



Università "Cardinale Giovanni Colombo" - Milano

A.A. 2024 - 2025

Corso di Astrofisica

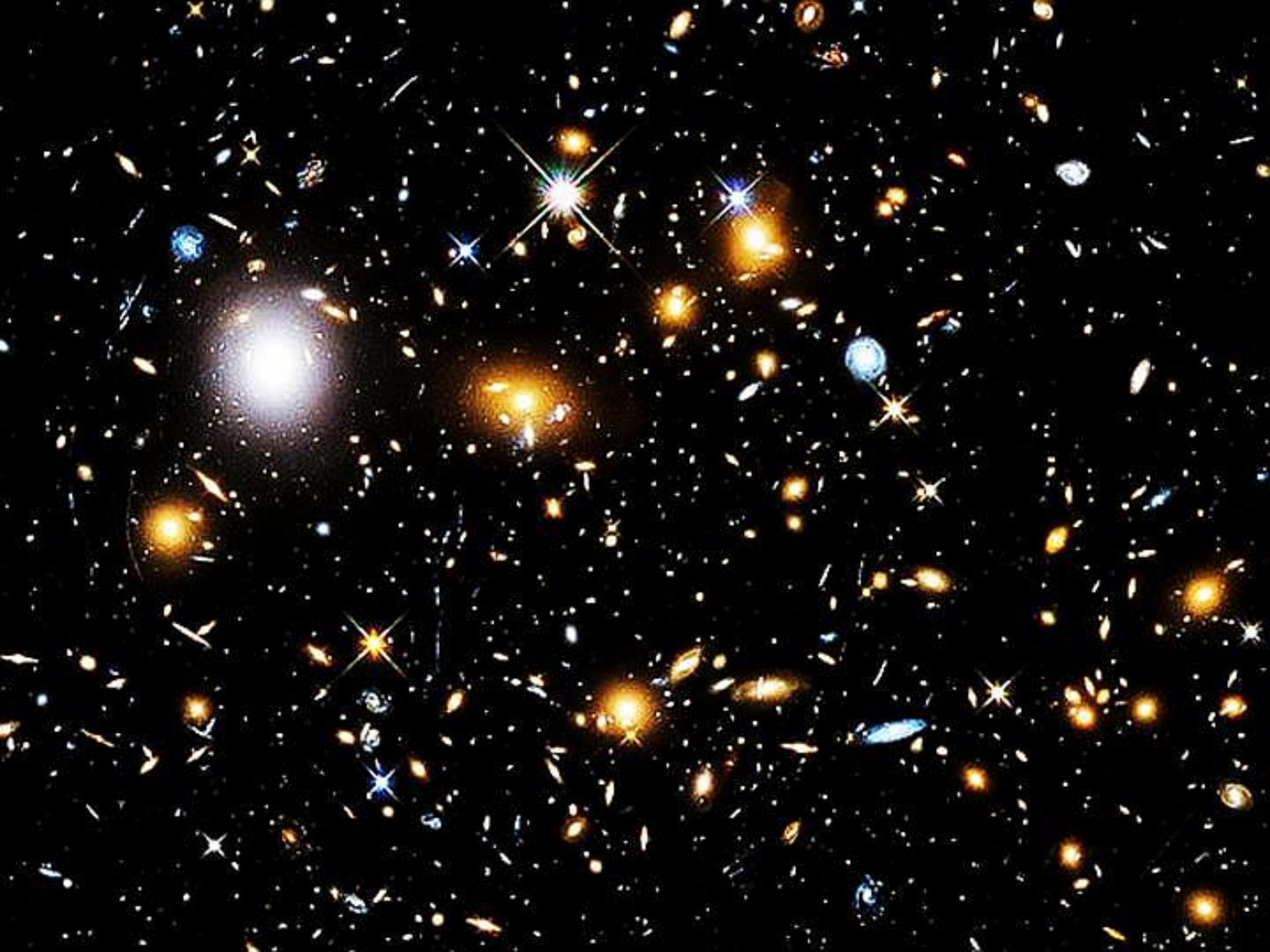
Docente: **Adriano Gaspani**

Lezione 17

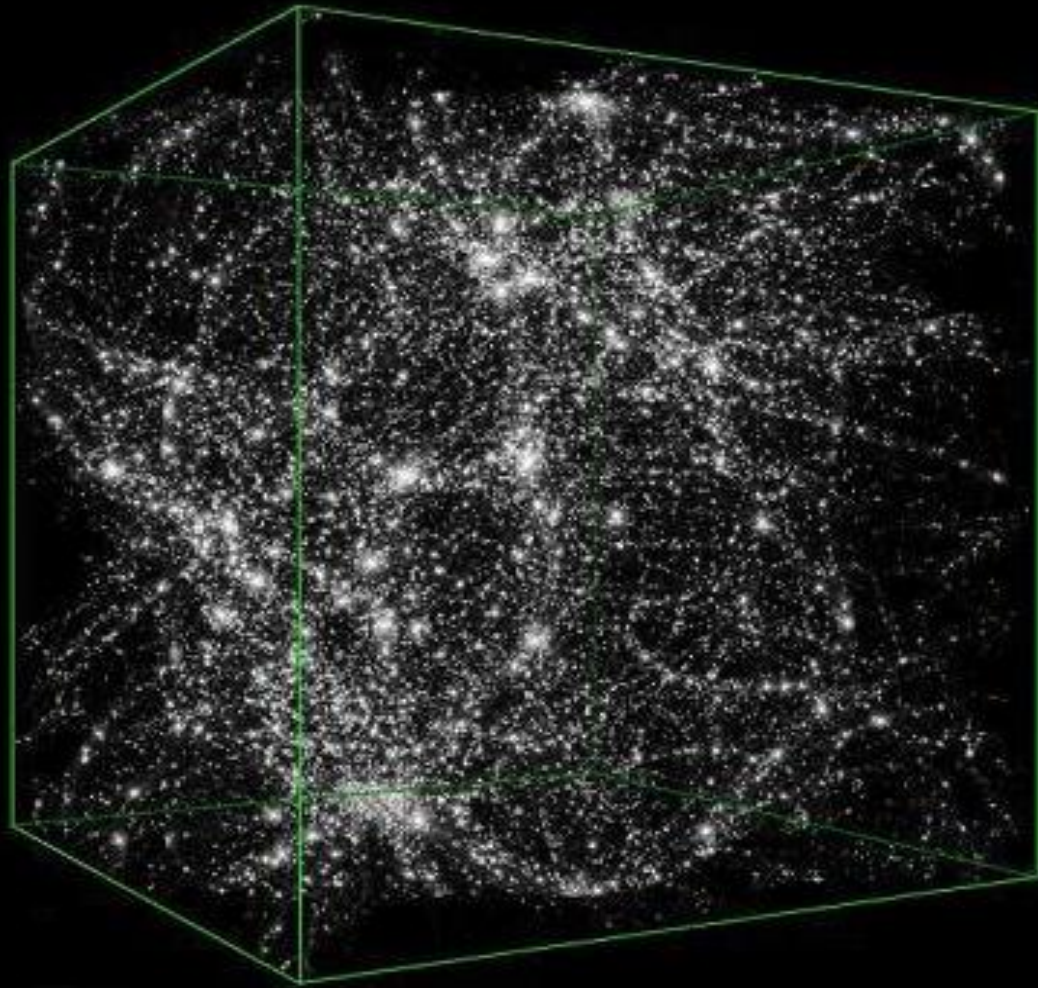
La Teoria dell'Universo Olografico

La struttura dell'Universo

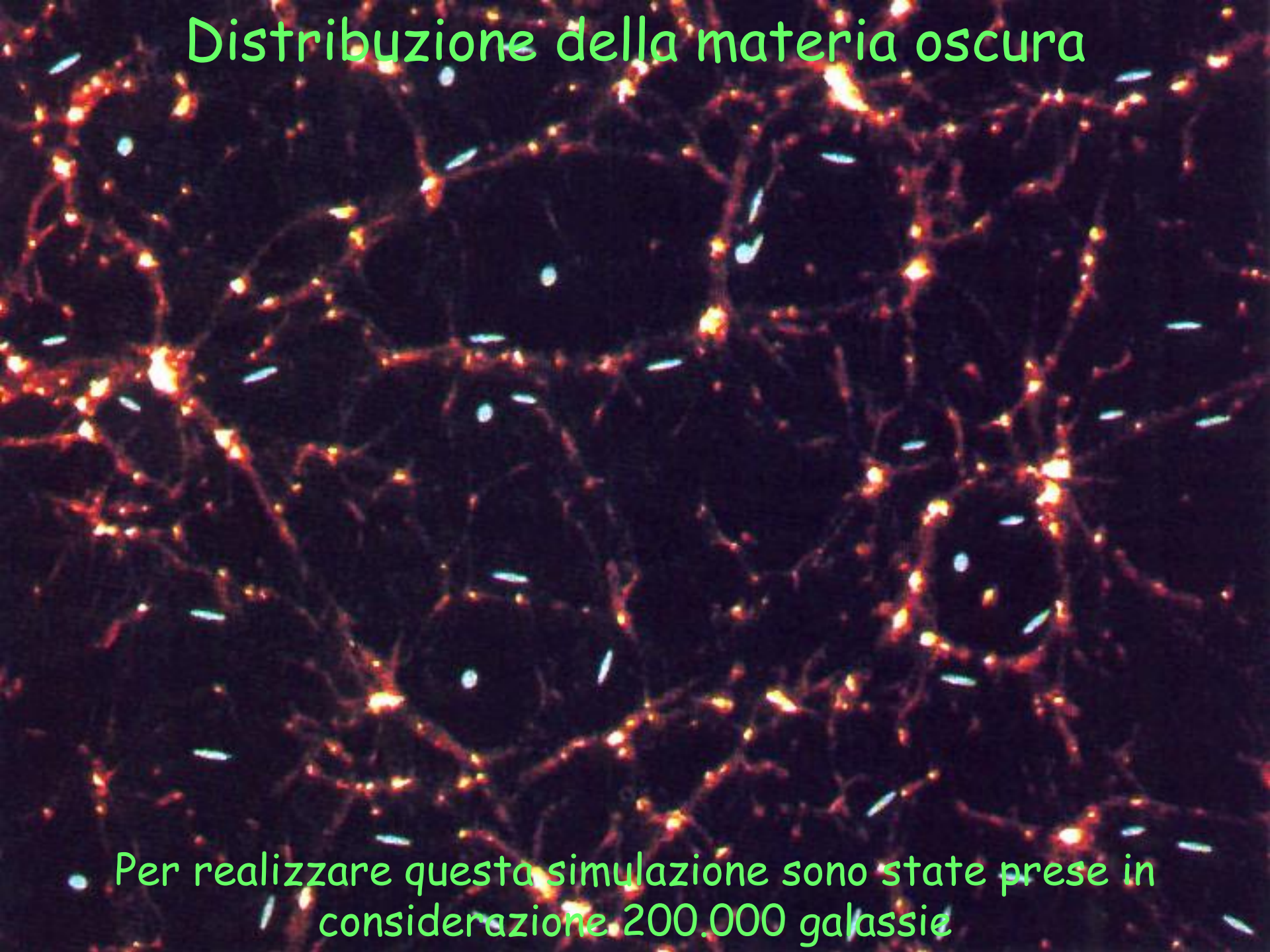
Sovrapposizione di 342 esposizioni da parte di HST tra il 18 e il 28 dicembre 