



Università della Terza Età "Cardinale Giovanni Colombo" – Milano

A.A. 2023 - 2024

Corso di Astrofisica

Docente : **Adriano Gaspani**

Lezione 3

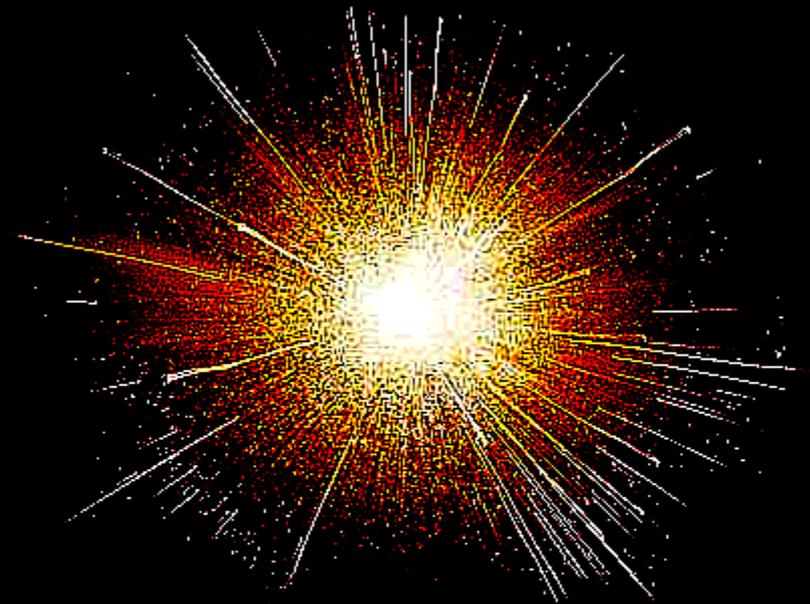
# L'Universo Osservabile: Struttura, Metrica, Limiti

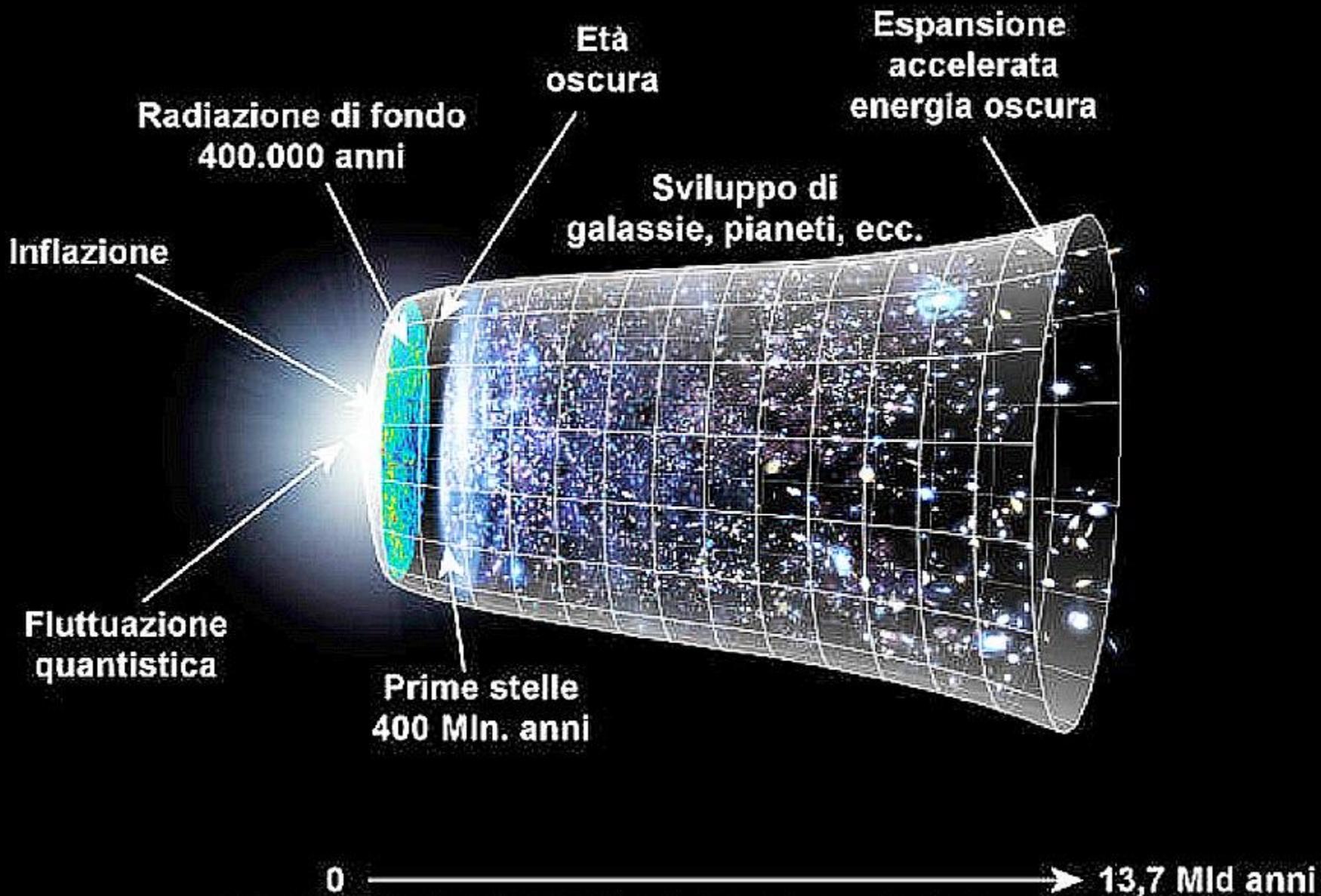
# Il "Big Bang"...

