

L'alba cosmica

Andrea Ferrara

Scuola Normale Superiore
Pisa, Italia

andrea.ferrara@sns.it



Cosa è la Cosmologia?

La cosmologia è la scienza che studia l'origine e l'evoluzione dell'Universo

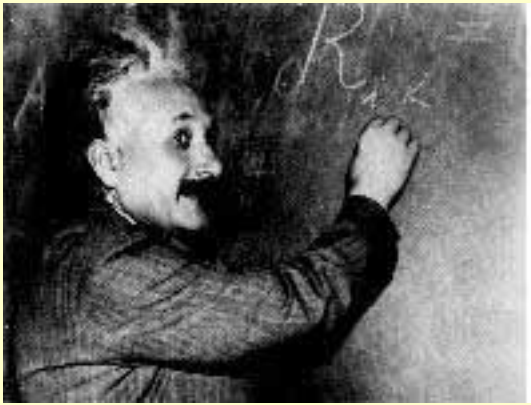
I limiti dell'Astronomia e della Cosmologia:

- esperimenti → osservazioni di stelle/galassie
- velocità della luce → osservare "lontano" è osservare indietro nel tempo
- orizzonte cosmologico → solo una porzione di Universo è osservabile

Un modello cosmologico DEVE assumere che:

- ▶ le leggi della fisica e le costanti fisiche fondamentali siano le stesse in ogni tempo e luogo

Il Modello Standard o del Big Bang



La teoria della Relatività Generale

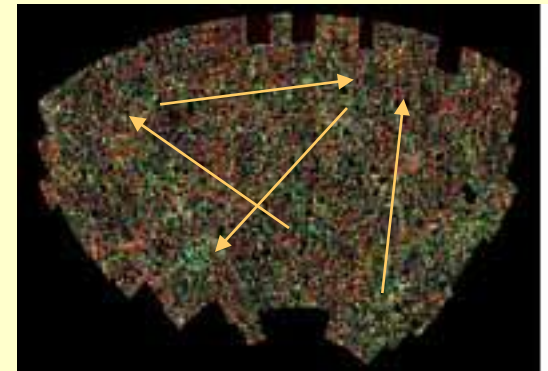
La gravità è una distorsione dello spazio-tempo

"La materia dice allo spazio come deformarsi e lo spazio dice alla materia come muoversi" - J. Wheeler

Il Principio Cosmologico

La materia nell'Universo è distribuita su larga scala in maniera omogenea e isotropa

