



Università della Terza Età "Cardinale Giovanni Colombo" – Milano

A.A. 2023 - 2024

Corso di Astrofisica

Docente : **Adriano Gaspani**

Lezione 2

Lo Spazio, il Tempo, la Materia e l'Energia:  
quattro aspetti della stessa cosa

A close-up, slightly low-angle shot of Yoda's face. He has a serious, contemplative expression, looking slightly to the right. His green, wrinkled skin is highly detailed, showing deep creases around his eyes and mouth. The background is dark and out of focus, suggesting an indoor setting with some foliage.

**Spazio  
Tempo  
Materia  
Energia**

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

Ragioniamo in grande...

# Multiverso



# Di cosa è fatto l'UNIVERSO?

...per lo meno il nostro

energia  
oscura  
73%



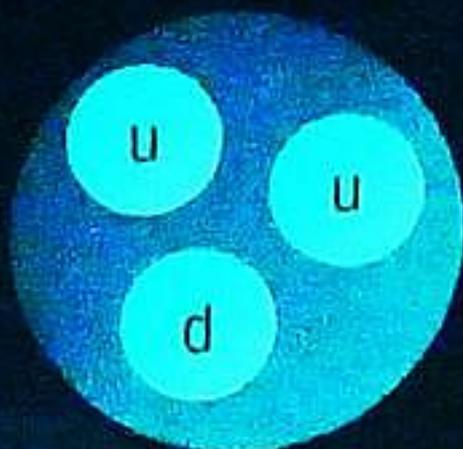
materia  
ord.  
4%

materia  
oscura  
23%

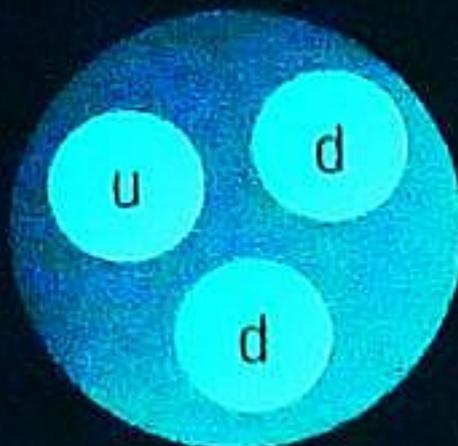
# Materia

FIG. 2

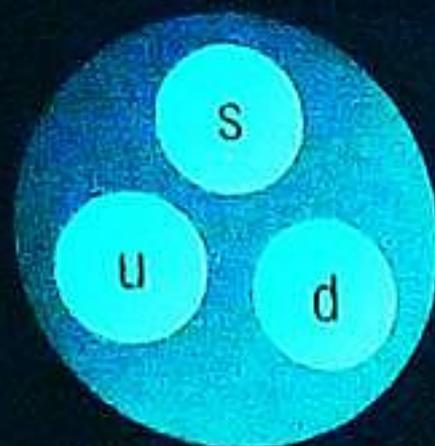
PROTONE



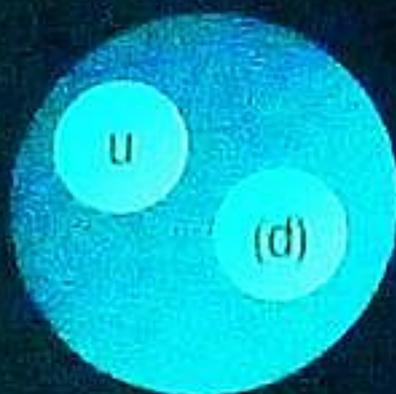
NEUTRONE



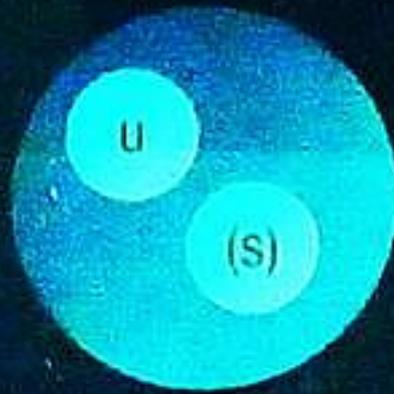
LAMBDA



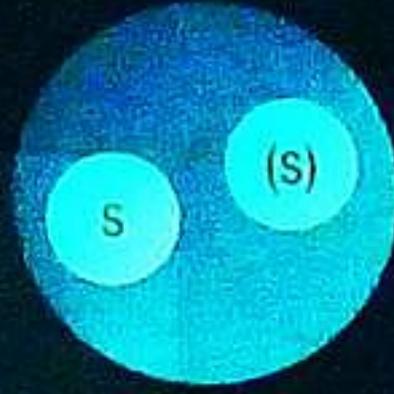
MESONE  $\text{PI}^+$



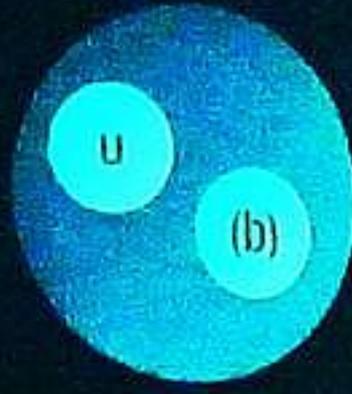
MESONE  $\text{KA}^+$



MESONE PHI



MESONE  $\text{B}^+$



Rappresentazione di alcuni adroni a seconda della loro combinazione di quark. Nella riga superiore, i barioni (formati da tre quark) e in quella inferiore, i mesoni (formati da due quark).

