

APPUNTI
DI
COSMOLOGIA



by Andrea Grieco





CITTA' DI STELLE

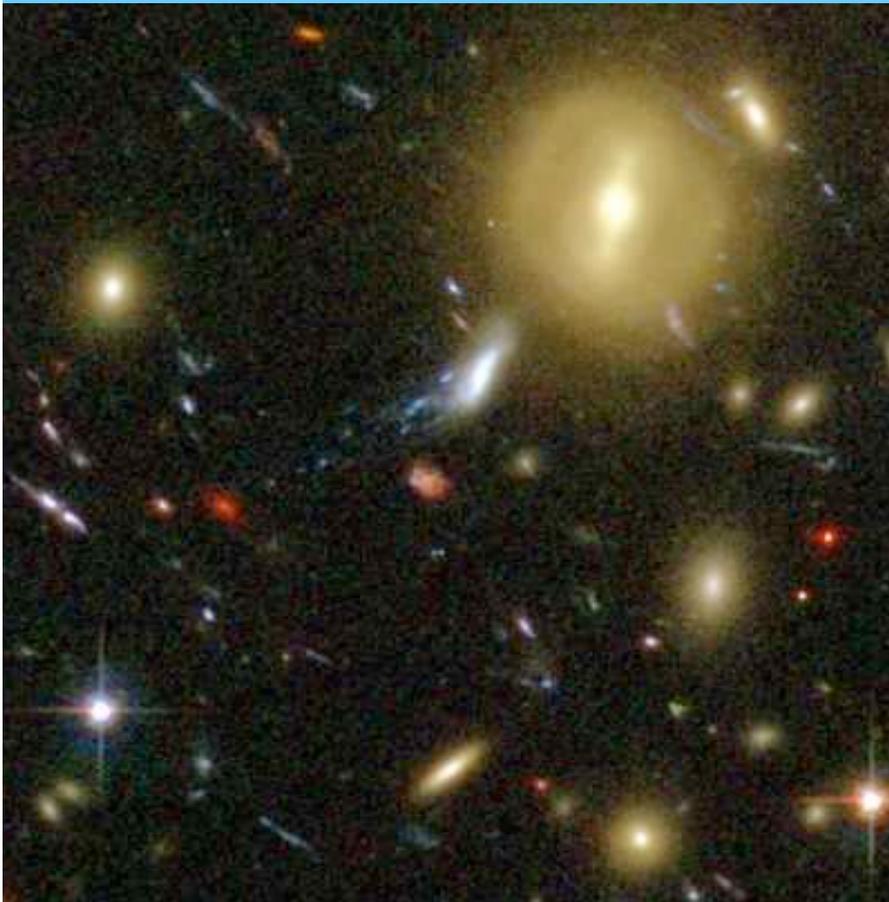


LA GALASSIA DI ANDROMEDA, SIMILE ALLA NOSTRA



CITTA' DI STELLE

LE GALASSIE SI RAGGRUPPANO IN AMMASSI E
SUPERAMMASSI

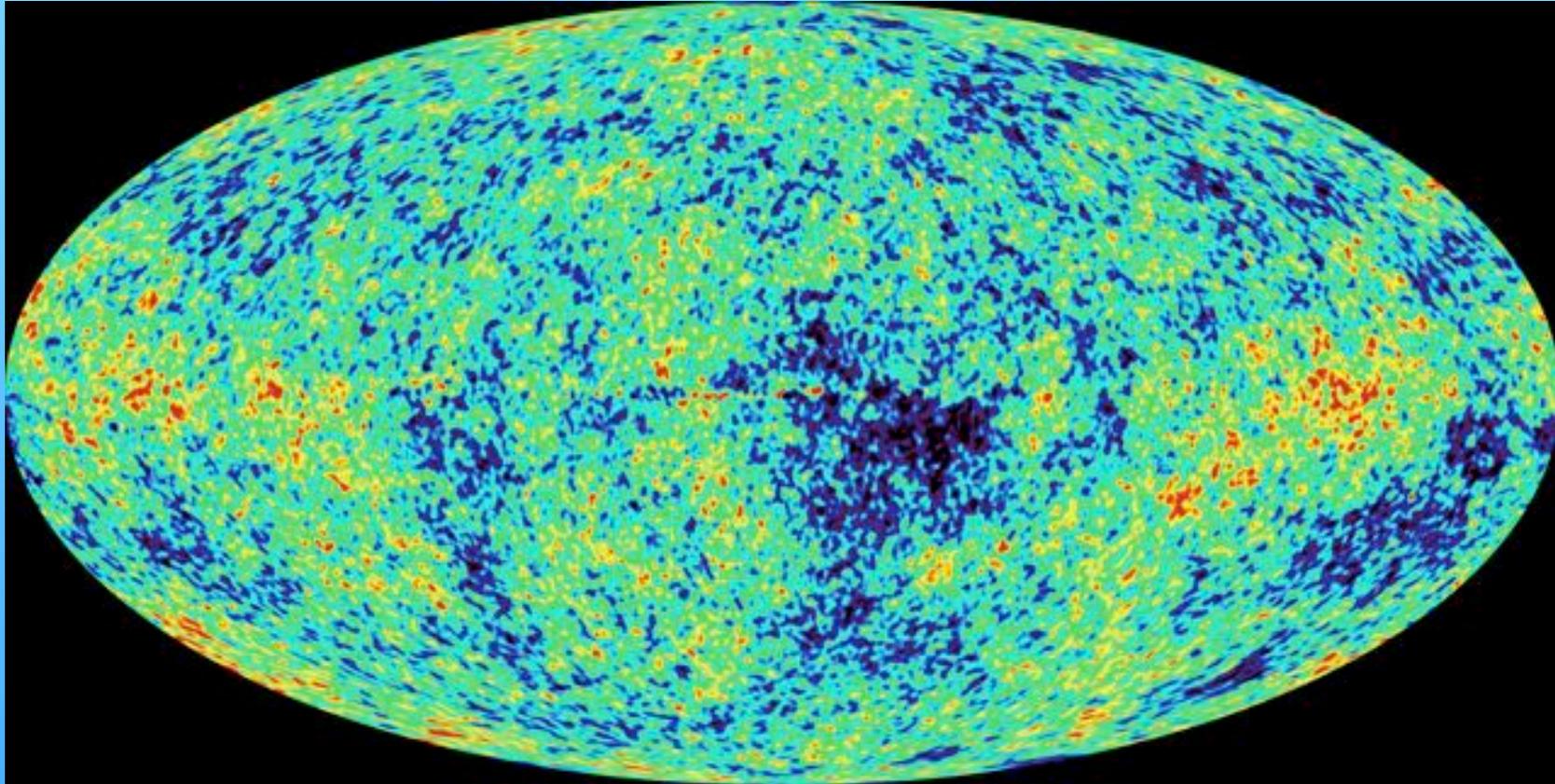




GEB (LA TERRA) NUT (IL CIELO) SEPARATI DA MA'AT E SHU



... MODERNE IMMAGINI

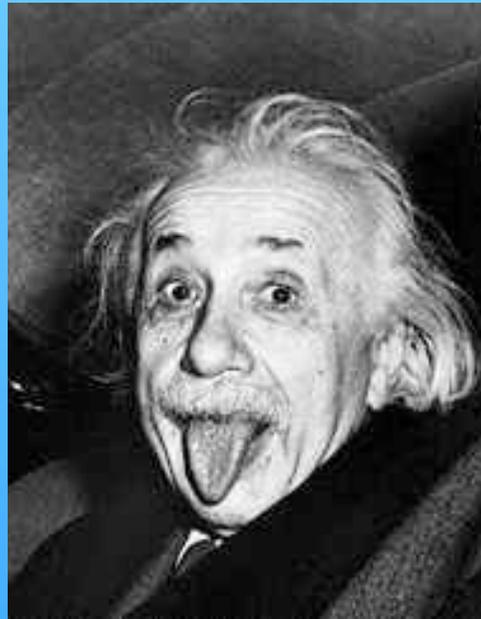


**IMMAGINE DEL CIELO RIPRESA DAL SATELLITE WMAP
NELLA REGIONE DELLE MICROONDE**



LA COSMOLOGIA MODERNA

1916 LA RELATIVITA' GENERALE PONE LE BASI
TEORICHE DELLA COSMOLOGIA MODERNA



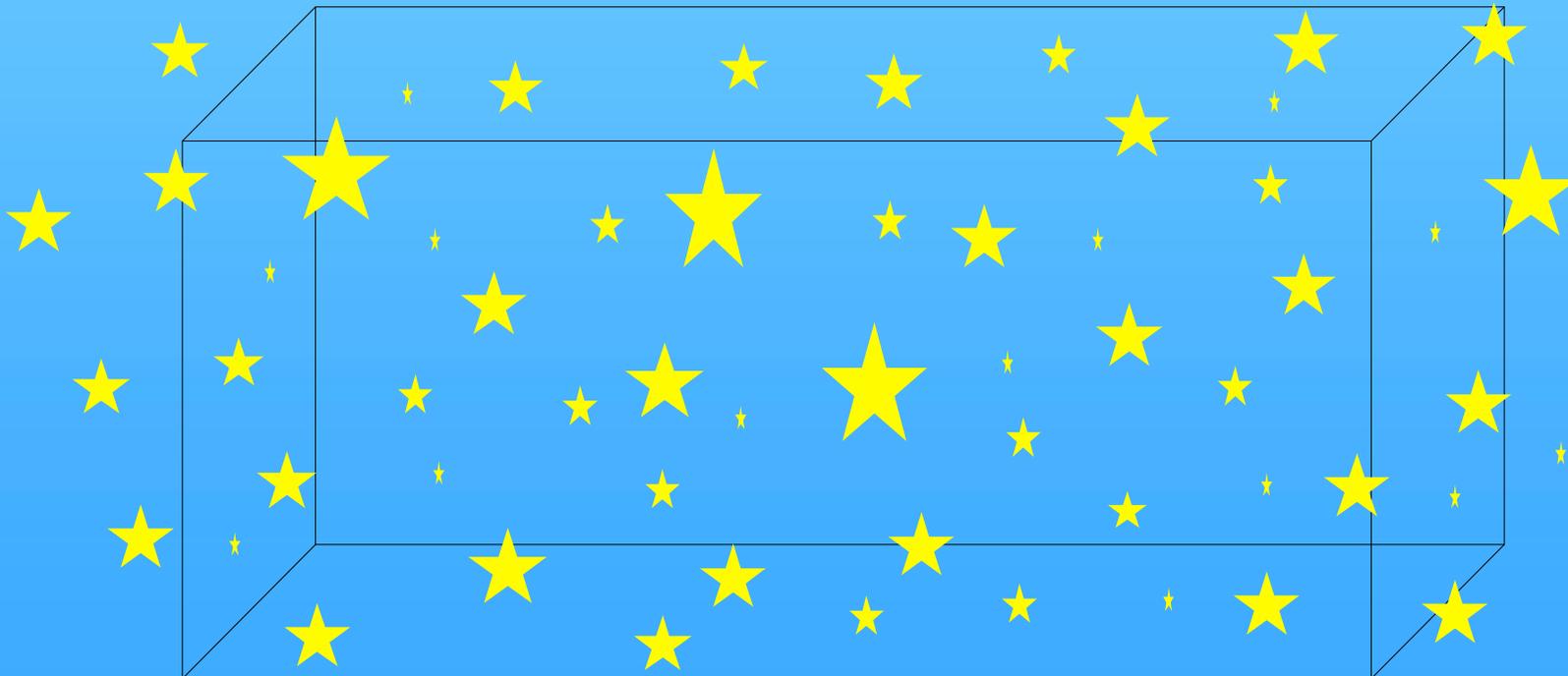
ALBERT EINSTEIN



LA COSMOLOGIA NEWTONIANA

TEORIE NEWTONIANA

- SPAZIO EUCLIDEO INFINITO
- TEMPO ASSOLUTO ETERNO
- DISTRIBUZIONE OMOGENEA E ISOTROPA DI STELLE





LA NOTTE DI LUCE

PARADOSSO DI OLBERS: UN UNIVERSO INFINITO NELLO SPZIO E NEL TEMPO CON DISTRIBUZIONE UNIFORME DI STELLE IMPLICA UNA LUMINOSITA' DEL CIELO COME LA SUPERFICIE DEL SOLE