Conferme osservative, ad es. dalla distribuzione di un grande numero di galassie



APM galaxy survey

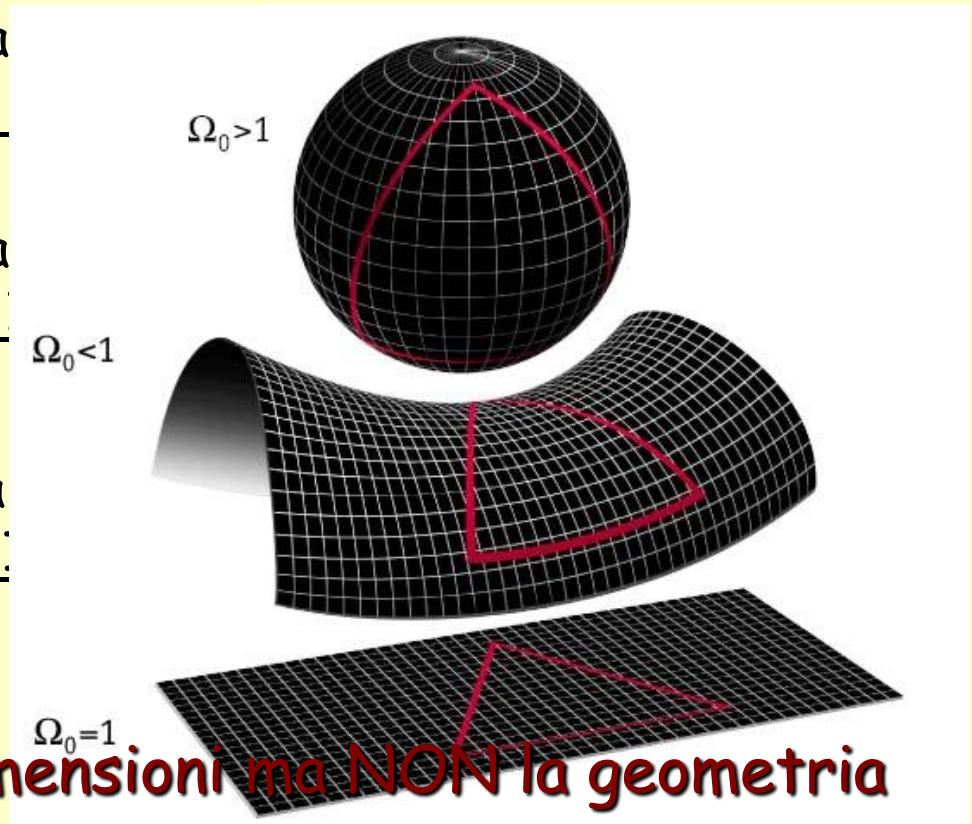
Proprietà del modello del Big Bang

La struttura dello spazio-tempo può avere tre geometrie possibili:

Universo Chiuso → curvatura
Volume

Universo Aperto → curvatura
Volume

Universo Piatto → curvatura
Volume



L'universo può cambiare dimensioni ma **NON** la geometria

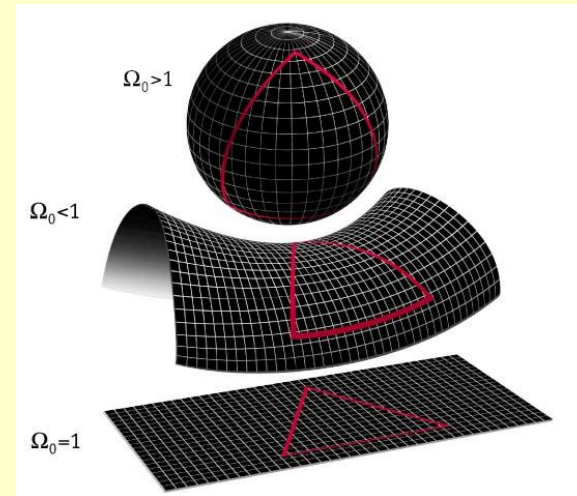
L'Universo è piatto, aperto o chiuso?

La densità media di materia nell'Universo determina la geometria

Densità > Densità critica → Chiuso

Densità < Densità critica → Aperto

Densità = Densità critica → Piatto



Densità Critica ≈ 6 atomi di idrogeno per m^3

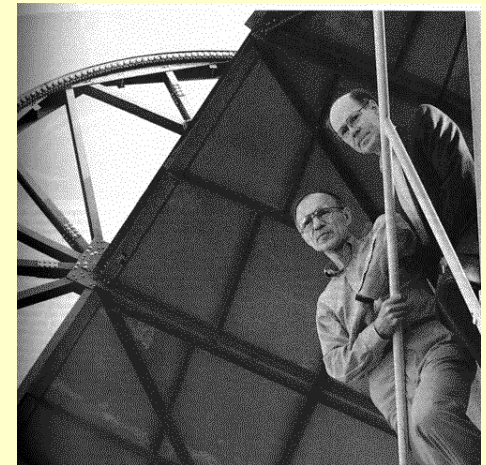
Le fondamenta del modello del Big Bang

- La scoperta dell'espansione - E. Hubble (1929)



- Le abbondanze degli elementi leggeri: H, He, Li - G. Gamow (1948)

- La scoperta della radiazione di fondo cosmico - Penzias & Wilson (1965)



La scoperta dell'espansione

Nel 1917 si pensava che l'Universo fosse statico e consistesse nella nostra Galassia e lo spazio vuoto che la circondava

Negli anni '20 acceso dibattito sull'origine delle nebulose, come Andromeda:
Nubi di gas interstellare della Via Lattea o
Galassie esterne?