Dove non c'era il niente, ora  
c'era il tutto:  
**l'intero universo.**

Un **universo piccolo**,  
immensamente caldo, con  
grande densità, formato da  
particelle elementari ...

Che per una frazione  
infinitesima di secondo si  
**espanso** in modo rapidissimo.  
Poi rallentò un poco, ma  
continuò ad espandersi, come  
fa ancora.





# ESPANSIONE DAL BIG BANG

# Il "Big Bang"...

Il tempo e lo spazio ebbero origine dalla singolarità, che nelle prime infinitesimali frazioni di secondo subì una enorme espansione a una velocità molto superiore a quella della luce, l'**inflazione**.

Dopo circa 400.000 anni si liberò la radiazione di fondo e in seguito si formarono le galassie, le stelle e i pianeti.

## **PRECISAZIONI SUL BIG BANG**

- Non esiste un centro dell'espansione, ogni punto è equivalente
- E' lo spazio fra le galassie ad espandersi (la nostra galassia, il nostro sistema solare, la nostra casa non si stanno espandendo !)
- Non esiste un "bordo" dell'universo. L'espansione non avviene "dentro" qualcos'altro.
- L'universo, nonostante si stia espandendo, potrebbe comunque essere infinito.
- Anche se l'universo fosse infinito, potremmo vederne solo una parte: quella percorsa dalla luce in 13,7 miliardi di anni, aumentata per l'espansione.

# Ma come ci siamo arrivati?

Per determinare le dimensioni dell'Universo visibile (attuale) è necessario misurare le distanze degli oggetti che lo compongono

# Le misure di distanze nell'Universo

A large, stylized ladder graphic is positioned diagonally across the frame, extending from the bottom left towards the top right. The background is a vibrant, colorful depiction of the universe, featuring various galaxies, nebulae, and star clusters in shades of blue, purple, and red. The ladder has a dark frame with lighter-colored rungs, and its rungs are not perfectly parallel, suggesting a perspective or a specific measurement scale.