1995. L'immagine mostra circa 1.500 galassie nelle profondità dell'Universo e ricopre una zona di cielo pari a quella che copre 1 eurocent a circa 20 m di distanza in direzione dell'Orsa Maggiore.



Struttura dell'Universo



Distribuzione della materia oscura

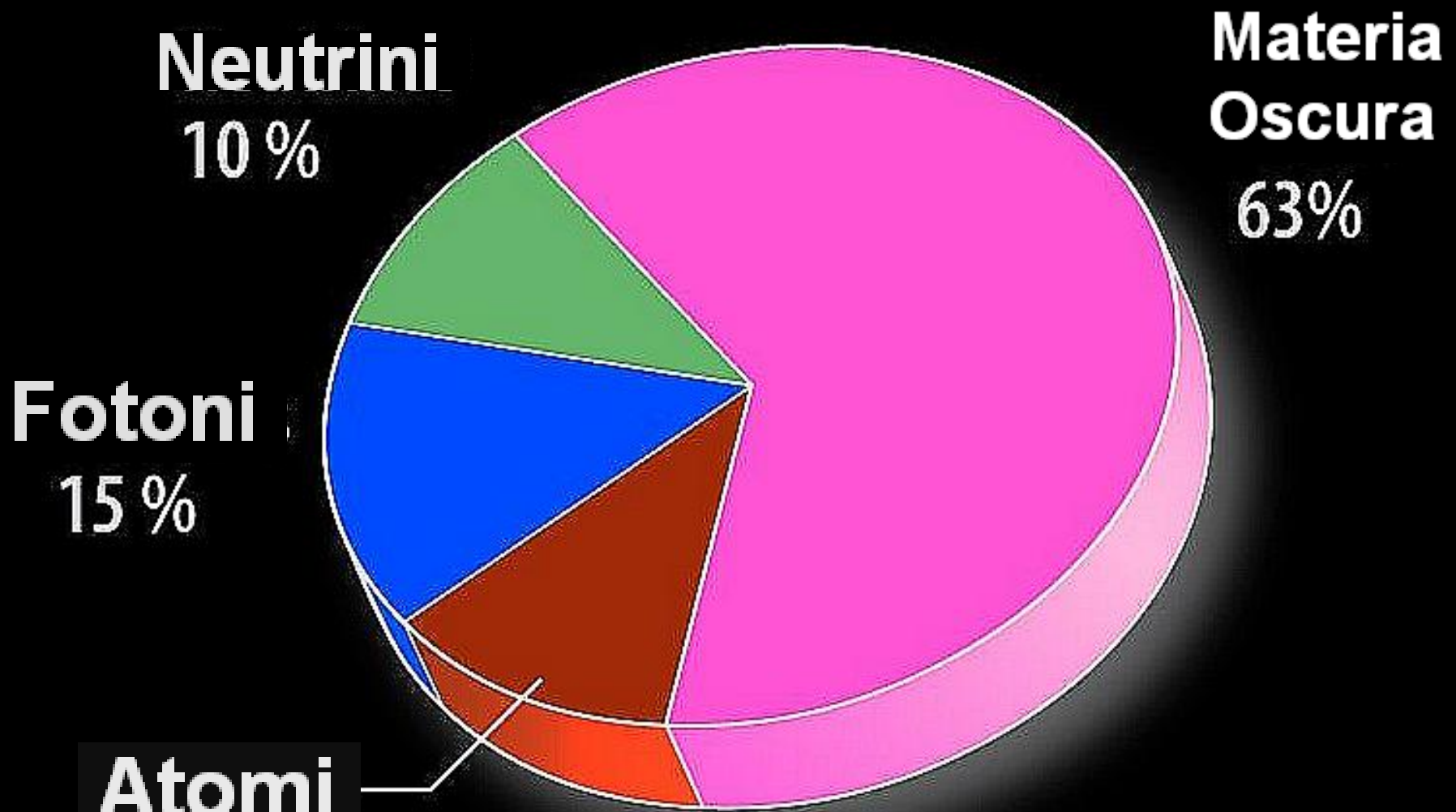


Per realizzare questa simulazione sono state prese in considerazione 200.000 galassie



