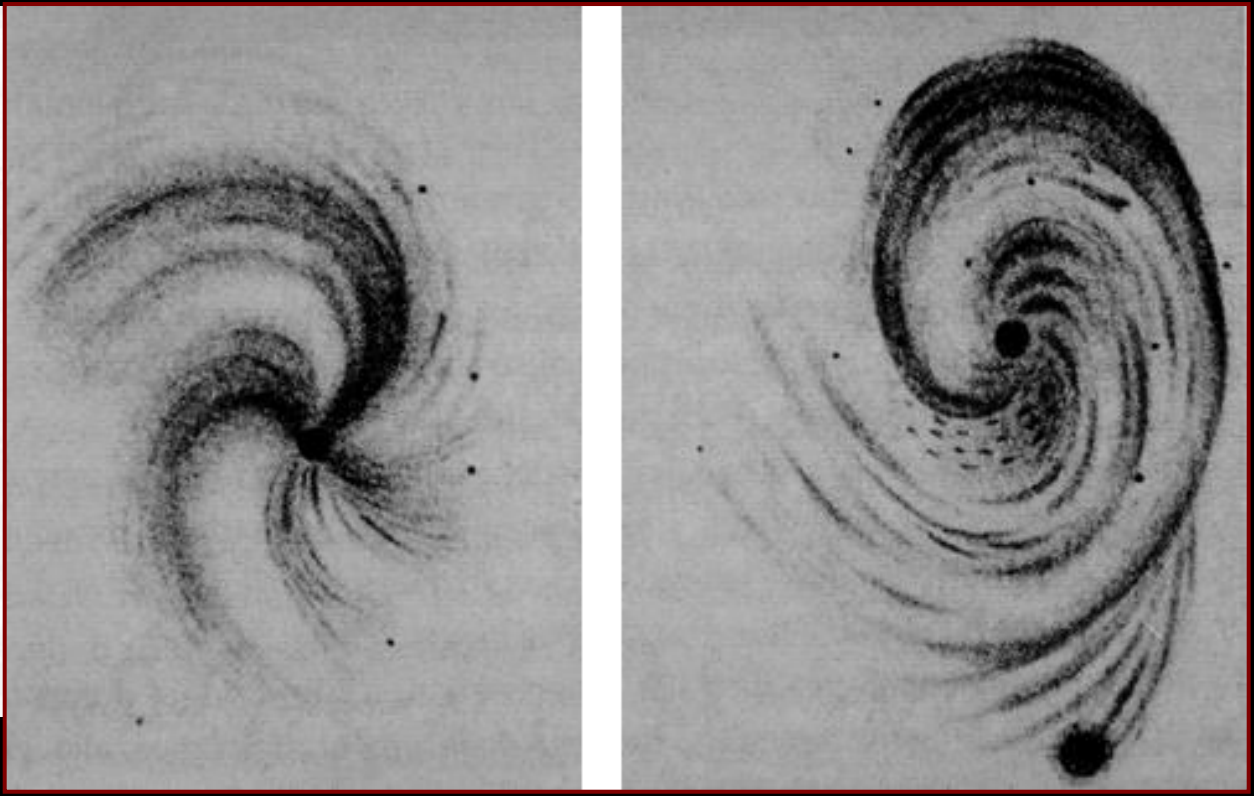


1845

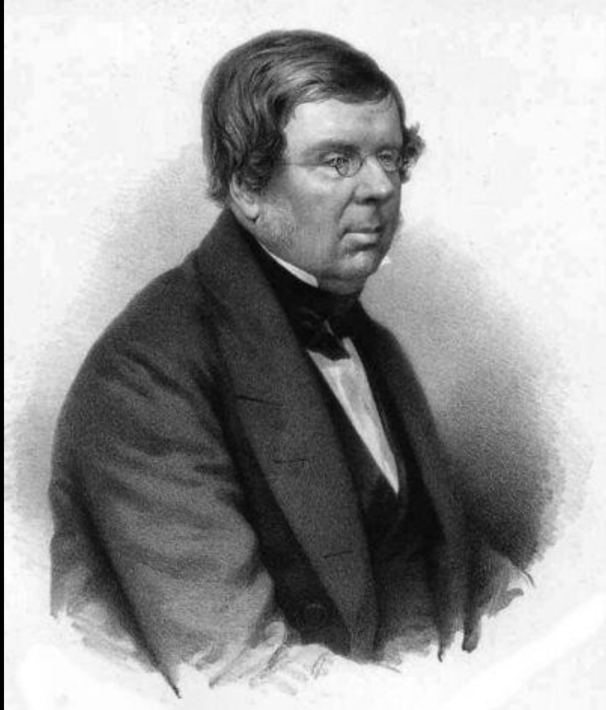
Il telescopio Leviatano di lord Rosse

1845

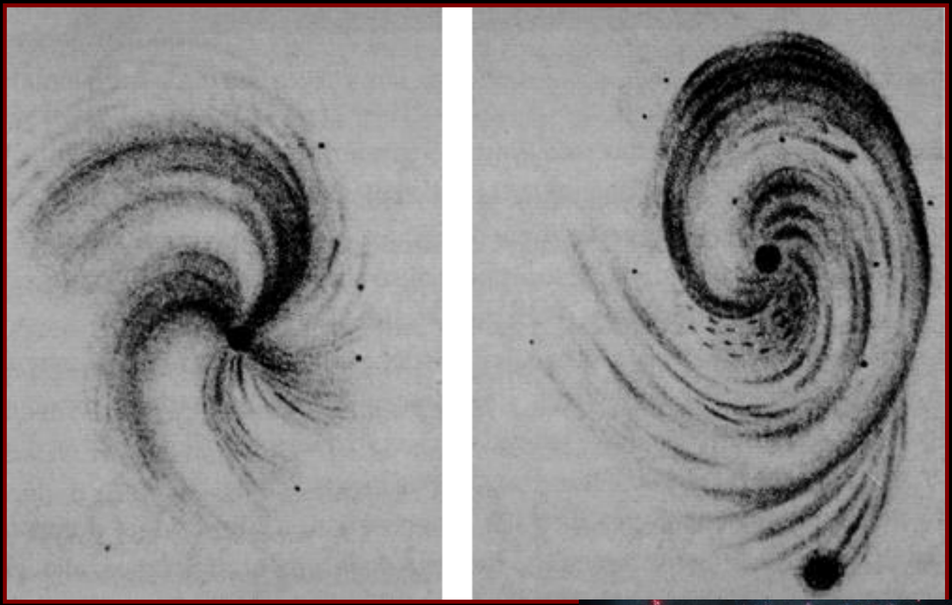


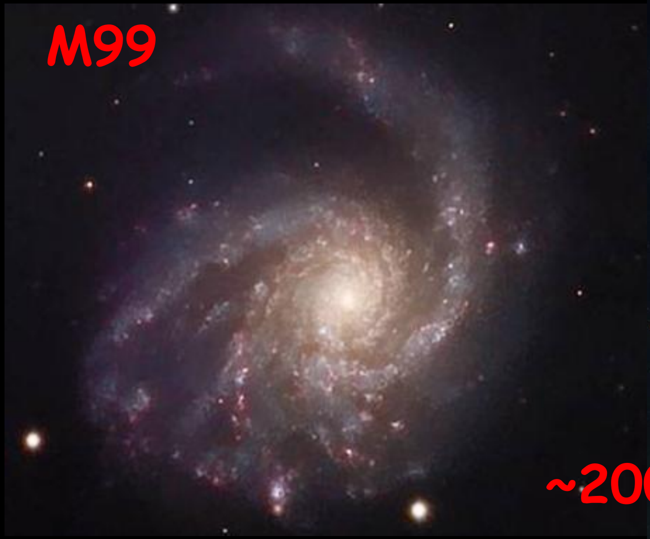


Il telescopio Leviatano di lord Rosse

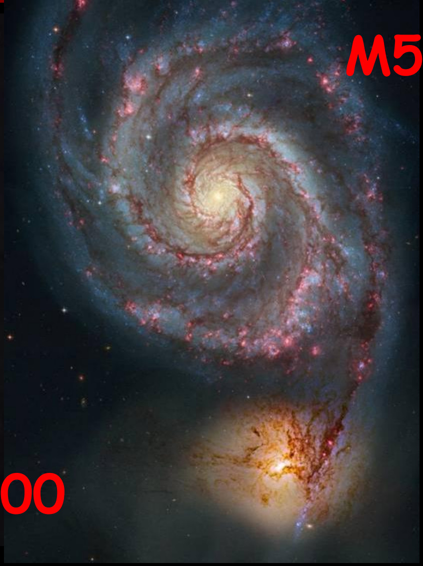


1845





M99



M51

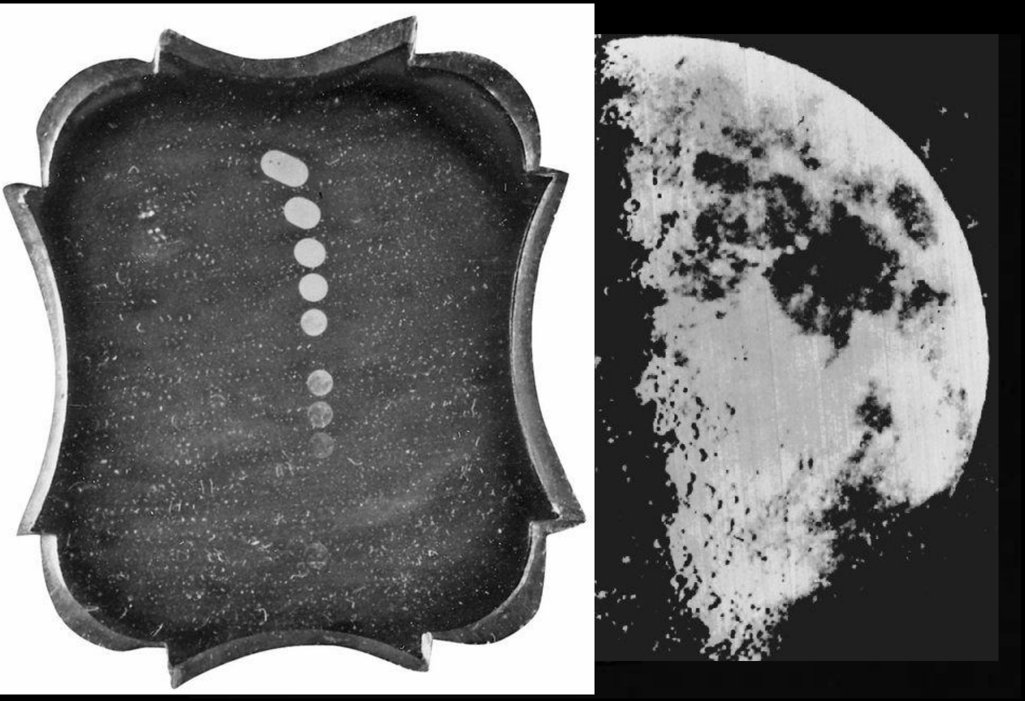
~2000

Quando abbiamo cominciato ad avere un'idea delle dimensioni del Cosmo?

Un avanzamento tecnologico permise il salto di qualita' nelle osservazioni …

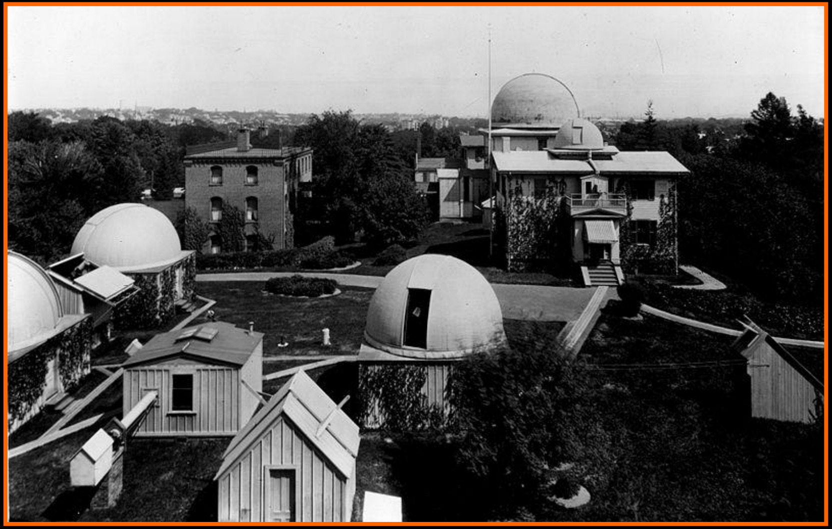
Quando abbiamo cominciato ad avere un'idea delle dimensioni del Cosmo?

Un avanzamento tecnologico permise il salto di qualita' nelle osservazioni …



Prima immagine della luna di John Draper: daguerrotipo del 1839

Edward Pickering (1846-1919)

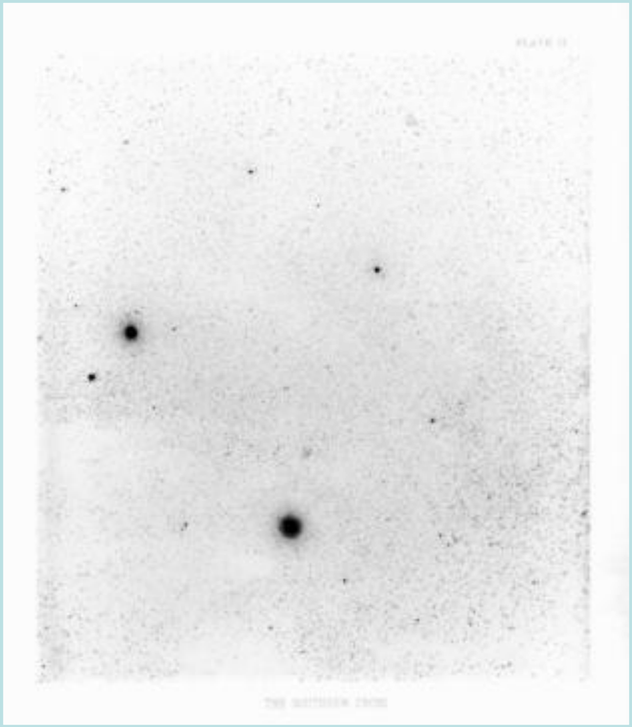


Harvard Observatory
ca. 1890

Edward Pickering
(1846-1919)

Arequipo Observatory
fine '800

Raccolta sistematica di lastre del cielo



La costellazione della Croce del Sud

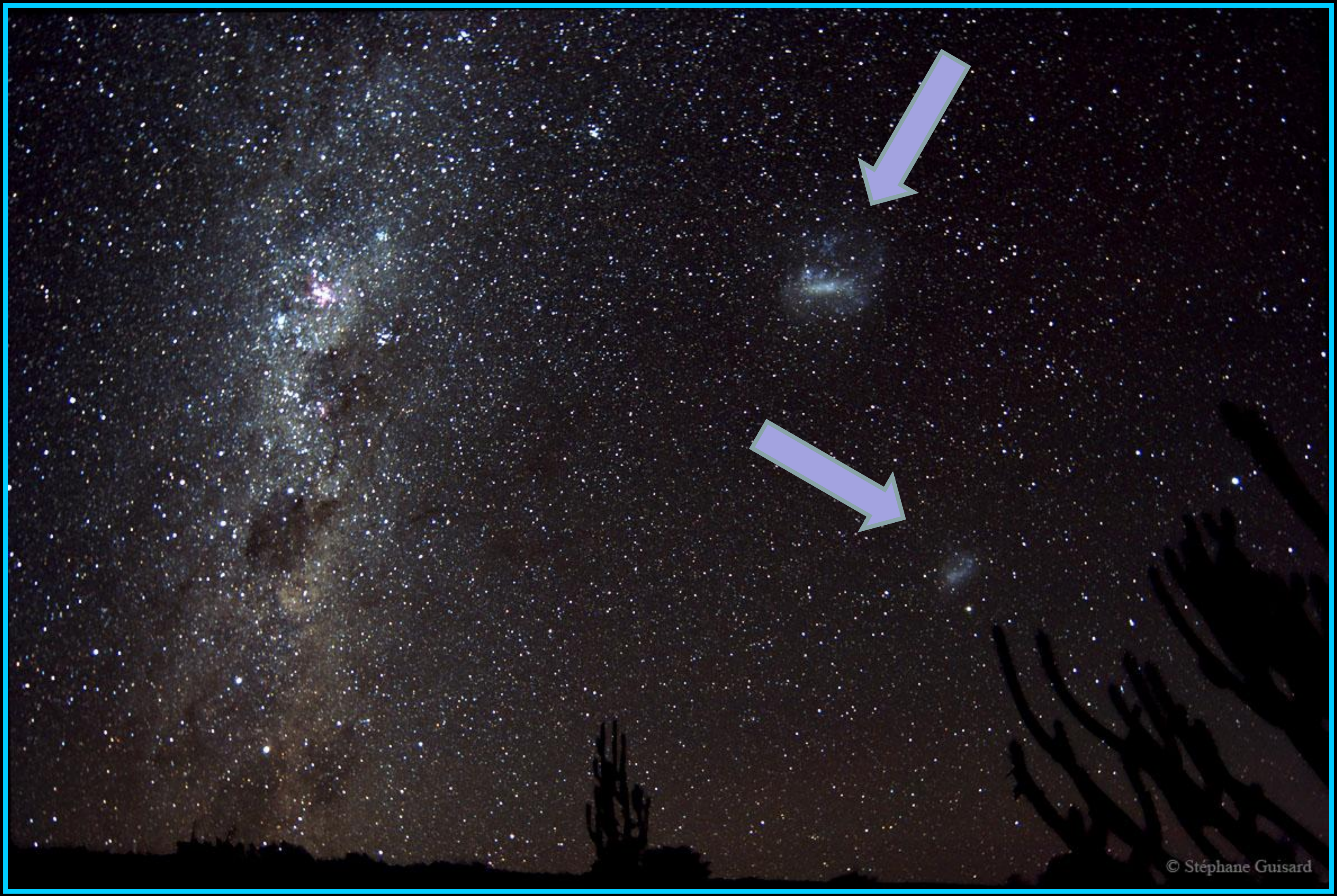
Le donne calcolatrici di Harvard (inizi '900)

