

Il Lato Oscuro dell'Universo



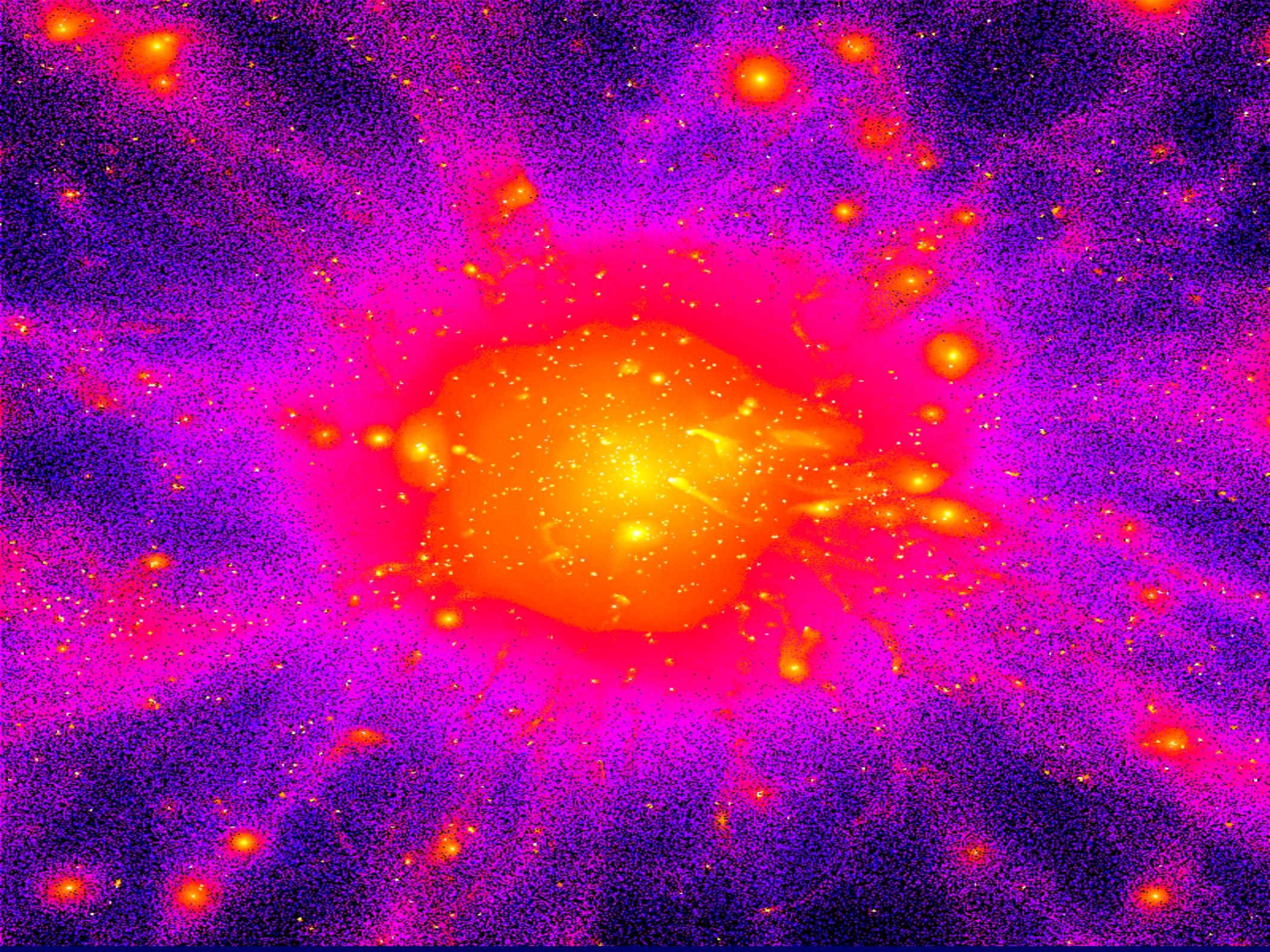
Stefano Borgani
Dipartimento di Fisica
Universita' di Trieste
(INAF & INFN - Trieste)



Episodio 1: L'Universo che osserviamo

Episodio 2: I fondamenti della Cosmologia moderna

Episodio 3: La necessita' della Materia Oscura e
dell'Energia Oscura



Di che grandezze stiamo parlando?

Velocita' della luce:

$$C = 299.742 \text{ km/s}$$

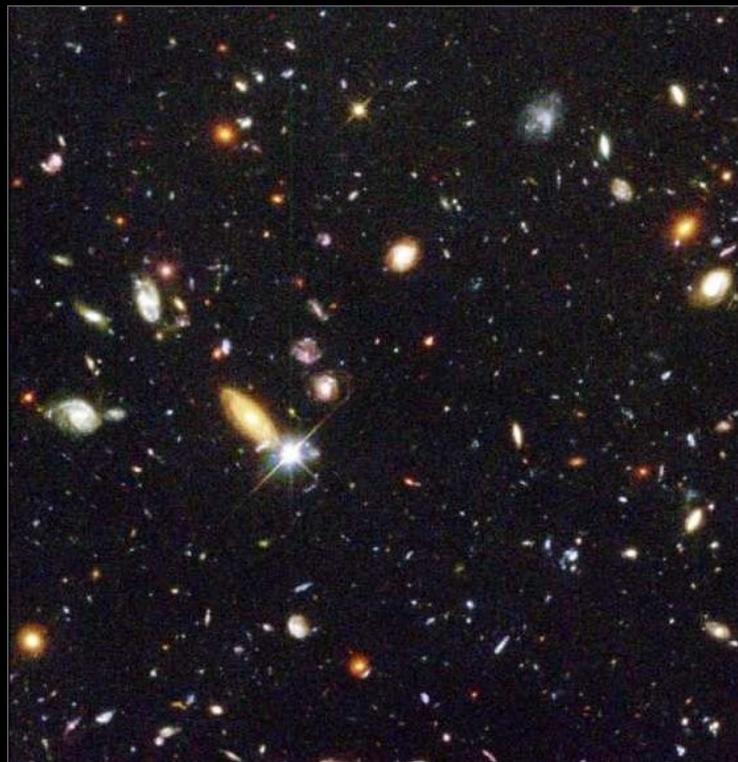
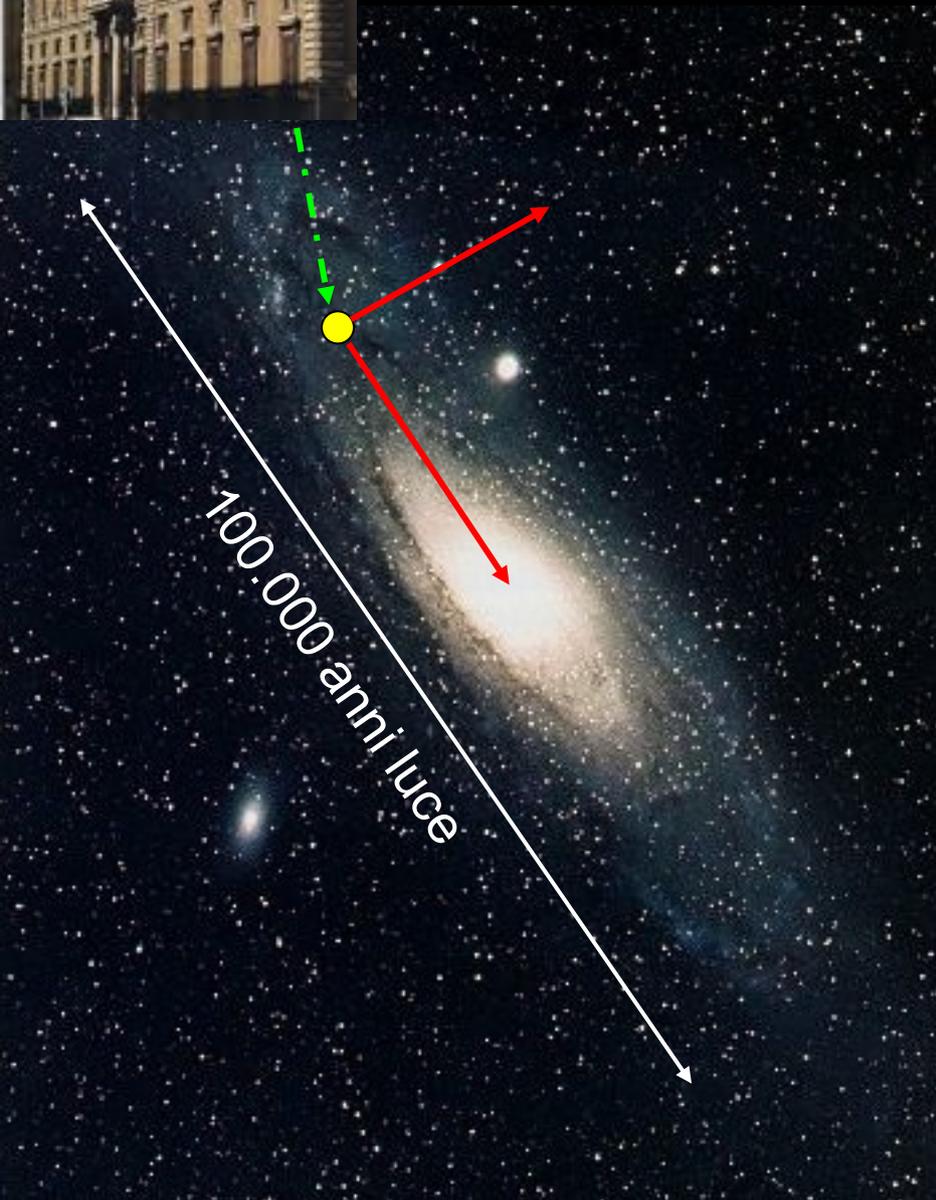
Eta' dell'Universo (t_{Univ}) = 13.75 miliardi di anni

L'orizzonte cosmologico = $c t_{\text{Univ}}$

Oggi: 13.75 miliardi di anni luce

Piu' piccolo nel passato...

