

# Dal big-bang alle stelle!



Stefano Covino

INAF - Osservatorio Astronomico di Brera

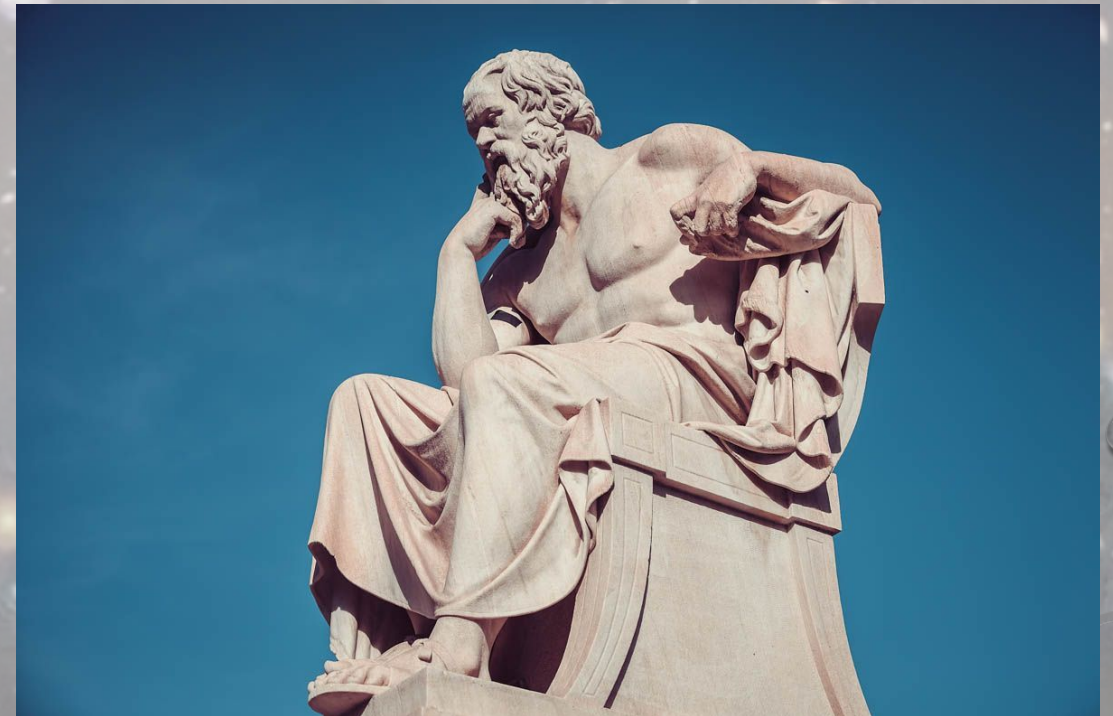
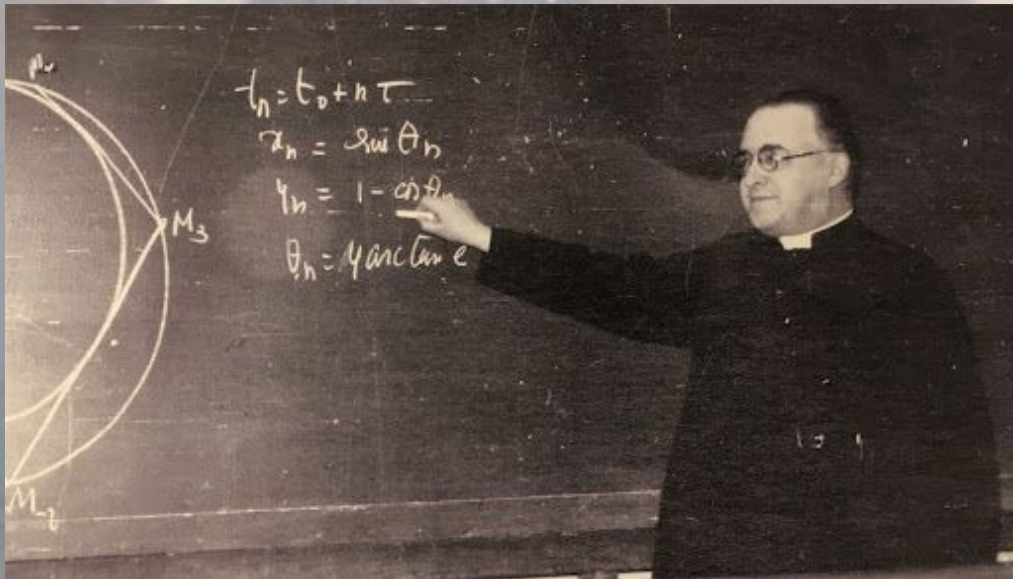
DISAT - Facoltà di fisica - Università Insubria - Como





# L'universo ha avuto un inizio o è sempre esistito?

- Per molto tempo, per lo più per ragioni filosofiche, l'idea che l'Universo non avesse mai avuto un inizio o una fine, ma fosse sempre stato grossomodo uguale a se stesso, ha presentato molte attrattive.
- Un inizio per l'Universo apre, evidentemente, un'enorme quantità di domande, non solo scientifiche.

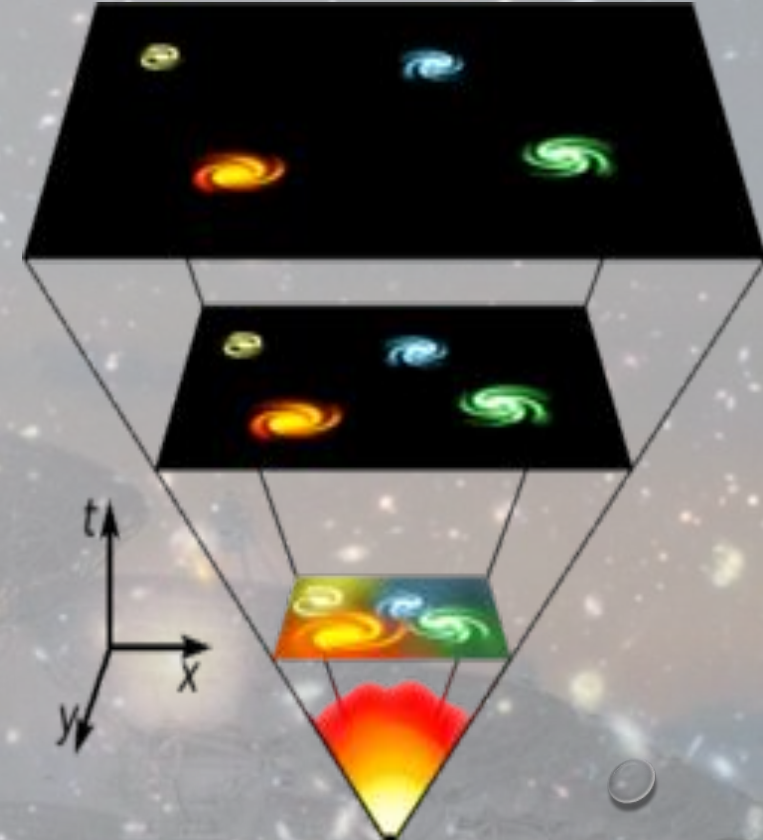




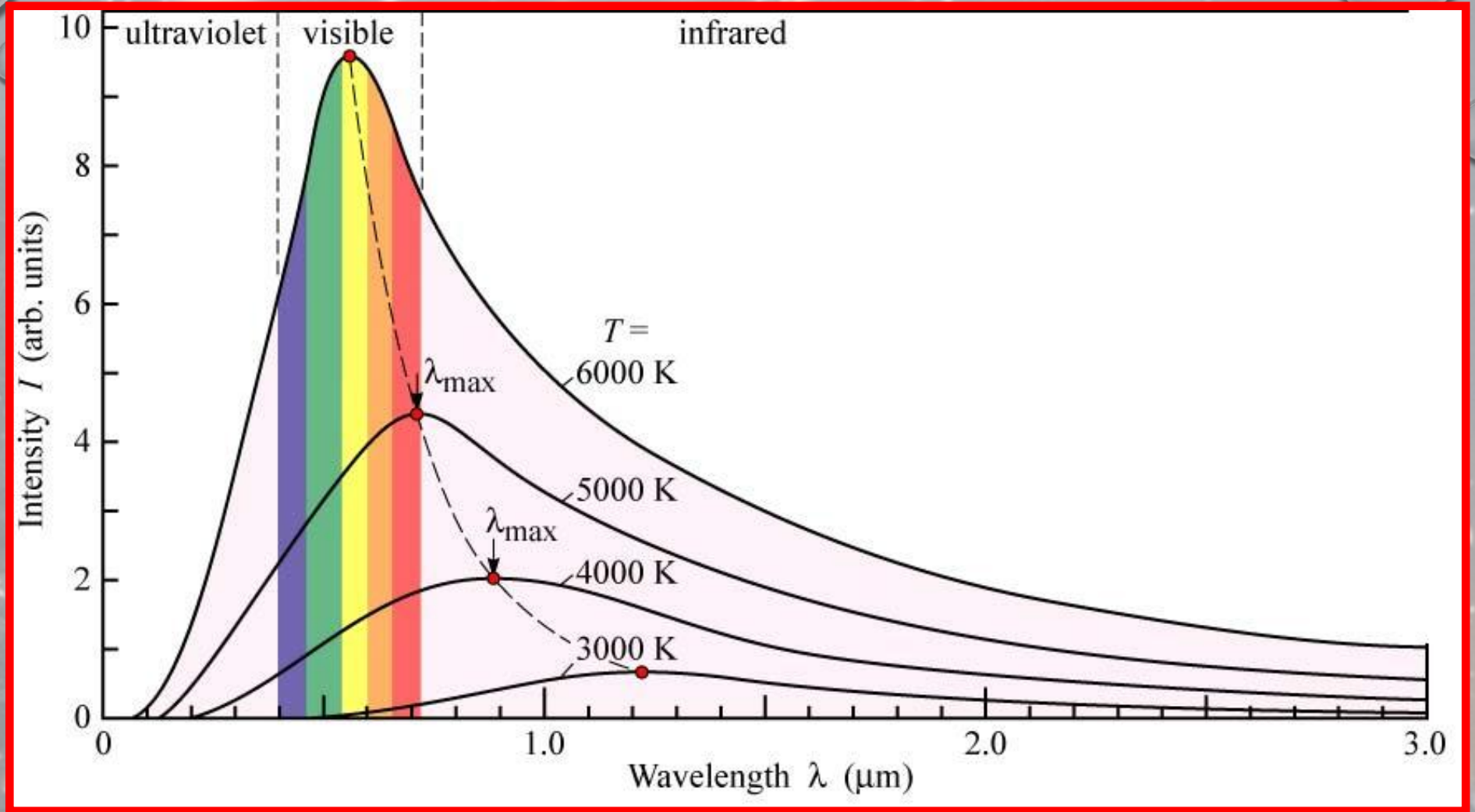
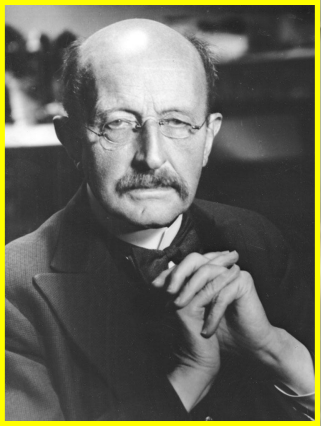
# Passato, presente e futuro

Le evidenze osservative ci mostrano un universo in evoluzione.

- Ci sono tre storici “esperimenti” che ci hanno portato al concetto di “big-bang”:
  - 1) la radiazione cosmica di fondo;
  - 2) la recessione delle galassie;
  - 3) le abbondanze cosmiche degli elementi.