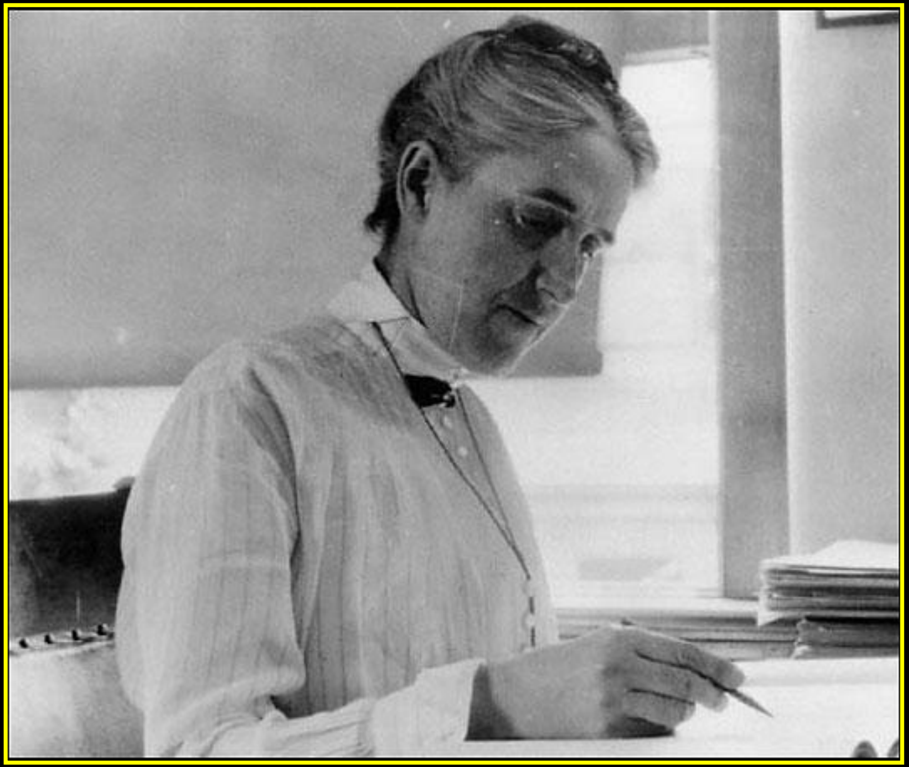
L'harem di Pickering (Harvard 1913)

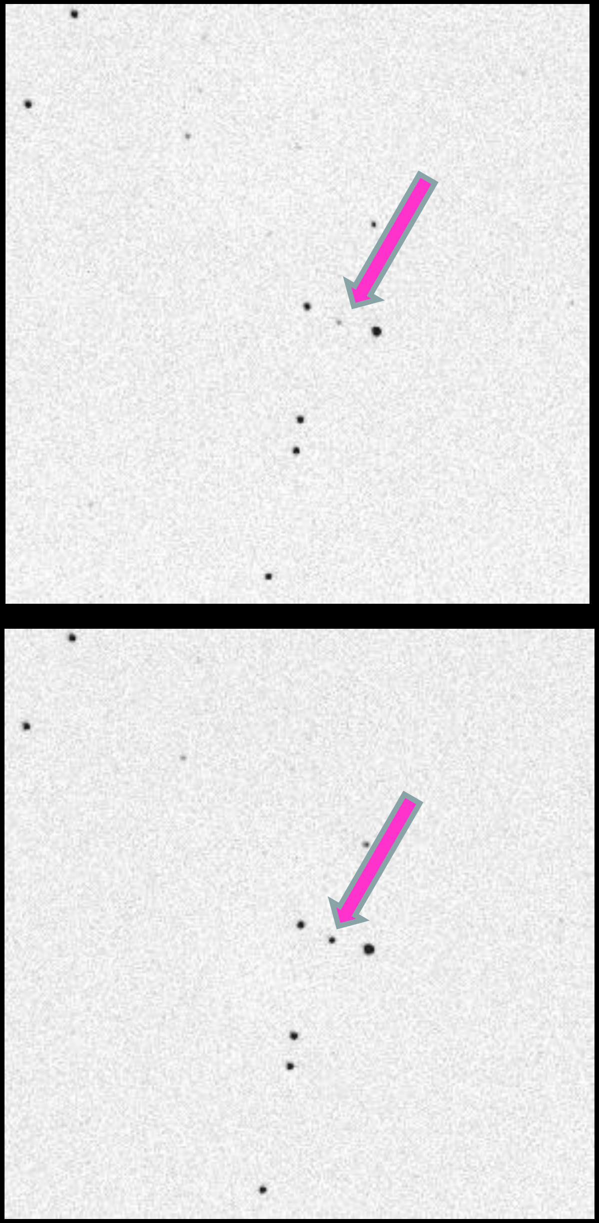
“Capable of doing as much good routine work as astronomers who would receive larger salaries. Three or four times as many assistants can thus be employed and the work done correspondingly increased … “ Pickering – 1898

Henrietta Leavitt (1868-1921)

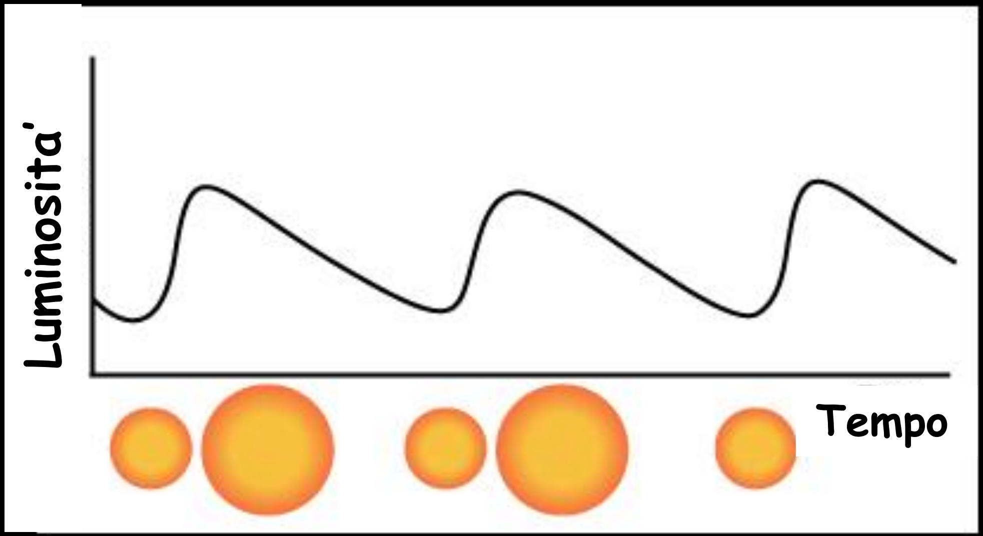
Le Nubi di Magellano

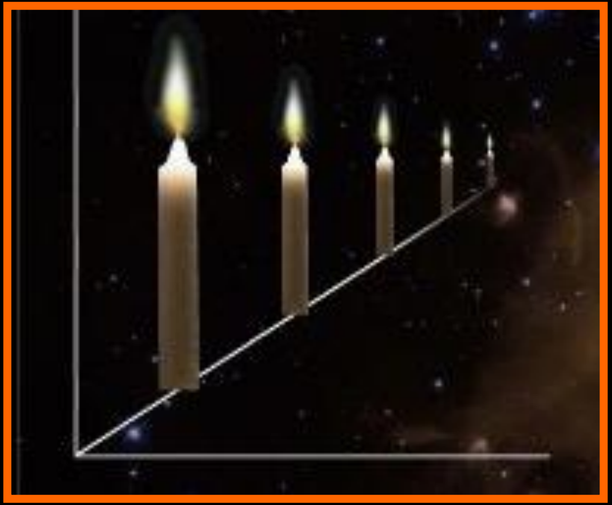

© Stéphane Guisard





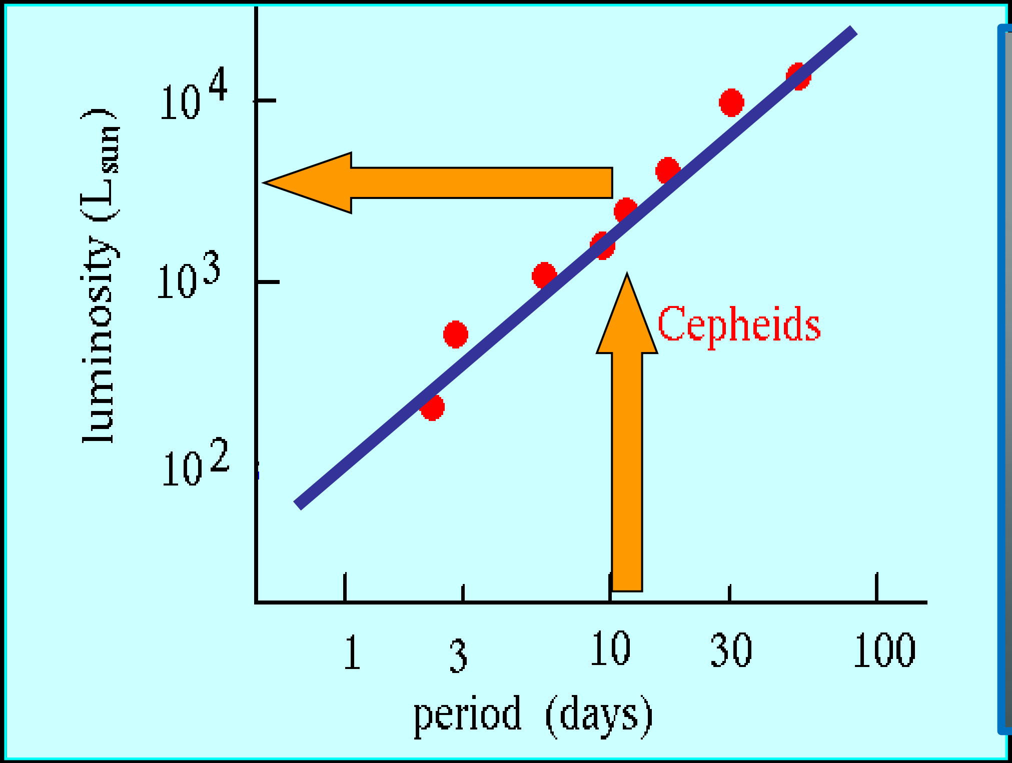
Henrietta Leavitt
(1868-1921)


Luminosita'
Tempo



Henrietta Leavitt
(1868-1921)

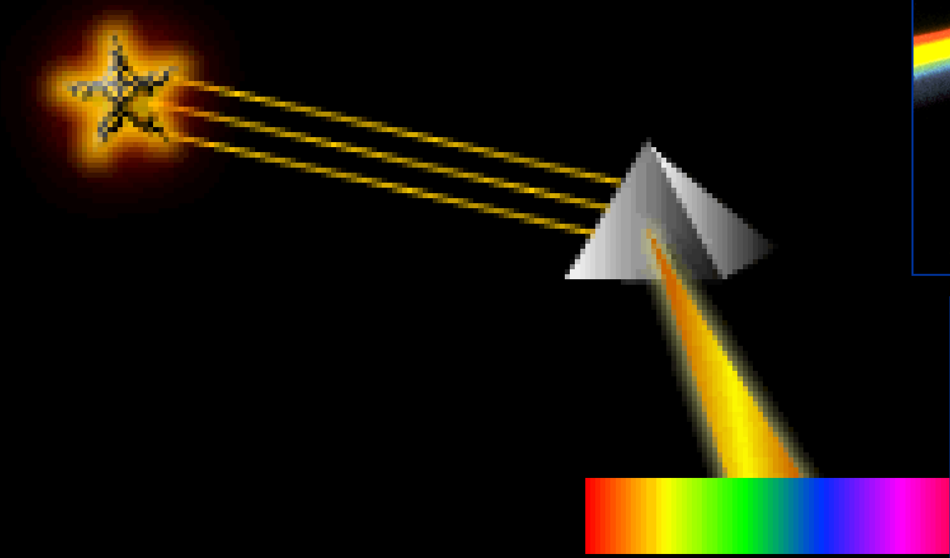
Relazione Periodo-Luminosita'

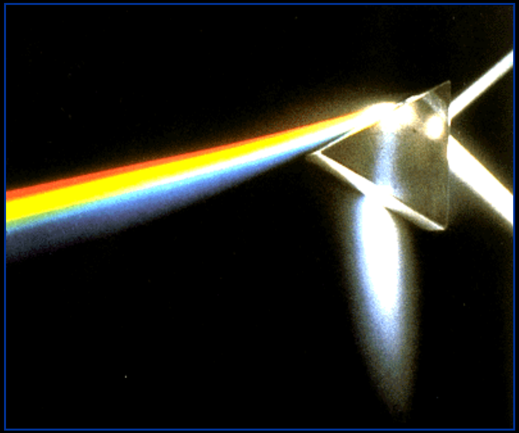


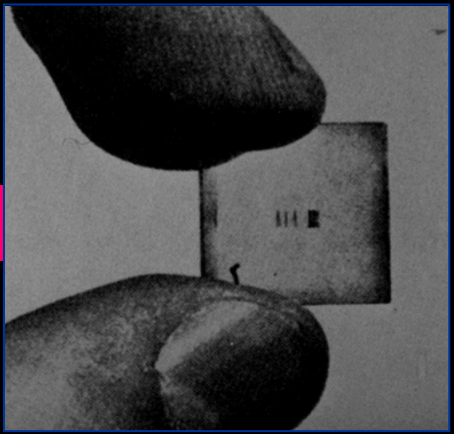
Periodo → Luminosita' → Distanza

Nel frattempo nuove scoperte …

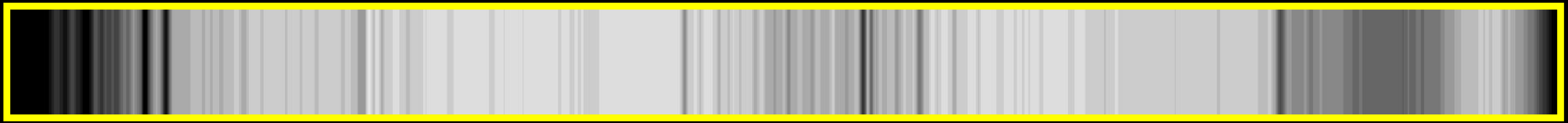
Un fenomeno che tutti conosciamo





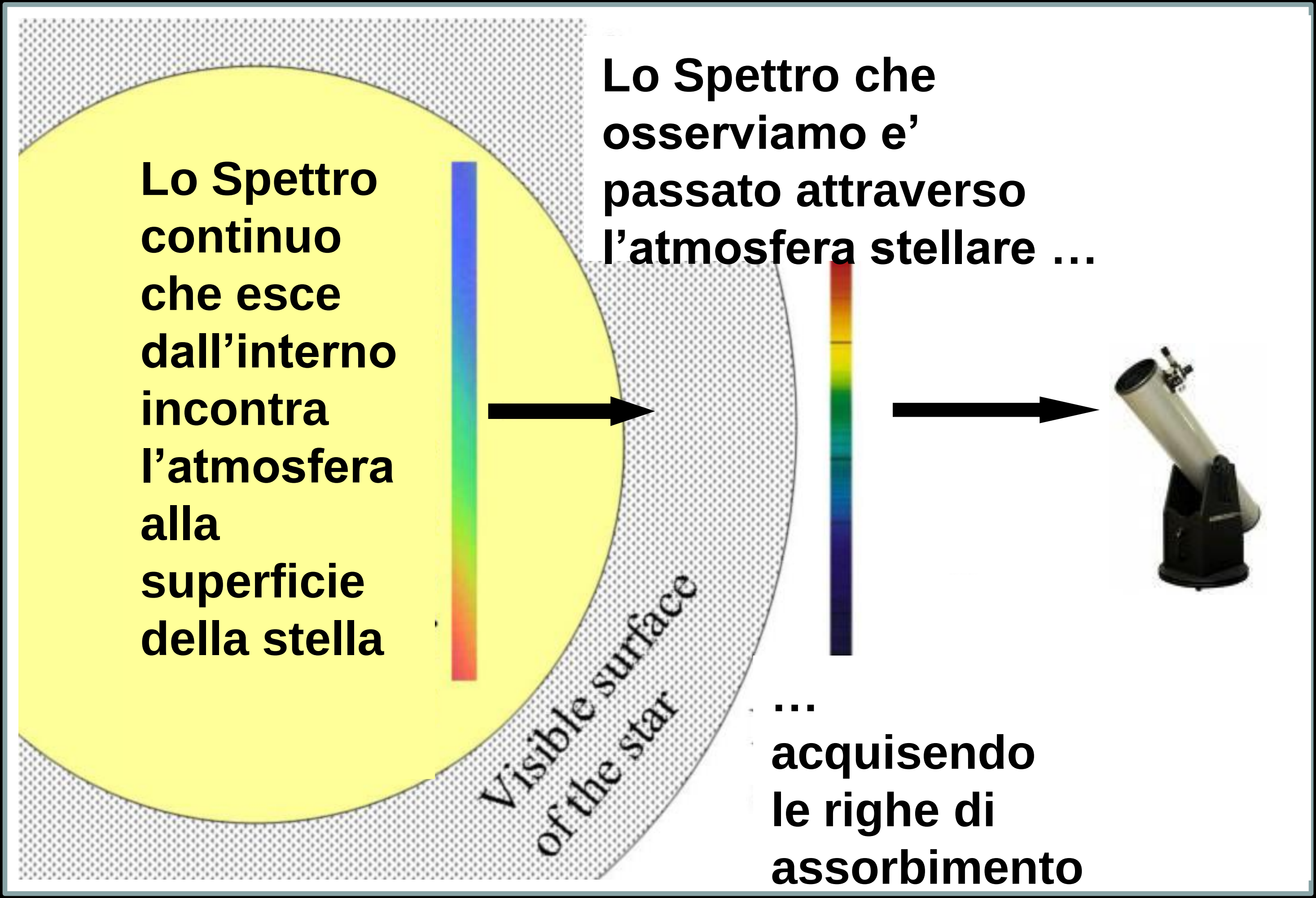


Lo spettro del Sole



Le righe corrispondono agli assorbimenti prodotti da diversi elementi (idrogeno, elio etc.)