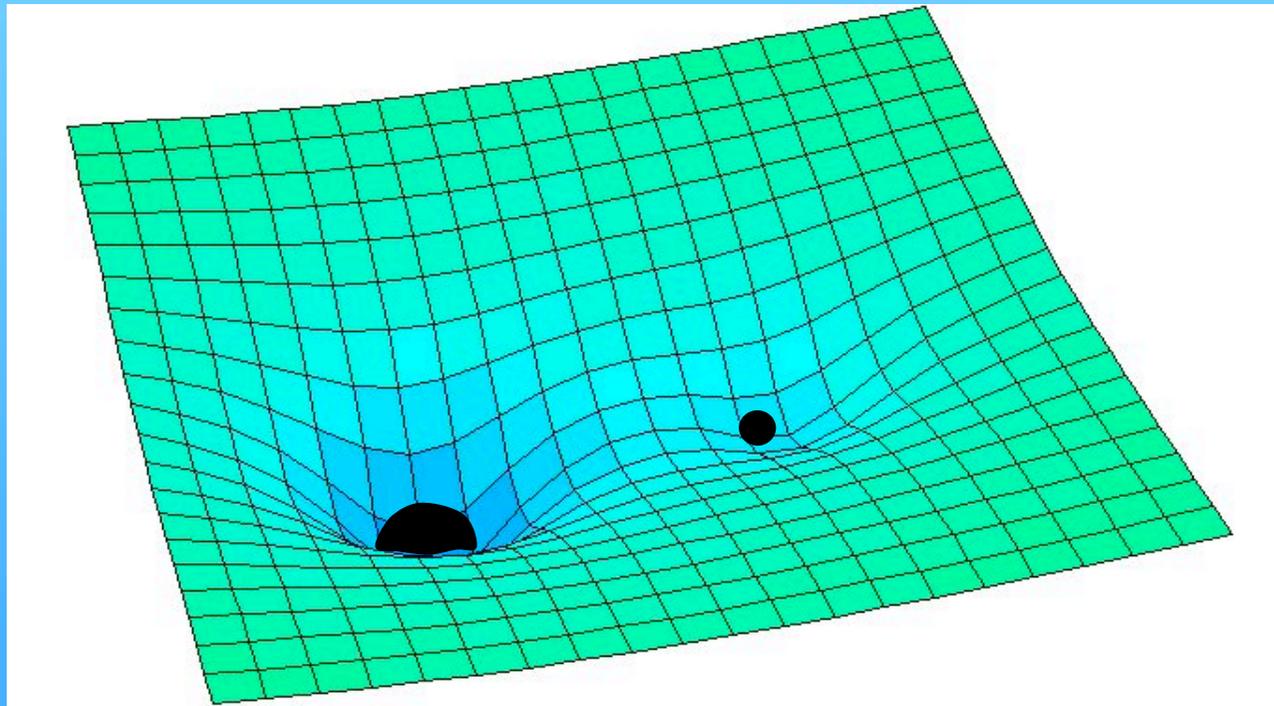


1848 E. A. POE "EUREKA" UNIVERSO IN EVOLUZIONE



LE EQUAZIONI DI CAMPO

LE EQUAZIONI DI CAMPO COLLEGANO LA PRESENZA DI MATERIA-ENERGIA ALLA CURVATURA DELLO SPAZIO-TEMPO



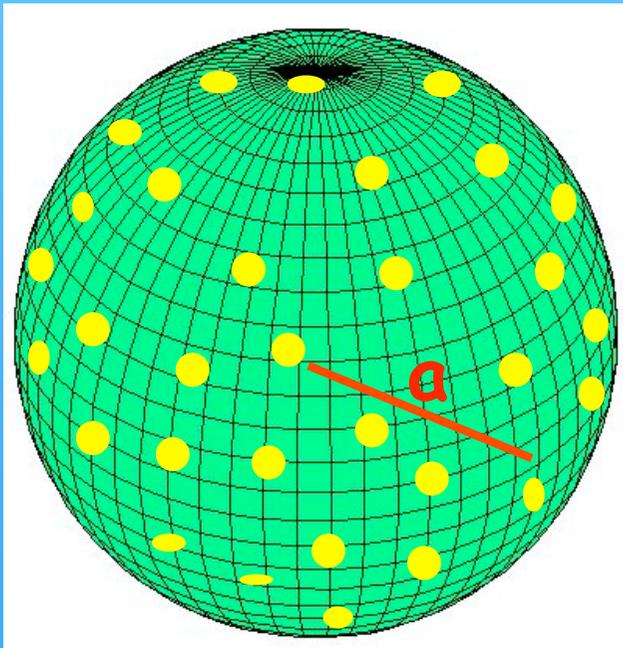
$$R_{ab} - \frac{1}{2}R g_{ab} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ab}.$$



"IL PIU' GRANDE ERRORE DELLA MIA VITA"

1917 A. EINSTEIN: MODELLO STATICO, CURVATURA COSTANTE POSITIVA, ILLIMITATO DENSITA' MATERIA-ENERGIA UNIFORME

EINSTEIN INTRODUCE LA **COSTANTE COSMOLOGICA Λ** PER OTTENERE SOLUZIONI STATICHE



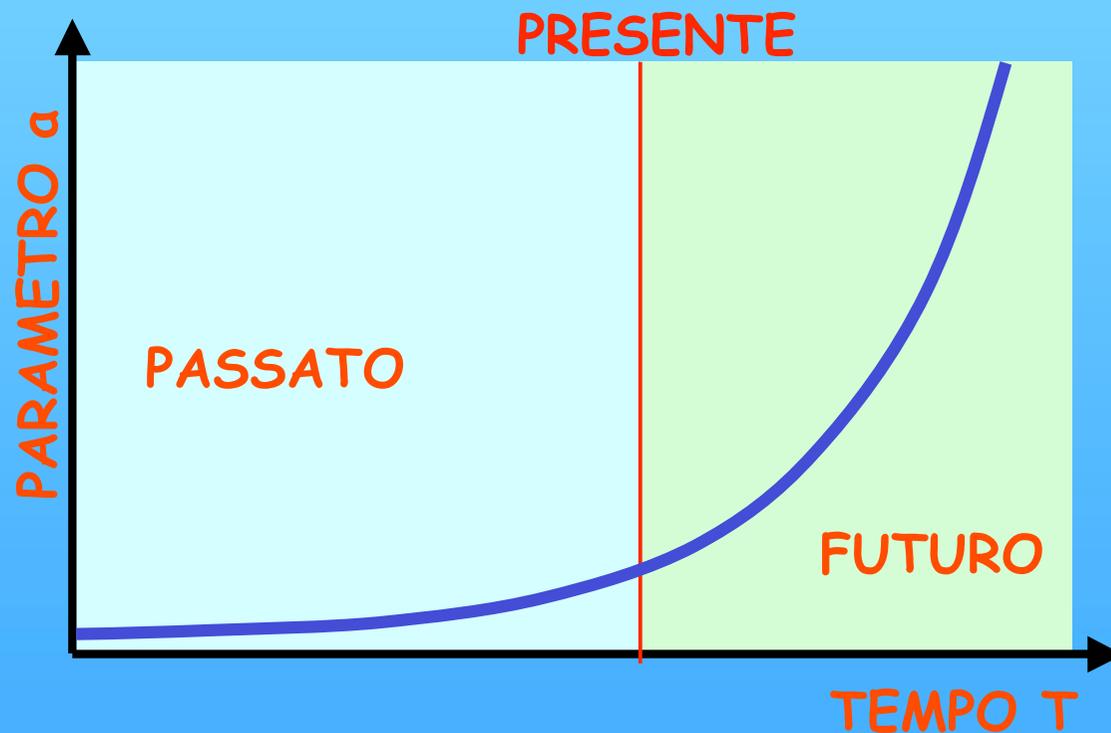
Λ AGISCE COME TERMINE REPULSIVO PER BILANCIARE LA GRAVITA'

$$R_{ab} - \frac{1}{2}Rg_{ab} + \Lambda g_{ab} = 8\pi T_{ab}$$



ESPANSIONE ESPONENZIALE

1917 W. DE SITTER



$$\rho = 0$$

$$\Lambda \neq 0$$

$$a(t) = e^{Ht}$$

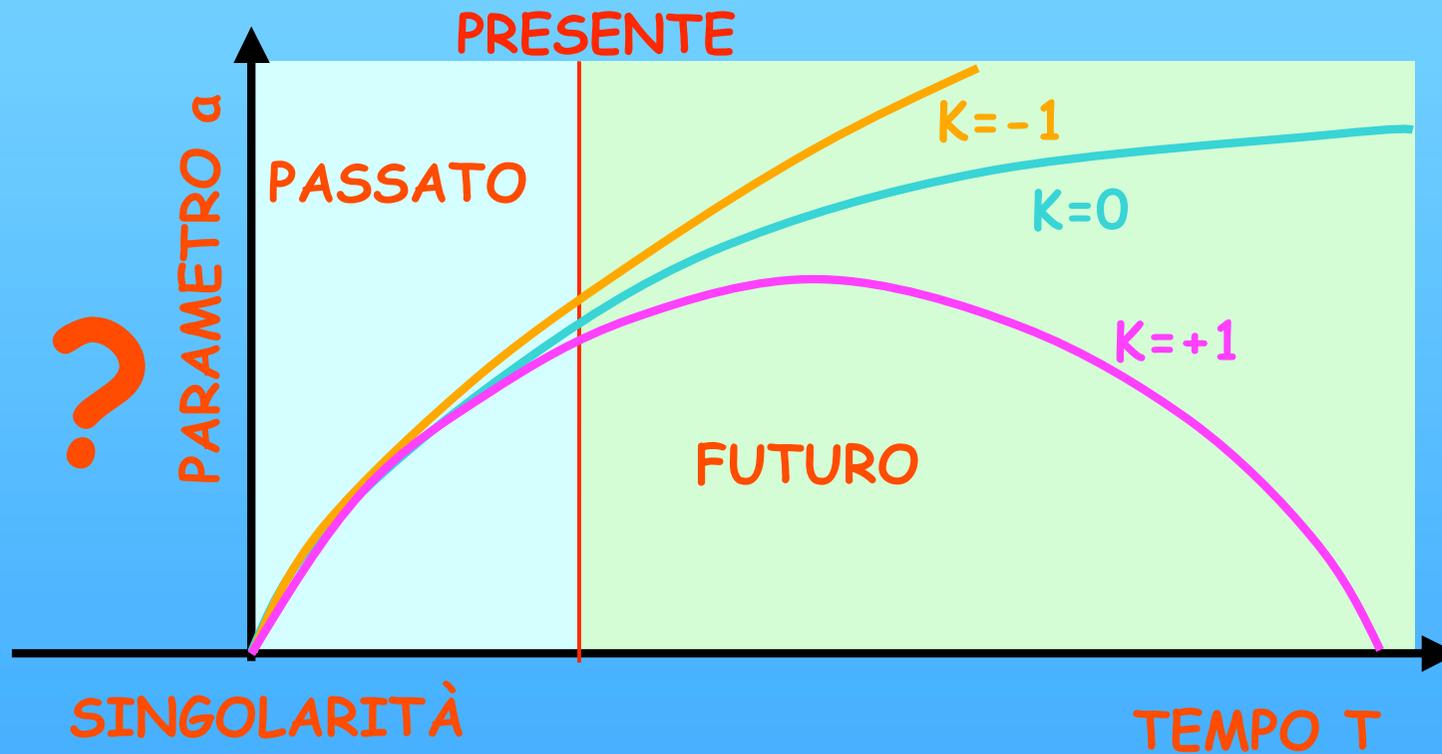
$$H = \sqrt{\frac{\Lambda}{3}}$$

L'UNIVERSO NON CONTIENE MATERIA E SI ESPANDE
IN MODO ESPONENZIALE



TRE POSSIBILITA'