M31 -Andromeda



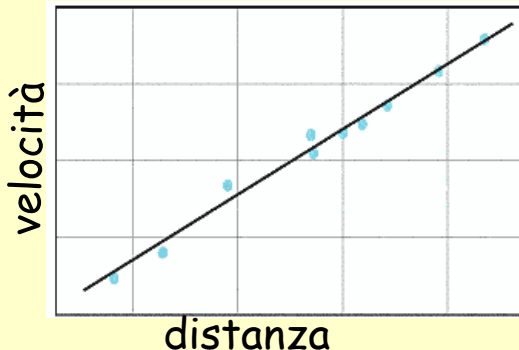
La Via Lattea

E. Hubble usando un nuovo telescopio da 2.5 m sul Monte Wilson riuscì a:

- ◆ determinare la distanza di alcune nebulose dimostrando che erano galassie esterne
- ◆ calcolare le loro velocità di recessione

$$v = H_0 d$$

**Le galassie si allontanano con una velocità
proporzionale alla loro distanza**



La legge di Hubble

Le galassie si allontanano con una velocità proporzionale alla loro distanza

$$v = H_0 d$$

ATTENZIONE

- Espansione generale dello spazio-tempo:

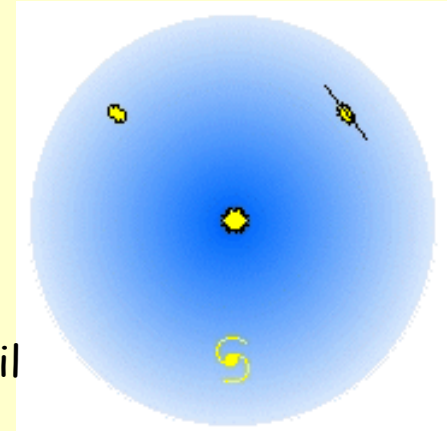
Le galassie non si allontanano con velocità nello spazio ma è lo spazio stesso che si espande, trascinando con sé le galassie

Le dimensioni fisiche delle galassie non cambiano → la gravità le "isola" dall'espansione

- Espansione priva di un centro:

Un osservatore da una qualsiasi galassia vede la stessa espansione → l'unica legge di espansione compatibile con il Principio Cosmologico

- Una teoria cosmologica non può/deve rispondere a domande come:
In che cosa si espande l'Universo?



Le abbondanze degli elementi

Negli anni 1950-60 si pensava che tutti gli elementi chimici fossero prodotti all'interno delle stelle attraverso processi nucleari

Nucleosintesi Stellare

$H \rightarrow He \rightarrow C \rightarrow N \rightarrow O \rightarrow Mg \rightarrow \dots \rightarrow Fe$

La massa della stella determina:

- il punto in cui si interrompe la catena
- il tempo necessario (decine di milioni di anni)



SN 1987A vista dal telescopio Hubble

PROBLEMA:

In tutte le regioni del cosmo dove è possibile misurare le abbondanze degli elementi chimici si osserva che:

- 75% della massa è in H
- 23-25% della massa è in He
- meno del 2% in altri elementi

Il rapporto 3:1 tra H ed He è UNIVERSALE



La nucleosintesi primordiale

Gamow, Alpher & Herman 1948-50

Origine differenziata per gli elementi:

- **Elementi "leggeri" H, He, Li**
vengono prodotti nell'Universo primordiale
molto prima della comparsa delle stelle
- **Elementi "pesanti" C, N, O, ... Fe "metalli"**
vengono prodotti attraverso la nucleosintesi stellare



L'Universo deve nascere in uno stato di altissima densità e temperatura

BIG BANG

Quando si "formano" i nuclei degli atomi leggeri ?

La radiazione di fondo cosmico

Viene scoperta 20 anni dopo da Penzias & Wilson (1965)

La temperatura della radiazione misurata era di

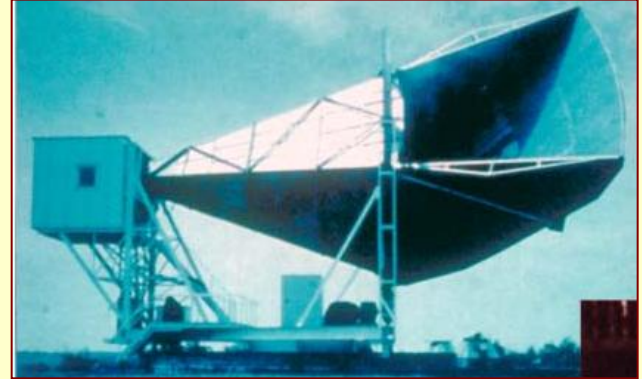
3 K $\rightarrow$ -270°C

appare nella banda delle micro-onde

Riempie UNIFORMEMENTE il cielo!

