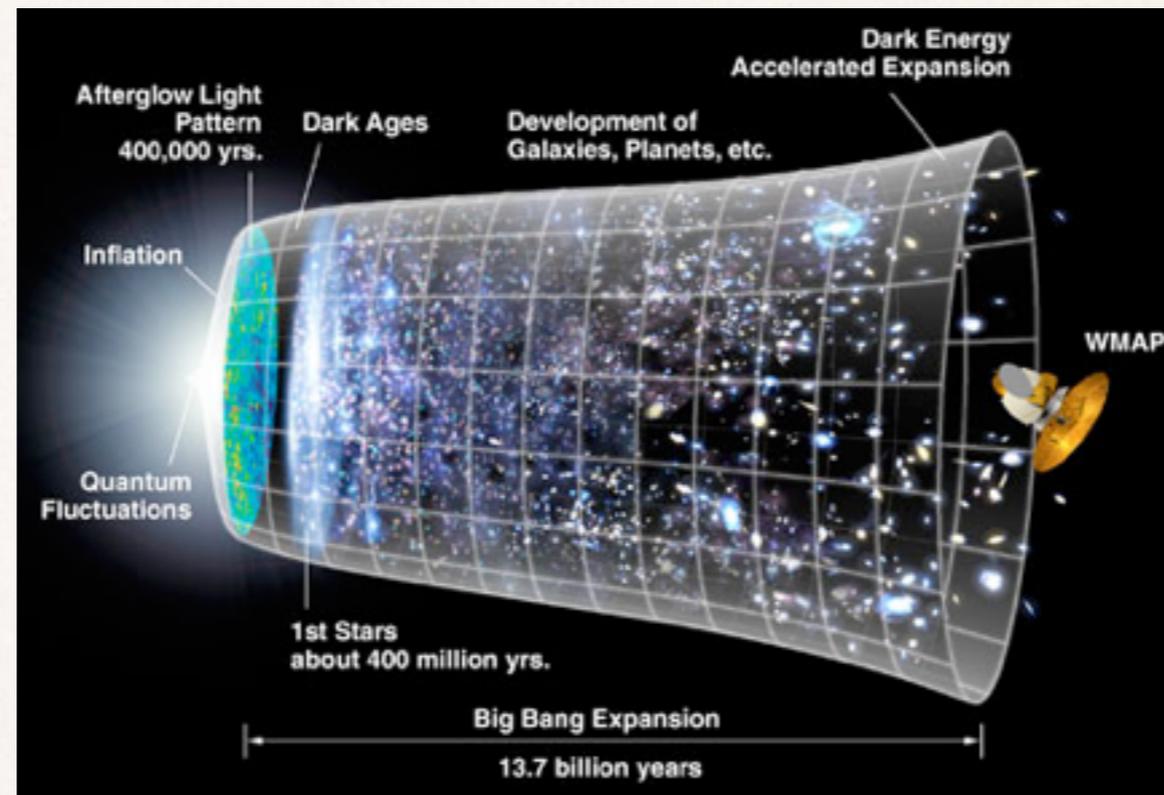




La Fisica incontra gli studenti delle superiori



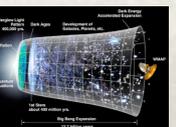
Gianluca Grignani

Dipartimento di Fisica e Geologia, Università di Perugia e Sezione I.N.F.N. di Perugia

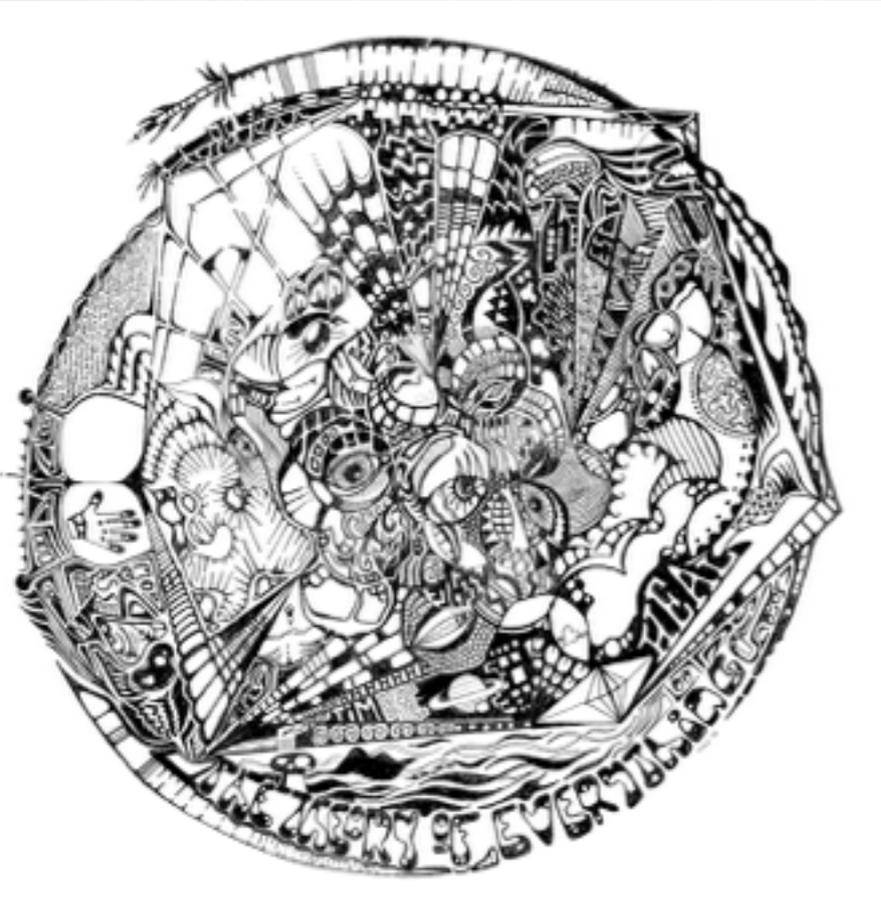
Stringhe, buchi neri e gravità quantistica

Liceo Statale "R. Donatelli", Terni, 22 Gennaio, 2016

Cos'è e perché la teoria delle stringhe?



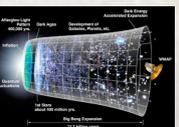
T.O.E. = The Theory of Everything



I fenomeni fisici ad ogni scala, dalle più grandi (cosmologia) alle più piccole (fisica subnucleare) sono governati dalle stesse leggi fondamentali. Esiste dunque una teoria del tutto che spiega il comportamento dell'esistente. E' questo l'indimostrabile presupposto della ricerca teorica.

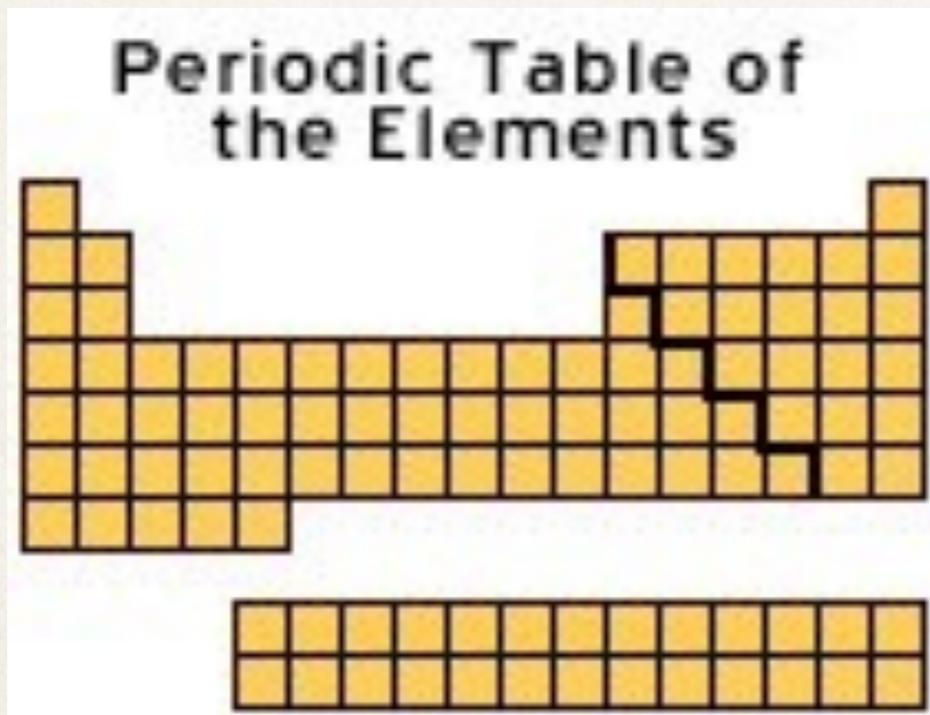


Chi sono i costituenti fondamentali della materia?

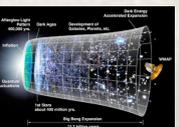




Nell' antichità



Nel XIX secolo



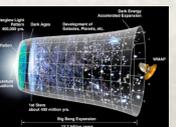


1900

L'atomo

Ma l'atomo è
fondamentale?

No !!

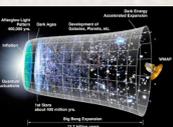


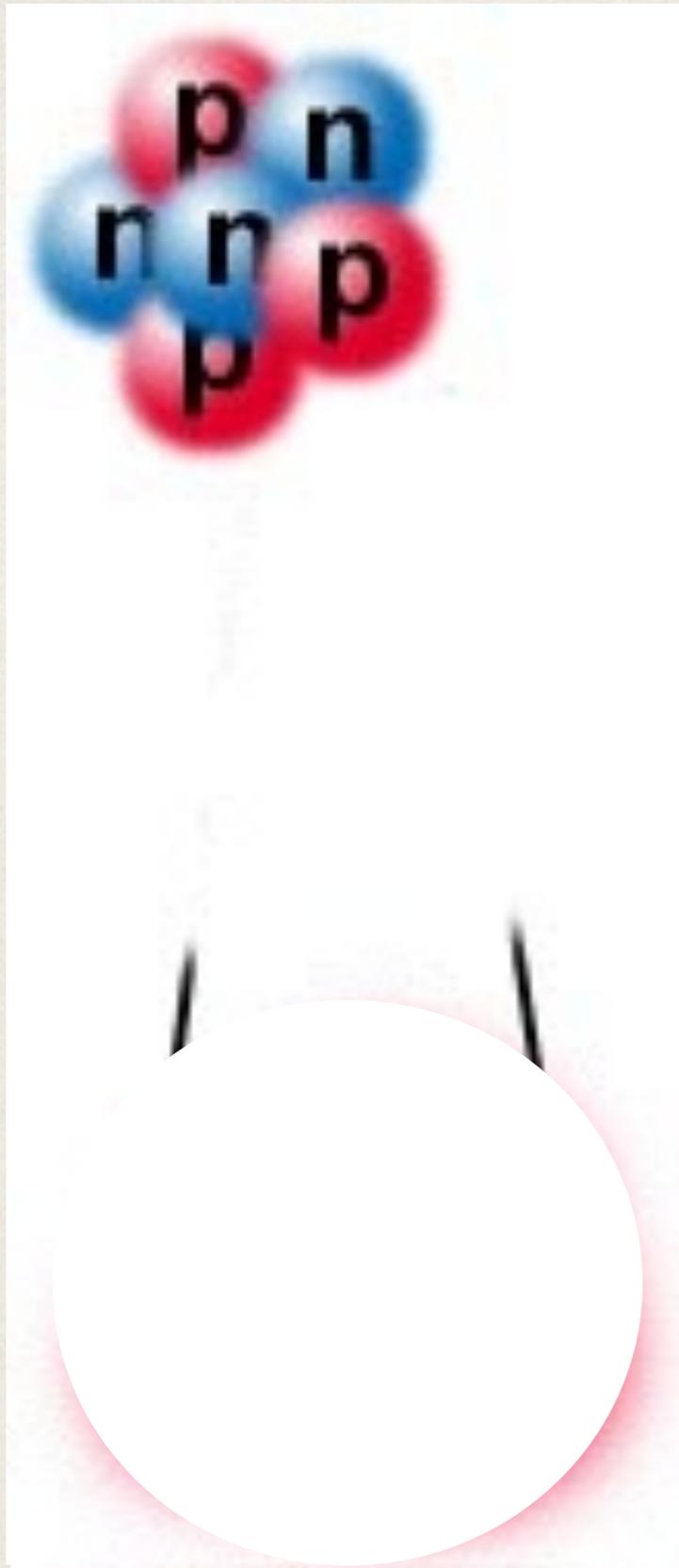
Il nucleo è fondamentale?

No !!