1922 A. FRIEDMAN



$E_c > U$ ESPANSIONE PER SEMPRE

$E_c < U$ ESPANSIONE SEGUITA DA CONTRAZIONE

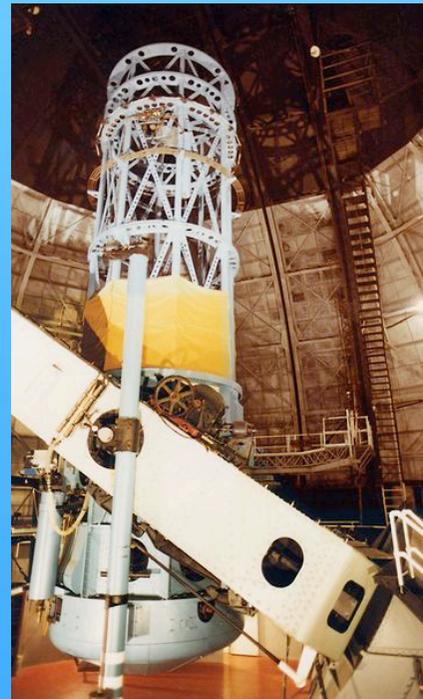


I CONFINI SI ALLARGANO

1924 E. HUBBLE: LE NEBULOSE SONO OGGETTI ESTERNI ALLA
NOSTRA GALASSIA



E. HUBBLE



TELESCOPIO HOOKER
100" MT. WILSON



GALASSIA DI
ANDROMEDA

D = 2,2 Mly



UN MARE DI GALASSIE

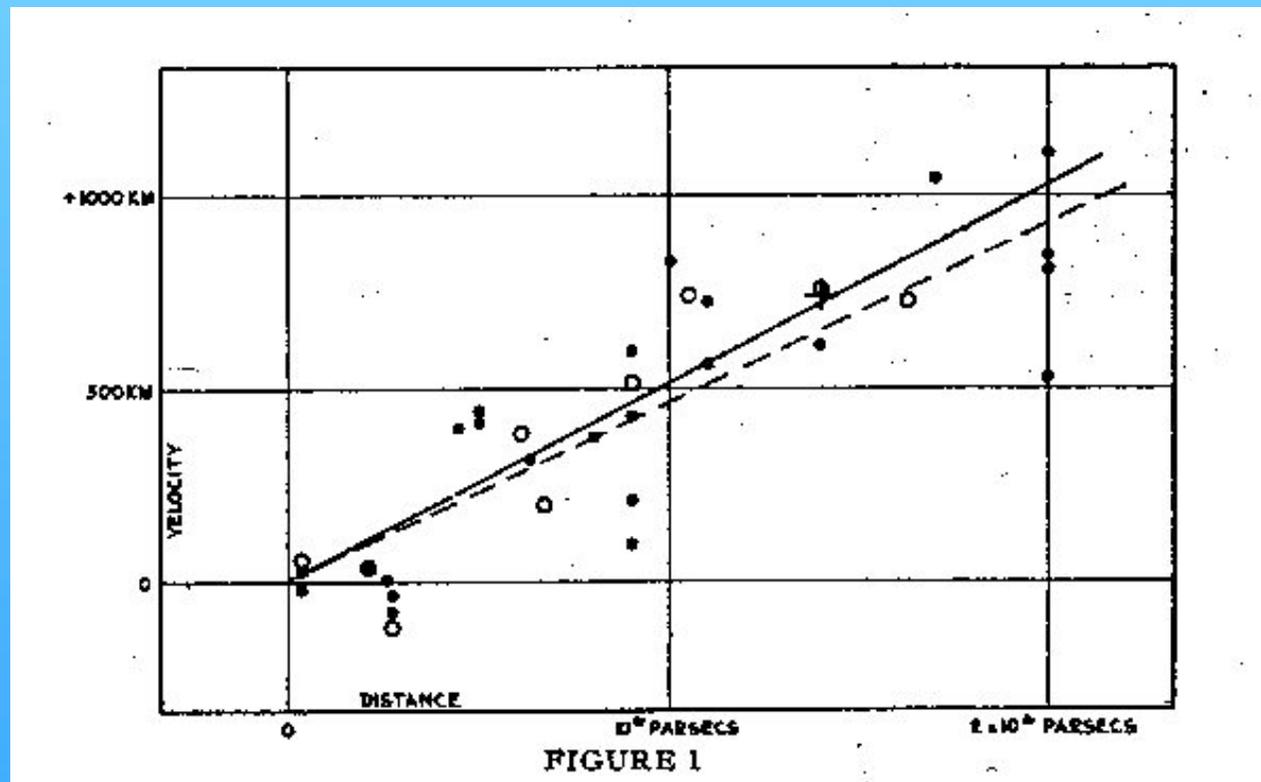


The Hubble Deep Field North  HUBBLESITE.org



GALASSIE IN FUGA

1929 E. HUBBLE "A RELATION BETWEEN DISTANCE AND RADIAL VELOCITY AMONG EXTRA-GALACTIC NEBULAE" Proc. Nat. Ac. Sci.



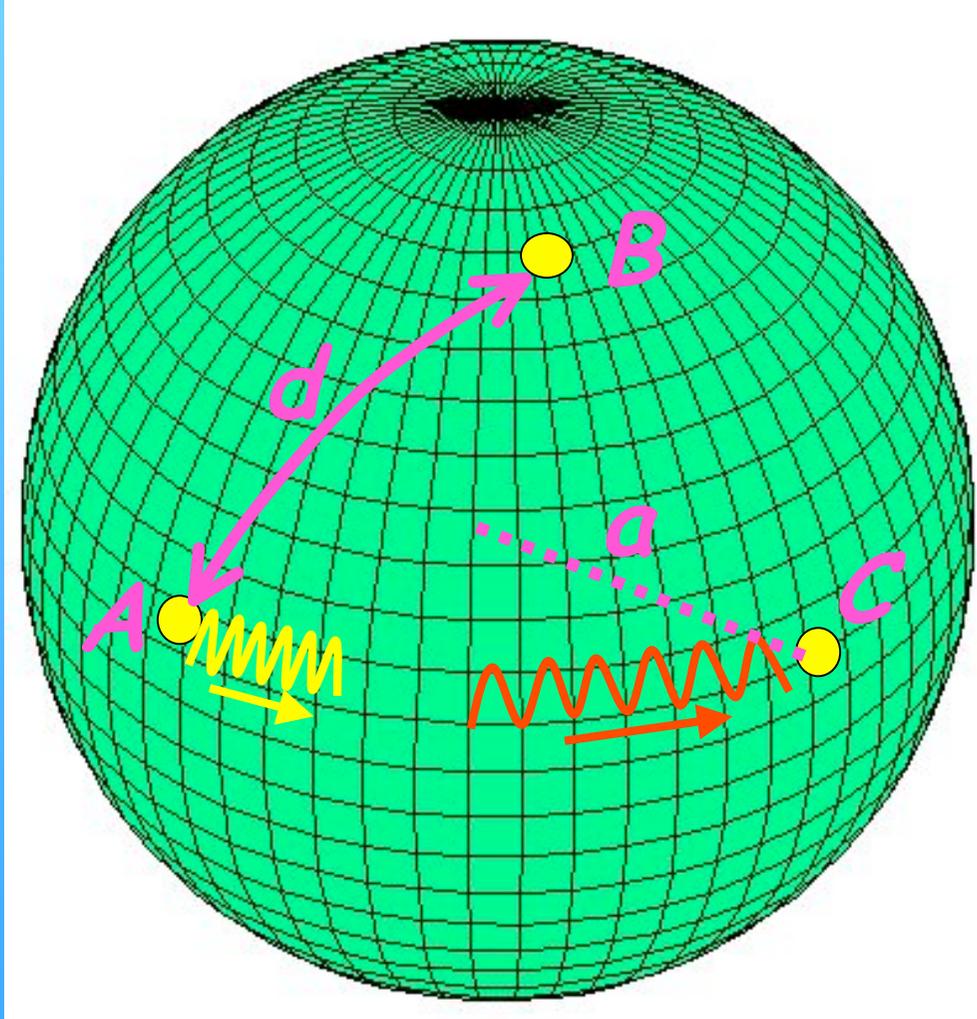
LE GALASSIE SI ALLONTANANO CON VELOCITA' PROPORZIONALE ALLA DISTANZA

$$V = H_0 d$$

$$H_0 = 500 \text{ Km/s Mpc}$$

GRAFICO DI HUBBLE PER 22 NEBULOSE

IL REDSHIFT COSMOLOGICO



LO SPOSTAMENTO
VERSO IL ROSSO
(REDSHIFT) DEGLI
SPETTRI DELLE
GALASSIE E'
INTERPRETATO COME
CONSEGUENZA
DELL'ESPANSIONE
DELL'UNIVERSO

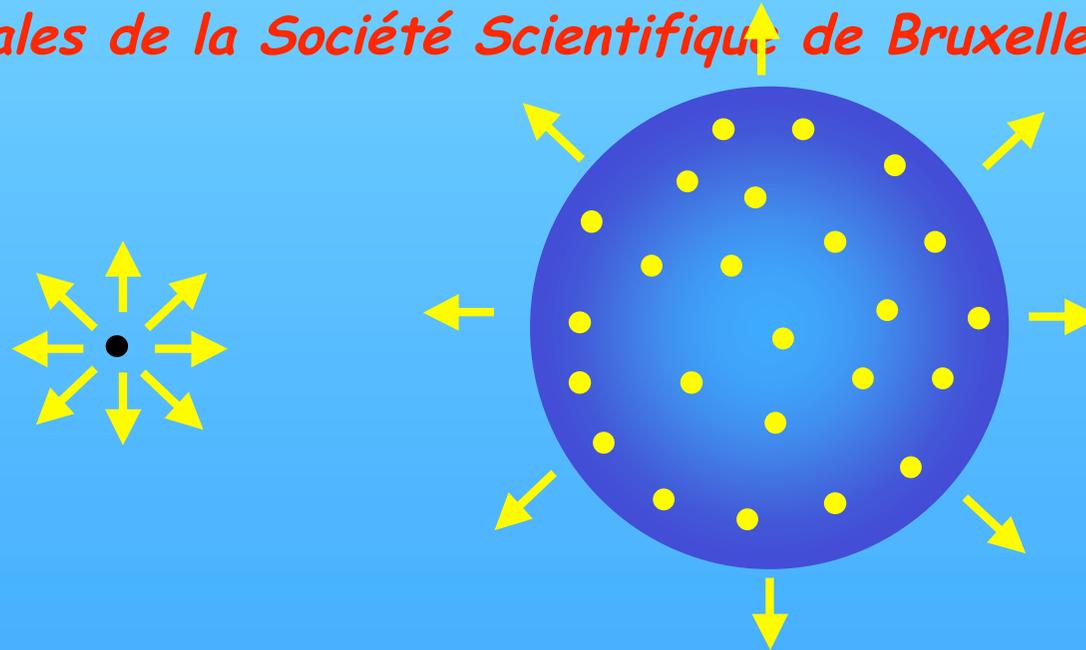
$$V = H_0 d$$

$$z = \Delta v / v = \Delta a / a$$



L'UOVO COSMICO

1932 G. H. LEMAÎTRE "UN UNIVERS HOMOGENÈ DE MASSE
CONSTANTE ET DE RAYON CROISSANT RENDANT COMPTE DE LA
VITESSE RADIALE DES NÉBULEUSES EXTRAGALACTIQUES"
Annales de la Société Scientifique de Bruxelles

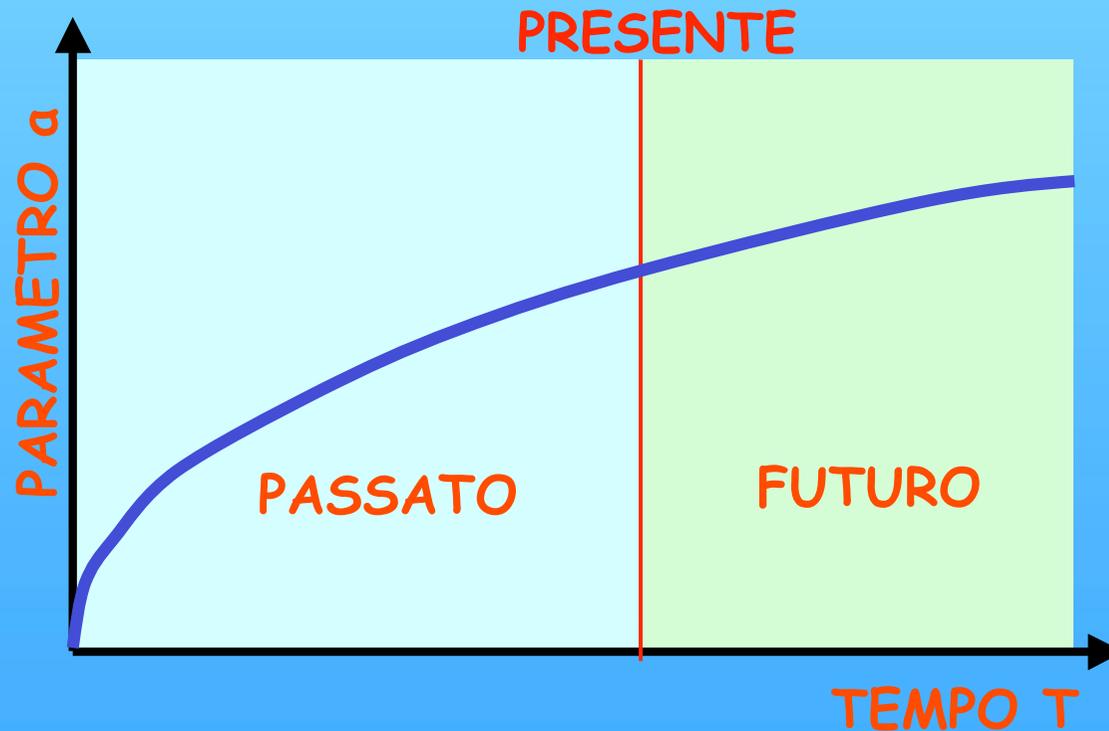


L'UNIVERSO E' VENUTO IN ESSERE DA UN ATOMO PRIMORDIALE
O UOVO COSMICO, ESPLOSO AL MOMENTO DELLA CREAZIONE,
NEL 1949 F. HOYLE CONIO' IL TERMINE BIG BANG



CANCELLARE LAMBDA

1932 A. EINSTEIN E W. DE SITTER: MODELLO IN ESPANSIONE
CON CURVATURA NULLA E Λ NULLA



$$a = \text{cost. } t^{2/3}$$

$$da/dt = H_0 a$$

$$H_0 = t^{-1}$$

SINGOLARITA' NEL PASSATO, LA COSTANTE DI HUBBLE
DIMINUISCE NEL TEMPO

1948 R. ALPHER, H. BETHE, G. GAMOW "THE ORIGIN OF CHEMICAL ELEMENTS" Physical Review



GLI ELEMENTI SI FORMANO PER SUCCESSIVE CATTURE NEUTRONICHE A TEMPERATURE DI 10-20 MILIONI DI GRADI

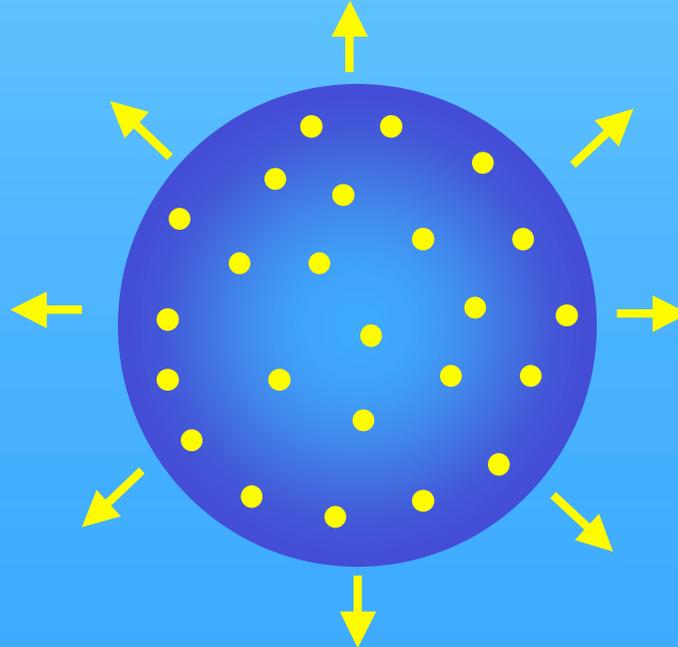
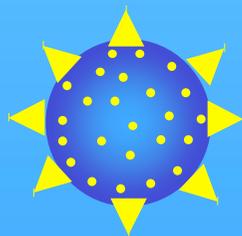
IL PROCESSO RENDE CONTO DELLA PRESENZA DI H E He MA S'INTERROMPE AI NUCLEI DI MASSA 5 E 8 PERCHE' INSTABILI



LA VITTORIA DI COPERNICO

PRINCIPIO COSMOLOGICO: SU LARGA SCALA L'UNIVERSO APPARE OMOGENEO E ISOTROPO (NESSUN OSSERVATORE PRIVILEGIATO)

PRINCIPIO COSMOLOGICO PERFETTO: SU LARGA SCALA L'UNIVERSO APPARE OMOGENEO E ISOTROPO E IDENTICO IN QUALUNQUE EPOCA (NESSUN OSSERVATORE PRIVILEGIATO)