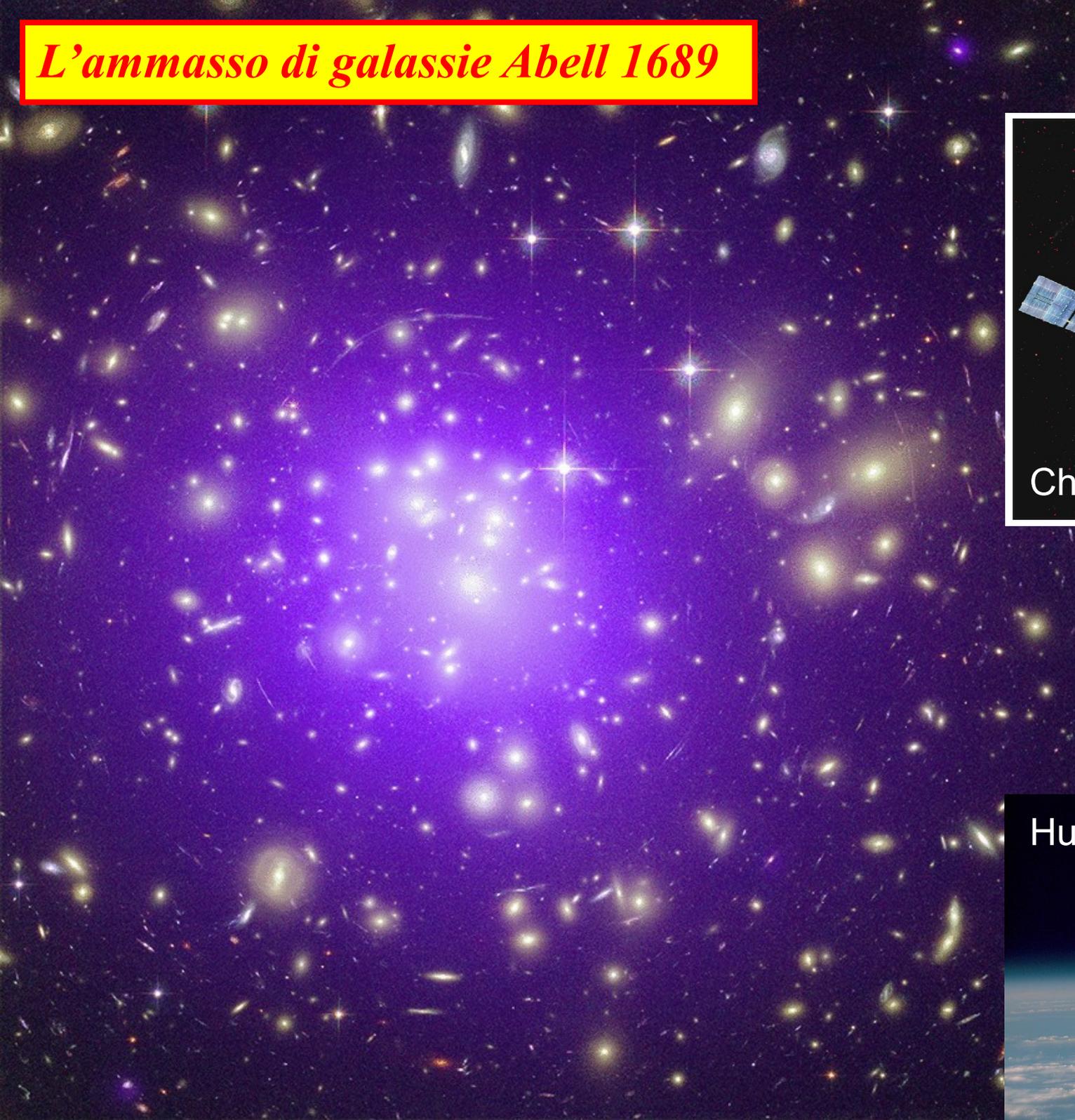
La nostra posizione



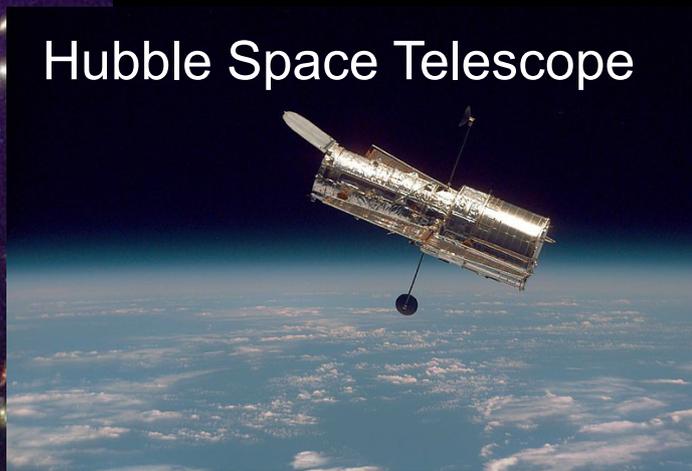
ESO VLT @ Cerro Paranal (Cile)



L'ammasso di galassie Abell 1689

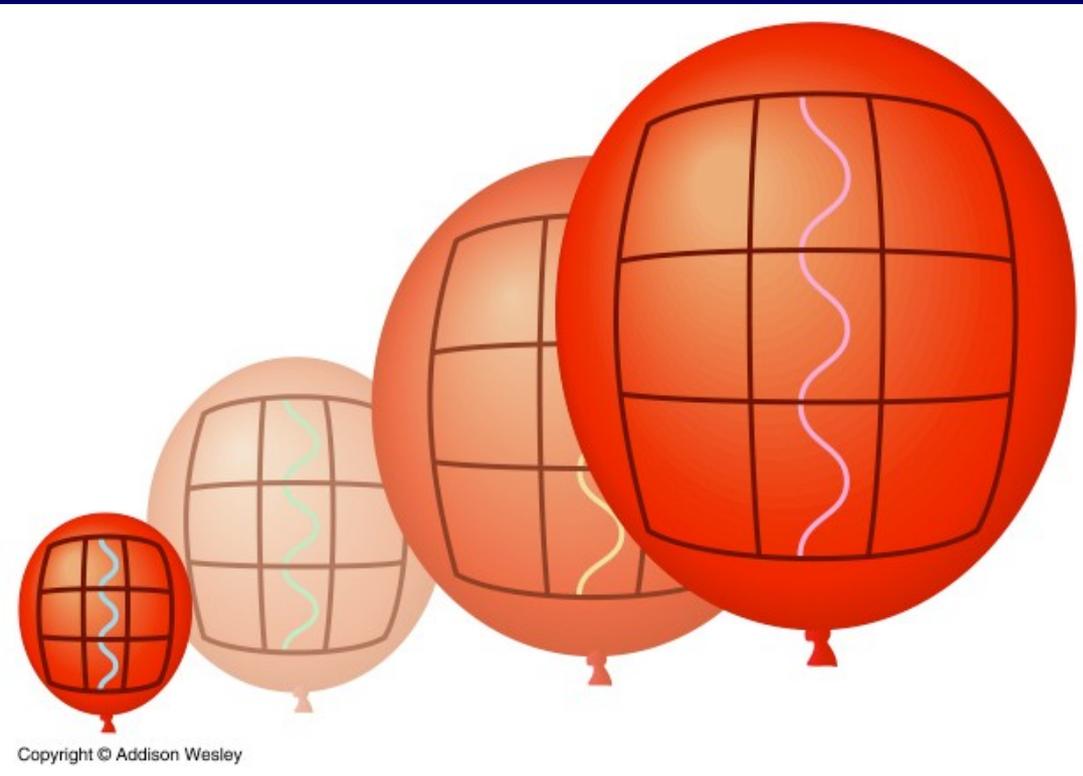


Chandra X-ray Telescope



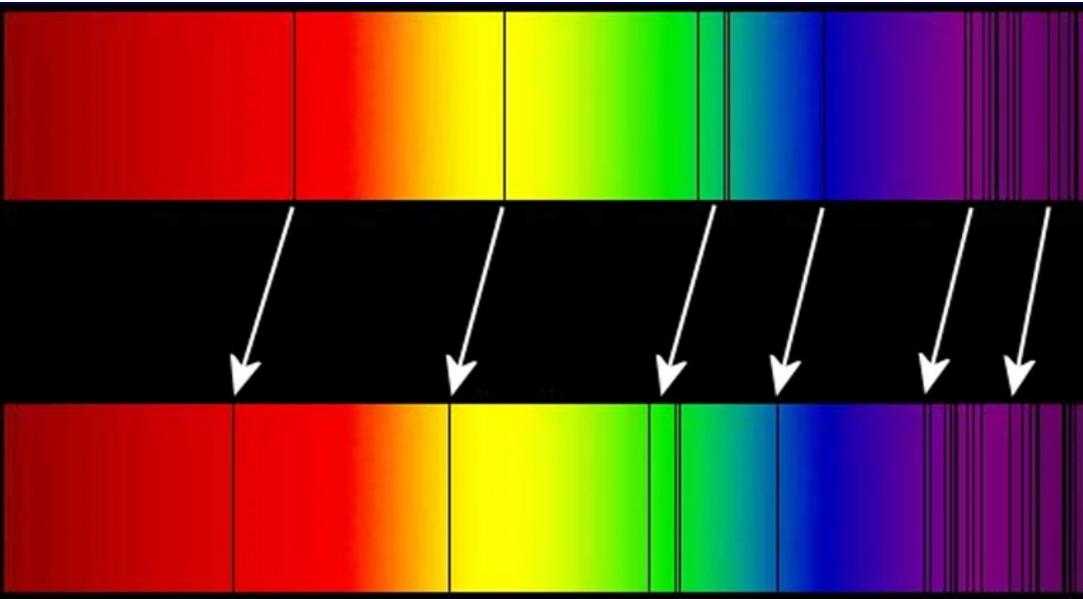
Hubble Space Telescope

Il redshift cosmologico

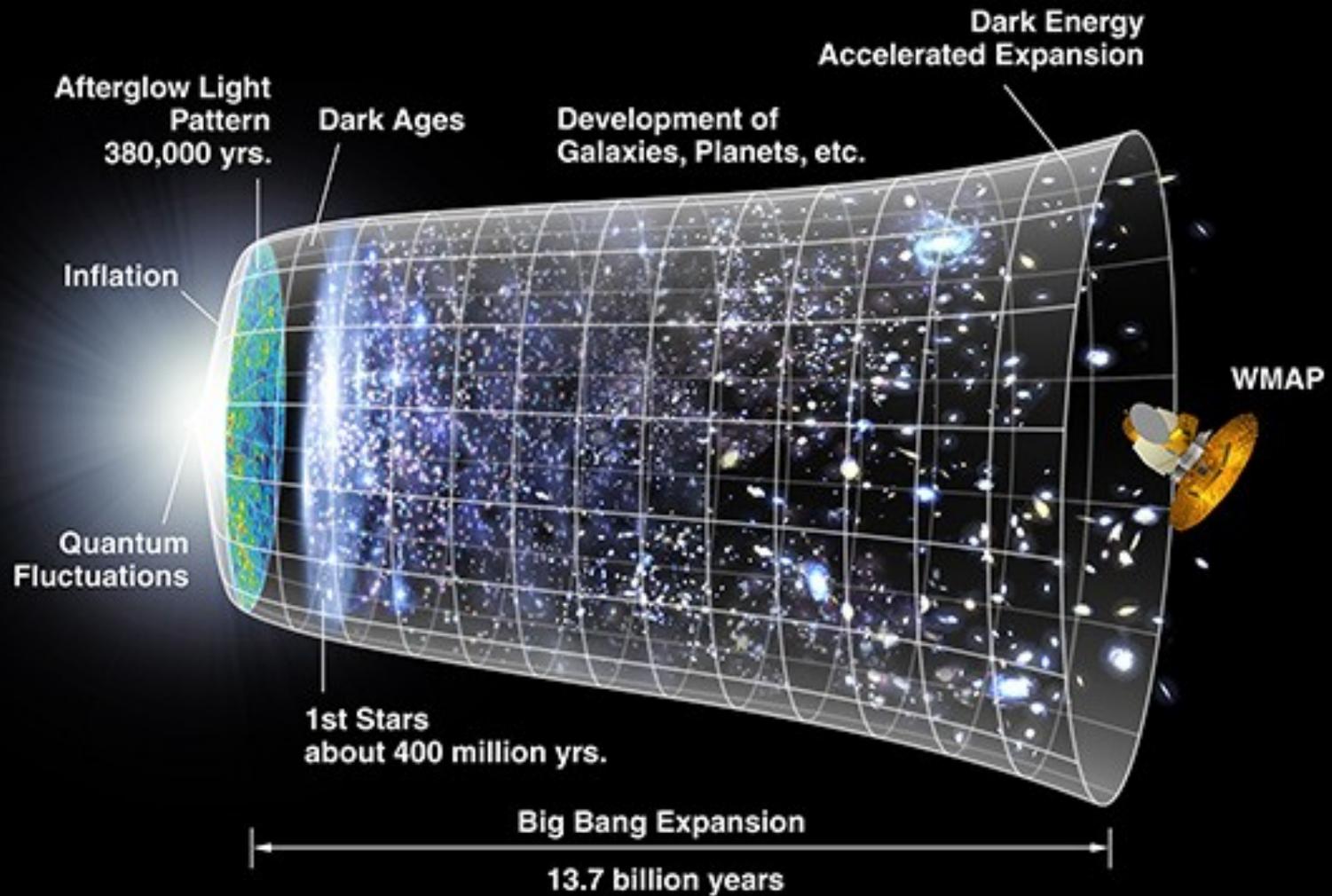


Stiramento della luce
dovuto all'espansione
dell'Universo:

$$1 + z = \frac{\lambda_{oss}}{\lambda_{em}} = \frac{a_{oss}}{a_{em}}$$



$$\text{L'orizzonte cosmologico} = C \times t_{\text{Univ}}$$



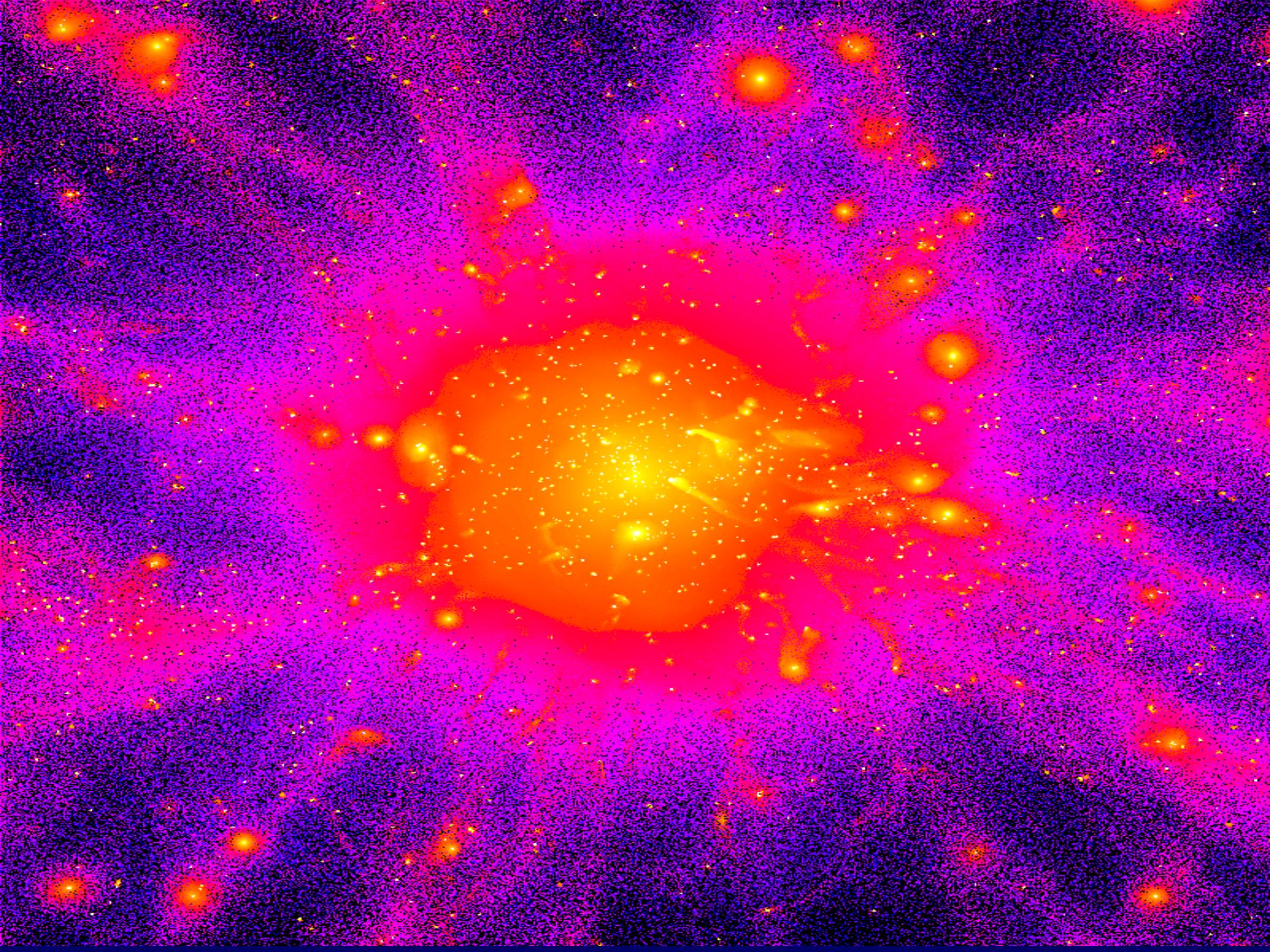
14 miliardi di anni dopo il Big Bang

Mappa dell'Universo vicino dalla Sloan Digital Sky Survey (~ 500.000 galassie)

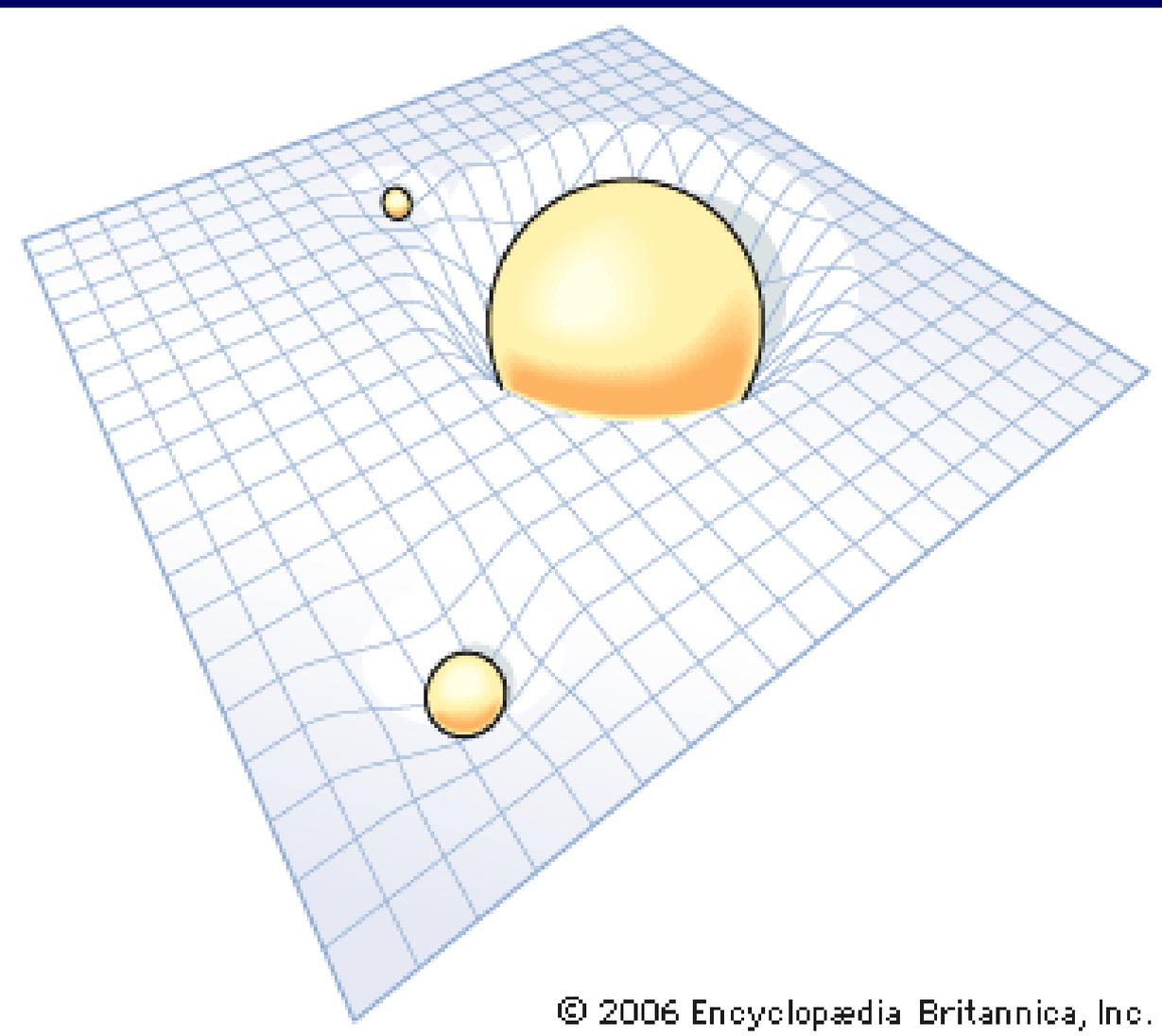
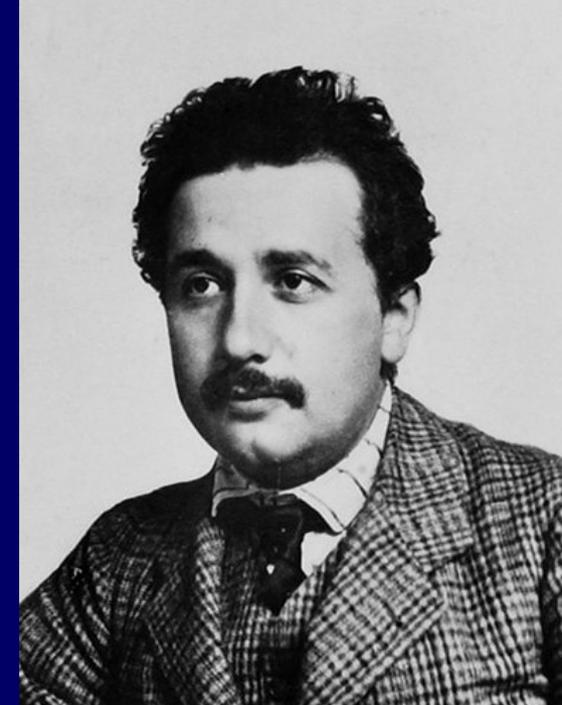


Informazioni su:

- Geometria dell'Universo
- Cosa sono Materia ed Energia Oscure?
- Natura della gravita'
- Leggi fisiche nell'Universo primordiale



La Gravita' di Einstein (1915)



$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

Di cosa e' fatto
l'Universo

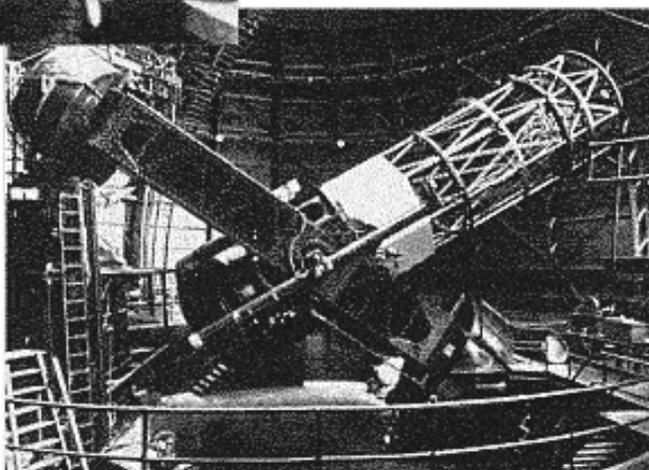
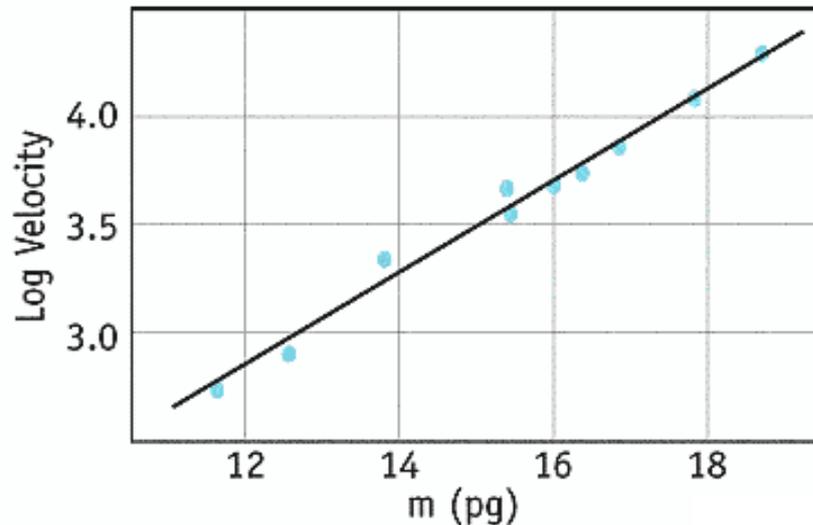
Geometria dell'Universo