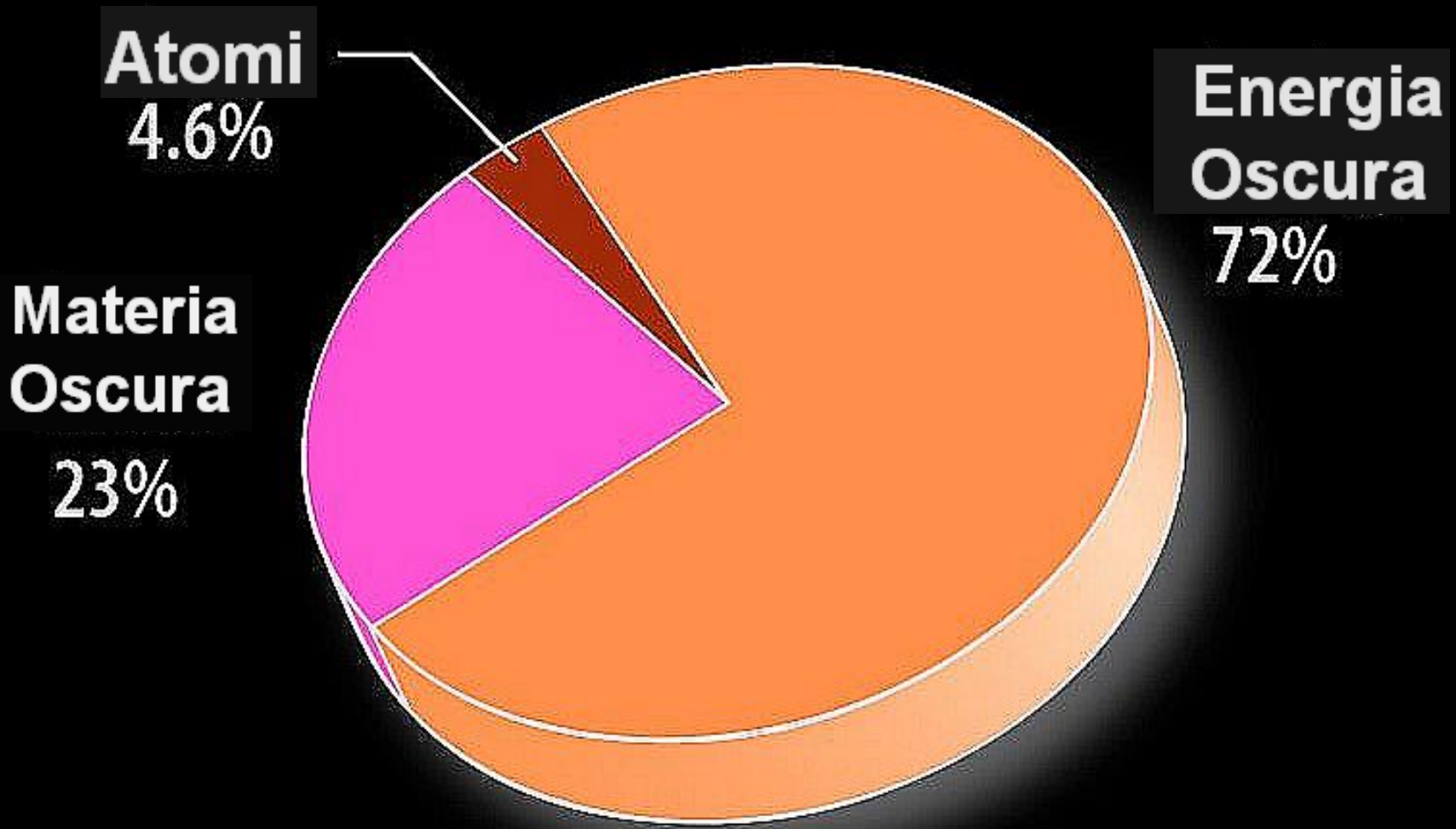
Energia Oscura

- > E' diffusa in tutto l'Universo
- > Ha bassissima densità: 10^{-29} g/cm³
- > Tende a crescere con il tempo
- > Si oppone alla gravità
- > Destruce l'Universo
- > Conduce alla morte l'Universo



13,7 Miliardi di anni fa

(età dell'Universo: 380.000 anni)



Oggi

Equazioni di Friedmann

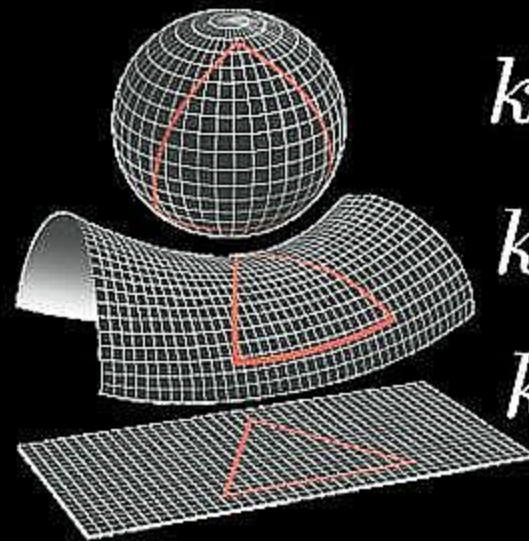
$$\dot{R} = \left[R^2 \frac{8\pi G \rho + \Lambda c^2}{3} - k c^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

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



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
- ρ = Densità media della materia
- p = Pressione
- c = Velocità della luce
- G = Costante di Gravitazione Universale
- Λ = Costante cosmologica
- k = Parametro di curvatura



$k=+1$

$k=-1$

$k=0$

La soluzione di Schwarzschild

Nel 1916 l'astrofisico Karl Schwarzschild trova per primo una soluzione alle equazioni della relatività di Einstein per un oggetto sferico, statico e immerso in uno spazio vuoto. Se l'oggetto è concentrato entro un raggio critico, allora nulla, neanche la luce, può più uscirne.

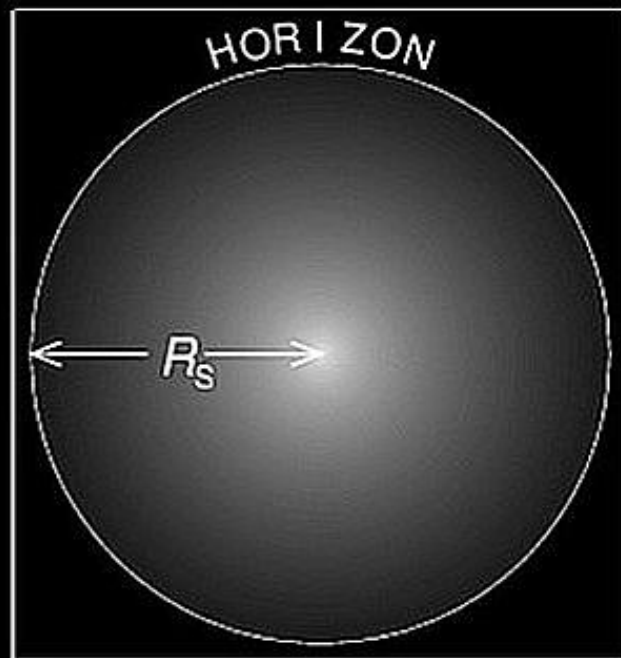


Karl Schwarzschild (1873-1916)

Raggio di Schwarzschild

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

$$R_s (km) \approx 3 \times \frac{M_{stella}}{M_{Sole}}$$



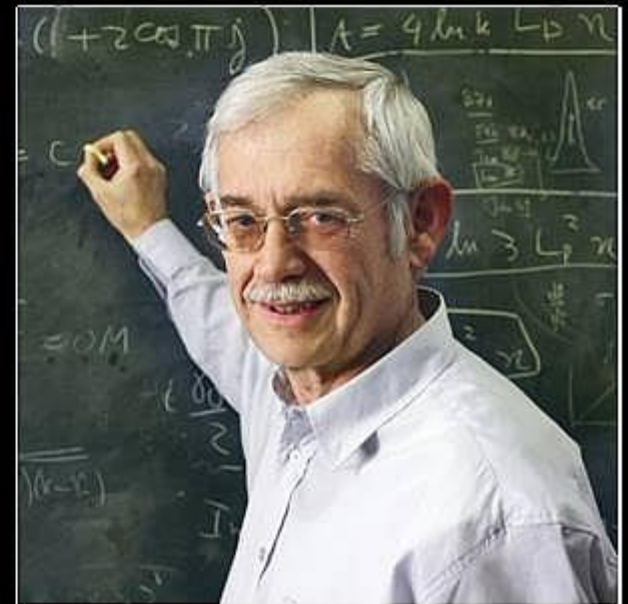
Nel 1967, Wheeler li battezza buchi neri

Entropia di Beckenstein

in origine: Entropia di un buco nero

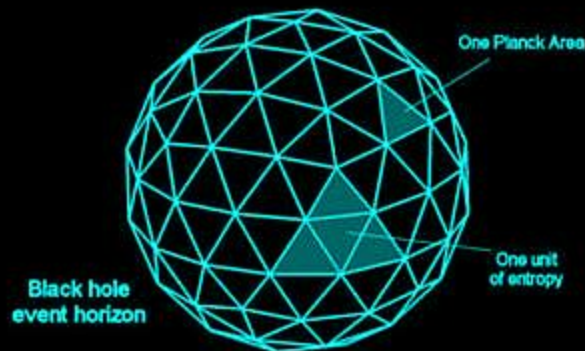
Jacob Beckenstein nel 1973 scoprì che l'entropia di un sistema isolato dipende dall'area A dell'involuppo che lo racchiude e non dal suo volume

Questo è dovuto alla deformazione relativistica dello Spazio-Tempo (Gravità)



L'Entropia di Beckenstein
espressa in unità di Plank
diventa semplicemente:

$$S_{BH} = \frac{A}{4}$$



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 (Θ)	$T_p = \frac{m_p c^2}{k_B} = \sqrt{\frac{\hbar c^5}{G k_B^2}}$	$1,416\ 785(71) \times 10^{32}$ 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:

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

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

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

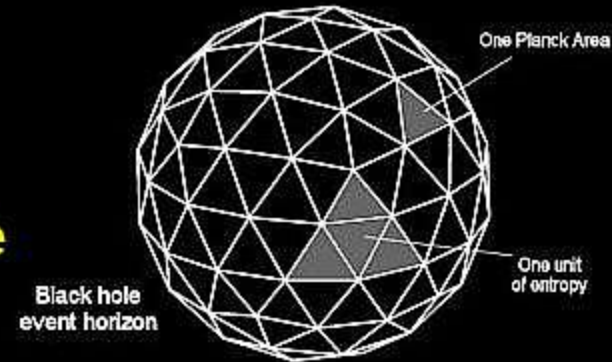
Entropia di Beckenstein - Hawking

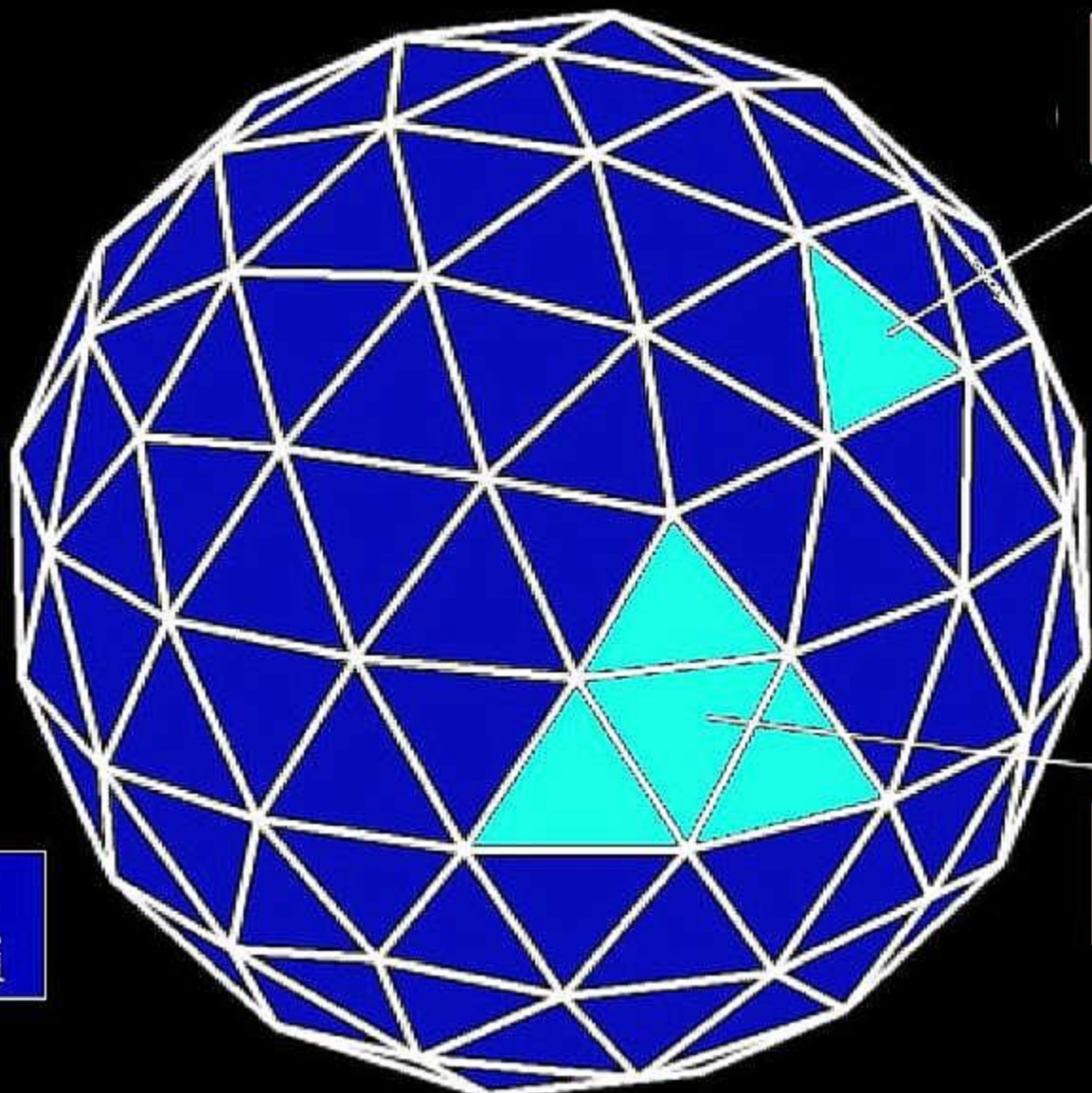
in origine: Entropia di un buco nero

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



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





Una unità di Planck

Una unità di entropia

Orizzonte degli eventi

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

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

I_{BH} = informazione

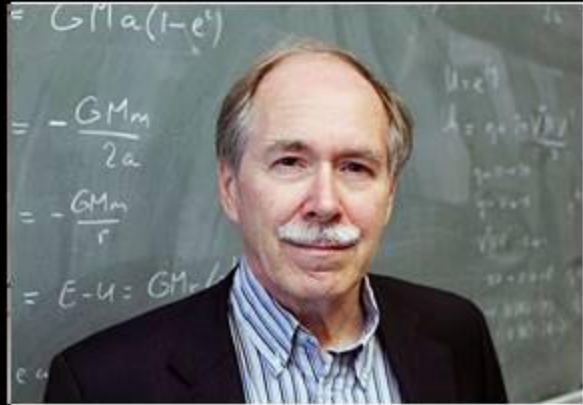
S_{BH} = Entropia

k = costante di Boltzmann

L'Universo in tutto il suo insieme è molto simile
ad un Buco Nero

**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**



Gerardus (Gerard) 't Hooft



Leonard Susskind

Nel 1993 Gerard 't Hooft e Leonard Susskind proposero il

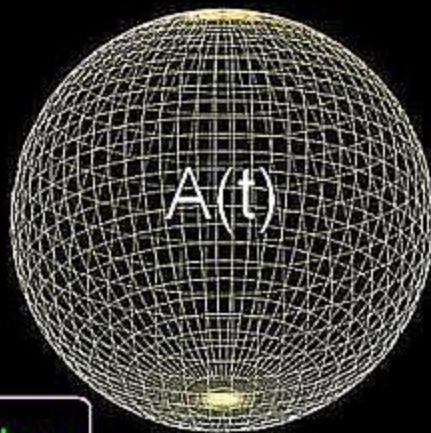
"Principio Olografico"

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

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

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:

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

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

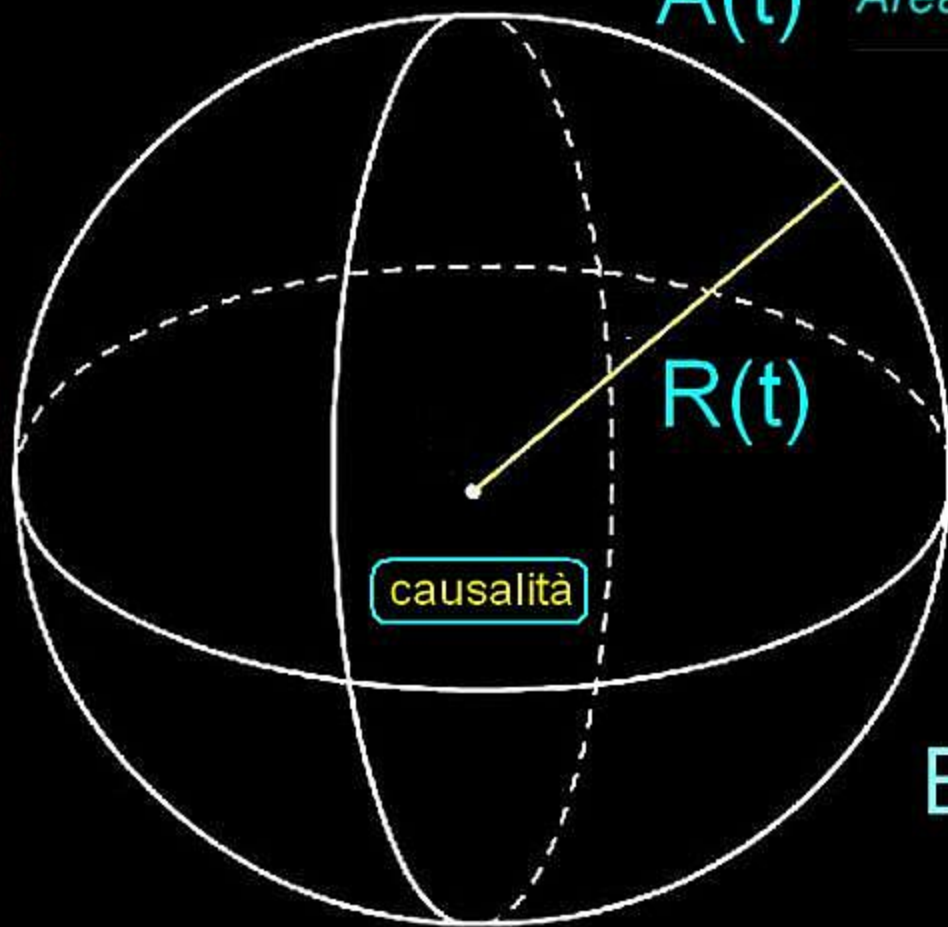
Si crea una superficie che racchiude un volume di spazio a cui abbiamo accesso in maniera causale.

Universo ($k=1$)

$A(t)$ Area \longleftrightarrow Informazione

Bulk

non causalità



non causalità

Bulk

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

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

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_{∞} = 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 ($R=13.7$ miliardi di Anni Luce)

Densità dell'Energia Oscura

Effetti dell'Energia del Vuoto (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

- 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.**

Dove è il libero arbitrio?

Universo bidimensionale



Cosa succederà quando

$$\dot{R} = c$$

... quando la velocità di espansione dell'Universo sarà uguale alla velocità della luce (nel vuoto) ?

...l'Universo sarà in equilibrio termodinamico.

...l'Entropia sarà massima.

...l'Informazione sarà massima.