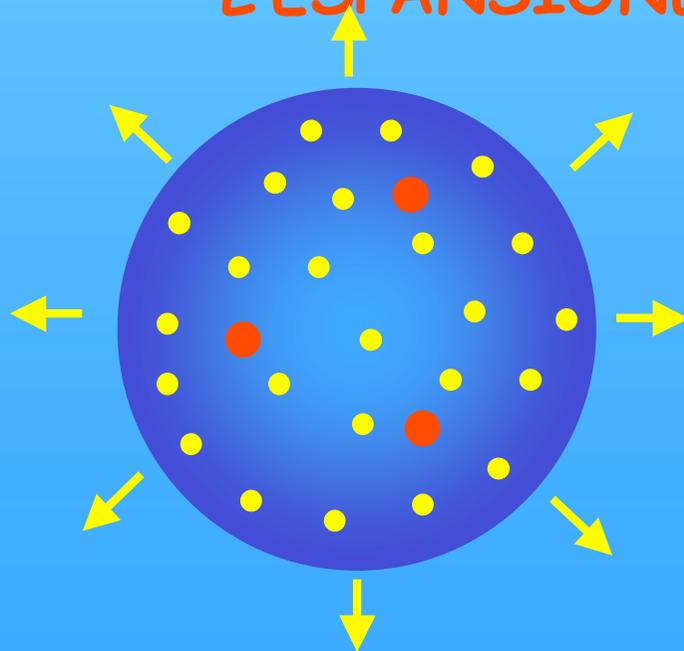




"PANTA REI" ... MA NULLA CAMBIA

1948 F. HOYLE, T. GOLD, H. BONDI: TEORIA DELLO
STATO STAZIONARIO

SI ASSUME IL PRINCIPIO COSMOLOGICO PERFETTO,
CREAZIONE CONTINUA DI MATERIA PER COMPENSARE
L'ESPANSIONE DELL'UNIVERSO

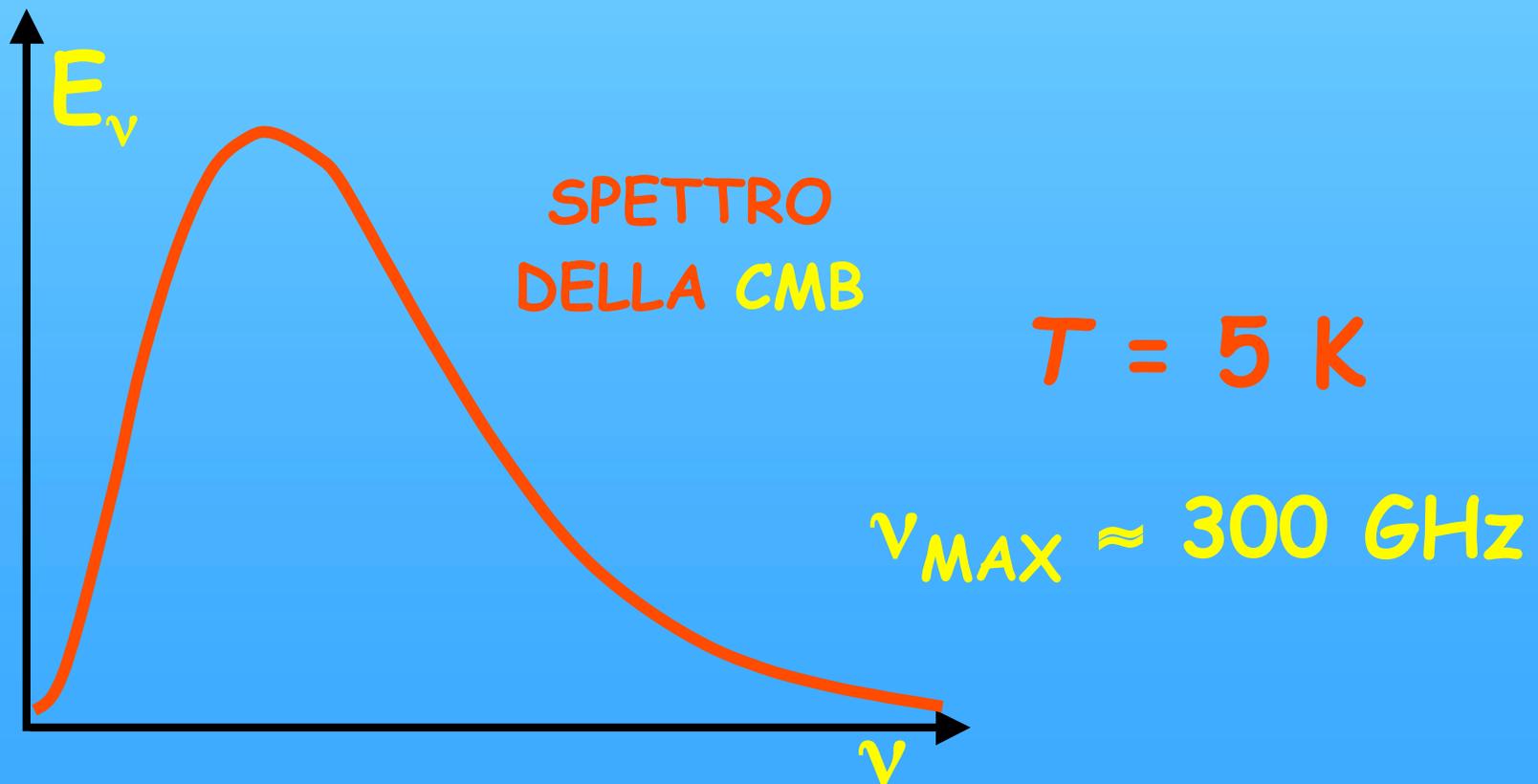


CAMPO C
CREAZIONE DI UN
ATOMO DI H
OGNI 10^{10} m^3 PER
ANNO



LE CENERI DEL BIG BANG

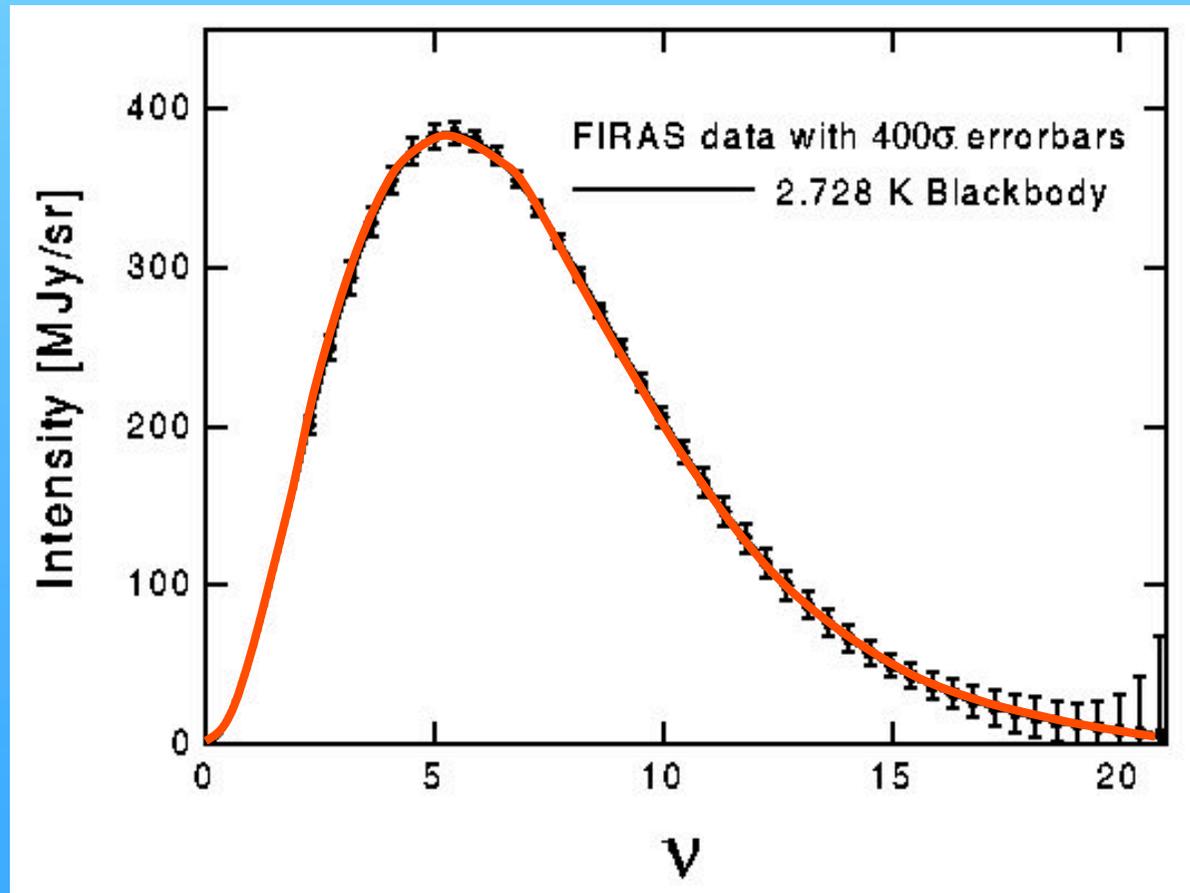
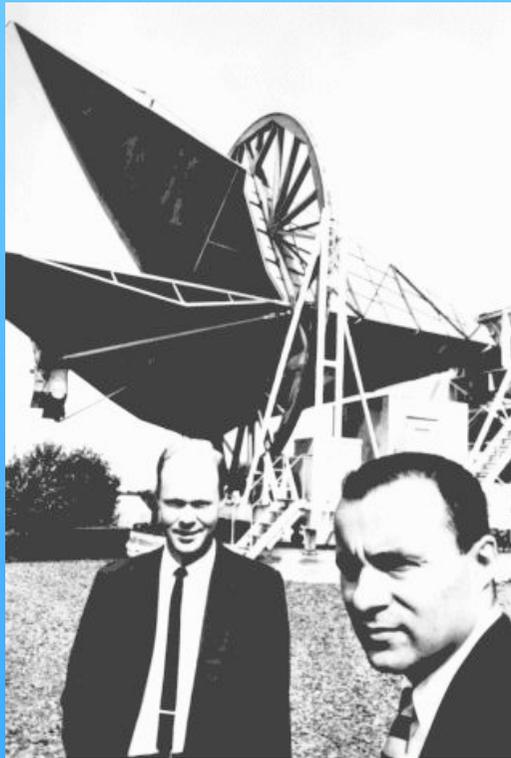
1948 **GAMOW** ESISTENZA DI UNA RADIAZIONE DI FONDO A MICROONDE RESIDUO DEL BIG BANG (COSMIC MICROWAVE BACKGROUND)





L'ANTENNA NON FUNZIONA!

1965 A. PENZIAS R. WILSON SCOPRONO LA COSMIC MICROWAVE BACKGROUND RADIATION





UNA COSTANTE CHE VARIA!

IL VALORE DI H E' CONNESSO ALL'ETA'
DELL'UNIVERSO

ETA' UNIVERSO $\tau \cong 1/H$

PER $H = 500 \text{ Km/sMpc} \rightarrow \tau \cong 2 \times 10^9 \text{ y}$

PER $H = 50 \text{ Km/sMpc} \rightarrow \tau \cong 20 \times 10^9 \text{ y}$

VALORE ATTUALE

$H = 70 \text{ Km/sMpc} \rightarrow \tau \cong 14 \times 10^9 \text{ y}$



SINGOLARITA'