Edwin Hubble e l'espansione dell'Universo (1929)

DISCOVERY OF EXPANDING UNIVERSE



Edwin Hubble



Mt. Wilson
100 Inch
Telescope

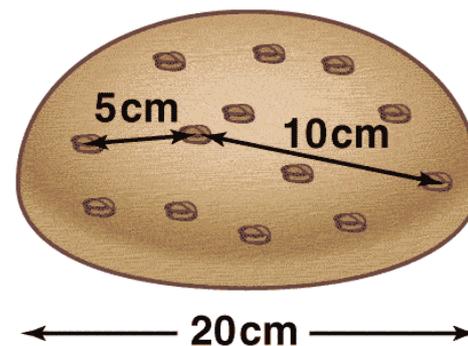
$$V = H d$$

E. Hubble:

$H = 500 \text{ km/s/Mpc}$

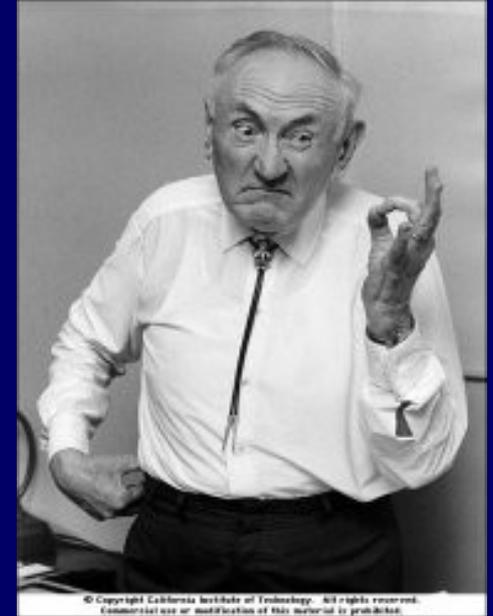
Oggi:

$H = 70 \text{ km/s/Mpc}$



Fritz Zwicky e la scoperta della Materia Oscura (1933)

L'ammasso di Coma



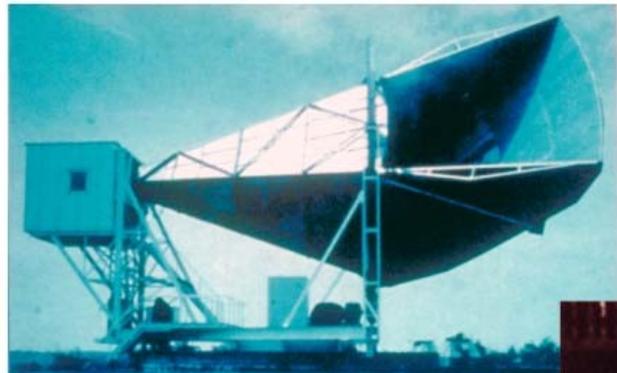
$V \sim 1000 \text{ km/s}$

Come tenere insieme
queste galassie che
si muovono così
velocemente?

Necessaria 10 volte più massa di quella data dalle galassie !

La scoperta del fondo cosmico di micro-onde (1964)

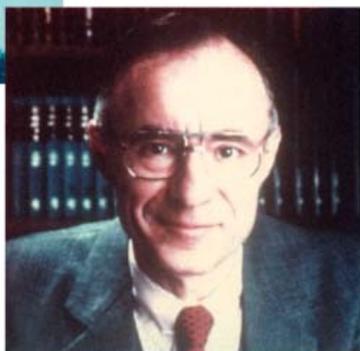
DISCOVERY OF COSMIC BACKGROUND



Microwave Receiver



Robert Wilson



Arno Penzias

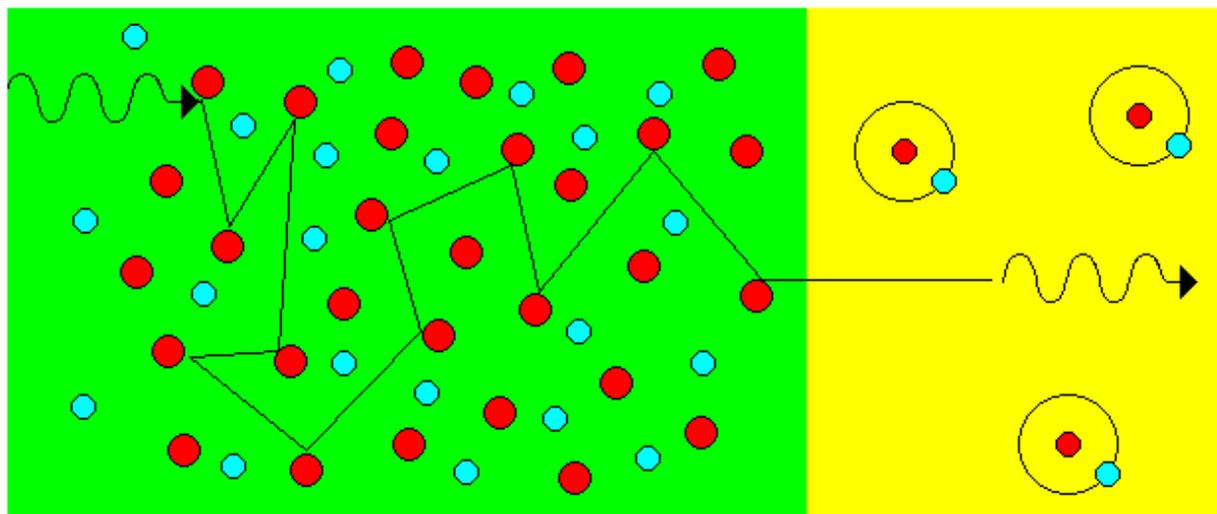
Fondo di radiazione diffuso con temperature di $\approx 2.7 \text{ K}$ ($\approx -270^\circ \text{ C}$)

→ Universo primordiale: molto piu' piccolo e molto piu' caldo (George Gamow 1950).

→ Radiazione e materia "accoppiate"

→ L'Universo diventa "trasparente" 380.000 anni dopo il Big Bang.

→ Ora riceviamo una "eco" di quella radiazione!