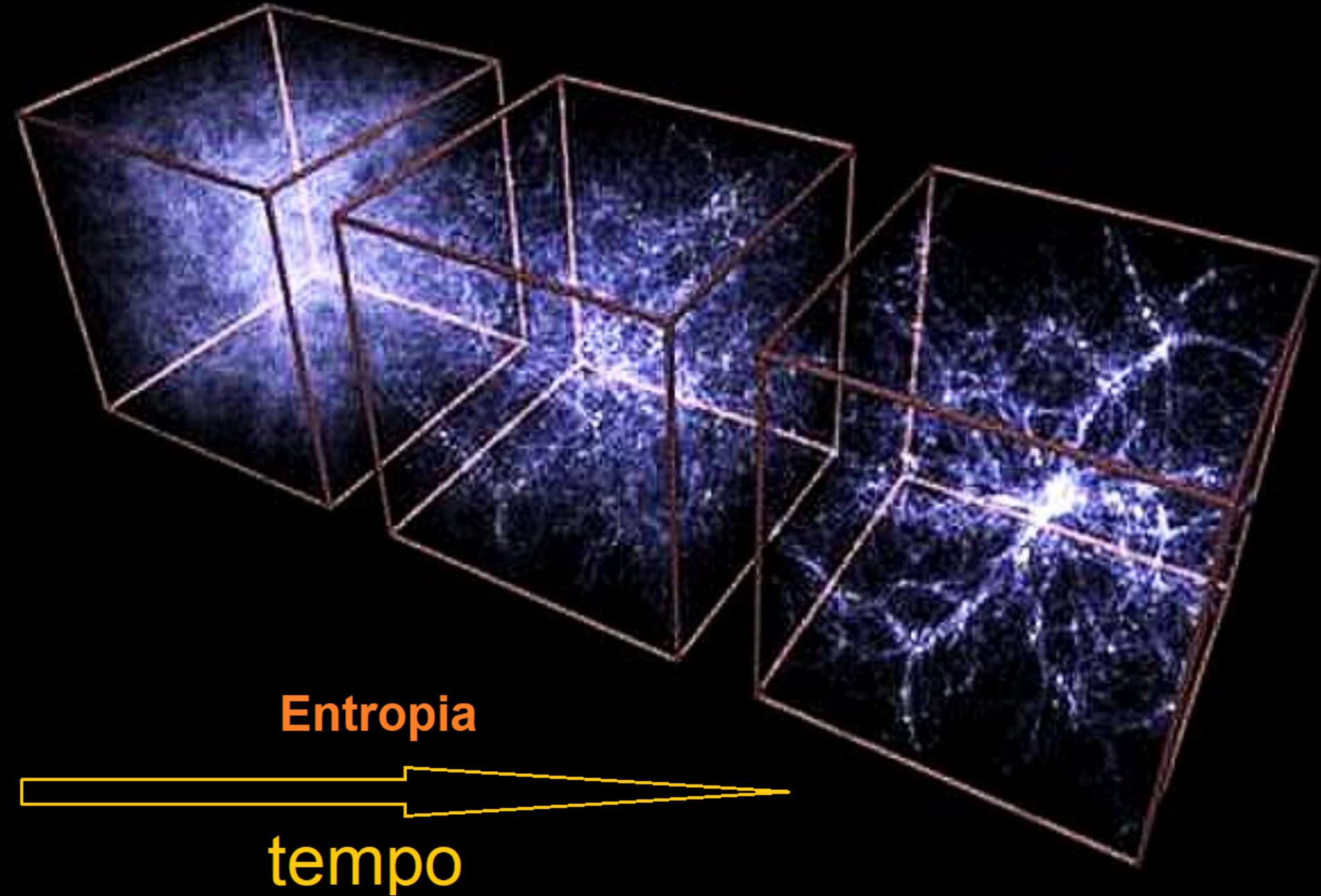
...l'orizzonte cosmologico sarà un orizzonte degli eventi.

...l'energia oscura avrà vinto

Big Freeze

...tra 16,7 Miliardi di anni

Effetti dell'Energia Oscura



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"

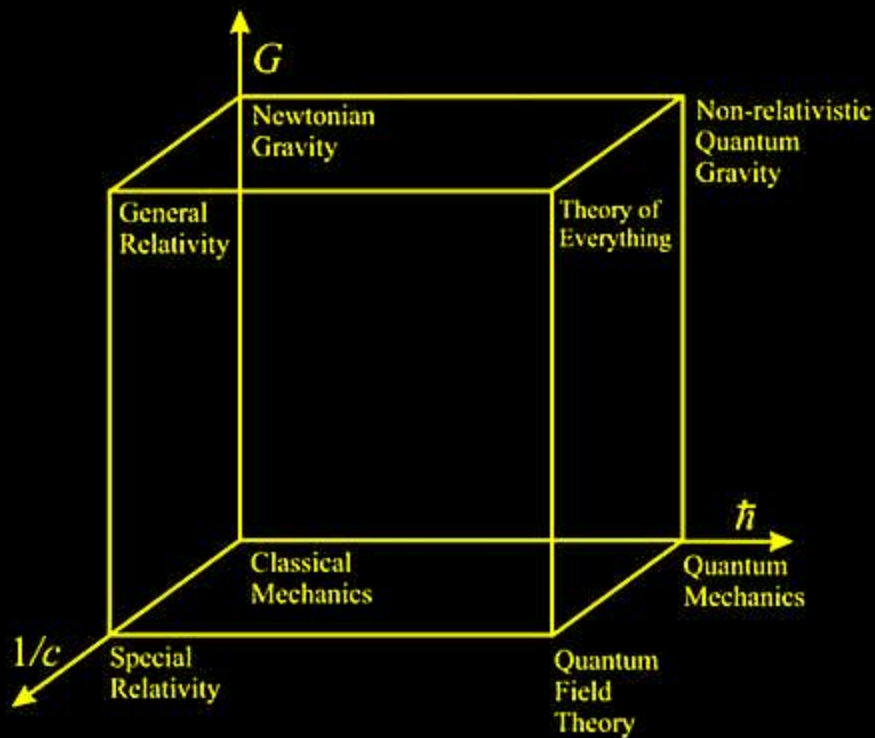
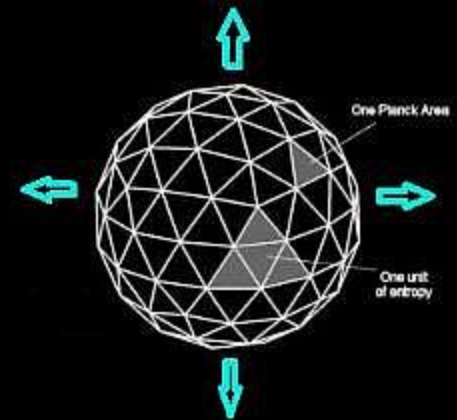
...diversi Universi, diverse leggi Fisiche

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.

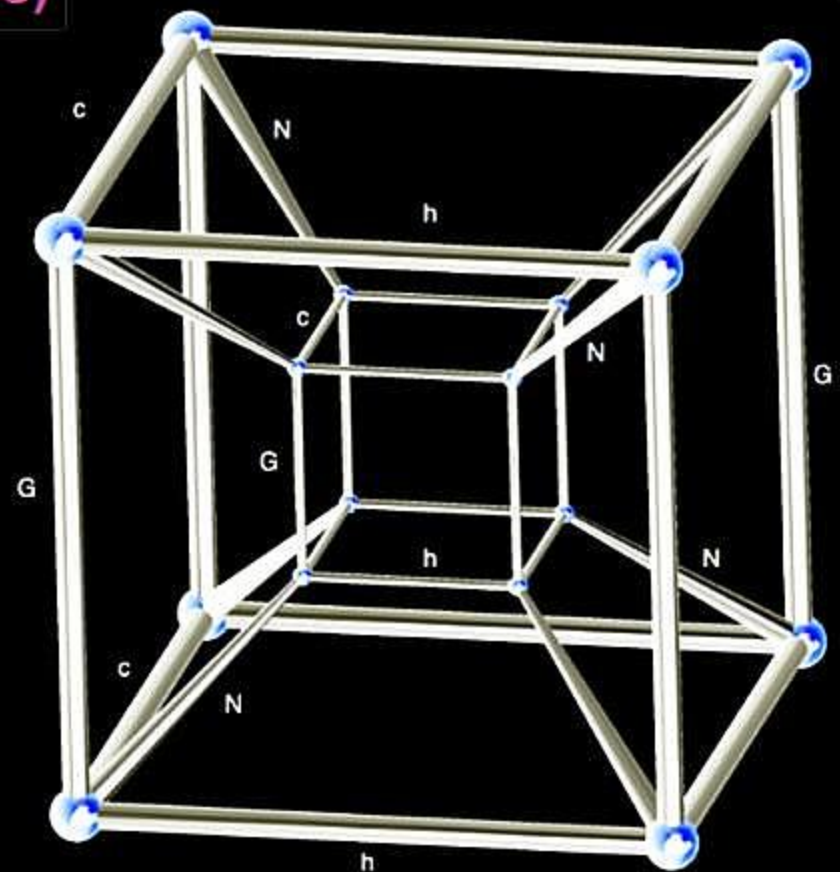
...quindi: G e c potrebbero variare su tempi scala cosmologici

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

(variazione delle costanti fisiche)



