



Università della Terza Età "Cardinale Giovanni Colombo" – Milano

A.A. 2023 - 2024

Corso di Astrofisica

Docente : **Adriano Gaspani**

Lezione 10

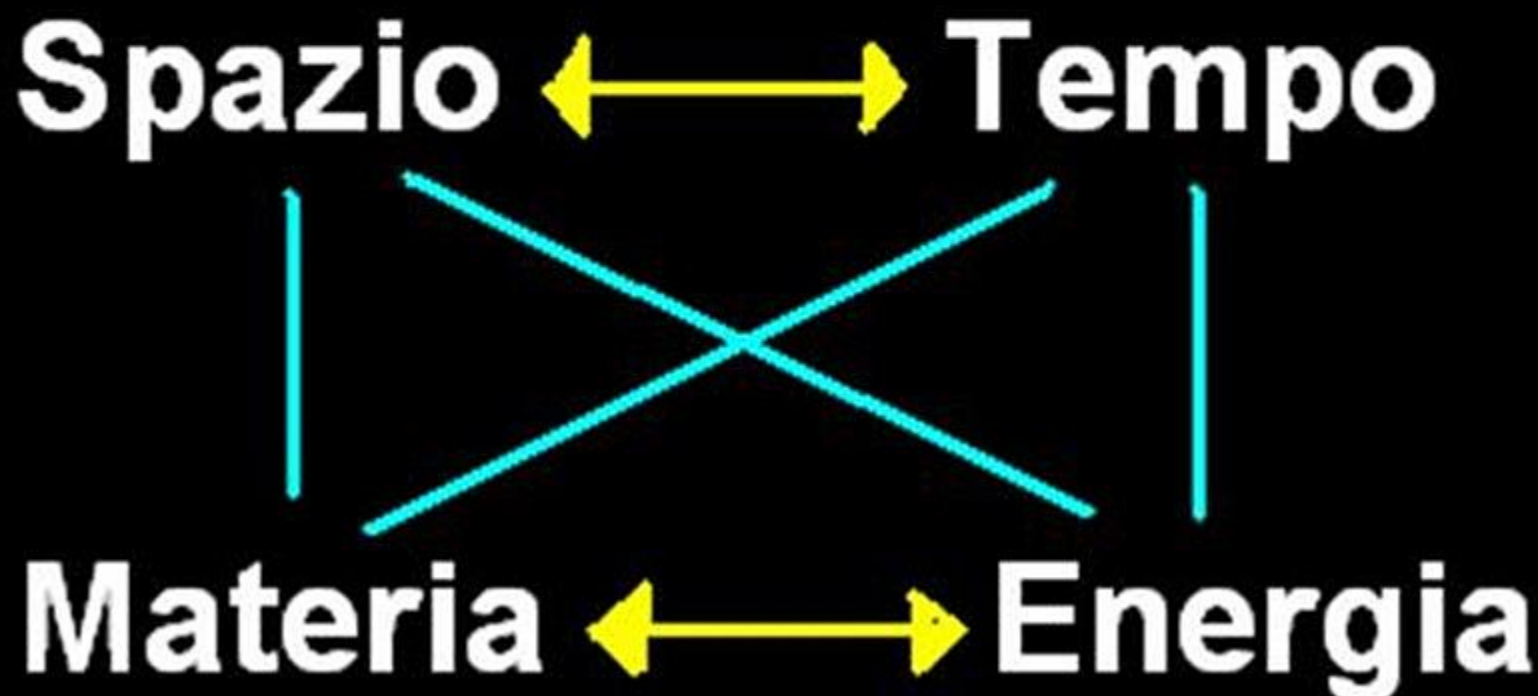
# Il Principio Antropico in Fisica e in Astrofisica

A close-up, slightly low-angle shot of Yoda's face. He has a wrinkled, green complexion with deep lines around his eyes and mouth. His eyes are wide and looking slightly to the right. The background is dark and out of focus, showing some of his hair and the texture of his skin.

**Spazio  
Tempo  
Materia  
Energia**

**4 diversi aspetti della stessa cosa...**

Esiste quindi una corrispondenza  
incrociata tra tutti...



sono legati indissolubilmente...



Per comprendere il ruolo  
della vita nell'Universo  
dobbiamo ricorrere alla  
Termodinamica



Consideriamo lo sviluppo  
della vita sulla Terra dal  
punto di vista dell'Entropia  
e della Probabilità

# I Principio della Termodinamica

*“Nulla si crea, nulla si distrugge e tutto si trasforma”*

- In qualsiasi sistema chiuso (e nell'Universo) la quantità di energia è costante.
- Se l'energia si trasforma allora può anche essere recuperata all'infinito in una sorta di moto perpetuo.



# Il principio della Termodinamica

- È impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia quello di trasferire calore da un corpo più freddo a uno più caldo (*Clausius*)
- È impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato preveda che tutto il calore assorbito da una sorgente omogenea sia interamente trasformato in lavoro (*Kelvin*)



# Un'altra formulazione...

Ogni volta che una certa quantità di energia viene convertita da uno stato ad un altro si ha una **penalizzazione** che consiste nella **degradazione di una parte dell'energia stessa in forma di calore**, in particolare questa parte **non sarà più utilizzabile per produrre lavoro.**



# Un esempio pratico

Durante la combustione un tizzone di carbone ardente rilascia calore ed emissioni di carbonio. Una parte del calore viene convertito in lavoro mentre un'altra parte del calore viene dispersa nell'ambiente senza essere più recuperabile.



## Processi spontanei ed entropia

Un **processo spontaneo** è un processo fisico o chimico che ha luogo senza interventi esterni.

Alcuni esempi di processi spontanei sono:

- Caduta verso il basso di un corpo
- Passaggio di calore da un corpo caldo ad uno freddo
- Mescolamento di due gas
- Svolgimento di una reazione fortemente esotermica

Nella direzione opposta tali processi non sono spontanei.

La tendenza naturale di sistemi meccanici semplici è di andare verso una diminuzione di energia: è questa diminuzione che definisce il verso del processo spontaneo.



Ad esempio, un oggetto di massa  $m$  cade SPONTANEAMENTE verso il basso perché dalla quota  $h$  al pavimento diminuisce la sua energia potenziale della quantità  $mgh$ .

Il verso spontaneo del processo è quindi la caduta e non la risalita.

Ma la spontaneità di una reazione (o in generale di un processo complesso) non è determinata univocamente dalla variazione di energia (o entalpia) ma richiede una nuova grandezza nota come

# Entropia

# Definizione

L'**entropia** è una funzione di stato che misura il disordine di un sistema fisico o più in generale dell'Universo.

Il nome viene dal greco dal greco  $\epsilon\nu$  (dentro), e da  $\tau\rho\omicron\pi\eta$  (cambiamento, punto di svolta, rivolgimento) e fu scelto per assonanza con quello di **energia**, a cui è strettamente connessa (infatti significa "dove va a finire l'energia fornita ad un sistema").



# Cenni storici

- La prima intuizione moderna viene fatta risalire a Sadi Carnot, un ufficiale dell'esercito francese, che nel 1824 osservò che in un sistema chiuso, senza scambi con l'esterno, il calore passa spontaneamente da una sorgente più calda ad una più fredda → le trasformazioni avvengono invariabilmente in una sola direzione, ovvero quella verso il maggior disordine.
- Il termine fu introdotto da Rudolf Clausius nel "Trattato sulla teoria meccanica del calore", pubblicato nel 1864, per spiegare la tendenza di un sistema chiuso ad evolvere verso uno stato di equilibrio termico → si riferiva al legame tra movimento interno (al corpo o al sistema) ed energia interna o calore, ipotizzando che il calore dovesse riferirsi al movimento di particelle meccaniche interne al corpo → definiva l'entropia come il rapporto tra la somma dei piccoli incrementi (infinitesimi) di calore, divisa per la temperatura assoluta durante l'assorbimento del calore.



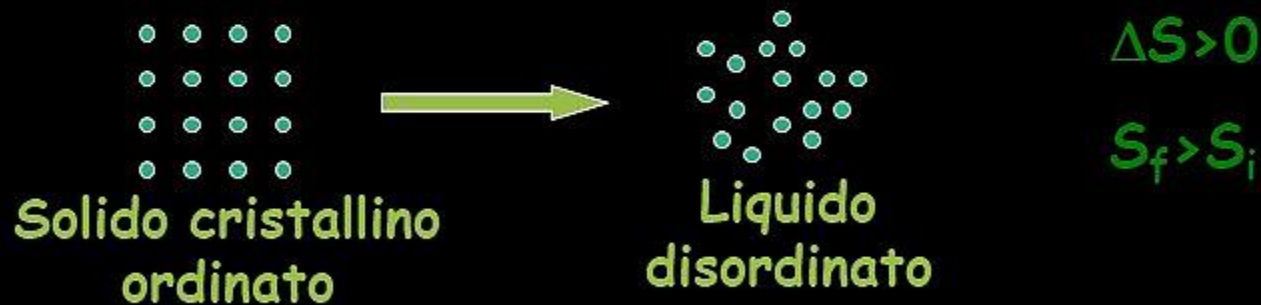
## Entropia e II° principio della termodinamica

L'entropia  $S$  è una grandezza termodinamica che misura il grado di disordine (o della casualità) di un sistema.

Tale grandezza è una funzione di stato per cui per un dato processo è possibile definire univocamente una variazione di entropia

$$\Delta S = S_f - S_i$$

La variazione di entropia per alcuni processi è qualitativamente intuitiva: ad esempio per un processo di fusione si deve avere  $\Delta S > 0$  poiché il grado di disordine aumenta



Ad esempio per la fusione di 1 mole di  $H_2O$  si ha  $\Delta S = 22 \text{ J/K}$   
Le unità dell'entropia sono **joule/°K**

Da tutte le osservazioni sperimentali su sistemi complessi si deduce che un processo avviene naturalmente come risultato di un aumento complessivo del disordine del sistema: in altre parole vi è una tendenza naturale dei sistemi a mescolarsi e deteriorarsi o, in generale, a dare un aumento del disordine.

Questo concetto è espresso in modo più preciso dal **secondo principio della termodinamica**

“per un processo spontaneo l'entropia totale di un sistema e del suo ambiente (cioè dell'universo) **aumenta**”

Si noti la differenza con il primo principio: l'energia totale rimane costante, mentre l'entropia totale aumenta.

È più utile esprimere il secondo principio in modo da riferirsi alle proprietà del sistema considerato più che a quelle di tutto l'universo. A tale scopo prendiamo in esame un sistema in cui ha luogo un dato processo e consideriamo lo scambio di calore tra esso e l'ambiente



# L'entropia e i principi della Termodinamica

Assumendo che l'Universo sia un sistema isolato - ovvero un sistema per il quale è impossibile scambiare materia ed energia con l'esterno - il primo ed il secondo principio della termodinamica possono essere riassunti da un'unica frase:

***“L'energia totale dell'Universo è costante e l'entropia totale è in continuo aumento”***



# Quindi...

...Fino a quando esiste una differenza di energia all'interno del sistema chiuso è anche disponibile energia per compiere lavoro. Nel momento in cui la temperatura diventa costante in ogni parte del sistema cessa ogni spostamento ed ha luogo uno stato di equilibrio perenne di morte termica, ossia la massima entropia.

# Entropia

- L'entropia è una grandezza fisica legata al disordine di un sistema.
- Un mucchio di mattoni ha più entropia di un muro costruito con essi.
- L'acqua in un bicchiere ha più entropia del ghiaccio dal quale si è sciolta.



# L'entropia è una funzione di stato

Quindi l'entropia è una funzione di stato perché dipende solo dagli stati iniziali e finali e non dal modo in cui si passa da uno stato all'altro.

Per calcolare  $S(B) - S(A)$  è sufficiente:

- scegliere una qualunque trasformazione reversibile che faccia passare il sistema dallo stato A allo stato B
- calcolare la somma di tutti gli addendi  $\frac{\Delta Q_i}{T_i}$  per tale trasformazione



# ...La costante additiva!!!!

- L'entropia, come tutte le funzioni di stato, è definita a meno di una costante additiva.
- Spesso si prende come stato di riferimento  $S_0$  con entropia nulla quello in cui si trova un cristallo perfetto, costituito da atomi identici fra loro, che si trova alla temperatura di 0°K.

$$S(A) = S_0 + \left( \sum_0^A \frac{\Delta Q_i}{T_i} \right)_{0 \rightarrow A}^{rev}$$



# L'entropia di un sistema isolato

Consideriamo un sistema chiuso ed isolato che non abbia scambi di energia e/o materia con l'esterno e supponiamo che questo sistema sia diviso in due sottosistemi  $S_1$  e  $S_2$  che possono interagire fra loro.

Si può dimostrare che, se in questo sistema hanno luogo solo trasformazioni reversibili, l'entropia rimane costante. Infatti ogni scambio di calore assorbito dal sottosistema  $S_1$  deve essere prodotto dal sottosistema  $S_2$  e viceversa.

Quindi nella sommatoria che definisce la variazione di entropia si trovano termini uguali ed opposti, quindi:

$$S_1(B) - S_1(A) + S_2(B) - S_2(A) = 0.$$



## Quindi...

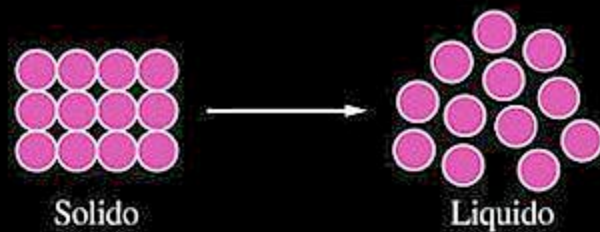
Pertanto, sommando i termini positivi  $\Delta S_i$ , necessari per compiere le trasformazioni irreversibili che avvengono fra i due sottosistemi, si ottiene una **variazione totale di entropia** che è **sempre positiva**.

L'entropia aumenta anche quando l'energia è scambiata sotto forma di lavoro e non di calore. Ogni trasformazione che avviene in un sistema isolato provoca in esso una variazione di entropia pari a:  $\Delta S \geq 0$

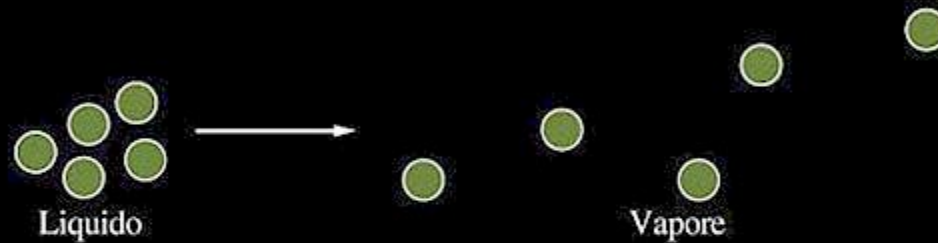
(=0 solo per trasformazioni reversibili)



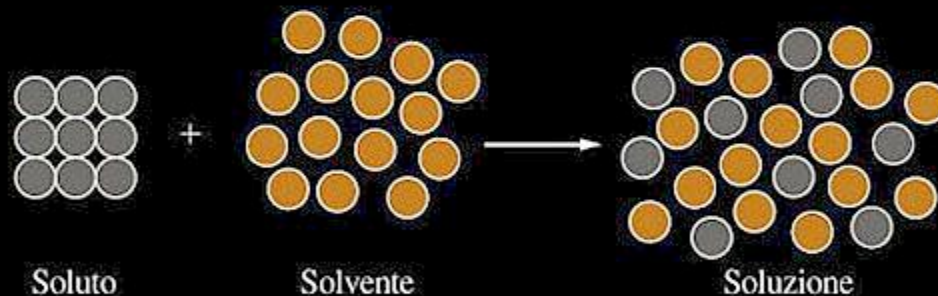
# Qualche esempio... di aumento di Entropia