Ci consentono di capire come sono distribuiti gli oggetti celesti nel cosmo

...quanto sono brillanti in realtà

...quanto è denso l'Universo

...quanto è grande l'Universo

...quanto è massivo l'Universo

...quanto è vecchio l'Universo



Edwin Hubble 1929

Georges Lemaître 1927



# La legge di Hubble: VELOCITÀ = $H_0$ X DISTANZA

$$v = HR$$

Where

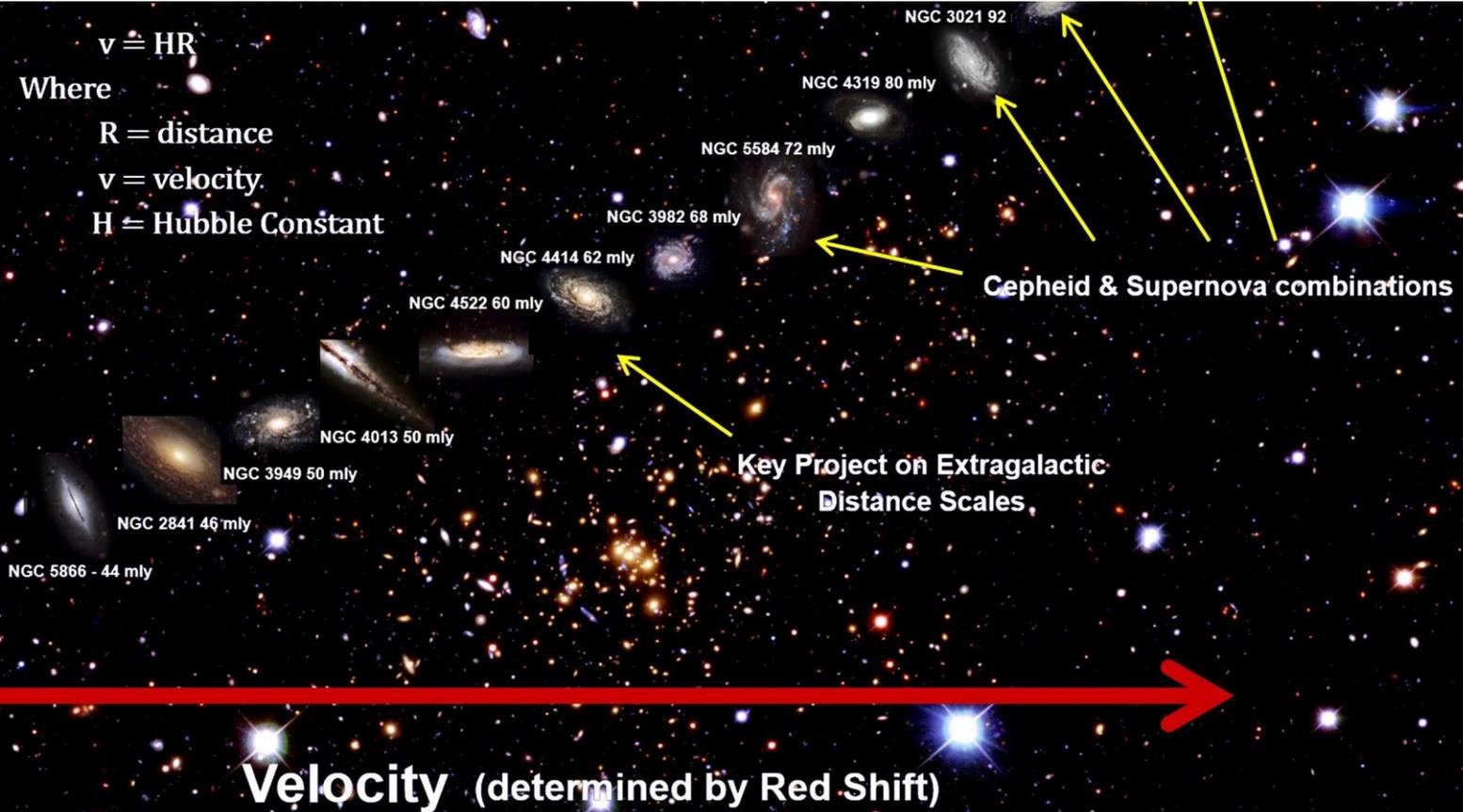
R = distance

v = velocity.

H = Hubble Constant

Distance

(determined by Cepheids)



**La costante di Hubble  $H_0$  è una misura fondamentale che ha un impatto rilevante innanzitutto sull'età dell'Universo:**

$$H_0 = 2.35 \times 10^{-18} \text{ 1/sec}$$

Nei modelli cosmologici che assumono un Big Bang infatti il tempo intercorso fra il Big Bang e l'epoca attuale è dato approssimativamente da  $1/H_0$ : più basso è il valore di  $H_0$ , più vecchio è il cosmo.

Diamo un po' di numeri:

Età dell'Universo:  $T(\text{univ}) = 1/H_0$

$$T(\text{univ}) = 4.26 \times 10^{17} \text{ secondi}$$

Pari a 13.47 Miliardi di anni

Raggio dell'Universo visibile:

$$R(\text{univ}) = c / H_0$$

$$R(\text{univ}) = 1.28 \times 10^{26} \text{ metri}$$

circa 14 miliardi di anni luce

$c$  = velocità della luce nel vuoto

# Densità media dell'Universo

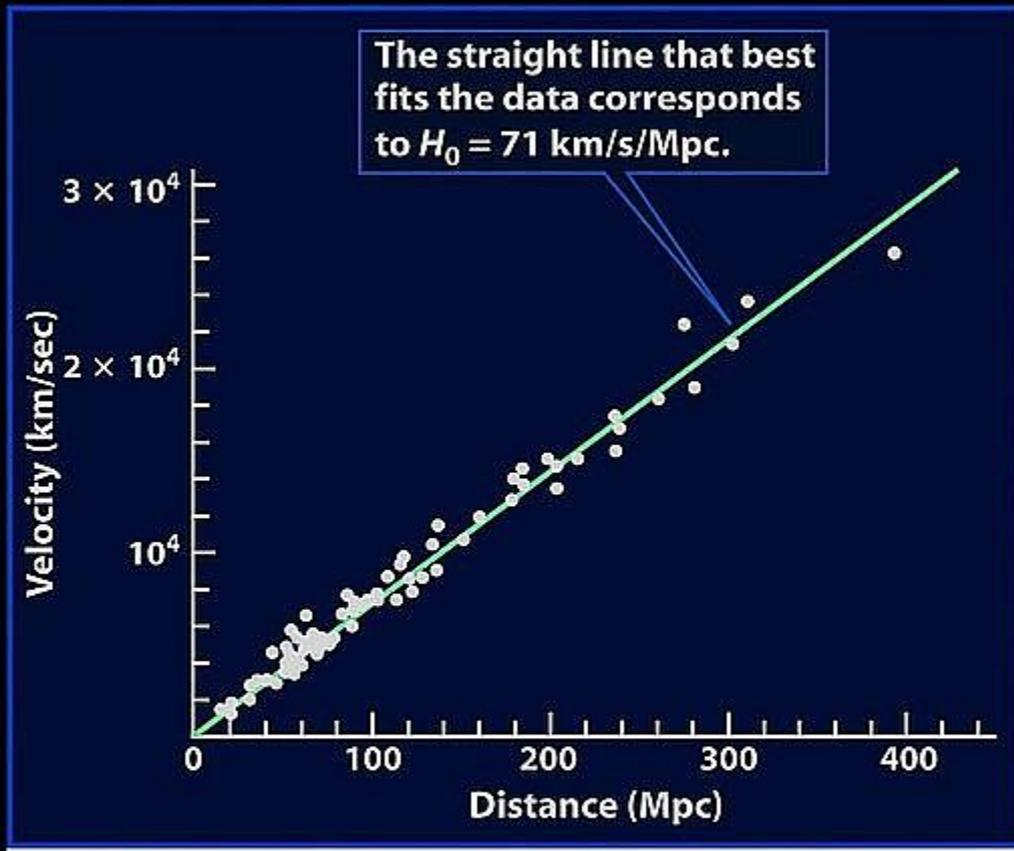
$$\rho_o = \frac{3}{8} \frac{H_o^2}{\pi G}$$

$$\rho_o = 1 \times 10^{26} \text{ Kg/m}^3$$

# Massa complessiva dell'Universo

$$M(\text{univ}) = \frac{1}{2} R^3 \frac{H_0^2}{G}$$

$$M(\text{univ}) = 8.6 \times 10^{52} \text{ Kg}$$



NEL 1929 EDWIN HUBBLE  
SCOPRE L'ESISTENZA DI UNA  
RELAZIONE LINEARE TRA  
IL REDSHIFT E LA DISTANZA  
DELLE GALASSIE.