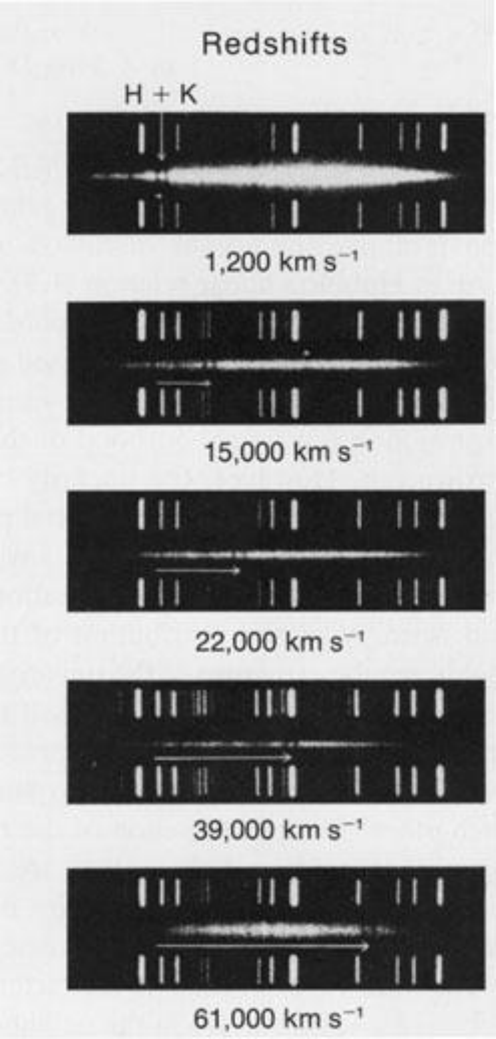
Un semplice modello …


Visible surface
of the star

Lo Spettro continuo che esce dall’interno incontra l’atmosfera alla superficie della stella

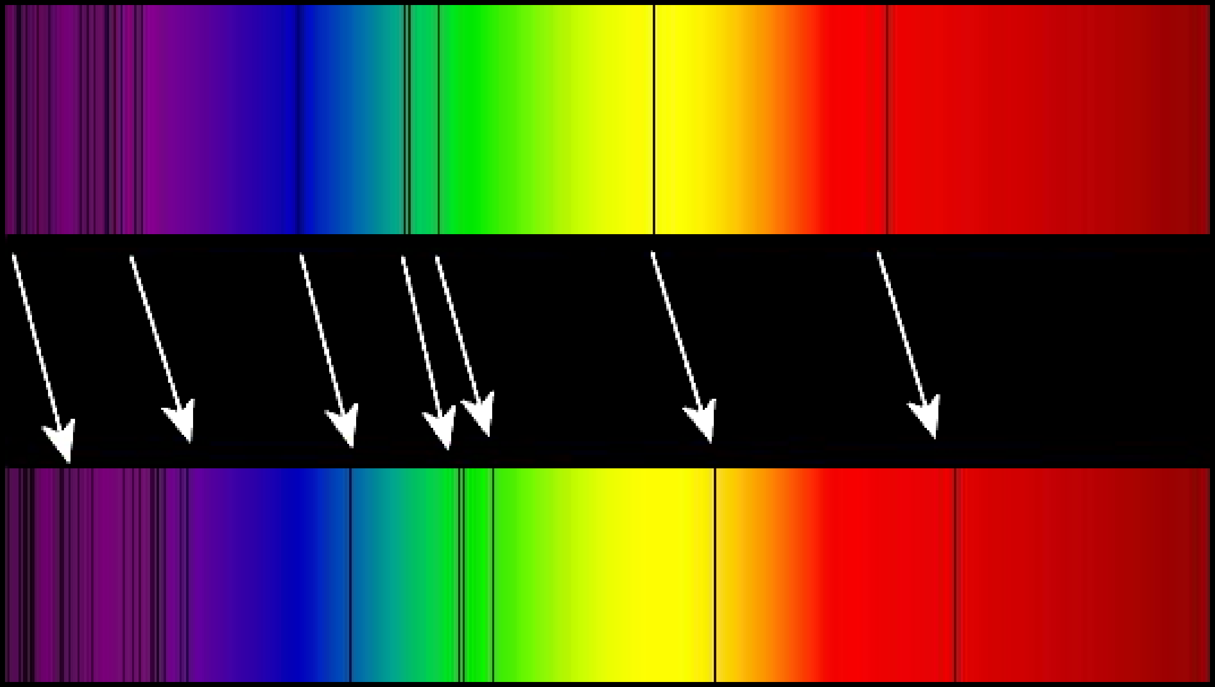
Lo Spettro che osserviamo e’ passato attraverso l’atmosfera stellare …

… acquisendo le righe di assorbimento


Redshifts
H + K
1,200 km s^{-1}
15,000 km s^{-1}
22,000 km s^{-1}
39,000 km s^{-1}
61,000 km s^{-1}

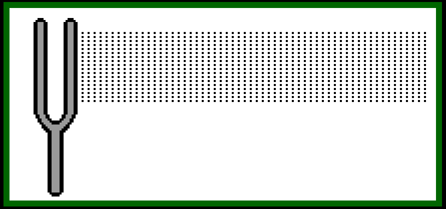
Misure di V. Slipher (*AAS* - 1914) delle nebulose

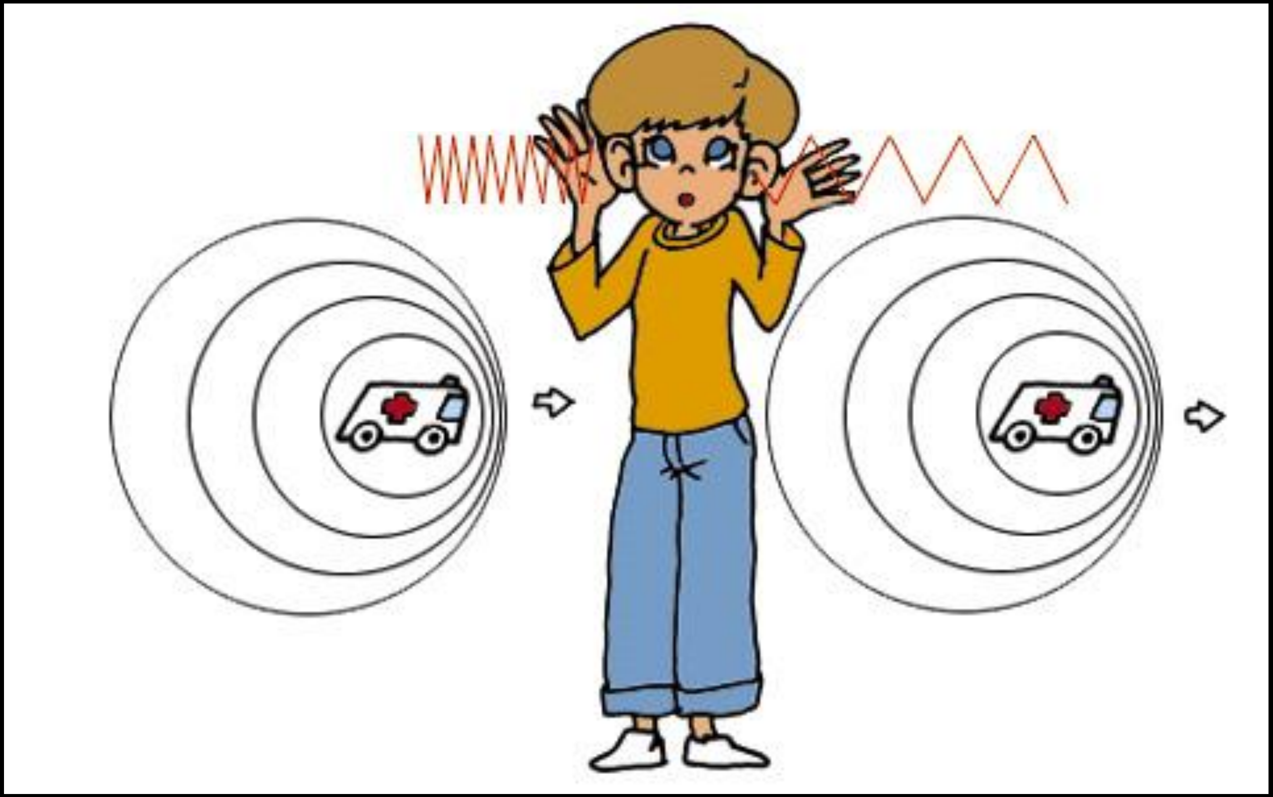
Lo spettro di una nebulosa a spirale

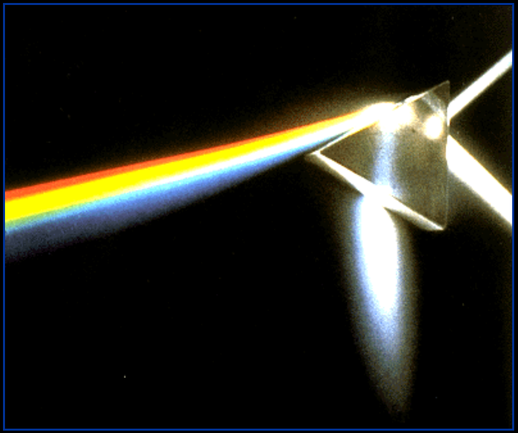


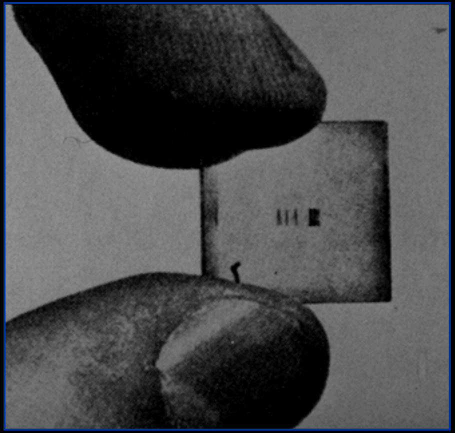
Le **stesse** righe ma **spostate** rispetto a quelle misurate in laboratorio !

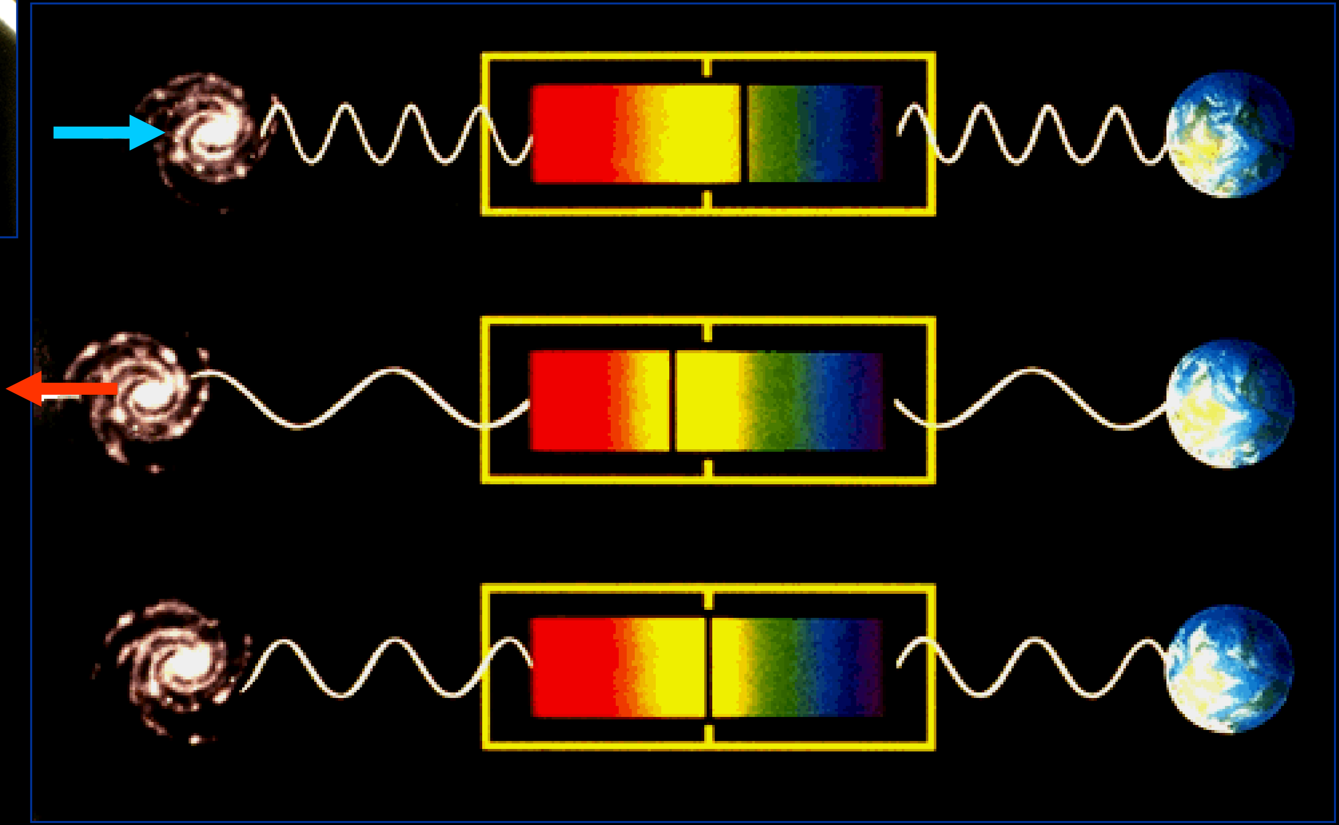
Effetto Doppler per le onde sonore



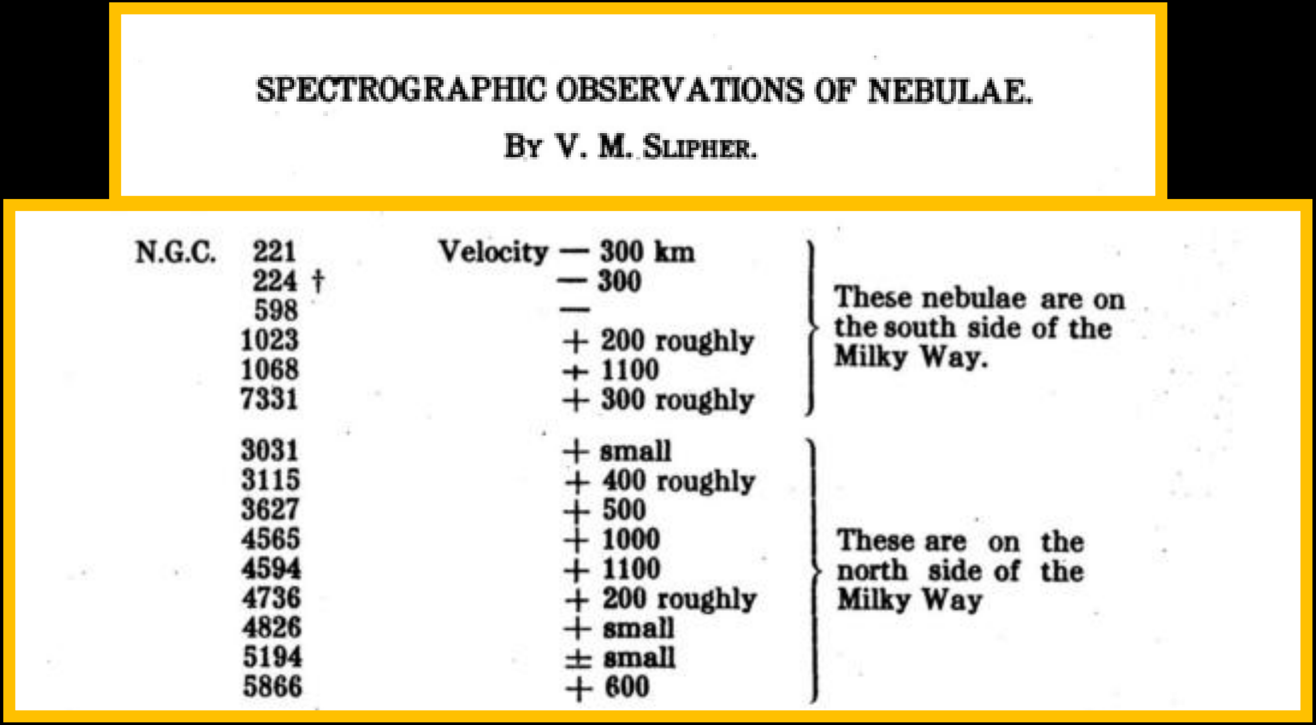








Lo spostamento delle righe spettrali è subito interpretato come effetto Doppler



SPECTROGRAPHIC OBSERVATIONS OF NEBULAE.

BY V. M. SLIPHER.

N.G.C.	221	Velocity — 300 km	These nebulae are on the south side of the Milky Way.
	224 †	— 300	
	598	—	
	1023	+ 200 roughly	
	1068	+ 1100	
	7331	+ 300 roughly	
	3031	+ small	These are on the north side of the Milky Way
	3115	+ 400 roughly	
	3627	+ 500	
	4565	+ 1000	
	4594	+ 1100	
	4736	+ 200 roughly	
	4826	+ small	
	5194	± small	
	5866	+ 600	

Ma quale è il significato di questa straordinaria scoperta ??

1917 Telescopio Hooker a Mt. Wilson

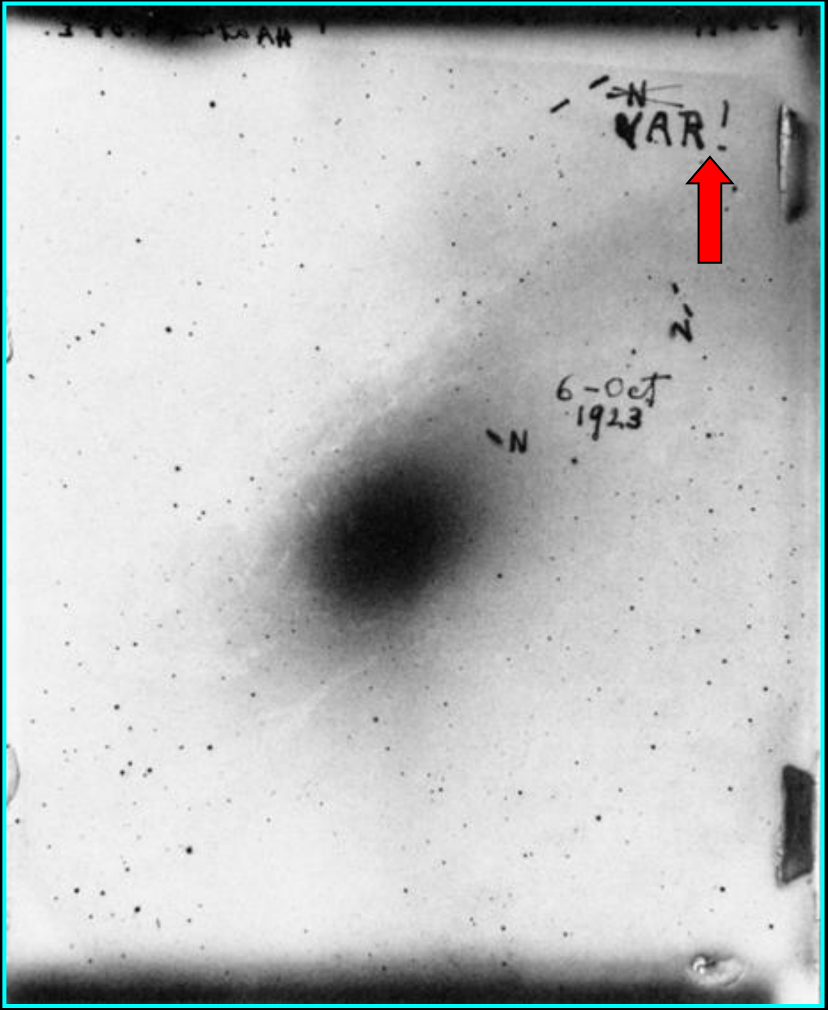
2.5 mt di diametro e tecnologia nuova

1917 Telescopio Hooker a Mt. Wilson

1919 Edwin Hubble arriva a lavorare a Mt. Wilson

Edwin Hubble (1889-1953)

Andromeda e' un sistema stellare **esterno** alla nostra galassia !


N
VAR!
N
6-Oct 1923
N

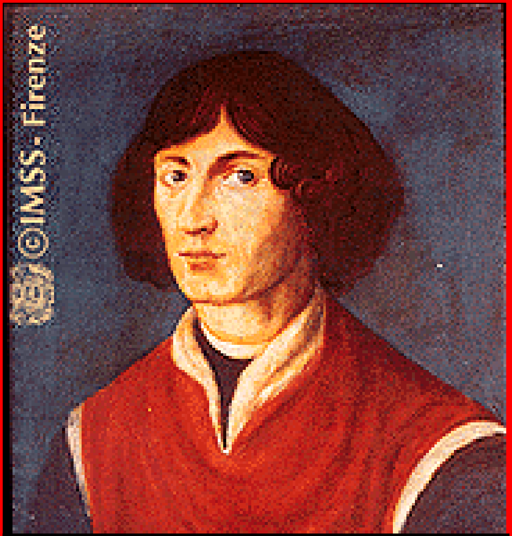
ca. 1920

Edwin Hubble (1889-1953)

Andromeda e' un sistema stellare **esterno** alla nostra Galassia !