(a) Fusione:  $S_{\text{liquido}} > S_{\text{solido}}$



(b) Vaporizzazione:  $S_{\text{vapore}} > S_{\text{liquido}}$



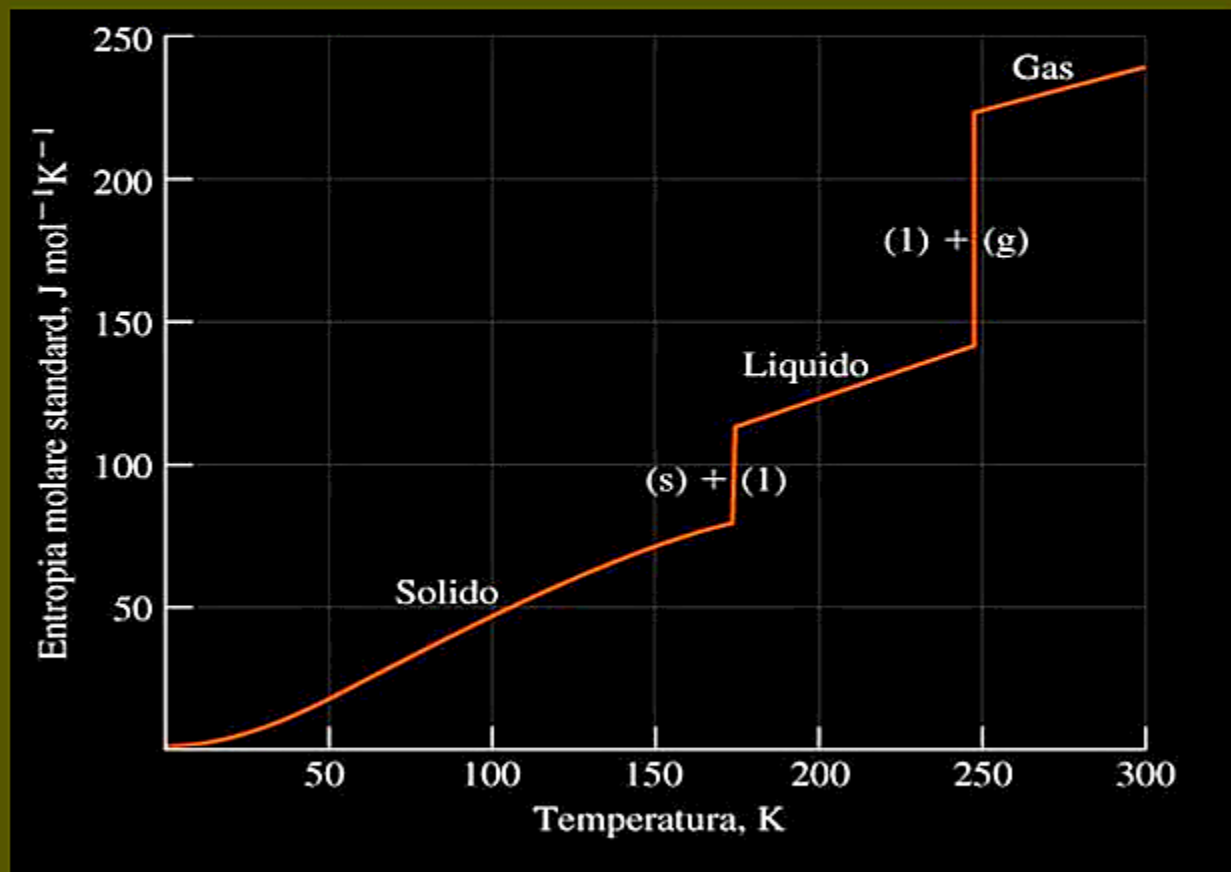
(c) Solubilizzazione:  $S_{\text{sol}} > (S_{\text{solvente}} + S_{\text{solute}})$

▲ FIGURA 20-5 Tre processi in cui l'entropia aumenta

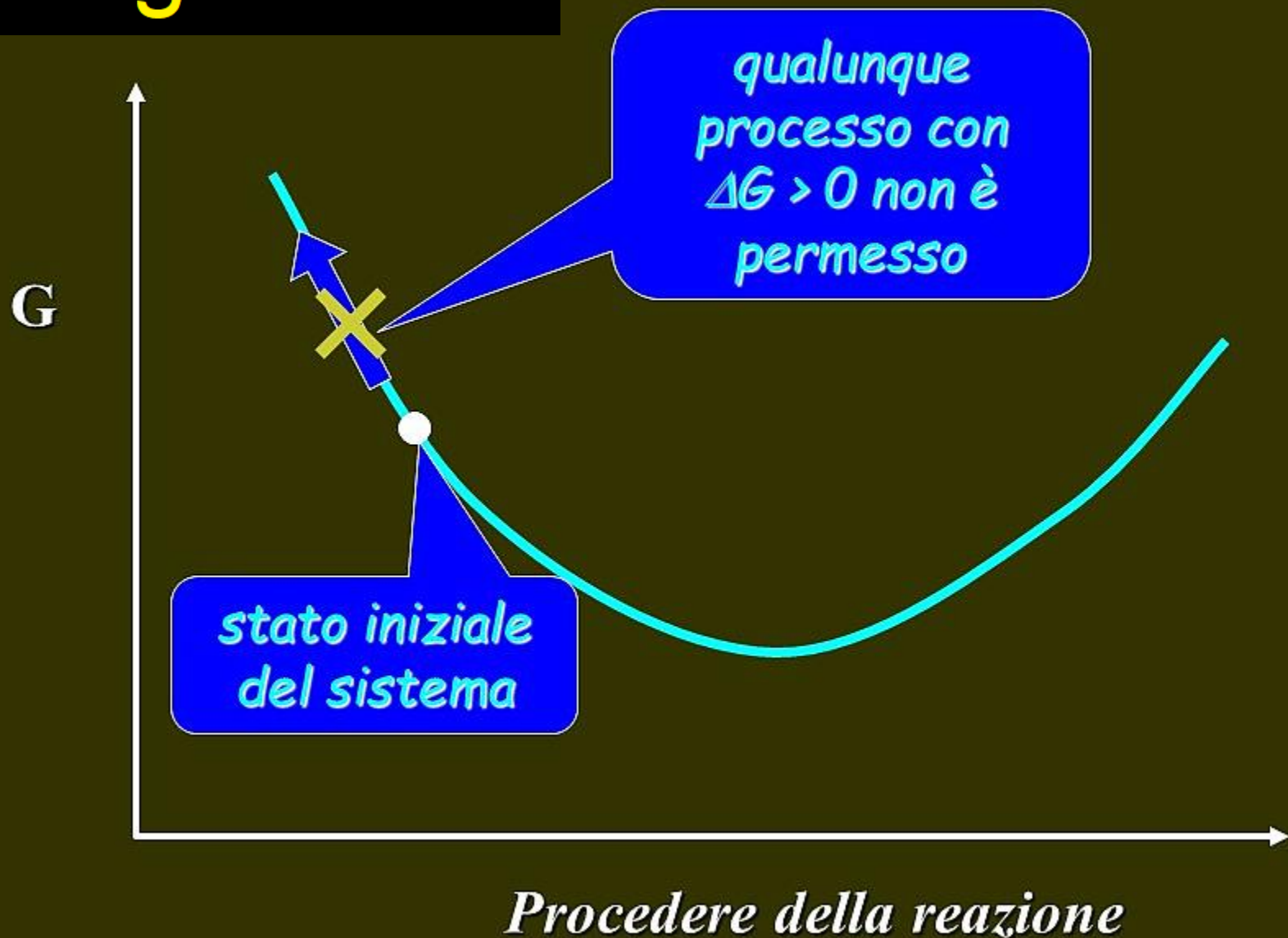
Ognuno dei processi indicati – (a) la fusione di un solido, (b) l'evaporazione di un liquido e (c) lo sciogliersi di un soluto – portano ad un aumento di entropia. Per la parte (c) la generalizzazione lavora meglio per soluzioni di nonelettroliti in cui non esistono forze ione-dipolo.



La seguente figura mostra come varia l'entropia di una sostanza con la temperatura



# Energia





# Energia



# Energia





# L'entropia dell'Universo

Per quanto visto finora:

ogni trasformazione che avviene in un sistema isolato provoca una variazione di entropia

$\Delta S \geq 0$  (*= 0 se e solo se la trasformazione è reversibile*);

- l'Universo è tutto ciò che esiste: non c'è un ambiente “esterno” con cui scambiare energia;
- in esso avvengono continuamente trasformazioni irreversibili, quindi *l'entropia dell'Universo è in aumento incessante*.

# Il quarto enunciato del secondo principio

- Un sistema isolato parte da uno stato iniziale  $A$  e viene lasciato libero di evolvere nel tempo.
- L'energia totale del sistema si conserva; (per il 1° princ.)

*...e l'entropia?*

*L'evoluzione spontanea di un sistema isolato giunge ad uno stato di equilibrio a cui corrisponde il massimo aumento dell'entropia*

(compatibilmente con il primo principio della termodinamica).



## **Il quarto enunciato del secondo principio**

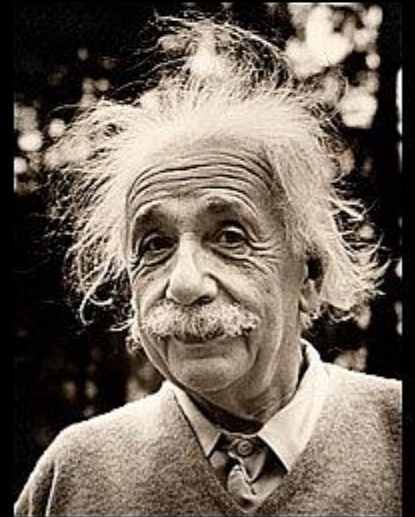
Es: Il passaggio spontaneo del calore dal corpo più caldo al corpo più freddo è il risultato del principio generale di aumento dell'entropia dell'Universo.

I fenomeni naturali hanno un verso privilegiato (freccia del tempo)

**Lo scorrere del tempo è la nostra percezione dell'aumento di Entropia dell'Universo**

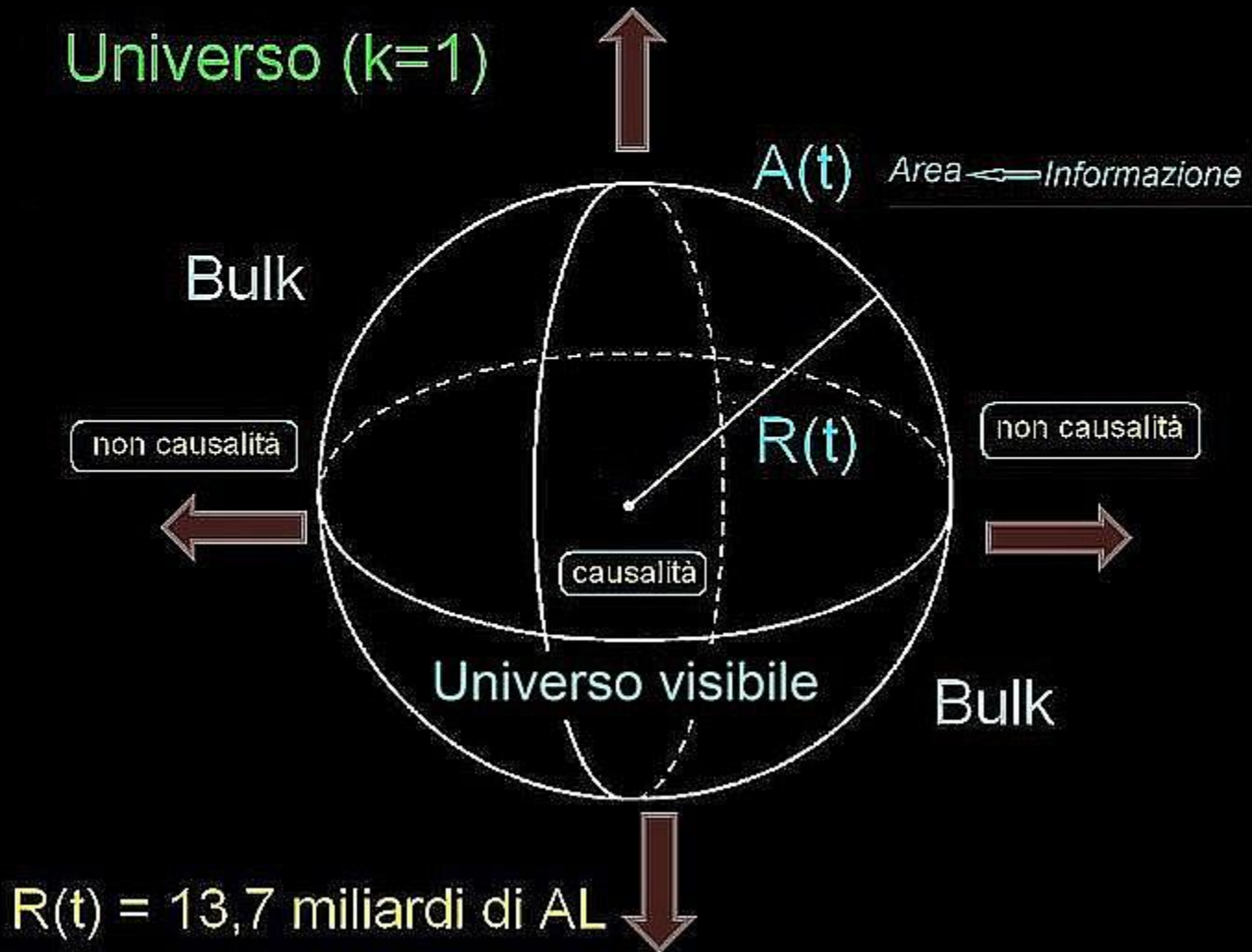
Cerchiamo di comprendere  
cosa sia il Tempo...

La Teoria delle Relatività  
(Ristretta e Generale)  
forse ci aiuta...





# Il continuo aumento dell'Entropia dell'Universo a causa della sua espansione



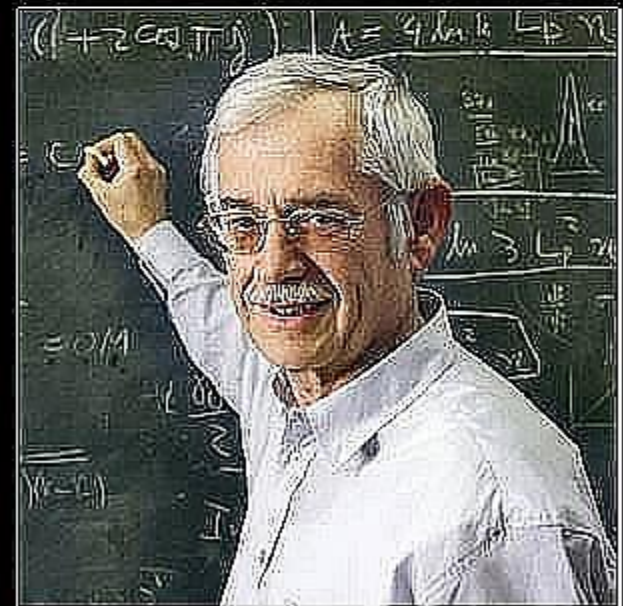
# Entropia di Beckenstein

Jacob Beckenstein nel 1973 scoprì che l'entropia di un sistema isolato dipende dall'area  $A$  dell'inviluppo che lo racchiude e non dal suo volume

$$S_{\text{BH}} = K \cdot A$$

$A$  = area dell'inviluppo

$K$  = costante





$$S_{\text{BH}} = K \cdot A$$

Area  $A_n(r)$  dell'involuppo ipersferico di raggio  $r$ :

$$A_n(r) = \frac{2\pi^{n/2}}{\Gamma(\frac{n}{2})} r^{n-1} = \begin{cases} \frac{\pi^{\frac{n}{2}} r^{n-1}}{2 \cdot \left(\frac{n}{2}-1\right)!}, & \text{per } n \text{ pari} \\ \frac{2^{\frac{n+1}{2}} \pi^{\frac{n-1}{2}} r^{n-1}}{1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (n-2)}, & \text{per } n \text{ dispari} \end{cases}$$

e di dimensione  $n$

# Entropia dell'Universo al tempo t

## Entropia di Beckenstein - Hawking

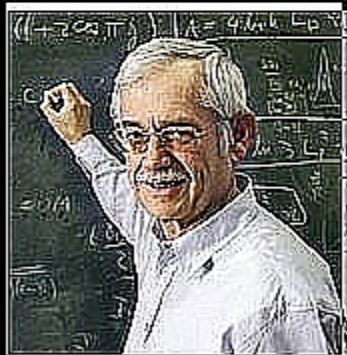


Hawking

$$S_u(t) = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{k_B \cdot c^3}{h \cdot G} \cdot A(t)$$

E' possibile applicare la definizione di Entropia di Beckenstein - Hawking all'intero Universo.