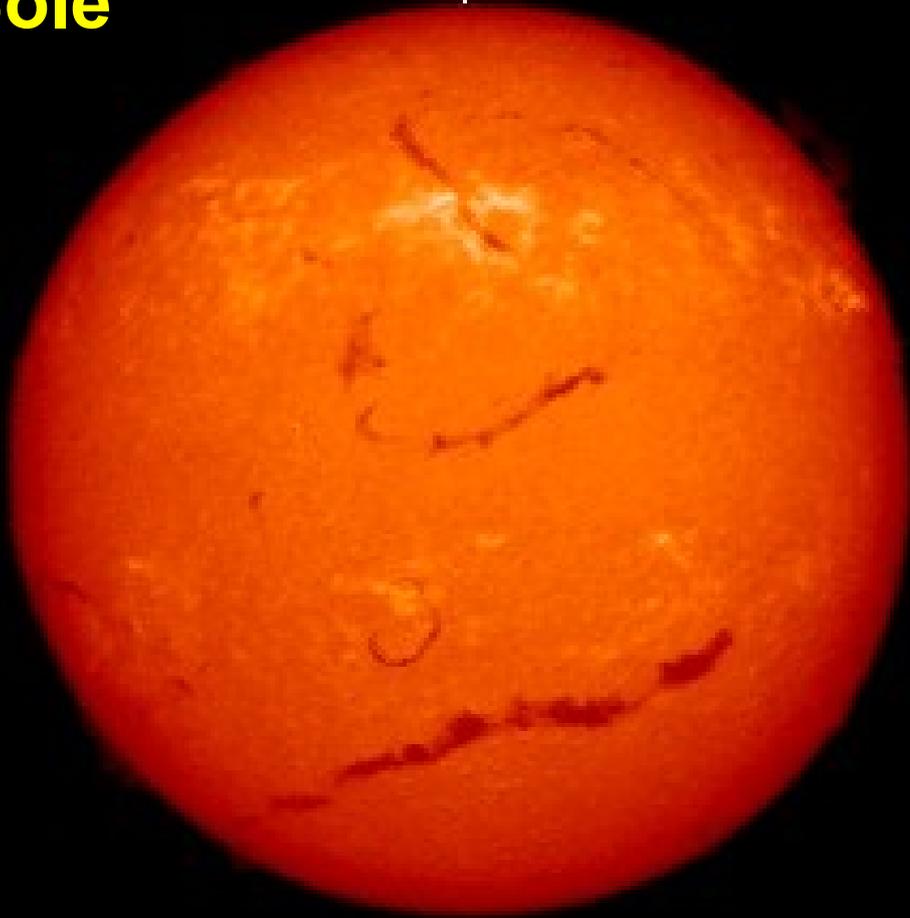
hydrogen plasma

atomic hydrogen

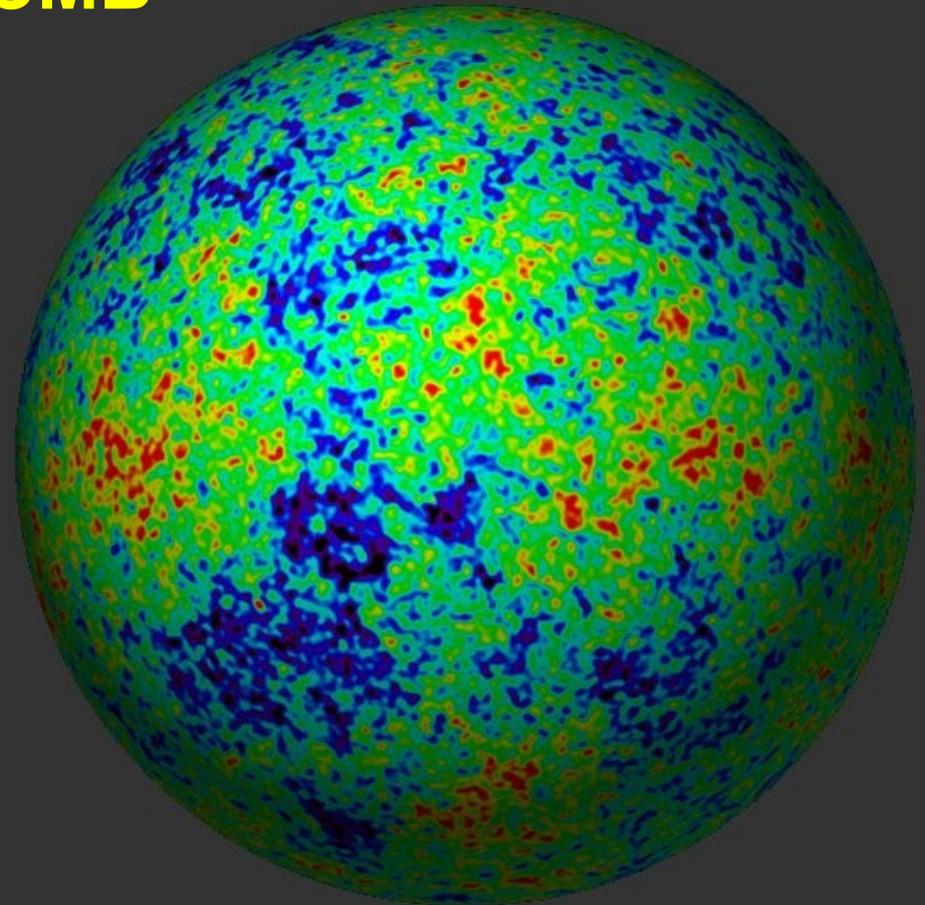
La fotosfera dell'Universo

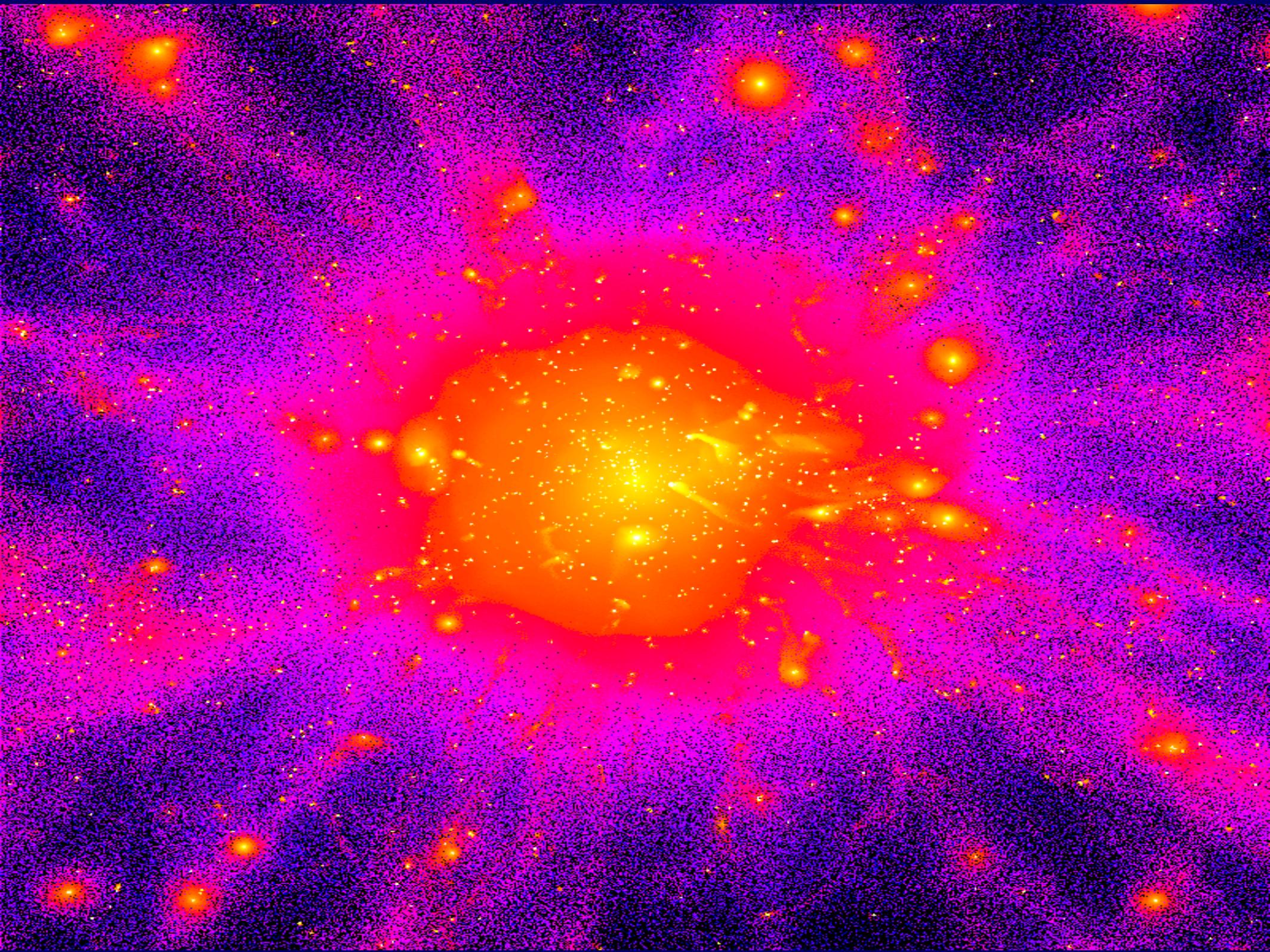
Disomogeneità di una parte su 10.000 !!

Sole



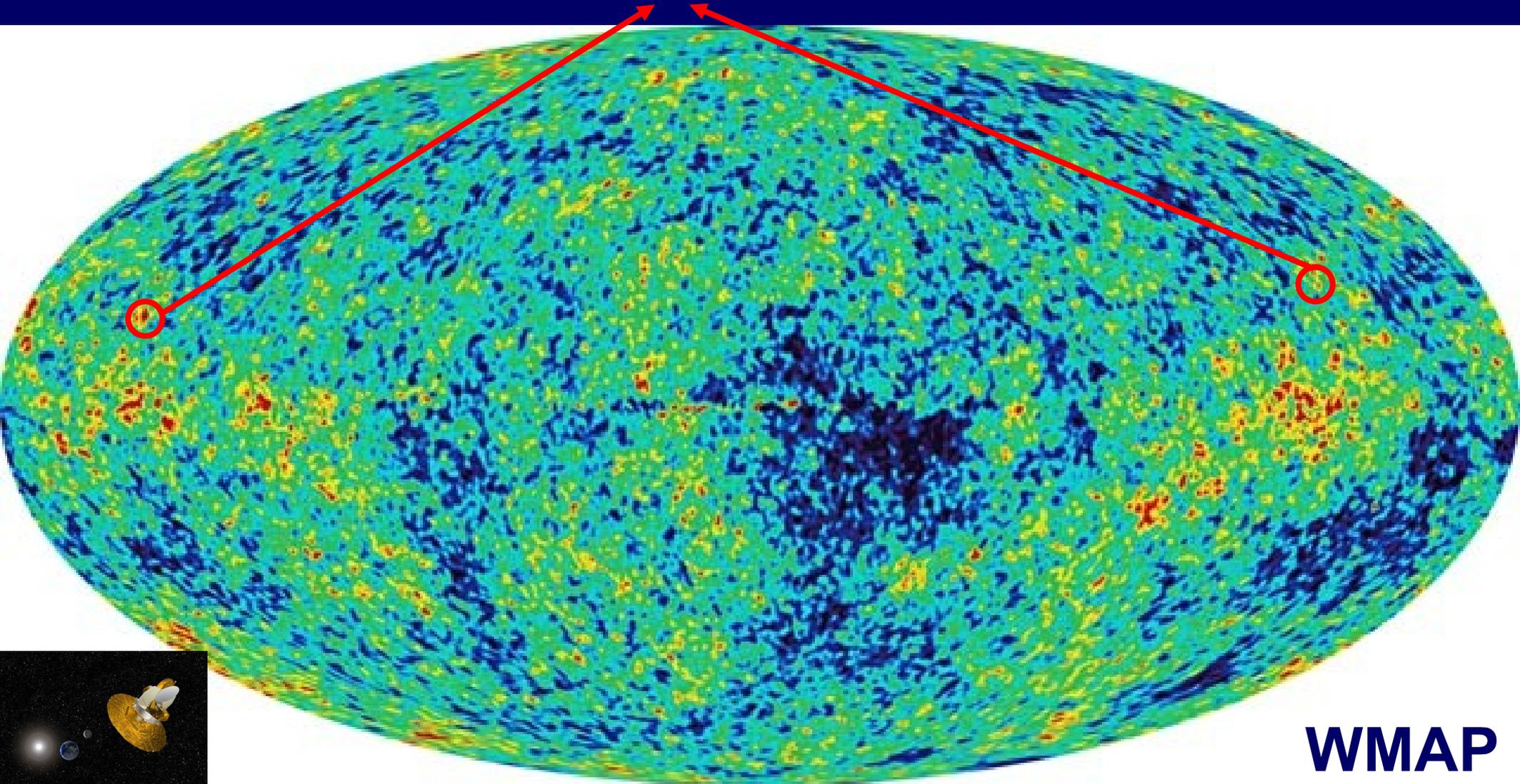
CMB





Problema: come far parlare zone distanti?

Dimensione dell'orizzonte
380.000 anni dopo il Big Bang

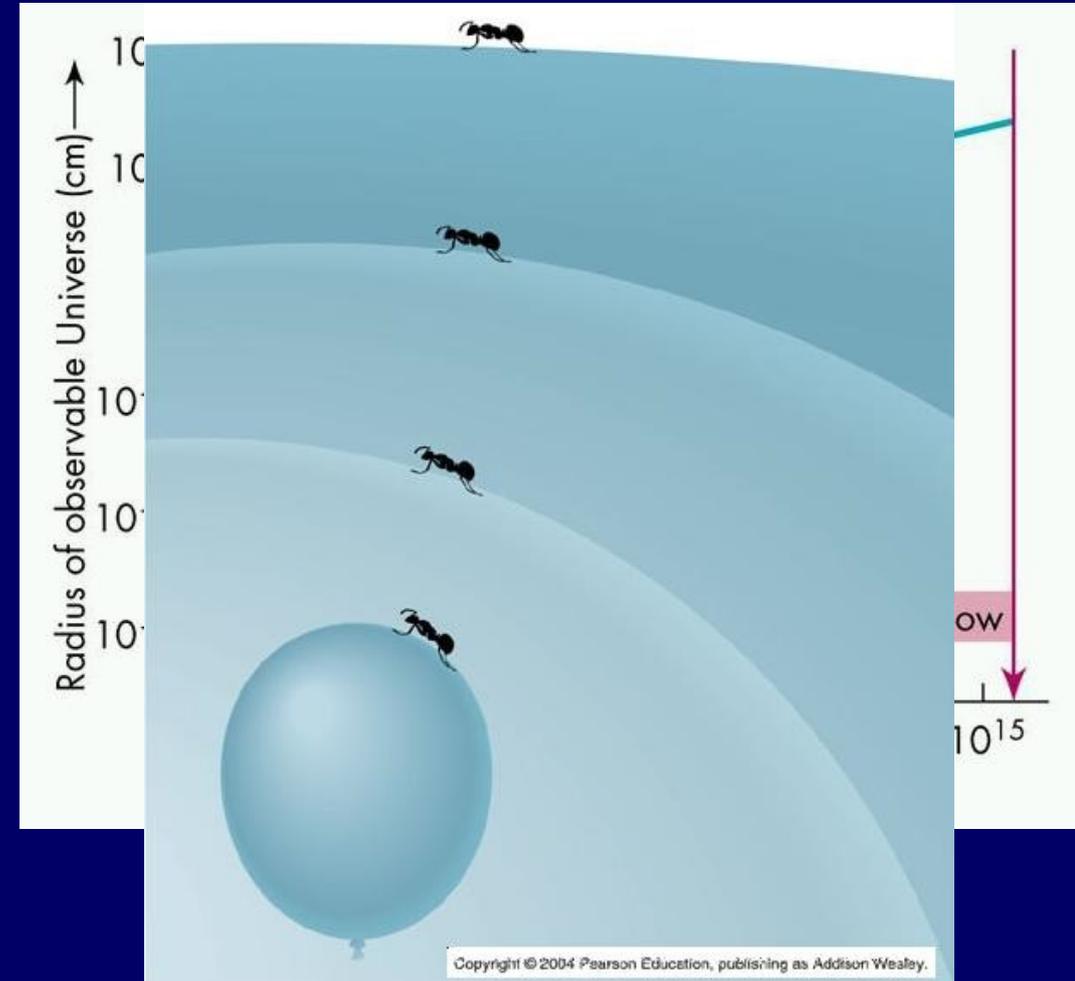
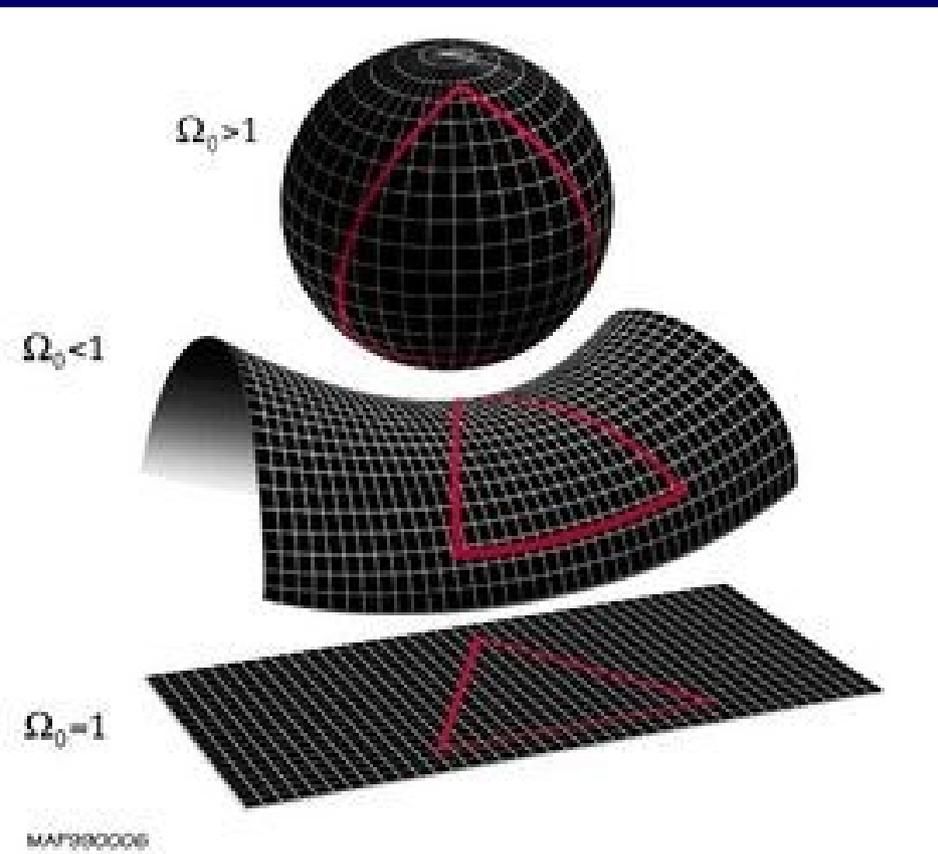