La nostra Galassia **non e'** tutto l'Universo!

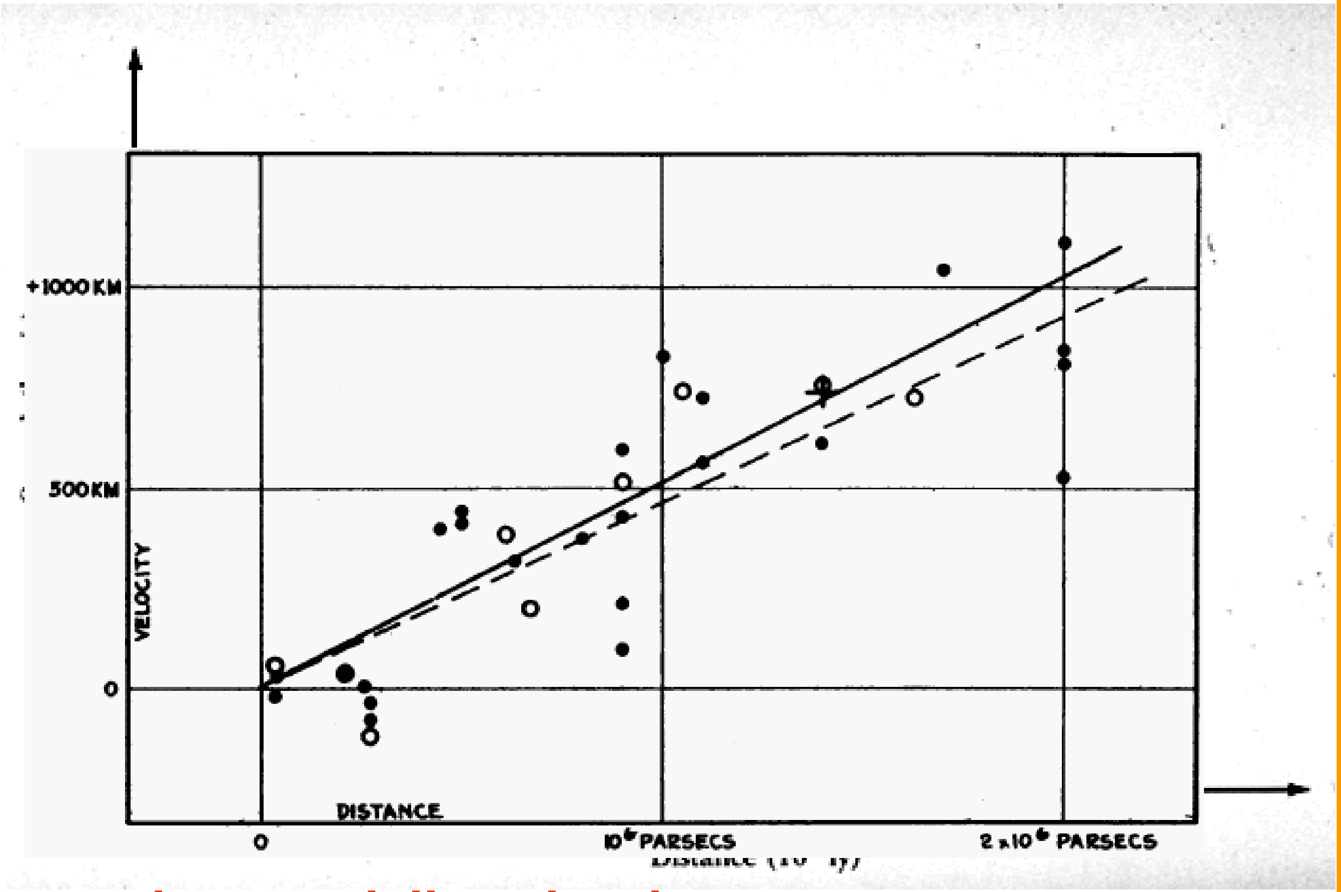
(ca. 1920)



Copernico

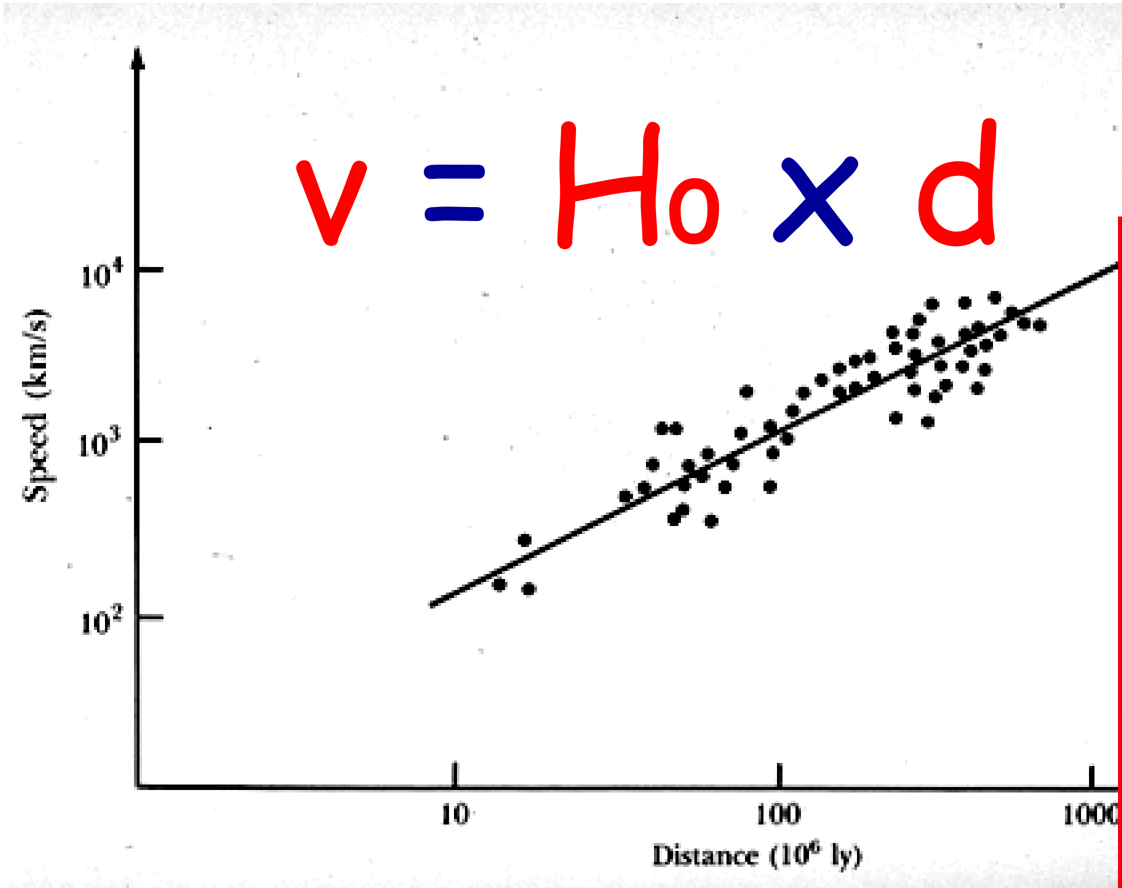
Hubble nel 1929 usando le Cefeidi e la legge di Leavitt per calibrare le distanze fa una scoperta incredibile!

Velocita' di allontanamento delle galassie



Distanza delle galassie

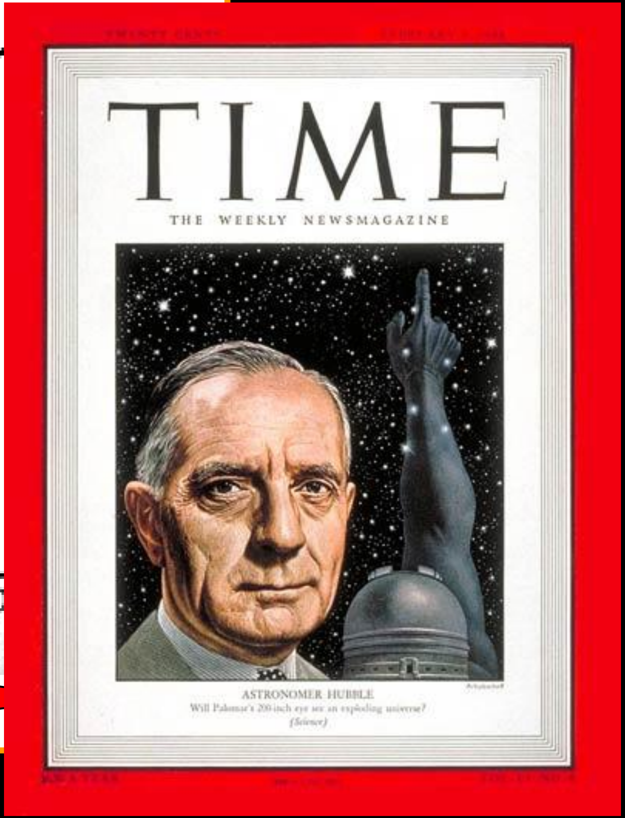
La recessione delle galassie (1929-1931)



$v = H_0 \times d$

Velocita' di allontanamento delle galassie

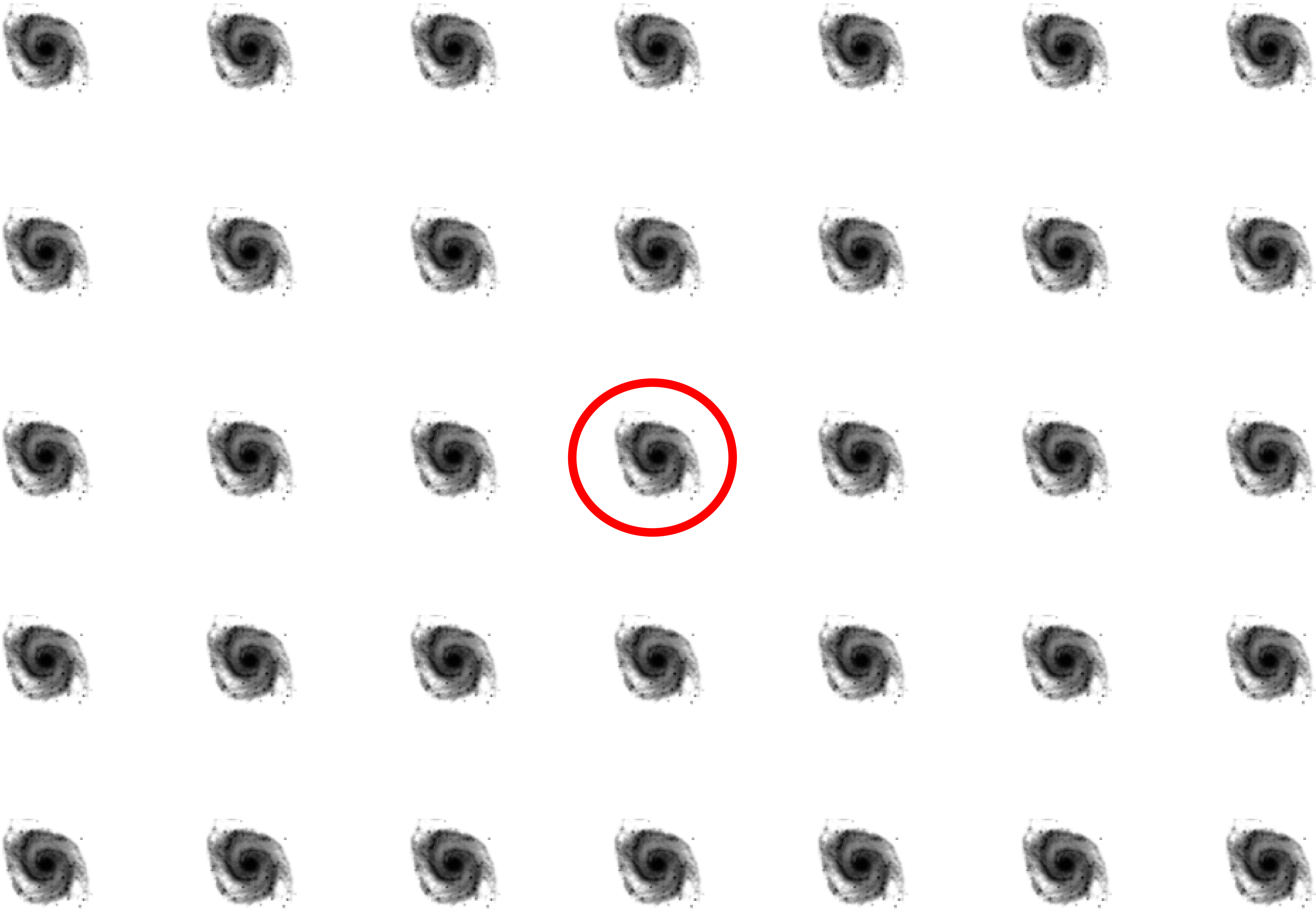
Distanza delle galassie


TIME
THE WEEKLY NEWSMAGAZINE
ASTRONOMER HUBBLE
Will Palomar's 200-inch eye see an exploding universe?
(Science)

H_0: Costante di Hubble

Inizia la cosmologia moderna:

- **Viviamo in un Universo in espansione**



Inizia la cosmologia moderna:

✦ **Viviamo in un Universo in espansione**

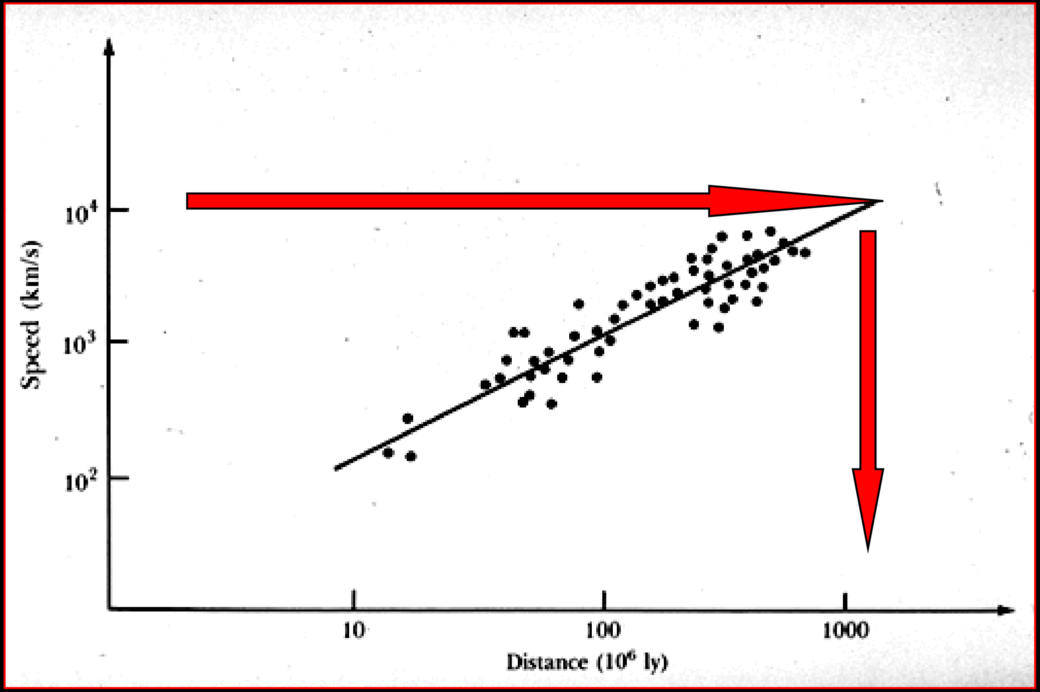
✦✦ **Viviamo in un Universo che ha avuto un inizio**

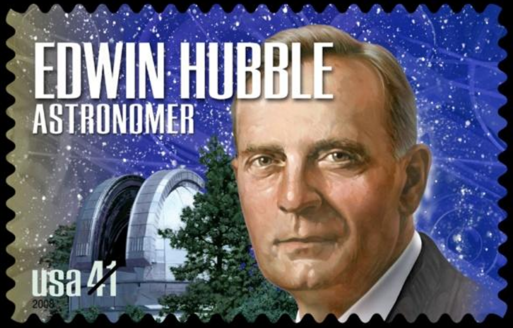
⇓

che e' esistito per un tempo finito!

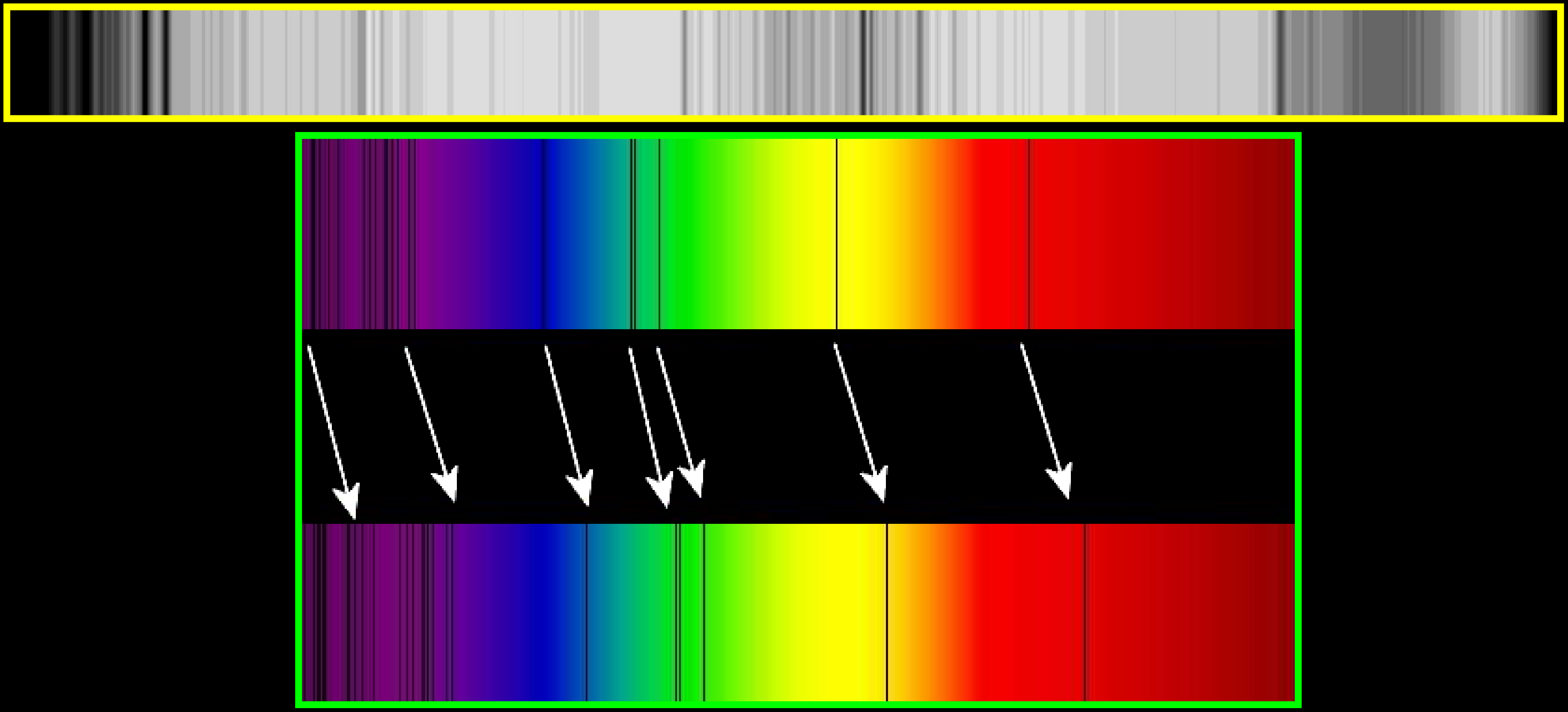
La costante di Hubble

- e’ necessaria per misurare la scala delle distanze = quanto son distanti le galassie che osserviamo ?