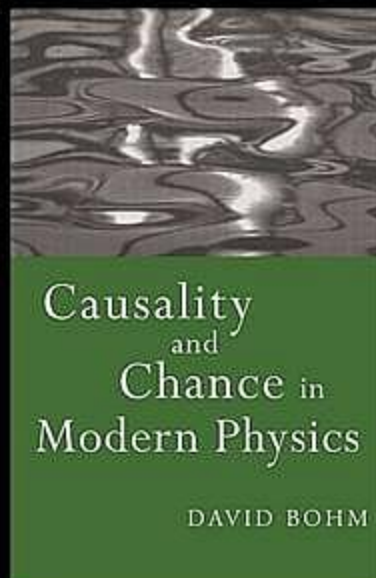
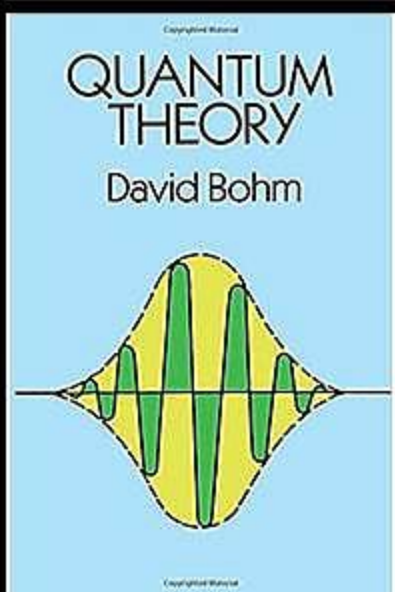
Situazione attuale



Futuro

Fenomeni Naturali

Ogni fenomeno naturale è una percezione della variazione locale del **Campo Informativo** che pervade tutto l'Universo



Il campo informativo contiene due livelli di Ordine:

Ordine Esplicito

Ordine Implicito

Teoria delle Variabili Nascoste
(metafora del mazzo di carte)

Ordine Esplicito

...si riferisce ai fenomeni che noi possiamo osservare. E' l'ordine manifesto della nostra realtà che noi sperimentiamo quotidianamente E' una pura illusione...

Ordine Implicato

*...è quello che pilota la realtà che osserviamo.
Si riferisce alla "Realtà vera e assoluta" che è
generata dall'interazione dell'informazione
presente nell'Universo.*

*L'Ordine Implicato stabilisce che ogni regione
locale, infinitamente piccola, dell'Universo
contiene l'informazione completa su tutto
l'Universo nella sua totalità.*

Universo



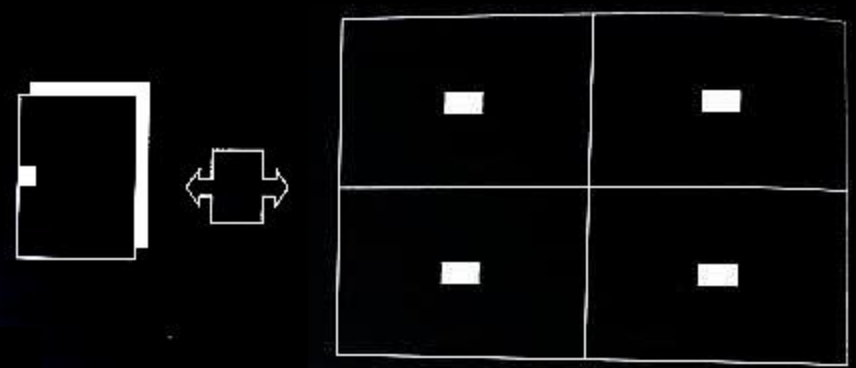
**Ordine
implicato**



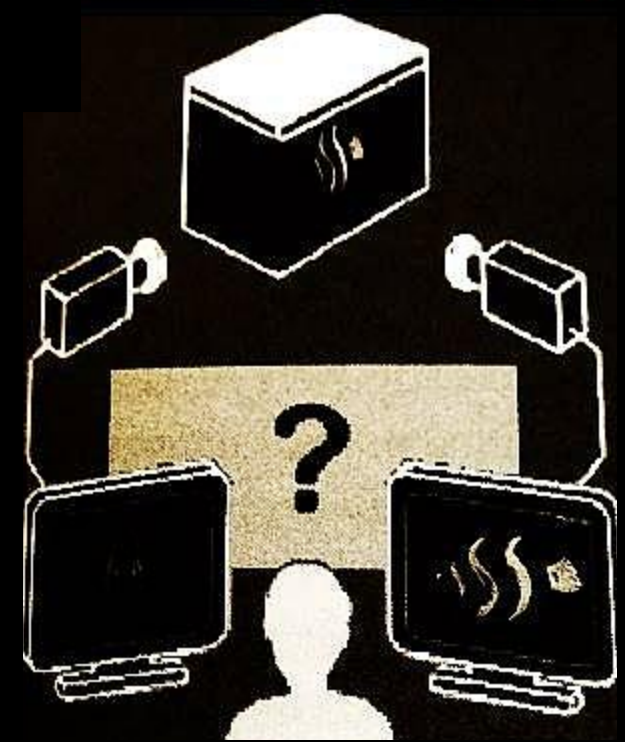
**Ordine
Esplicato**

Cosmologia

**Fenomeni
osservati**

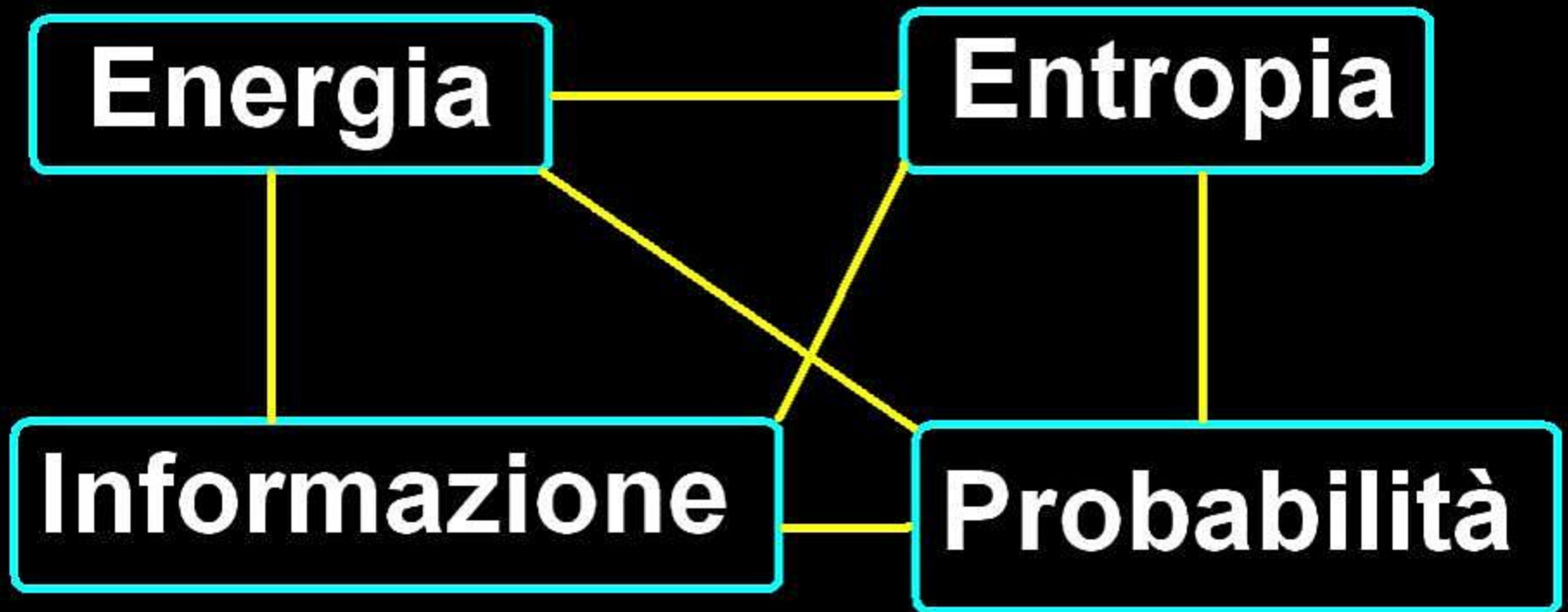


metafora del foglio ripiegato



metafora dell'acquario

Corrispondenze



**Ordine
implicato**

produce



**Ordine
Esplicito**

Entropia implicata
Informazione impl.
Energia implicata

Entropia esplicita
Informazione espl.
Energia esplicita

Energia del Vuoto?

Energia Ordinaria?

Campo del punto Zero

Schiuma quantistica

Ontologia

Quello che è vero...

Epistemologia

Quello che sappiamo e come lo sappiamo...