WMAP

La soluzione: inflazione cosmica (Guth 1981)



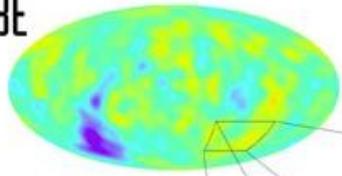
Espansione
fortemente accelerata
dell'Universo!



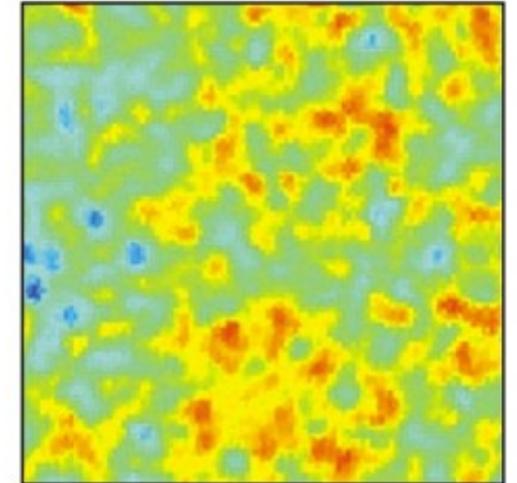
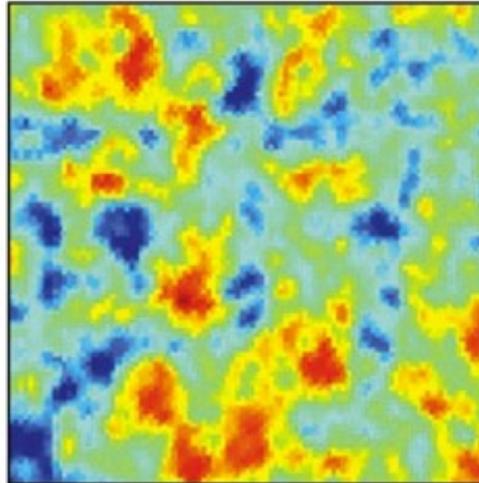
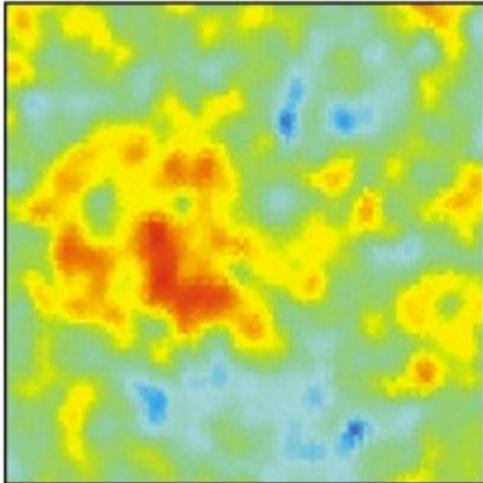
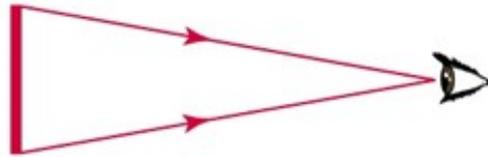
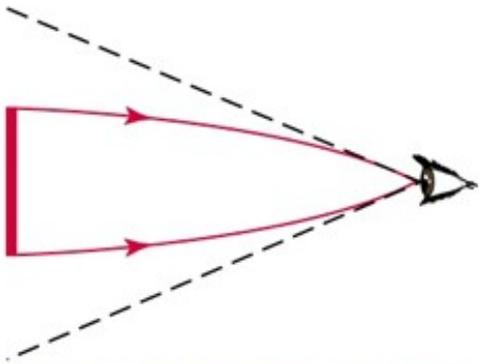
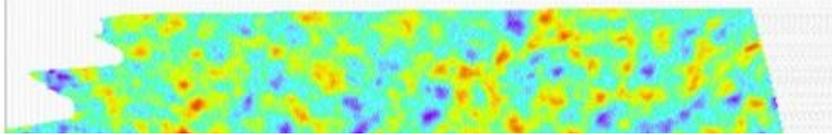
Espansione di **10^{26} volte** per risolvere il problema dell'orizzonte
→ Curvatura dell'Universo "stirata"

Misurare la geometria dell'Universo

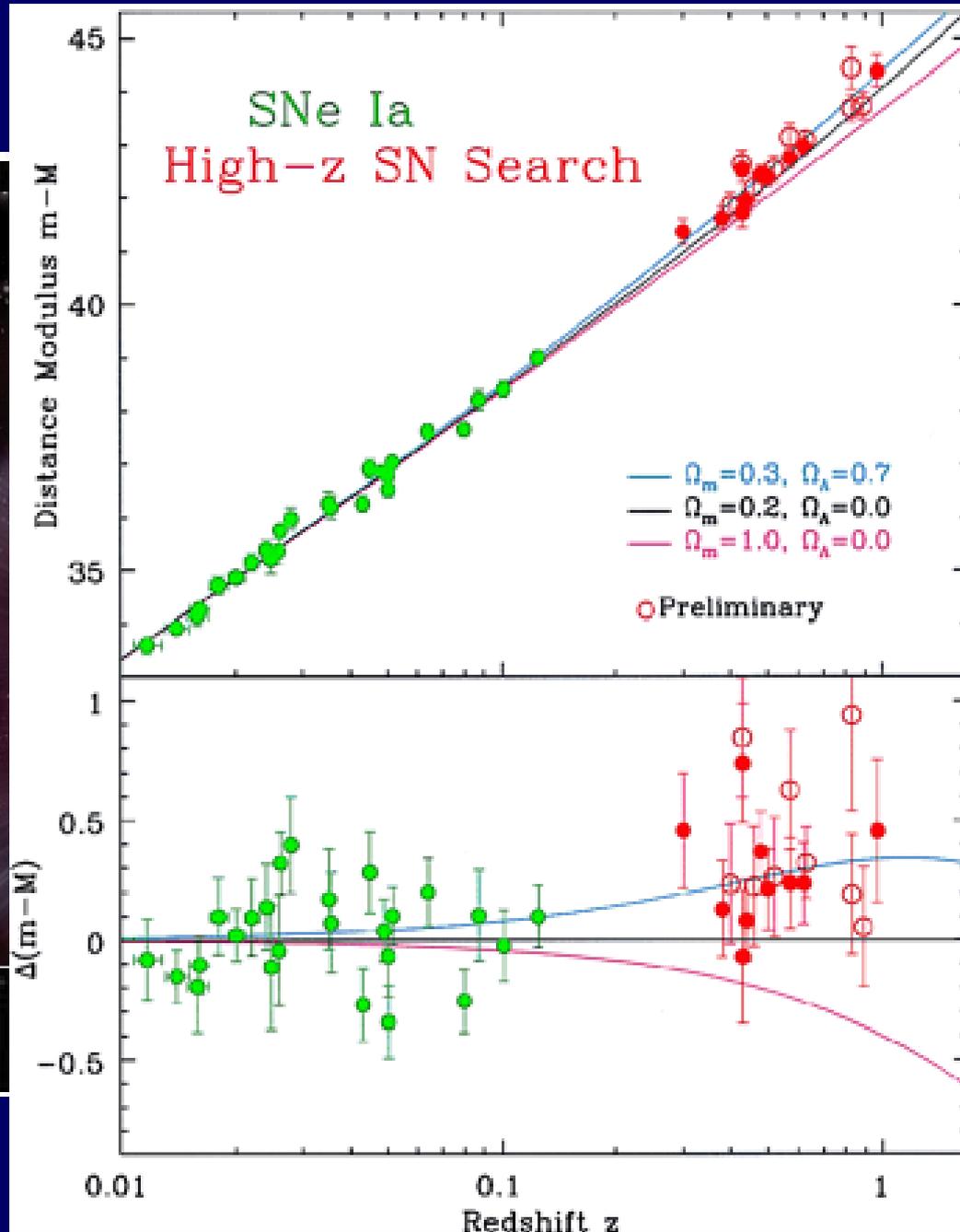
COBE



Boomerang (1998)



La necessita' della costante cosmologica



Candele standard: oggetti astronomici che hanno luminosita' uniforme

→ Misurando la luminosita' apparente si risale alla loro distanza

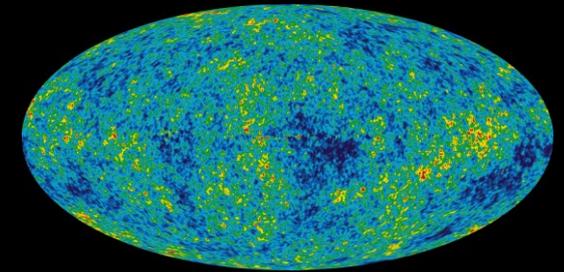
→ Le Supernove di tipo Ia sono candele standard

→ La relazione tra loro distanza e velocita' di allontanamento richiede che l'Universo stia accelerando....