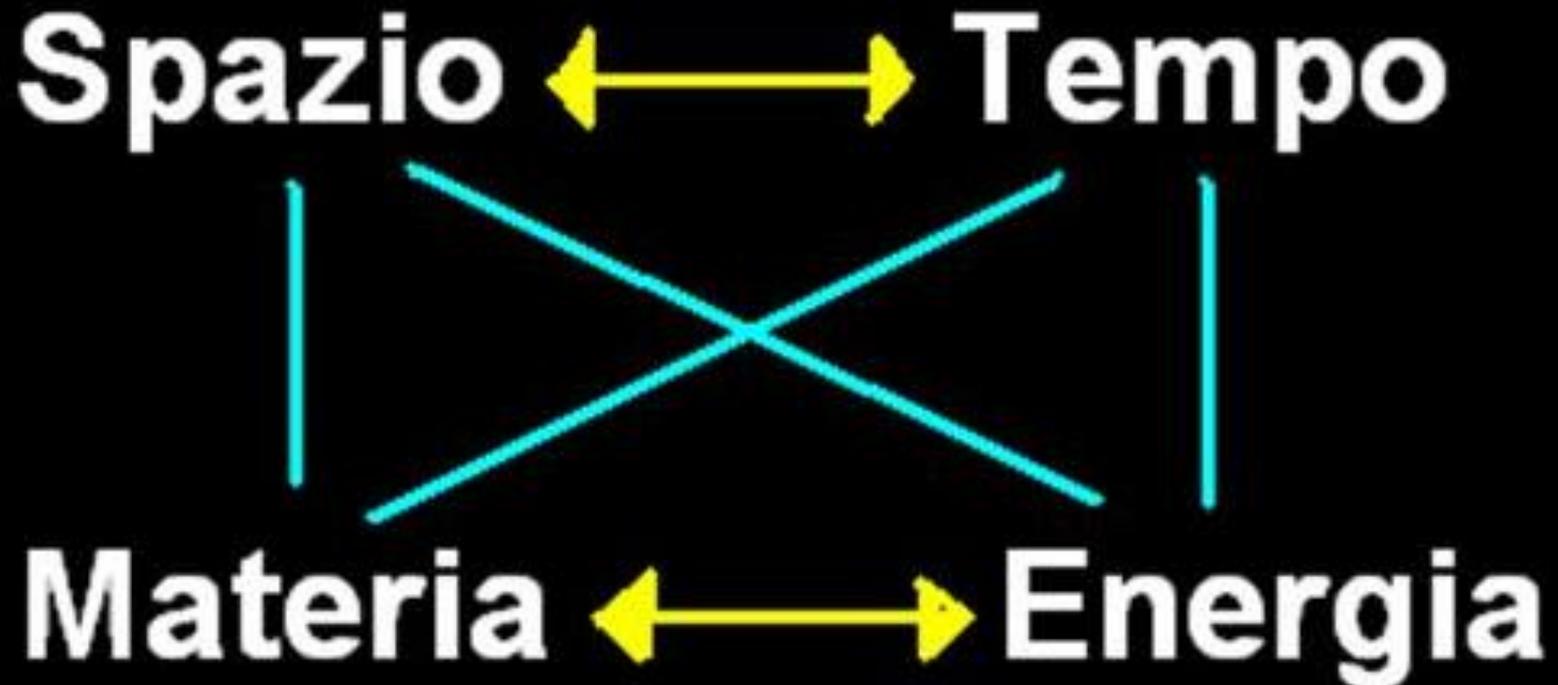
# Materia

FIG. 4



Le diciassette particelle elementari che costituiscono il modello standard.

Esiste quindi una corrispondenza  
incrociata tra tutti...



sono legati indissolubilmente...

## Unità di Planck: unità fondamentali

Dimensione	Formula		Valore nel Sistema Internazionale
Lunghezza di Planck	Lunghezza (L)	$l_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}}$	$1,616\ 252(81) \times 10^{-35}$ m
Massa di Planck	Massa (M)	$m_p = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}}$	$2,176\ 44(11) \times 10^{-8}$ kg
Tempo di Planck	Tempo (T)	$t_p = \frac{l_p}{c} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}}$	$5,391\ 24(27) \times 10^{-44}$ s
Temperatura di Planck	Temperatura ( $\Theta$ )	$T_p = \frac{m_p c^2}{k_B} = \sqrt{\frac{\hbar c^5}{G k_B^2}}$	$1,416\ 785(71) \times 10^{32}$ K
Carica di Planck	Carica elettrica (Q)	$q_p = \sqrt{4\pi\epsilon_0 \hbar c}$	$1,875\ 545\ 870 \times 10^{-18}$ C

Le tre costanti della fisica sono espresse in questo modo semplicemente, mediante l'uso delle unità fondamentali di Planck:

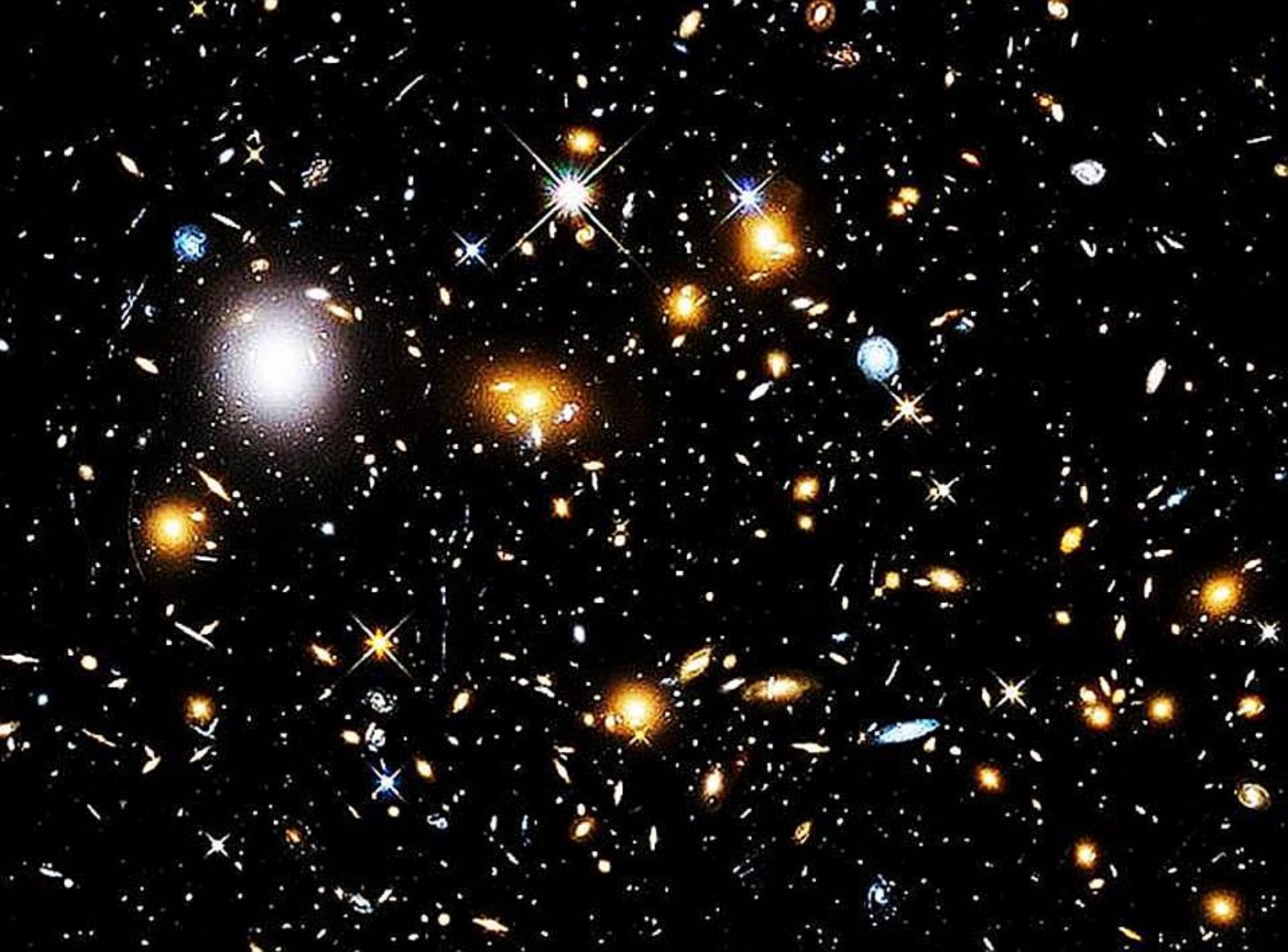
$$c = \frac{l_p}{t_p}$$

$$\hbar = \frac{m_p l_p^2}{t_p}$$

$$G = \frac{l_p^3}{m_p t_p^2}$$

# La struttura dell'Universo

Sovrapposizione di 342 esposizioni da parte di HST tra il 18 e il 28 dicembre 1995. L'immagine mostra circa 1.500 galassie nelle profondità dell'Universo e ricopre una zona di cielo pari a quella che copre 1 eurocent a circa 20 m di distanza in direzione dell'Orsa Maggiore.



# Energia del vuoto...



## L'Energia del Vuoto

La densità di energia  $p$  contenuta nello "spazio vuoto" dovuta alle fluttuazioni quantistiche è:

$$p = \frac{I_{\infty} \cdot \hbar \cdot c}{R^4} = 10^9 \text{ Joule/m}^3$$

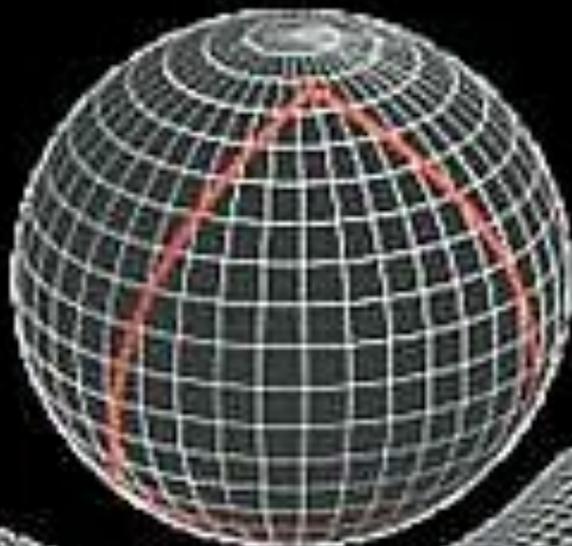
$I_{\infty}$  = Quantità di informazione contenuta nell'Universo

$\hbar$  = Costante di Plank ridotta

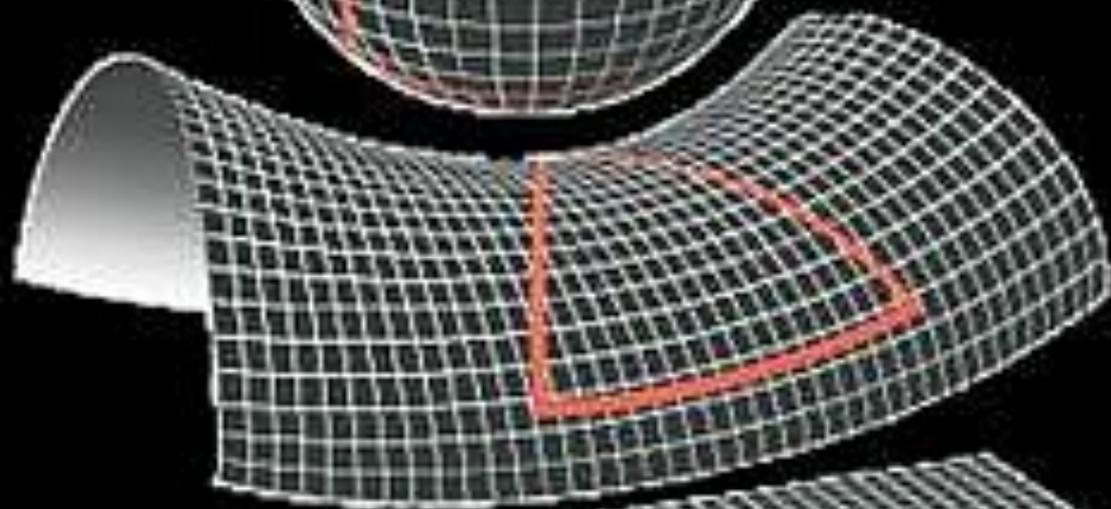
$c$  = Velocità della Luce ( $c=300.000 \text{ Km/sec}$ )

$R$  = Raggio dell'Universo ( $R=13.7 \text{ miliardi di Anni Luce}$ )

**Densità dell'Energia Oscura**



$$k = +1$$



$$k = -1$$



$$k = 0$$

La forma dell'Universo?

# Equazioni di Friedmann

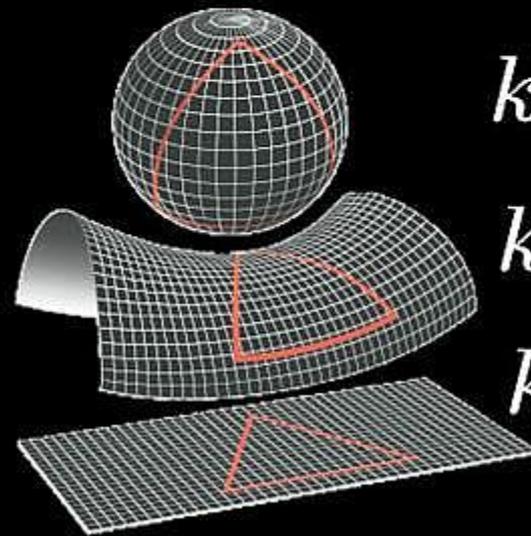
$$\dot{R} = \left[ R^2 \frac{8\pi G \rho + \Lambda c^2}{3} - k c^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\ddot{R} = -\frac{4\pi G}{3} \left( \rho + \frac{3p}{c^2} \right) R + \frac{\Lambda c^2}{3} R$$



Aleksandr Aleksandrovič Fridman  
(San Pietroburgo, 6 giugno 1888 –  
Pietrogrado, 16 settembre 1925)