**Max Planck, nel 1900 aveva derivato, fra molte altre cose, una fondamentale relazione fra temperatura e radiazione emessa da un corpo.**

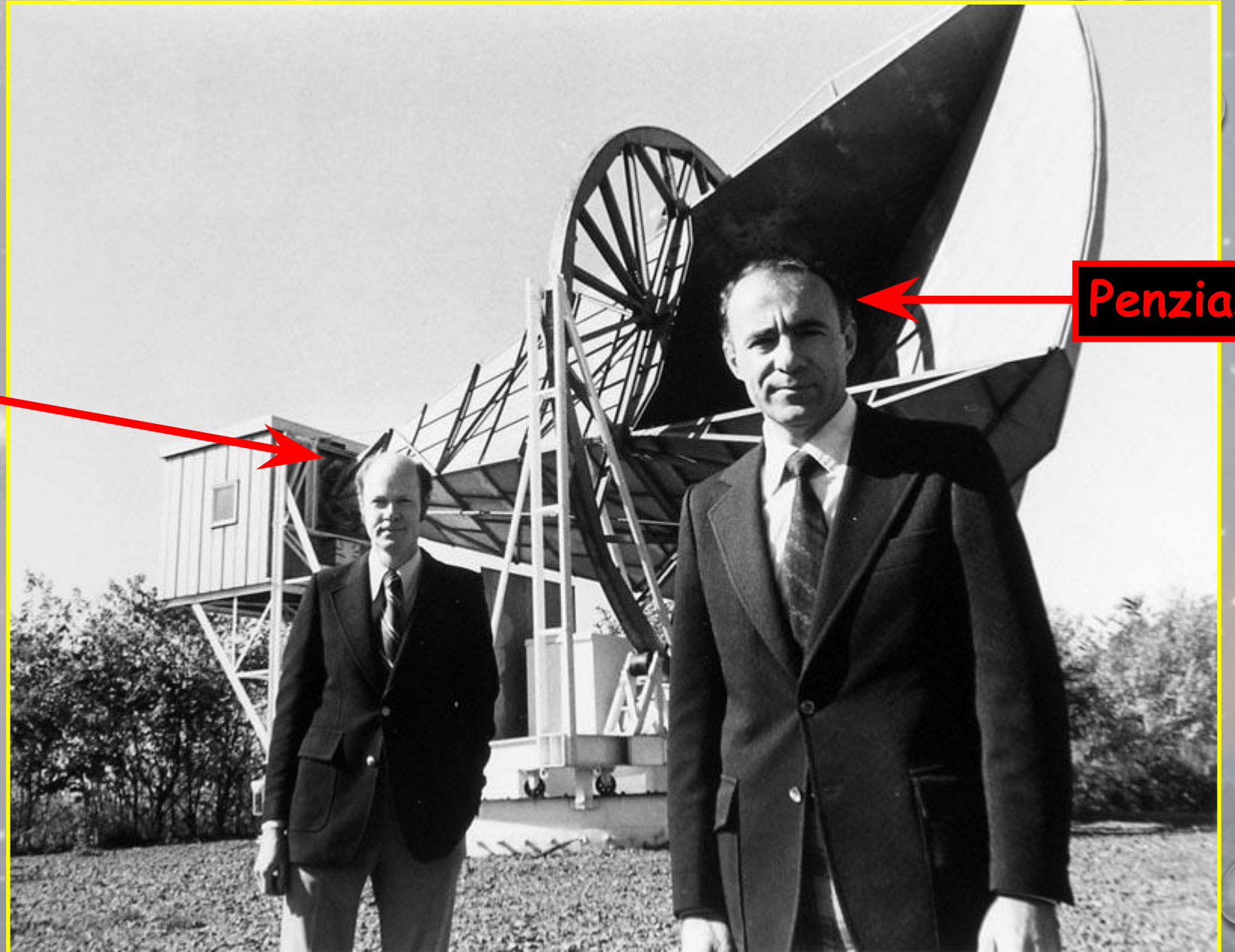


# Premi Nobel per la fisica nel 1978!

**Wilson**

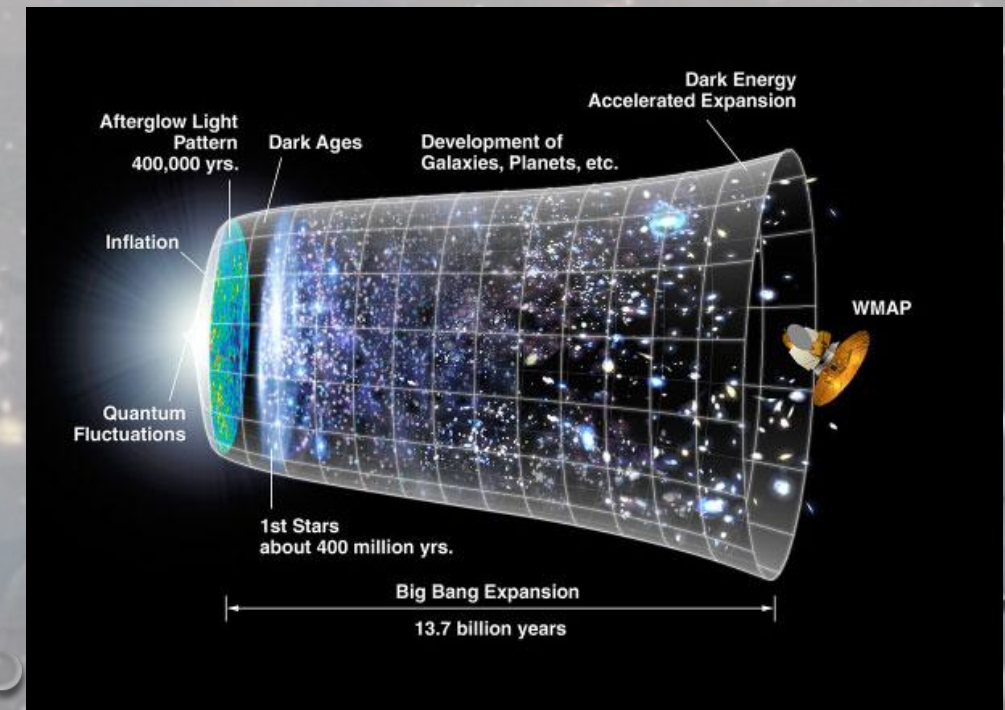
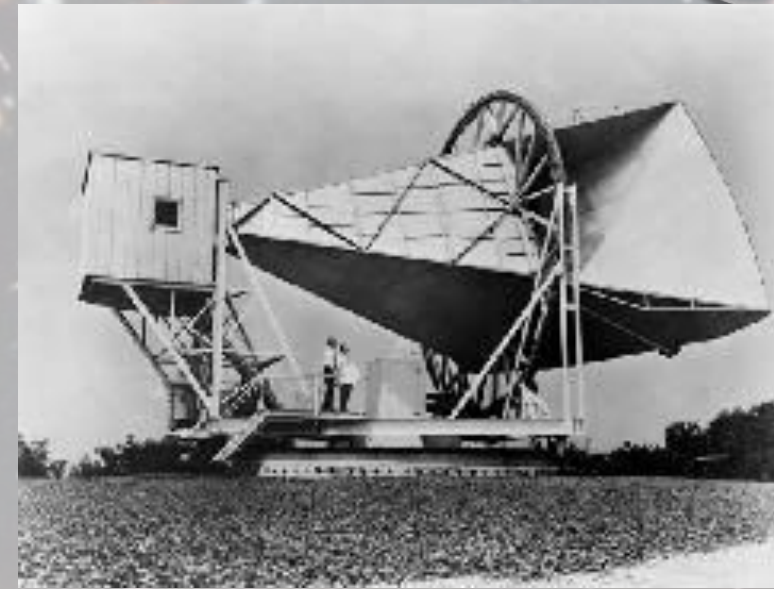
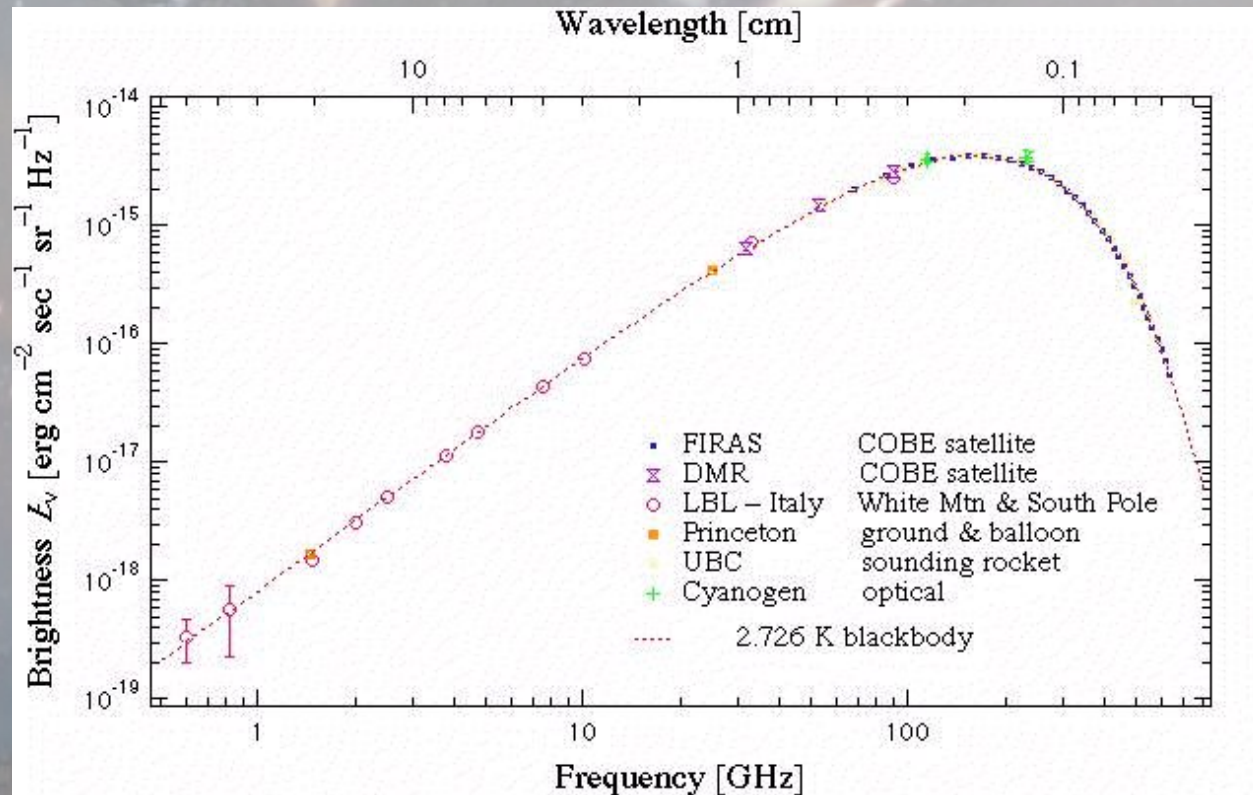
**Penzias**

Nel 1964 due ingegneri  
dei Bell Laboratories  
stavano studiando le  
prestazioni di antenne per  
le telecomunicazioni e...



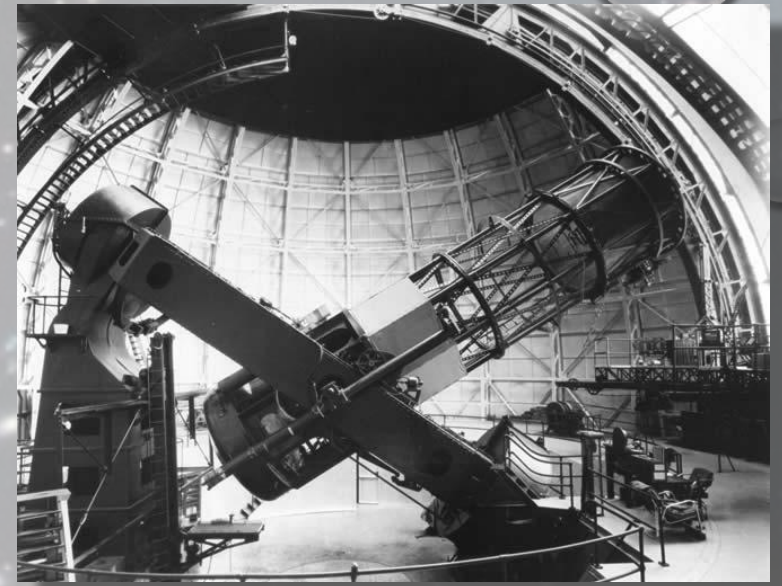


... casualmente, scoprono  
il famoso fondo cosmico a  
microonde!