Essa sarà proporzionale all'area del suo involucro (orizzonte cosmologico) al tempo t



Beckenstein

$$S_u(t) = 2 \cdot \pi^2 \cdot \frac{k_B \cdot c^3}{h \cdot G} \cdot R(t)^2$$

h = costante di Plank

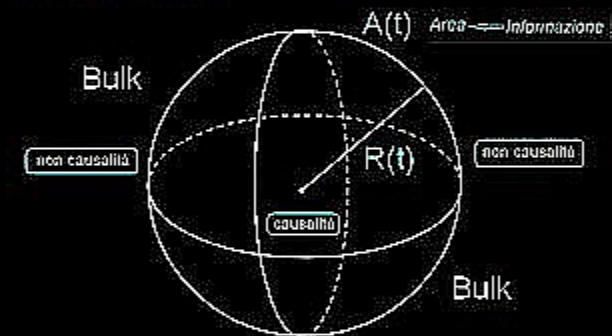
G = costante di gravitazione universale

$k_B$  = costante di Boltzmann

c = velocità della luce nel vuoto

Universo (k=1)

$$A(t) = 4 \cdot \pi \cdot R(t)^2$$



$R(t) = 13,7$  miliardi di AL



# ...il trascorrere del tempo.

$$(t - t_0) = \frac{3.17 \times 10^{-8}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{h \cdot G}{2 \cdot k_B \cdot c^5}} \cdot \frac{1}{\sqrt{S_u(t)}} \cdot \left[ S_u(t) - S_u(t_0) \right] \quad (\text{anni})$$

ma anche:

$$(t - t_0) = 3.17 \times 10^{-8} \cdot \left[ R(t) - R(t_0) \right] \quad (\text{anni})$$

dove:

$S_u(t)$  = Entropia dell'Universo al tempo  $t$

$S_u(t_0)$  = Entropia dell'Universo al tempo  $t_0$

$R(t)$  = Raggio dell'Universo visibile al tempo  $t$  (anni luce)

$R(t_0)$  = Raggio dell'Universo visibile al tempo  $t_0$  (anni luce)

$h$  = costante di Plank  $6.626\,070\,040(81) \times 10^{-34} \quad \text{J s}$

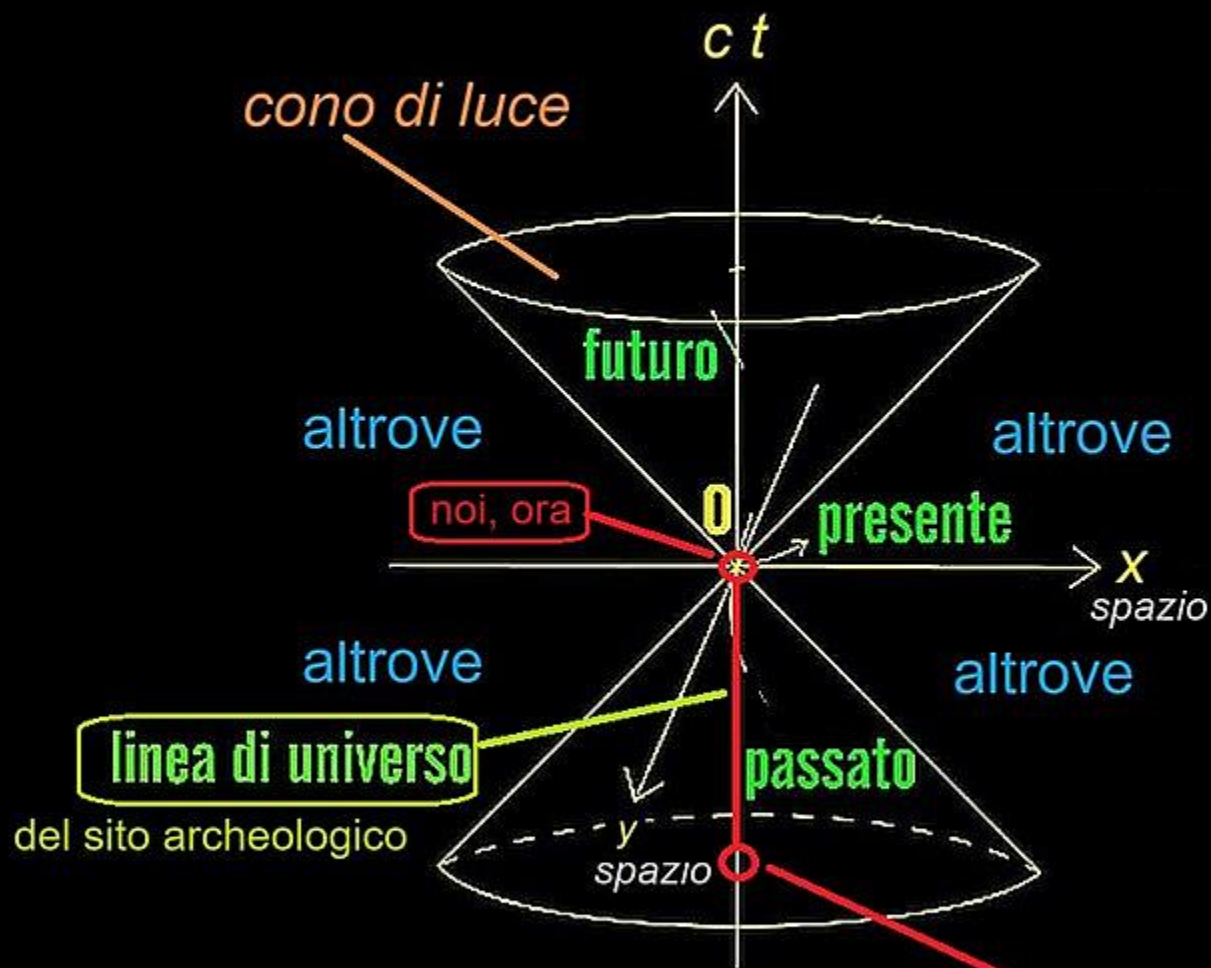
$G$  = costante di gravitazione universale  $6.674\,08(31) \times 10^{-11} \quad \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$

$K_B$  = costante di Boltzmann  $1.380\,648\,52(79) \times 10^{-23} \quad \text{J K}^{-1}$

$c$  = velocità della luce nel vuoto  $299\,792\,458 \quad \text{m s}^{-1}$

# lo spaziotempo di Minkowski

$c$  = velocità della luce  
 $t$  = tempo  
 $x$  = spazio  
 $y$  = spazio



Tempo



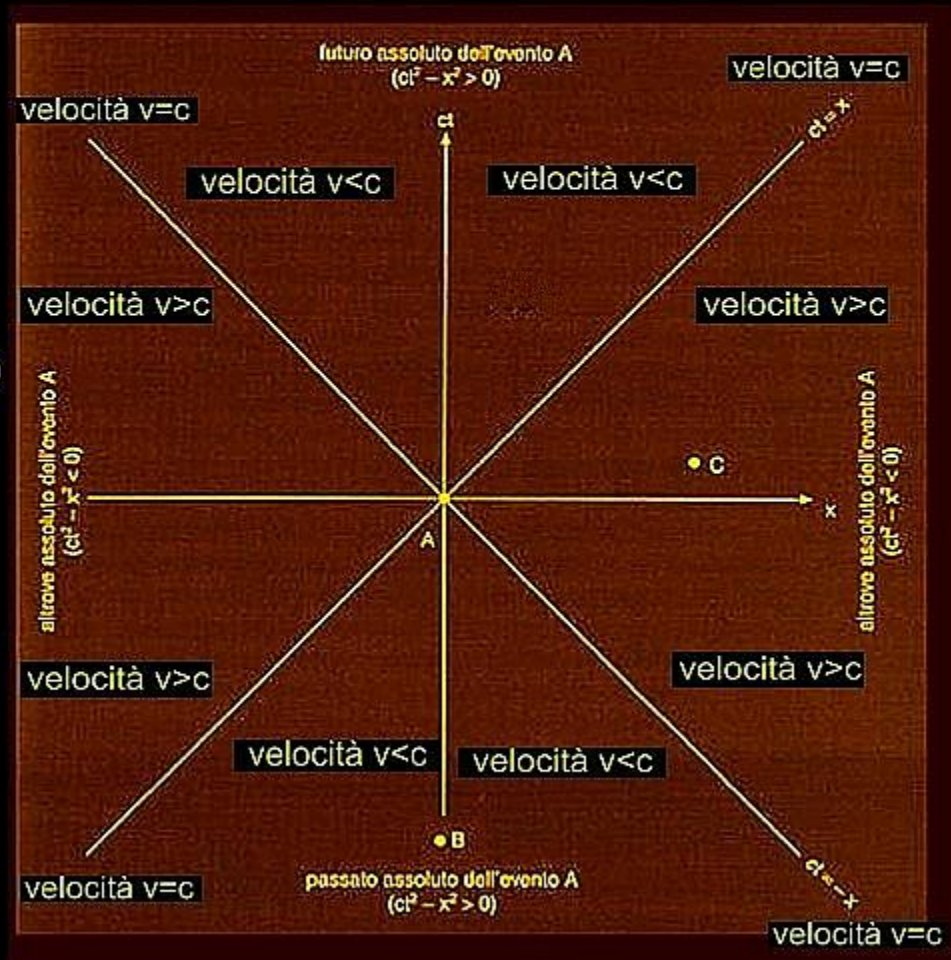
## Cono di Luce

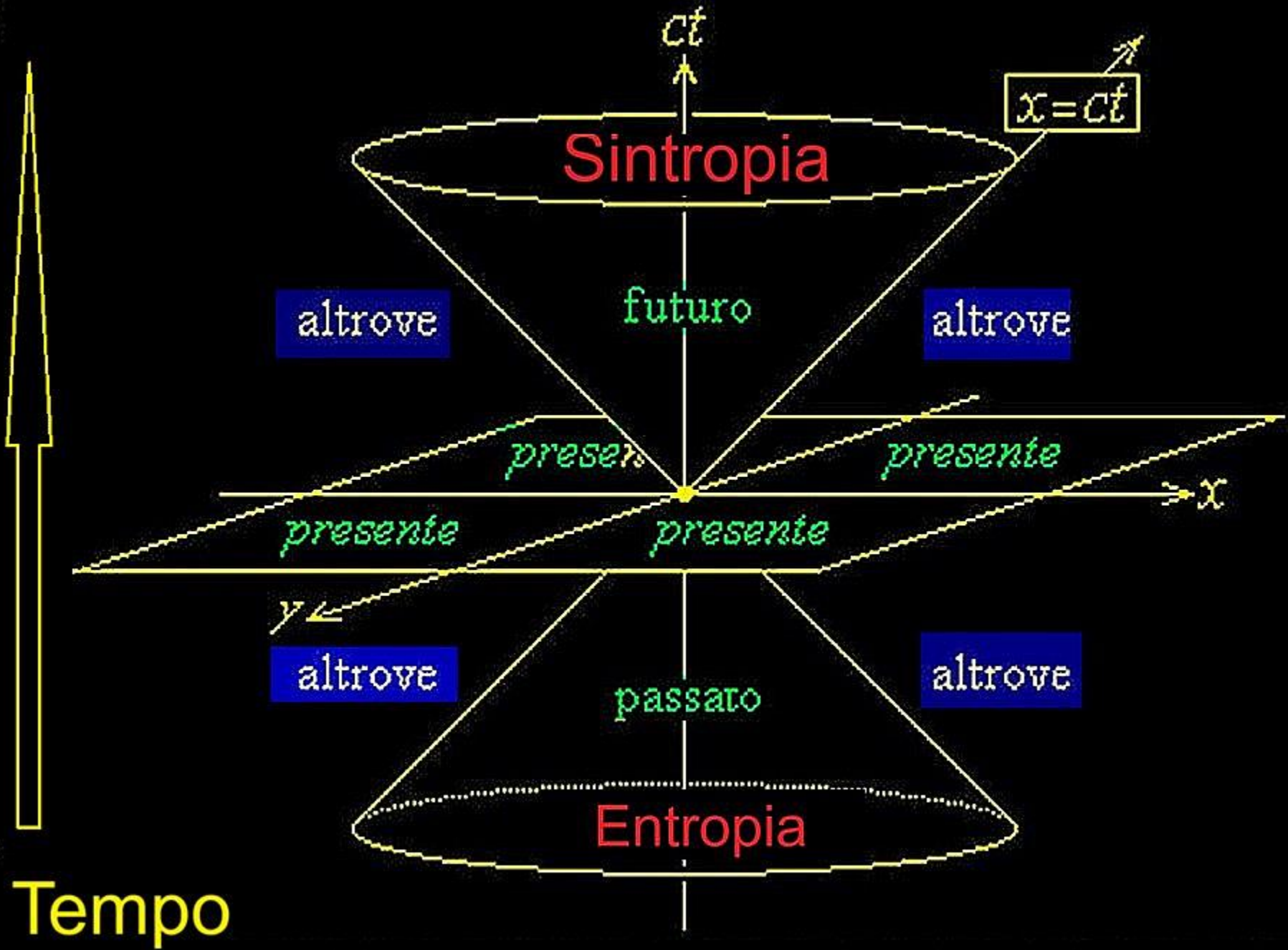
Per comodità, è raffigurata una sola dimensione spaziale.

A e B sono eventi separati da un intervallo di genere tempo.

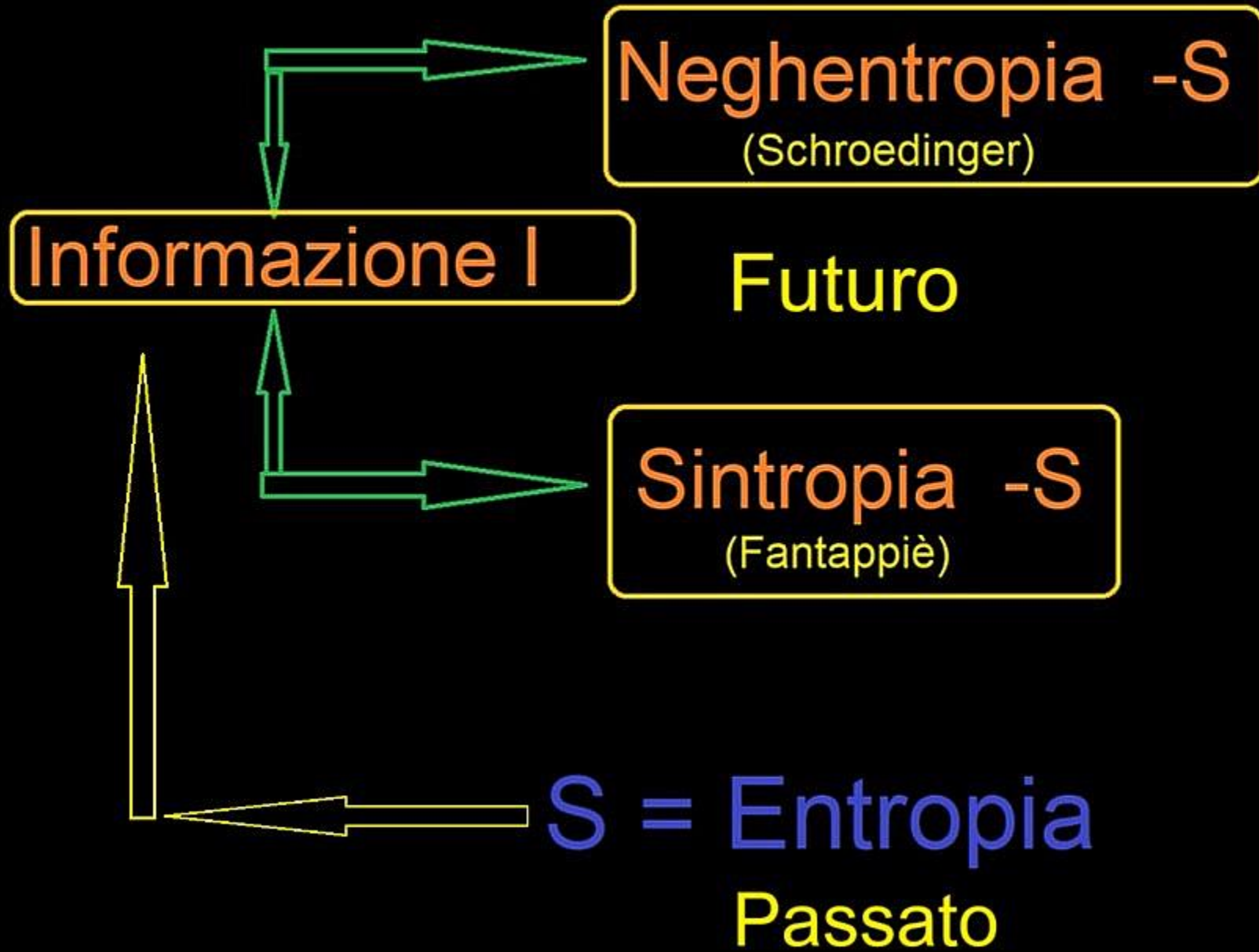
**A : noi ora**  
**B : Cultura antica**

A e C sono eventi separati da un intervallo di genere spazio.