- $R$  = Raggio dell'Universo
- $\dot{R}$  = Velocità di espansione
- $\ddot{R}$  = Accelerazione dell'espansione
- $\rho$  = Densità media della materia
- $p$  = Pressione
- $c$  = Velocità della luce
- $G$  = Costante di Gravitazione Universale
- $\Lambda$  = Costante cosmologica
- $k$  = Parametro di curvatura



$k=+1$

$k=-1$

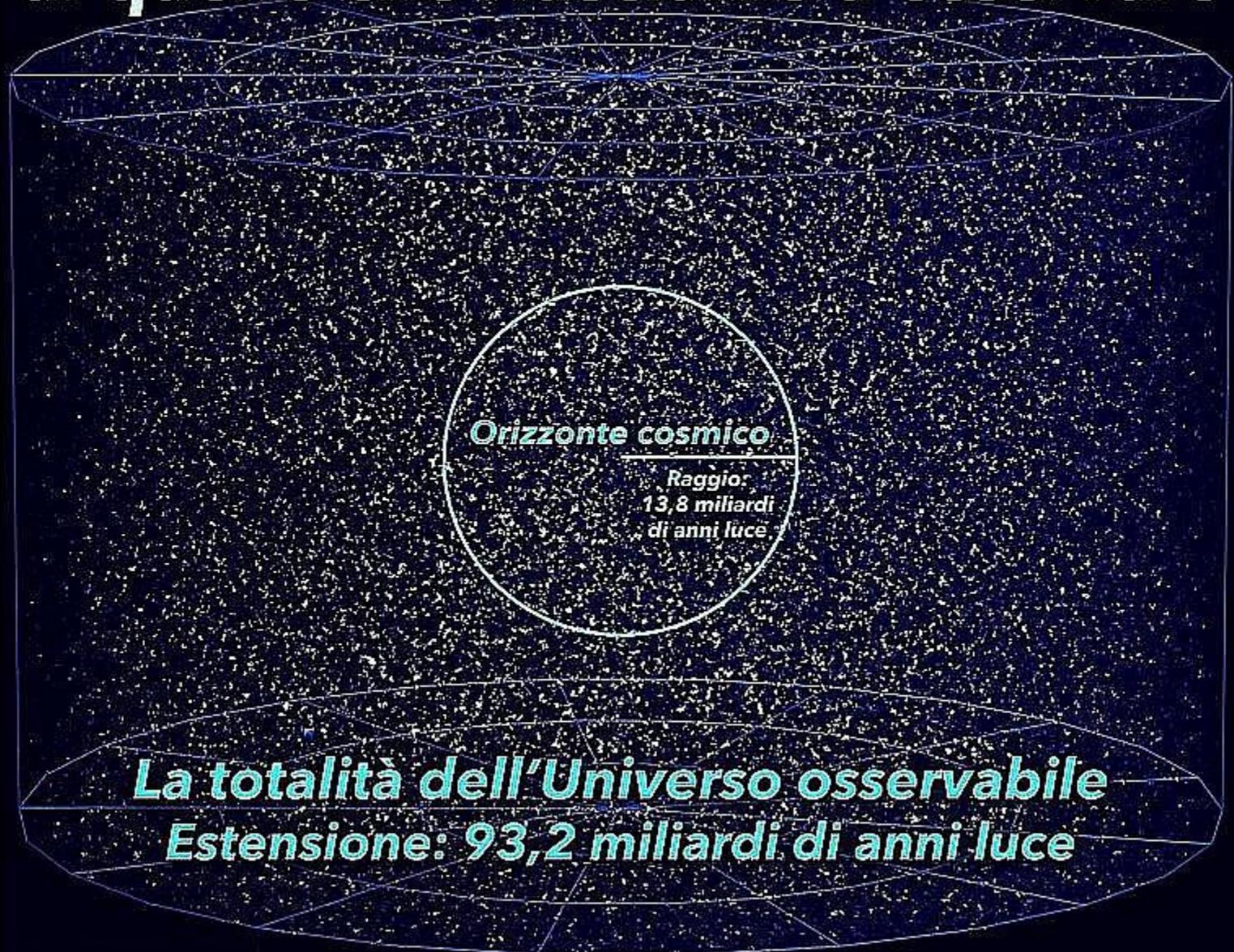
$k=0$

**Il fatto che la velocità della luce sia finita ( $c=300000$  km/sec) crea un orizzonte cosmologico al tempo  $t$  di età dell'Universo.**