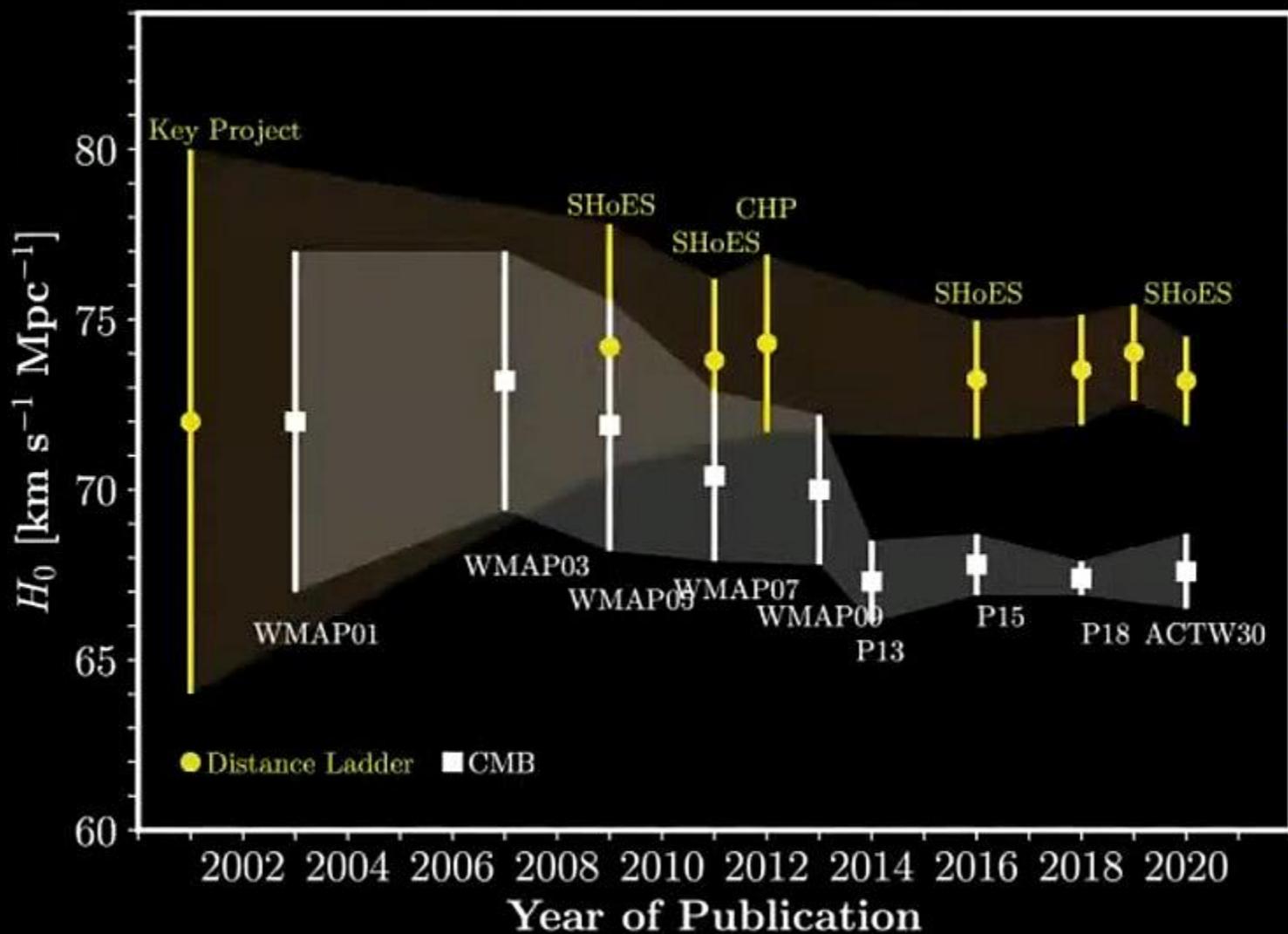
LE GALASSIE SI ALLONTANANO  
RECIPROCAMENTE AD UNA  
VELOCITA' PROPORZIONALE ALLA  
LORO DISTANZA