Presente = F(Passato, Futuro)

Stato Presente = G(Entropia, Sintropia)

Informazione attuale = H(Info(passato), Info(futuro))

dove:

F(.), G(.), H(.) : funzioni incognite altamente nonlineari



# Se usassimo la Sintropia... (Neghentropia)

$$\Delta t = \frac{3.17 \times 10^8}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{h \cdot G}{2 \cdot k_B \cdot c^5}} \cdot \frac{1}{\sqrt{-S_u(t)}} \cdot \Delta N \quad (\text{anni})$$

ma anche:

$$\Delta t = 3.17 \times 10^8 \cdot \Delta R \quad (\text{anni})$$

dove:

$S_u(t)$  = Entropia dell'Universo al tempo  $t$

$S_u(t_0)$  = Entropia dell'Universo al tempo  $t_0$

$R(t)$  = Raggio dell'Universo visibile al tempo  $t$  (anni luce)

$R(t_0)$  = Raggio dell'Universo visibile al tempo  $t_0$  (anni luce)

$$\Delta t < 0 \Rightarrow$$

$$\Delta t \text{ virtuale}$$

Il tempo scorre all'indietro

fuori dal nostro universo...

$$\Delta R < 0$$

Universo in contrazione

$$N = \text{Sintropia} = -S$$

$$\Delta N = -S_u(t) + S_u(t_0) = -\Delta S_u$$

$h$  = costante di Plank  $6.626070040(81) \times 10^{-34} \text{ J s}$

$G$  = costante di gravitazione universale  $6.67408(31) \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$

$k_B$  = costante di Boltzmann  $1.38064852(79) \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$

$c$  = velocità della luce nel vuoto  $299792458 \text{ m s}^{-1}$

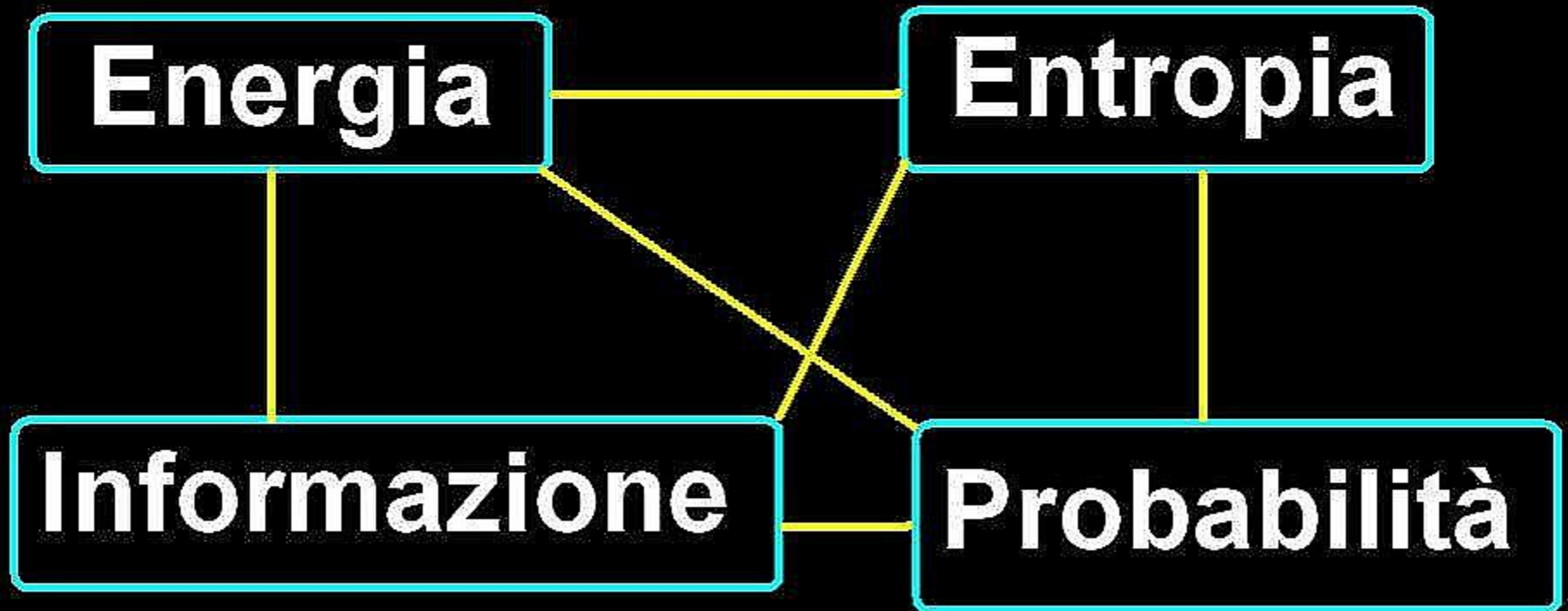
# Ricordiamo sempre che:

a) Energia	$E(t)$
b) Entropia	$S(t)$
c) Informazione	$I(t)/I_0$
d) Probabilità	$P(t)$

Esiste un legame indissolubile tra questi quattro elementi...



# Corrispondenze interessanti



# il principio di Brillouin

Brillouin (1964) ha enunciato il suo famoso principio:

$$\Delta I = \Delta S + C$$

$$\Delta I > 0$$

$$C \ll 1$$

dove:

$$C = K_B \cdot \ln(2)$$

$K_B$  = costante di Boltzmann  $1.380\,648\,52(79) \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$

$\Delta S$  = aumento di entropia

$\Delta I$  = informazione acquisita studiando un sistema



Leon Brillouin (Sèvres, 7 agosto 1899 – New York, 1969) è stato un fisico francese



$$\Delta I = \Delta S$$

L'osservazione di un sistema fisico permette di guadagnare una quantità di informazione  $\Delta I$ , ma questo si paga con un aumento  $\Delta S$  di entropia del sistema.

Quindi:

Quando si studia un sistema fisico, lo si modifica aumentando la sua entropia.

...ma anche sull'Entropia dell'Universo.

# L'entropia di un sistema non isolato

- In un sistema non isolato  $\Omega_1$  l'entropia può diminuire (ad es. nell'interno di un frigo dove l'acqua si trasforma in ghiaccio, perché il calore è sottratto  $Q < 0$ , quindi  $\Delta S < 0$ );
- La diminuzione può avvenire solo a spese dell'energia fornita ad un sistema  $\Omega_2$  formato dal motore, dal sistema elettrico, dalle serpentine e dal fluido.
- Si dimostra che l'entropia del sistema  $\Omega_2$  aumenta in misura maggiore o uguale rispetto alla diminuzione di entropia di  $\Omega_1$



....Multiverso con i singoli universi  
connessi da wormholes...



*Come si concilia la seconda legge  
con lo stato disomogeneo attuale  
dell'Universo?*



# Impossibilità o improbabilità?

*Il secondo principio è in accordo con l'esperienza perché i fenomeni che lo violano sono così improbabili da non avvenire mai.*

- *Nessuna legge fisica vieta l'evoluzione spontanea verso uno stato più ordinato, ad es. il passaggio spontaneo di calore dal corpo più freddo a quello più caldo) ma è un fenomeno così improbabile che in pratica non avviene mai*

# I sistemi viventi.

- L'evoluzione delle specie viventi verso forme sempre più complesse induce a ritenere che esistano sistemi che producono ordine crescente (es: evoluzione di un embrione ) e quindi violino il secondo principio (*IV enunciato*)
- Ma questi sistemi non sono isolati: gli organismi cedono continuamente calore all'atmosfera come prodotto del loro metabolismo, umentandone l'entropia



# Il terzo principio della termodinamica

- Negli ultimi due secoli si sono ottenute in laboratorio temperature sempre più basse
  - nel 2003 sono stati raggiunti sperimentalmente i  $4,5 \times 10^{-10}$  K.
- Tuttavia, più la temperatura di un corpo si avvicina allo zero assoluto, più è difficile raffreddarlo ulteriormente,
- Terzo principio della termodinamica:
- *è impossibile raffreddare un corpo fino allo zero assoluto mediante un numero finito di trasformazioni. (Legge di Nerst)*



13,7 Miliardi di anni fa

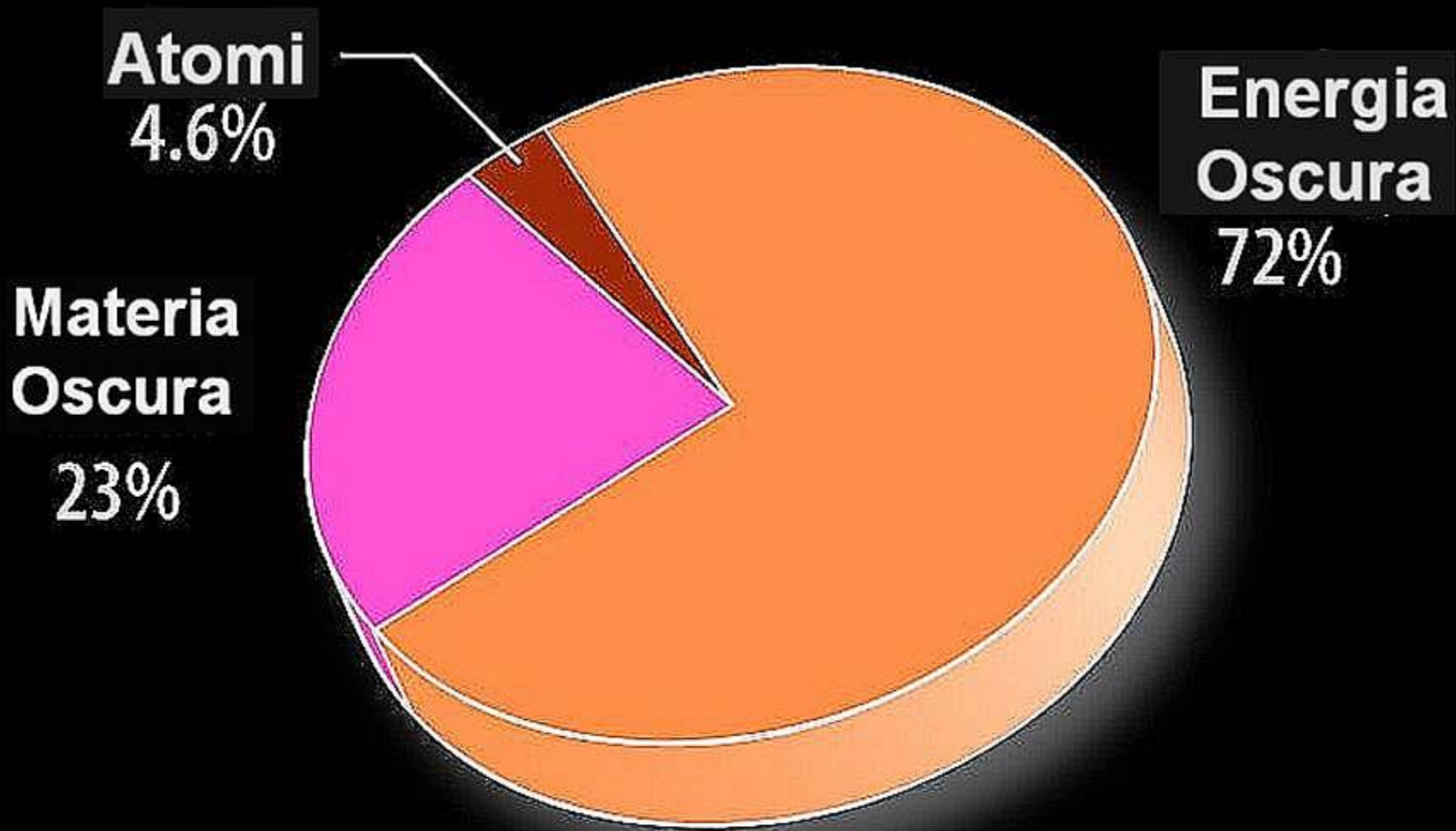
(età dell'Universo: 380.000 anni)





**Un aumento di Entropia  
verificatosi negli ultimi  
13.72 miliardi di anni...**

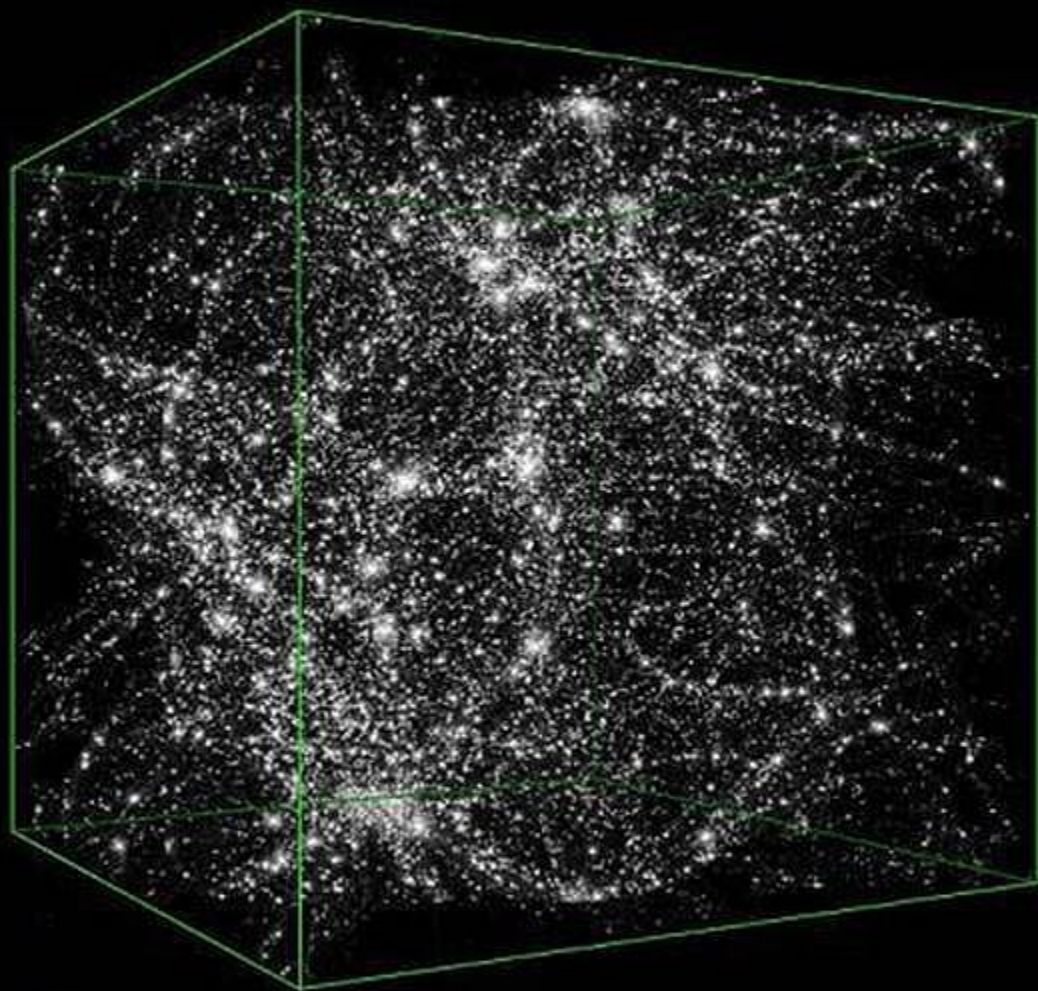




Oggi



# Struttura dell'Universo



## Un'ipotesi: la morte termica dell'Universo.

- Dato che l'evoluzione spontanea dell'universo segue la direzione corrispondente al massimo aumento dell'entropia, nell'universo il calore continuerà a passare da zone più calde (stelle) a zone più fredde (pianeti) finché tutti i corpi raggiungeranno la stessa temperatura.
- Senza differenze di temperatura non si potrà eseguire lavoro e nell'universo non avverrà più nessuna trasformazione