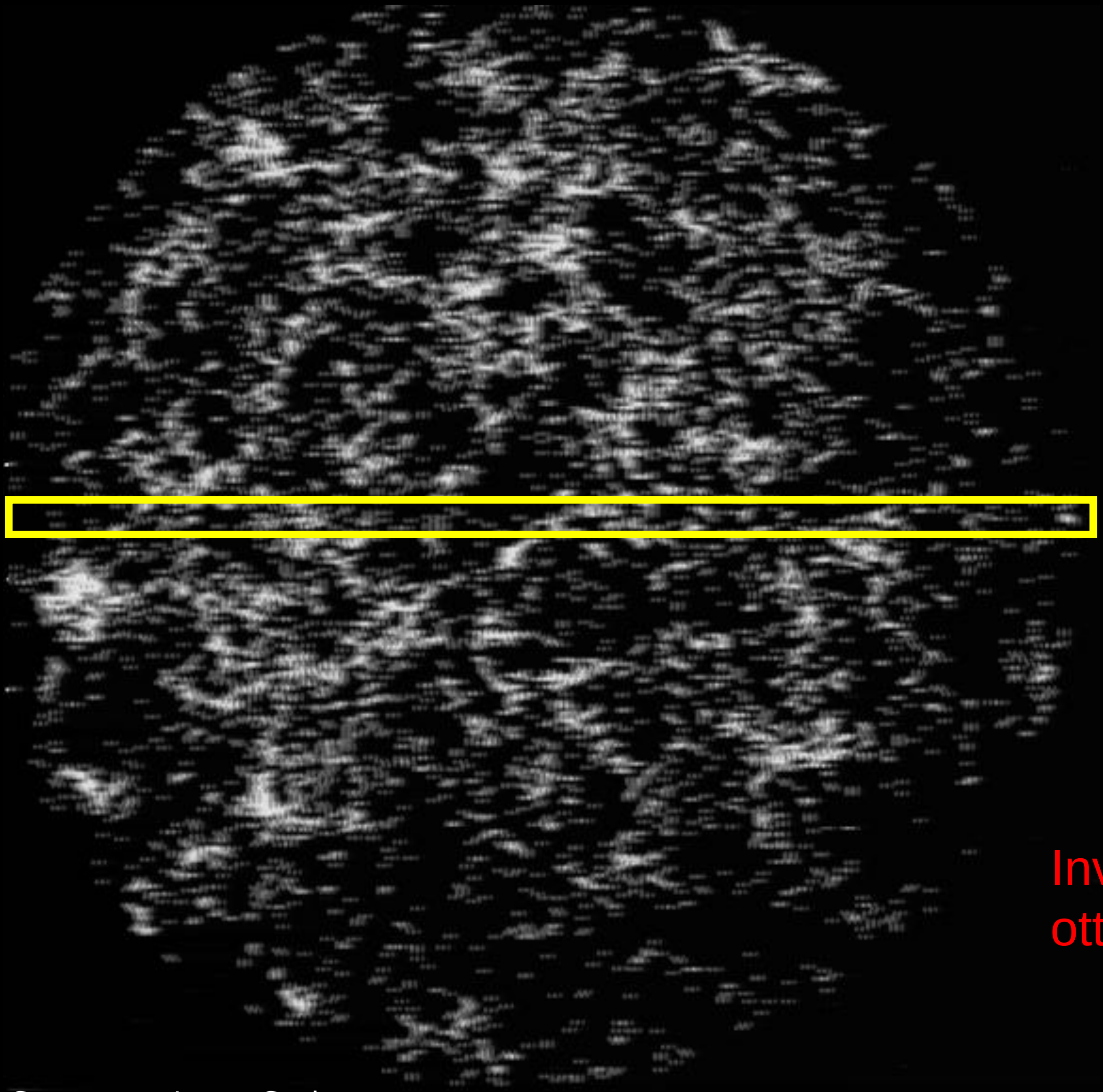

EDWIN HUBBLE
ASTRONOMER
usa 41
2008

Lo spettro delle galassie



Il codice a barre che per ciascuna galassia ci permette di misurarne la distanza !

La distribuzione delle galassie

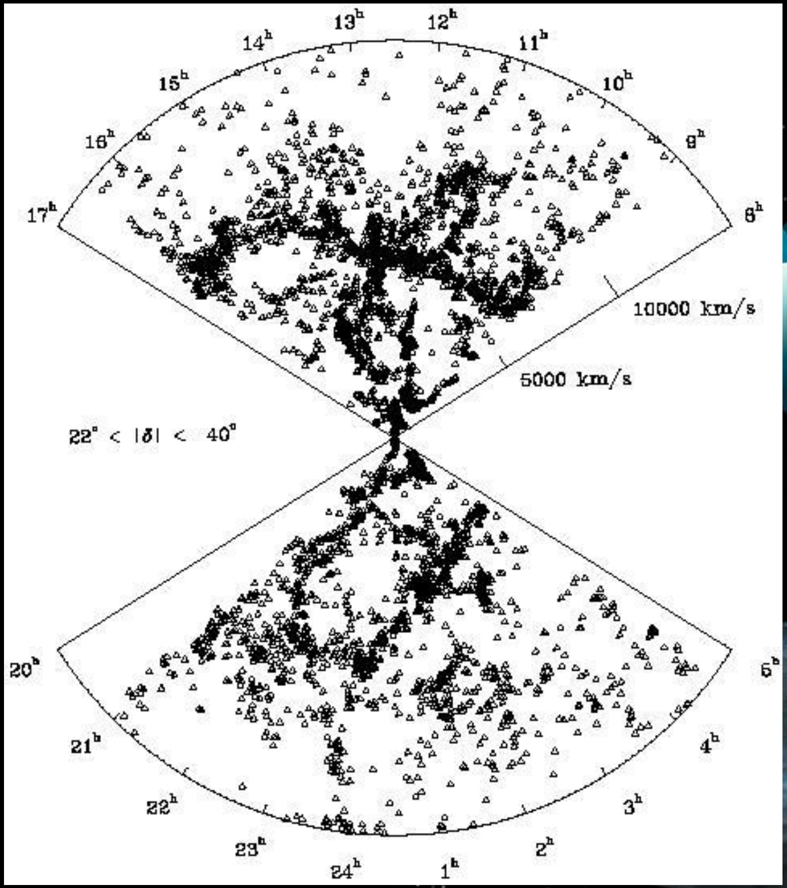


Struttura a Larga Scala

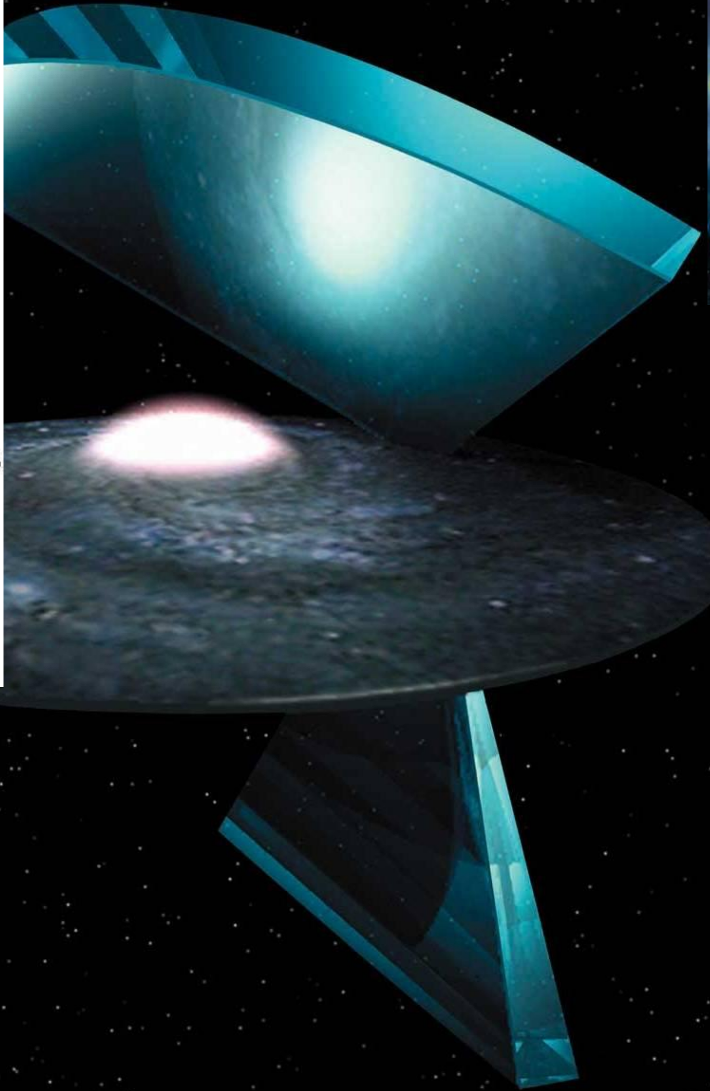
~1950 : si osserva la struttura filamentare della distribuzione in cielo delle galassie

~ 1980 : si misurano le velocita’ di recessione di grandi numeri di galassie ...

Invertendo **$v = H_0 d$** se ne ottiene la distanza !



CfA Survey - 1985-1995

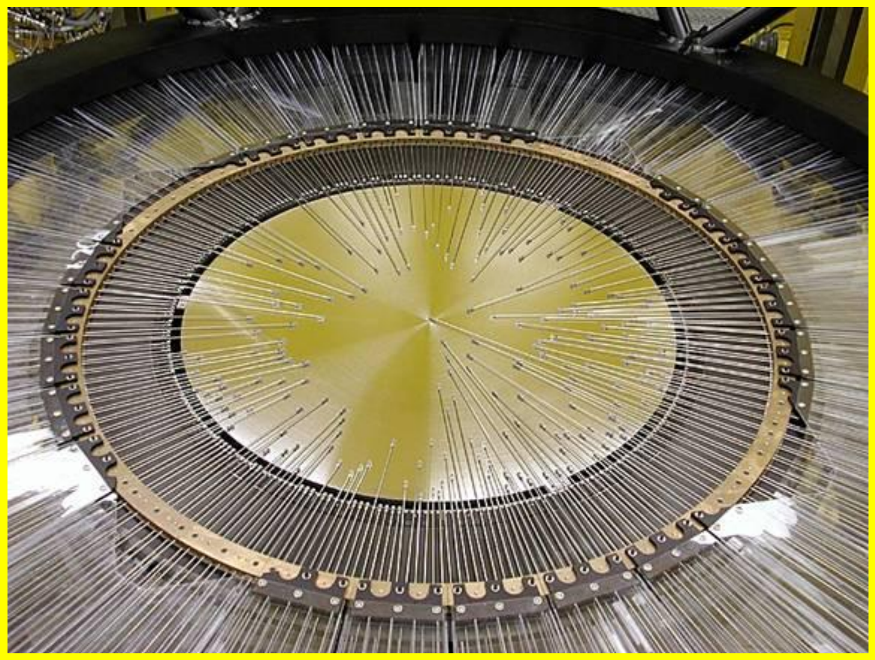


Margaret Geller

John Huchra

Negli ultimi 10 anni abbiamo allargato di molto la porzione di Universo di cui abbiamo una cartografia precisa,

anche grazie a strumenti che ci permettono di misurare lo spettro di centinaia di galassie simultaneamente!

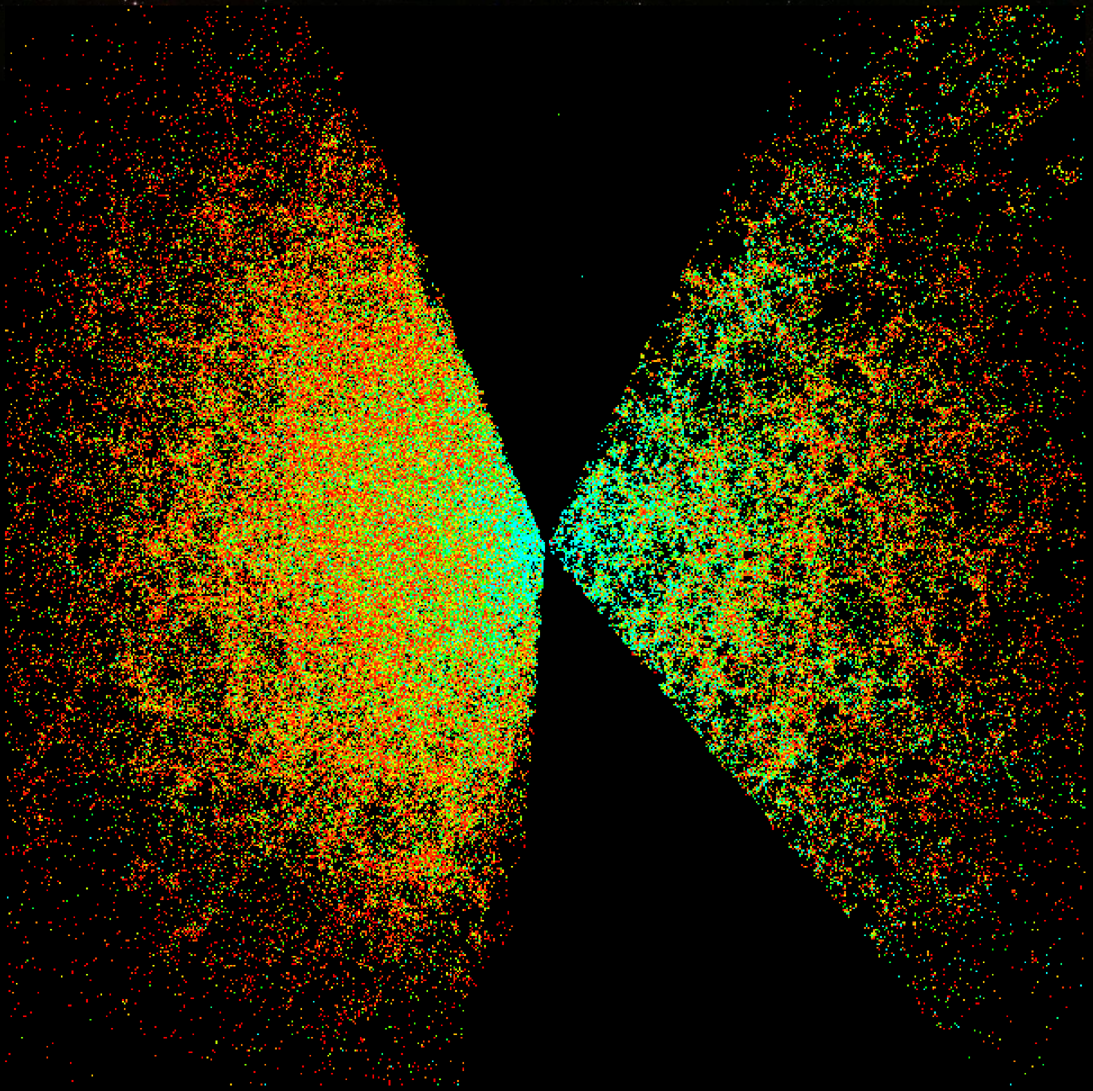


Sloan Digital Sky Survey

http://skyserver.sdss.org
http://www.sdss.org

TELESCOPIO 2.5 m:

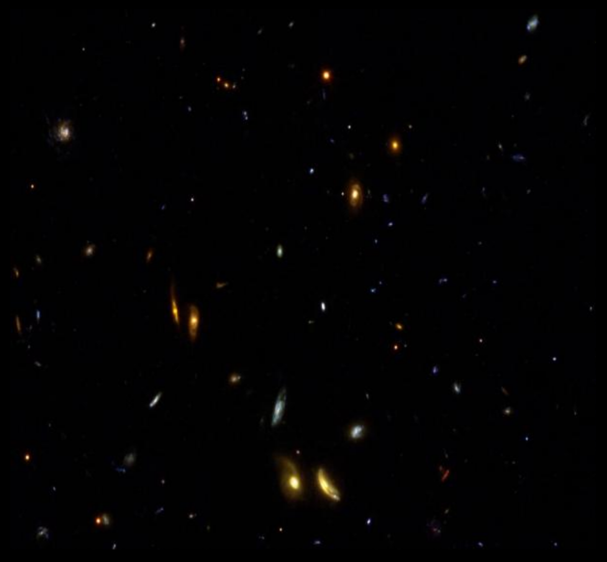
Con una sola posa
- spettrografo: ~600 oggetti
- camera: 8x area luna piena



ALCUNI NUMERI:

1/4 del cielo
1.000.000 galassie
10.000 gradi quadrati

Dove vivono le galassie?



CAMPO SPOPOLATO

Struttura a Larga Scala

Gruppi e ammassi di galassie

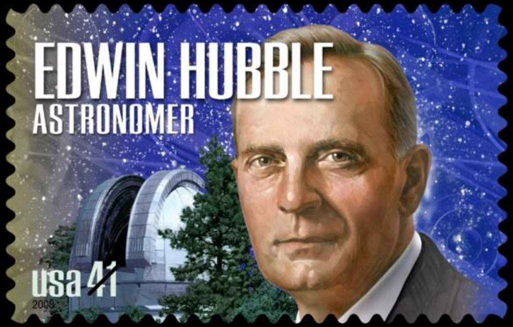
CAMPO DENSO

La costante di Hubble

- e’ necessaria per misurare la scala delle distanze = quanto son distanti le galassie che osserviamo ?