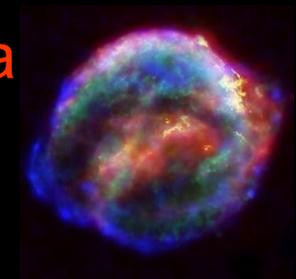
Il Contenuto in materia ed energia dell'Universo



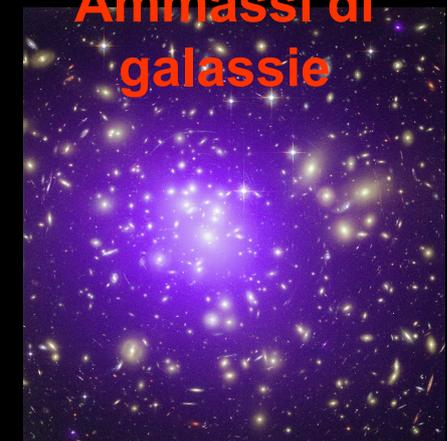
CMB



Sn-Ia



Ammassi di galassie



Lensing gravitazionale



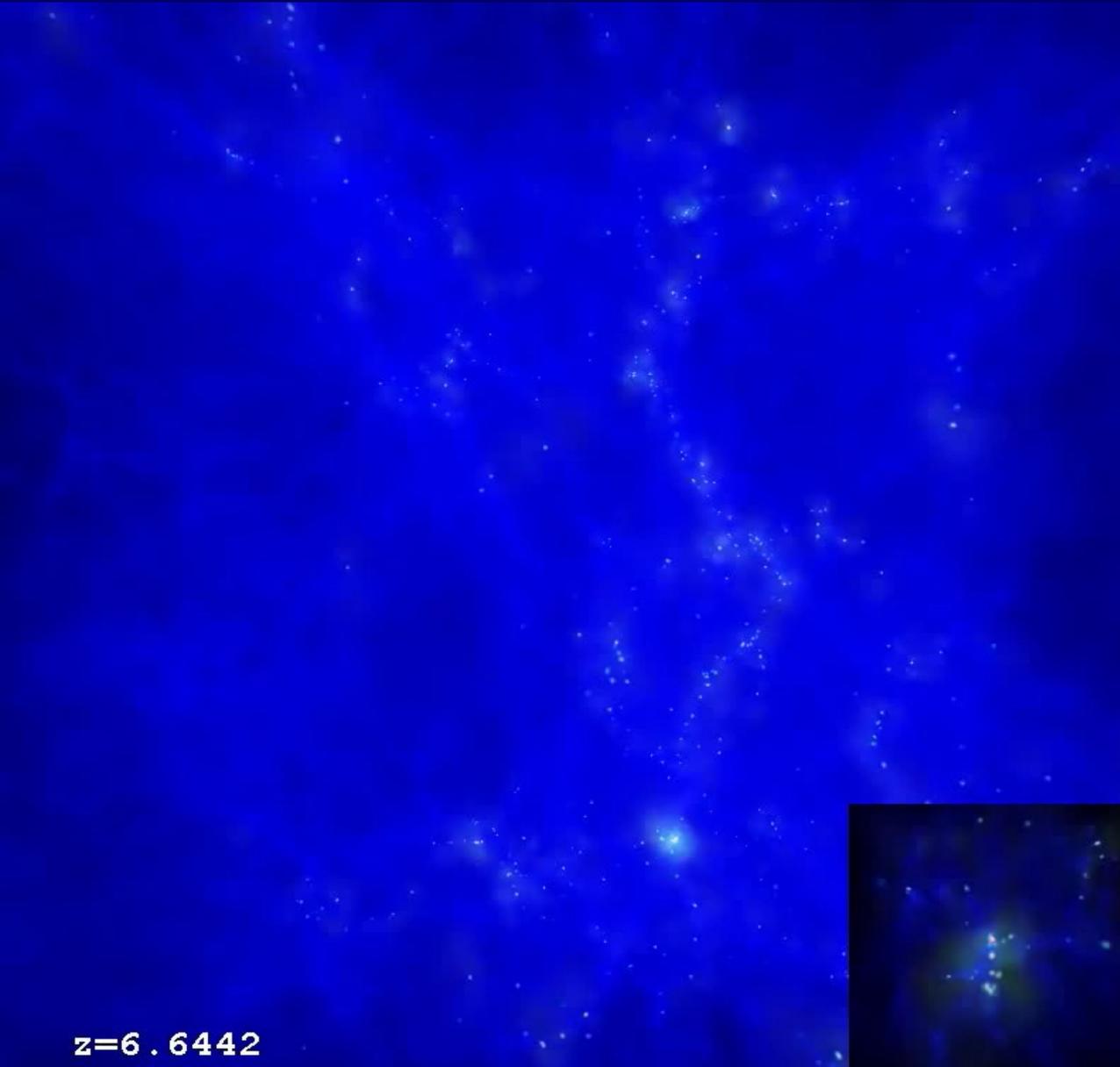
Distribuzione delle galassie



Supercomputers: gli strumenti dell'astrofisica teorica

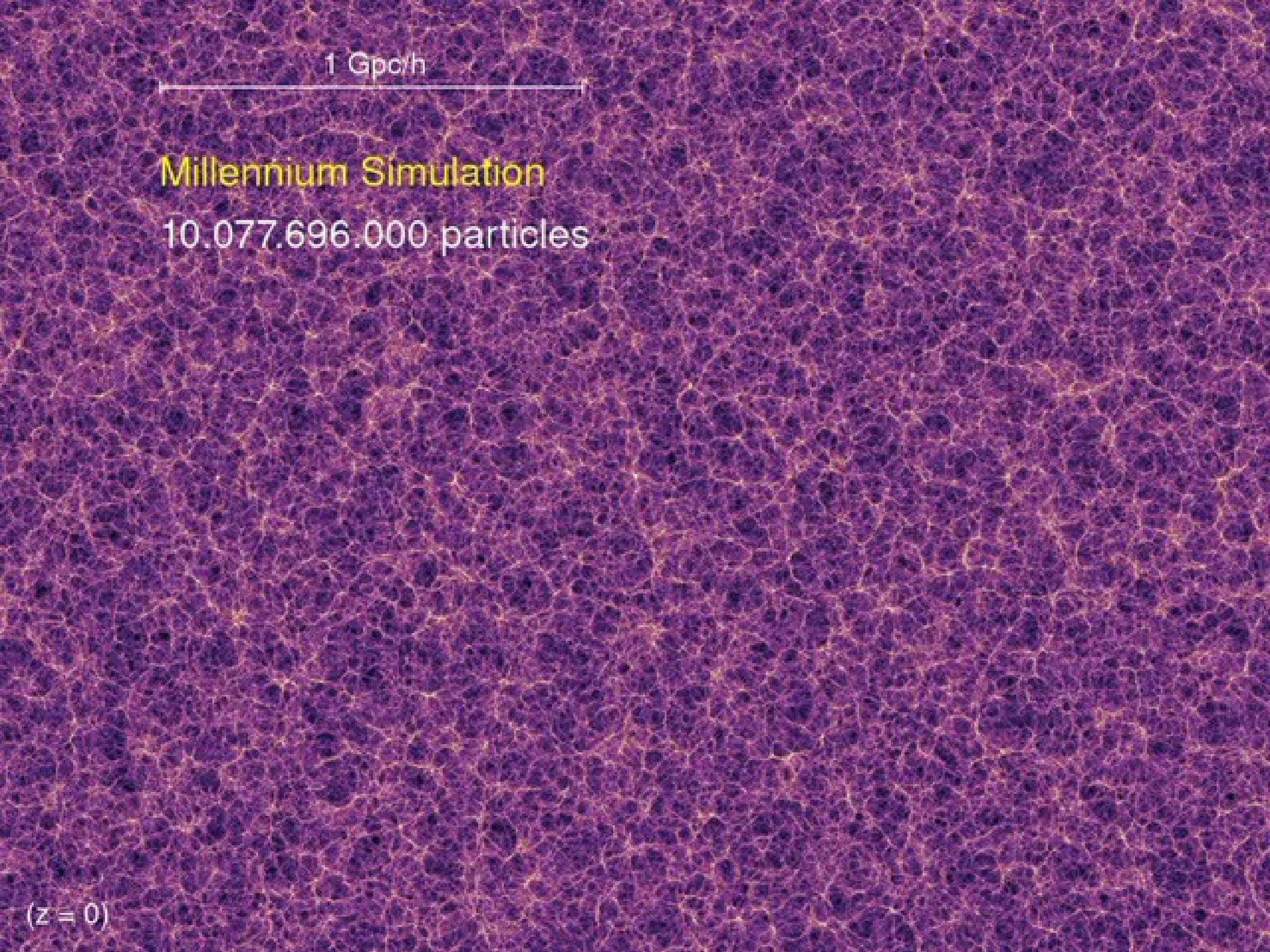


L'impronta di DM e DE sull'evoluzione cosmica



$z=6.6442$

- Piccole disomogeneità iniziali (CMB)
- Amplificazione gravitazionale
- Formazione di prime piccole strutture (galassie)
- Formazione di strutture più grandi (ammassi) per "fusione" gravitazionale

A visualization of the Millennium Simulation, showing a vast field of particles. The particles are represented as small, faint yellow and orange dots, forming a complex, interconnected network of filaments and voids. The overall appearance is a dense, textured field of points. A horizontal white line with arrows at both ends is positioned near the top left, indicating a scale of 1 Gpc/h.

1 Gpc/h

Millennium Simulation

10,077,696,000 particles

($z = 0$)

Domande finora senza risposta

1. Perché la costante cosmologica è così piccola, ma non nulla?

$$\rho_{\Lambda}^{oss} ; 10^{-120} \rho_{\Lambda}^{teor}$$

2. Perché l'Universo ha cominciato ad accelerare solo di recente?

3. Perché la densità di Energia Oscura e di Materia Oscura sono simili?

4. Dobbiamo modificare il contenuto dell'Universo o la natura della gravità?

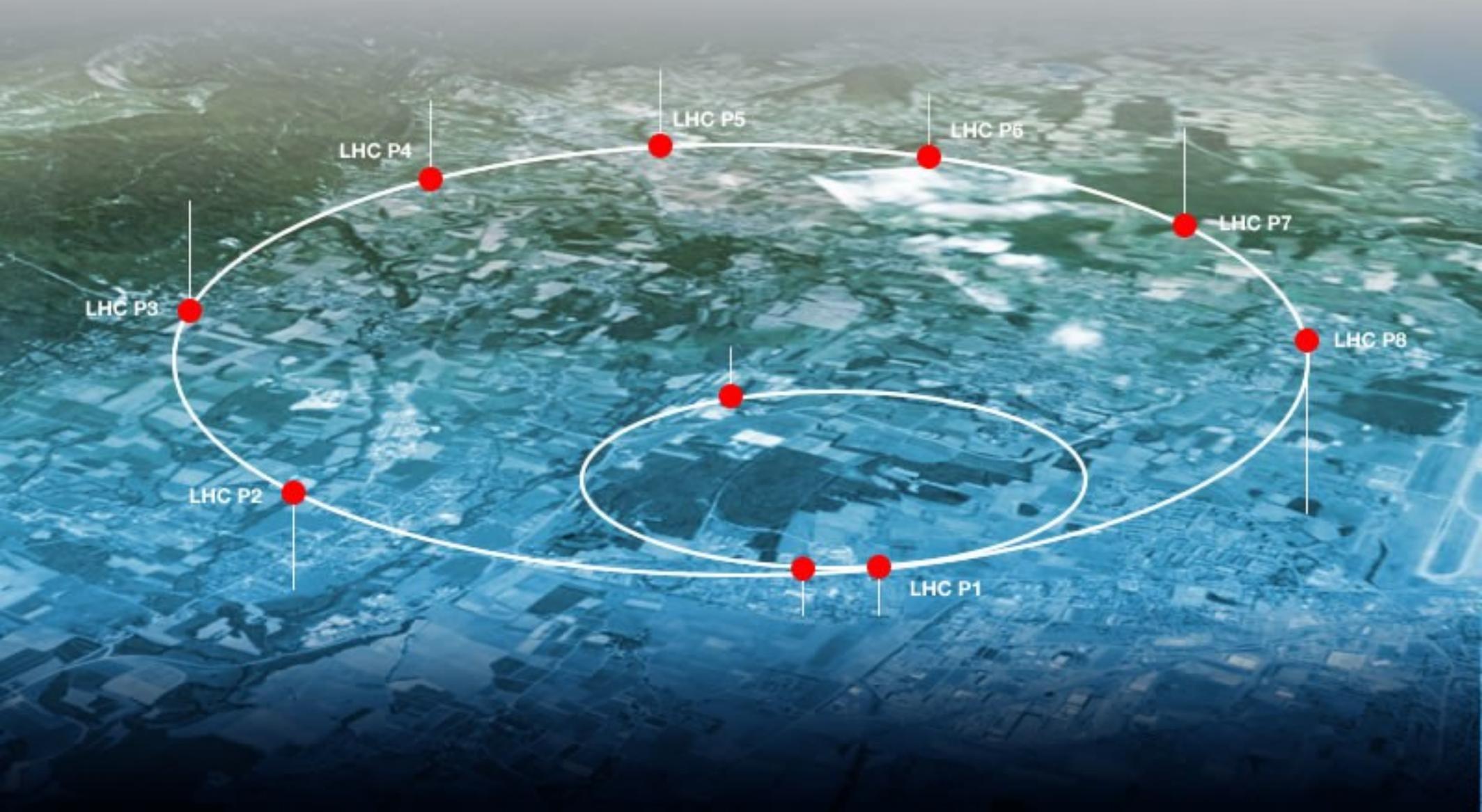
$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