# *La Morte Termica*

*L'entropia dell'universo aumenta sempre, aumentando il disordine.*

*Contemporaneamente diminuisce l'energia "disponibile".*

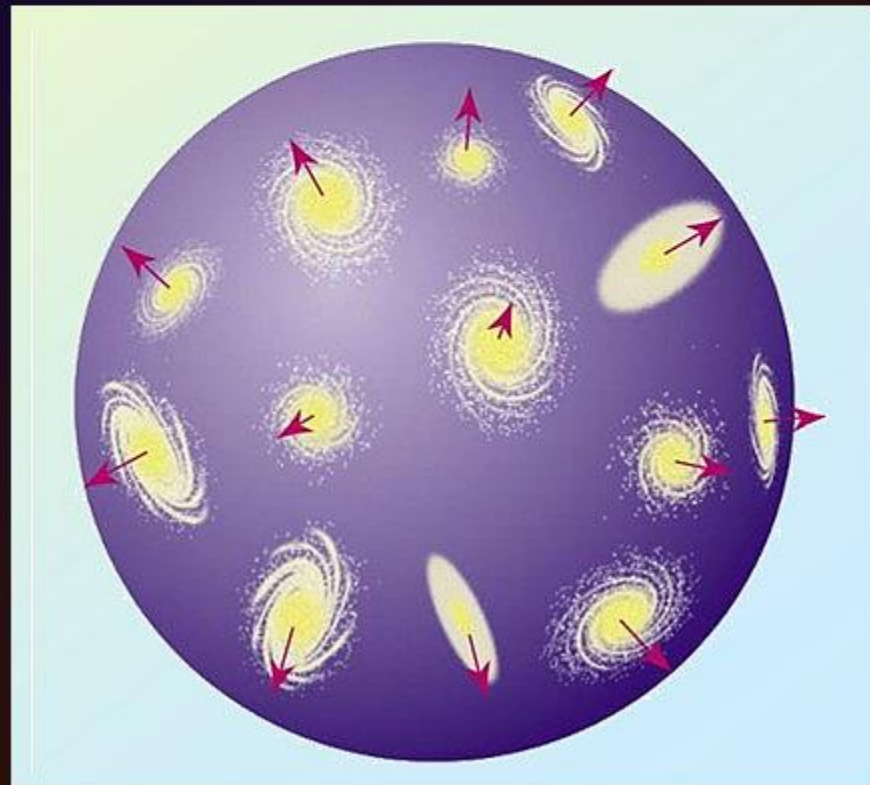
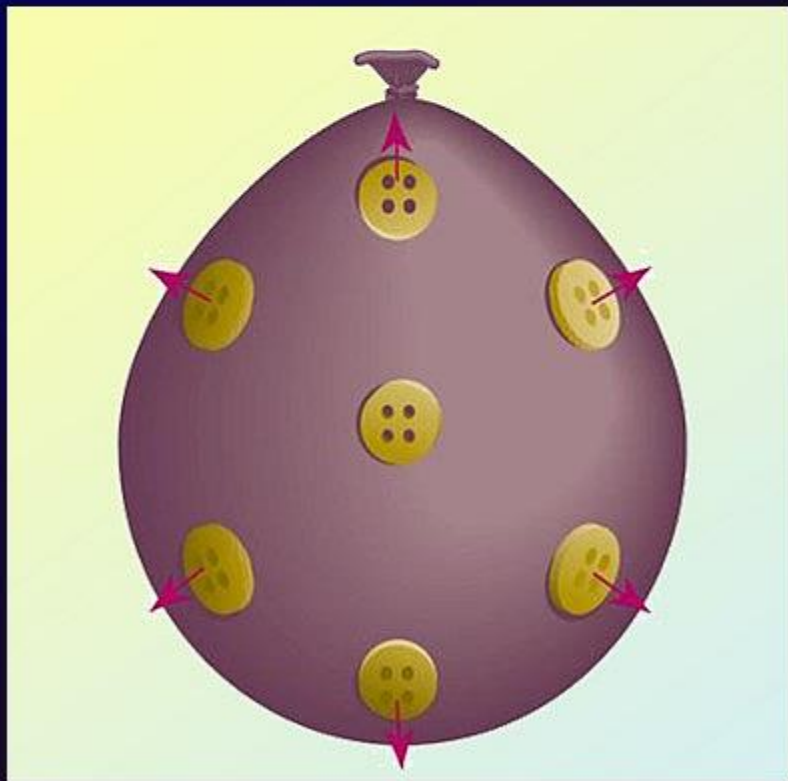
*Vi sarà un tempo in cui non vi sarà più energia disponibile.*

*La temperatura dell'universo sarà uniforme:*

*Questa è La Morte Termica*

## L'Universo in espansione

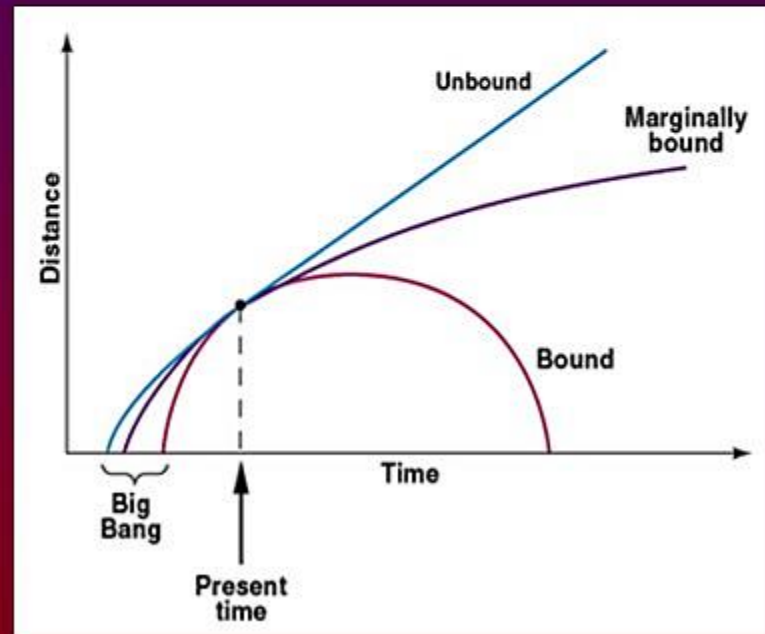
- Il nostro universo è una superficie a 3 dimensioni, "immerso" in uno spazio a 4 dimensioni.
- Si sta espandendo come un palloncino
- Tutte le galassie si stanno allontanando tra di loro





# Qual'è il fato dell'Universo?

- L'Universo, si espanderà per sempre?
  - Dipende dalla densità dell'Universo
  - Troppo grande: **Big Crunch**  $\Omega_0 > 1$ 
    - Universo chiuso
  - Troppo piccola: **Big Freeze**
    - Universo aperto  $\Omega_0 < 1$
  - La densità critica separa gli scenari
- $\Omega_0$  è il rapporto tra la densità reale e quella critica.



# *Qual'è il fato dell'Universo?*

*I Cosmologi ritengono che  $\Omega_0 < 0.3$*



*Universo Aperto: Big Chill*

*L'entropia continuerà ad aumentare  
l'Universo tenderà all'equilibrio termico  
fino a raggiungere la Morte Termica*



## *Le Molte Morti dell'Universo?*

- $10^{12}$  y  $\rightarrow$  *Le stelle cessano di nascere e si trasformano tutte in nane, stelle di neutroni e buchi neri.*
- $10^{14}$  y  $\rightarrow$  *La luminosità finisce: le galassie non esistono più. I protoni decadono. La materia non esiste più.*
- $10^{46}$  -  $10^{100}$  y  $\rightarrow$  *i buchi neri evaporano*
- $10^{100}$  y  $\rightarrow \infty$ : *l'Universo contiene fotoni, neutrini, elettroni e positroni.*

*Arriva la Morte Termica*

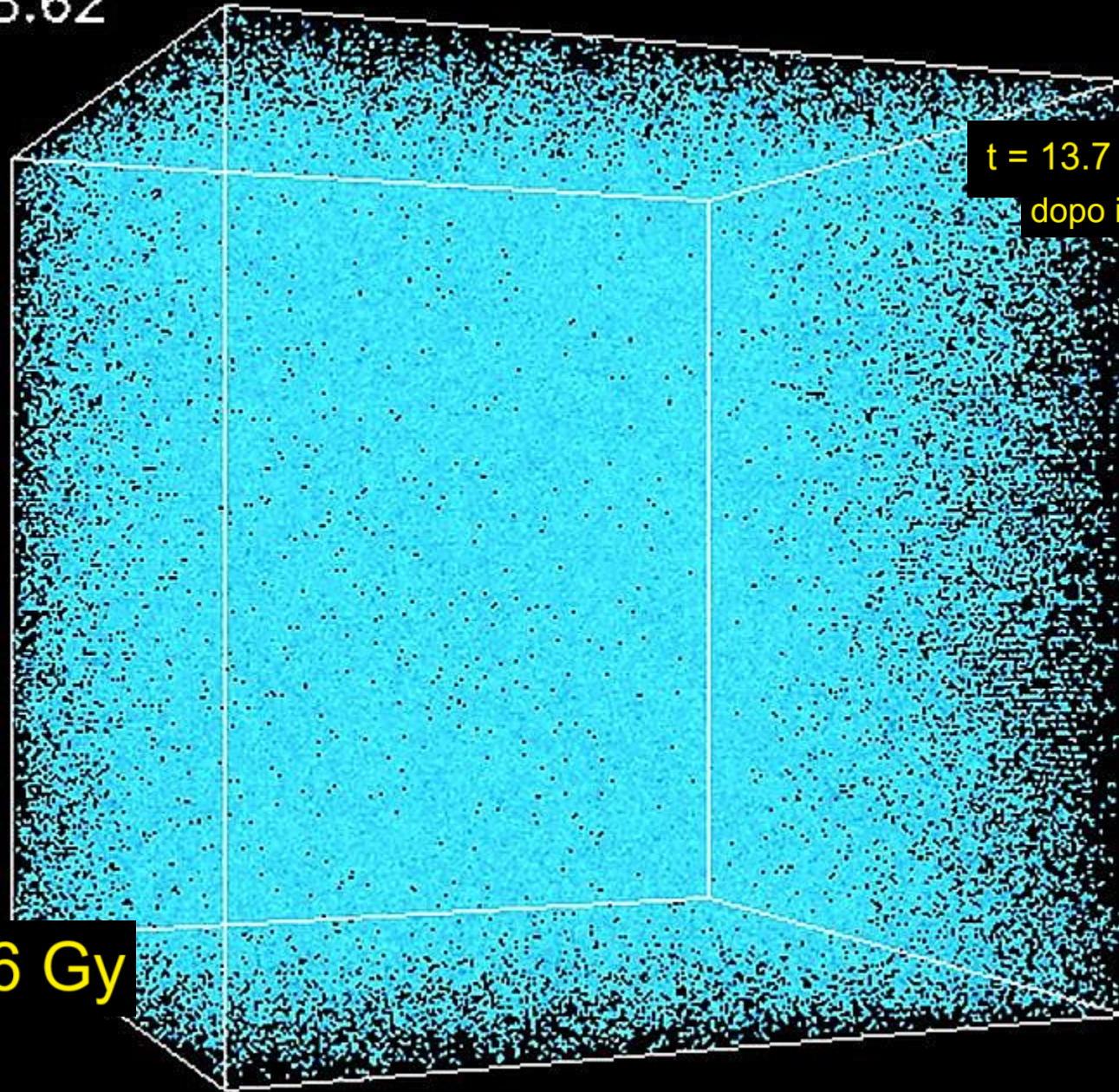


## Energia Oscura

- > E' diffusa in tutto l'Universo
- > Ha bassissima densità:  $10^{-29}$  g/cm<sup>3</sup>
- > Tende a crescere con il tempo
- > Si oppone alla gravità
- > Destruce l'Universo
- > Conduce alla morte l'Universo