- e’ necessaria per misurare la scala dei tempi = quale e’ l’eta’ dell’Universo?

$$t \approx \frac{d}{v} = \frac{1}{H_0}$$

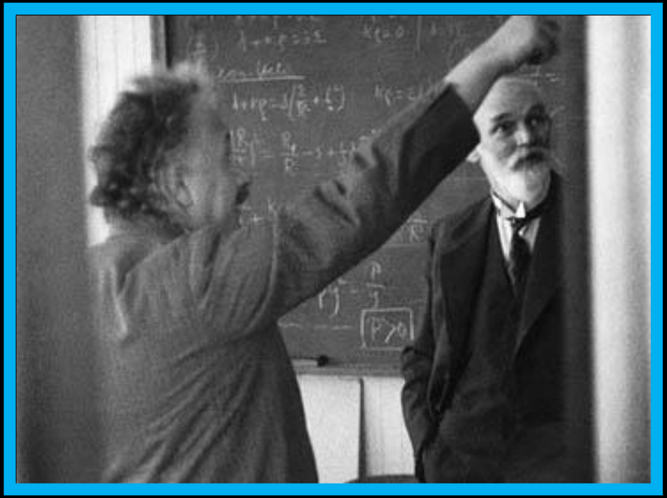

EDWIN HUBBLE
ASTRONOMER
usa 41
2008

Torniamo ai primi decenni del 1900

Teoria della Relatività Generale (1915)

Modello di Universo statico
con constante repulsiva Λ (1917)

"Gravely detrimental to the formal beauty of the theory" Einstein 1919



Torniamo ai primi decenni del 1900

Teoria della Relatività Generale (1915)

Modello di Universo statico
con constante repulsiva Λ (1917)

La legge di Hubble (1929-1931)

Ma qualcuno aveva già previsto l'espansione …

Alexander Friedmann

(1888-1925)

Nel 1922 deriva soluzioni di Universo in espansione dalla teoria della Relatività Generale

Ma qualcuno aveva già previsto l'espansione …

Georges
Lemaitre

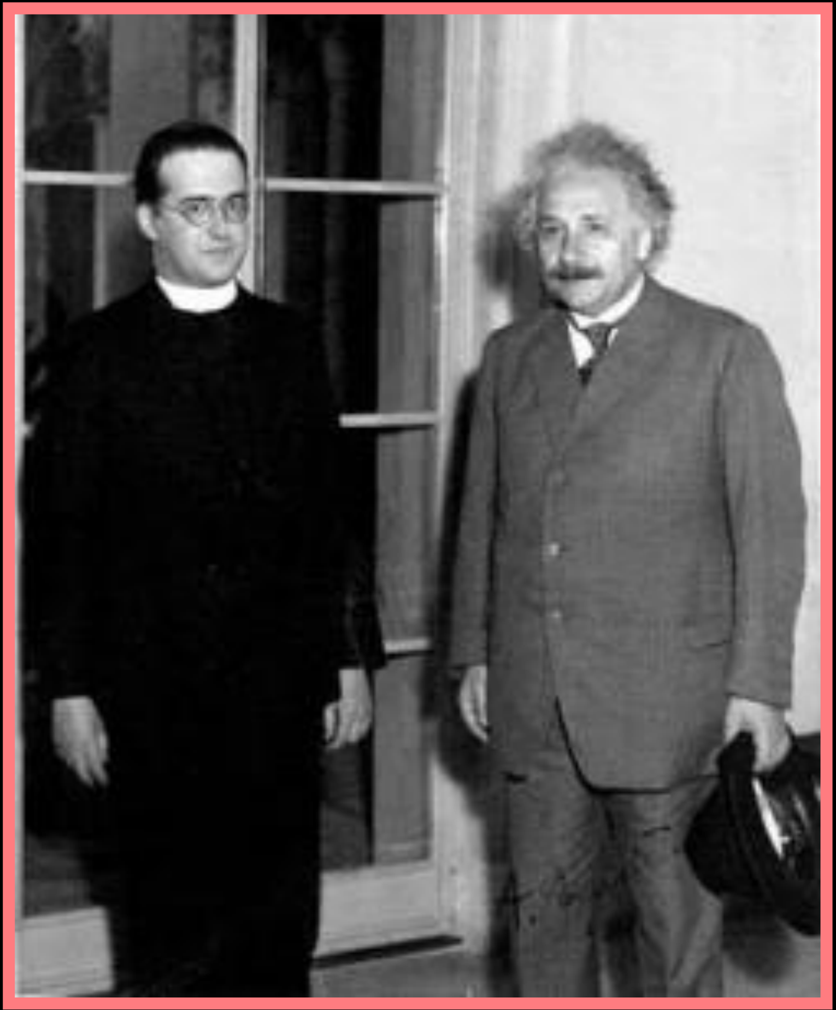
(1894-1966)

Nel 1927 (e indipendentemente da Friedmann) propone un modello di Universo in espansione e prevede l'esistenza della legge di Hubble.

Einstein in visita a Mt Wilson (1931)

© Copyright California Institute of Technology. All rights reserved.
Commercial use or modification of this material is prohibited.

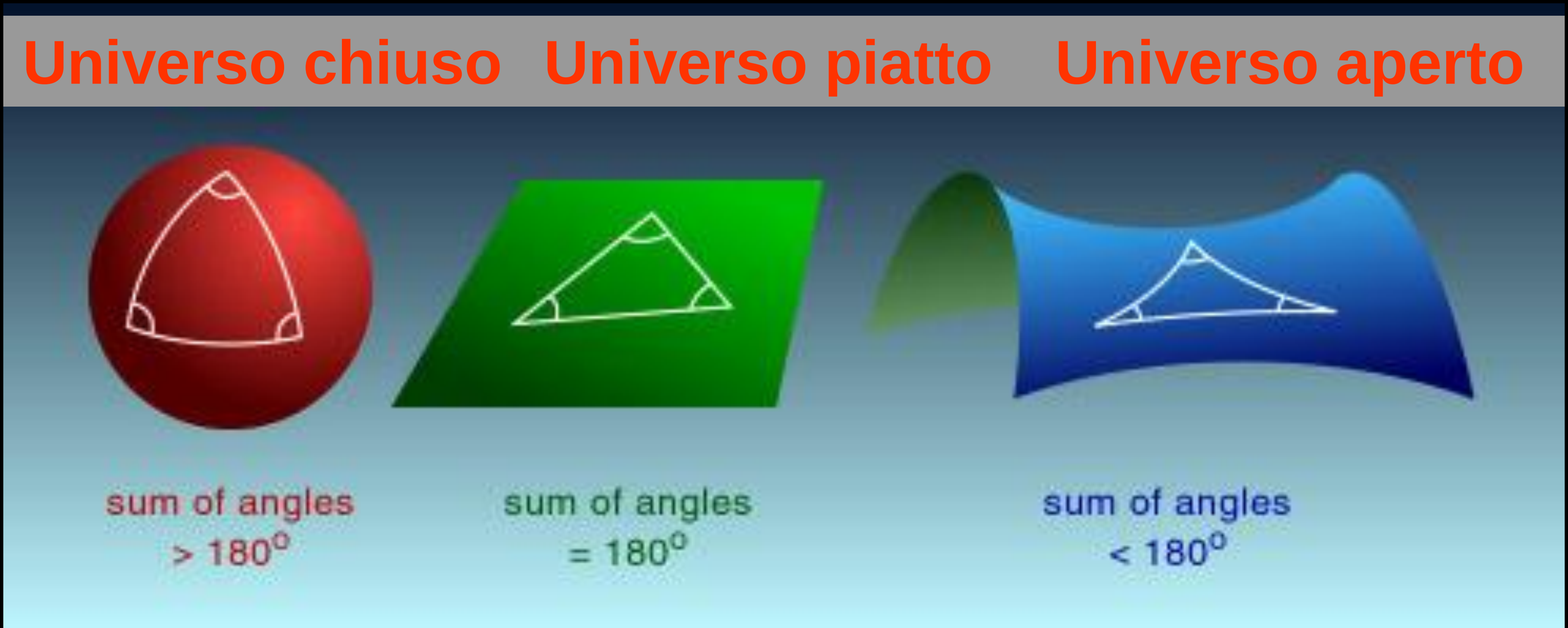
Einstein riconosce il suo errore!



Ma i nuovi modelli implicano un importante cambiamento di paradigma:

L' universo non è eterno, ma è esistito per un tempo finito!

Tre son le possibili classi di modelli :



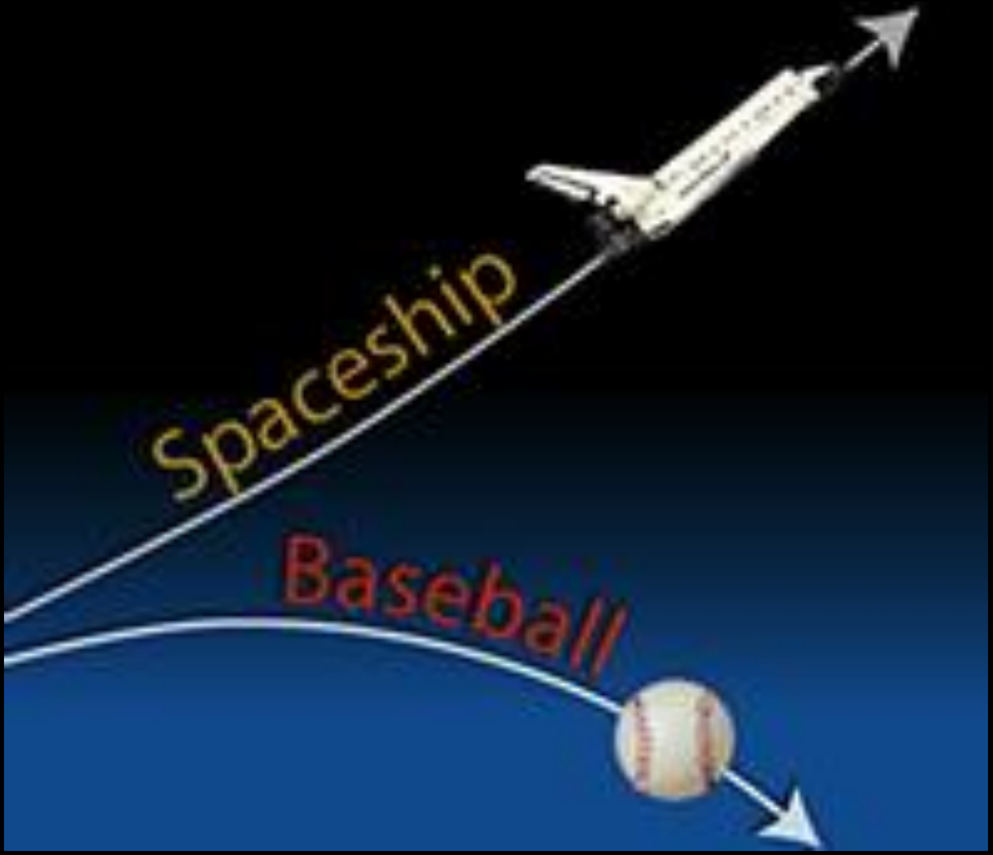
Universo chiuso **Universo piatto** **Universo aperto**

sum of angles
> 180°
sum of angles
= 180°
sum of angles
< 180°

Densità di materia

Tre son le possibili classi di modelli :

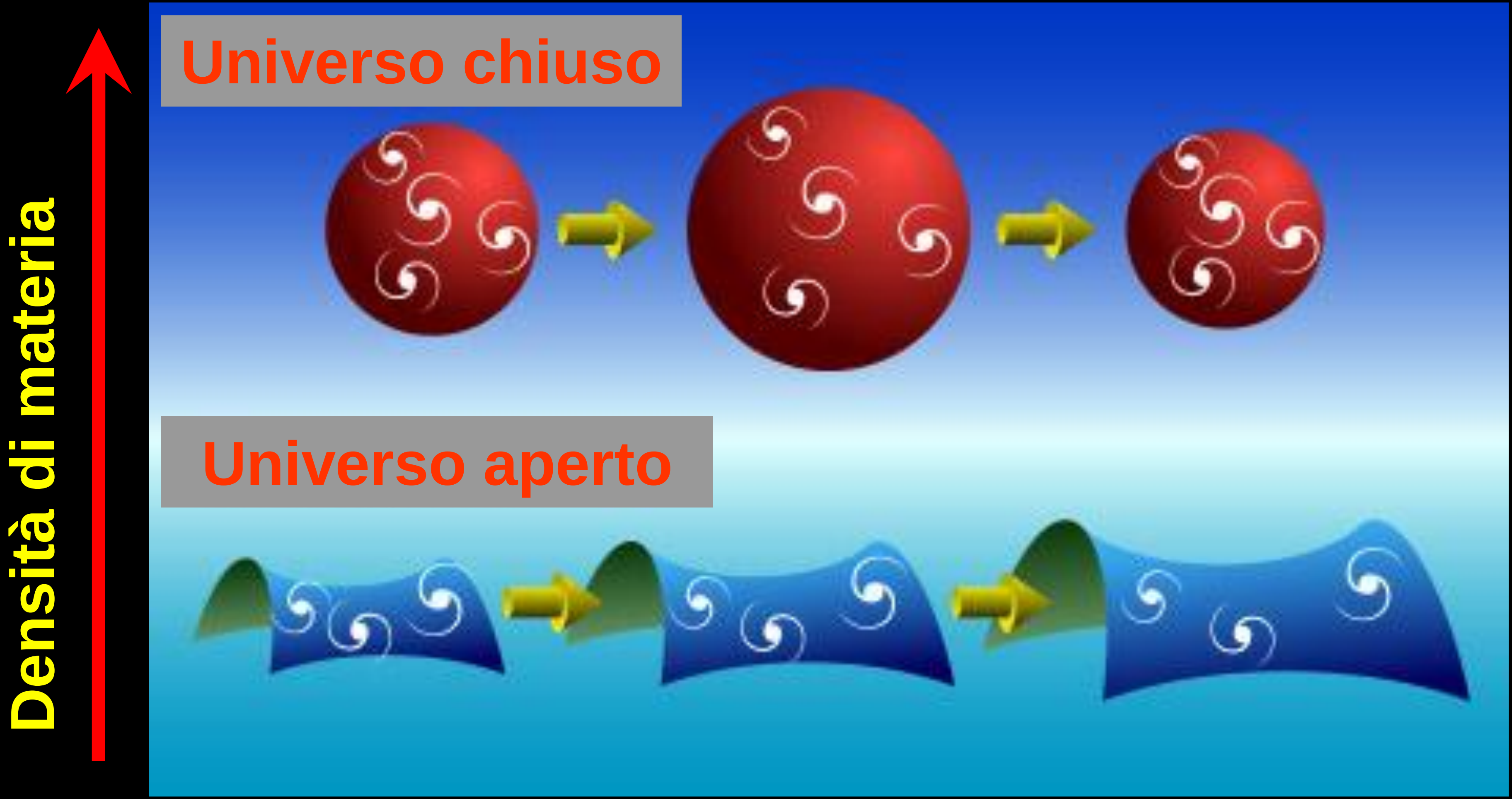
Universo aperto


Spaceship
Baseball

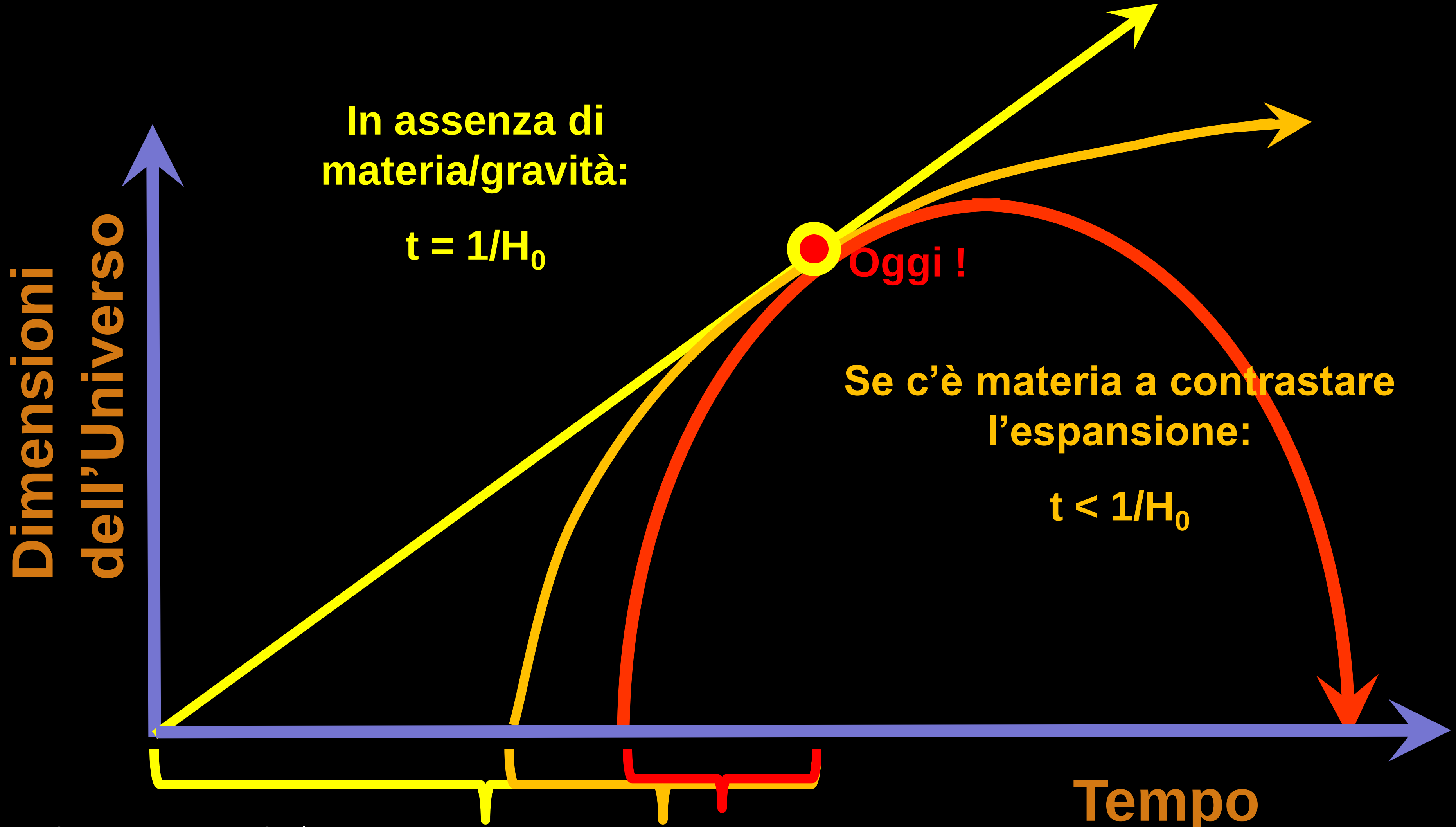
Universo piatto

Universo chiuso

Tre son le possibili classi di modelli :


Universo chiuso
Universo aperto
Densità di materia

Con diverse predizioni sul destino dell'Universo:



In assenza di materia/gravità:

$t = 1/H_0$

Se c'è materia a contrastare l'espansione:

$t < 1/H_0$

Oggi !
Dimensioni dell'Universo
Tempo

Abbiamo quindi una scala dei tempi …

$$t \approx \frac{d}{v} = \frac{1}{H_0}$$

…e di conseguenza ciò che Lemaître definì

ipotesi dell'atomo primigenio

Big Bang !

Big Bang !

Tuttavia passeranno ancora 30 anni prima che l’idea venga accettata

Problemi osservativi

Diffidenza concettuale

Problemi osservativi …

Età dell’Universo

Il valore di H_0 stimato da Hubble implicava come età dell’Universo solo 2 miliardi di anni!

Datazione di meteoriti/rocce: età del sistema solare: 4.5 miliardi di anni!

C. Patterson 1956

ALH84001,0
N

Limite inferiore età dell’Universo

Maggiore di quella stimata dall’espansione!