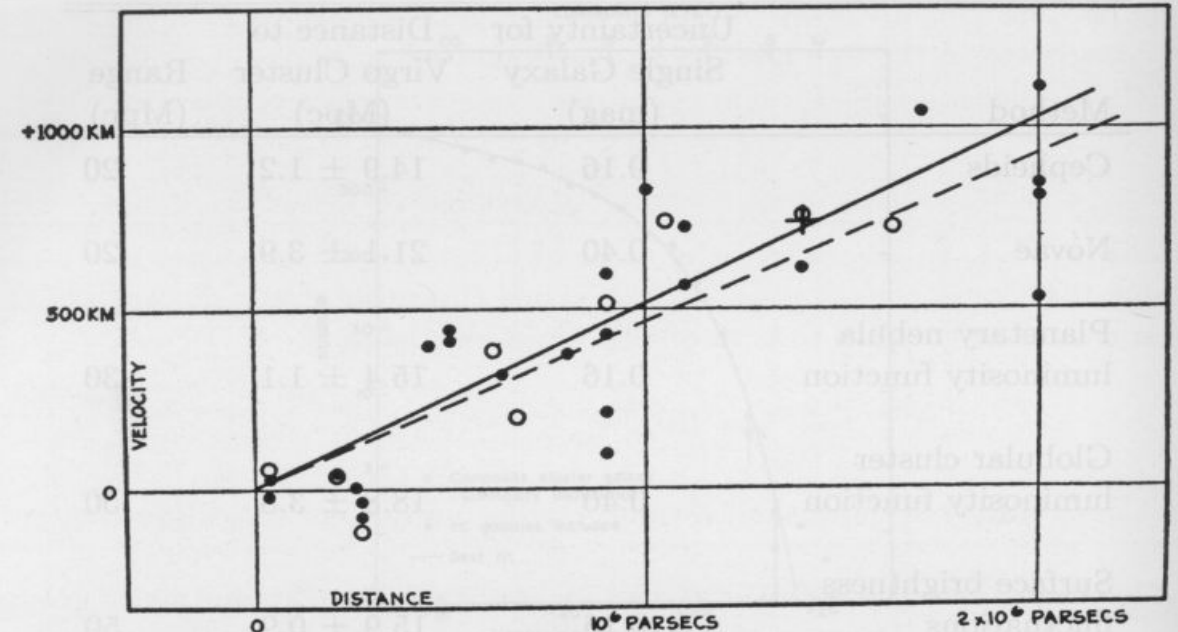




# Edwin Hubble e la recessione delle galassie

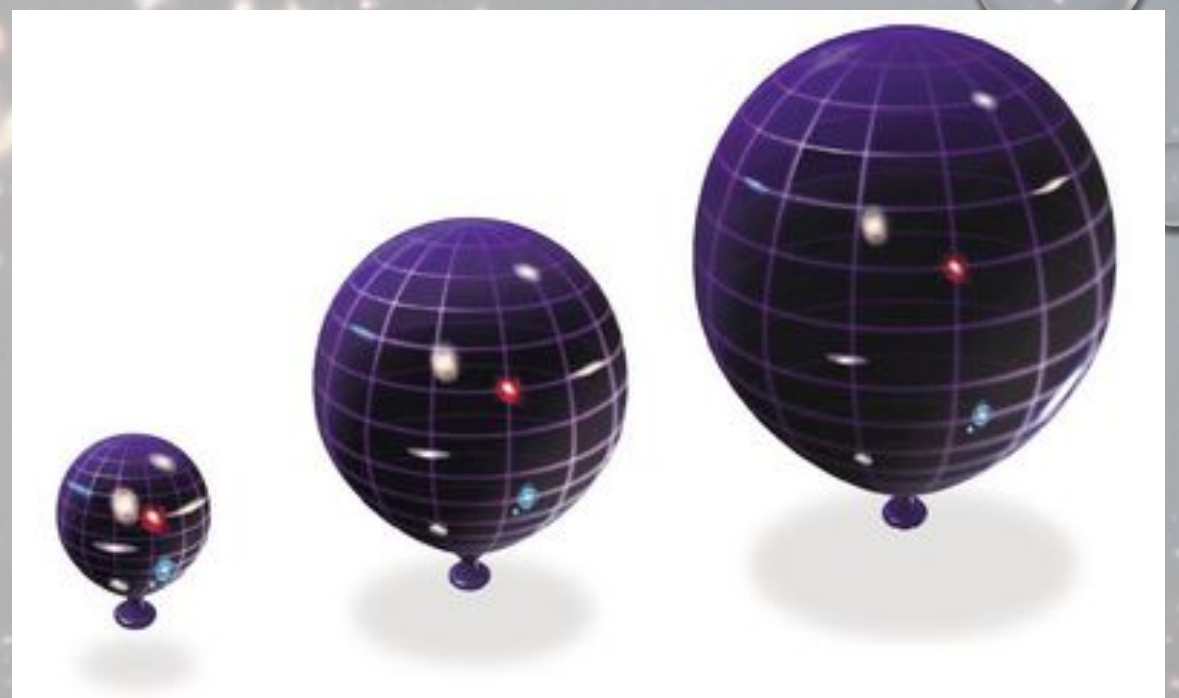
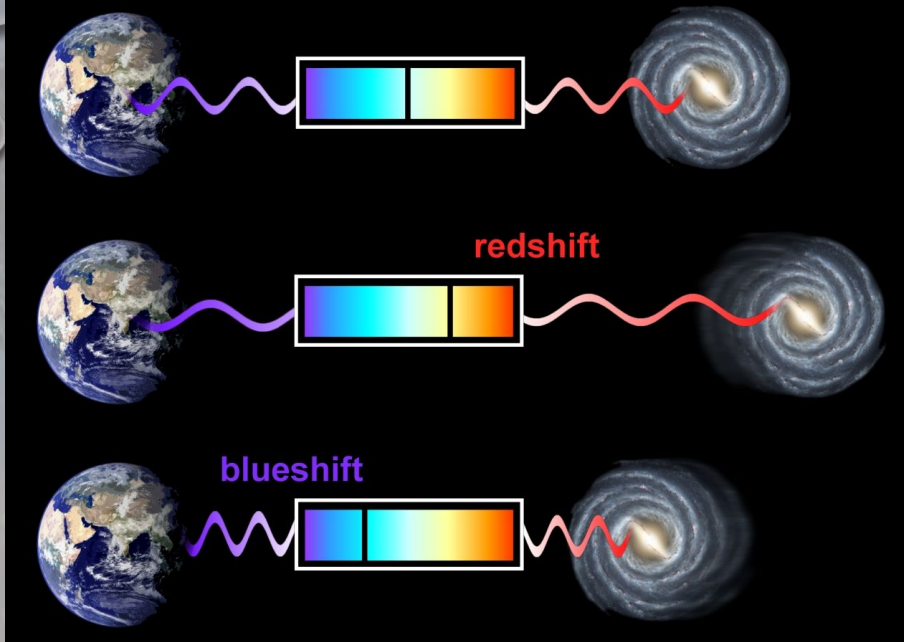


Velocità di recessione  $v=cz$



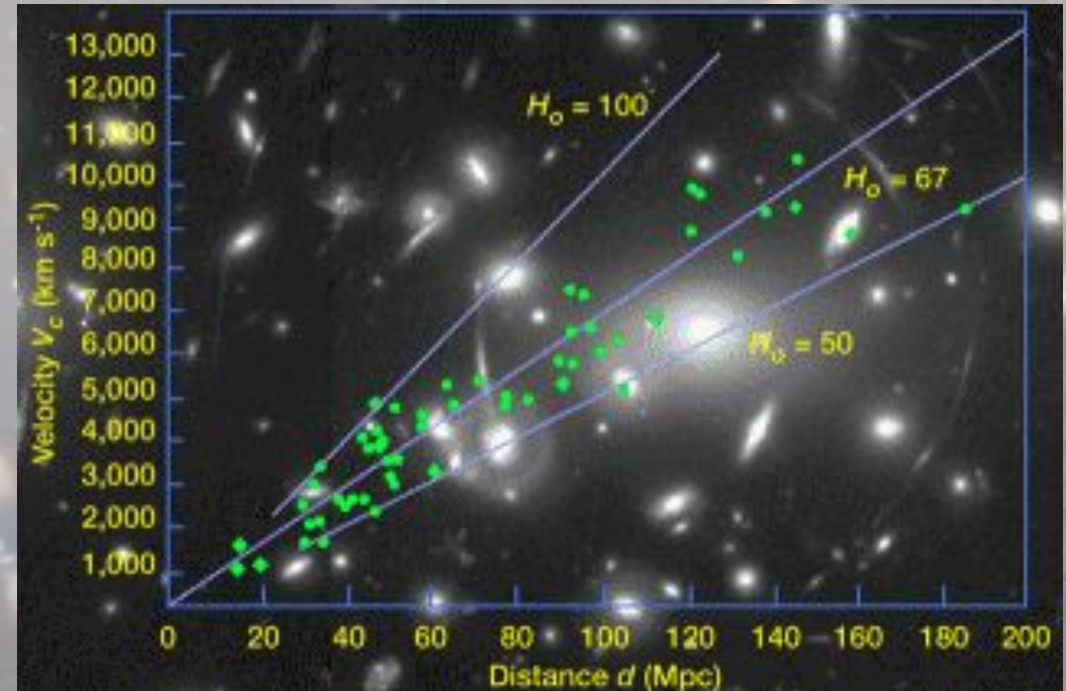


## L'effetto Doppler



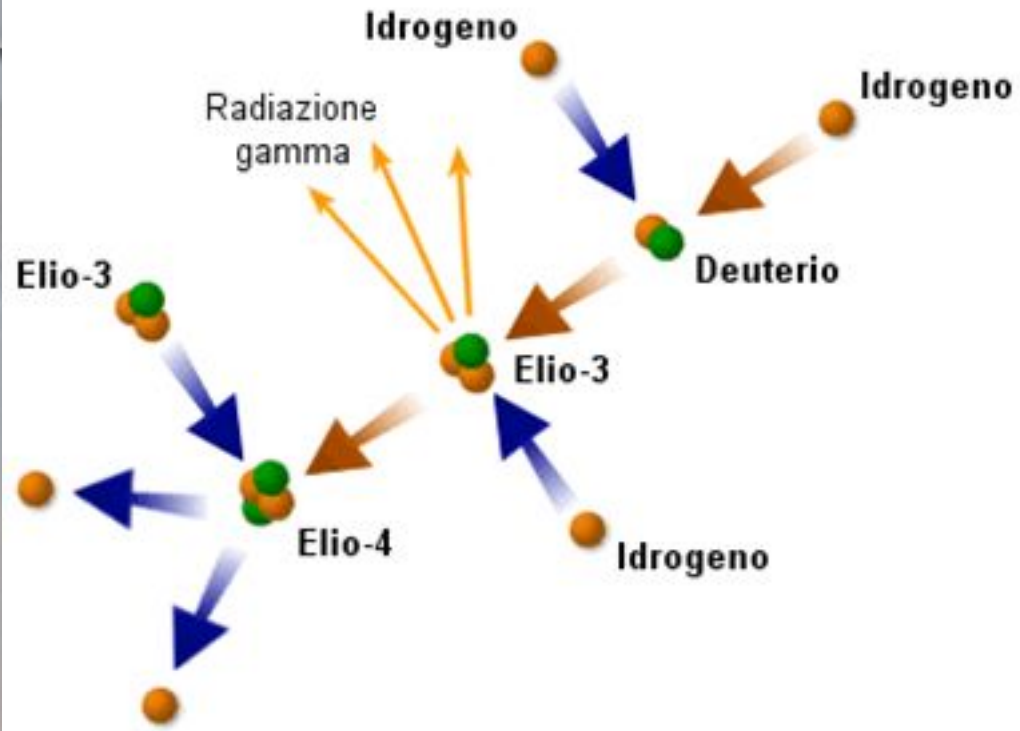
$$V = H \times d$$

**1/H è una stima approssimativa della durata dell'espansione, ovvero dell'età dell'universo!**



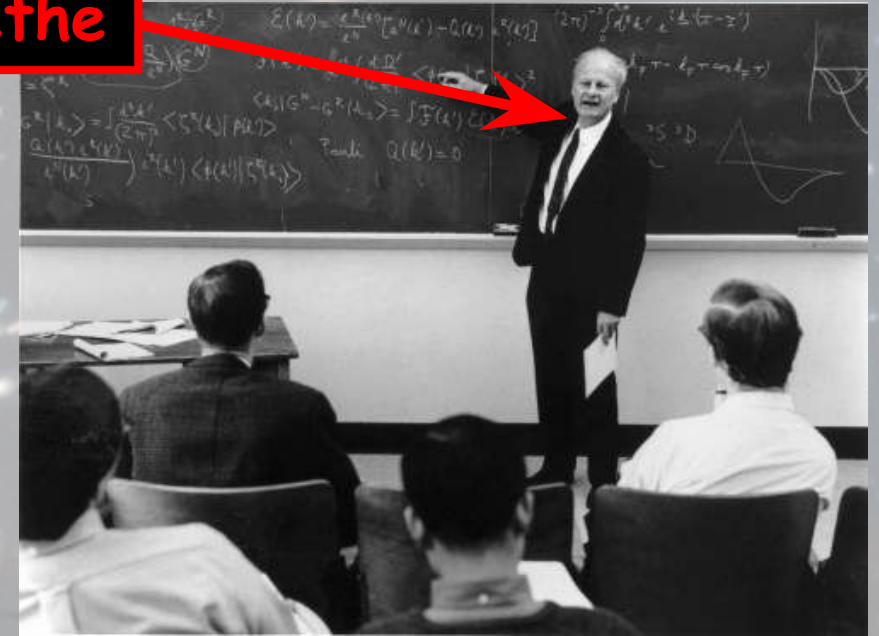


## La fusione nucleare

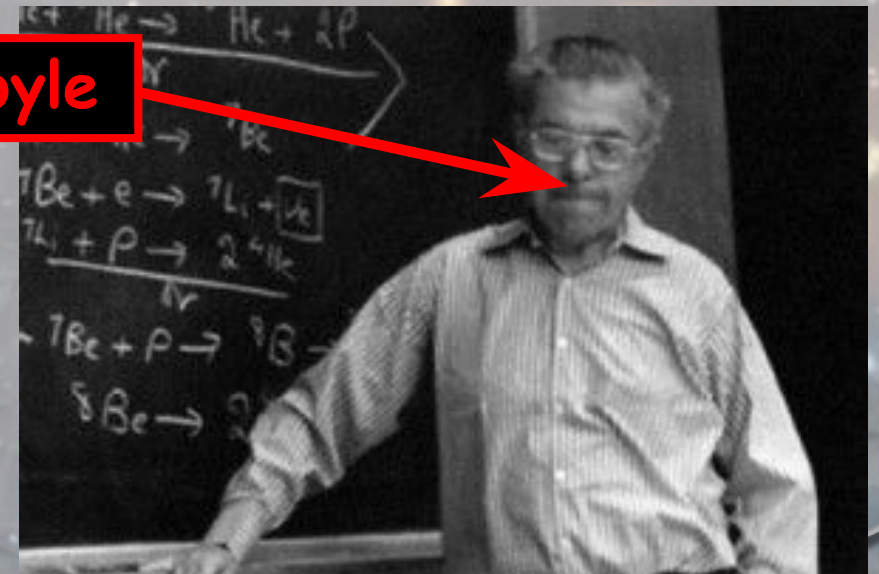


Hans Bethe identifica il principale meccanismo di produzione di energia delle stelle. Fred Hoyle negli anni '50 propone altre reazioni che completano il quadro.