$Z=28.62$

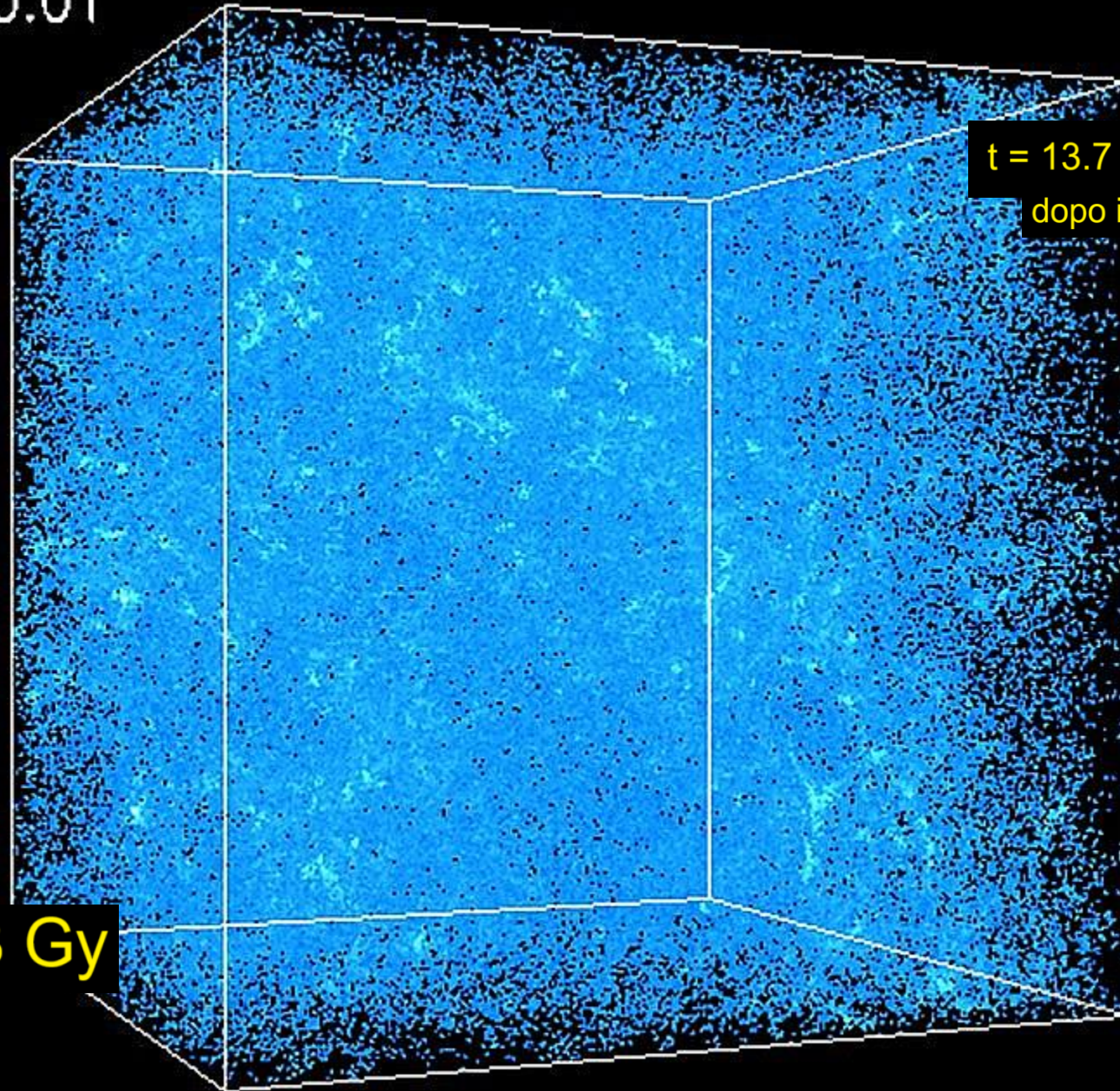


$t = 13.7 / (1+z)^2$  Gy  
dopo il Big Bang

$t = 0.0156$  Gy



$Z=10.01$

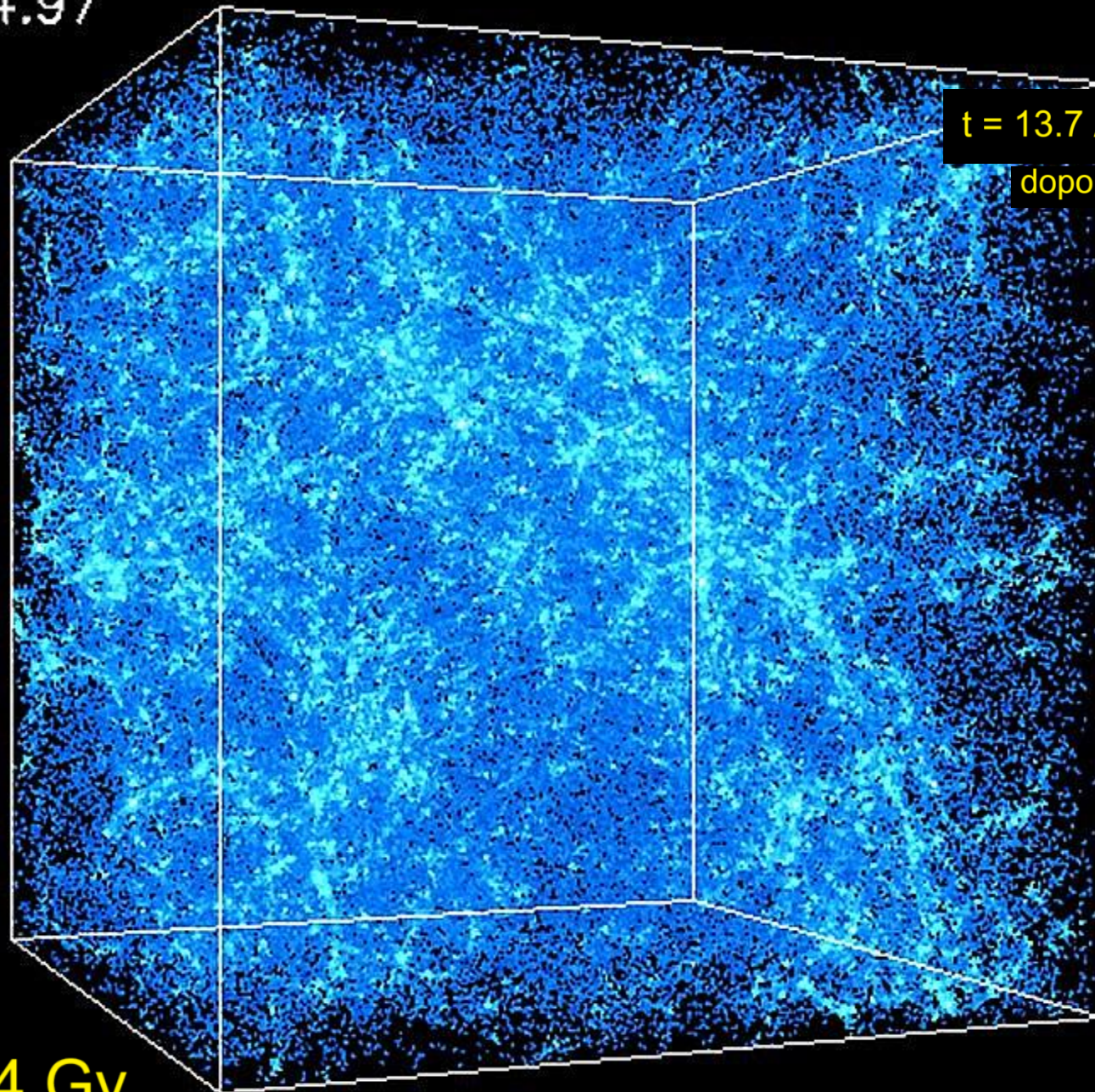


$t = 13.7 / (1+z)^2$  Gy  
dopo il Big Bang

$t = 0.113$  Gy



$z = 4.97$

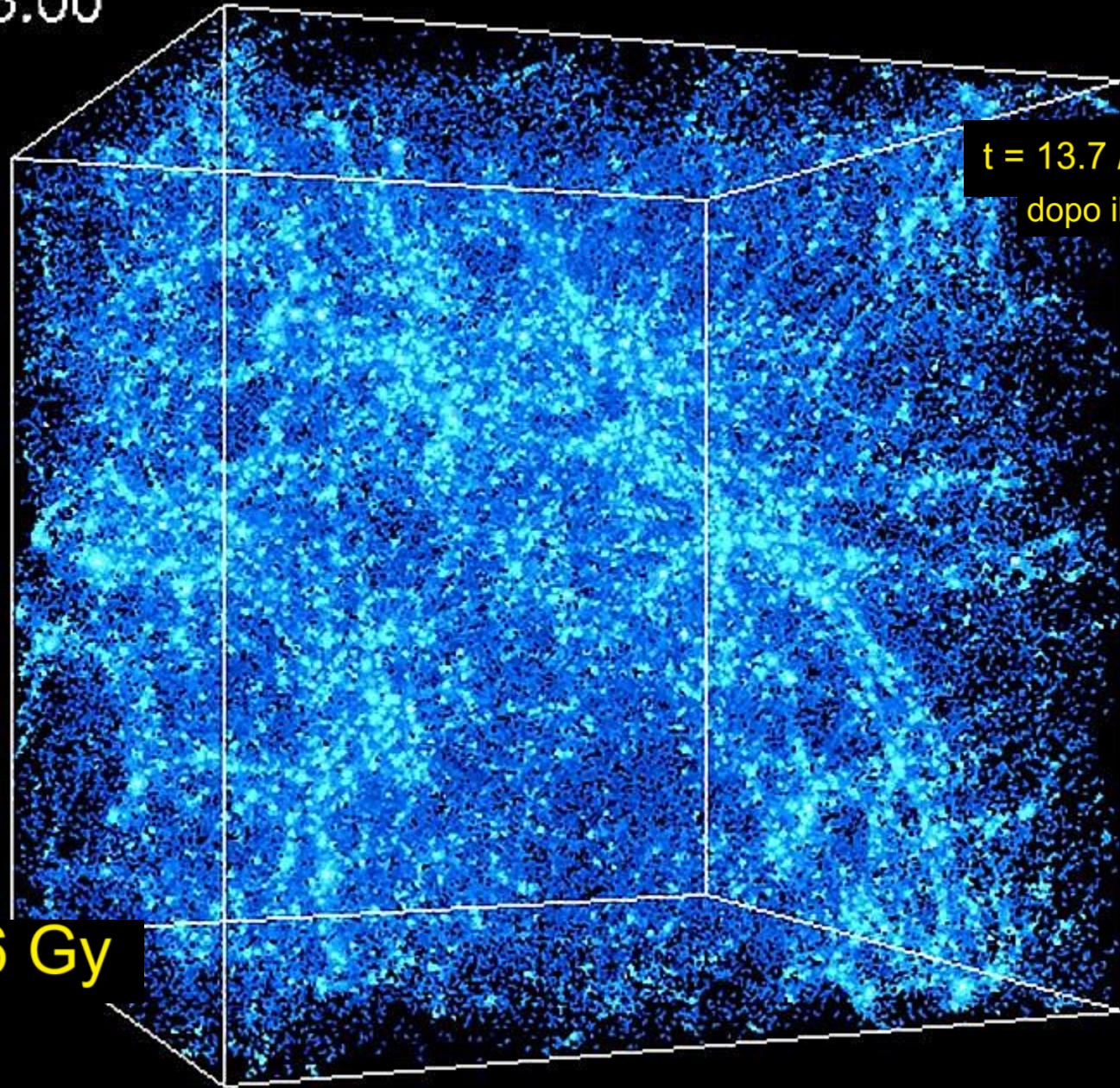


$t = 13.7 / (1+z)^2$  Gy  
dopo il Big Bang

$t = 0.384$  Gy



$z = 3.00$

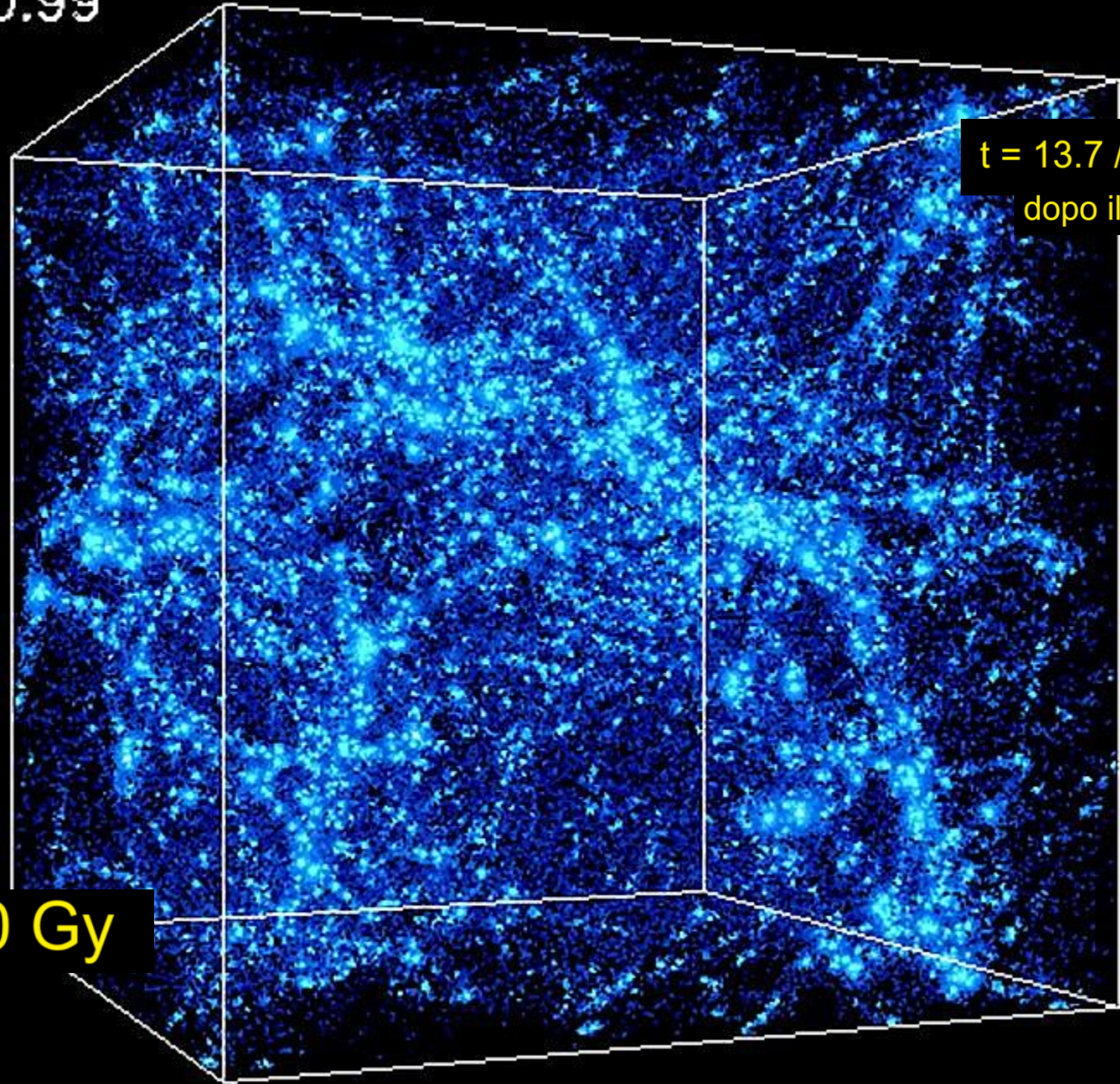


$t = 13.7 / (1+z)^2 \text{ Gy}$   
dopo il Big Bang

$t = 0.856 \text{ Gy}$



$z = 0.99$



$t = 13.7 / (1+z)^2$  Gy  
dopo il Big Bang

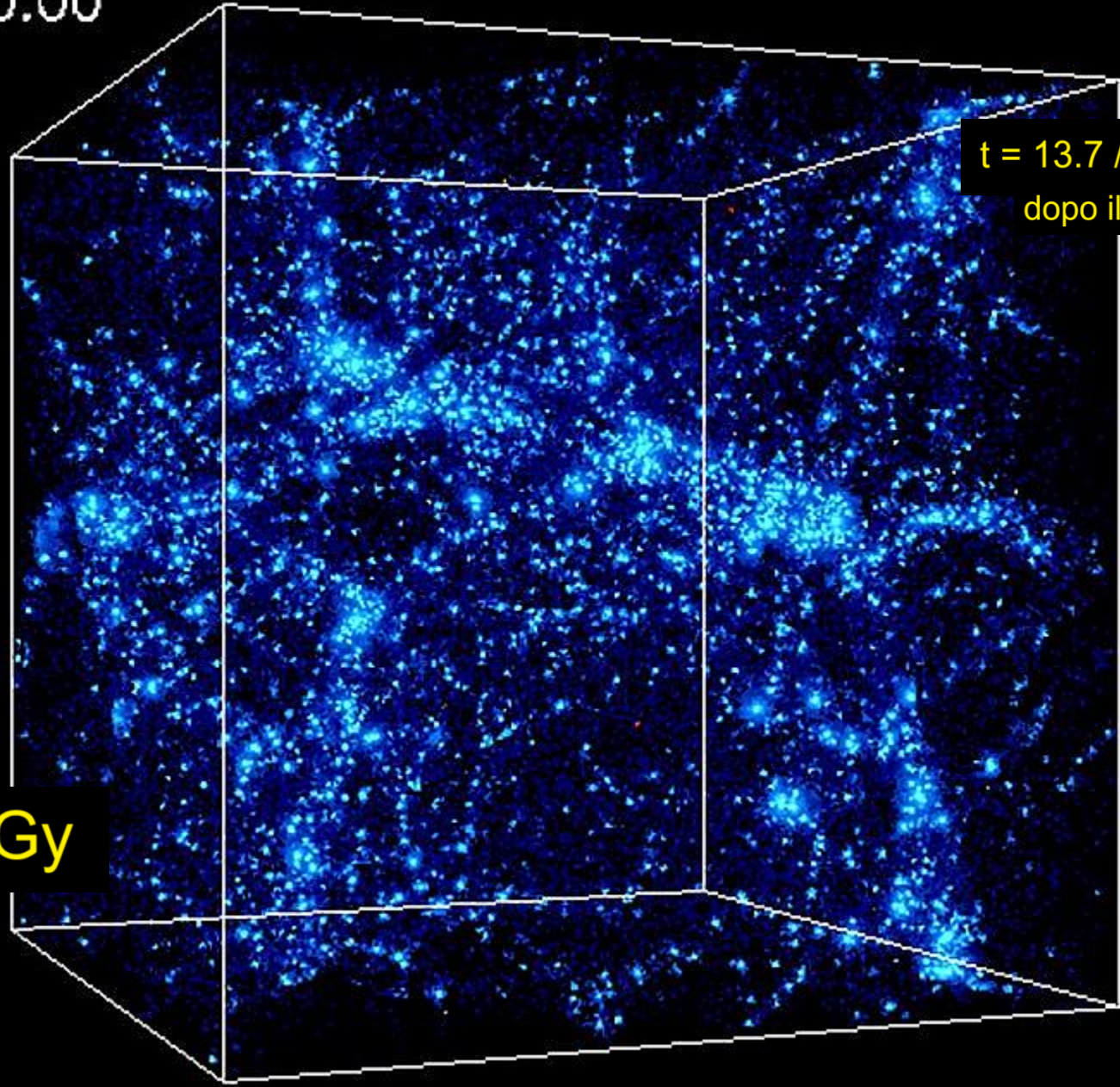
$t = 3.460$  Gy



$z = 0.00$

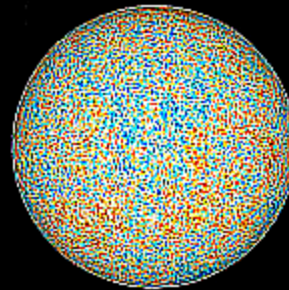
$t = 13.7 / (1+z)^2$  Gy  
dopo il Big Bang

$t = 13.7$  Gy  
oggi...