Gravità Entropica

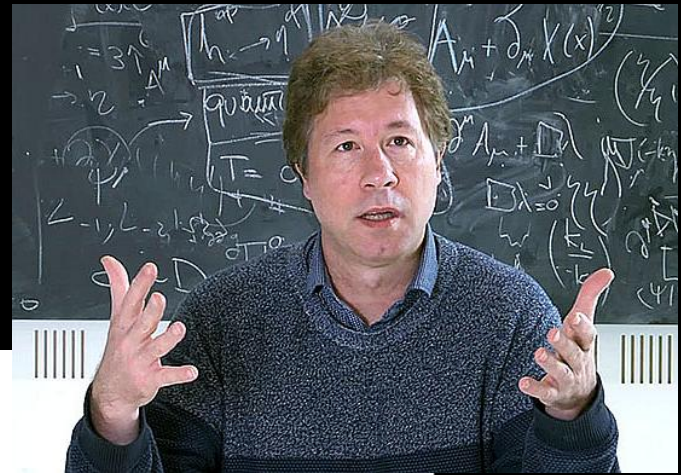
On the Origin of Gravity and the Laws of Newton

Erik Verlinde¹

Institute for Theoretical Physics
University of Amsterdam
Valckenierstraat 65
1018 XE, Amsterdam
The Netherlands

Abstract

Starting from first principles and general assumptions Newton's law of gravitation is shown to arise naturally and unavoidably in a theory in which space is emergent through a holographic scenario. Gravity is explained as an entropic force caused by changes in the information associated with the positions of material bodies. A relativistic generalization of the presented arguments directly leads to the Einstein equations. When space is emergent even Newton's law of



Erik Verlinde

Gravità Entropica

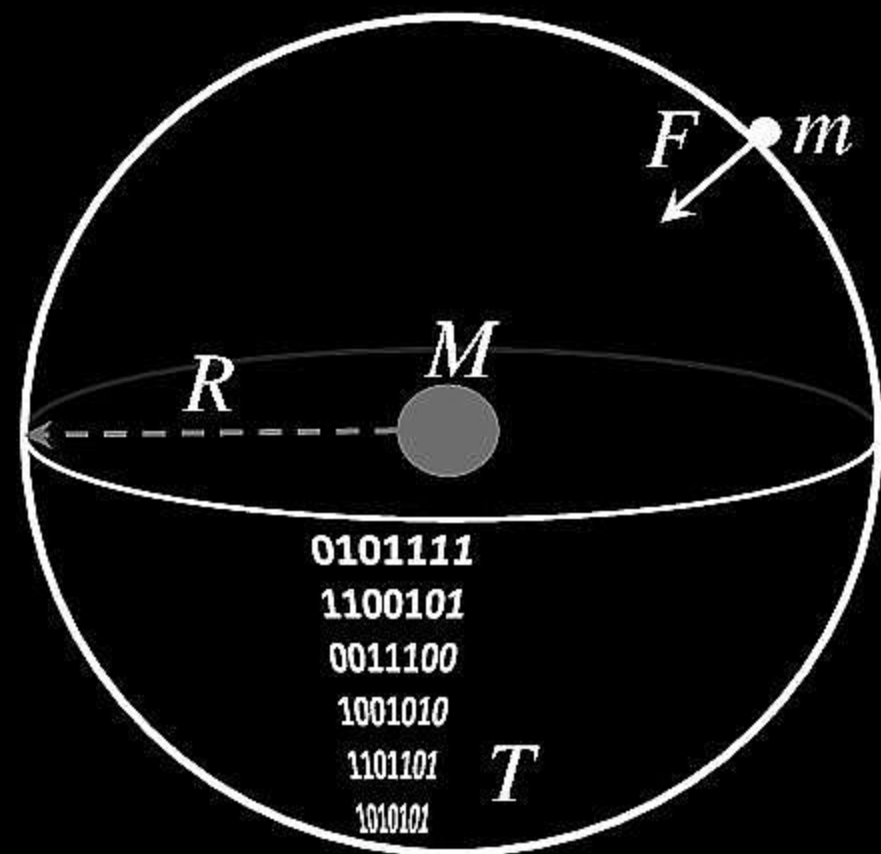
La Forza di Gravità, come noi la percepiamo, è dovuta ad una variazione locale dell'Entropia dovuta alla presenza di corpi materiali dotati di massa.

La Gravità corrisponde ad una variazione dell'Informazione nel Campo Informativo locale.