Bethe

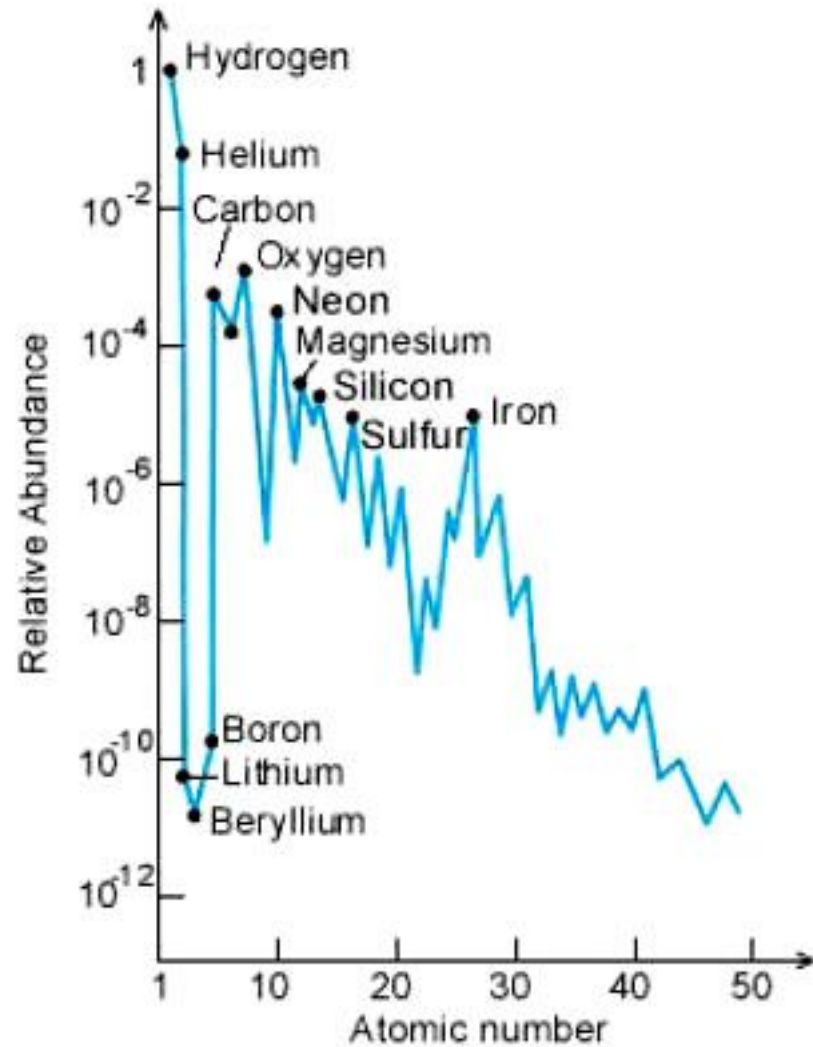


Hoyle



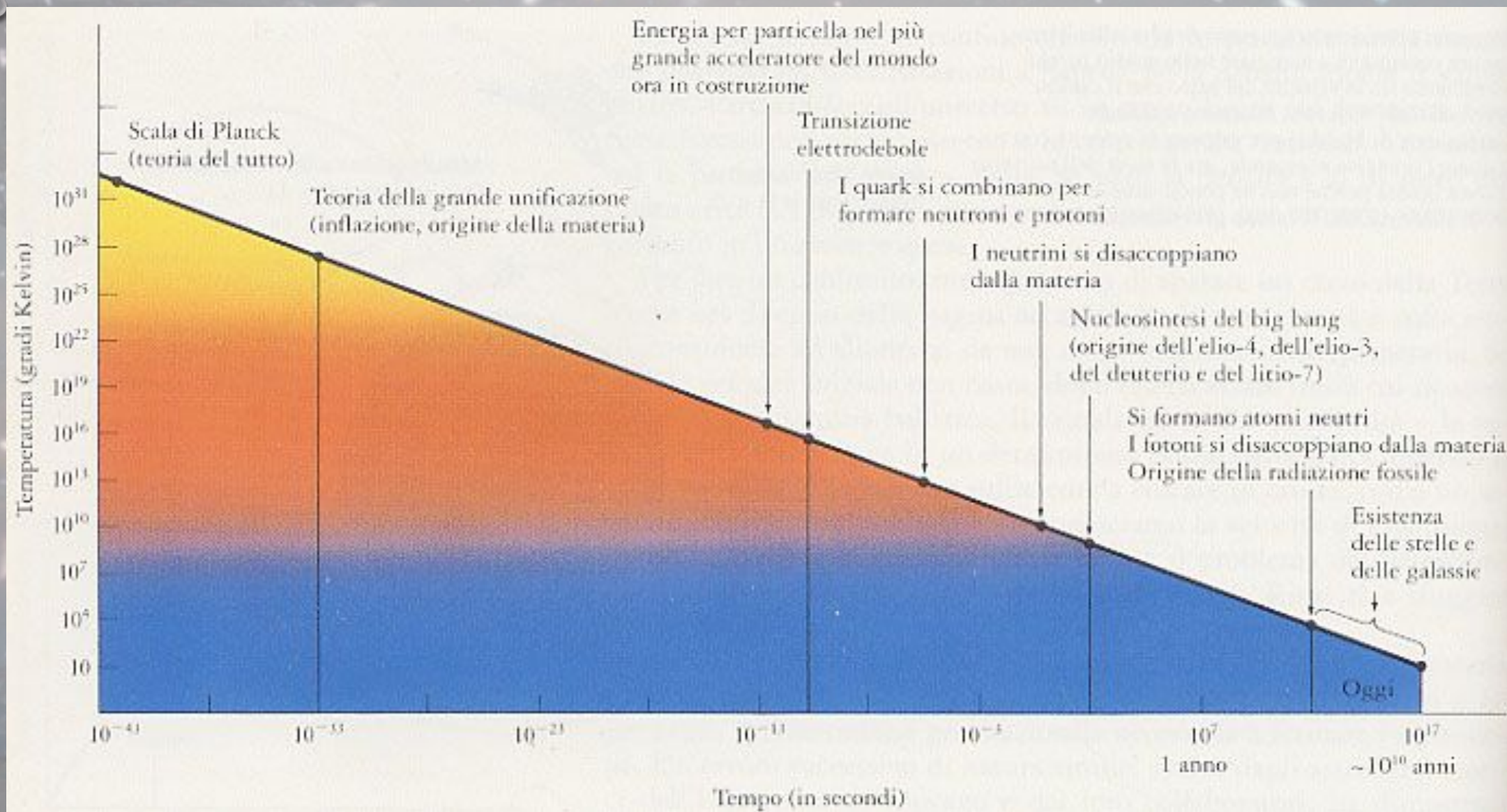


**Gli elementi chimici che conosciamo si formano per fusione nucleare all'interno di stelle, e durante le fasi di esplosione di una supernova.**





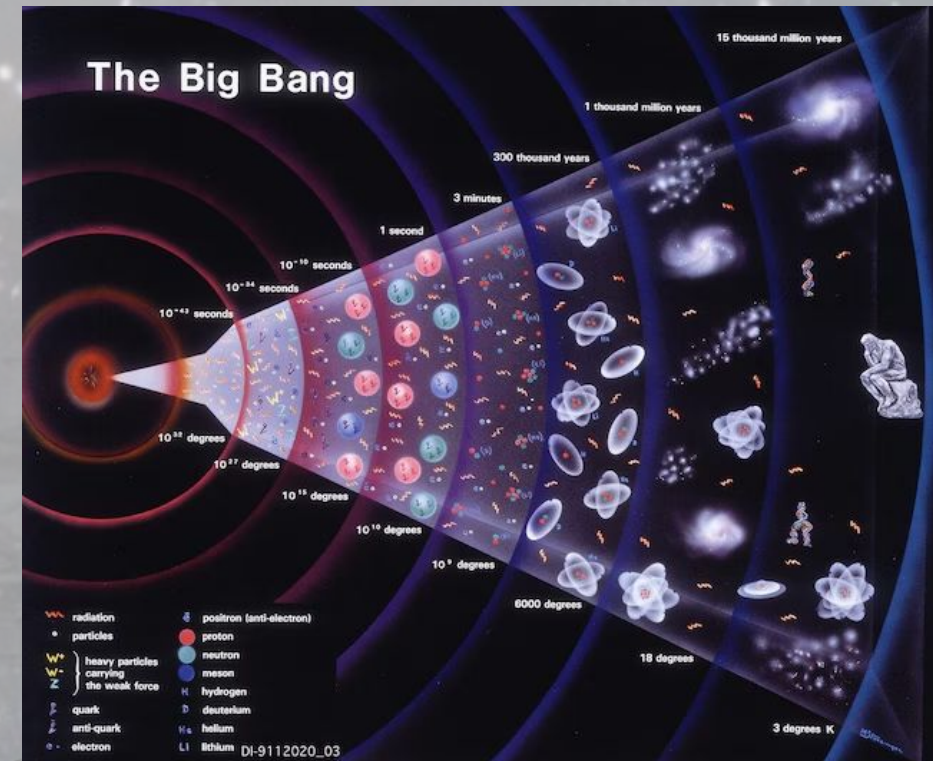
**In realtà cosa sia successo al tempo “zero” non lo sappiamo... le nostre conoscenze sono “soddisfacenti” solo a partire da circa  $10^{-11}$  s dal big-bang. Un'enormità!**





# Per quanto possa sembrare una sorta di “frase fatta”, è vero che gran parte degli eventi importanti nella storia dell’Universo sono accaduti nei “primi quindici minuti”!

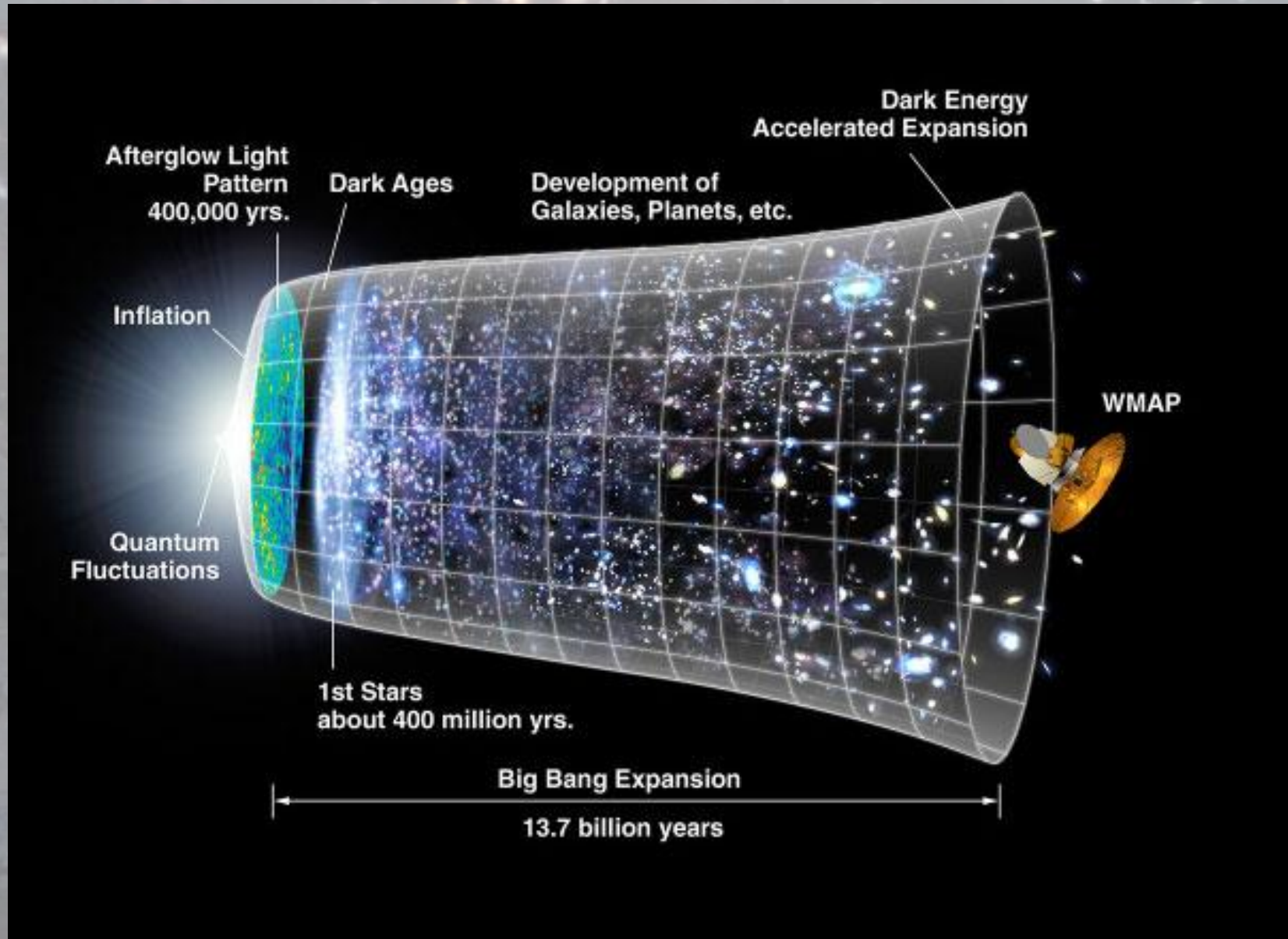
- A (circa) 0,01s abbiamo solo protoni, neutroni, neutrini ed elettroni. Ma la densità di energia è ancora troppo alta per la formazione di nuclei stabili.
- Intorno a tre minuti di vita comincia la formazione dei nuclei, formando ad esempio deuterio, ed elio. A seconda della rapidità dell’evoluzione possiamo calcolare con precisione le abbondanze relative di idrogeno, elio e dei vari isotopi (le abbondanze cosmiche degli elementi!).
- Intorno al quarto d’ora cominciano a definirsi i “semi” per le future aggregazioni di materia.
- In seguito, 3-400mila anni circa, la radiazione e la materia smettono di essere in equilibrio generando una superficie di ultima interazione: il fondo cosmico a microonde!