Diffidenza concettuale …

Principio Cosmologico

Il nostro punto di osservazione
NON
è privilegiato

Isotropia osservata → **Omogeneità**

Aggiungendo anche invarianza nel tempo:
Principio Cosmologico Forte

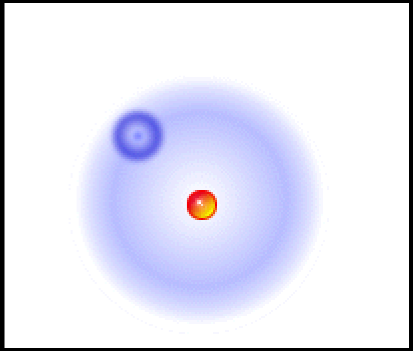
Big Bang

vs

Stato Stazionario

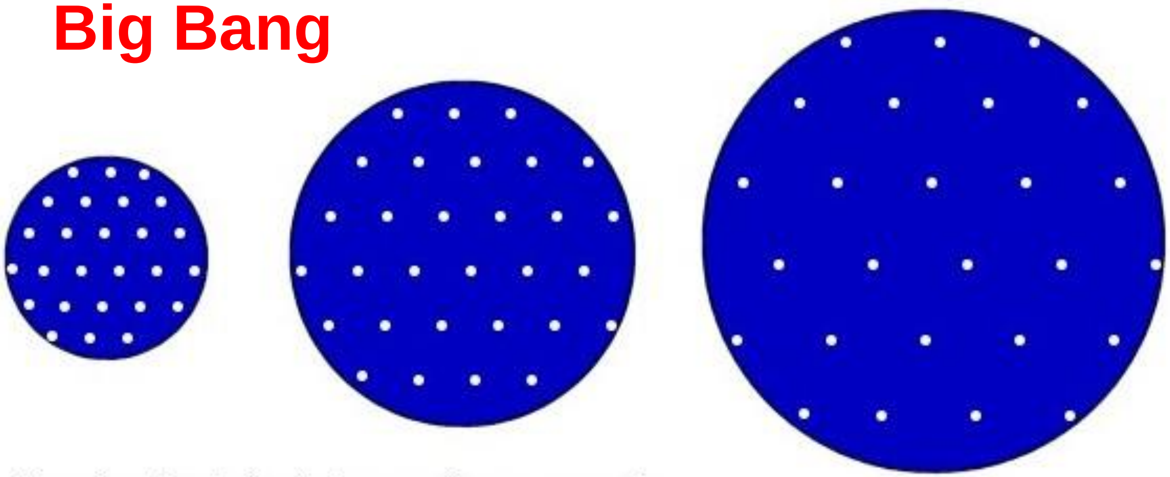
Stato Stazionario

Un Universo senza inizio né fine, in espansione ma con creazione continua di materia



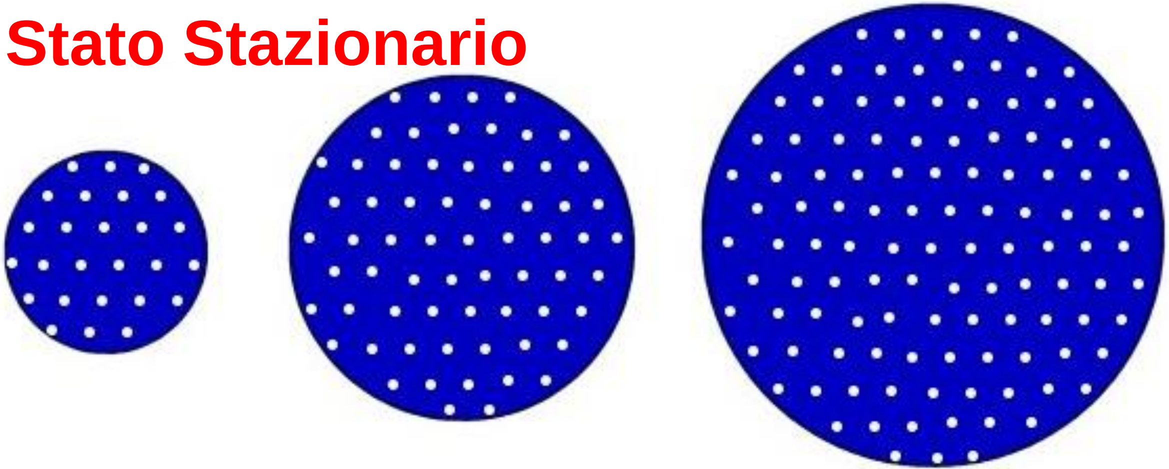
Un atomo di idrogeno per m^3 in un miliardo di anni !

Big Bang



La densità delle galassie cala mentre l'universo si espande

Stato Stazionario



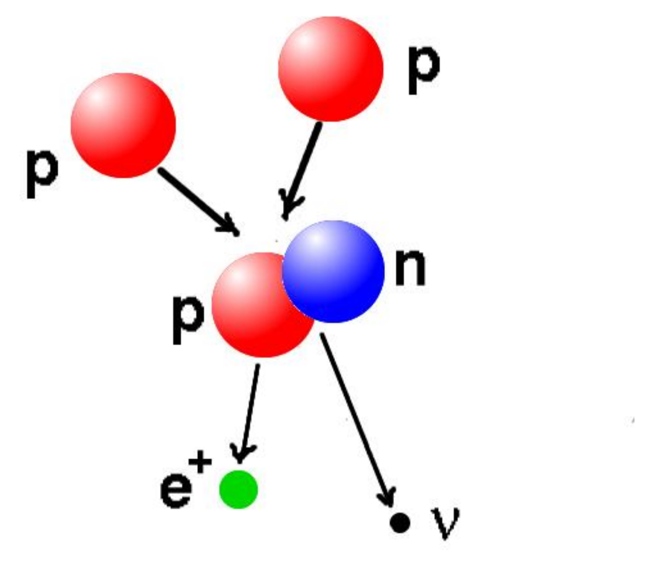
La densità delle galassie resta constante mentre l'universo si espande

Big Bang

??

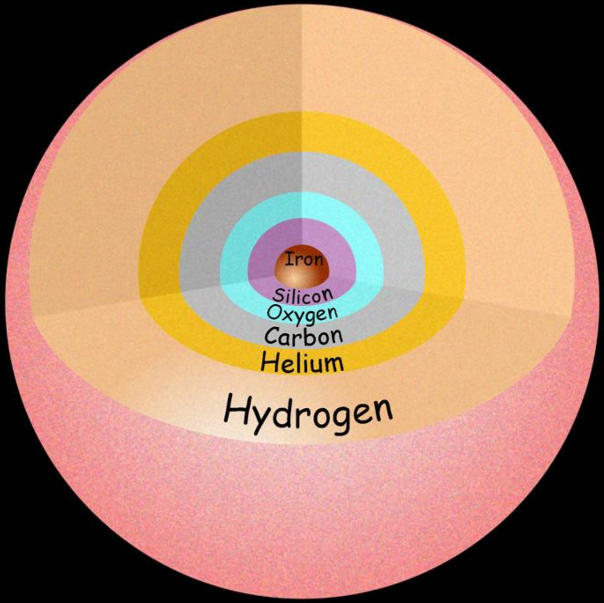
Stato Stazionario

Nucleosintesi primordiale



La teoria del Big Bang spiega perfettamente
le abbondanze osservate
di idrogeno elio e deuterio

Per gli elementi fino al Ferro la produzione si sposta all'interno delle stelle più massicce!


Iron
Silicon
Oxygen
Carbon
Helium
Hydrogen

E il resto ?

Si usa quanto scoperto da
Burbidge M.&G., Fowler e Hoyle (1957).

Teoria dello stato stazionario

Problema della formazione degli elementi pesanti …

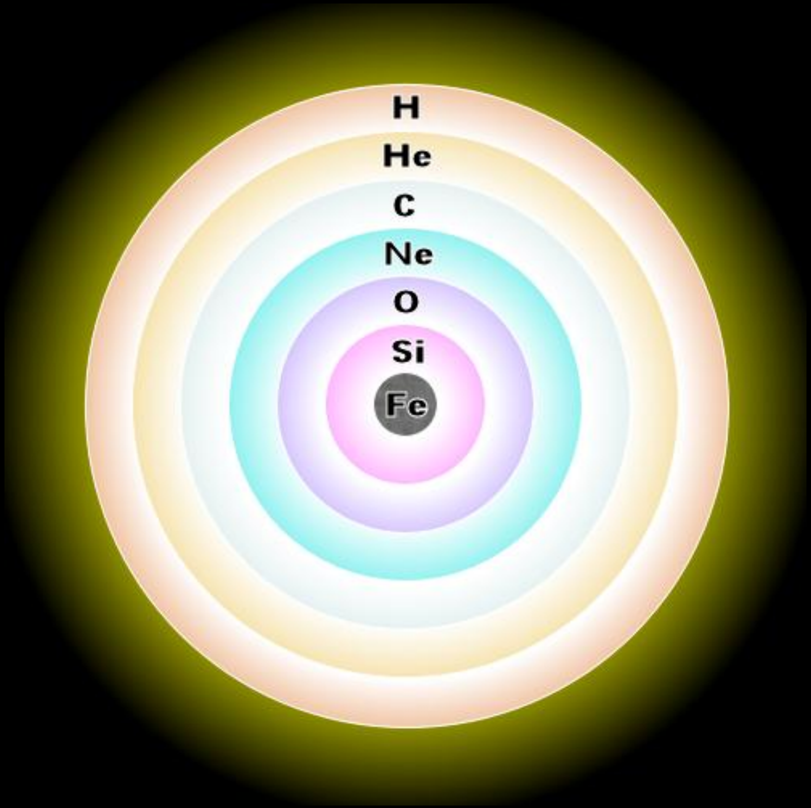
Soluzione proposta da Burbidge M.&G., Fowler e Hoyle (1957).

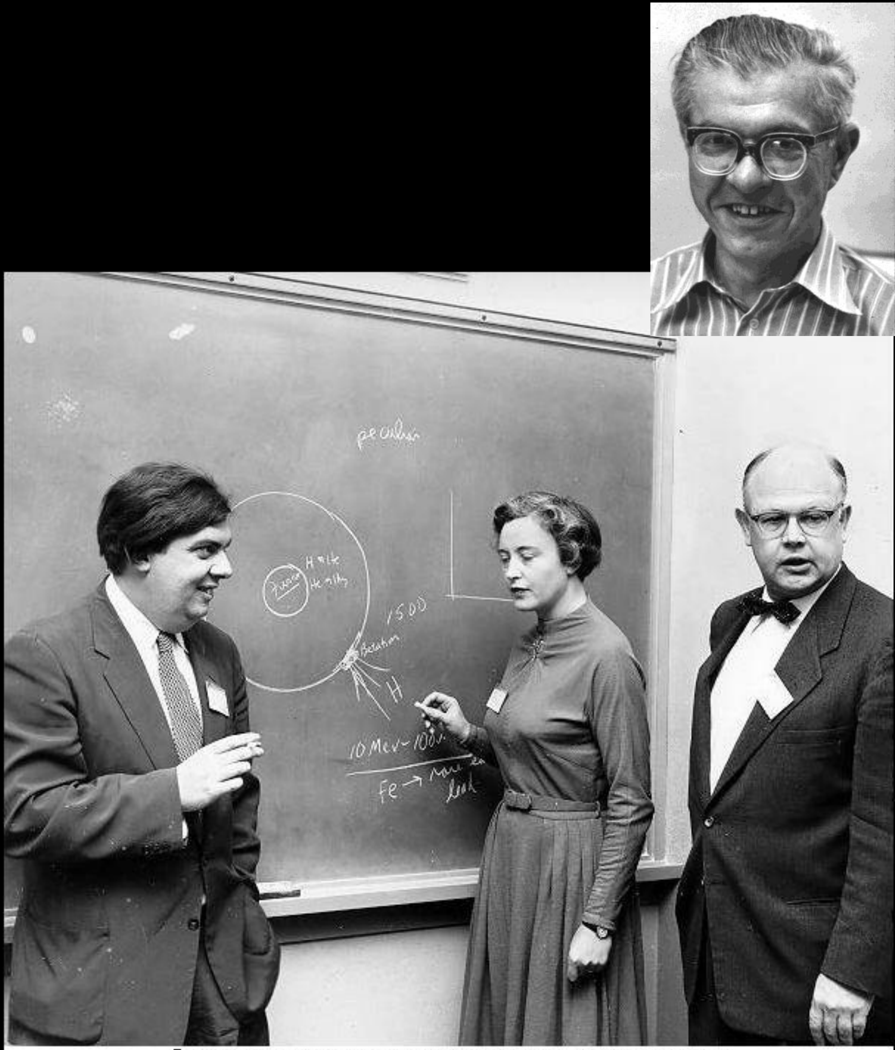
B^{2}FH

1500
H
10 MeV–100
Fe →

© Copyright California Institute of Technology. All rights reserved.
Commercial use or modification of this material is prohibited.

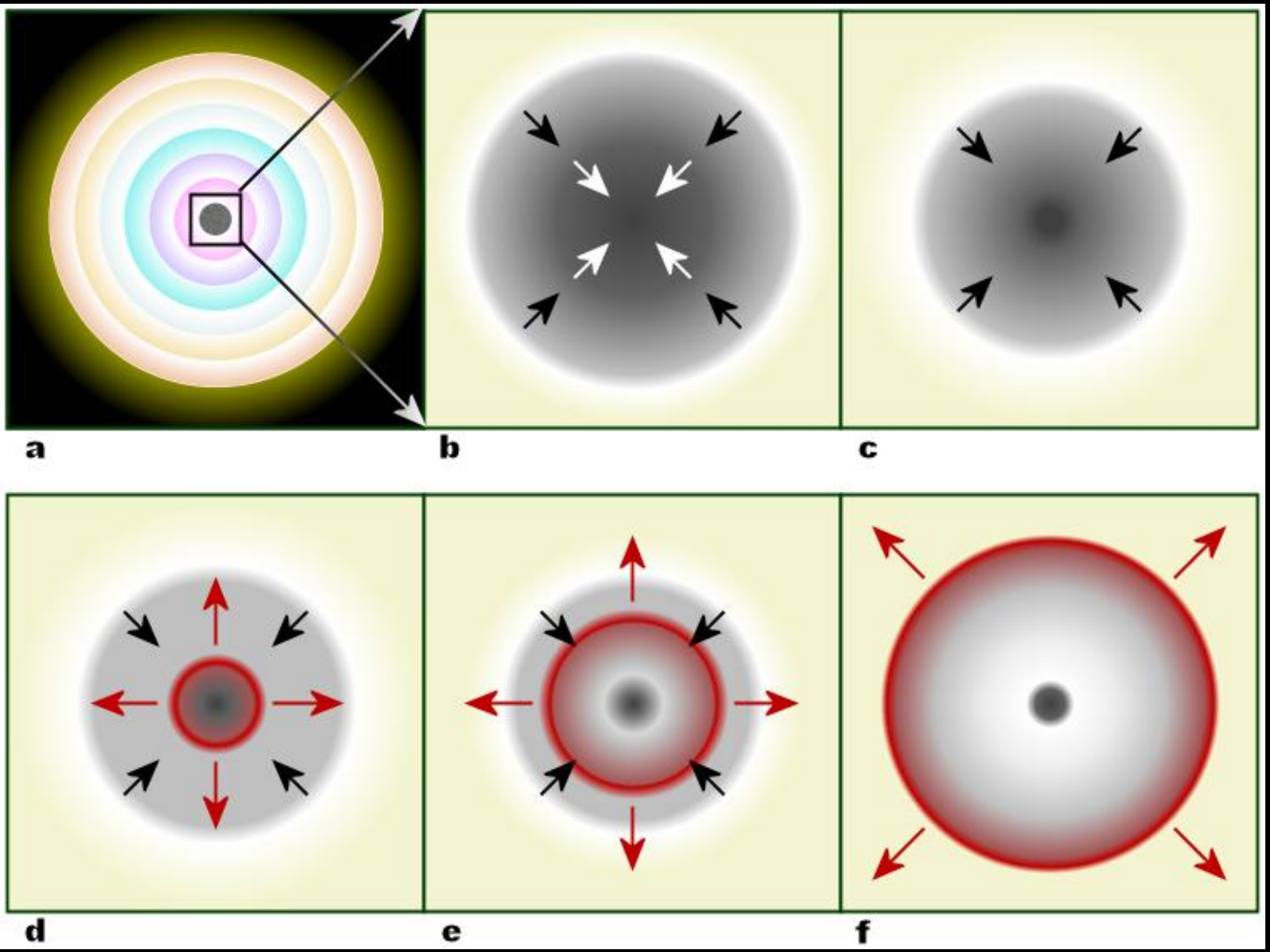
Teoria dello stato stazionario

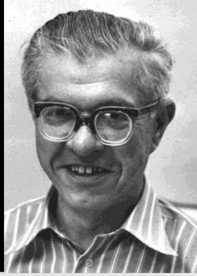


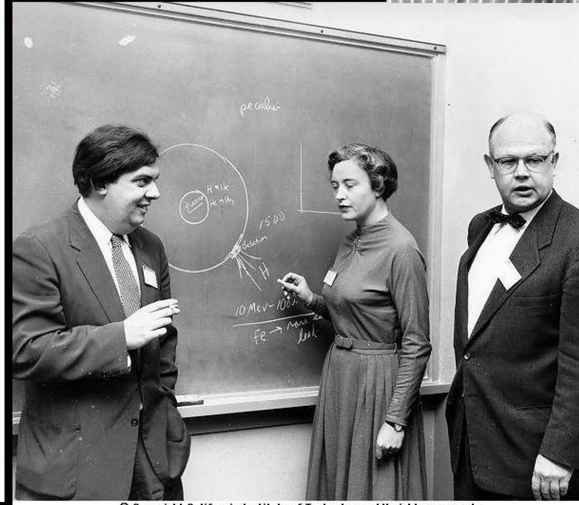


© Copyright California Institute of Technology. All rights reserved.
Commercial use or modification of this material is prohibited.

Teoria dello stato stazionario







© Copyright California Institute of Technology. All rights reserved.
Commercial use or modification of this material is prohibited.

Supernova 1994 D
nella galassia NGC 4526

Il B^2FH risolve il problema!