NEGLI ANNI '60 SI SVILUPPA IL MODELLO STANDARD
DEL BIG BANG

SINGOLARITA' INIZIALE

$$t = 0 \text{ s}$$

$$T = \infty \text{ K}$$

$$\rho = \infty \text{ g/cm}^3$$



L'UNIVERSO EMERGE DA UNA
SINGOLARITA', LE ATTUALI LEGGI
FISICHE NON SONO APPLICABILI



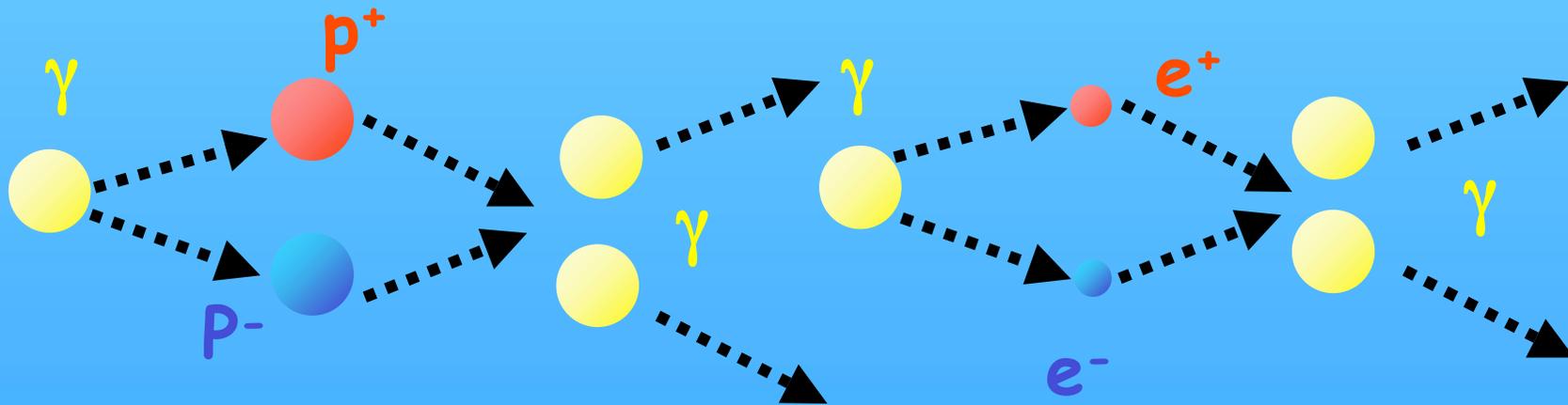
ERA ADRONICA

ERA ADRONICA

$$t = 10^{-4} - 10^{-2} \text{ s}$$

$$T = 10^{12} - 10^{11} \text{ K}$$

$$\rho = 10^{14} - 10^{13}$$



p^+ p^- n e^+ e^- ν γ SI CREANO E ANNICHILANO
IN CONTINUAZIONE



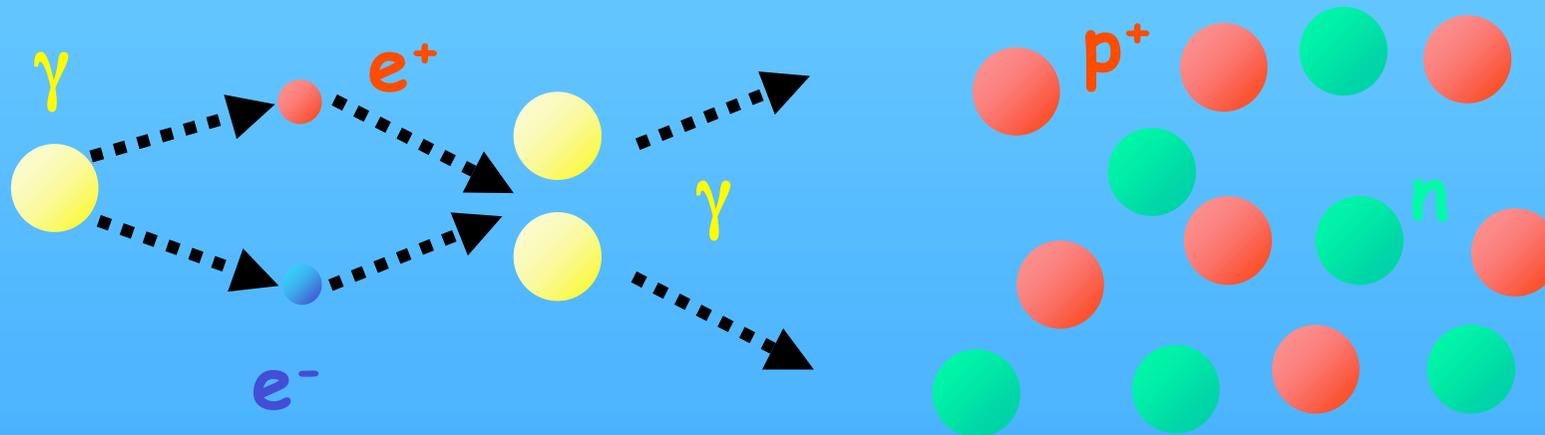
ERA LEPTONICA

ERA LEPTONICA

$$t = 10^{-2} - 1,1 \text{ s}$$

$$T = 10^{11} - 10^{10} \text{ K}$$

$$\rho = 10^{13} - 10^5$$



CREAZIONE E ANNICHILAZIONE DI e^+ e^- ν $\bar{\nu}$ γ

p^+ E n PASSANO DA 50% E 50% A 62% E 38%



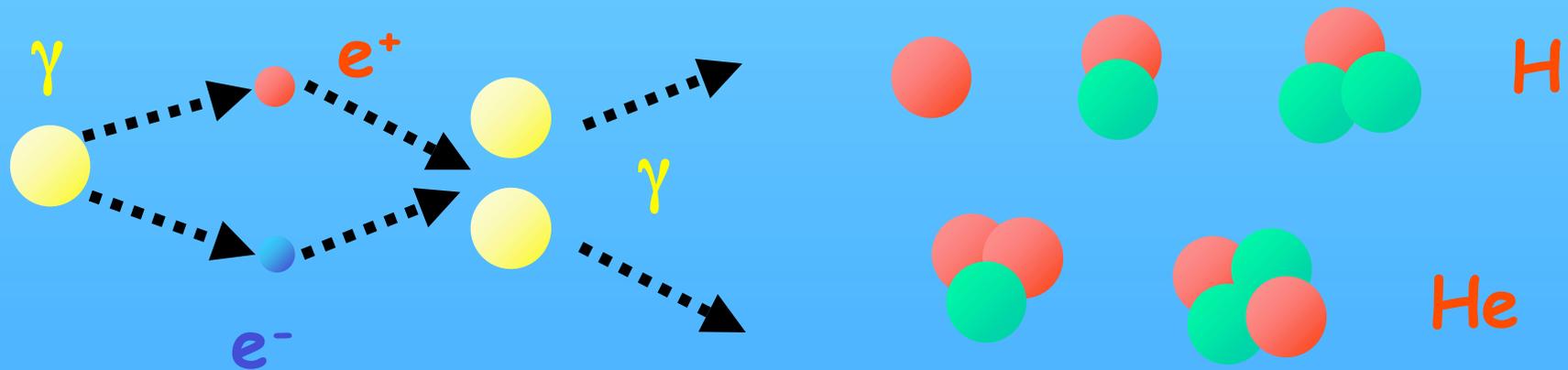
ERA RADIATIVA

ERA RADIATIVA

$$t = 1,1s - 3 \times 10^5 \text{ y}$$

$$T = 10^{10} - 6 \times 10^3 \text{ K}$$

$$\rho = 10^5 - 10^{-24}$$



CREAZIONE E ANNICHILAZIONE DI e^+ e^- ν γ SI
GENERA LA RADIAZIONE DI FONDO COSMICA

p^+ E n HANNO COSTITUITO NUCLEI DI H E He NEL
RAPPORTO DI MASSA 75% H E 25% He



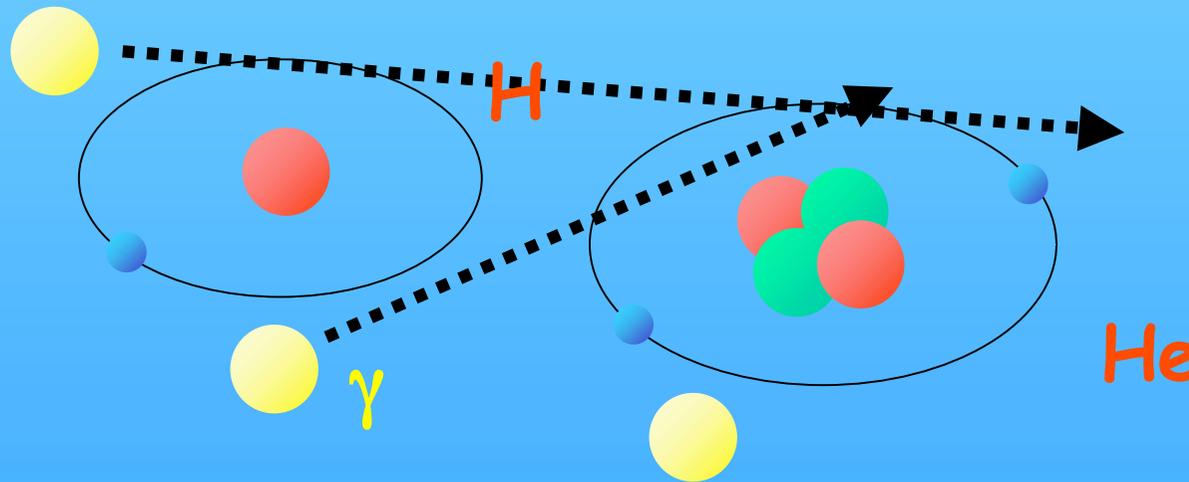
ERA DELLA MATERIA

ERA DELLA MATERIA

$$t = 3 \times 10^5 - 10^6 \text{ y}$$

$$T = 10^{10} - 6 \times 10^3 \text{ K}$$

$$\rho = 10^{-24} - 10^{-25}$$

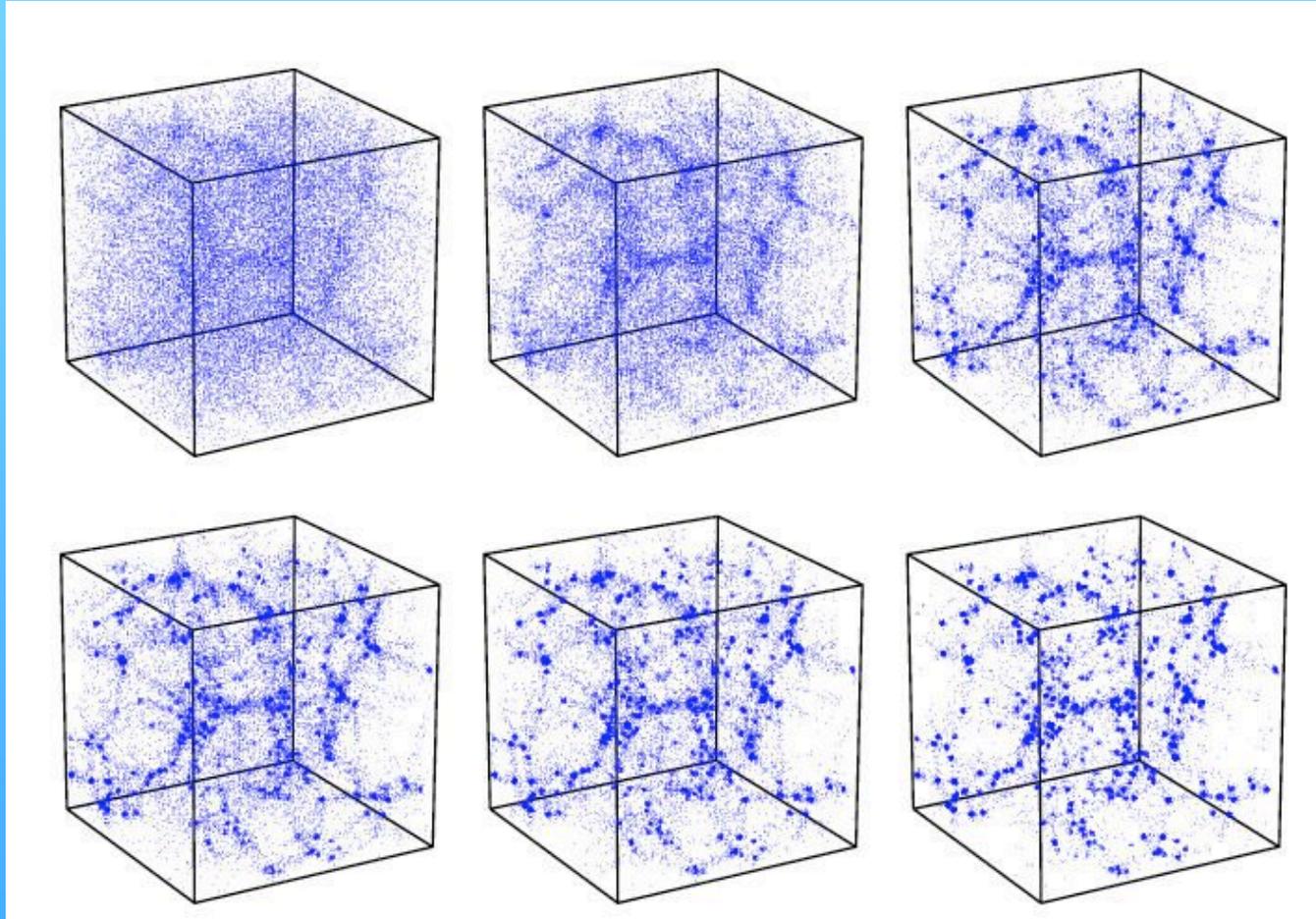


LA SUPERFICIE DI
ULTIMO
SCATTERING
DETERMINA LA
CMB OSSERVATA
OGGI

FORMAZIONE DEGLI ATOMI LA RADIAZIONE SI
DISACCOPPIA DALLA MATERIA

FORMAZIONE DELLE PRIME GALASSIE

STRUTTURE COSMICHE



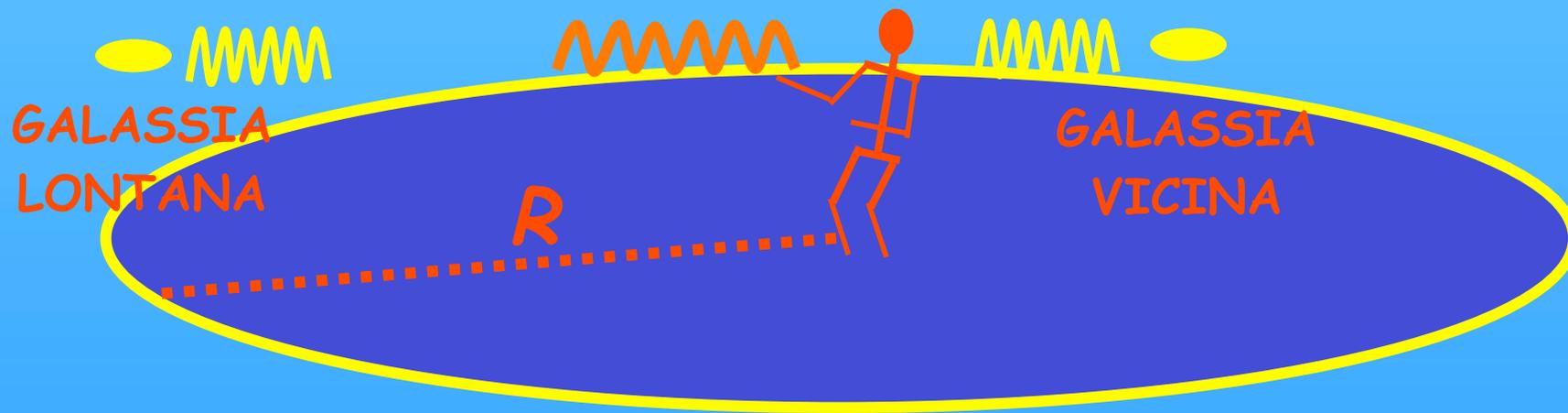
FORMAZIONE DEGLI AMMASSI DI GALASSIE



IL PARADOSSO SPIEGATO

IL PARADOSSO DI OLBERS E' RISOLTO

- L'UNIVERSO ESISTE DA UN TEMPO FINITO E QUINDI LA PARTE OSSERVABILE HA ESTENSIONE FINITA
- IL RED-SHIFT RIDUCE L'ENERGIA DEI FOTONI PROVENIENTI DALLE GALASSIE PIU' LONTANE