Mappa del cielo

**Temperatura 3K
in tutte le direzioni**



Antenna Radio utilizzata da Penzias & Wilson

*nessuna sorgente astrofisica
sarebbe in grado di produrre
una radiazione così uniforme!*

Radiazione Fossile del Big Bang

L'immagine più antica dell'Universo

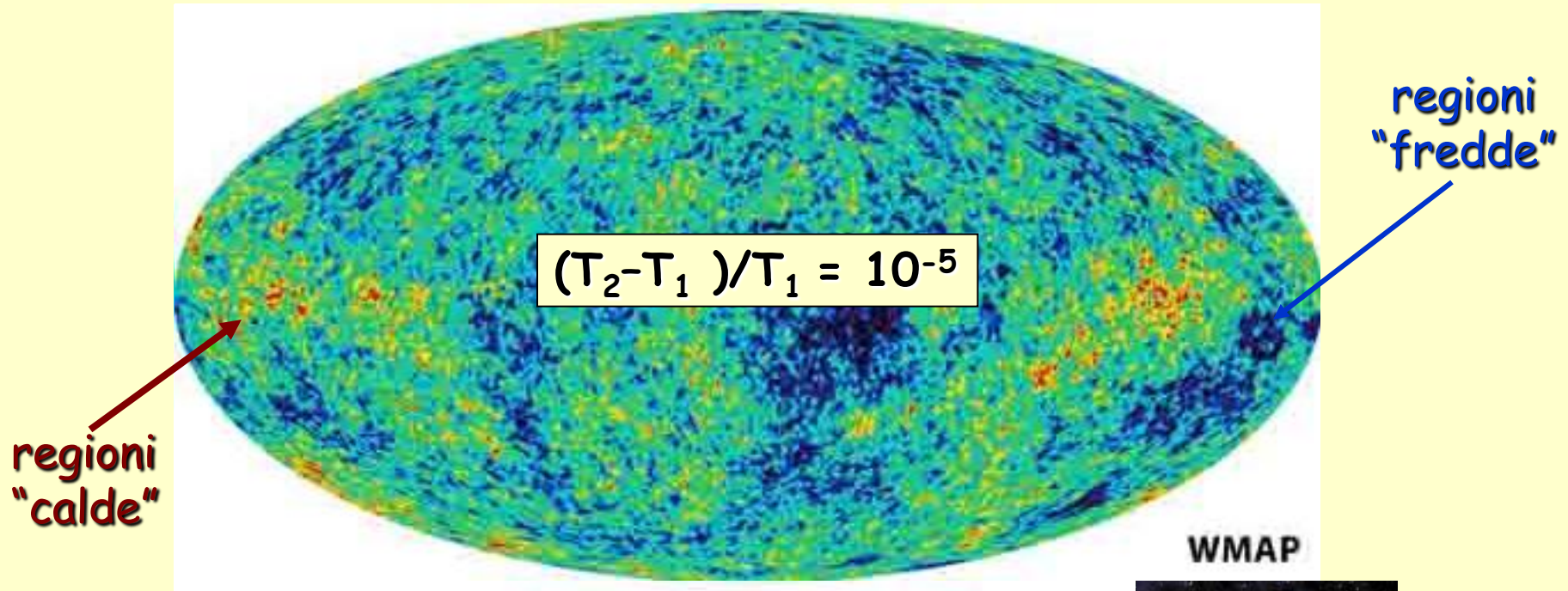
380'000 anni dopo il Big Bang la radiazione si "libera" dalla materia ed inizia a propagarsi



La radiazione fossile mantiene "memoria" dello stato dell'Universo quando aveva lo 0.003% della sua età attuale

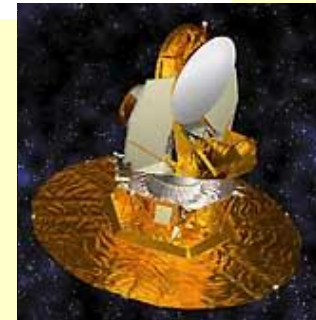


Fluttuazioni nella radiazione fossile: gli embrioni delle galassie



Le fluttuazioni di temperatura sono la traccia di
fluttuazioni di densità della materia

gli embrioni delle galassie che cresceranno
attraverso l'amplificazione gravitazionale