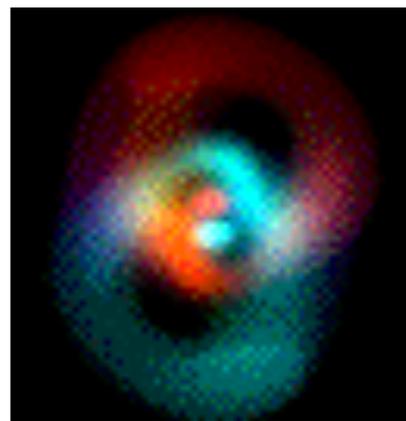


Esso è formato da
protoni e neutroni

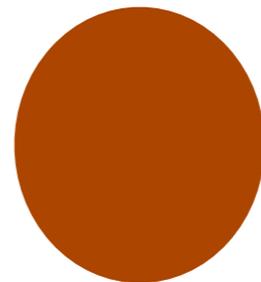




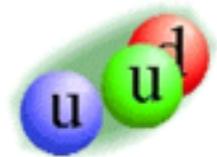
Protoni e neutroni
sono a loro volta
costituiti da
quarks



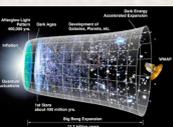
10^{-10} m



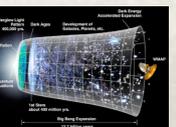
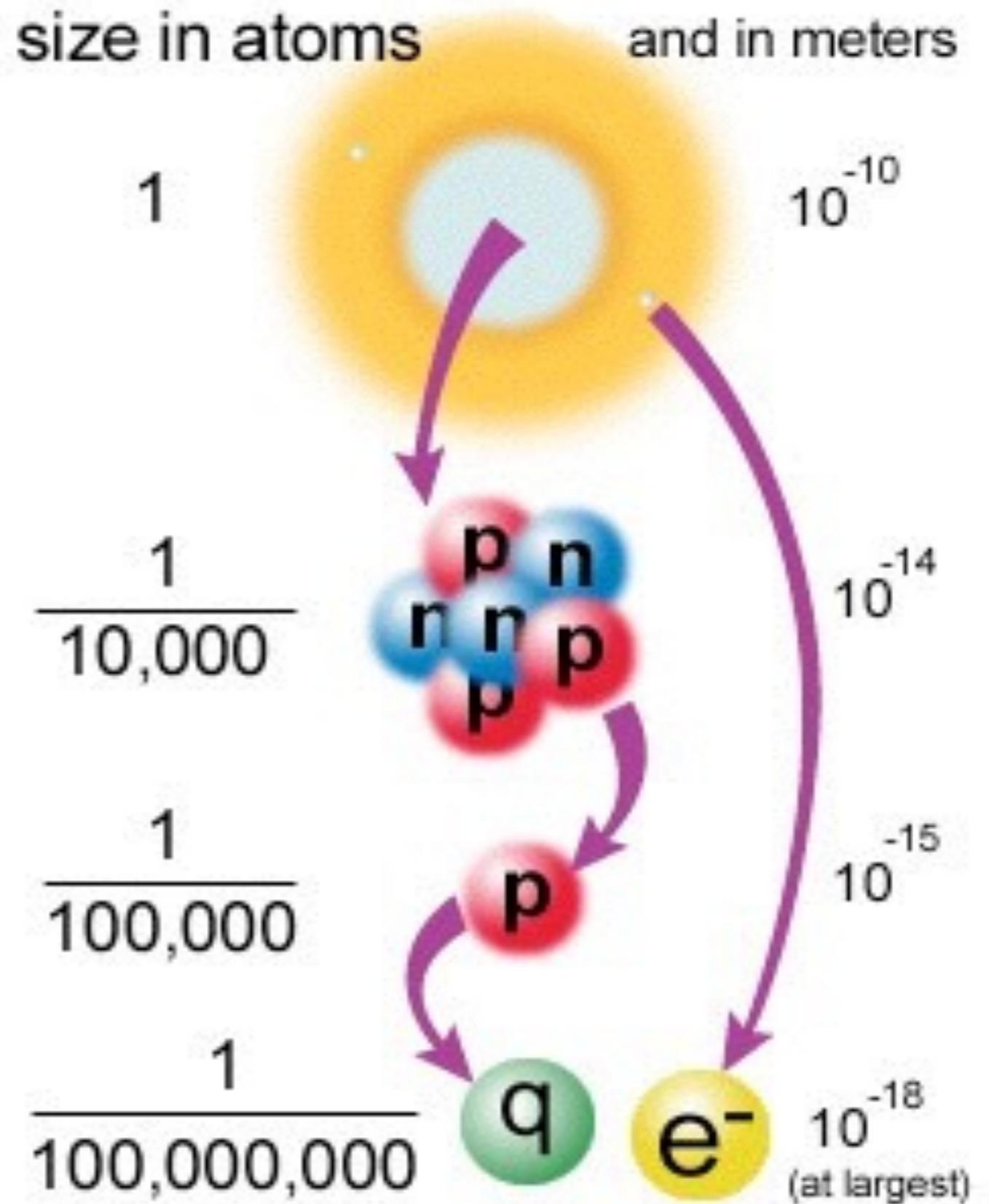
10^{-14} m



10^{-15} m



Dunque
la gerarchia
delle
dimensioni
è

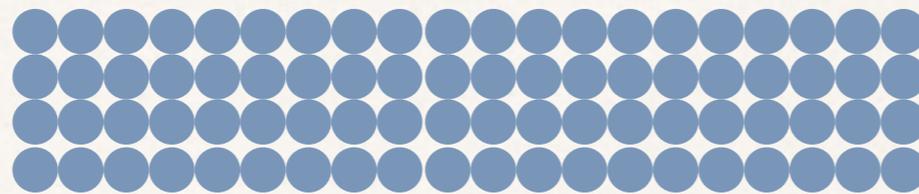


La scienza ha trovato dei building blocks sempre piu' piccoli



1 cm

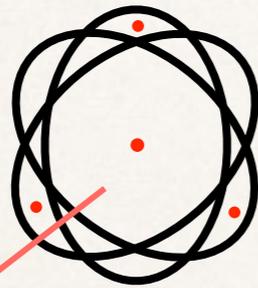
materia



atomi 10^{-7} cm



10^{-8} cm



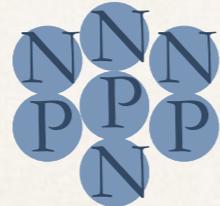
elettroni

nucleo



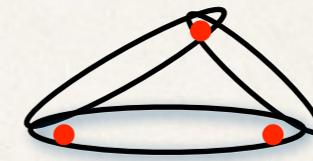
neutroni e protoni

10^{-12} cm



quark + gluoni

10^{-13} cm



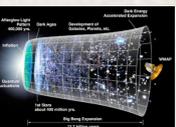
Domanda:

• sono questi i building blocks finali?

• Cosa c'è oltre?

• C'è una fine?

Stringhe, buchi neri e gravità quantistica



What is the $\gamma\gamma$ resonance at 750 GeV?

Roberto Franceschini^a, Gian F. Giudice^a,
Jernej F. Kamenik^{a,b,c}, Matthew McCullough^a, Alex Pomarol^{a,d},
Riccardo Rattazzi^e, Michele Redi^f, Francesco Riva^a,
Alessandro Strumia^{a,g}, Riccardo Torre^e

^a *CERN, Theory Division, Geneva, Switzerland*

^b *Jožef Stefan Institute, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenia*

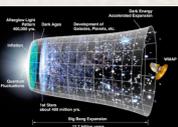
^c *Faculty of Mathematics and Physics, University of Ljubljana, Jadranska 19,
1000 Ljubljana, Slovenia*

^d *Dept. de Física and IFAE-BIST, Universitat Autònoma de Barcelona,
08193 Bellaterra, Barcelona, Spain*

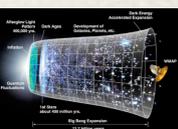
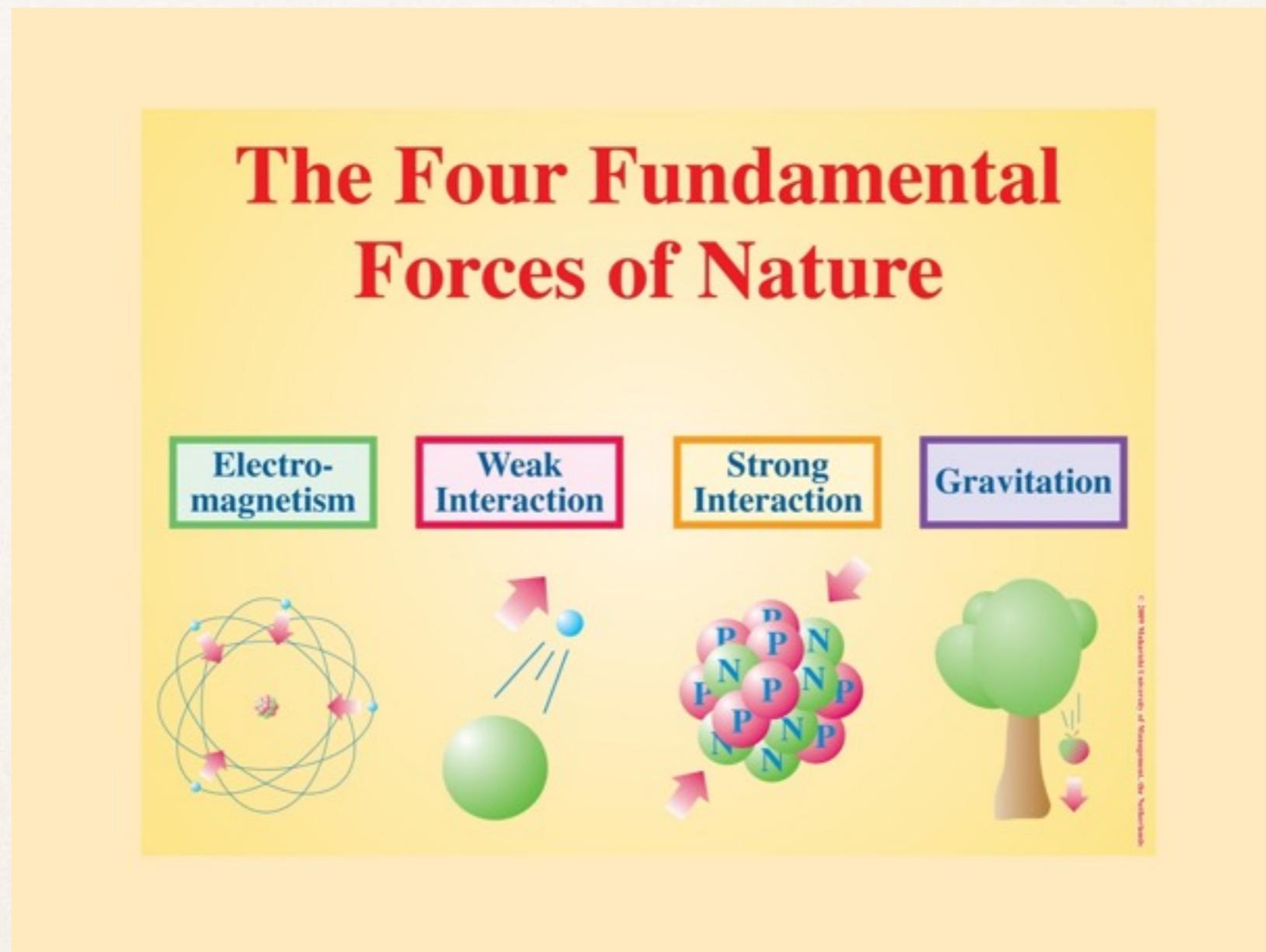
^e *Institut de Théorie des Phénomènes Physiques, EPFL, CH-1015 Lausanne, Switzerland*

^f *INFN, Sezione di Firenze, Via G. Sansone, 1, I-50019 Sesto Fiorentino, Italy*

^g *Dipartimento di Fisica dell'Università di Pisa and INFN, Italy*

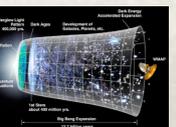
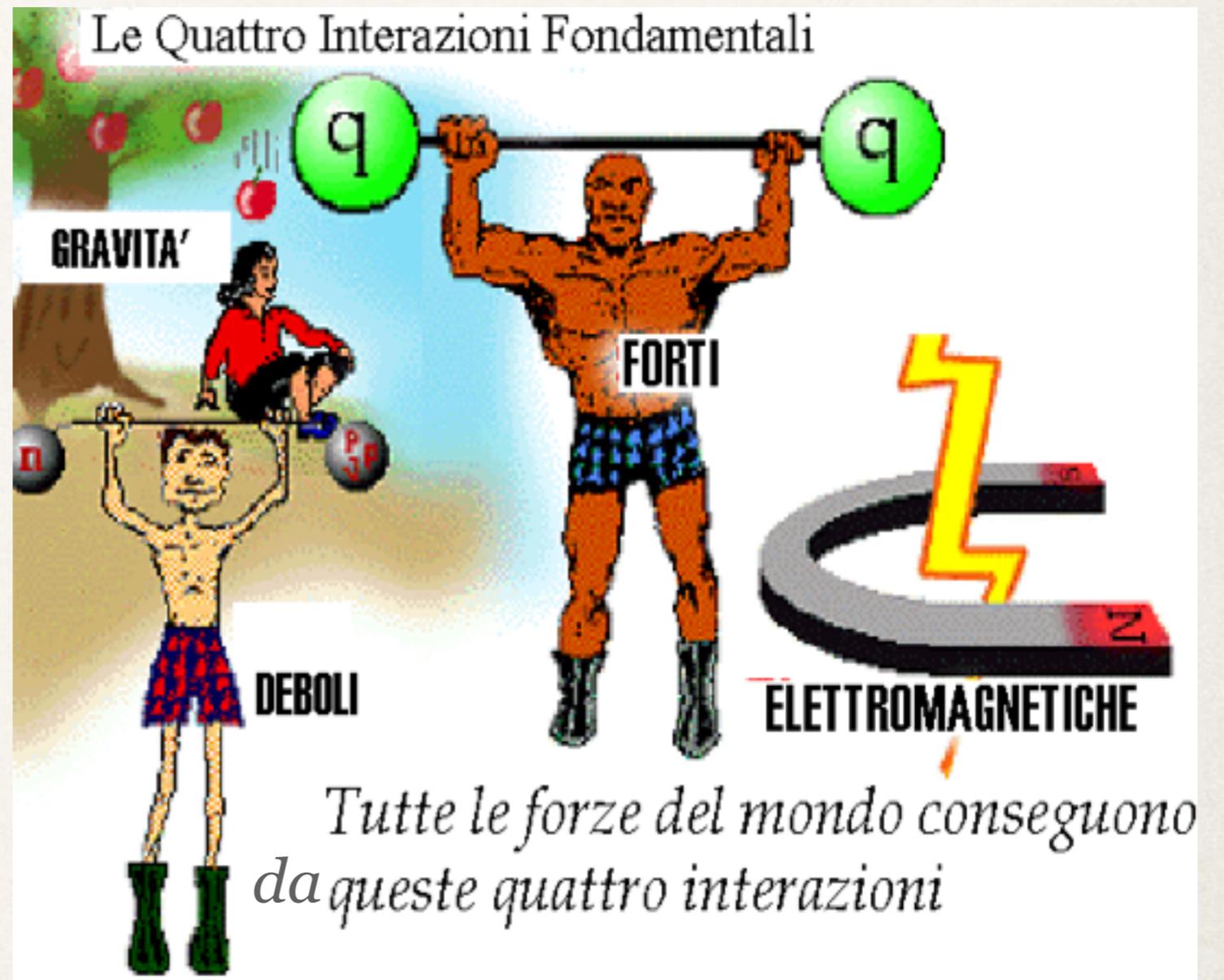


Le particelle interagiscono tra loro attraverso *quattro forze fondamentali*. Le quattro interazioni, tuttavia, sono descritte da teorie apparentemente *incompatibili tra loro*