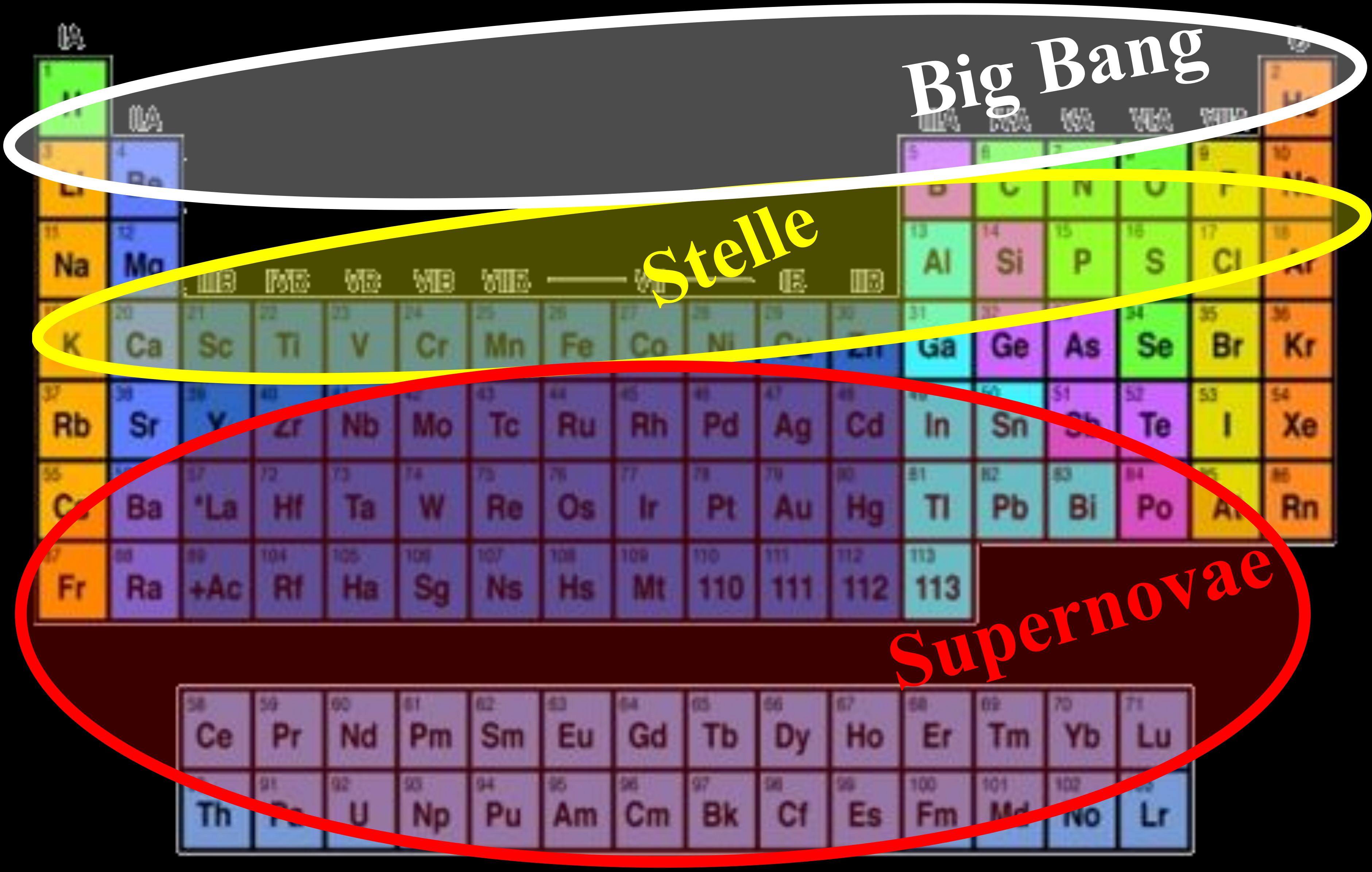
Nobel per la Fisica nel 1982 a Fowler

Nuove misure della costante di Hubble (1980→2001)

Nuove misure della costante di Hubble (2001)

Il valore oggi misurato per la costante di Hubble implica un'età dell'universo che è intorno ai 13.7 miliardi di anni, in ottimo accordo con stime indipendenti ottenute per l'età della nostra galassia.

Tabella Periodica degli Elementi



IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	VIII			IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	0
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	Sg	Ns	Hs	Mt	110	111	112	113					

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

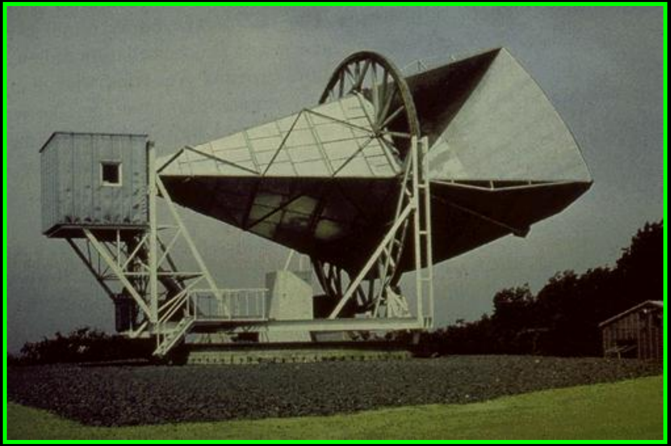
‘We are all star stuff! ’ C. Sagan

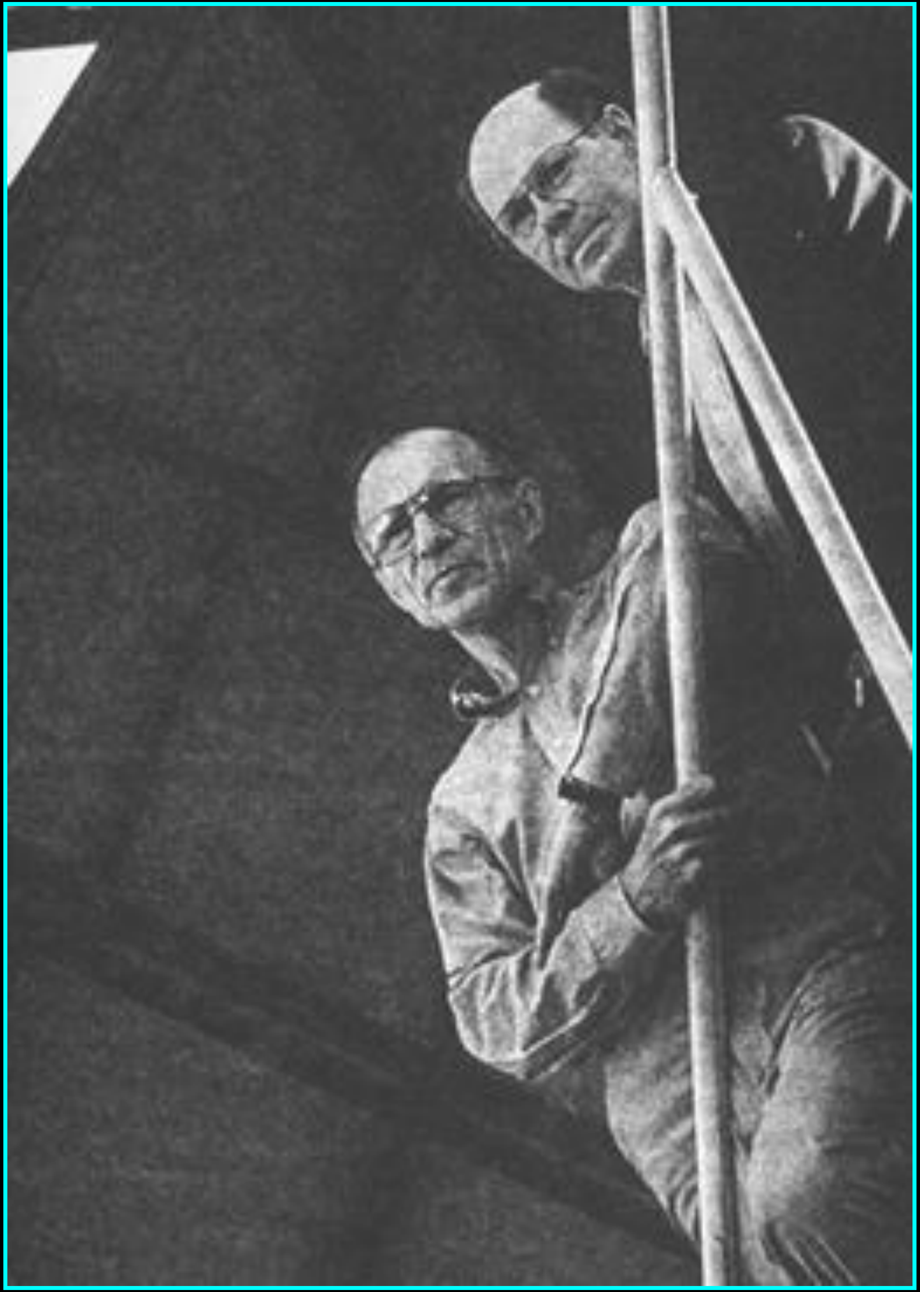
Capisaldi osservativi della teoria del Big Bang:

1 • **Spiega l’espansione dell’Universo**

2 • **Spiega le abbondanze cosmiche**

3 • **Spiega l’origine del CMB**

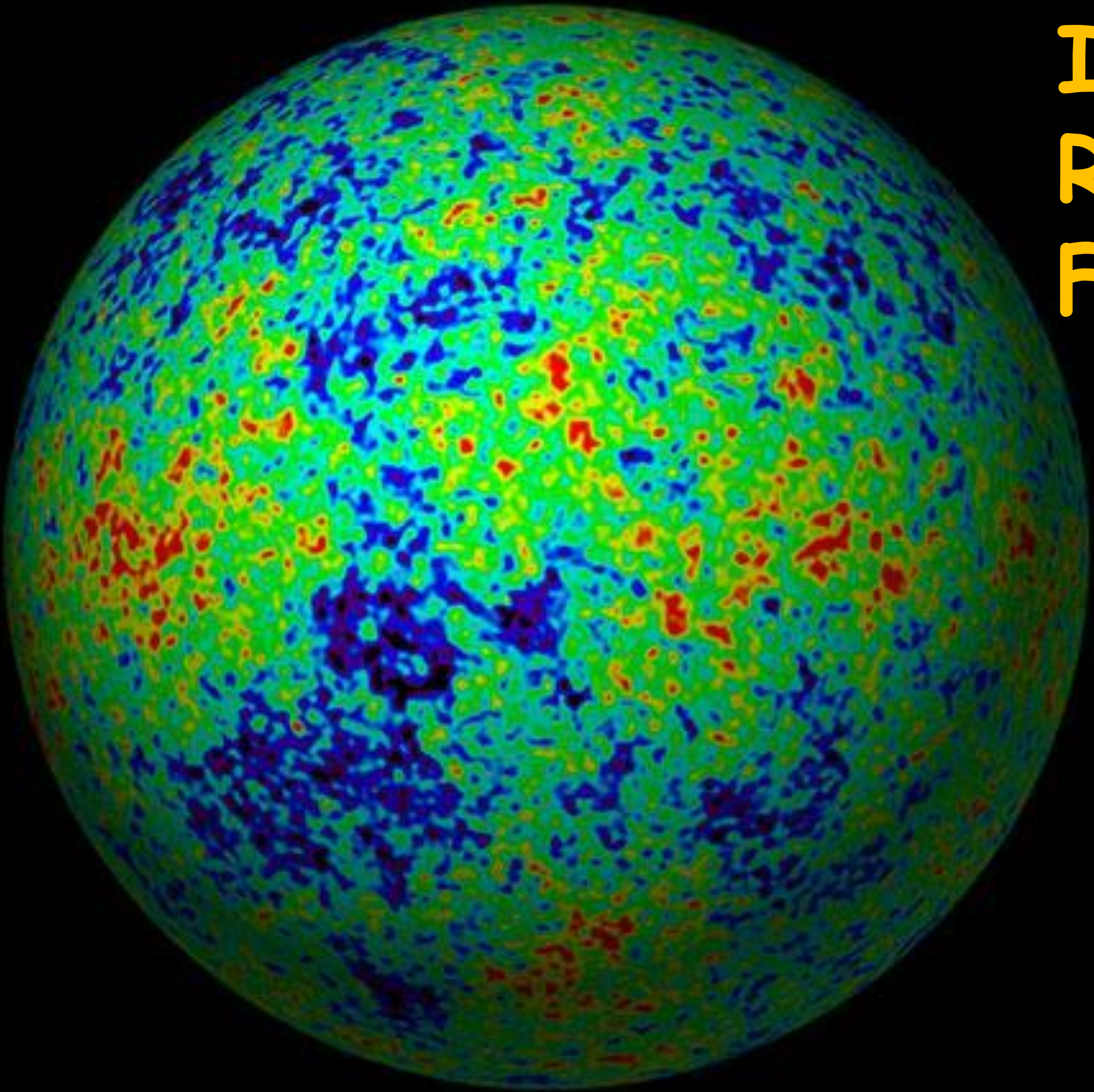




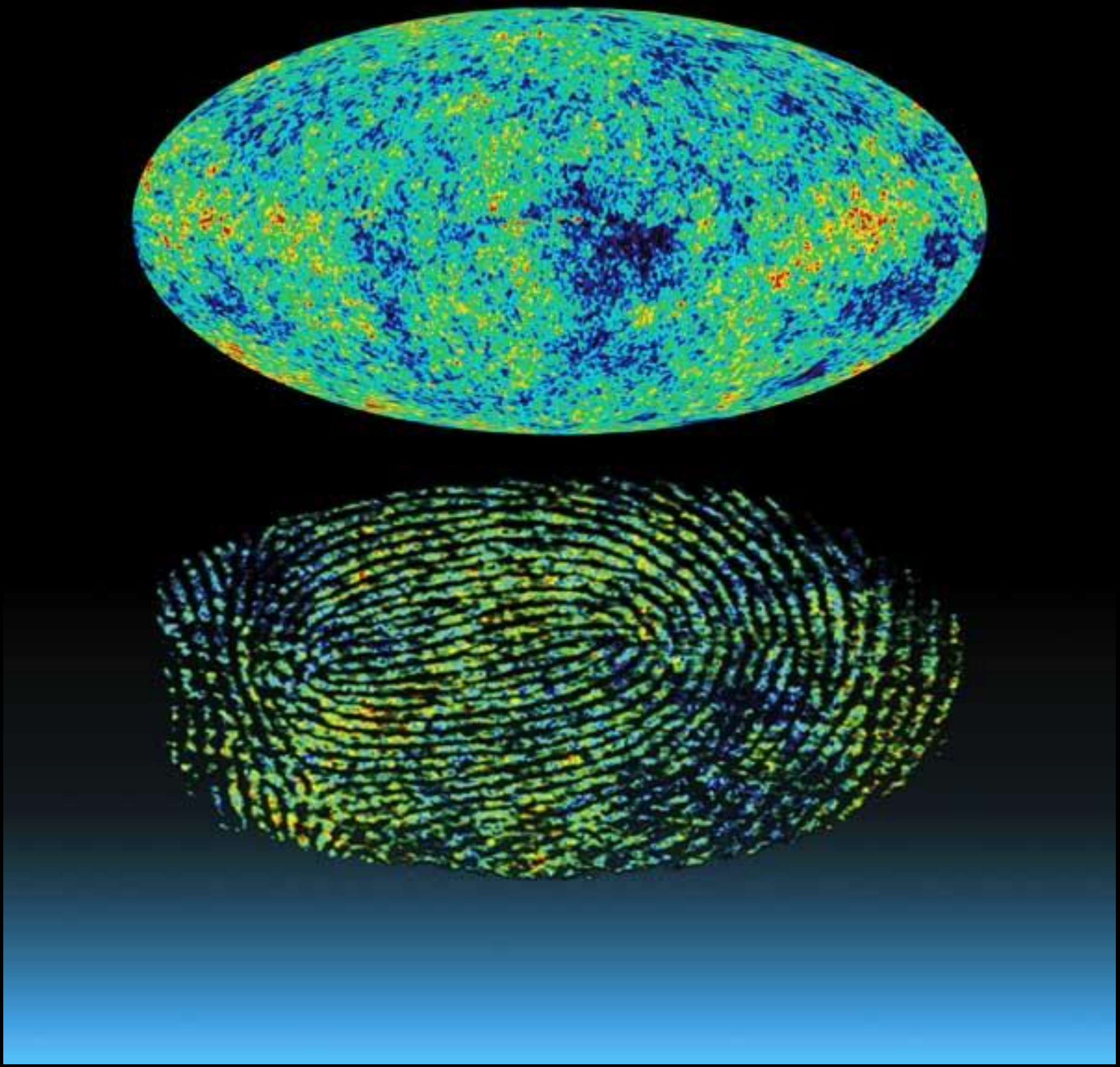
Arno Penzias e
Robert Wilson

Radiazione
Cosmica di
Fondo (1964)

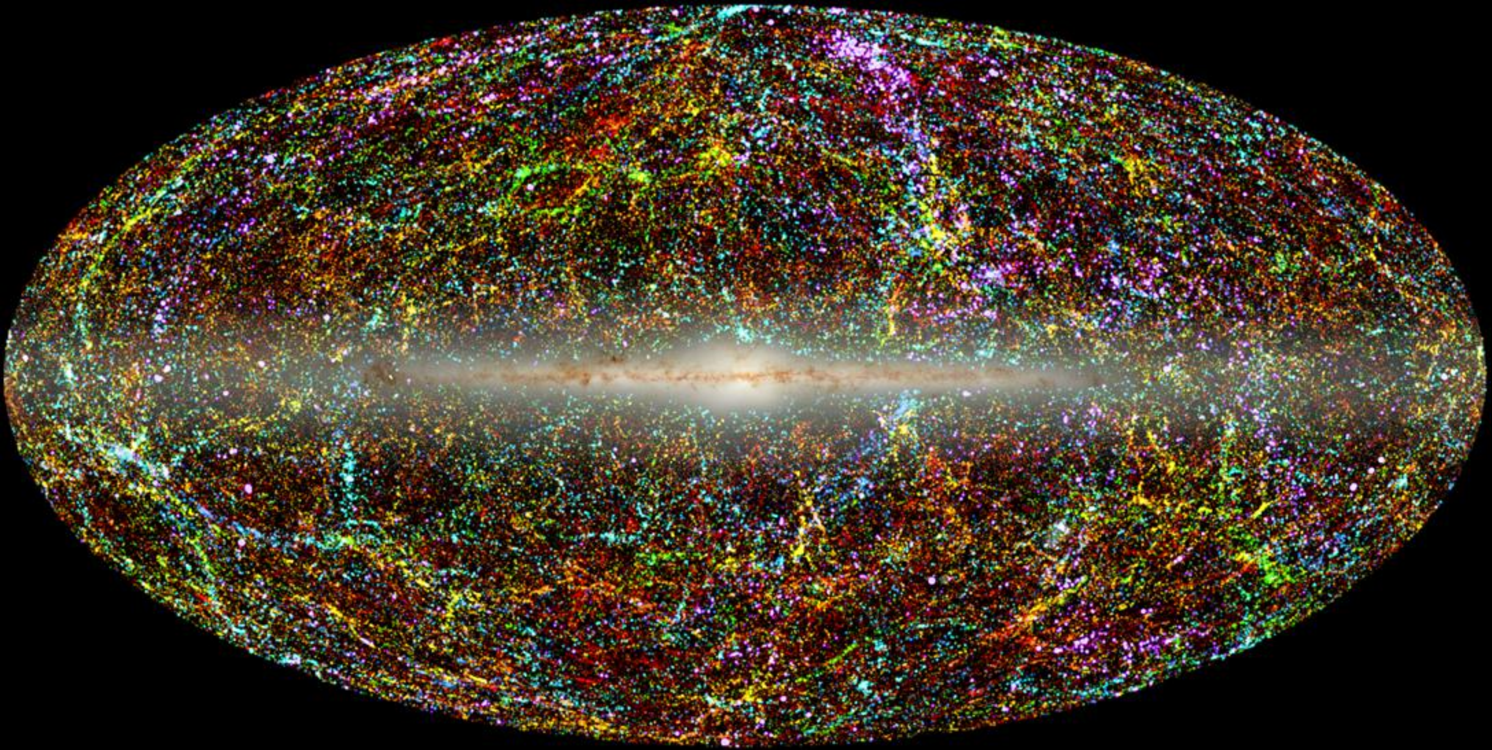
Immagine della Radiazione di Fondo Cosmica



L'impronta digitale della storia dell'universo



Struttura a Larga Scala



Struttura a Larga Scala