LEGGE DI HUBBLE  
 $v = H_0 D$

COSTANTE DI HUBBLE  
 $H_0 = 71 \text{ (Km/s)/Mpc}$

$H_0 = 2.35 \times 10^{-18} \text{ 1/sec}$

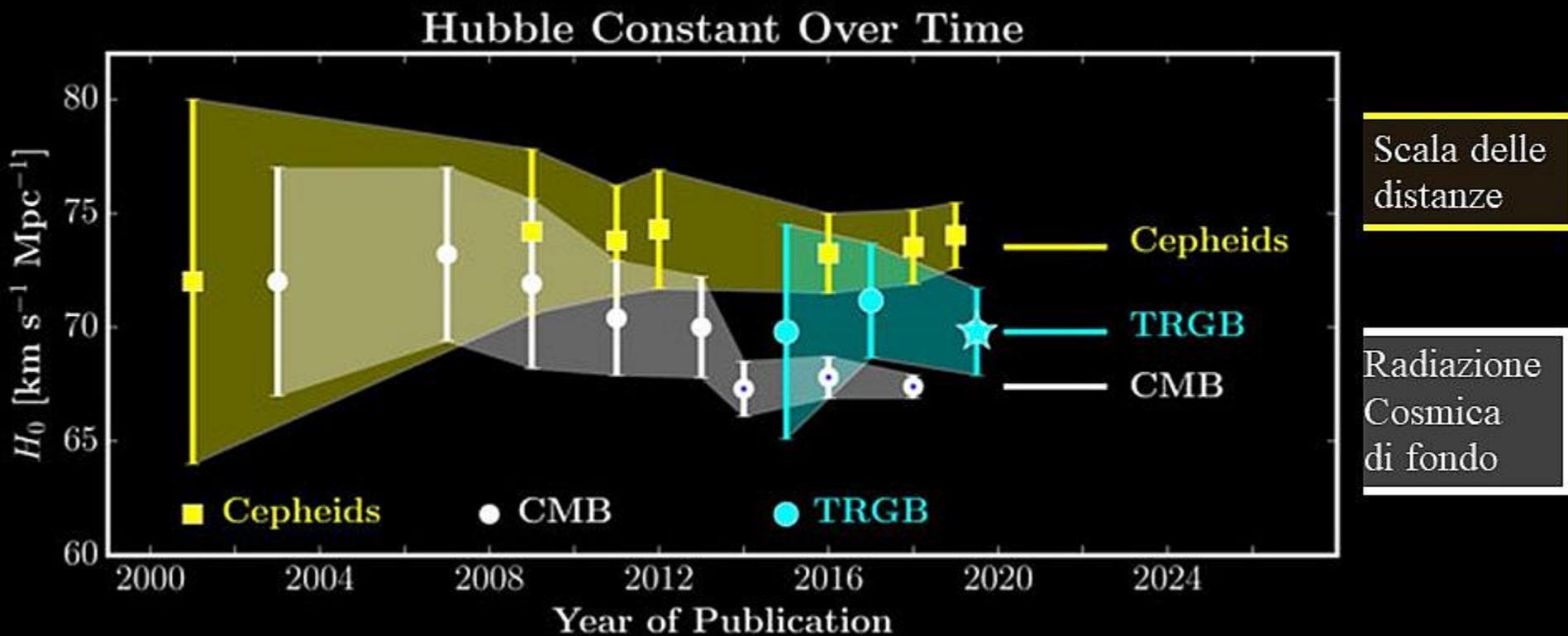
# La Costante di Hubble



Scala delle  
distanze

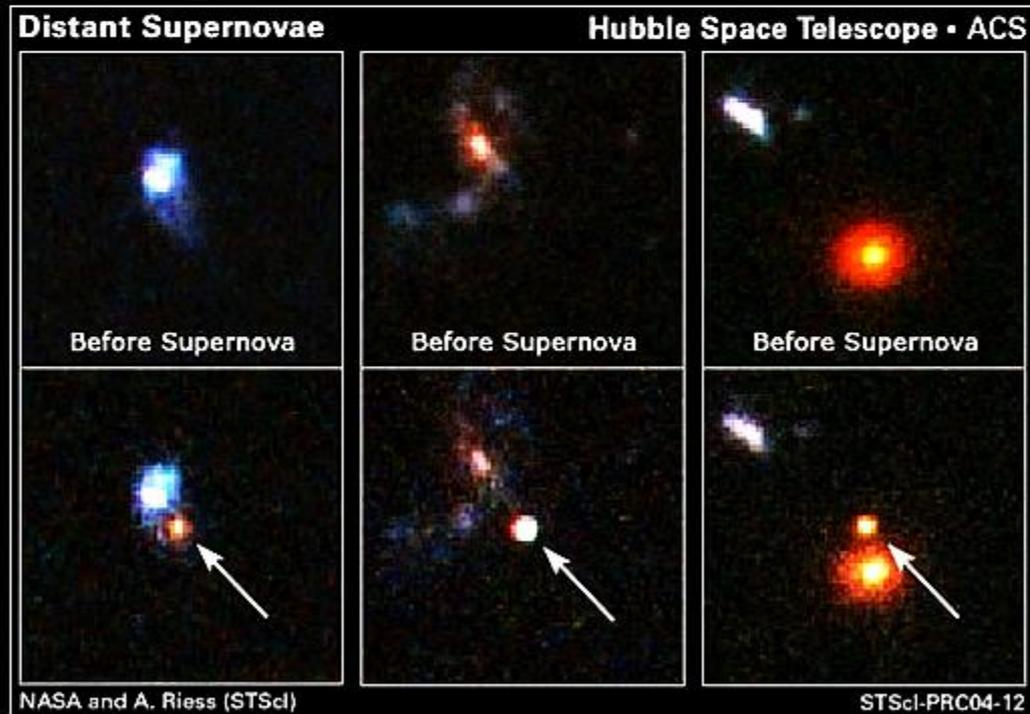
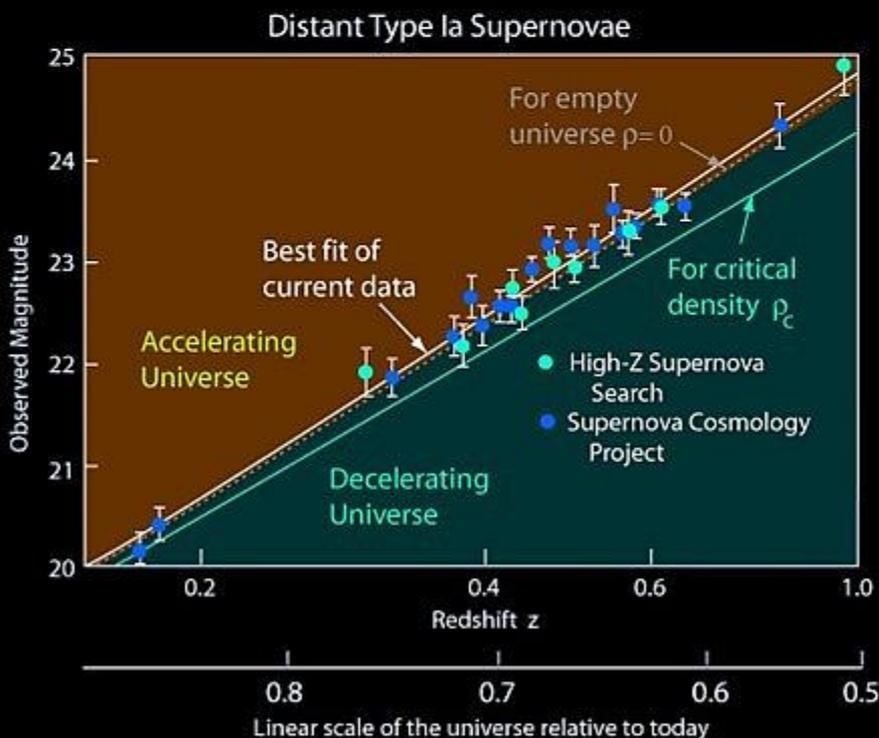
Radiazione  
Cosmica  
di fondo