Le Quattro Interazioni Fondamentali

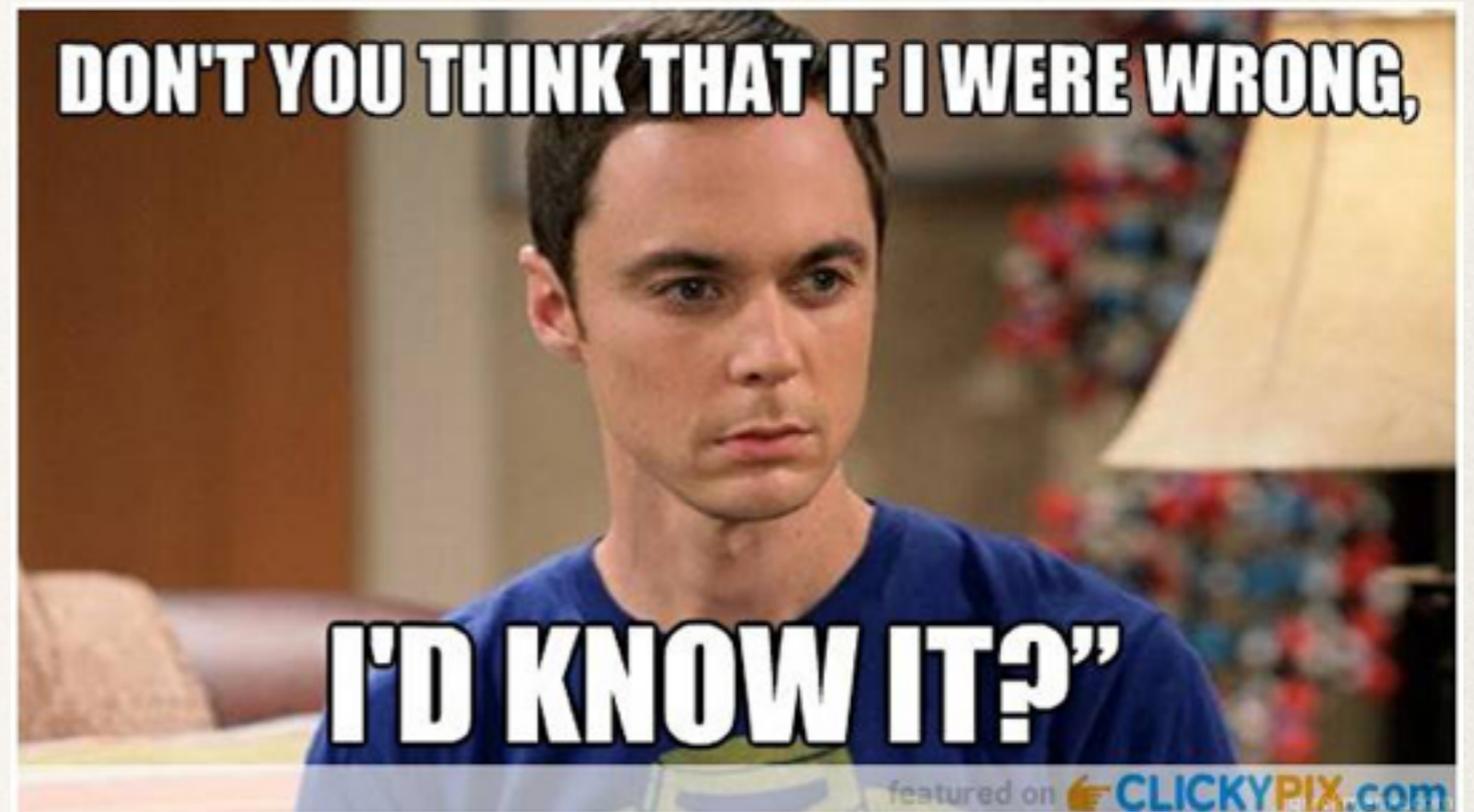
- La **gravità** è universale. Tutte le masse la subiscono.
- L'**interazione elettromagnetica** è trasmessa dai fotoni
- L'**interazione debole** è trasmessa dai W e Z. Fa decadere il neutrone.
- L'**interazione forte** è trasmessa dai gluoni. Incolla insieme i nucleoni



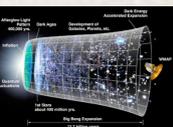
Elettromagnetismo



Elettromagnetismo



Insieme alla gravità è la forza più comune.
La chimica e la biologia, sono basate sulle interazioni
elettromagnetiche.

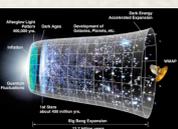
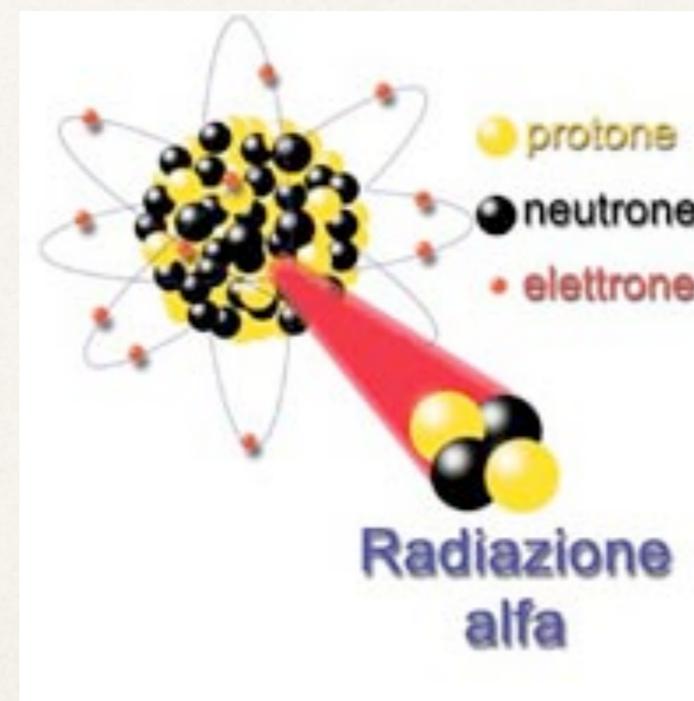
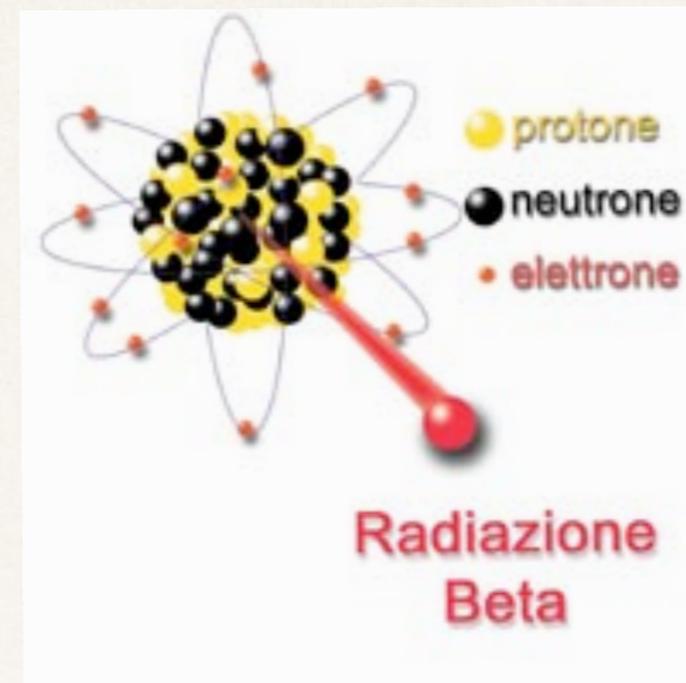


Forza Nucleare Debole

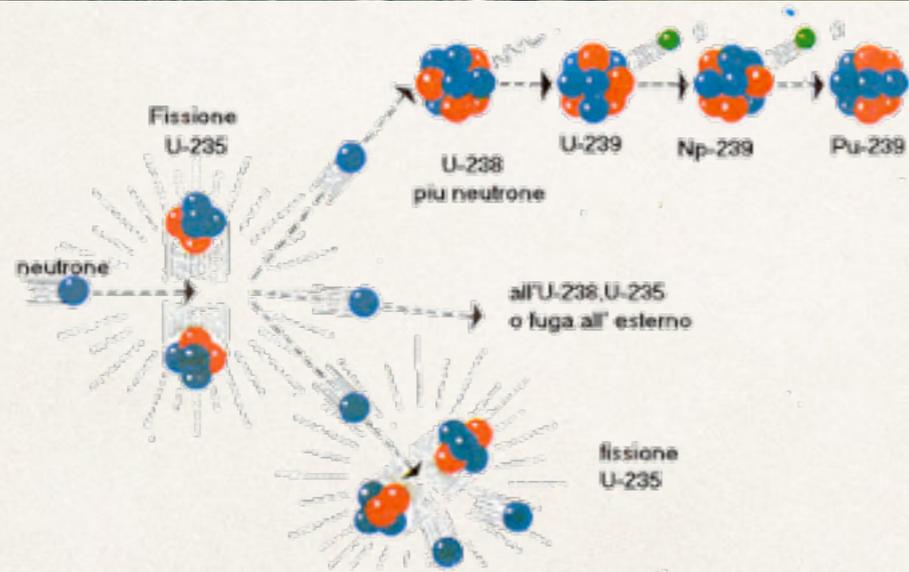
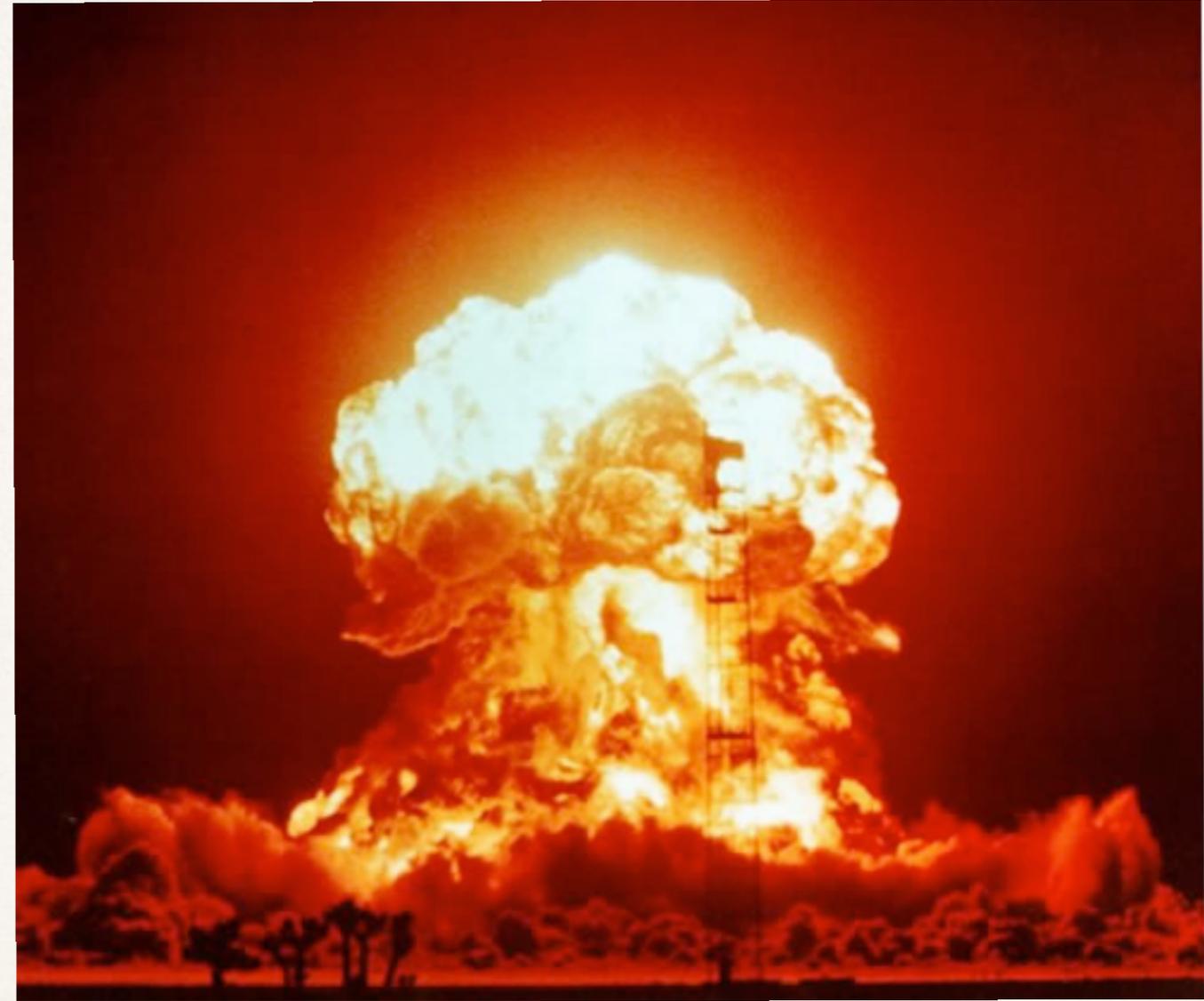


radioattività

decadimenti radioattivi,
radioattività naturale

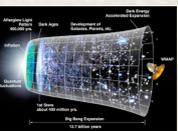


Forza Nucleare Forte



Responsabile dell'energia nucleare, è più forte dell'elettromagnetismo i protoni stanno insieme nel nucleo contro la repulsione elettromagnetica!