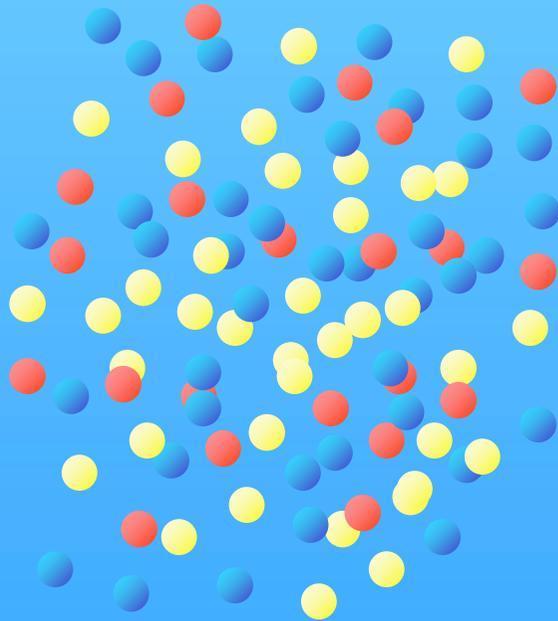


UNIVERSO OSSERVABILE $R \cong 13-14$ Mly

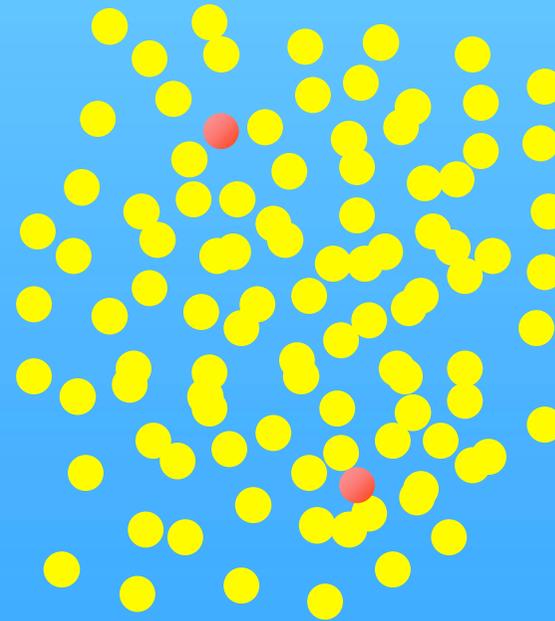


E L'ANTIMATERIA?

ASIMMETRIA NELLA CREAZIONE PROTONI-
ANTIPROTONI OGNI 10^{10} ANTIPROTONI
SI CREANO $10^{10}+1$ PROTONI



CREAZIONE

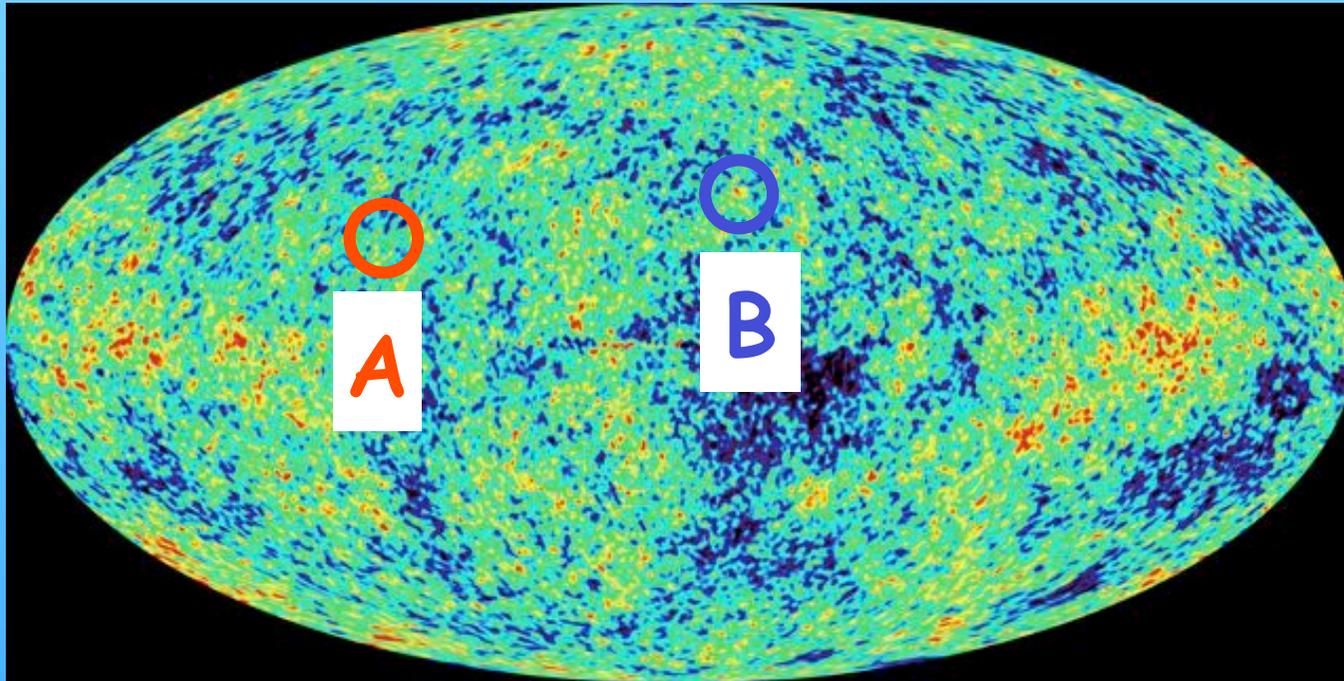


ANNICHILAZIONE



IL PROBLEMA DELL'ORIZZONTE

CMB OMOGENEA E ISOTROPA PER 1 PARTE SU 100.000



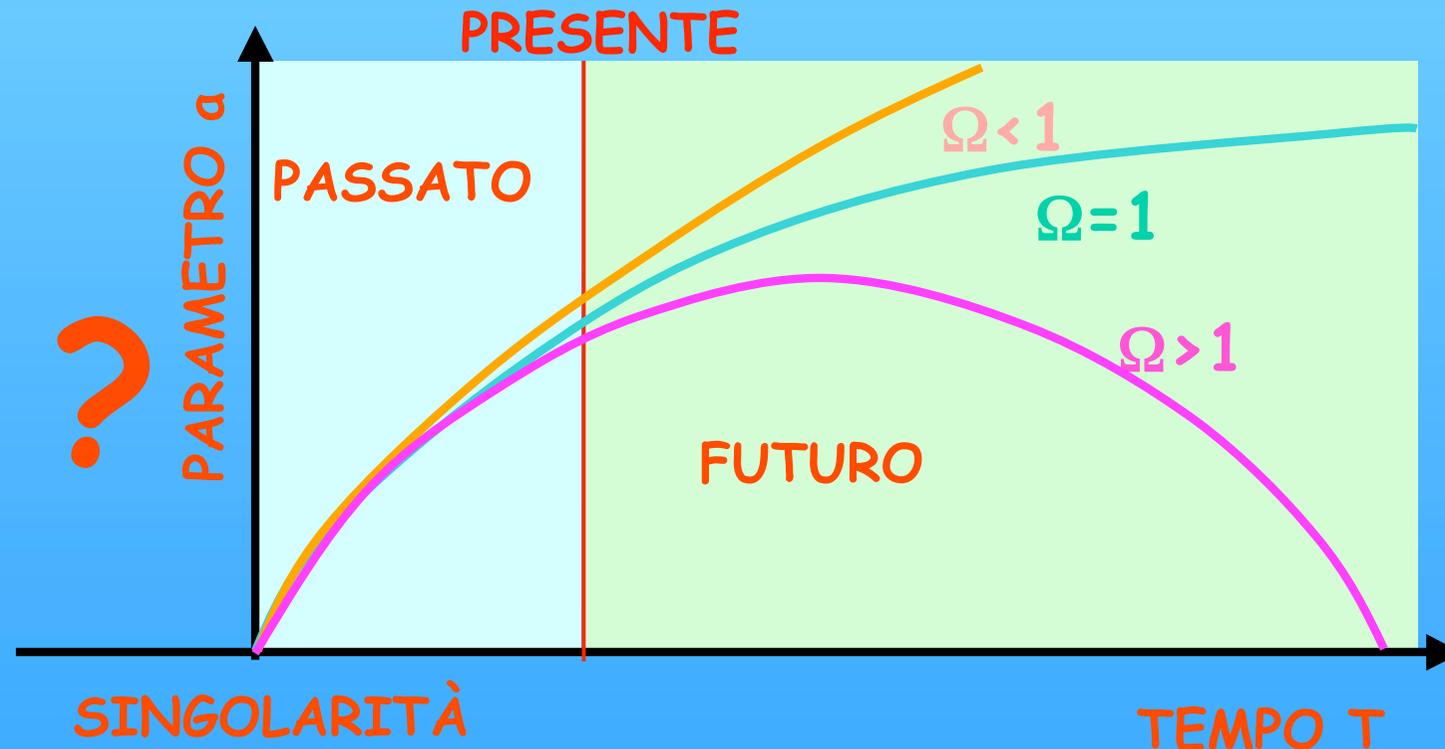
**LE REGIONI A E B HANNO LA STESSA TEMPERATURA
PUR NON ESSENDO CUSALMENTE CONNESSE**



UN UNIVERSO PIATTO

L'UNIVERSO SU GRANDE SCALA HA UNA GEOMETRIA EUCLIDEA

$$\Omega = \rho / \rho_c \quad \text{OGGI } 0,1 < \Omega < 10$$



SINGOLARITÀ

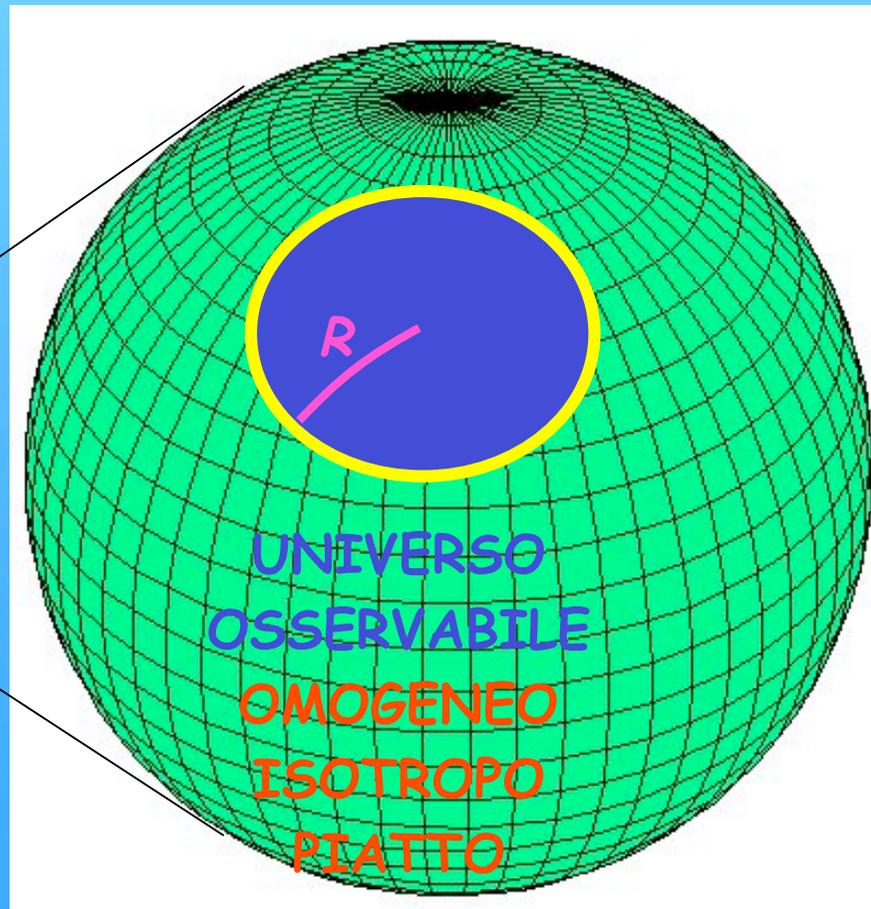
TEMPO T

$$t=1s \quad 1 - 10^{-60} < \Omega < 1 + 10^{-60}$$



L'INFLAZIONE

1981 A. GUTH "THE INFLATIONARY UNIVERSE: A POSSIBLE SOLUTION TO THE HORIZON AND FLATNESS PROBLEMS", Phys. Rev



INFLAZIONE

DA 10^{-36} A 10^{-32} s
L'UNIVERSO SI ESPANDE
ESPONENZIALMENTE
AUMENTANDO IL
RAGGIO ALMENO DI UN
FATTORE 10^{30} L'ENERGIA
PER L'ESPANSIONE
DERIVA DA UNA
TRANSIZIONE DI FASE
PRODOTTA DA UNA
ROTTURA SPONTANEA
DI SIMMETRIA

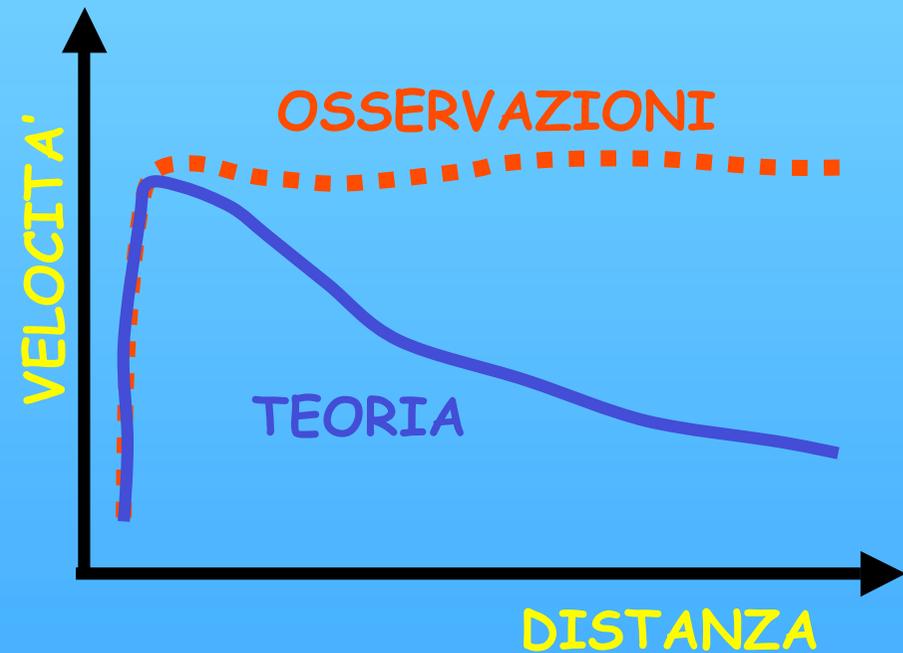


MATERIA OSCURA

GLI EFFETTI GRAVITAZIONALI INDICANO CHE C'E' PIU' MATERIA DI QUANTA SE NE VEDE (DARK MATTER)



IN ROSSO DISTRIBUZIONE
MATERIA ORDINARIA IN BLU
DISTRIBUZIONE MATERIA
OSCURA



CURVE DI ROTAZIONE
TEORICA E OSSERVATA DI
UNA GALASSIA



DI COSA E' FATTA?