Modifica la gravità'

Modifica materia ed energia

Produrre Materia Oscura in laboratorio

The Large Hadron Collider (LHC) - CERN

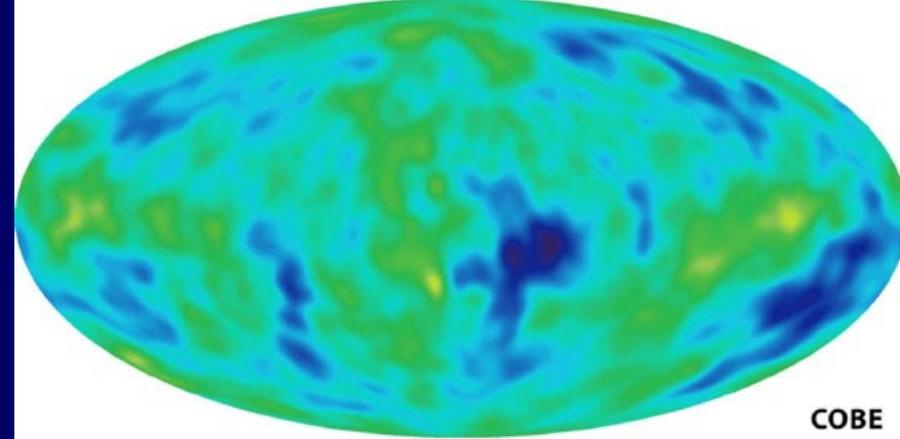


Immagini dell'Universo giovane

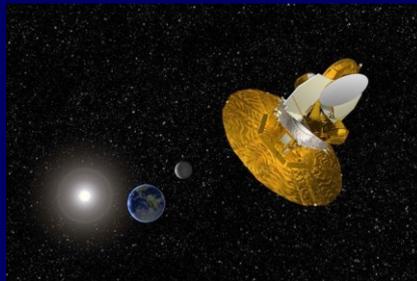
1992: prima scoperta delle anisotropie del CMB



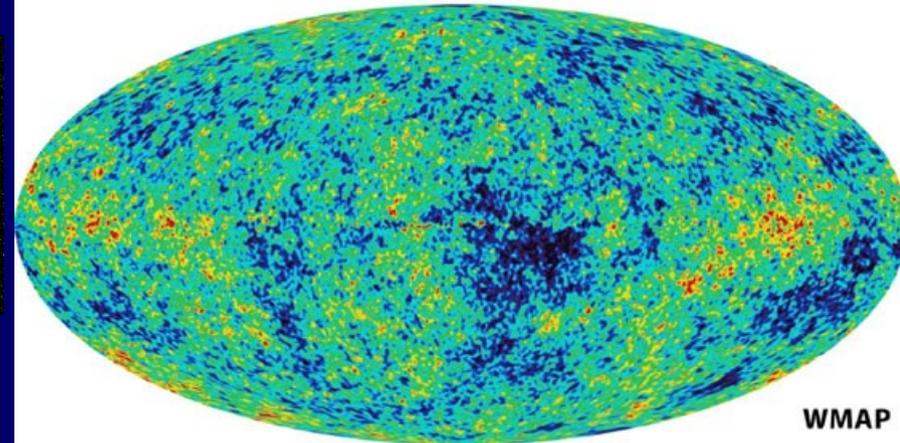
COBE



2003-2010: informazioni su Materia Oscura ed Energia Oscura



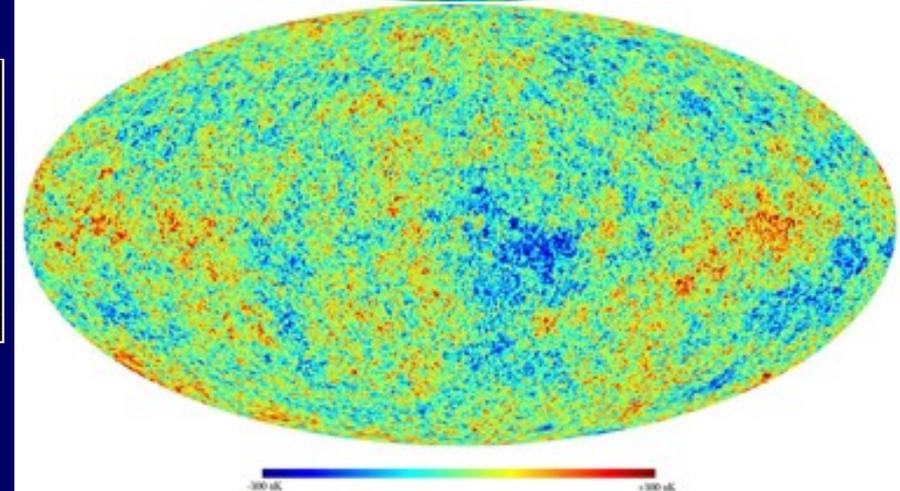
WMAP



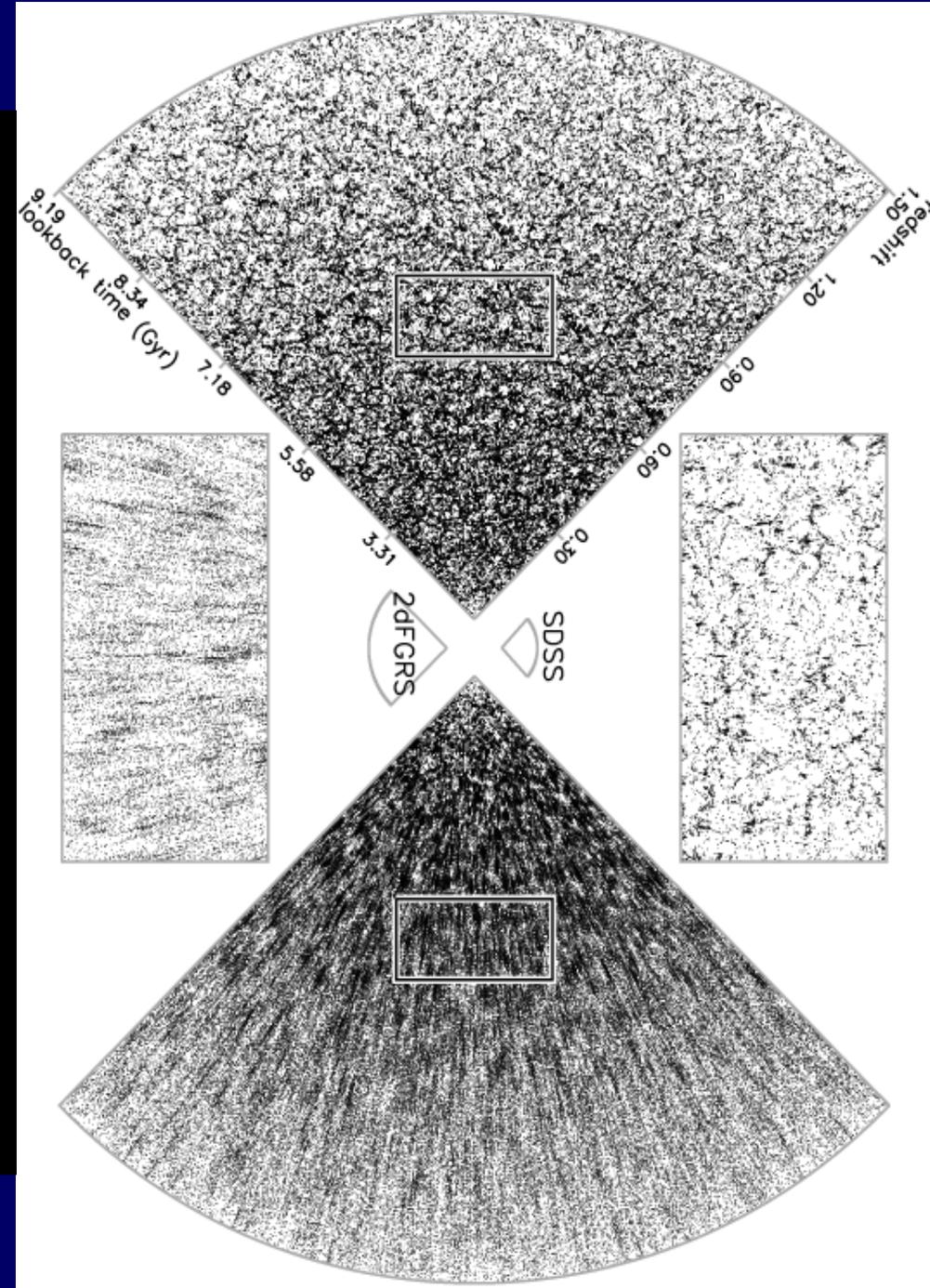
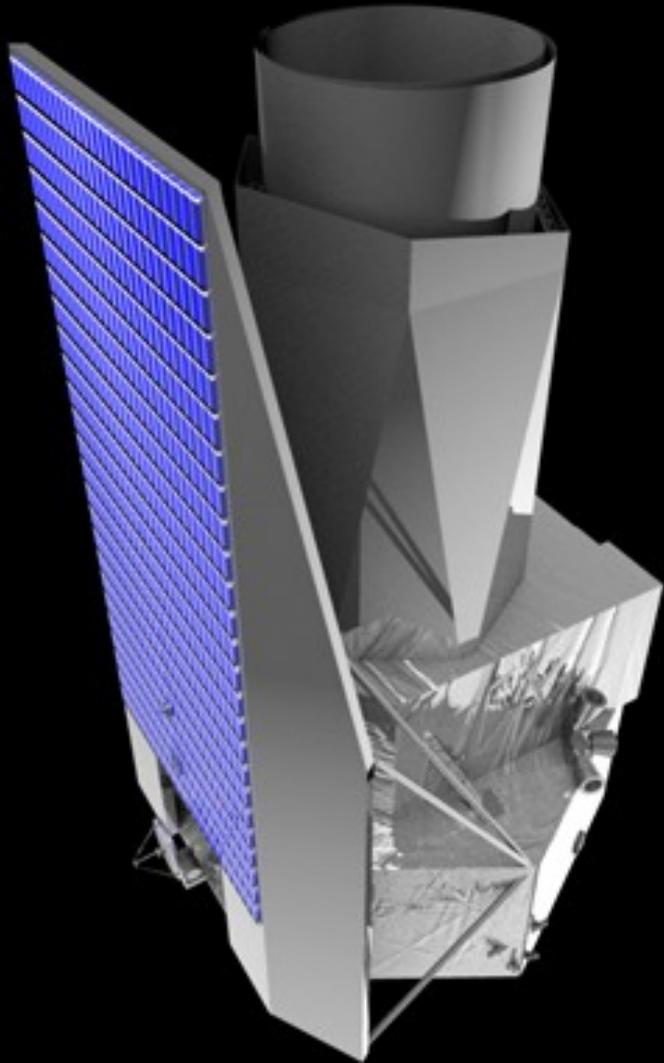
2003-2010: verifiche sulla nascita delle fluttuazioni primordiali (inflazione)



Planck



EUCLID: un telescopio spaziale Europeo



Wide Field X-ray Telescope - WFXT

R. Giacconi (Premio Nobel 2002):

“La mia migliore idea su un telescopio da costruire.”