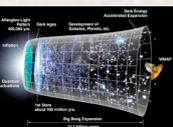
Stringhe, buchi neri e gravità quantistica



*Esiste una teoria che descrive
queste forze?*

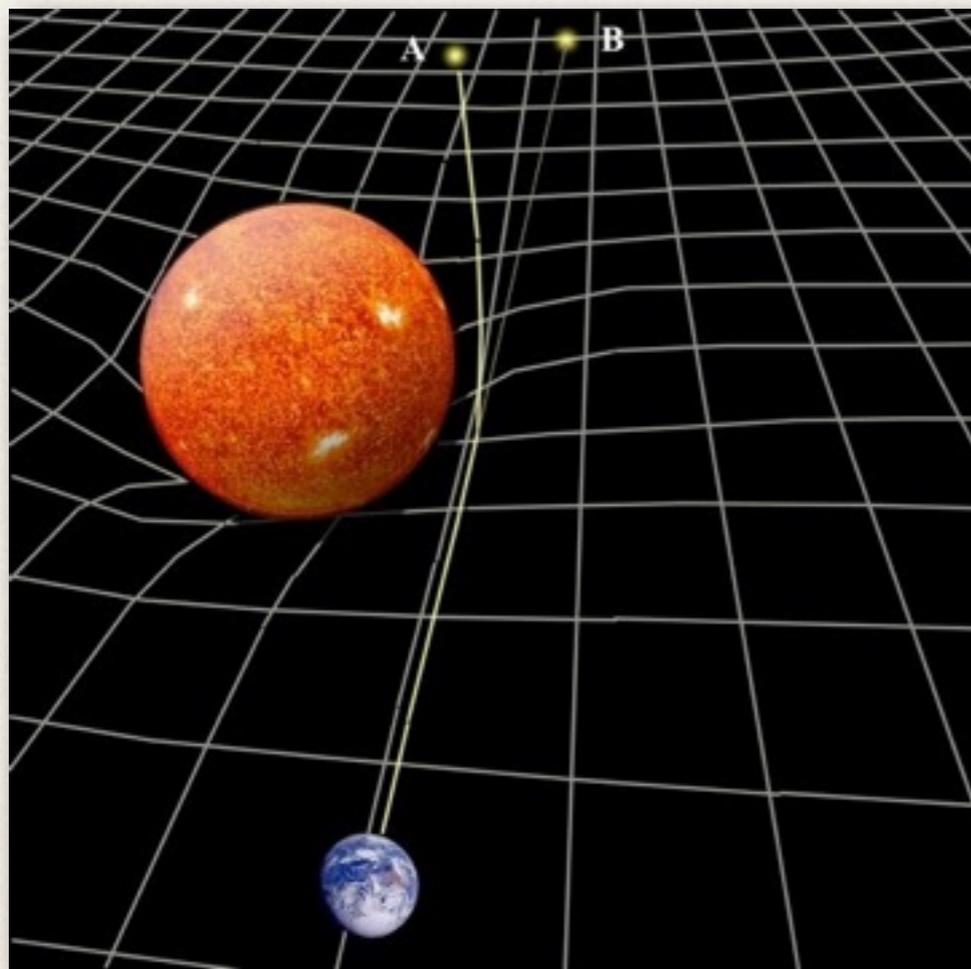
*La teoria della forza gravitazionale è
la **Relatività Generale di Einstein**.
Esiste dal 1916. La teoria delle altre tre
forze è*

*... il **Modello Standard**. Esso è una
teoria creata negli anni 1967-1975 e
sperimentalmente verificata solo dal
1983*



La Relatività Generale di Einstein

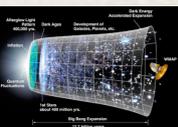
geometrizzazione della forza gravitazionale



$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu} R = 8\pi G_N T_{\mu\nu}$$

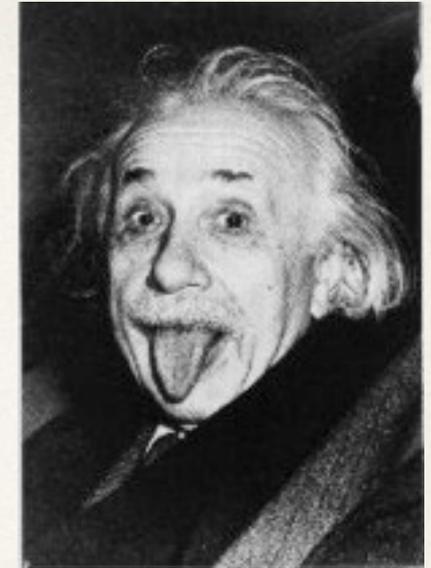
Teoria *classica* dello spazio-tempo

Ha passato con successo vari test sperimentali ... sin dalla sua nascita (Eddington 1919) ... e descrive il moto dei pianeti e delle stelle, nonché l'evoluzione dell'Universo Gps, satelliti, razzi....



Einstein: La Gravità: è solo questione di linee diritte

Ma negli spazi curvi le linee diritte sono diverse dalle rette usuali....!



Relatività speciale (1905):

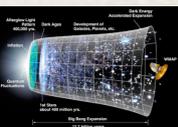
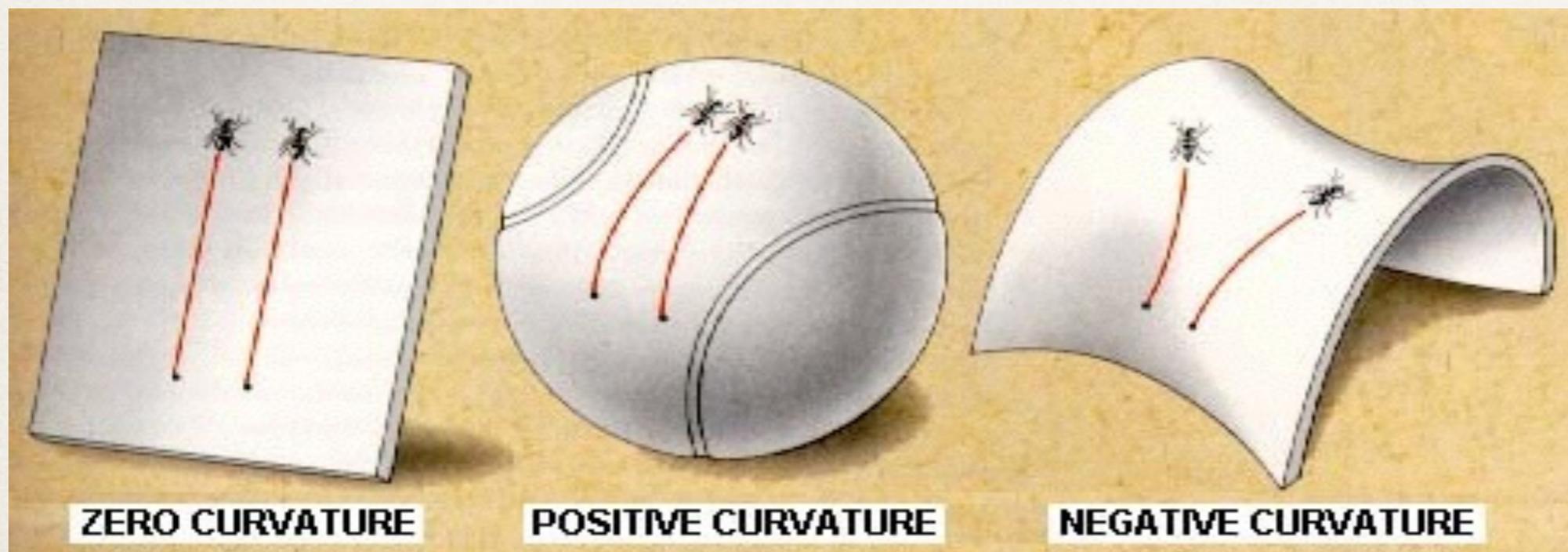
Lo spazio ed il tempo sono legati insieme



Spazio Tempo

Relatività Generale (1915):

La gravità è una manifestazione della curvatura dello spazio tempo.



Cosa fanno le particelle in un campo gravitazionale?

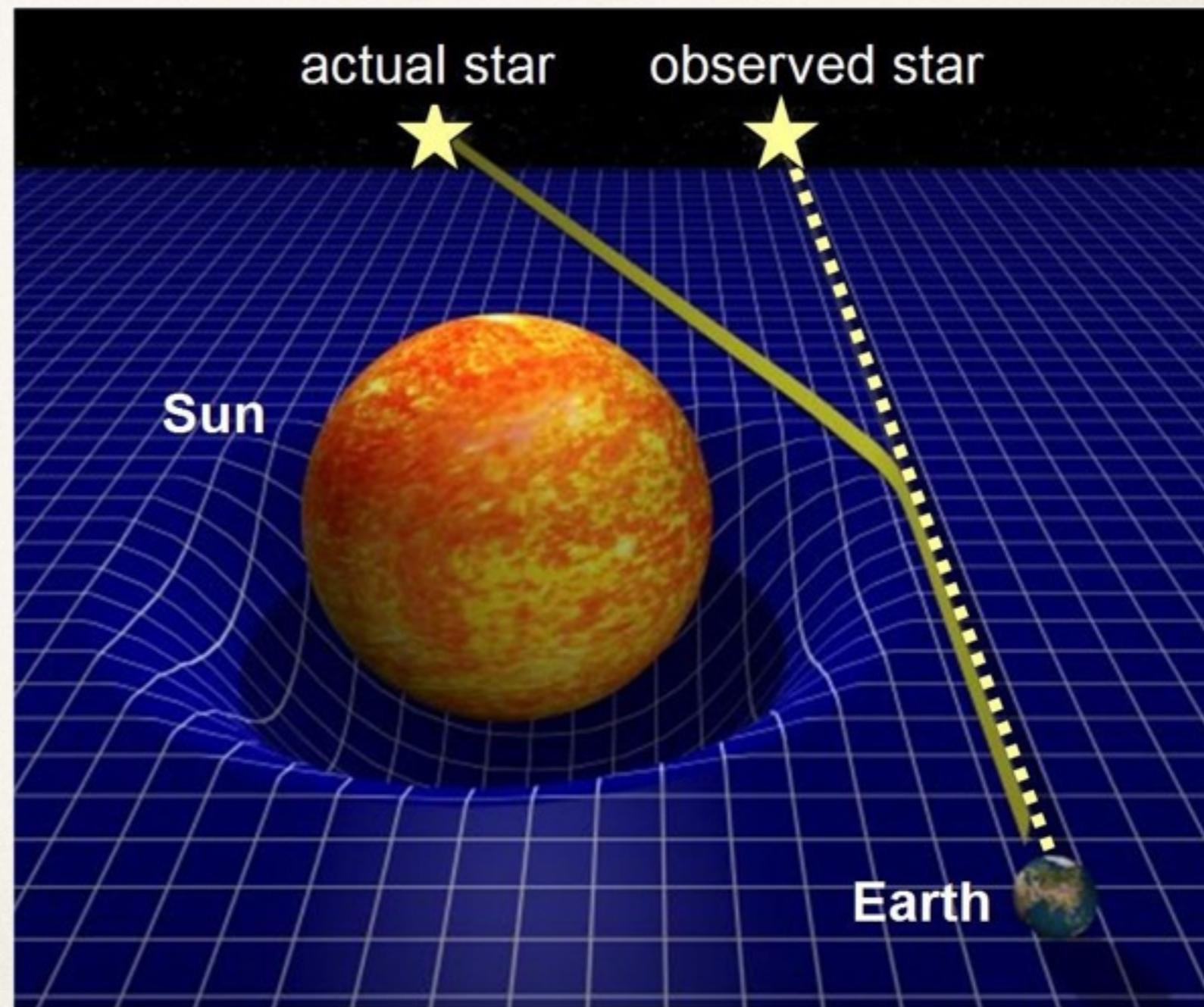
Risposta: vanno dritte come nello spazio vuoto!!!!

Ma è il concetto di diritto che è modificato dalla gravità!!!!

La metafora del **telo di Eddington** riassume la Relatività Generale.

Nello spazio curvo *le linee diritte* sono diverse (geodetiche)!!

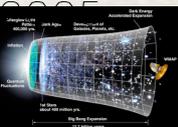
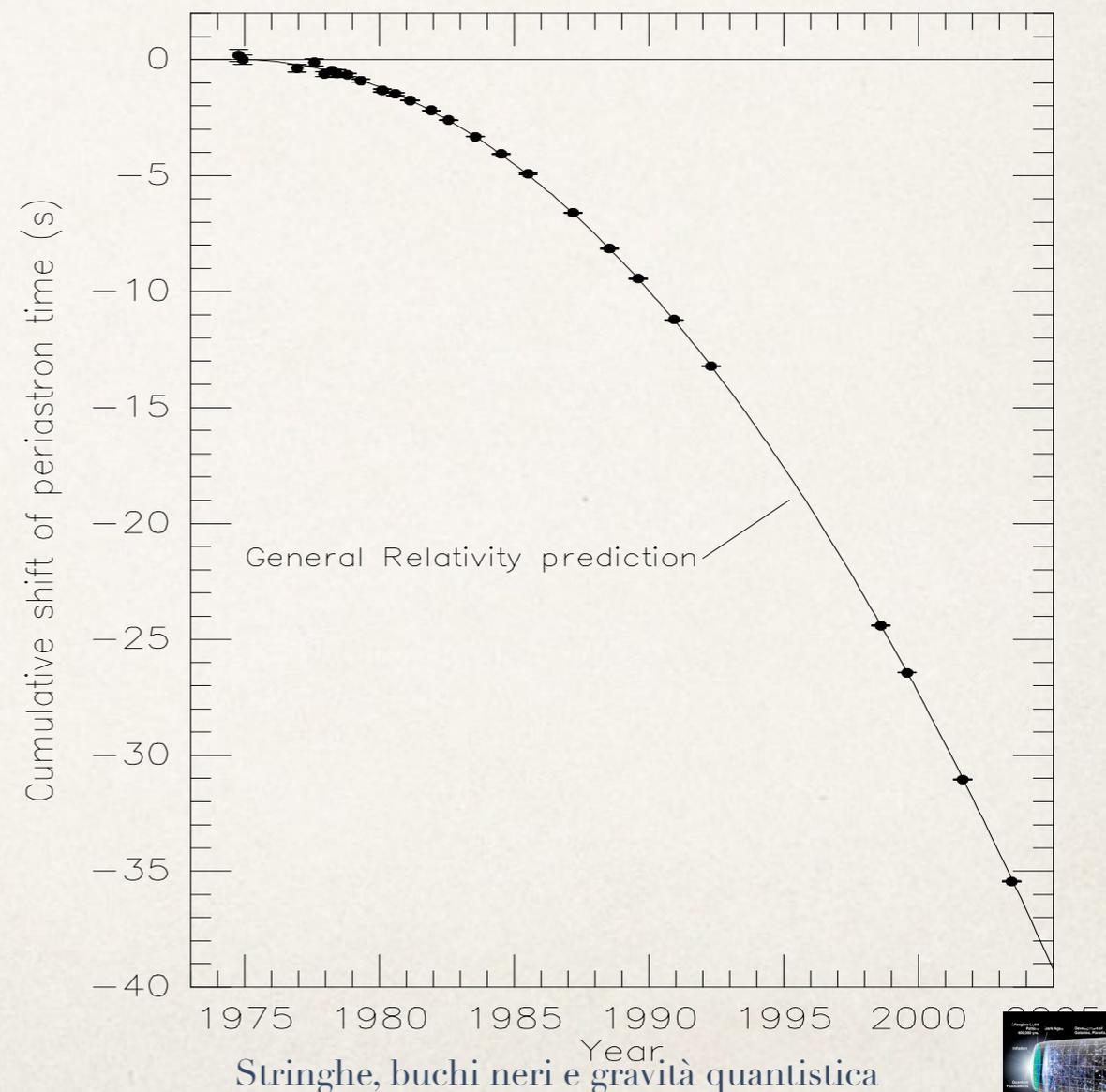
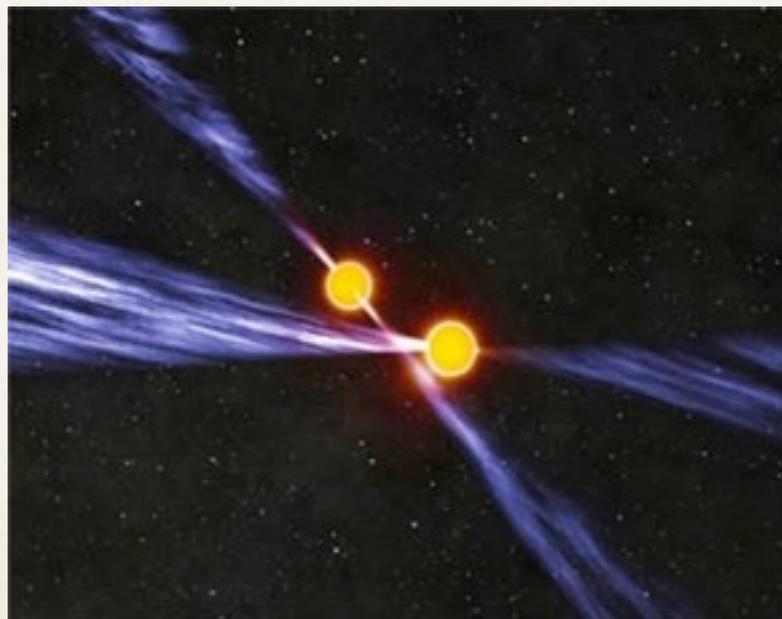
La massa-energia curva lo spazio-tempo !