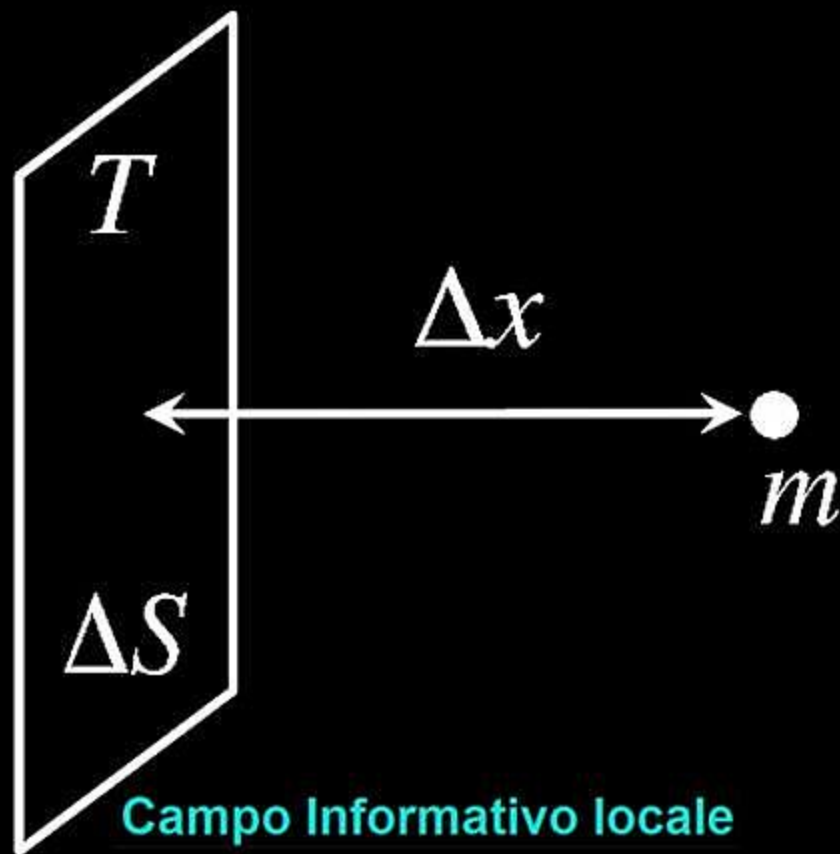
Gravità Entropica

$$\frac{1}{T} = \frac{\partial S}{\partial E},$$

$$\frac{F}{T} = \frac{\partial S}{\partial x}.$$

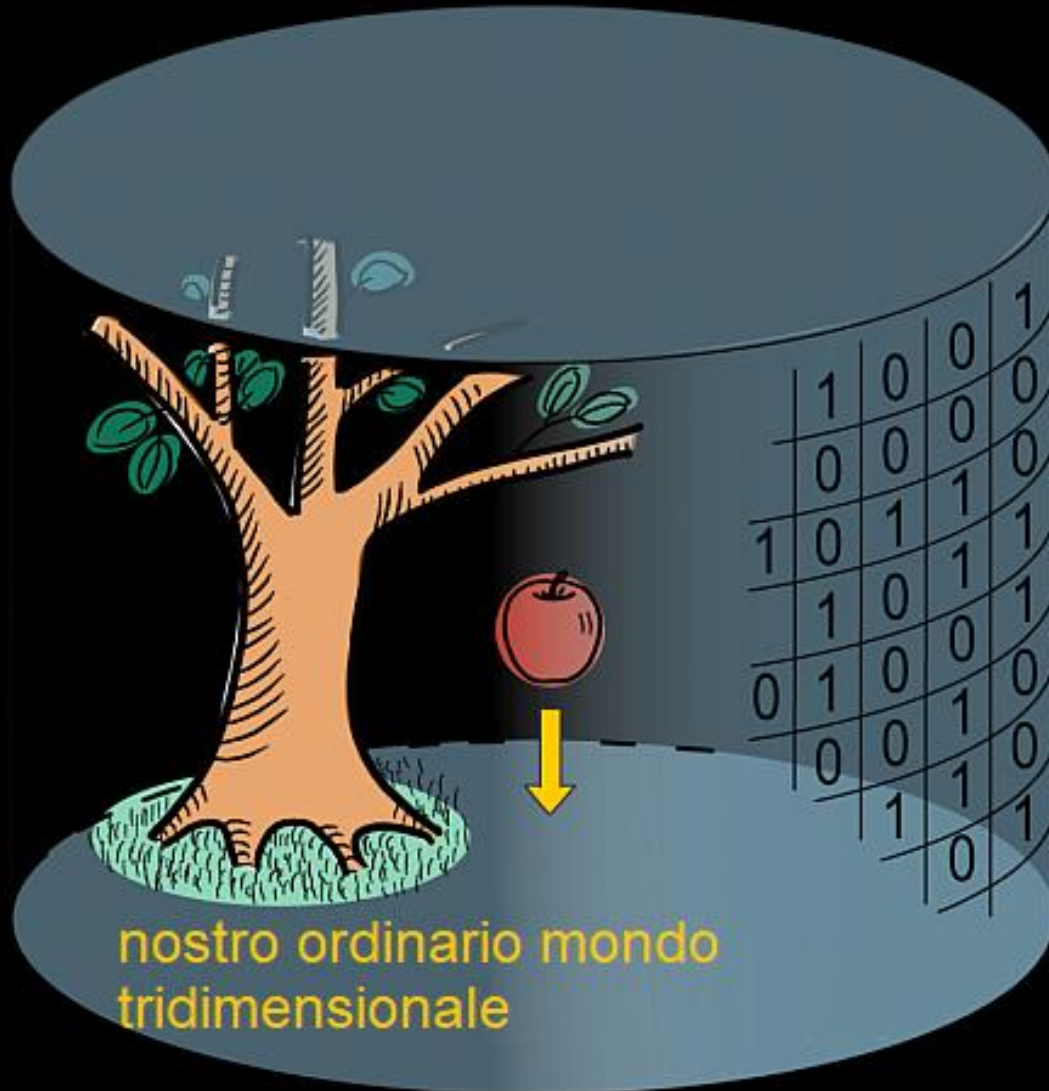


Campo Informativo locale



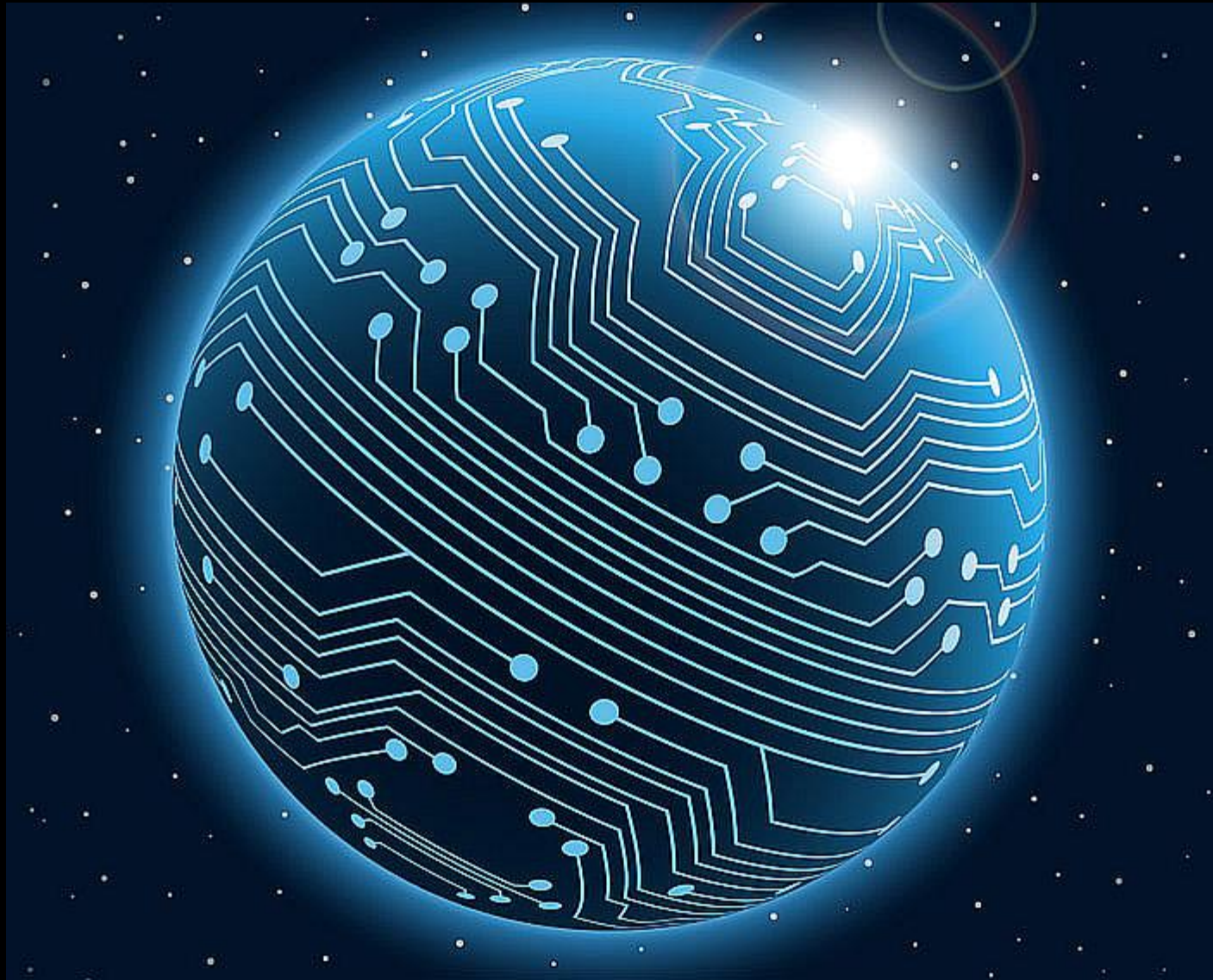
Campo Informativo locale

Gravità Entropica



Campo Informativo
Entropia
Informazione

Noi, qui, ora....



Campo magnetico (f.e.m.)

Equazioni di Maxwell

Campo gravitazionale (Gravità)

Equazione di Newton

Equazione di Einstein (Relatività Generale)

Gravità Entropica

Campo informativo (Informazione)

Potenziale Quantico di Bohm

Entropia di Bernstein-Hawking

Campo magnetico (Misurabile)

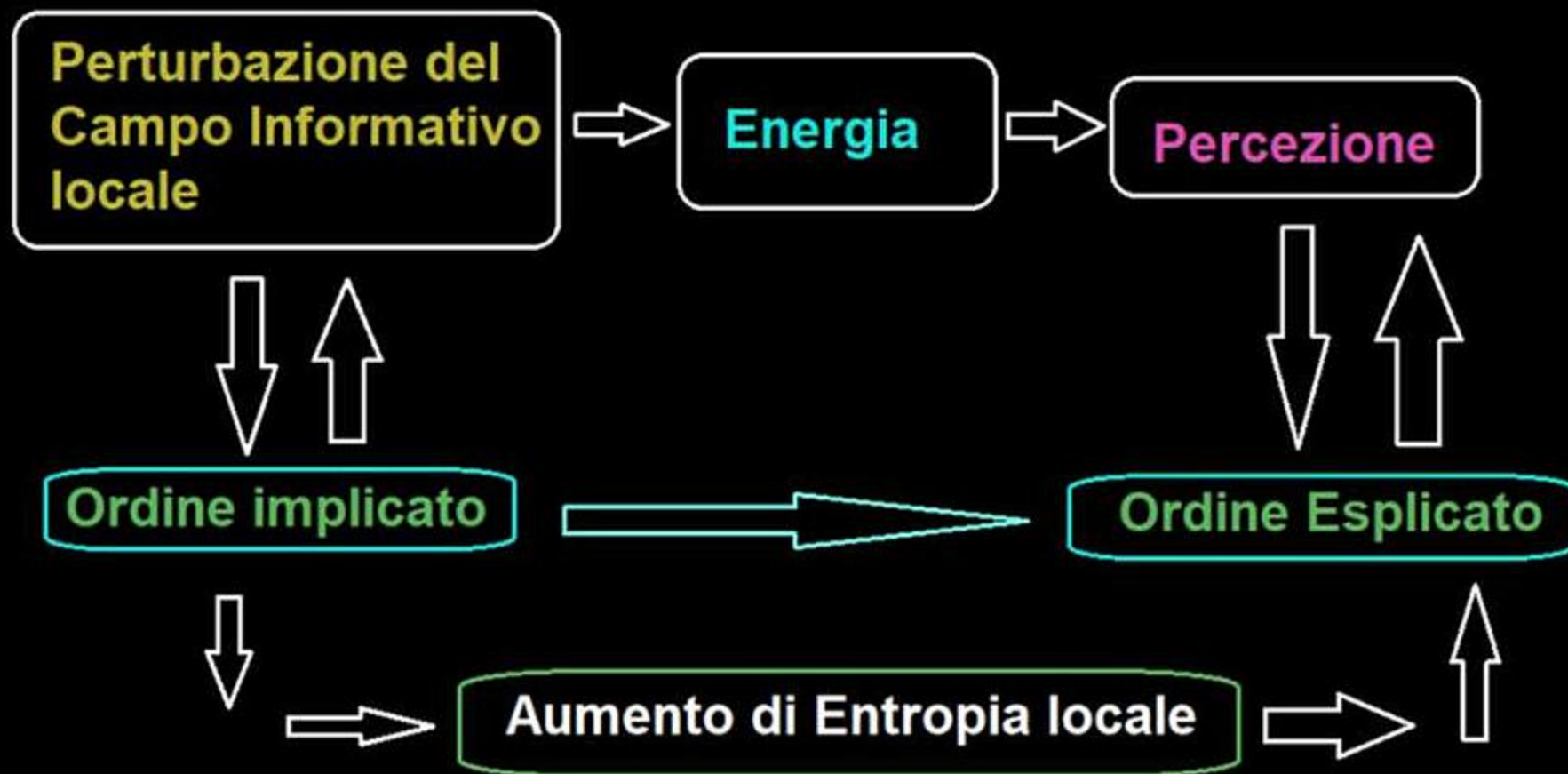
(Terra)

Campo gravitazionale (Misurabile)

(Terra + Sole + Luna)

Campo informativo (Rilevabile, ma non misurabile)

(Universo)



**La Teoria dell'Universo Olografico
permette (entro certi limiti) di rendere
conto dei fenomeni olistici....**

...ma questa è un'altra storia...



Grazie per
l'attenzione!