# La storia dell'Universo (il nostro...)



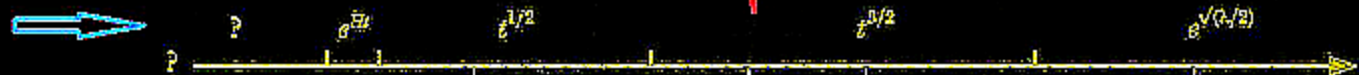
CMB flux (Cosmic Microwaves Background)  
anisotropia termica

C.M.B

Componente che  
domina la dinamica  
dell'Universo



Fattore di scala  $a(t)$



Tempo e transizioni



Eventi



Età  
dell'Universo

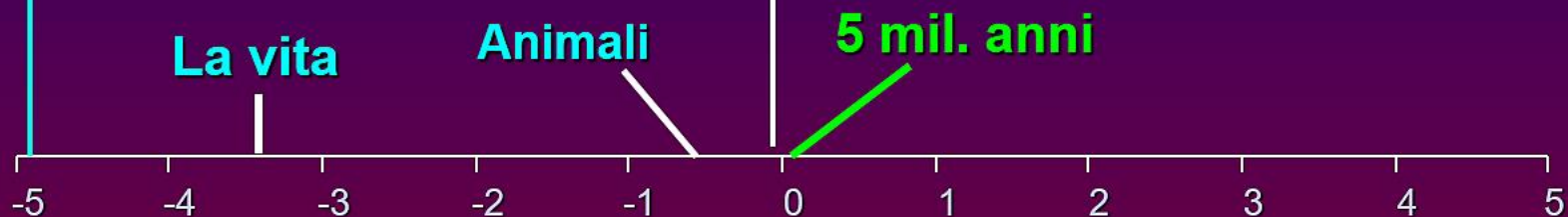
# Il Futuro della vita sulla terra

Nascita della Terra



Miliardi di anni

Oggi



Passato-Presente-Futuro

## Quanto a lungo vivremo?

Comunque vada,  
non ne usciremo vivi...

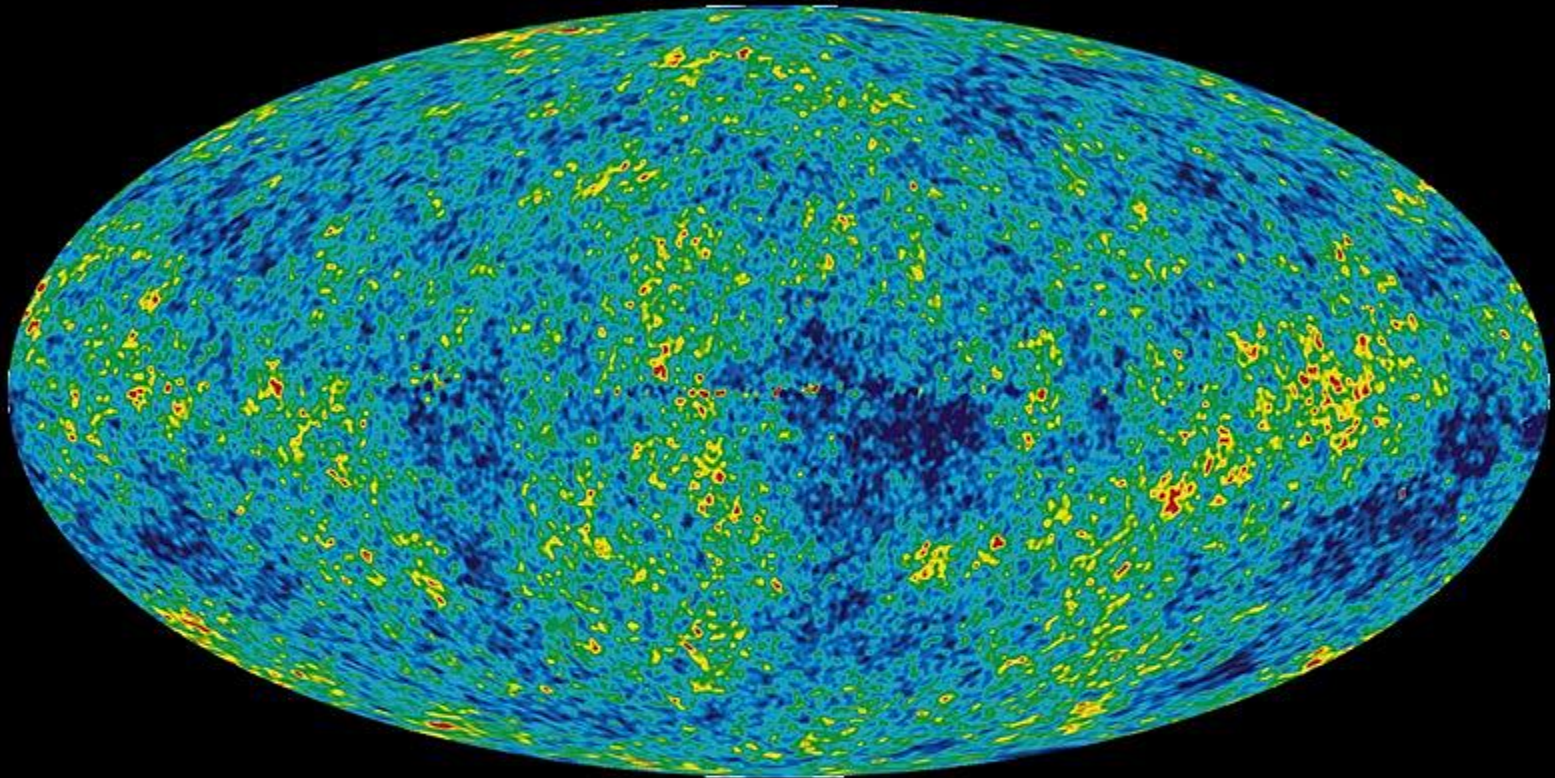
- ⇒ Impatto con un asteroide
- ⇒ I computers prendono il comando?
- ⇒ Olocausto Nucleare?
- ⇒ Distruzione Ambientale?
- ⇒ Invasione Aliena?



Si può misurare la  
temperatura dell'Universo?

Si....

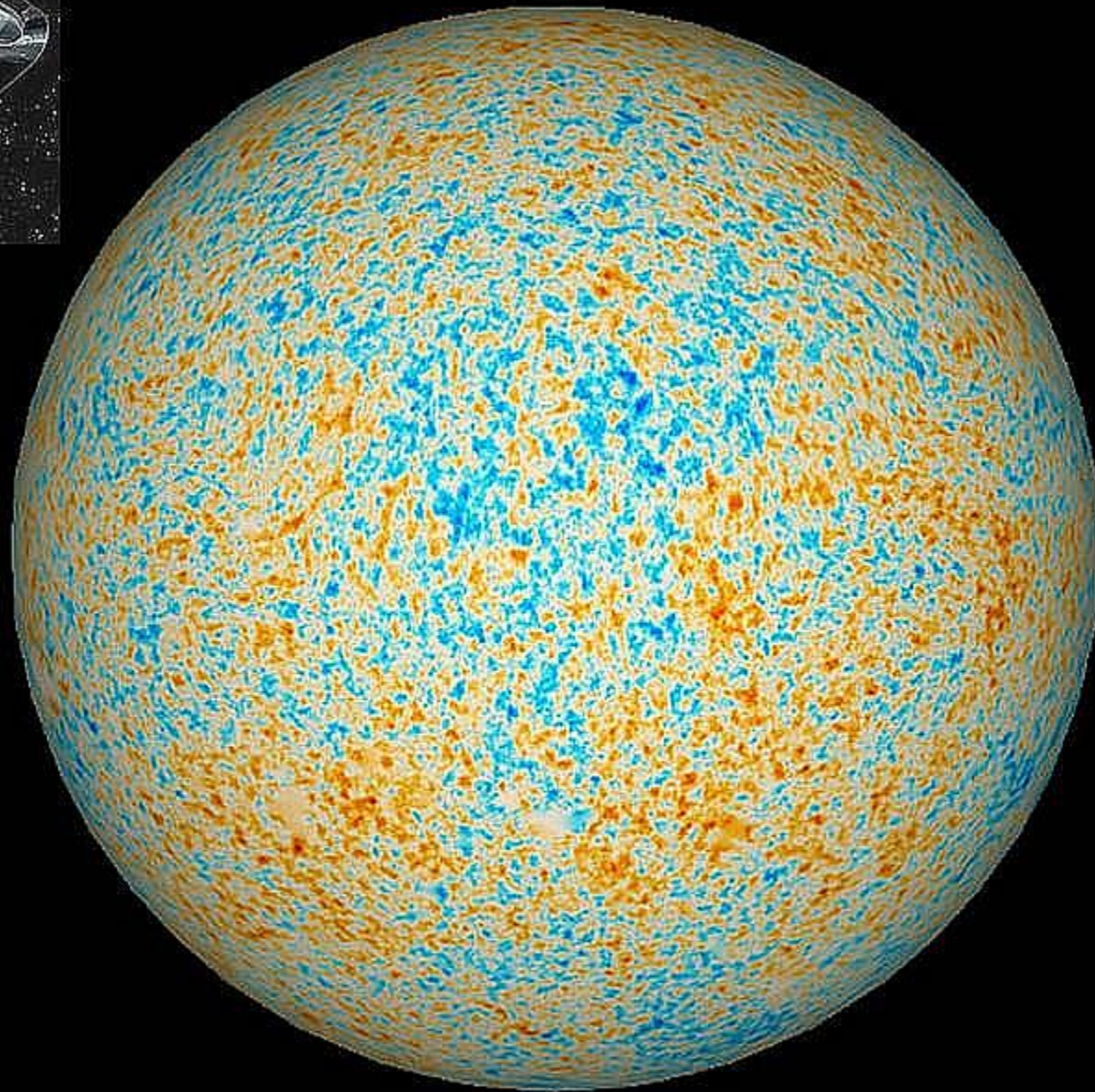
# **RADIAZIONE COSMICA DI FONDO A 3°K**



**IMMAGINE DELL'UNIVERSO 380.000 ANNI DOPO IL  
BIG BANG**



Planck  
2018



CMB flux (Cosmic Microwaves Background)  
anisotropia termica



# Misura della temperatura $T$ dell'Universo mediante la CMB

$$\lambda_{\text{CMB}} = 1 \text{ mm circa}$$

applichiamo la legge di Wien:

$$T = \frac{0.002898}{\lambda_{\text{CMB}}} = 2.898 \text{ }^\circ\text{K}$$



Quanto tempo  $t$  ha impiegato  
l'Universo a raffreddarsi fino a  $3\text{ °K}$ ?

$$t = 4 \times 10^{18} / T^2 = 4.44 \times 10^{17} \text{ sec} \\ = 14 \text{ Gy circa}$$

Calcoliamo la Costante di Hubble:

$$H_0 = 1 / t = 2.25 \times 10^{-18} \text{ secondi}$$

(valore accettato:  $2.35 \times 10^{-18}$  secondi)

Rimane ora da calcolare il  
Raggio R dell'Universo:

$$R = c / H_0 = 1.33 \times 10^{26} \text{ metri} \\ = 14 \times 10^9 \text{ A.L.}$$

Densità media:

$$\bar{\rho} = \frac{3 H_0^2}{8 G \pi} = 9.06 \times 10^{-27} \text{ Kg / m}^3$$



... e ora la massa  $M$   
dell'Universo:

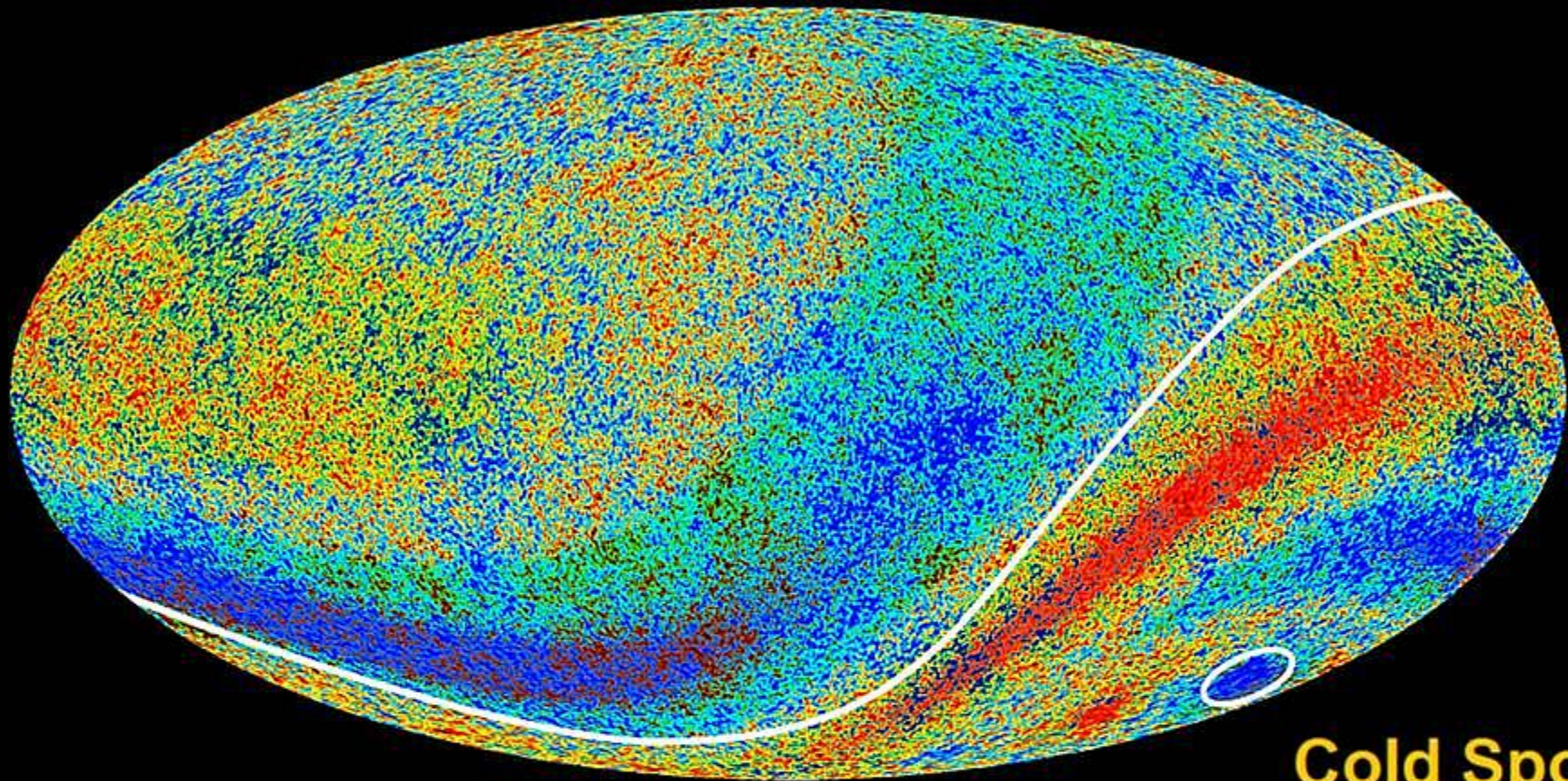
$k=+1$

$$M = \frac{4}{3} \pi R^3 \bar{\rho} = 8.93 \times 10^{52} \text{ Kg}$$

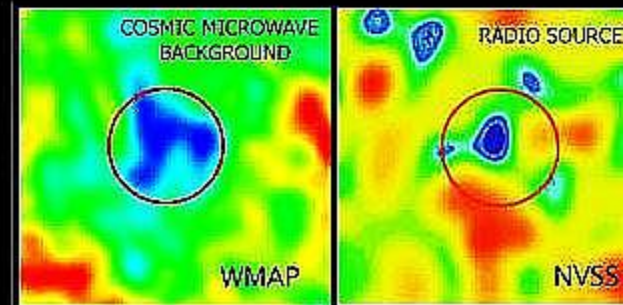
...supposto sferico ( $k = +1$ )