La Relatività Generale è provata sperimentalmente con accuratezza

- Deflessione della luce da parte del Sole
- Redshift gravitazionale
- Precessione dei periastri (Mercurio in particolare)
- Ritardo della luce,

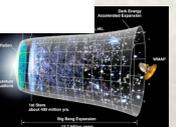
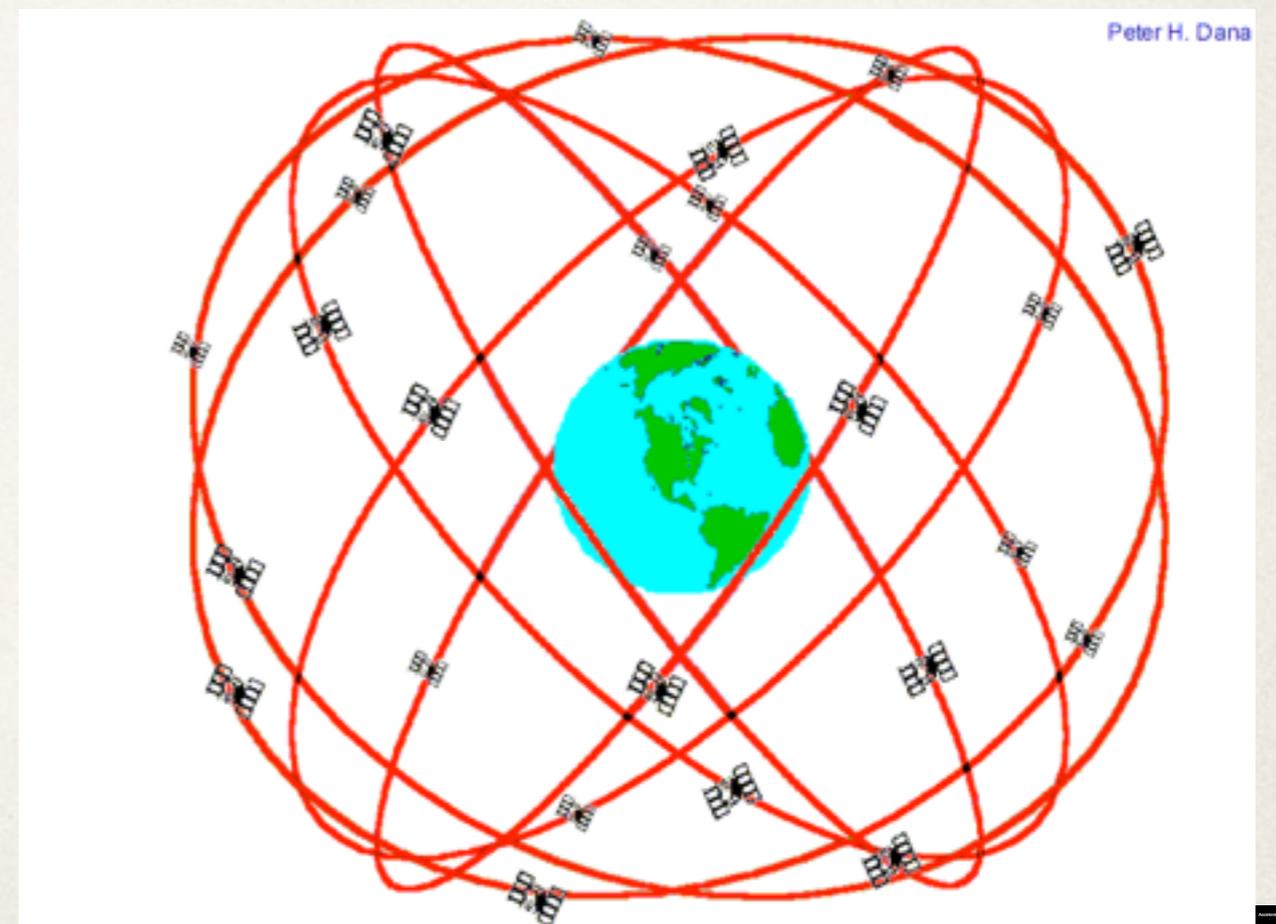
Hulse and Taylor:
Nobel Prize in 1993



La Relatività Generale è testata ogni giorno
dagli ignari utenti del...:

Global Positioning System (GPS):

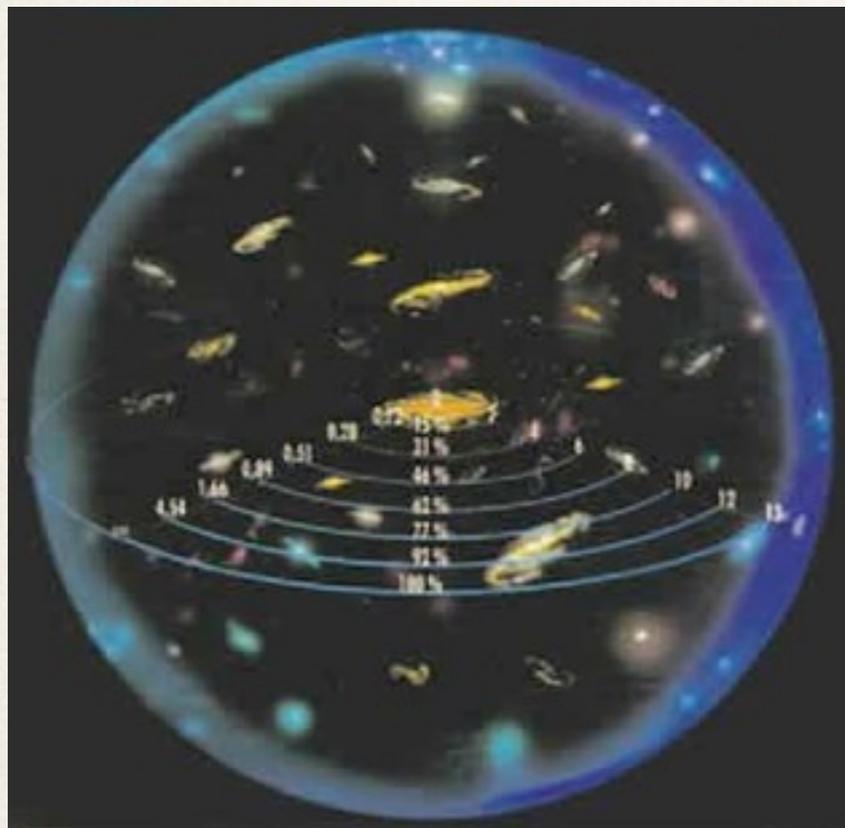
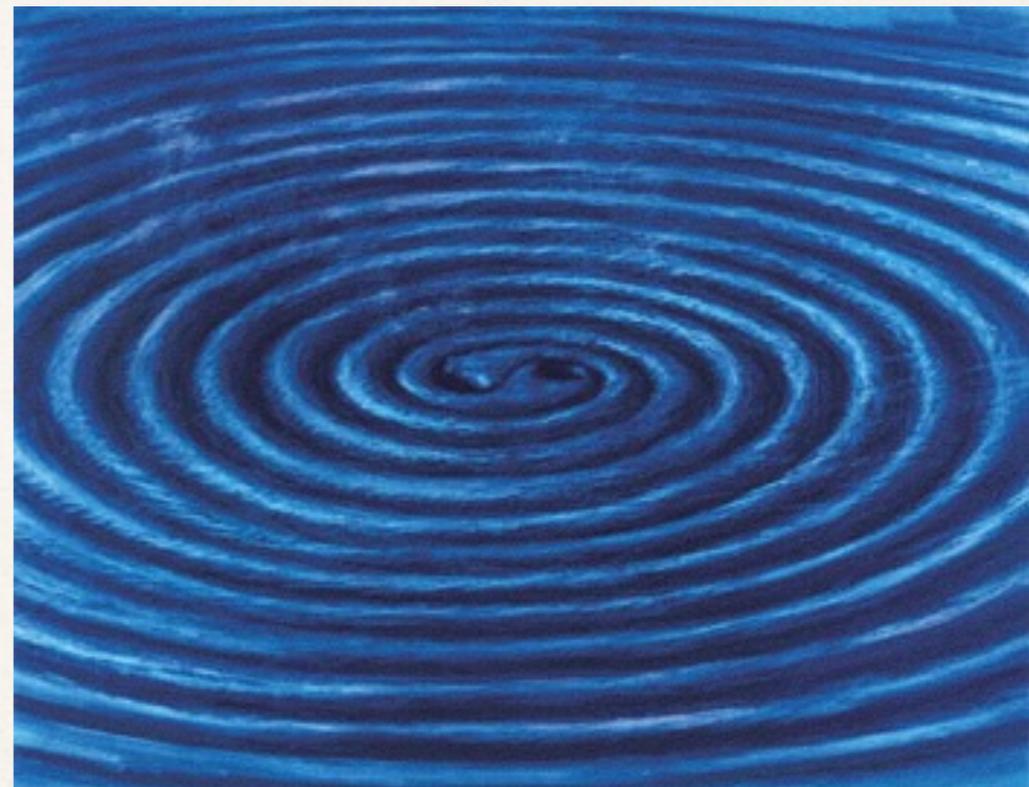
Il calcolo accurato della posizione richiede che si
tengano in conto gli effetti GR sugli orologi in
orbite geostazionarie.....