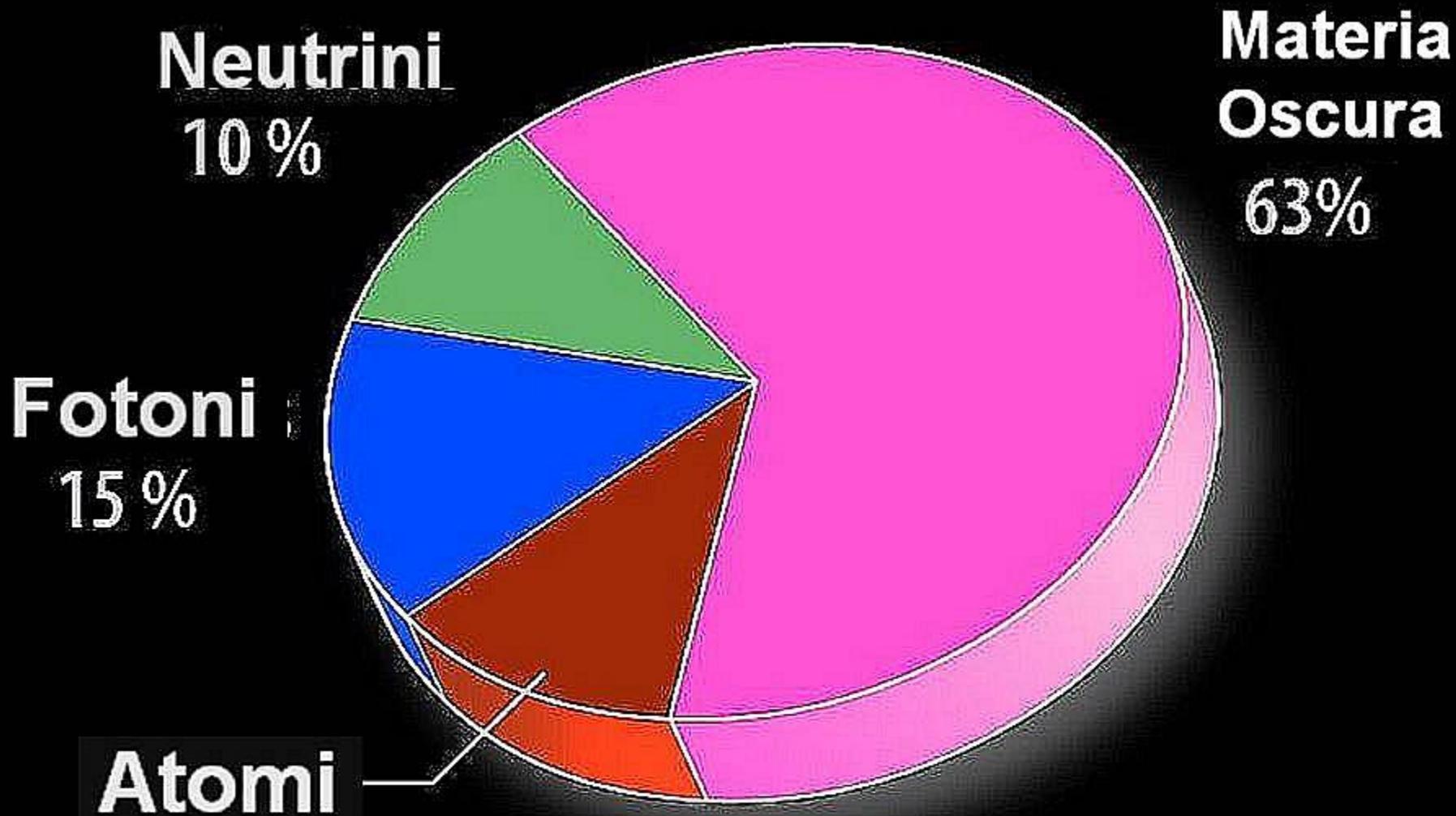
# TRGB : le giganti rosse più luminose



# LA SCOPERTA DELL' "ENERGIA OSCURA"

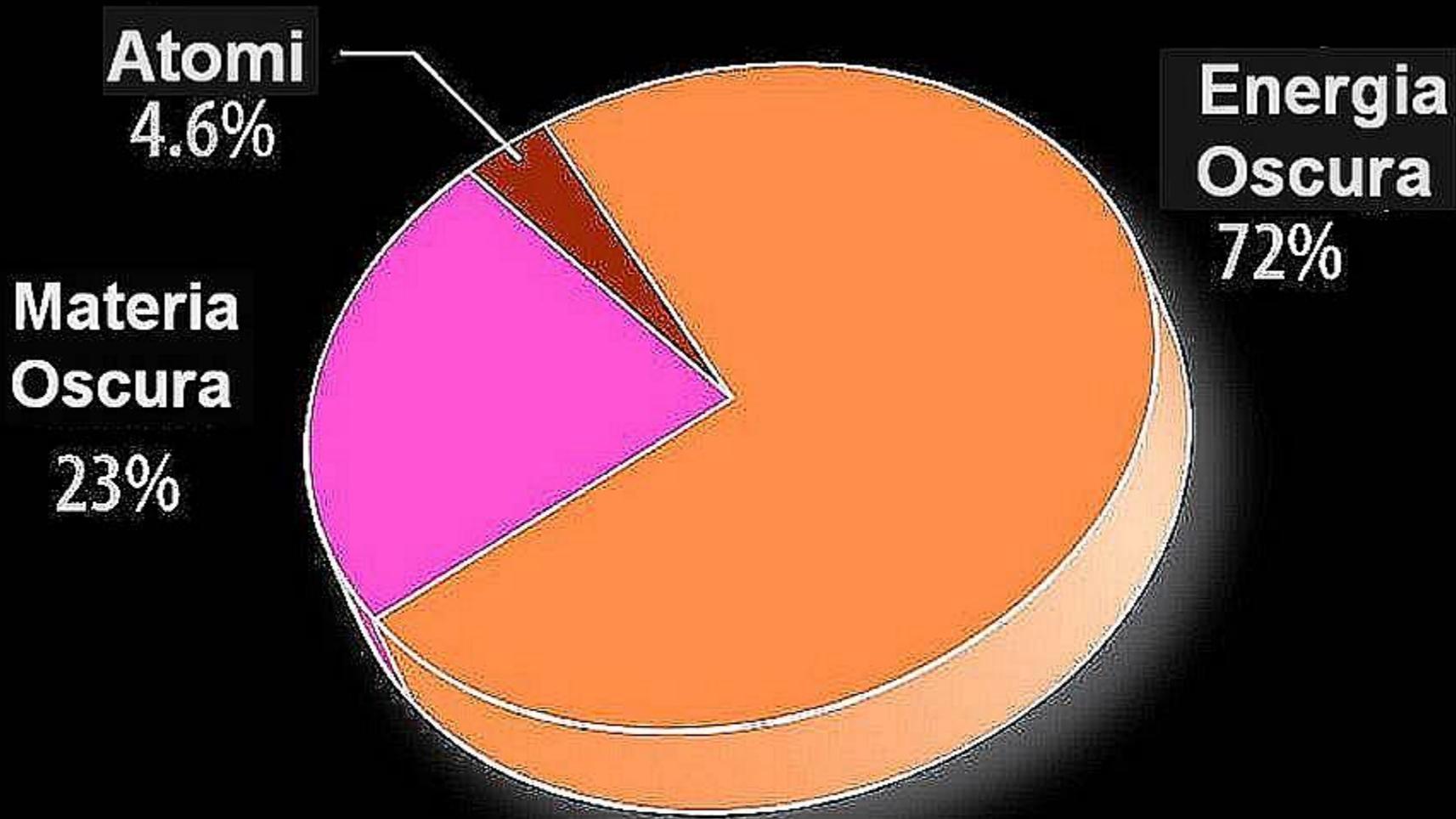
## DERIVA DALLO STUDIO DEL REDSHIFT DELLE SUPERNOVAE Ia MOLTO DISTANTI





13,7 Miliardi di anni fa

(età dell'Universo: 380.000 anni)



Oggi

Se l'Universo non fosse in continua espansione, il raggio dell'universo osservabile sarebbe pari alla distanza percorsa dalla luce nell'arco di tempo trascorso dall'inizio dell'Universo (l'età dell'universo), cioè l'orizzonte dell'universo osservabile sarebbe posto a circa 13,72 miliardi di anni luce.

Poiché però l'universo si sta espandendo continuamente, la distanza effettiva di questo orizzonte è più grande.

Una radiazione  
elettromagnetica partita 13,72 miliardi  
di anni fa che giungesse ora ad un  
osservatore sarebbe relativa a una  
sorgente che nel frattempo si è  
allontanata dall'osservatore a causa  
dell'espansione.

Alcune stime ipotizzano che lo spazio si potrebbe essere espanso per circa 46,5 miliardi di anni luce ( $4,7 \times 10^{23}$  km).

Sulla base di questa stima, il diametro della sfera dell'universo osservabile sarebbe pari a 93 miliardi di anni luce.