# Una breve parentesi su un tema “caldissimo”!

## Il futuro dell'Universo

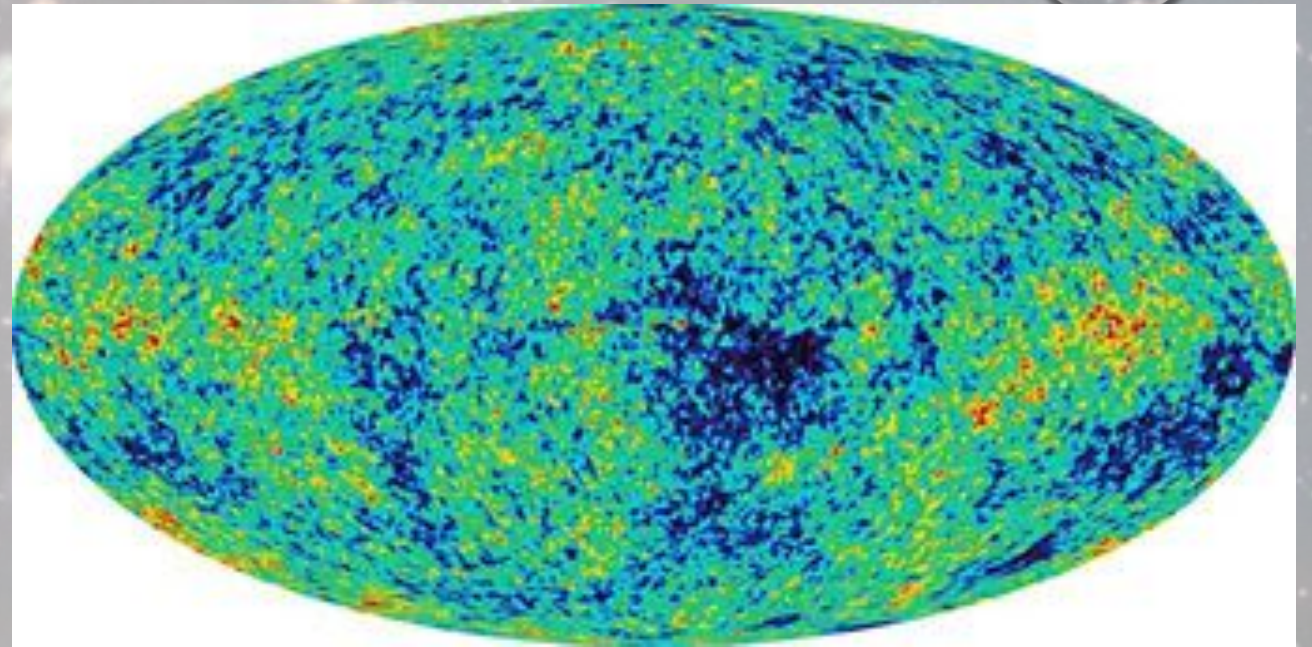
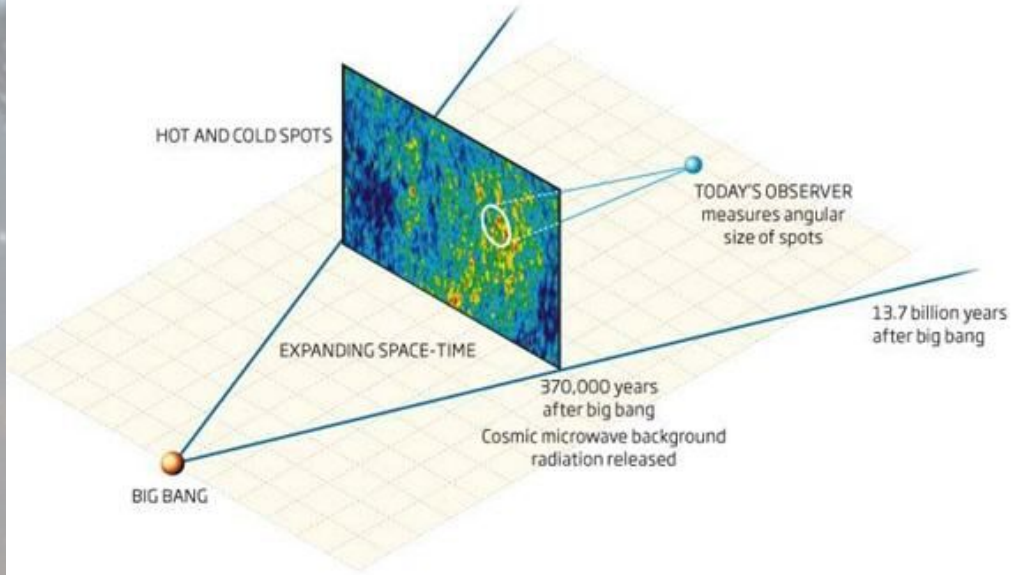




# The shape of the universe

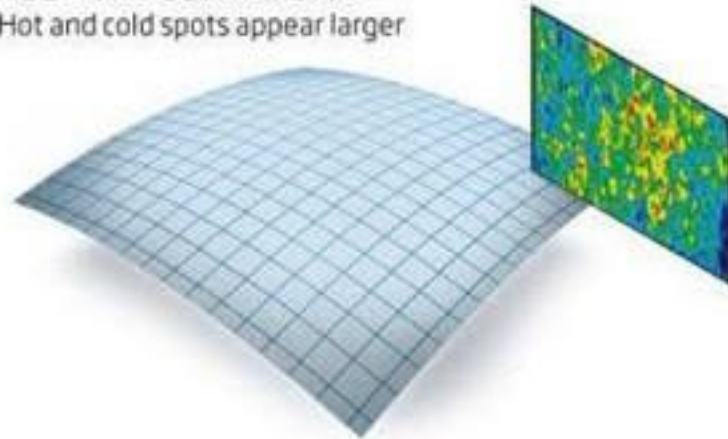
The cosmic microwave background radiation has hot and cold spots whose apparent size depends on the geometry of space-time and how far light has travelled since the radiation was released

## FLAT UNIVERSE



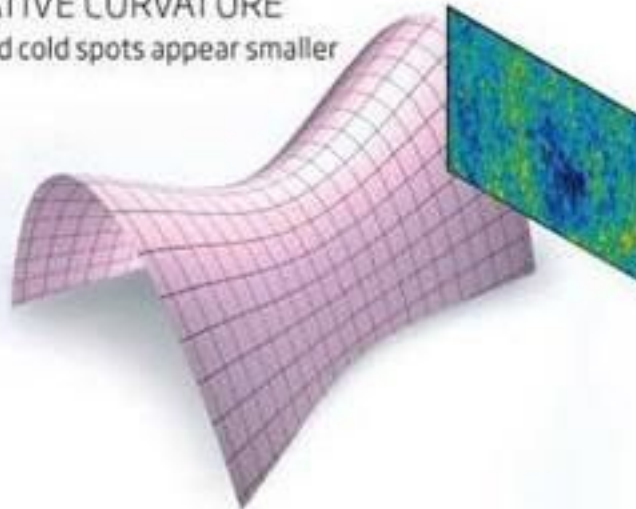
## POSITIVE CURVATURE

Hot and cold spots appear larger



## NEGATIVE CURVATURE

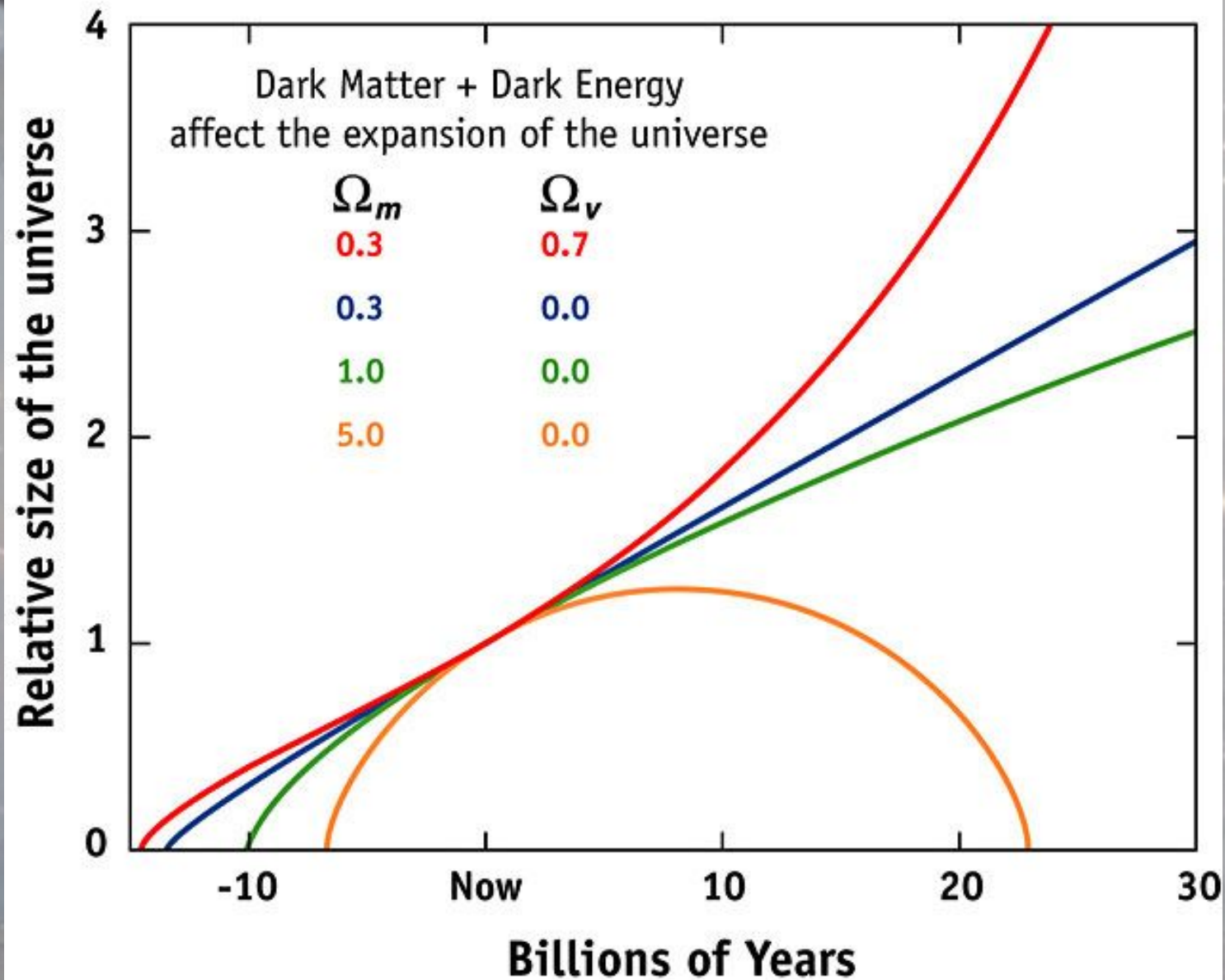
Hot and cold spots appear smaller



# II satellite Planck



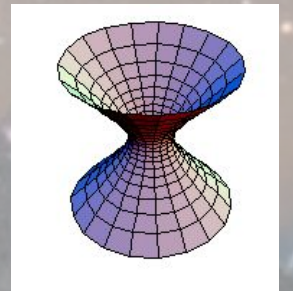
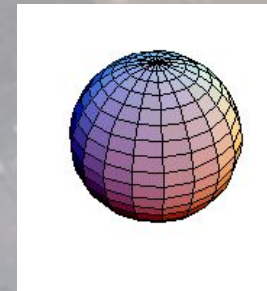
# EXPANSION OF THE UNIVERSE