La Relatività Generale: prevede nuovi fenomeni e nuovi scenari

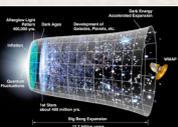
Buchi neri

Onde gravitazionali



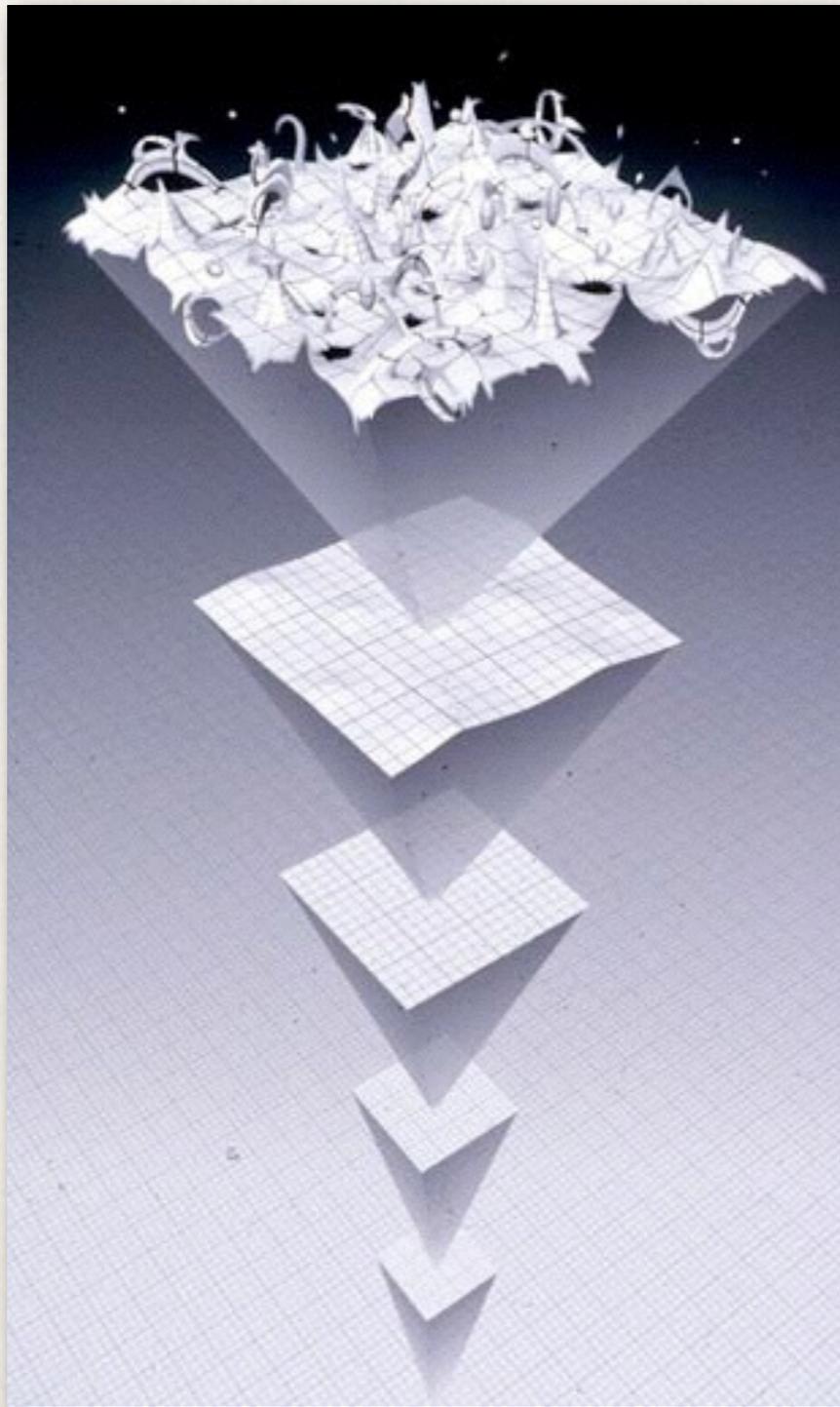
Espansione dell'Universo

Stringhe, buchi neri e gravità quantistica



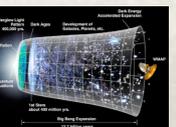
La Relatività Generale di Einstein

geometrizzazione della forza gravitazionale



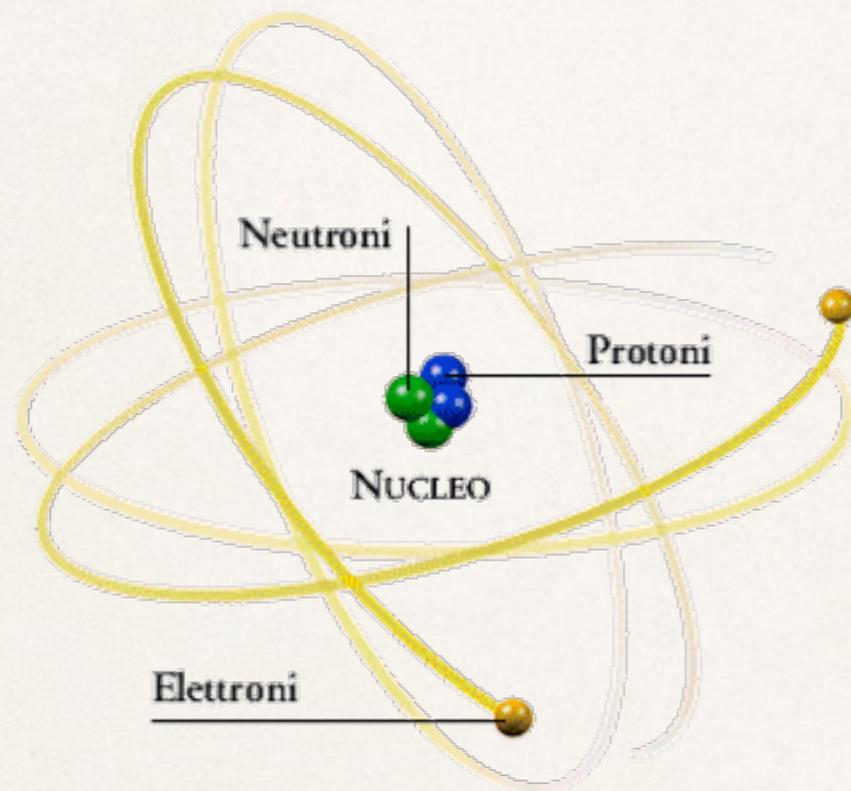
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu} R = 8\pi G_N T_{\mu\nu}$$

La forza gravitazionale è descritta dalle *increspature* dello spazio-tempo, e man mano che ci concentriamo su scale sempre più piccole tali fluttuazioni diventano sempre più importanti e la teoria classica cessa di aver senso fisico!

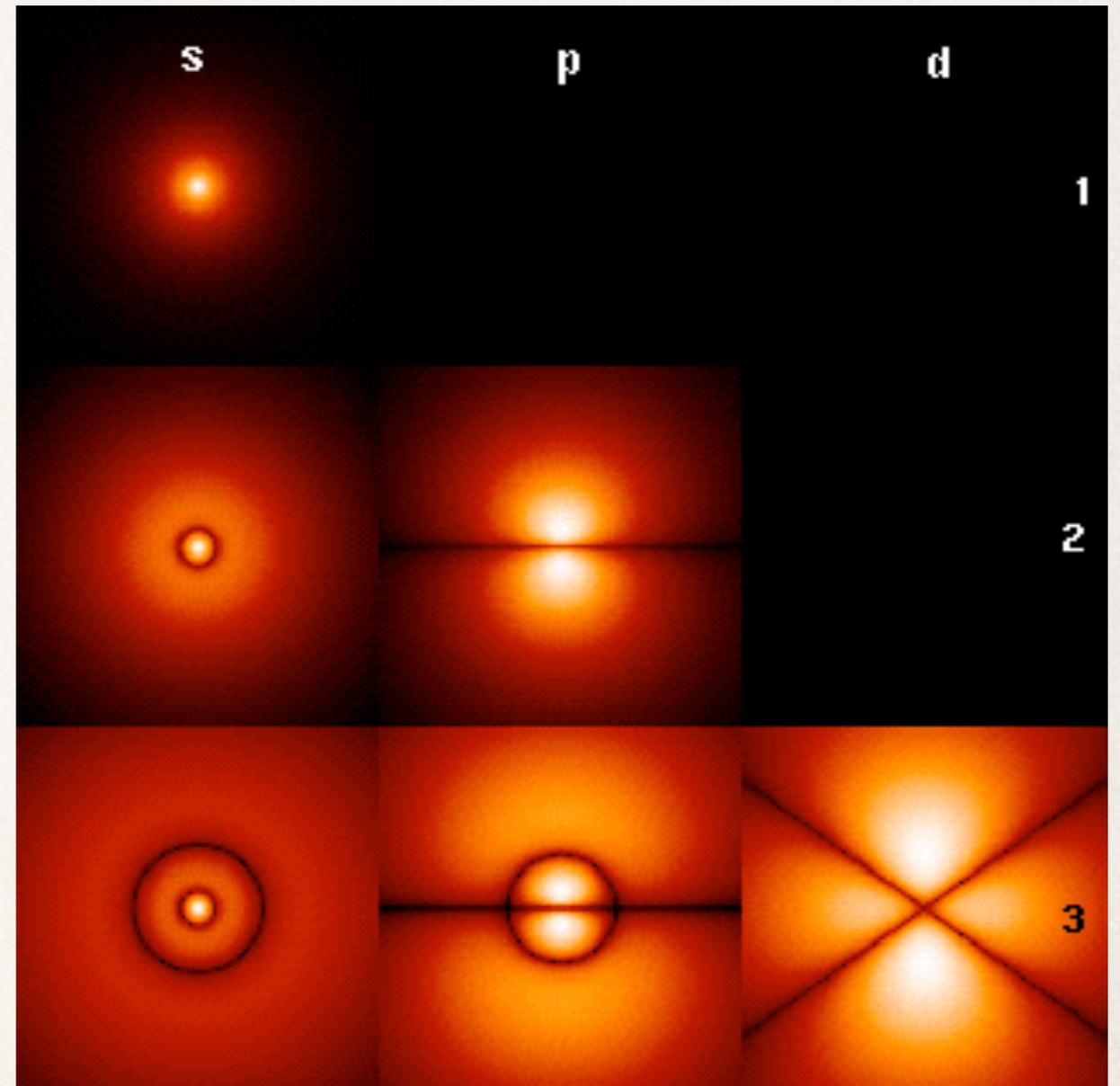


Le altre interazioni richiedono la Meccanica Quantistica

L'atomo

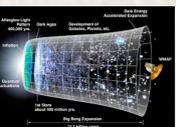


Descrizione classica: orbite



Descrizione quantistica: onde
di probabilità

Stringhe, buchi neri e gravità quantistica



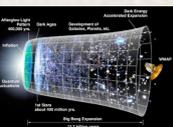
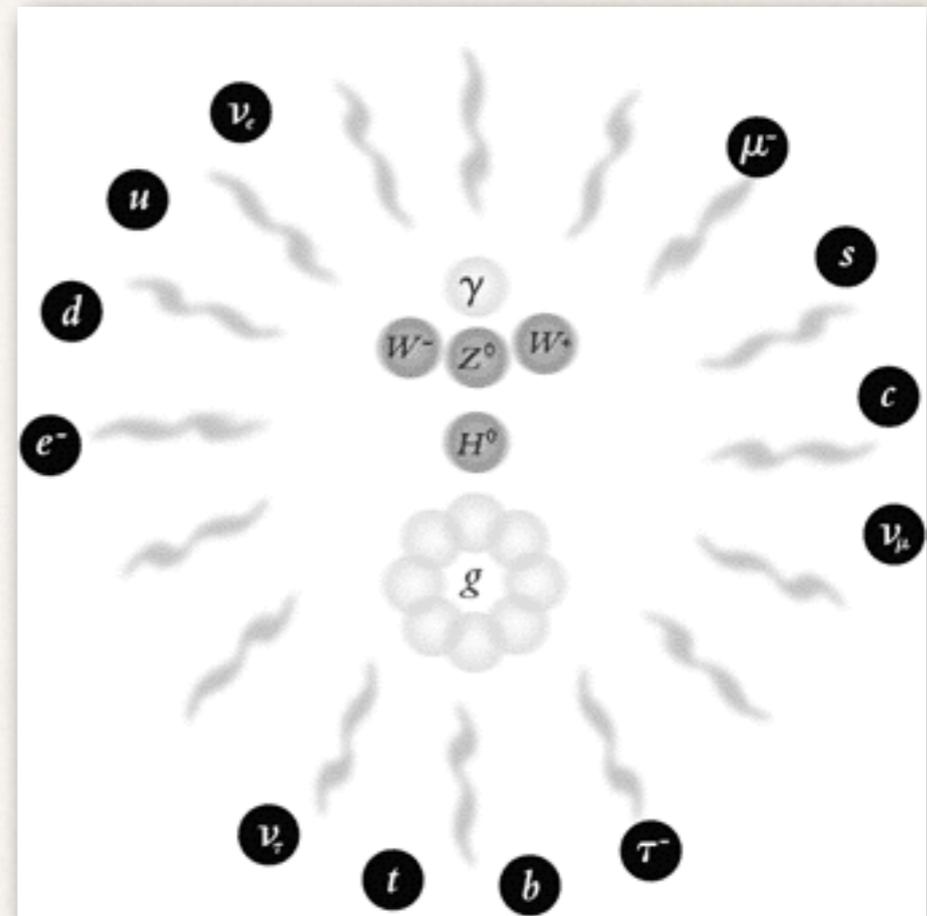
Il Modello Standard delle Particelle Elementari

sintesi tra Meccanica Quantistica e Relatività Speciale

Fornisce una descrizione unificata delle interazioni deboli ed elettromagnetiche e delle interazioni forti di colore

Teoria Quantistica di Campo

Il Modello Standard è stato verificato nelle grandi macchine acceleratrici e i risultati sperimentali sono in ottimo accordo con le previsioni teoriche



Conflitto tra la Relatività Generale e la Meccanica Quantistica

Gravità (RG)



Lo spazio-tempo si può curvare

Meccanica
Quantistica (MQ)

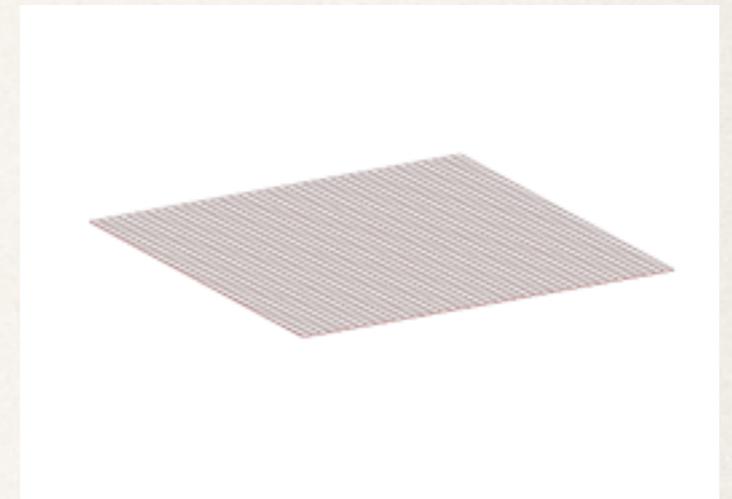


Principio di Indeterminazione:
“nothing sits still”

RG + MQ

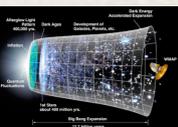


Lo spazio-tempo “does not sit still” ha
fluttuazioni quantistiche



Non è un problema a distanze dell'ordine di 1 cm o 10^{-15} cm, ma lo
diventa a distanze dell'ordine di 10^{-33} cm

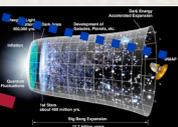
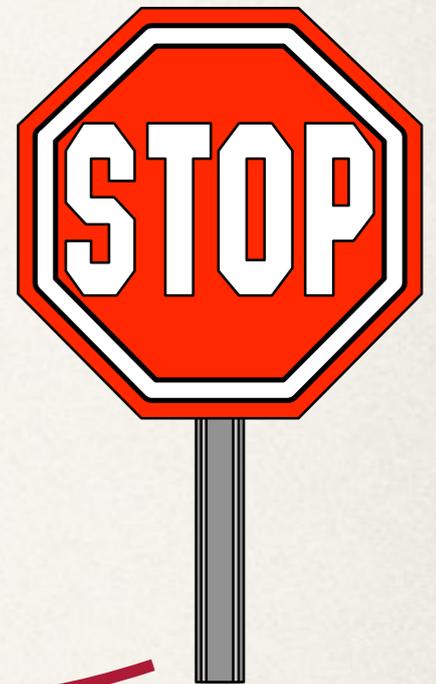
Lunghezza di Planck = $\sqrt{\hbar G / c^3} \approx 10^{-33}$ cm



Il Modello Standard è bello ma..

- Non può essere la Teoria Finale.
- Perché?
- Perché non spiega le masse dei quark e dei leptoni
- Perché non spiega il numero di famiglie
- Perché...
- Soprattutto perché non unifica la gravità con il resto

*La strada verso
la teoria finale*





- Qual è l'origine delle 4 forze che noi vediamo?
- Perché vediamo certi tipi di particelle?
- Perché le particelle hanno proprio quei valori per la massa e la carica?
- Perché viviamo in 4 dimensioni spazio-temporali ?
- Qual è la natura dello spazio-tempo e della gravità?
- Come si spiegano i buchi neri?

- Perché il Big Bang?