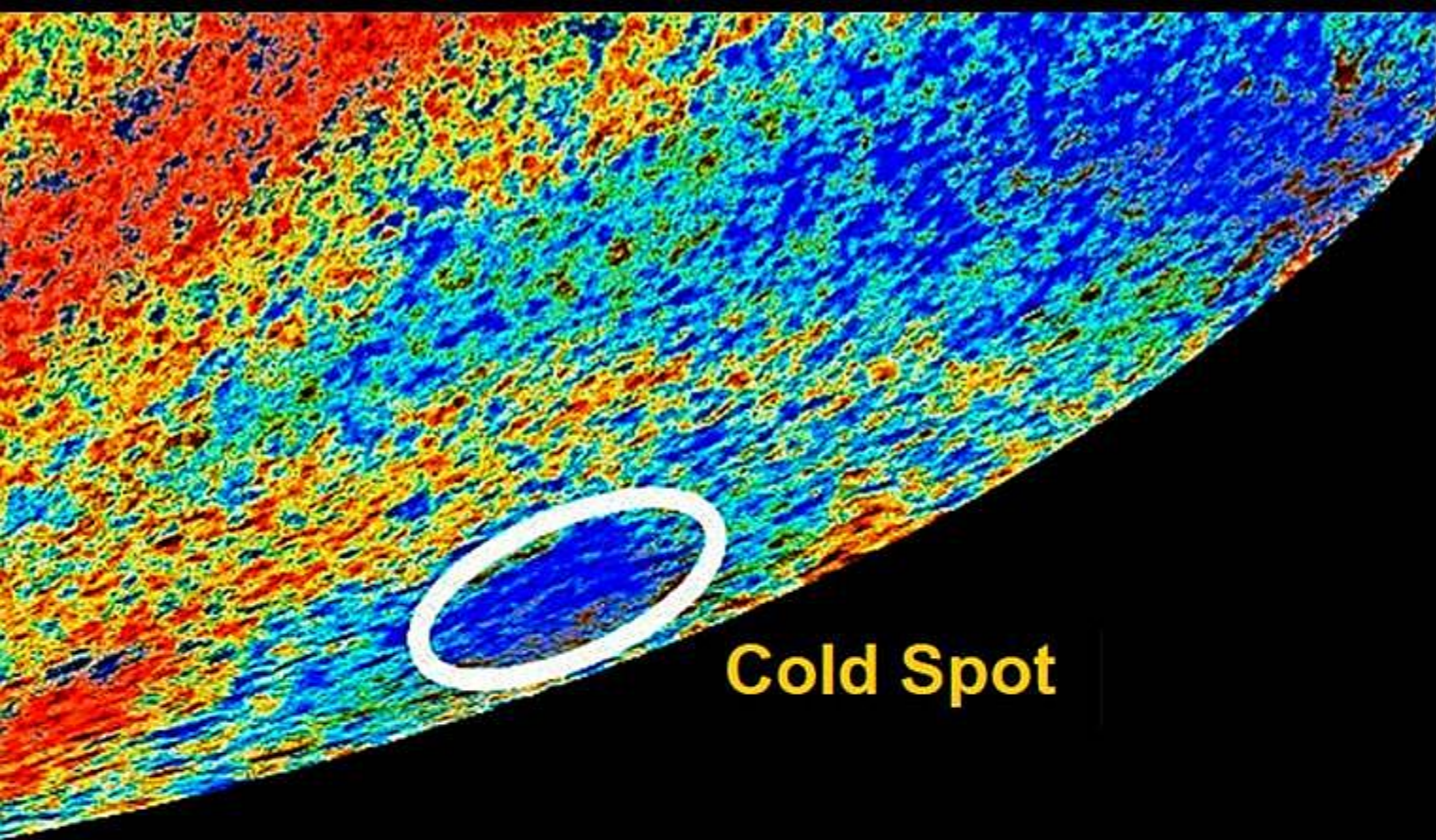
# CMB flux (Cosmic Microwaves Background)



**Cold Spot**







**Cold Spot**

A deep-field astronomical image showing a vast field of galaxies. The galaxies are scattered across a dark background, with some appearing as bright, multi-colored points and others as distinct spiral or elliptical structures. Two prominent bright yellow stars with diffraction spikes are visible. In the upper right quadrant, a specific region is highlighted with a thin white rectangular border, and the text "Cold Spot" is written in yellow next to it. The overall scene represents a large-scale view of the universe's structure.

**Cold Spot**

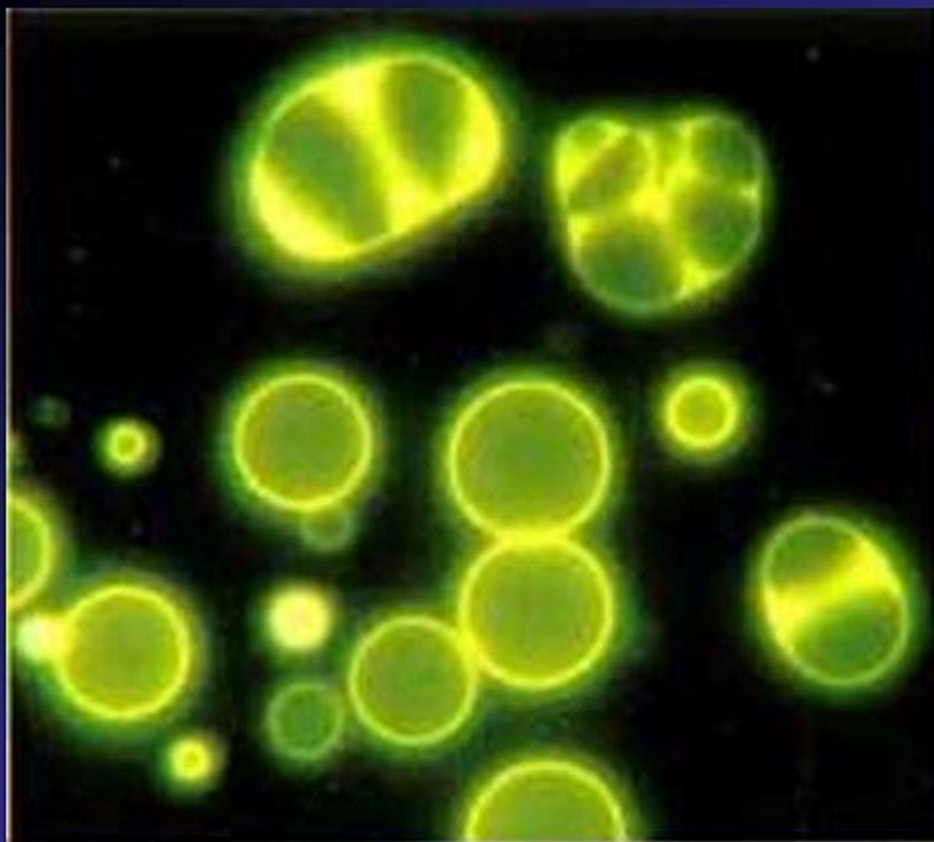


# Multiverso



**Come si è sviluppata  
la vita sulla Terra?**



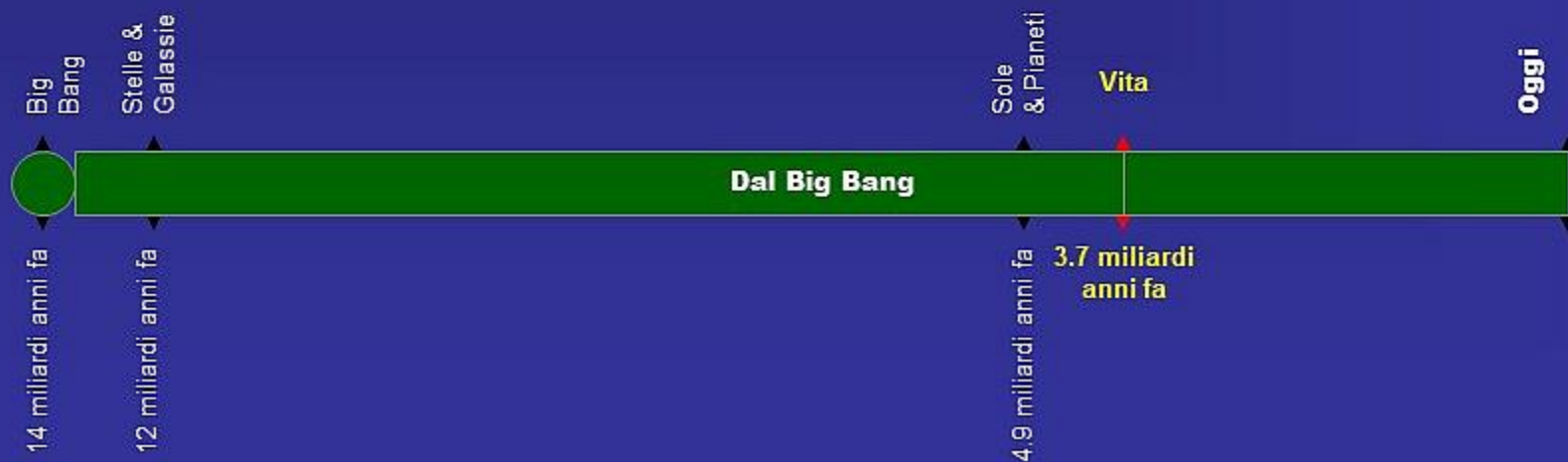


## 3,7 miliardi di anni fa

Nei mari iniziarono a formarsi macromolecole organiche che costituirono strutture con attività biologica.

La prima

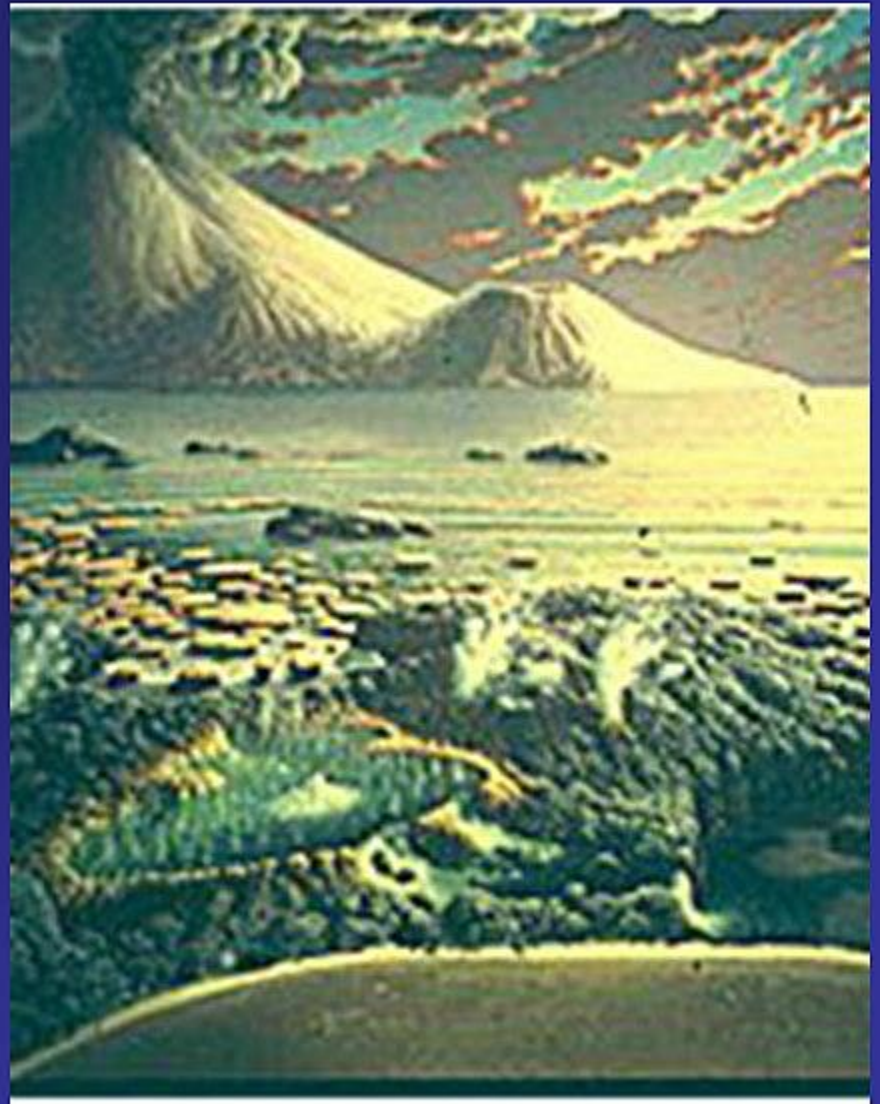
**forma di VITA sulla TERRA!**



## 2,1 miliardi di anni fa.

Alcuni ceppi batterici utilizzando l'energia solare, l'acqua e l'anidride carbonica, iniziarono a produrre **ossigeno** come sostanza di rifiuto.

**In breve tempo l'atmosfera inizia ad arricchirsi d'ossigeno.**







I primi **pesci** dotati di bocca mobile fecero la loro comparsa. Da alcuni di questi si differenziarono i **primi anfibi**

**400 milioni di anni fa**

Tutte le terre emerse erano riunite in un **unico supercontinente**.  
Il clima era torrido.  
Iniziarono a comparire i **primi Dinosauri**.



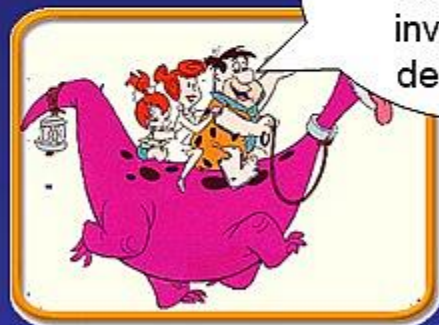
**260 milioni di anni fa**





Si formarono due masse continentali, una settentrionale ed una meridionale.

**I Dinosauri dominavano tutte le nicchie ecologiche.**



Noi sui dinosauri siamo una invenzione dei fumetti



**195 milioni di anni fa**



Differenziazione delle **piante**  
e dei **fiori**; grande diffusione  
degli **insetti**.

Uno o più **meteoriti**  
colpiscono la Terra, con  
**l'estinzione di circa il**  
**76%**  
delle specie viventi. .

**138 milioni di anni fa**



**...poi 65 milioni di anni fa...**







Chicxulub Puerto  Chicxulub

...fine dei dinosauri



# ora i mammiferi hanno campo libero

## ...e poi

Comparirono i primi primati ominoidi da cui ebbero origine le prime **scimmie** antropomorfe.

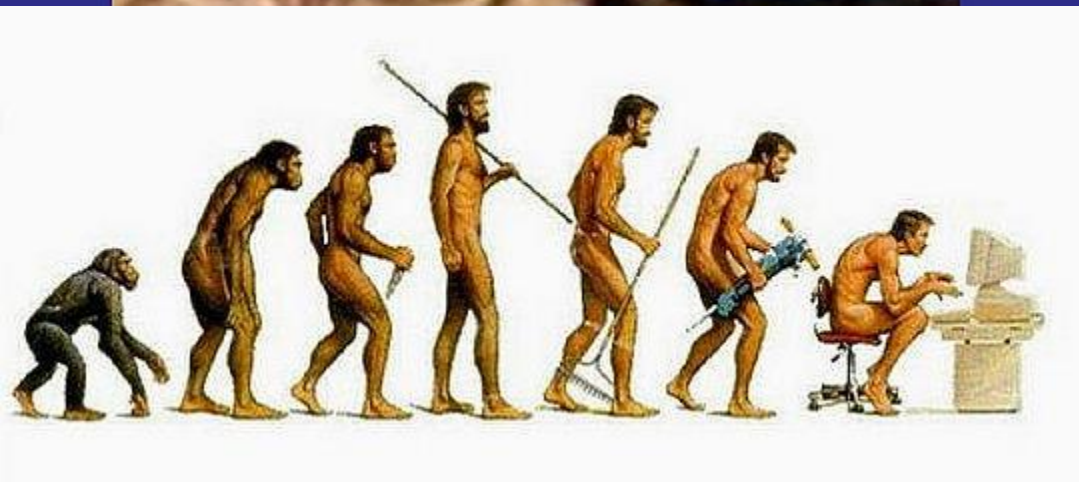


**16,5 milioni di anni fa**

**Circa 6 milioni di  
anni fa, iniziò la  
linea evolutiva  
dell'uomo..**

Questi furono i primi  
**OMINIDI**. Diversi tipi di  
ominidi vissero sulla Terra per  
i successivi 6 milioni di anni,  
alcuni anche nello stesso  
tempo, ma solo una specie  
sopravvive oggi ...

**NOI!!!**





Si, va bene, ma...  
Tutto ciò è molto, molto, molto  
improbabile...



...circa  $1 \times 10^{-25}$

E allora?

**Il Principio Antropico**

# Letture interessanti:



Non solo Dio gioca a  
dadi, ma pure bara...



A black and white photograph of Albert Einstein, looking towards the camera with a questioning expression. He is pointing his right hand towards a chalkboard. A blue speech bubble with a white outline is positioned above his hand, containing the text "Tutto chiaro fin qui?".

**Tutto chiaro  
fin qui?**

*Il bello deve  
ancora venire...*

**...nelle prossime lezioni!**