LA MATERIA OSCURA (DARK MATTER) **CONTRIBUISCE ALLA MASSA DELL'UNIVERSO MA NON SAPPIAMO DI COSA SIA**

COSTITUITA
ALCUNI CANDIDATI DM **ALCUNI CANDIDATI DM**
BARIONICI **NON BARIONICI**



**PIANETI E
ASTEROIDI**



**NANE BRUNE
E NERE**



**STELLE DI
NEUTRONI E
BUCHI NERI**



NEUTRINI



WIMPS



**STRINGHE
COSMICHE**

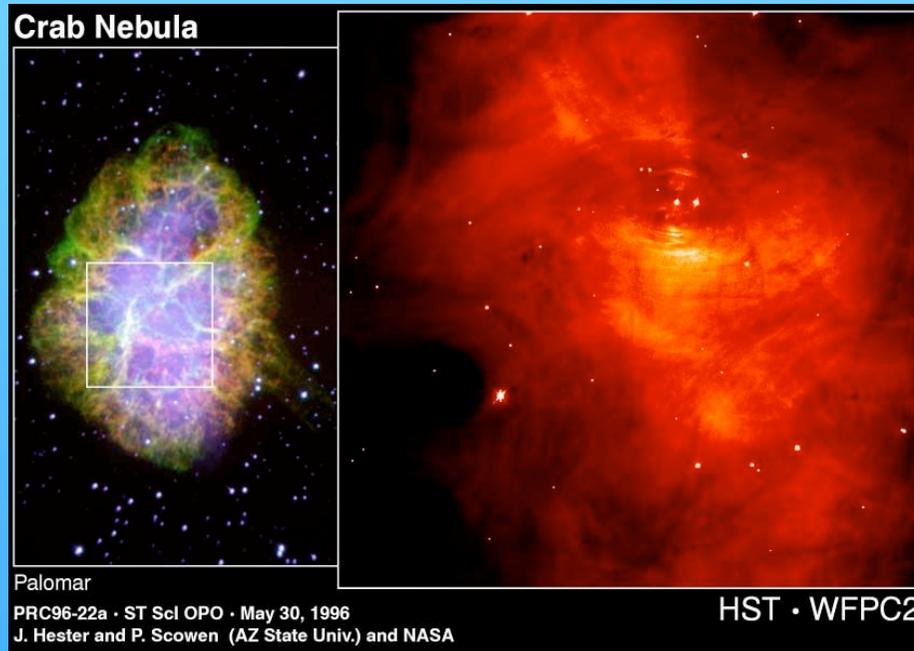
G_0

**GRAVITA'
MODIFICATA**

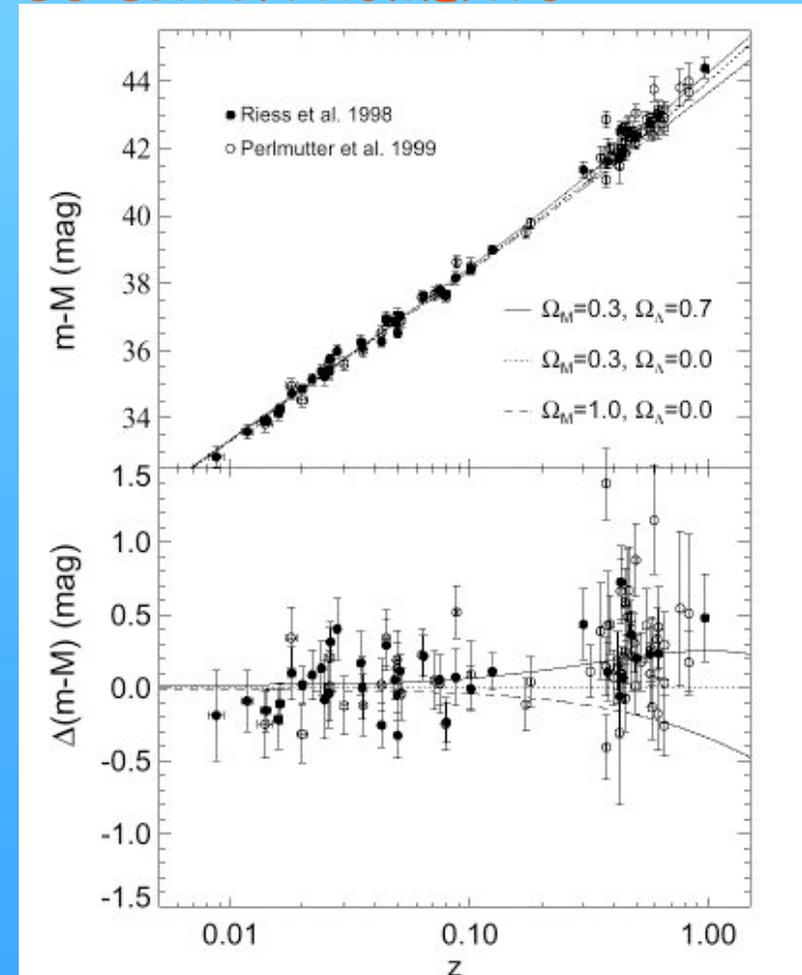


L'UNIVERSO ACCELERA

ANNI '90 OSSERVAZIONI DI SUPERNOVE INDICANO CHE LA VELOCITA' DI ESPANSIONE DELL'UNIVERSO SIA IN AUMENTO



SUPERNOVAE: LE STELLE DI GRANDE MASSA TERMINANO LA PROPRIA VITA CON UN'IMMANE ESPLOSIONE

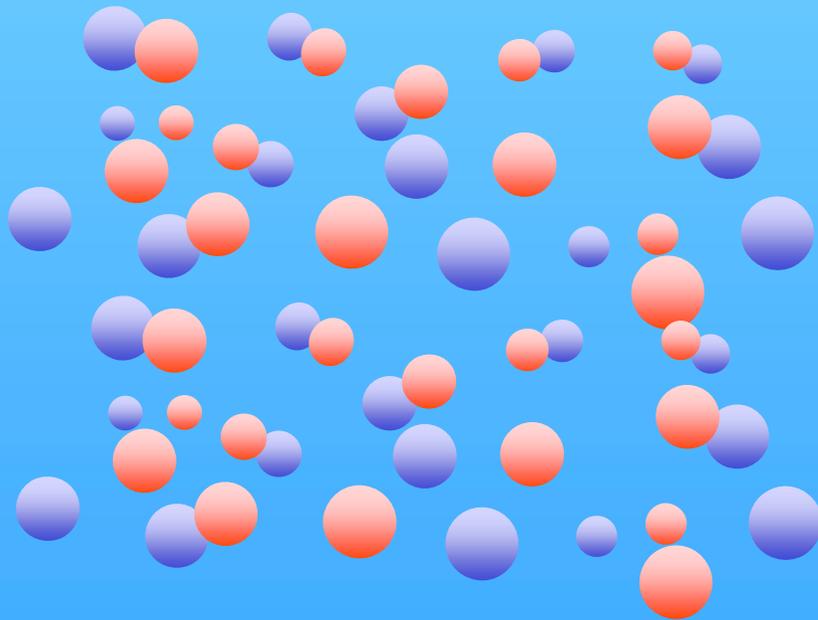




LAMBDA RISORGE

L'ACCELERAZIONE DELL'UNIVERSO PUO' ESSERE DESCRITTA
REINTRODUCENDO LA COSTANTE Λ NELLE EQUAZIONI DI CAMPO

POSSIBILI CANDIDATI



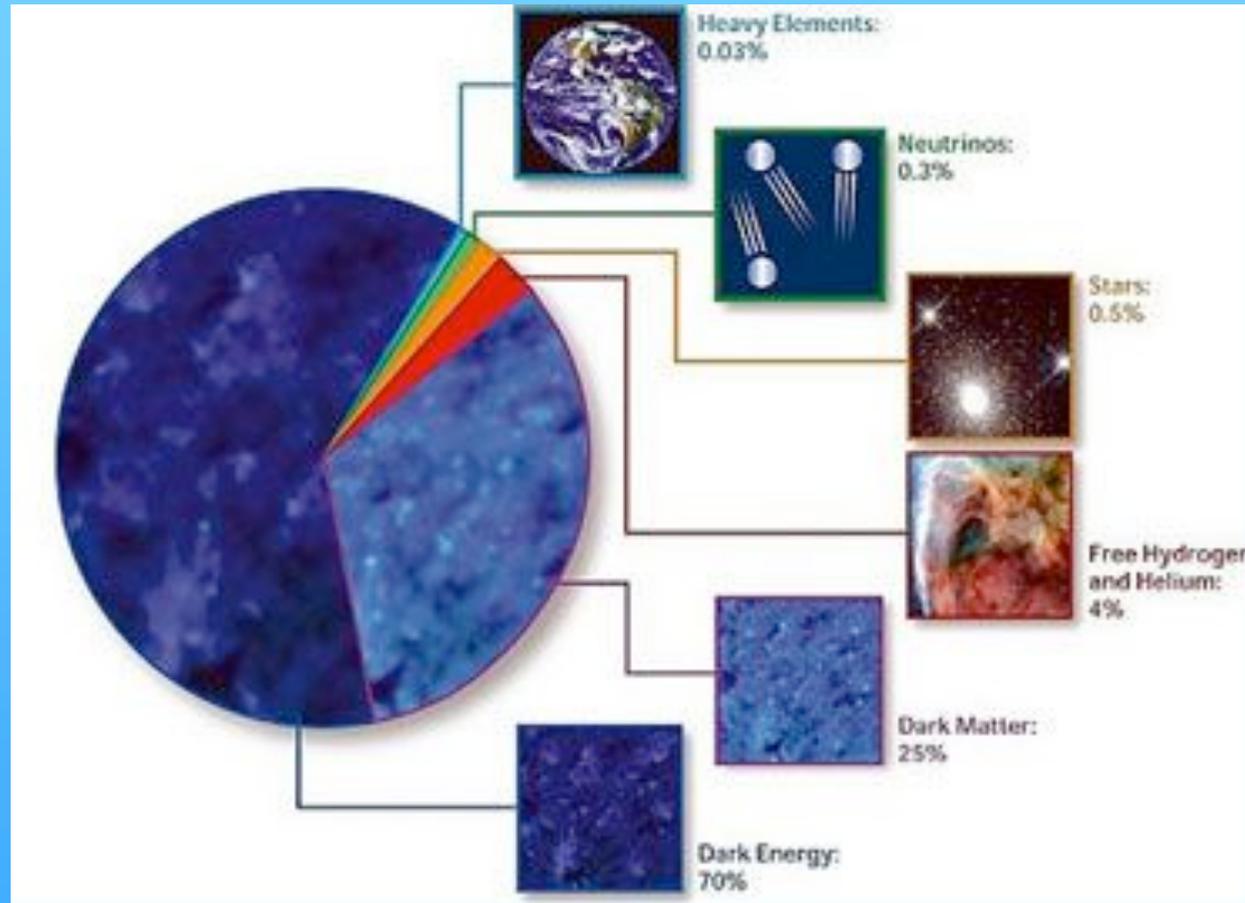
ENERGIA DEL VUOTO



QUINTESSENZA