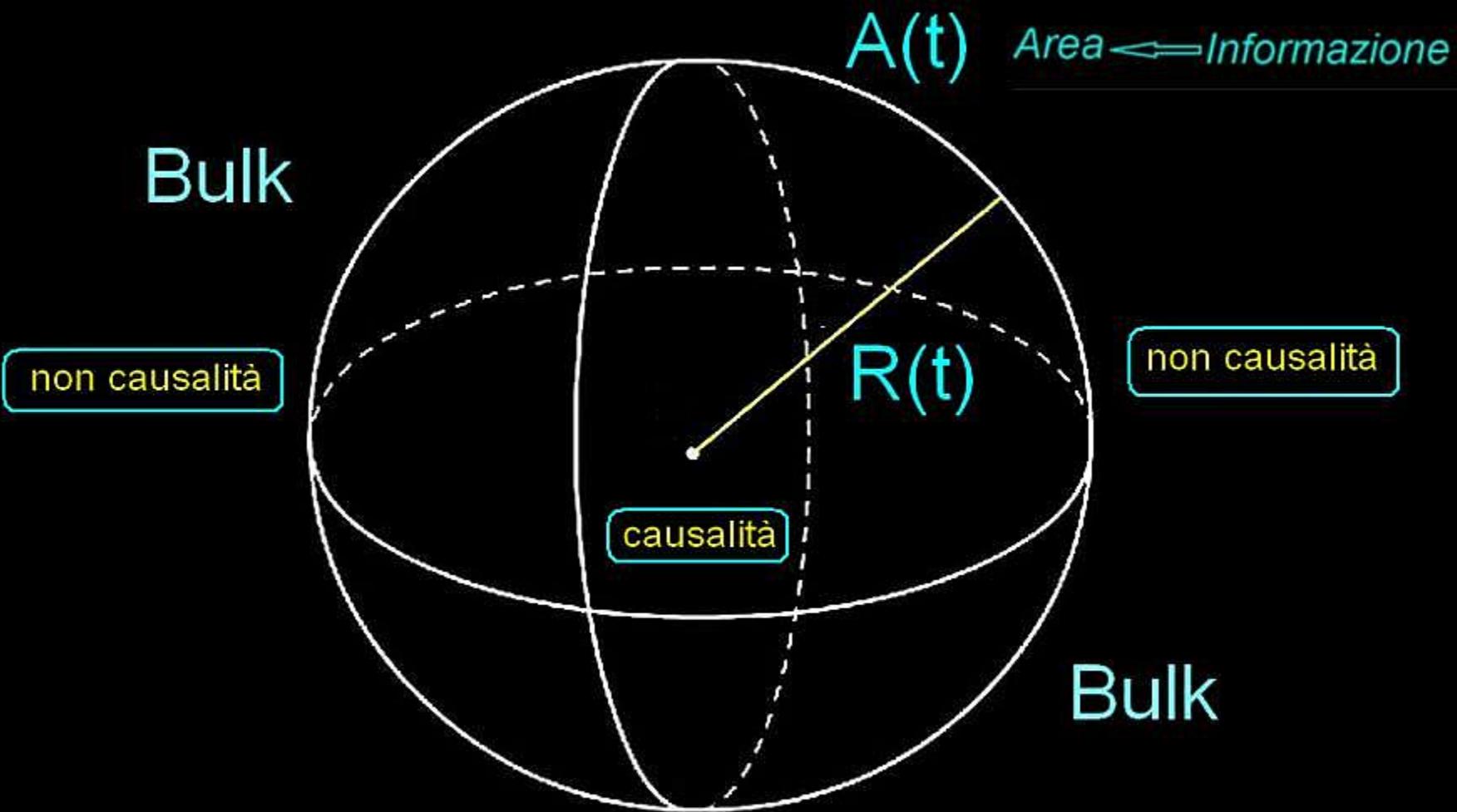
**Il suo raggio è  $R = t$  anni luce**

**Si crea una superficie che racchiude un volume di spazio a cui abbiamo accesso in maniera causale.**

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



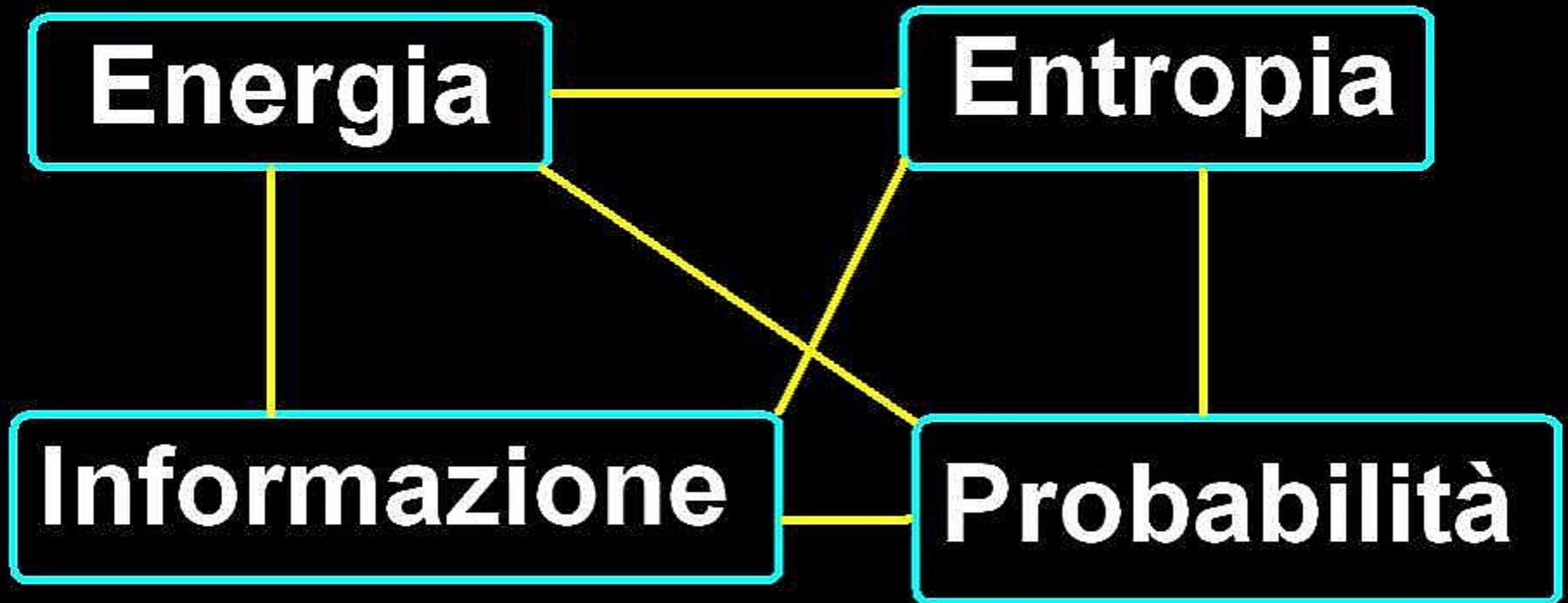
# Universo ( $k=1$ )



$$R(t) = 13,7 \text{ miliardi di AL}$$

L'espansione dell'Universo  
è dovuta all'Energia Oscura  
(negativa, antigravitazionale)  
che genera lo Spazio-Tempo  
ad una velocità molto superiore  
a quella della luce.