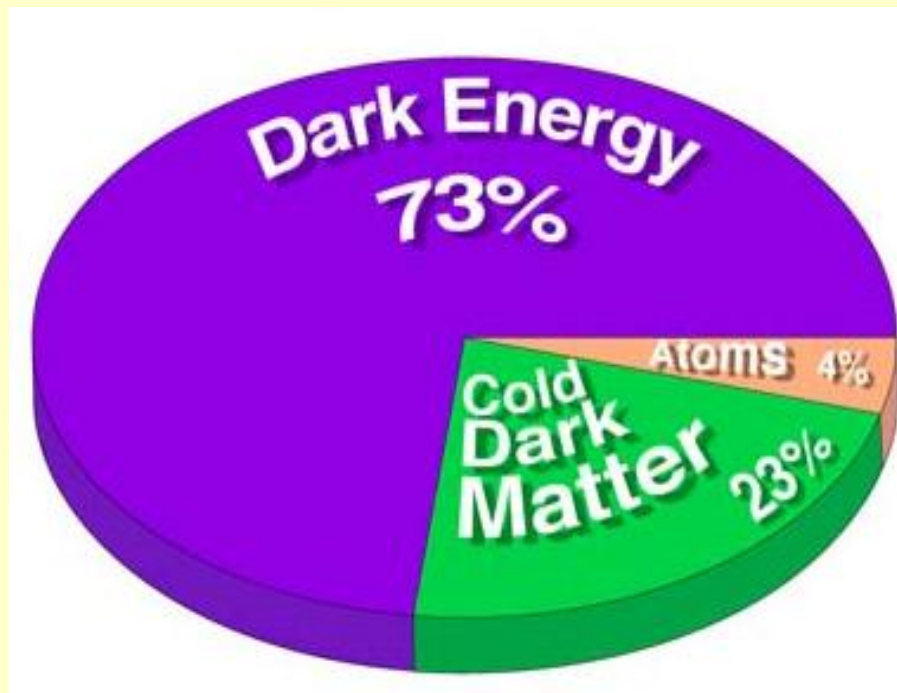


Composizione dell'Universo

Parametro di densità: Ω = densità/densità critica ← 6 atomi di H/m³

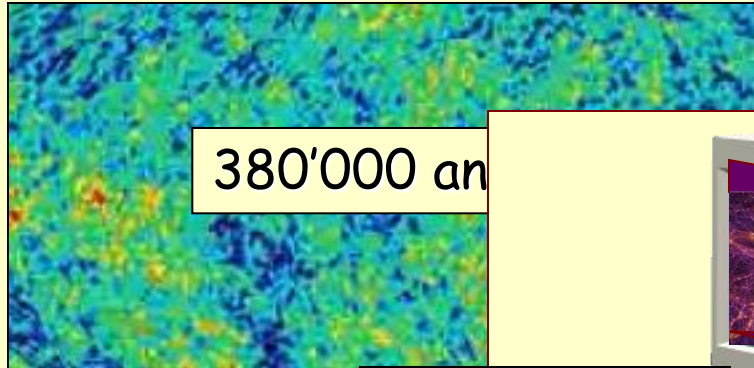
$$\Omega = 1$$

MODELLO DI CONCORDANZA



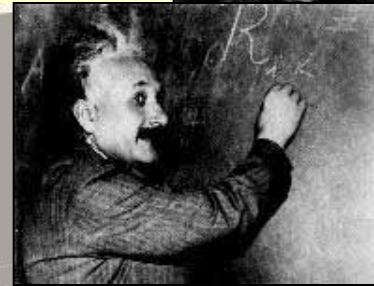
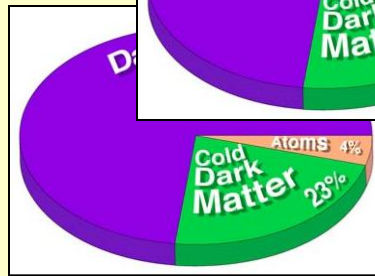
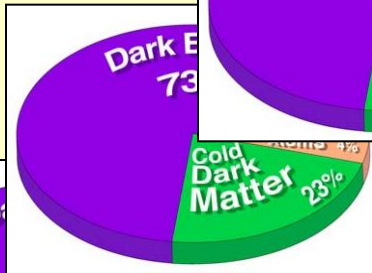
Dal Big Bang all'Universo presente

... ovvero dalla semplicità



380'000 an

WMAP: radia



tà

600-700 milioni di anni



HST: Ultra Deep Field

Cannibalismo galattico

Le prime galassie sono molto piccole, un milione di volte più piccole della Via Lattea. Galassie più grandi si formano attraverso processi di cannibalismo galattico: le galassie si "mangiano" e crescono in massa