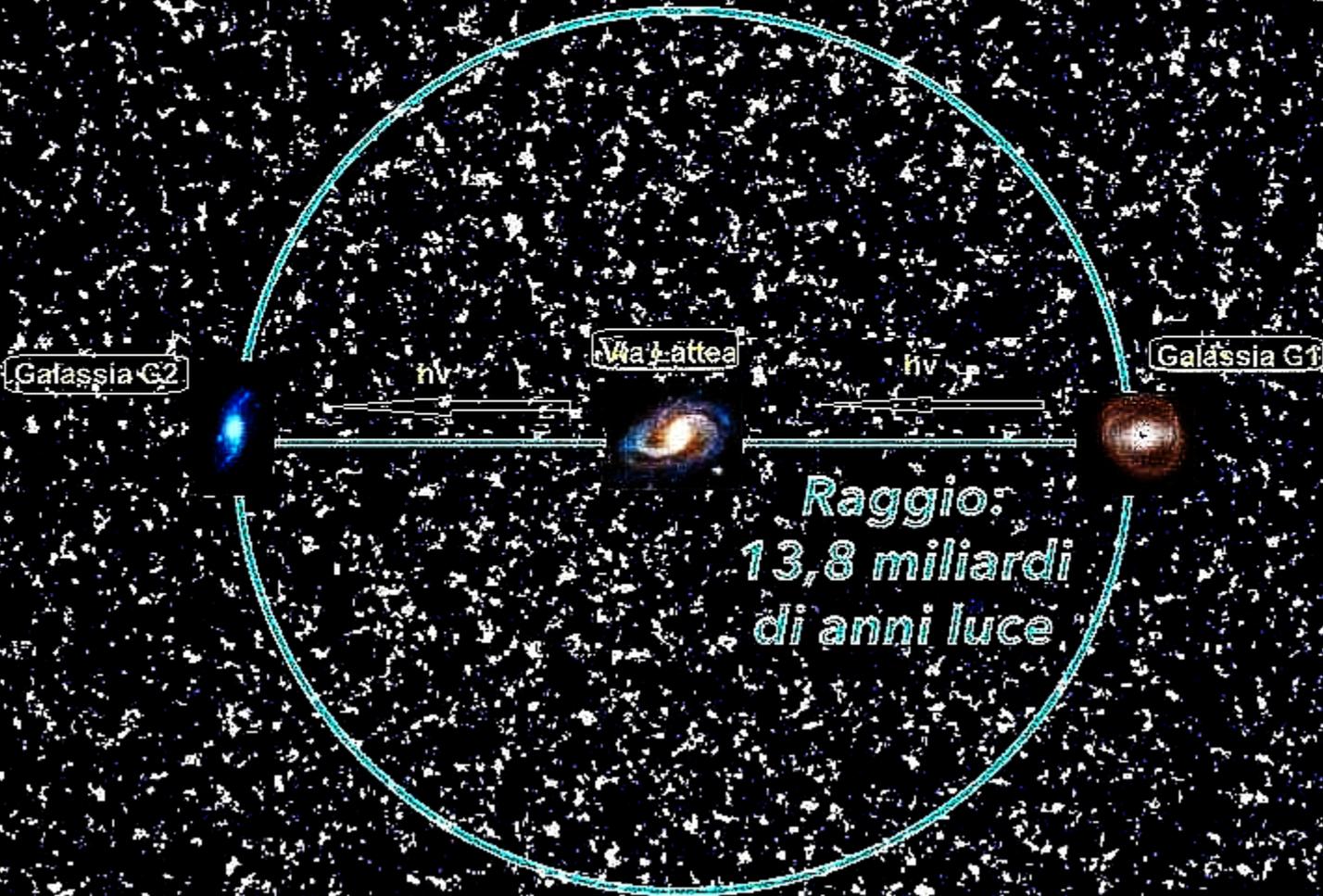
Il volume di questo spazio sferico è pari a circa  $5 \times 10^{32}$  anni luce cubi; queste dimensioni potrebbero contenere circa  $7 \times 10^{22}$  stelle, organizzate in circa  $2 \times 10^{12}$  galassie (duemila miliardi, secondo una stima effettuata nel 2016), agglomerate in gruppi e ammassi di galassie e super ammassi.

Osservazioni condotte col telescopio spaziale Hubble suggeriscono un numero medio di galassie ancora maggiore.



L'espansione risulterebbe in accelerazione, motivo per cui vi è un limite all'universo *osservabile*, delimitato dall'orizzonte cosmologico, cioè la regione dell'universo oltre il quale ogni oggetto si allontana dall'osservatore a velocità maggiori della luce, tale orizzonte oggi è pari a 46,5 miliardi di anni luce.

# Quanto è grande l'Universo?



L'espansione risulterebbe in accelerazione, motivo per cui vi è un limite all'universo *osservabile*, delimitato dall'orizzonte cosmologico, cioè la regione dell'universo oltre il quale ogni oggetto si allontana dall'osservatore a velocità maggiori della luce, tale orizzonte oggi è pari a 46,5 miliardi di anni luce.

Questo orizzonte corrisponde quindi alla distanza massima con cui si può più avere *contatto causale*.

**...cioè si può osservare e misurare**

Cioè non esisterà mai la possibilità di osservare o scambiare alcun segnale o informazione generato d'ora in avanti con regioni oltre l'orizzonte, cioè in pratica *escono* dalla realtà dell'osservatore e quindi, di fatto, "al di fuori" del "suo Universo".

Vi è da chiarire che sebbene oggetti oltre l'orizzonte cosmologico si allontanino dall'osservatore a velocità maggiori di quelle della luce questo non risulta in contrasto con la relatività generale di Einstein.

Infatti quest'ultima proibisce qualsiasi movimento a velocità superluminali *all'interno* dell'universo ma non pone alcun limite alla velocità di espansione di quest'ultimo.

# **L'Universo è 38 volte più grande di quello che riusciamo a osservare**



**La totalità dell'Universo osservabile**  
**Estensione: 93,2 miliardi di anni luce**