# Corrispondenze



**L'Entropia descrive  
l'Informazione contenuta  
in un sistema:**

$$I_{BH} = e^{\frac{S_{BH}}{k}}$$

$I_{BH}$  = informazione

$S_{BH}$  = Entropia

$k$  = costante di Boltzmann

**In passato, l'Informazione era minore in quanto l'Universo è in espansione.**

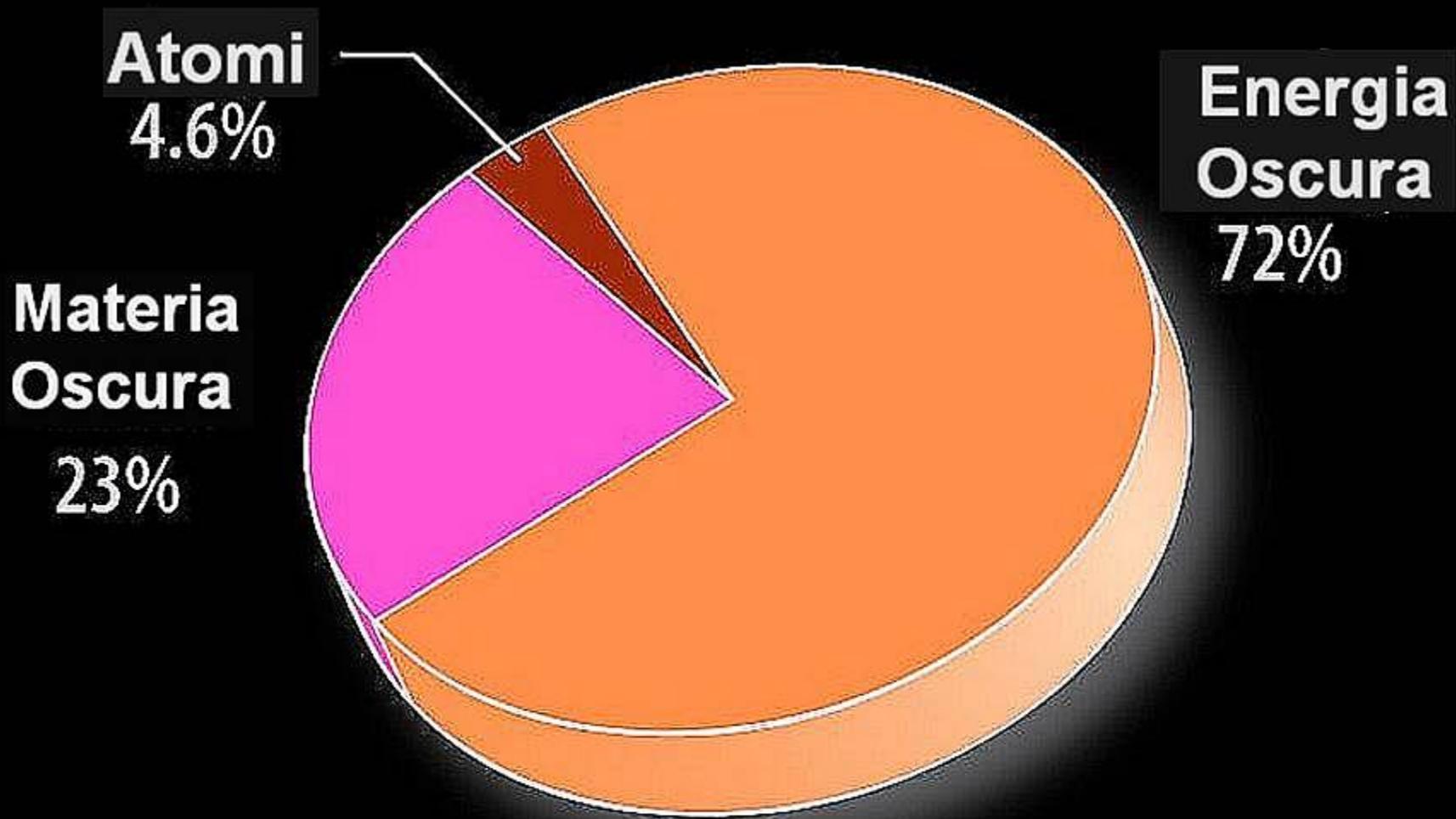
**In futuro sarà maggiore fino a raggiungere un valore limite massimo quando la velocità di espansione sarà uguale alla velocità della luce**

**Nell'Universo primordiale l'Informazione variava proporzionalmente a  $t^2$**



13,7 Miliardi di anni fa

(età dell'Universo: 380.000 anni)



Oggi

**Lloyd (2002) cercò di rispondere alla seguente domanda:**

**"Quanta informazione è stata elaborata dall'Universo dalla sua formazione (Big Bang) fino ad ora?"**

**Età attuale dell'Universo: 13,7 Miliardi di anni**

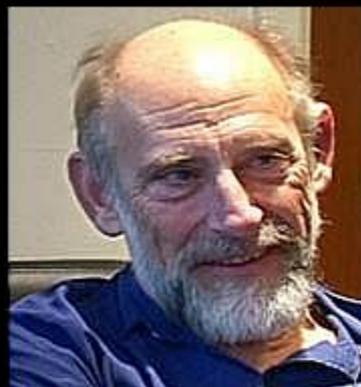
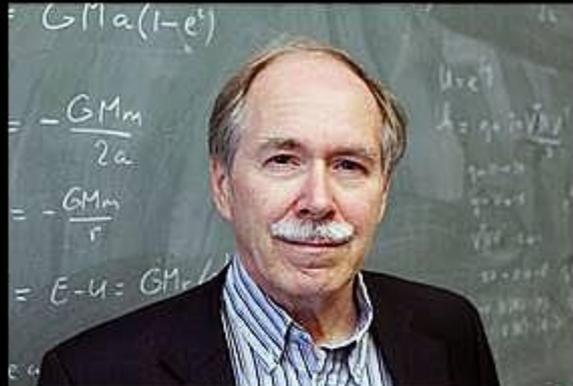
**Siccome l'età dell'Universo è finita (13,7 miliardi di anni), l'informazione elaborata fino ad ora non può essere infinita.**

**Questo è dovuto alle limitazioni imposte dalla Meccanica Quantistica, dalle leggi della Termodinamica e dal fatto che la velocità della luce è finita ( $c=300000$  km/sec).**

Il risultato è:

$$I \leq 10^{122} \text{ bits}$$

Gerardus (Gerard) 't Hooft



Leonard Susskind

**Nel 1993 Gerard 't Hooft e Leonard Susskind proposero il**

## **"Principio Olografico"**

**secondo il quale tutta l'informazione presente nell'Universo è immagazzinata nell'involuppo che lo racchiude (orizzonte cosmologico)**

# Il Principio Olografico

"L'informazione totalmente contenuta nell'Universo osservabile è un numero finito ed è data dalla superficie cosmologica divisa per la costante di Planck"

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



$$I = 10^{122} \text{ bits}$$

valore massimo

$$\dot{R} \Rightarrow c$$

Universo  $\Rightarrow$  BH

$$R(t) = 13,7 \text{ Miliardi di anni luce}$$

# Concezione delle leggi della Fisica

## Concezione Platonica

*"Le Leggi della Fisica sono perfette forme matematiche idealizzate, che realmente esistono, ma sono confinate in un dominio astratto che trascende l'Universo fisico"*

**...allora le leggi della Fisica esistono indipendentemente dall'esistenza dell'Universo, quindi le possiamo usare per studiare altri universi...**



Le leggi della Fisica descrivono l'Universo, ma l'Universo non condiziona le leggi della Fisica

## Conseguenza del principio olografico



**Le leggi della Fisica possono spiegare la Natura fino ad un livello massimo di informazione ( $10^{122}$  bits) cioè la massima informazione possibile contenuta nell'Universo.**

# Universo Olografico



Le leggi della Fisica descrivono il limitato contenuto di informazione insita nei fenomeni fisici.