**Materia, energia,  
vuoto...**

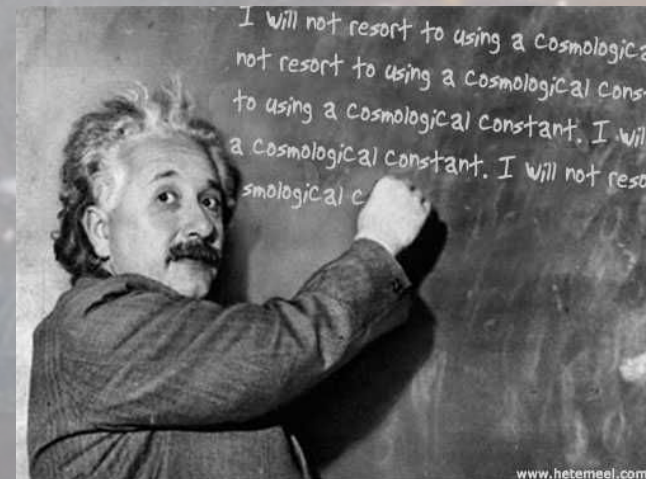
$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho$$

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3} (\rho + 3p)$$





- ≈ 73% è qualche tipo di energia  
chiamata energia oscura.**





# Le galassie

**Quando l'universo si è raffreddato a sufficienza la materia comincia a creare aggregati autogravitanti: le stelle e le galassie!**

**Le galassie possono formarsi in forme e dimensioni molto varie.**

- **Una galassia come la nostra, la Via Lattea, è composta da gas, polveri, e almeno un centinaio di miliardi di stelle!**

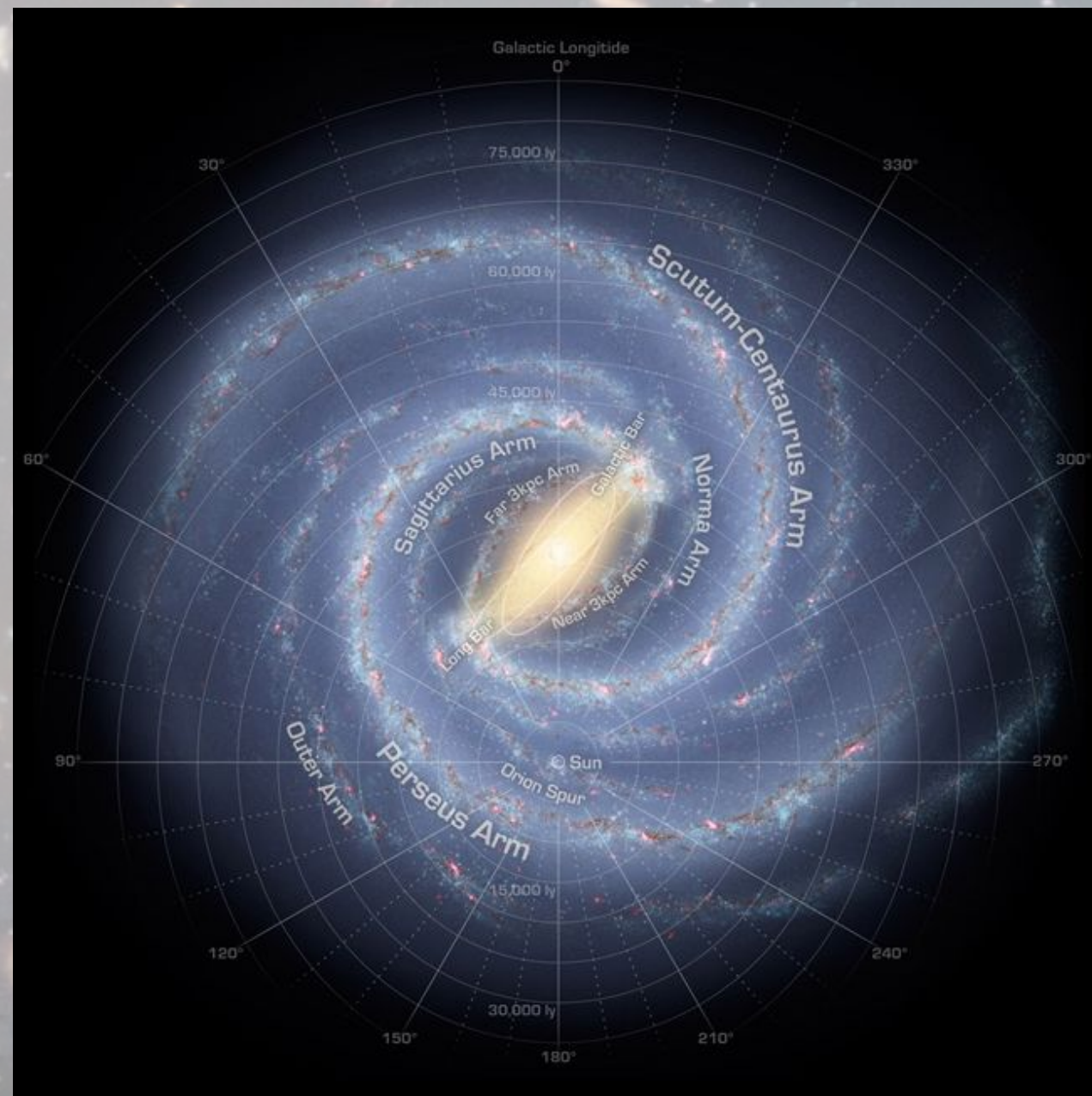




# Le Via Lattea

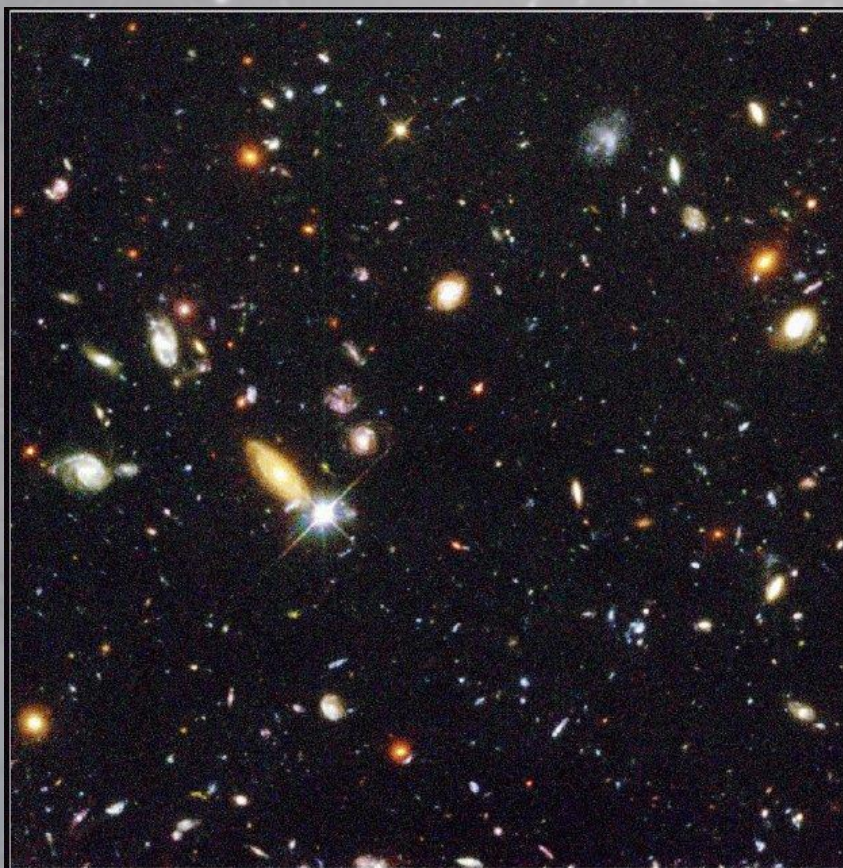
Evidentemente, essendone immersi, non possiamo avere immagini della nostra Galassia dall'esterno. Ma abbiamo una buona idea di come dovrebbe apparire.

Una galassia a spirale, probabilmente barrata, di taglia simile, anche se forse più piccola, alla vicina galassia di Andromeda.





In immagini “profonde”, a parte qualche sporadica stella della nostra Galassia che appare lungo la linea di vista, ogni oggetto è una galassia a varie distanze da noi.



**Hubble Deep Field**  
Hubble Space Telescope • WFPC2



Distant Galaxies in "AXAF Deep Field" (VLT ANTU / ISAAC + NTT / SUSI-2)

ESO PR Photo 06b/00 (17 February 2000)

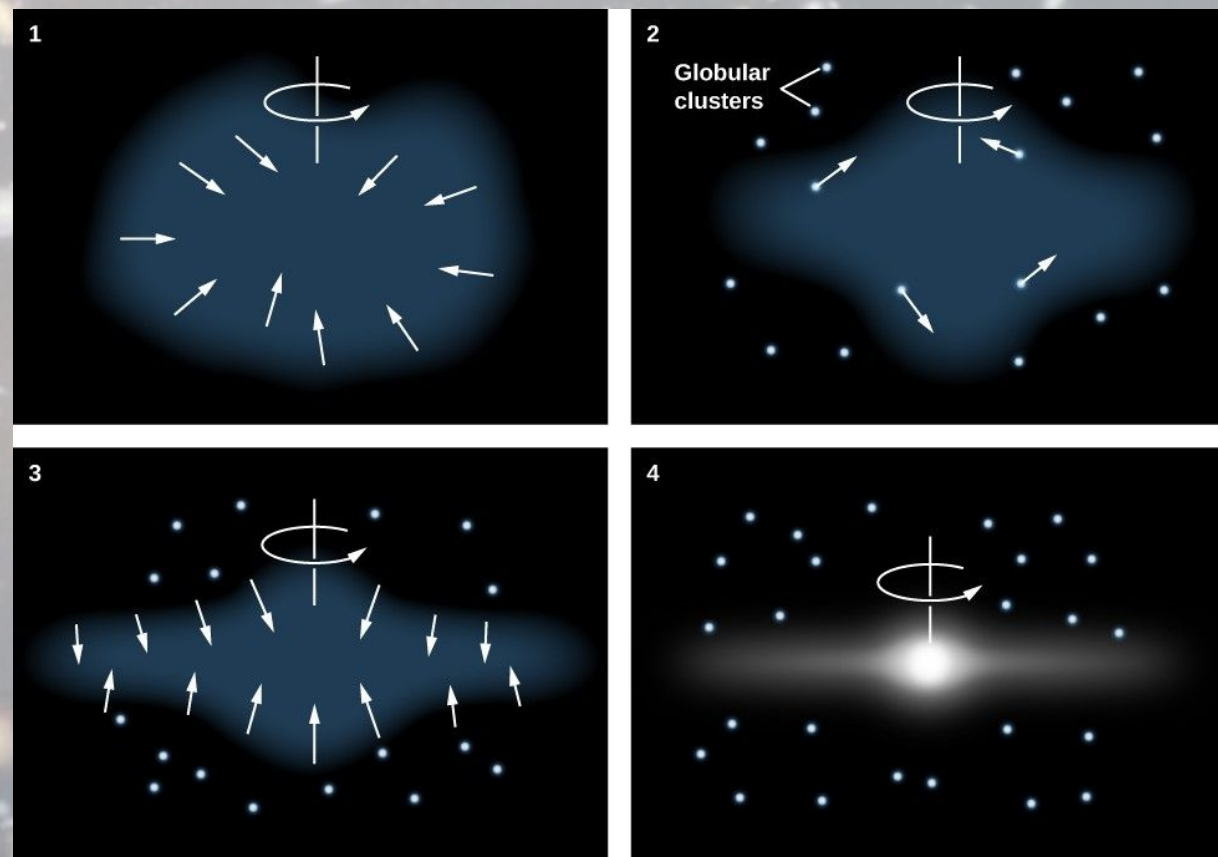
© European Southern Observatory





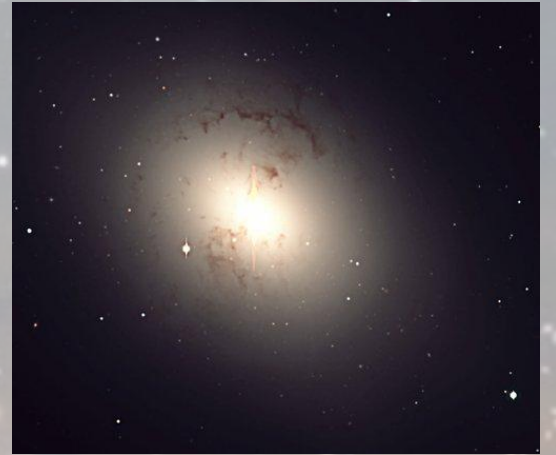
**Ma come si formano questi grandi agglomerati di materia? Si tratta di un fenomeno complesso che vede interagire l'espansione dell'Universo contrastata dalla gravità della materia e con l'intervento essenziale della materia oscura.**