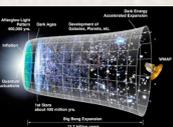


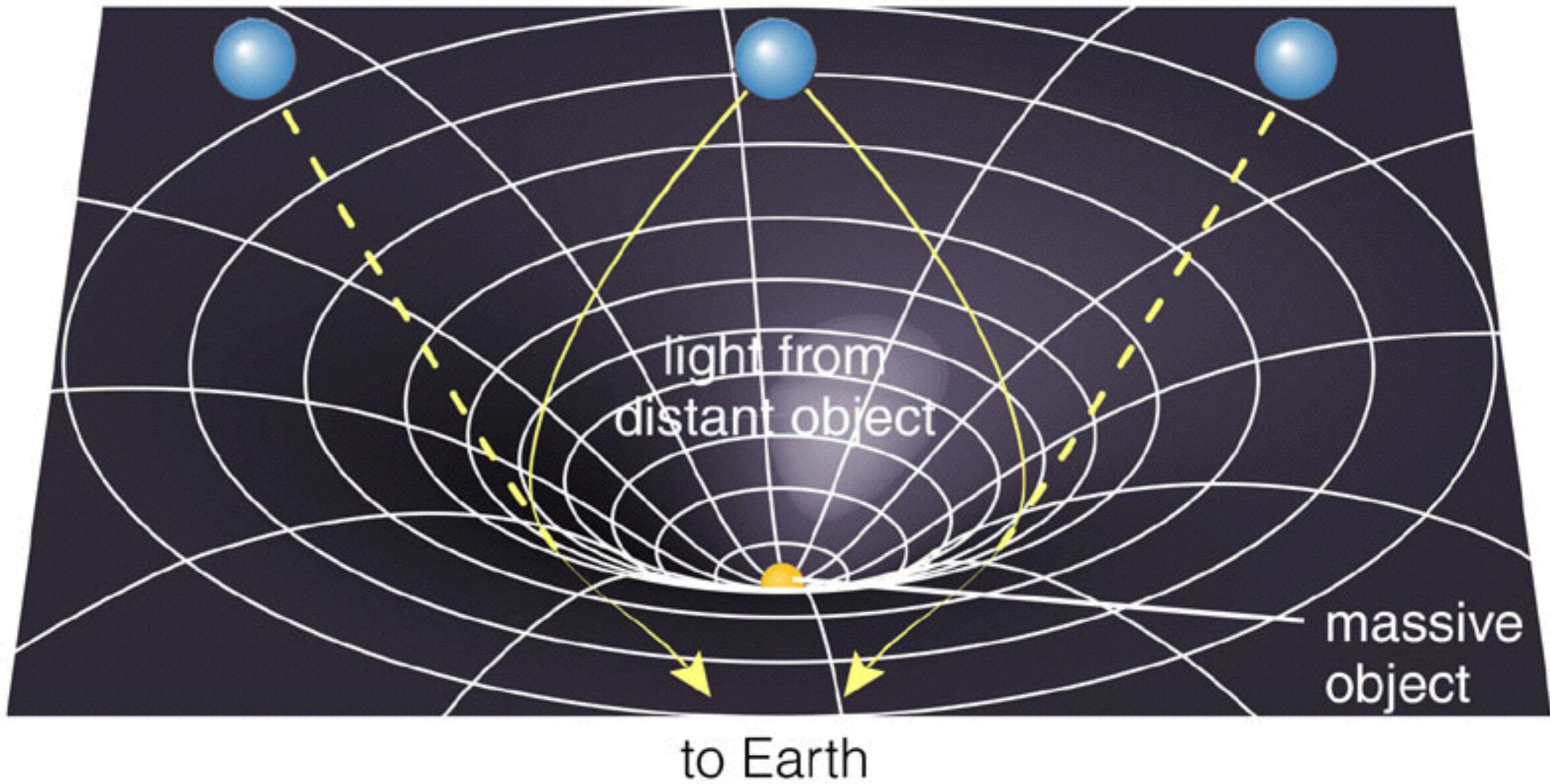


Immagine del telescopio di Hubble di un gruppo di galassie.
Una galassia blu che sta dietro viene riprodotta molte volte

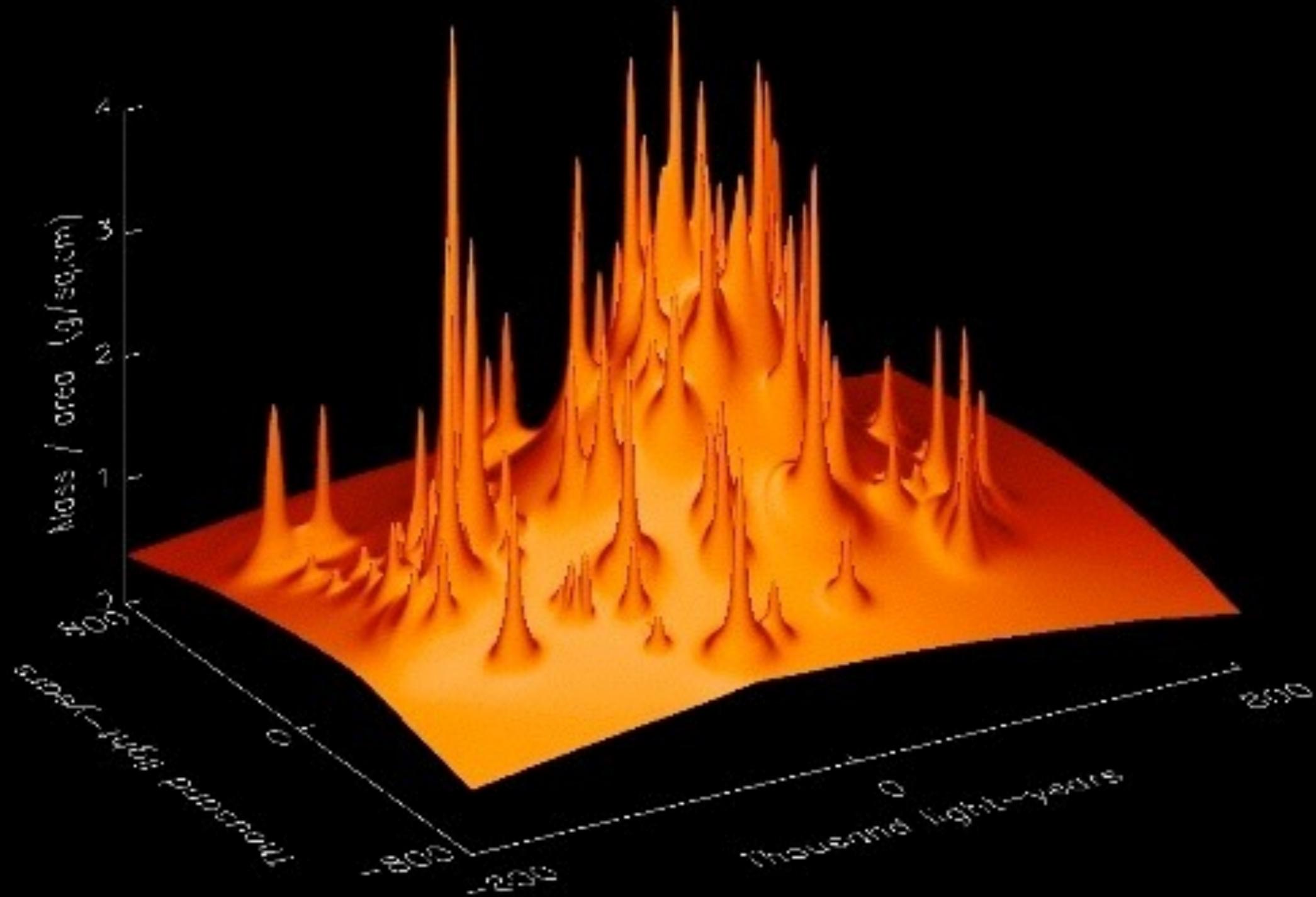
image 1

real object

image 2

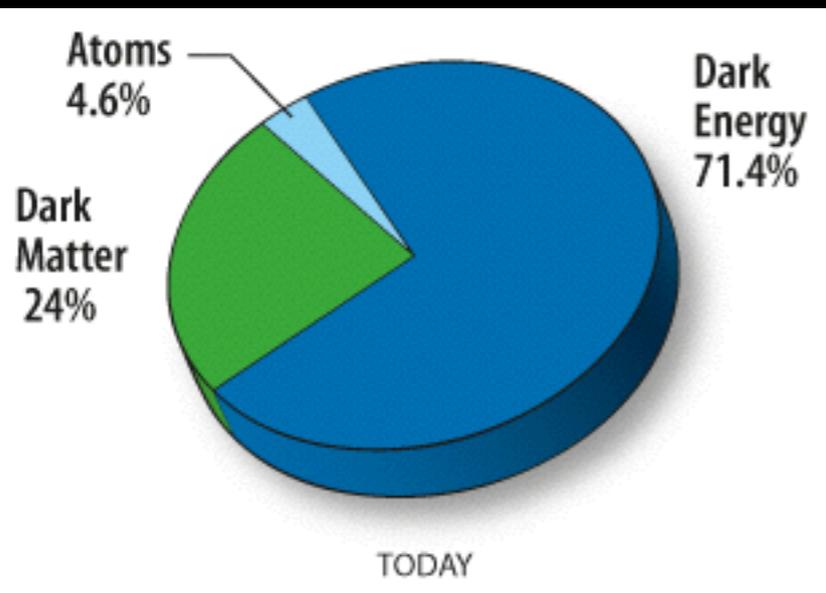
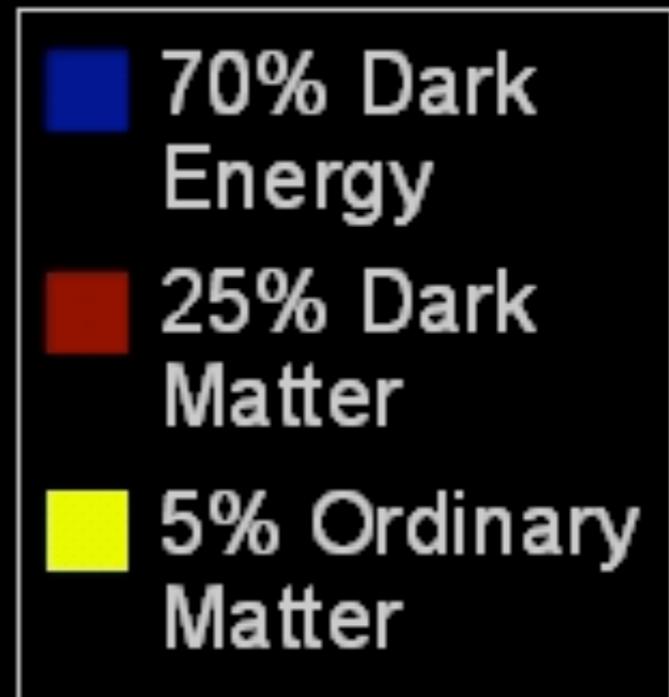
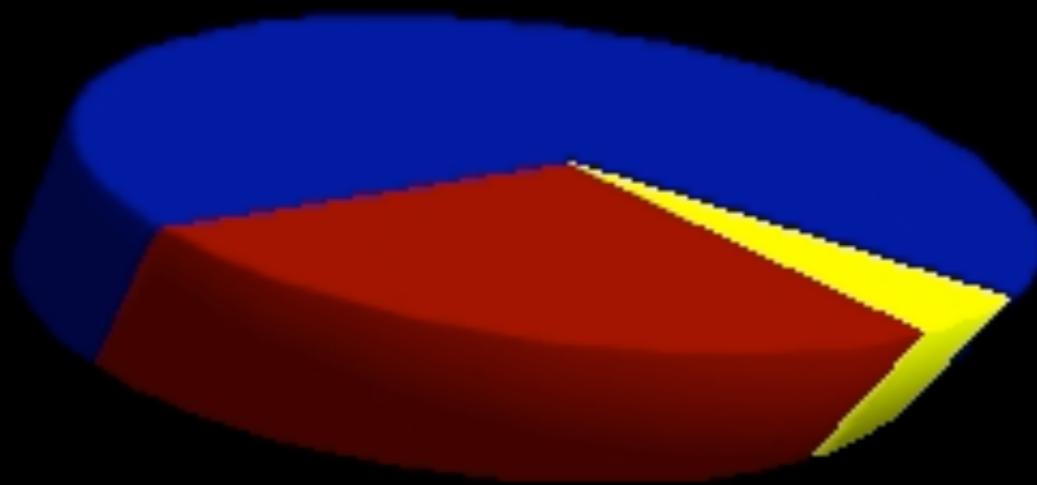


massive object



Ricostruzione della massa di un gruppo di galassie.
C'è una distribuzione uniforme di massa invisibile!

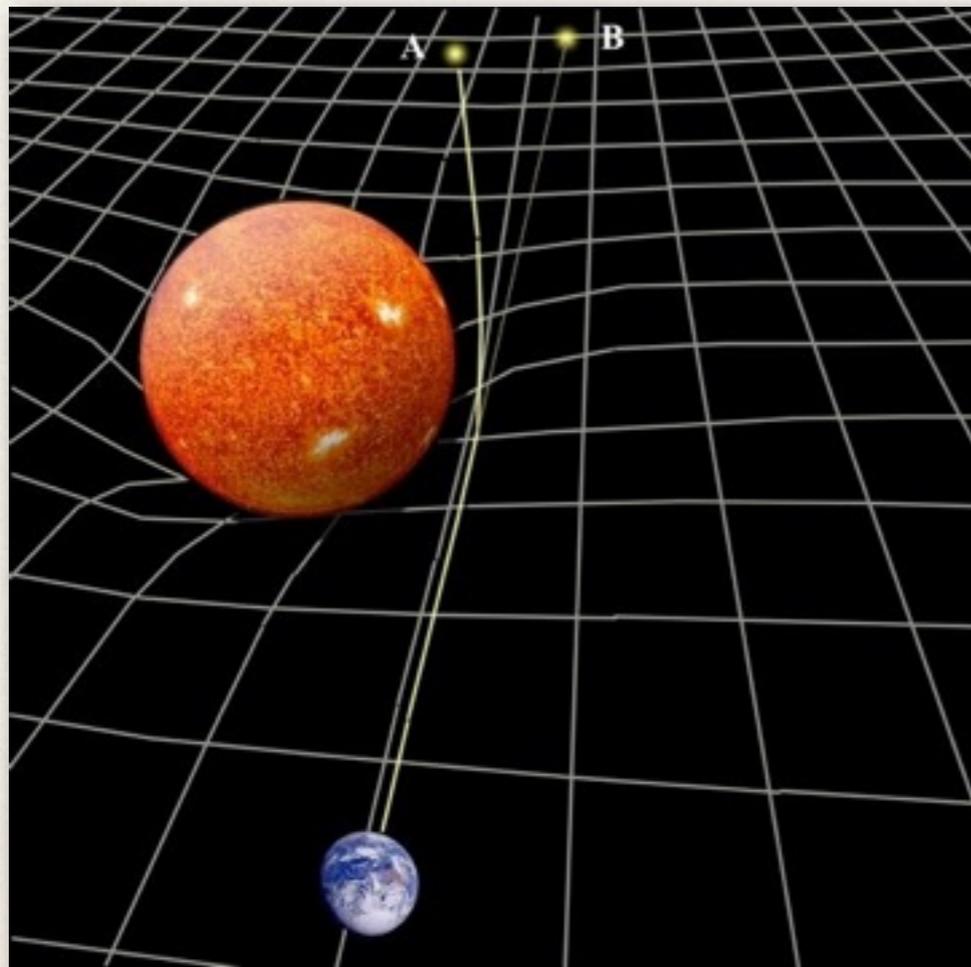
Sembra che abbiamo un inventario completo di ciò che compone l' Universo ma non sappiamo cos'è!!