CHIUDERE L'UNIVERSO

RIPARTIZIONE DELLA DENSITA' DI ENERGIA NELL'UNIVERSO



$$\Omega_{LM} + \Omega_{DM} + \Omega_{DE} = 1$$



SUPERSTRINGHE

LA TEORIA DELLE STRINGHE DESCRIVE LE PARTICELLE COME
CORDE VIBRANTI



PARTICELLA
PUNTIFORME



STRINGA

GLI STATI VIBRAZIONALI
DELLA STRINGA

DETERMINANO LA MASSA E LE
PROPRIETA' DELLA PARTICELLA

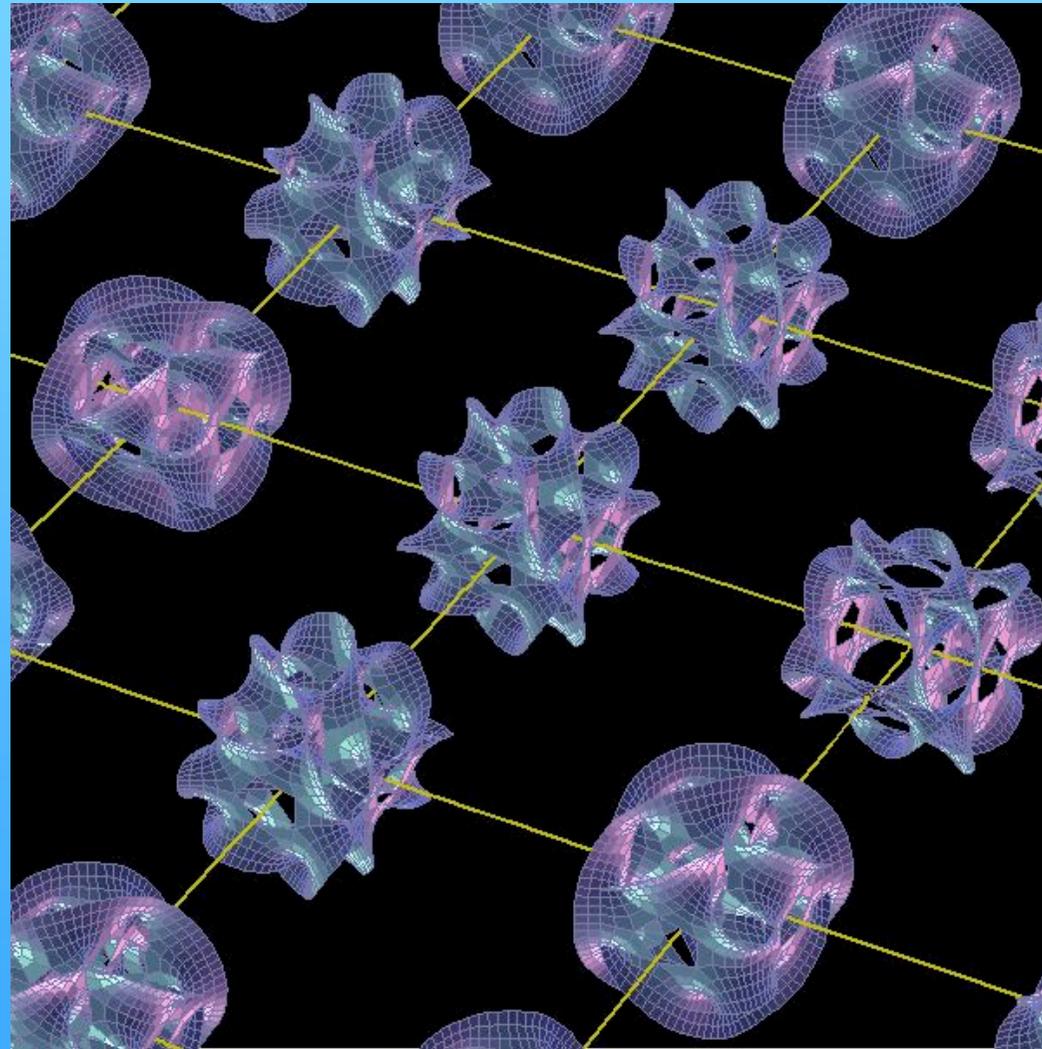
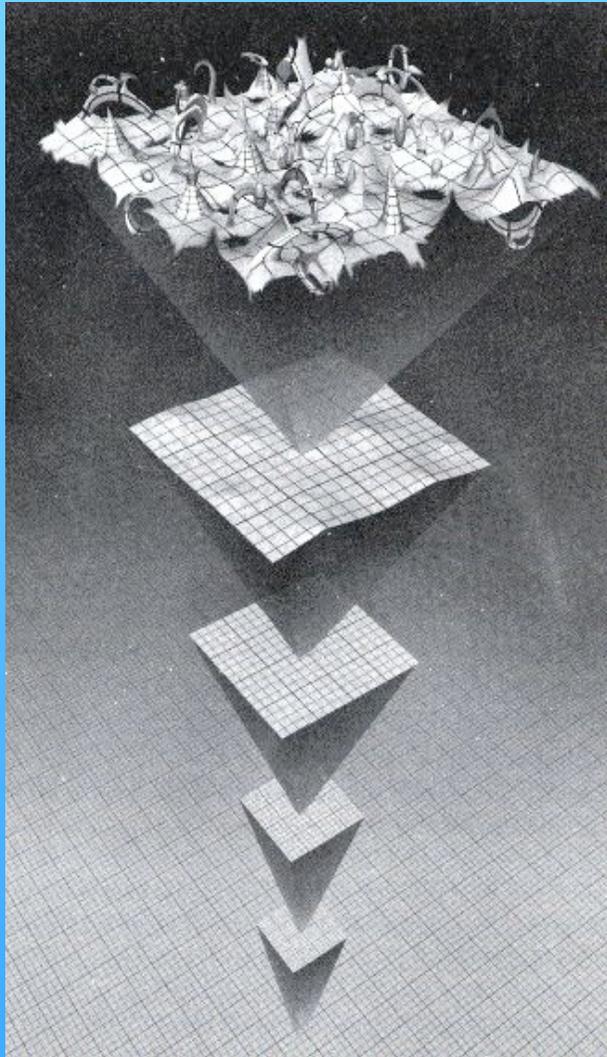
LA TEORIA DELLE STRINGHE PER ESSERE COERENTE RICHIEDE
UNO SPAZIO-TEMPO A 11 DIMENSIONI

VI SONO 5 VERSIONI DELLA TEORIA CHE SEMBRANO ASPETTI
DIVERSI DI QUELLA CHE E' CHIAMATA M-TEORIA

LA TEORIA DELLE STRINCHE SEMBRA IN GRADO DI UNIFICARE
RELATIVITA' GENERALE E MECCANICA QUANTISTICA

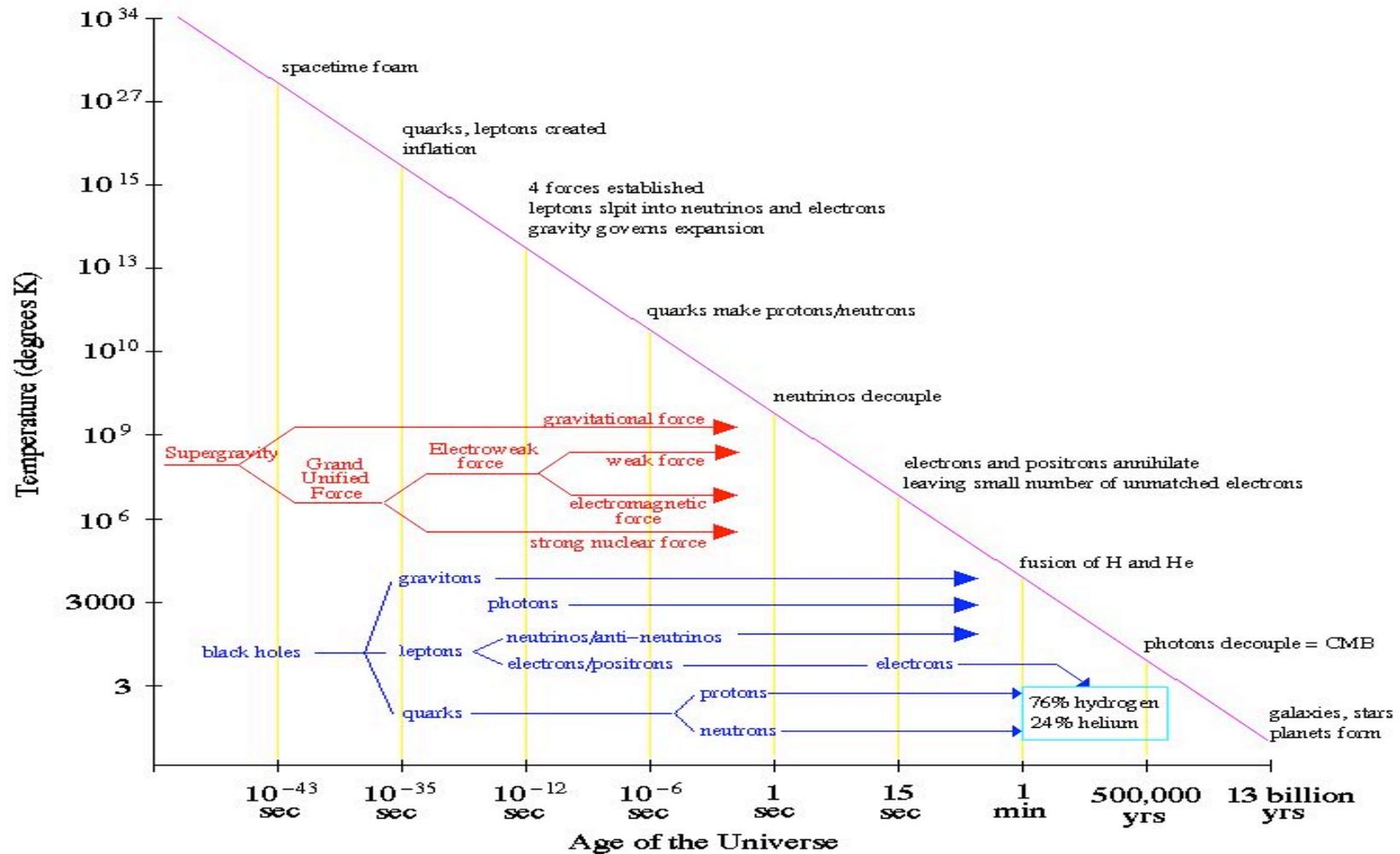


LA SCHIUMA DELLO SPAZIO-TEMPO



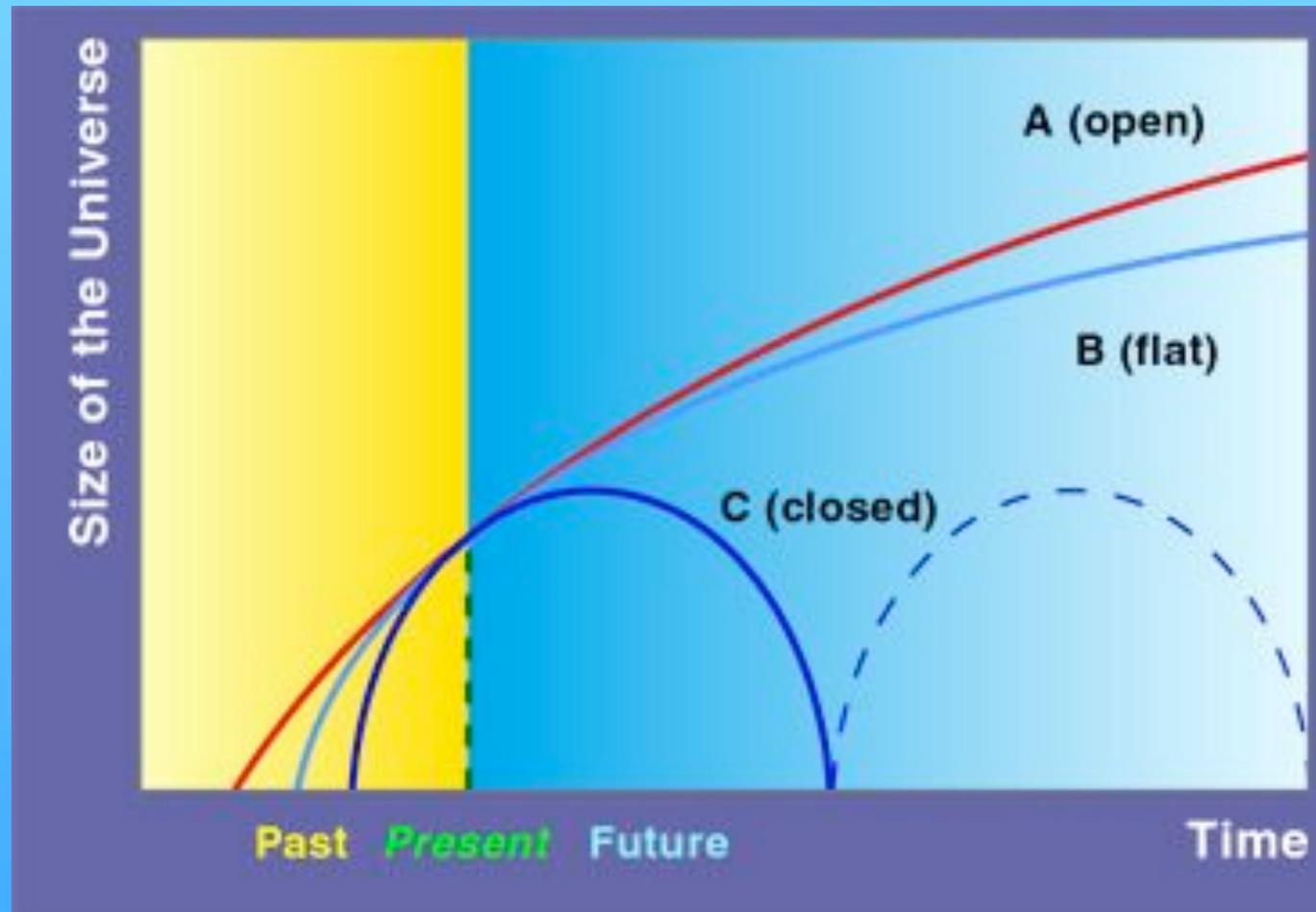


BREVE RIASSUNTO





E IL FUTURO?





FINE?





A.C.A. - GRUPPO TEORICO

***GRAZIE PER
L'ATTENZIONE!!!
DOMANDE?***