- **La materia era diffusa in maniera sostanzialmente uniforme nell'Universo primordiale.**
- **Tuttavia piccole disuniformità erano presenti e le regioni più dense cominciarono ad attrarre altra materia;**
- **Si formano le cosiddette “nubi protogalattiche” (e nel frattempo si formano le prime stelle).**



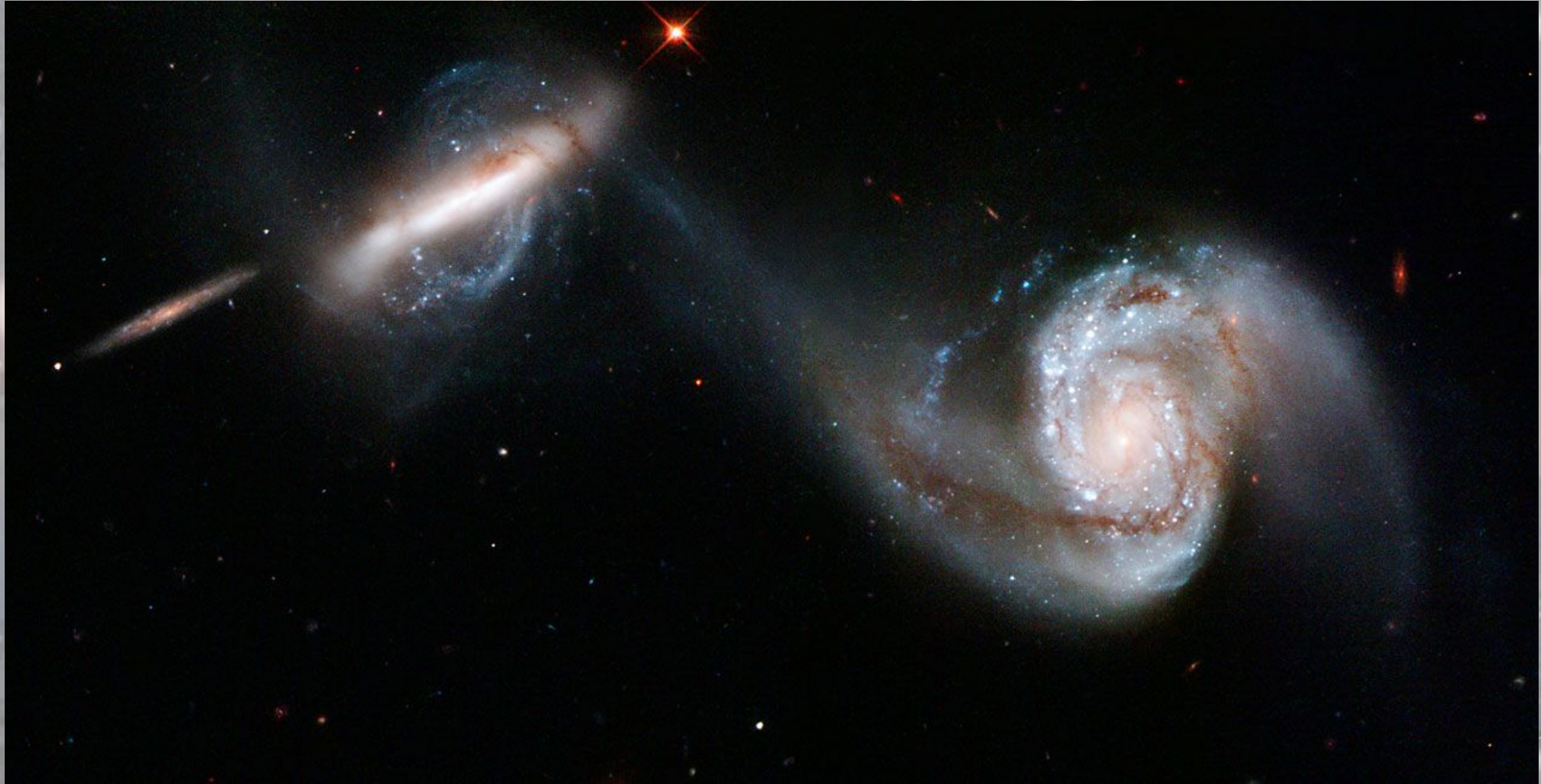


**A questo punto l'evoluzione delle nubi protogalattiche dipende da molti fattori come la rotazione, la densità delle nubi e la complessa storia di esplosioni di supernove che energizzano il mezzo interstellare.**





**Un altro aspetto importante è che mentre le stelle, anche nelle galassie, sostanzialmente evolvono senza interazioni fra loro (quasi...) le galassie possono scontrarsi, fondersi, ecc.**





**Le galassie in effetti si possono raggruppare in gruppi, ammassi, anche di migliaia di sistemi, e interagire fra loro. Sono letteralmente i mattoni dell'universo!**

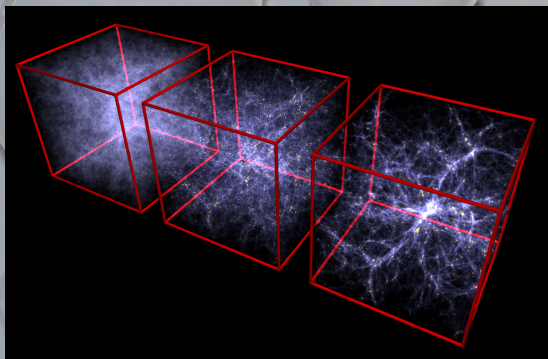




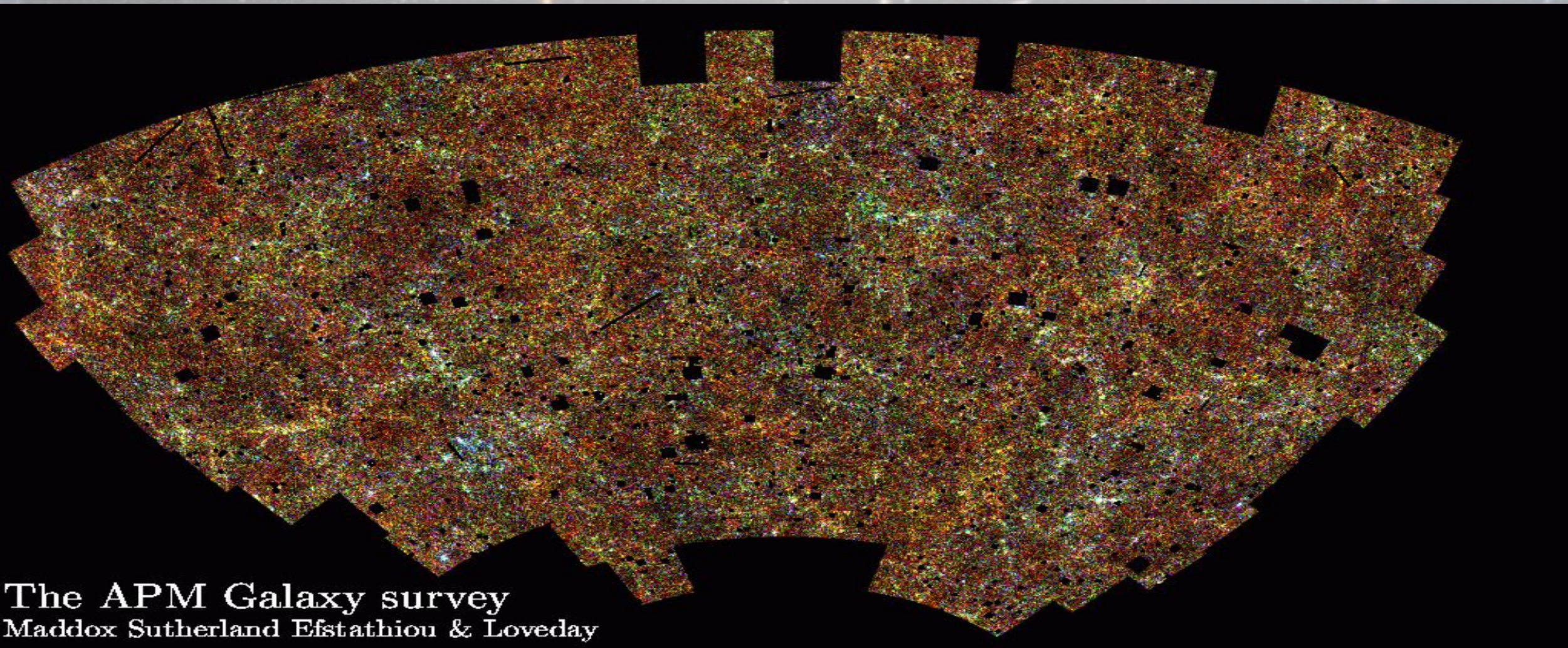
**Le collisioni sono spesso un potente meccanismo che scatenare la formazione stellare!**







**I vari parametri dell'Universo determinano la  
strutture su grande scala delle galassie.**



**The APM Galaxy survey**  
Maddox Sutherland Efsthathiou & Loveday



# Nascita e morte delle stelle

Sebbene si tratti di espressioni un po' antropomorfe, a tutti gli effetti le stelle “nascono” e “muoiono”!



Le stelle di grande massa possono esplodere in maniera spettacolare come supernove, quelle di massa più piccola si “spengono” dopo diverse fasi di notevole interesse (giganti rosse, ecc.).

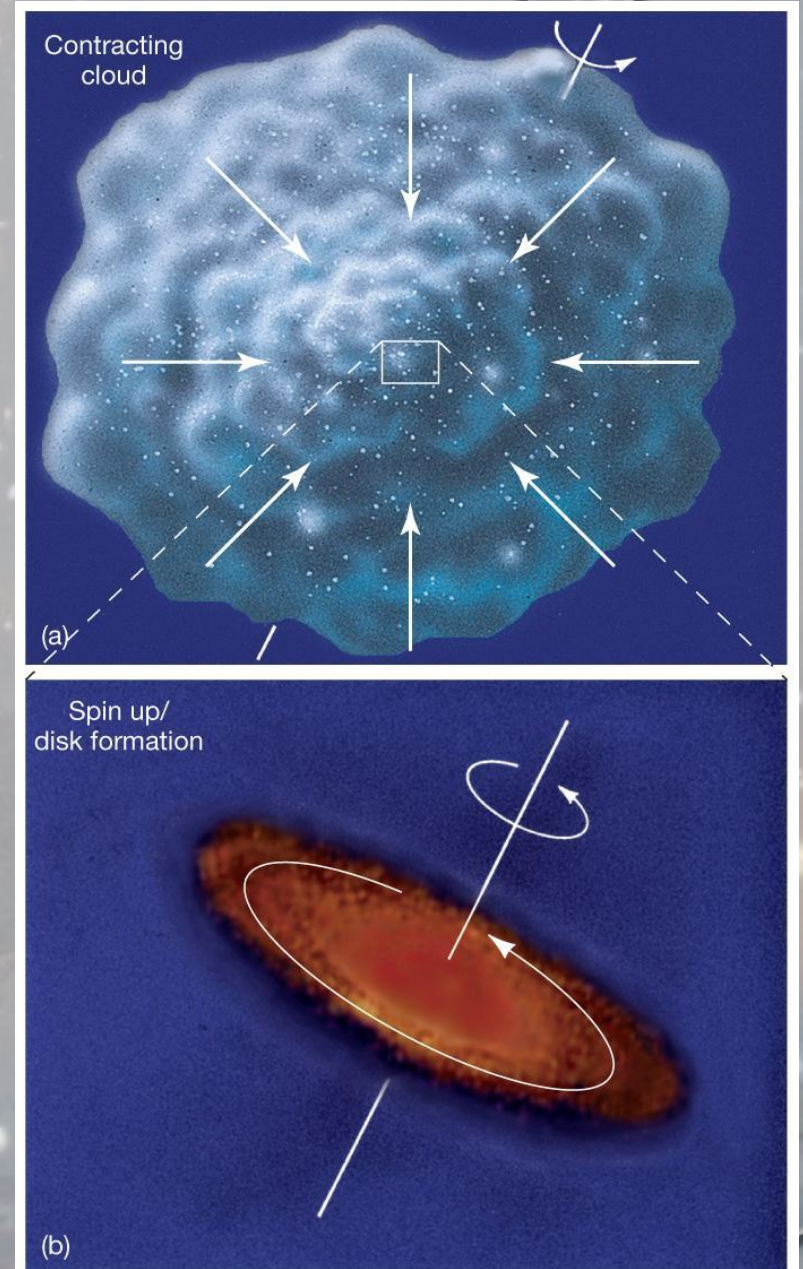


# La formazione delle stelle

- Nella sola nostra galassia ci sono qualche centinaio di miliardi di stelle. E tuttavia la formazione stellare è uno dei più formidabili problemi dell'astrofisica!