Il mistero di Wigner (1960):

*"The unreasonable effectiveness of Mathematics in the Physical Sciences"*

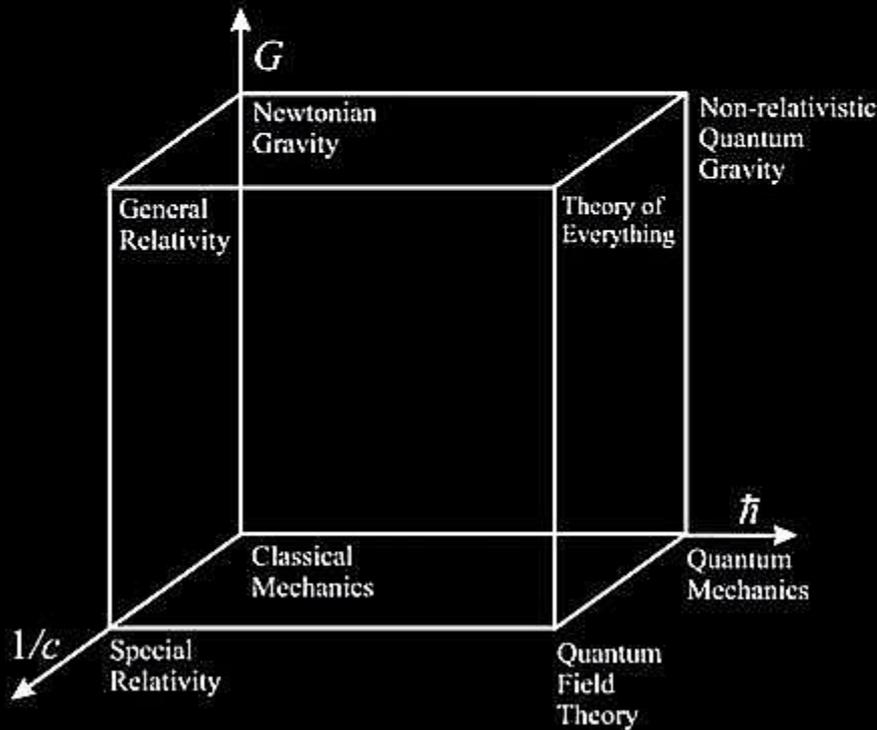
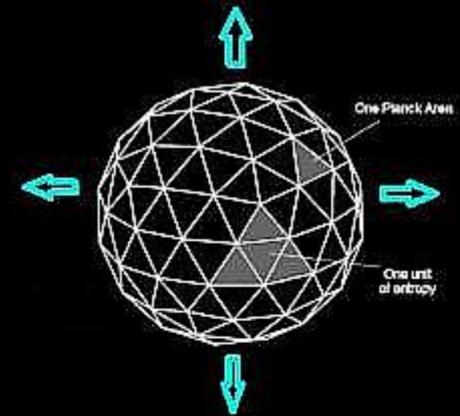
...diversi Universi, diverse leggi Fisiche

**Il Principio Olografico implica che le leggi fisiche non possono esistere in termini di perfette forme matematiche, ma sono soggette a variazioni dipendenti dal contenuto di Informazione dell'Universo.**

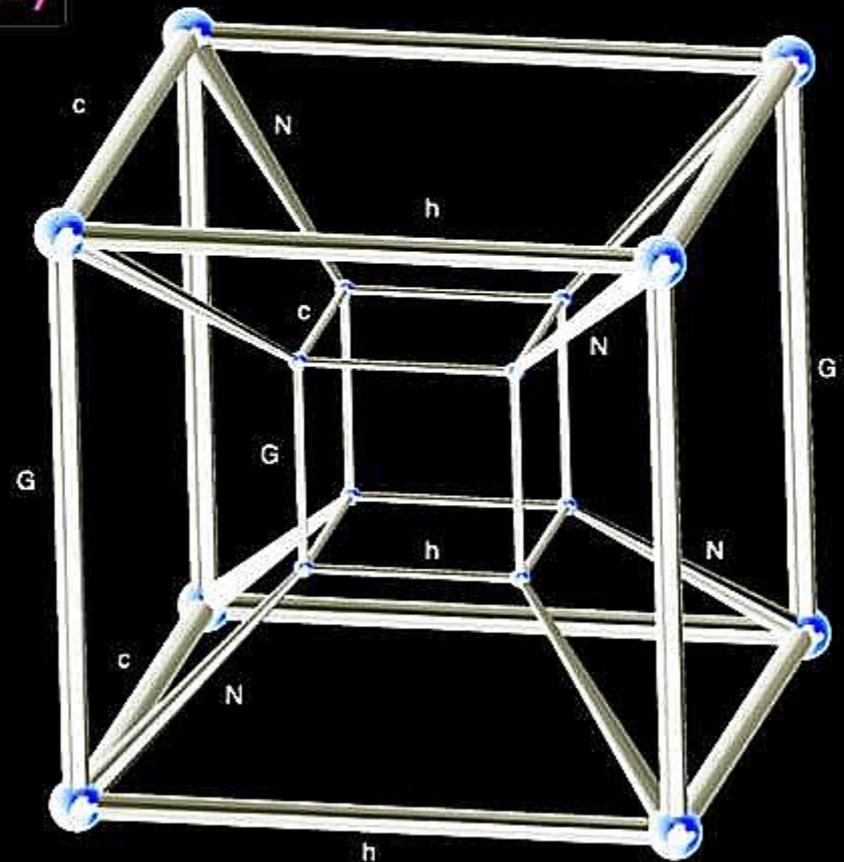
**...quindi:  $G$  e  $c$  potrebbero variare su tempi scala cosmologici**

# Aumento progressivo dell'Informazione (N bits) nell'Universo a causa della sua espansione

(variazione delle costanti fisiche)



Situazione attuale



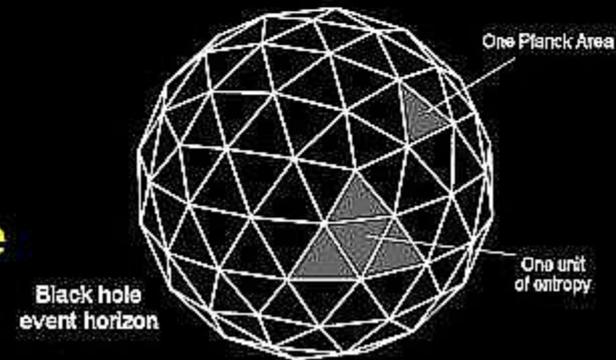
Futuro

# Entropia di Beckenstein - Hawking

$$S = \frac{\pi A k c^3}{2 h G}$$



**A = area dell'orizzonte degli eventi**  
**c = velocità della luce nel vuoto**  
**h = costante di Planck (non ridotta)**  
**G = costante di Gravitazione Universale**  
**k = costante di Boltzmann**