L'idea di base, però, è relativamente semplice:

- Nubi di materiale interstellare, gas e polveri, iniziano a contrarsi (per qualunque ragione) guidate dalla propria gravità.
- Diventano quindi sempre più dense e calde, e se il processo prosegue al centro si raggiungono temperature sufficienti per innescare una fusione nucleare.
- Mano a mano che prosegue la contrazione, la nube ruota più velocemente ed assume una forma schiacciata.





# Le nebulose proto-stellari

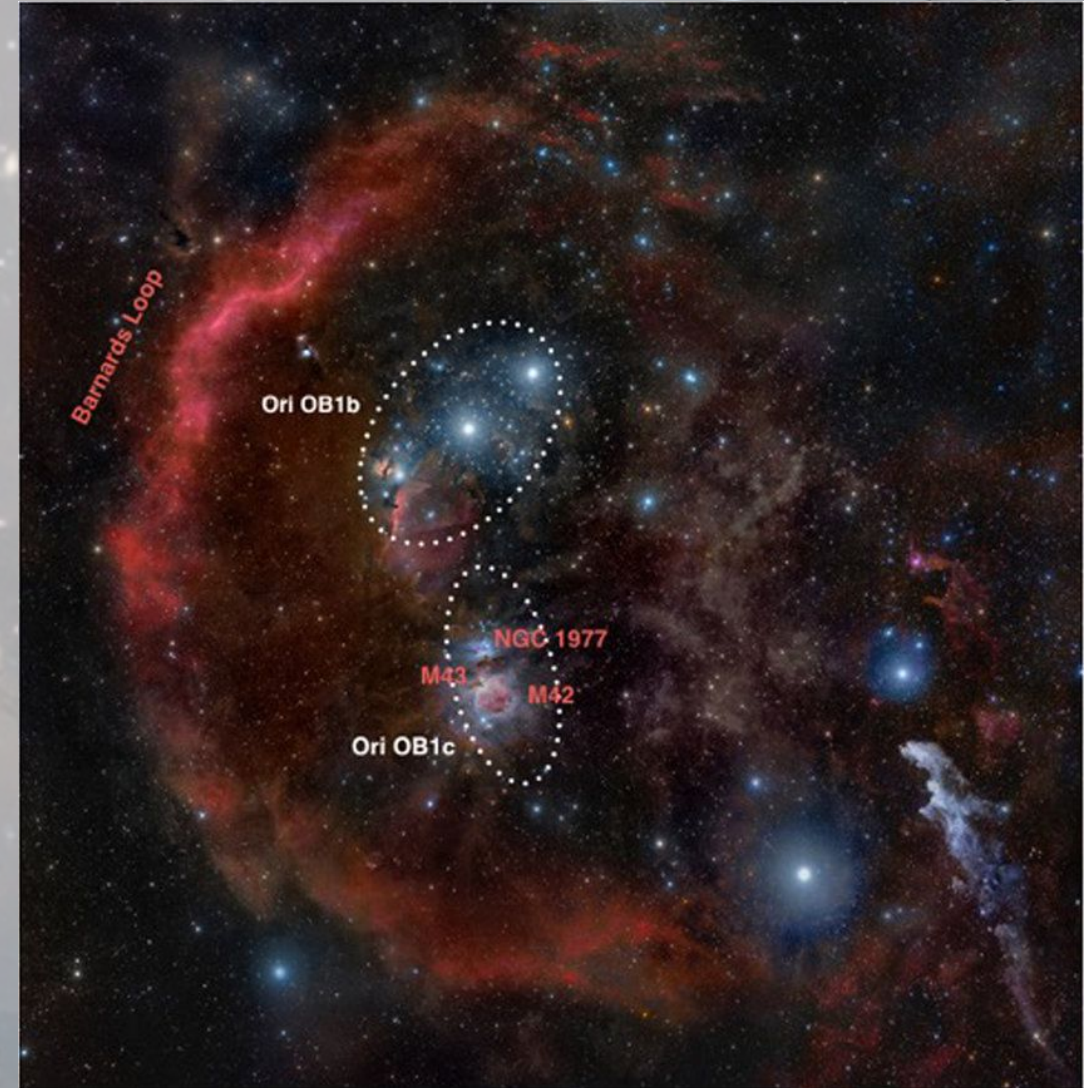
A prescindere da considerazioni dinamiche, le nebulose proto-stellari sono osservate in zone di recente formazione stellare: come ad esempio la famosa Nebulosa di Orione





# Le regioni di formazione stellare come laboratorio naturale

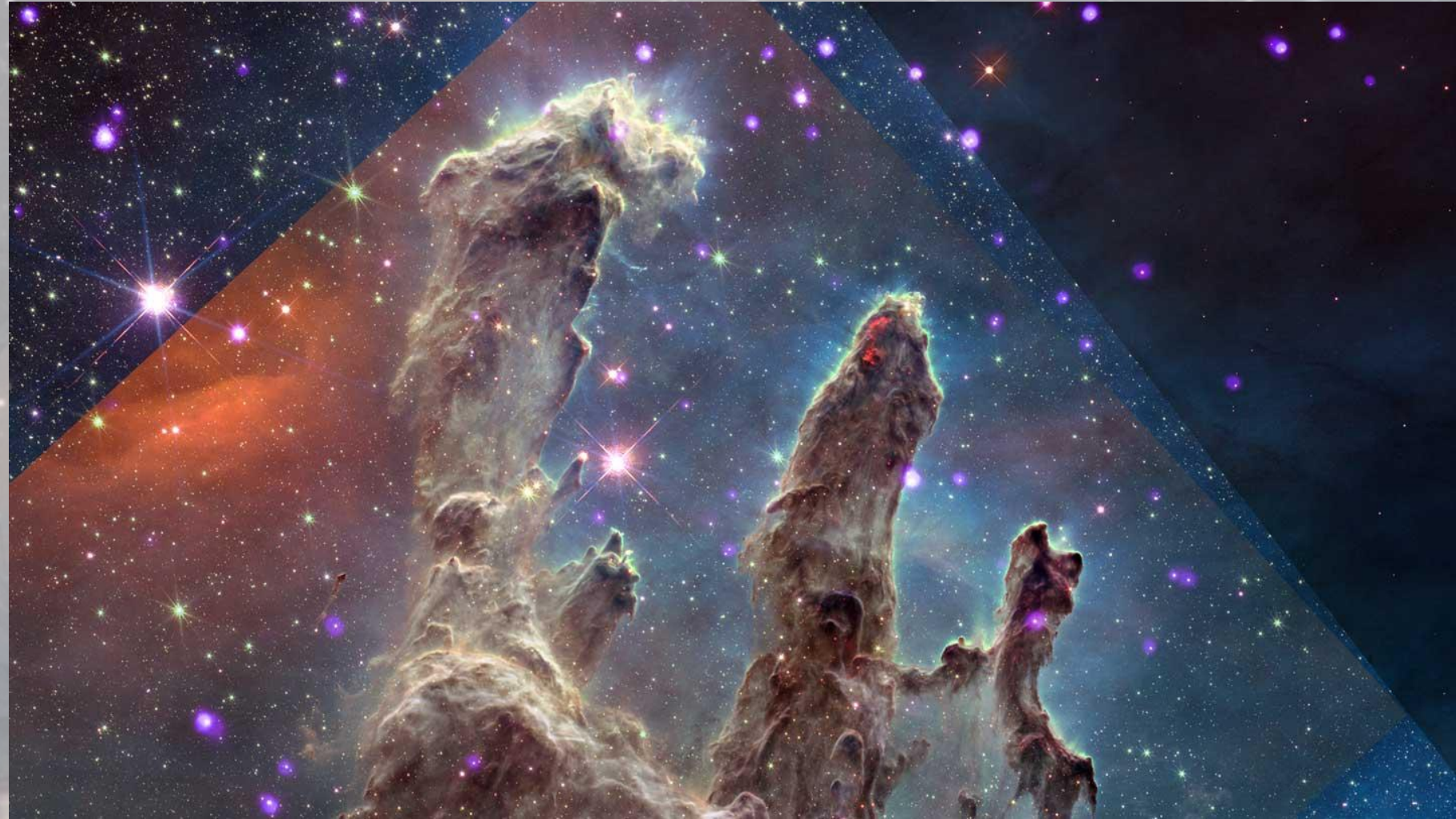
In una tipica zona di formazione si possono osservare proto-stelle in più fasi evolutive. Il fenomeno è complesso, influenzato da composizione chimica, campi magnetici, parametri ambientali, ecc.





# E magnifici spettacoli della natura...

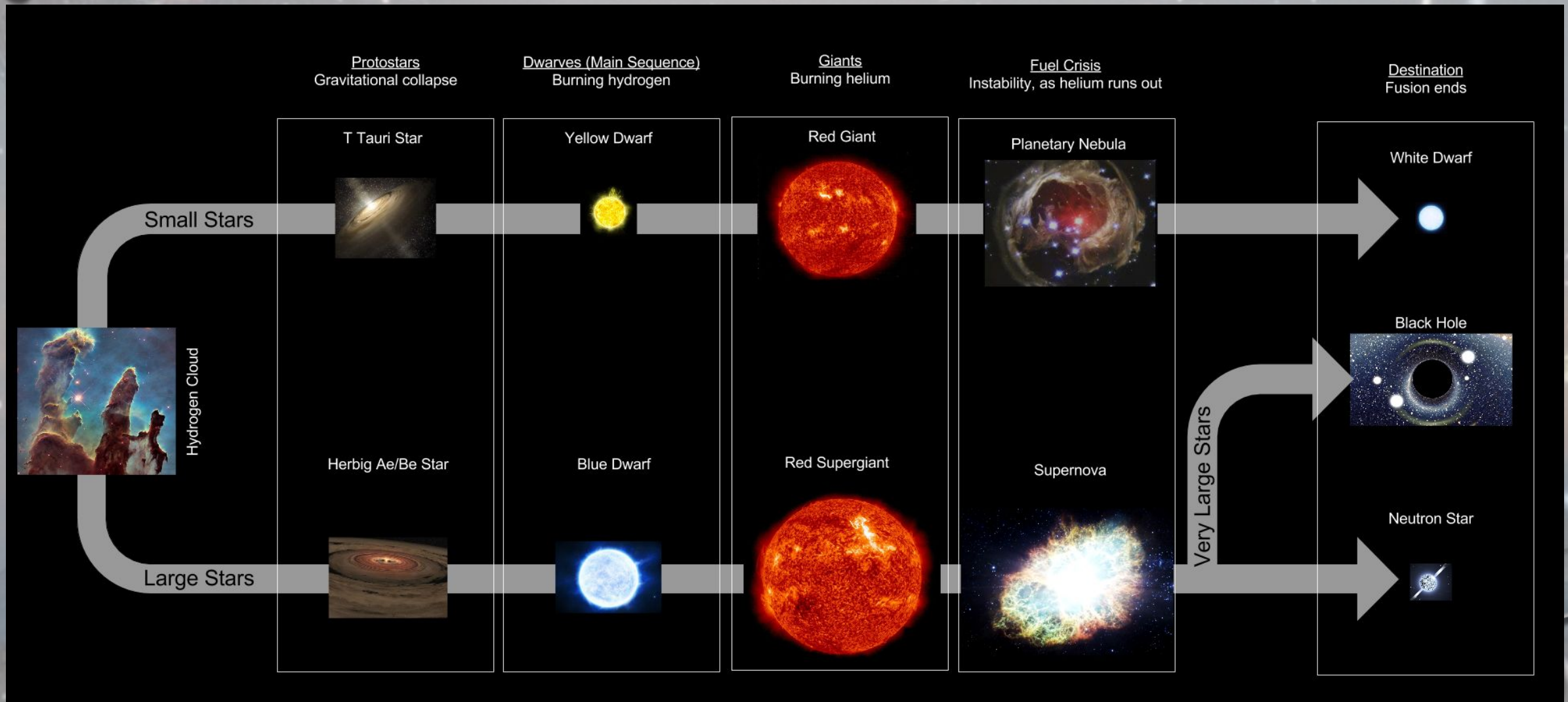
Le zone di formazione stellare sono in assoluto fra gli oggetti più “belli” del cielo!





# La “vita” delle stelle!

L'evoluzione delle stelle dipende in larga misura dalla loro massa. E, tramite diverse fasi di fusione nucleare intervallate da instabilità, il destino finale può essere una spettacolare esplosione, come un quieto raffreddamento...





# Grazie per l'attenzione!



O che l'Eroe che non sa riposi  
discenda nella Terra, o che si libri  
per le virtu' di cifre e d'equilibri  
oltre gli spazi inesplorati ed osi

tentar le stelle, o il Nautilo rivibri  
e s'inabissi in mari spaventosi:  
Maestro, quanti sogni avventurosi  
sognammo sulle trame dei tuoi libri!

La Terra il Mare il Cielo l'Universo  
per te, con te, poeta dei prodigi,  
varcammo in sogno oltre la scienza.

Pace al tuo grande spirito disperso,  
tu che illudesti molti giorni grigi  
della nostra pensosa adolescenza.

In morte di Giulio Verne  
Guido Gozzano