# Entropia dell'Universo al tempo t

## Entropia di Beckenstein - Hawking

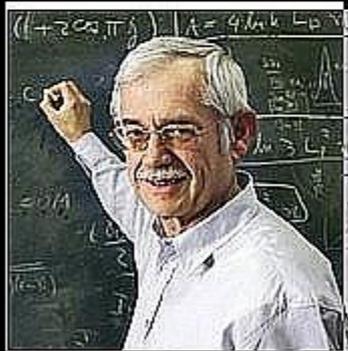


Hawking

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

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

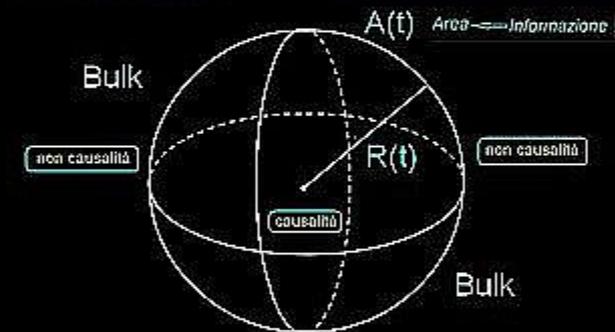
G = costante di gravitazione universale

$k_B$  = 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)

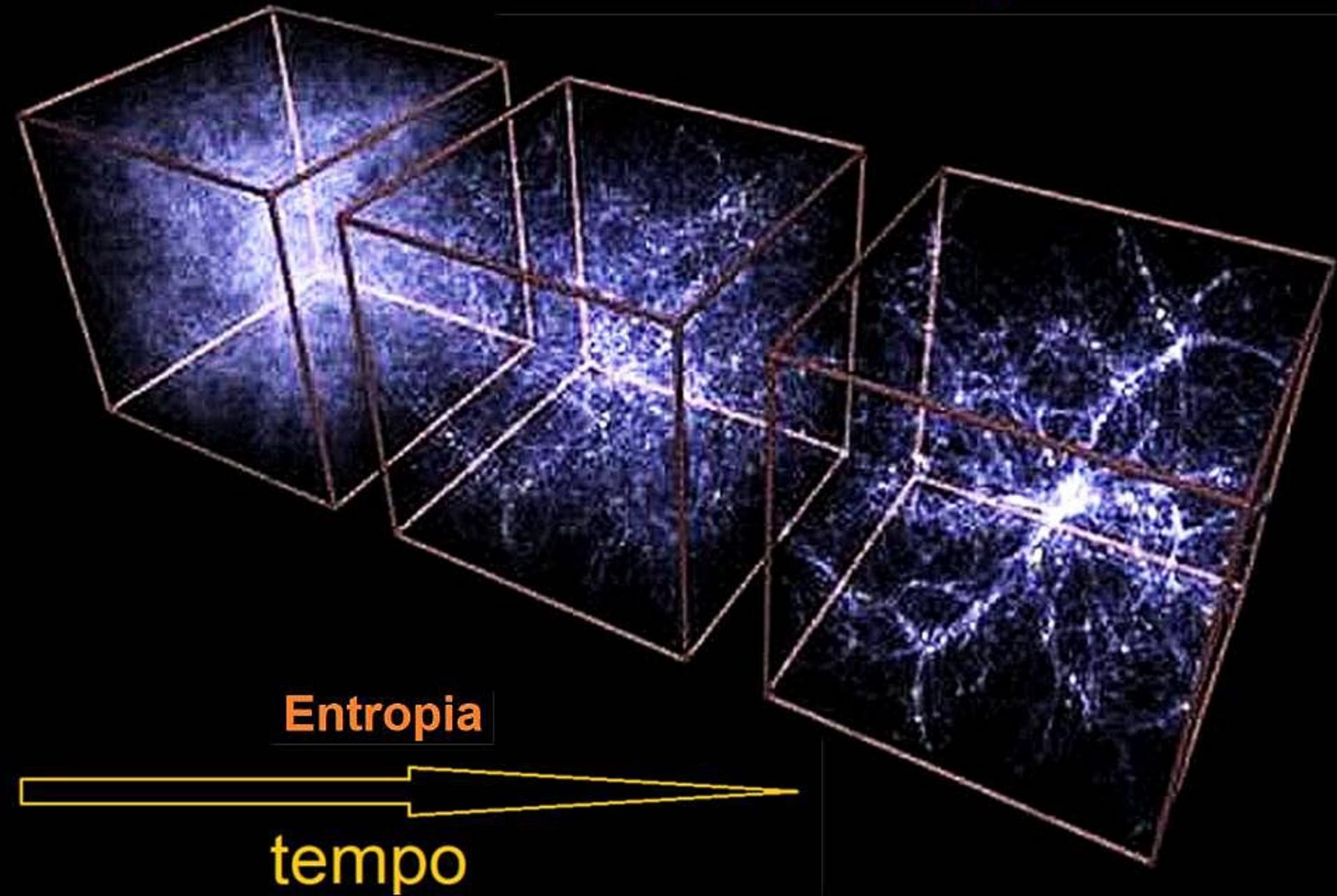
$h$  = costante di Plank  $6.626\,070\,040(81) \times 10^{-34} \text{ J s}$

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

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

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

# Effetti dell'Energia Oscura



# Conseguenze

- 1) L'energia oscura responsabile dell'espansione dell'Universo può essere trattata come energia ordinaria.
- 2) Se il contenuto di informazione  $I(t)$  è finito e limitato allora le leggi fisiche che descrivono l'Universo non possono essere sempre le stesse, nel tempo.

Le costanti potrebbero variare lentamente nel tempo

sembrerebbe di no...

- 3) L'Universo è sostanzialmente a 2 dimensioni le quali creano l'effetto tridimensionale a noi percepibile agendo sull'informazione localmente presente in ogni punto di esso.
- 4) Ogni punto locale dell'Universo contiene l'informazione completa relativa al tutto l'Universo nel suo insieme.

**Questo spiega bene l'Entanglement**

- 5) Ogni istante temporale nell'Universo contiene tutta l'informazione relativa agli altri istanti passati, presenti e futuri di esso, quindi l'informazione sul presente è una combinazione non lineare dell'informazione relativa al passato e di quella relativa al futuro.

# 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  $6.626\,070\,040(81) \times 10^{-34} \text{ J s}$

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

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

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