Abbiamo bisogno di menti giovani che scoprano di cosa è fatto l' Universo!!

La Costante Cosmologica

Dark Energy



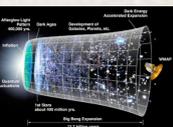
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R - \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi G_N T_{\mu\nu}$$

Il termine in rosso fu aggiunto dallo stesso Einstein,

che lo considerò il peggiore errore della sua vita.

Invece aveva ragione anche in questo caso!

Le galassie lontane si stanno allontanando con un' accelerazione.



Cosmic Microwave Background

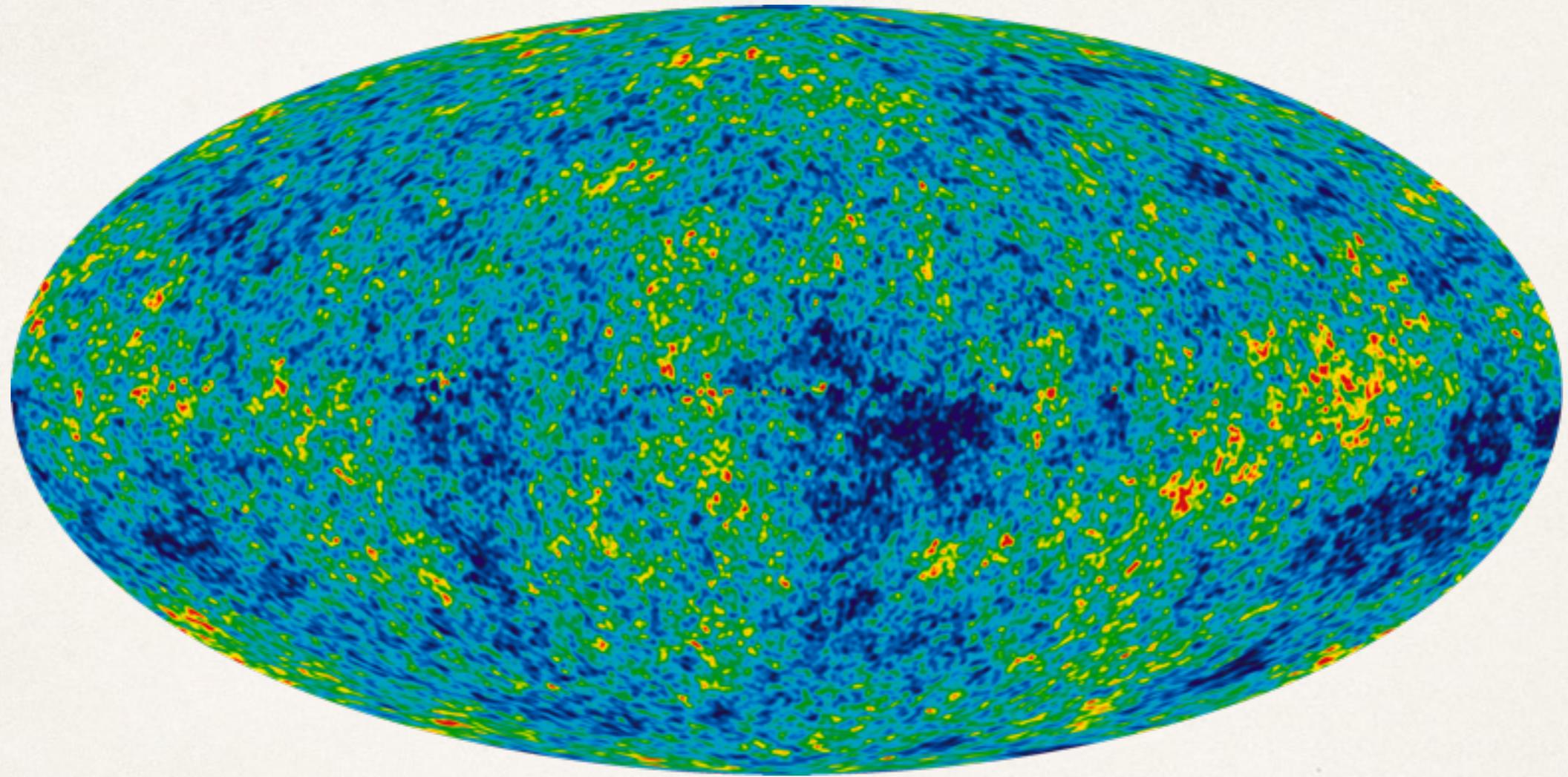
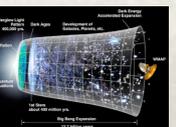
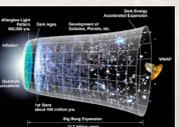
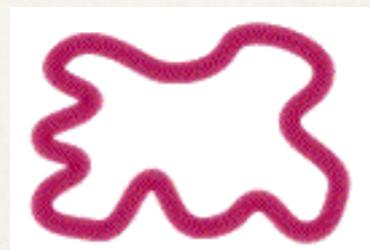
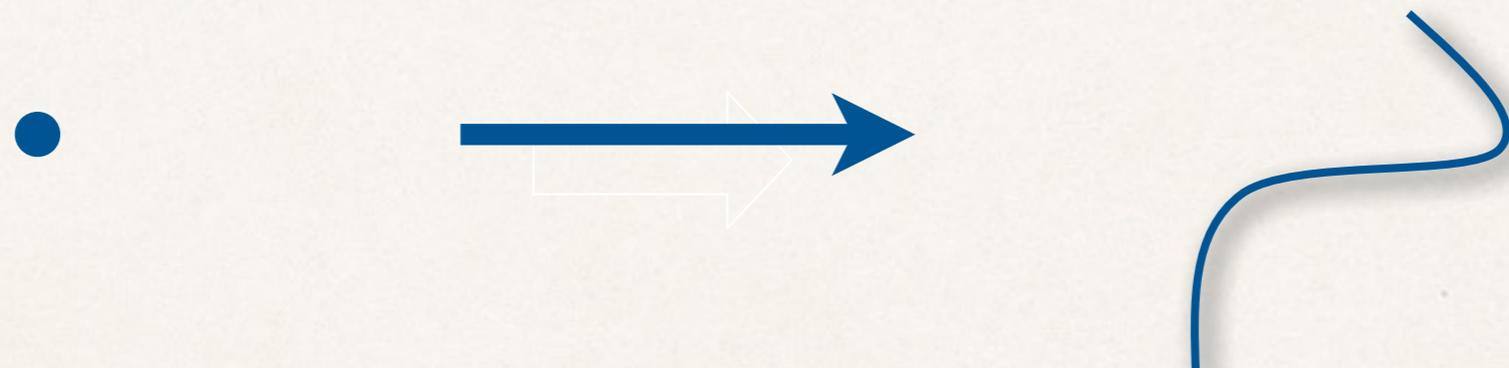


Foto dell'universo a 380.000 anni all'epoca della "ricombinazione"

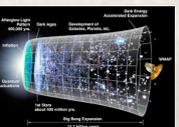
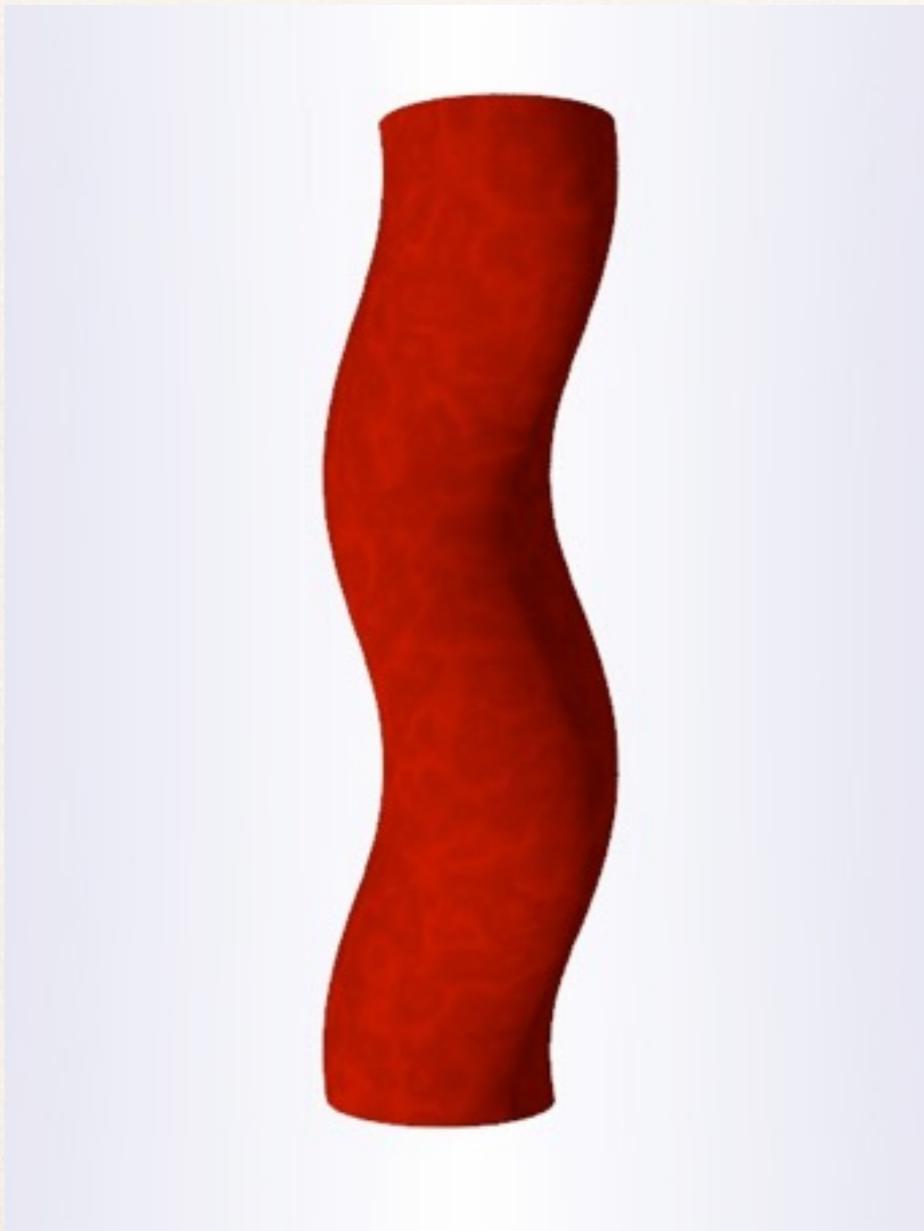
Le fluttuazioni quantistiche dell'era precedente creano le variazioni di densità che danno origine alle galassie



Cos'è la teoria delle stringhe?



Stringhe chiuse e aperte



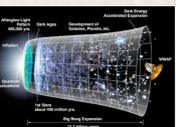


Quanto è grande una stringa?

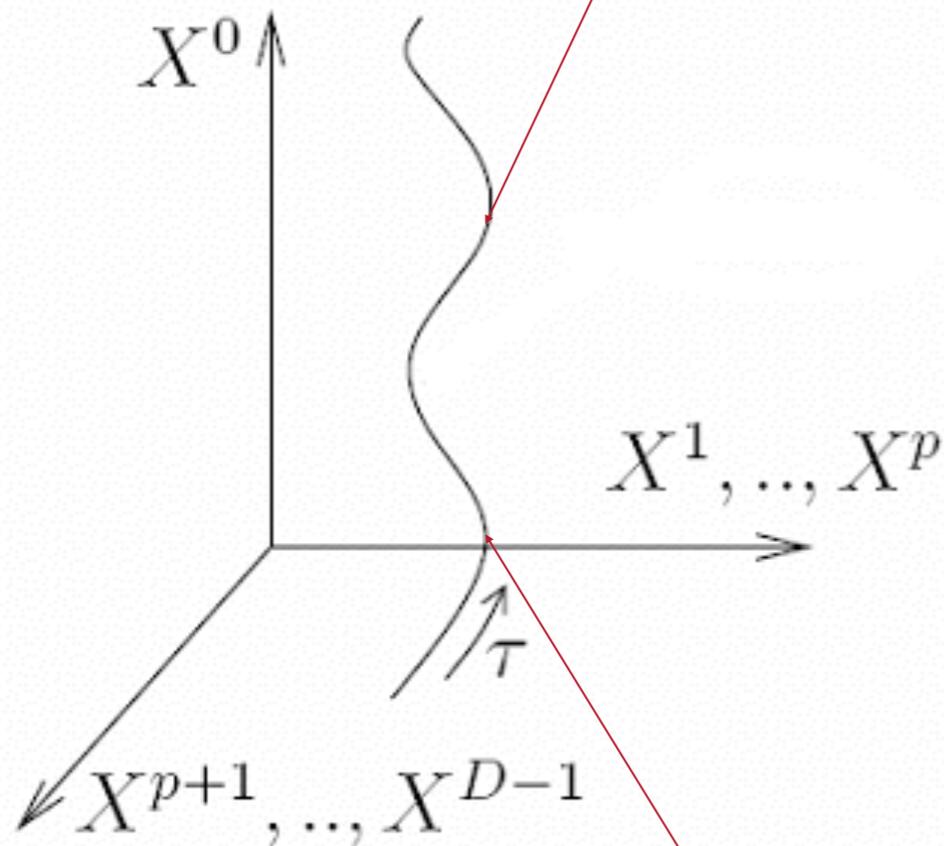
Tre costanti fondamentali in natura:

- costante di Planck's, h
- Costante gravitazionale di Newton, G
- Velocità della luce, c

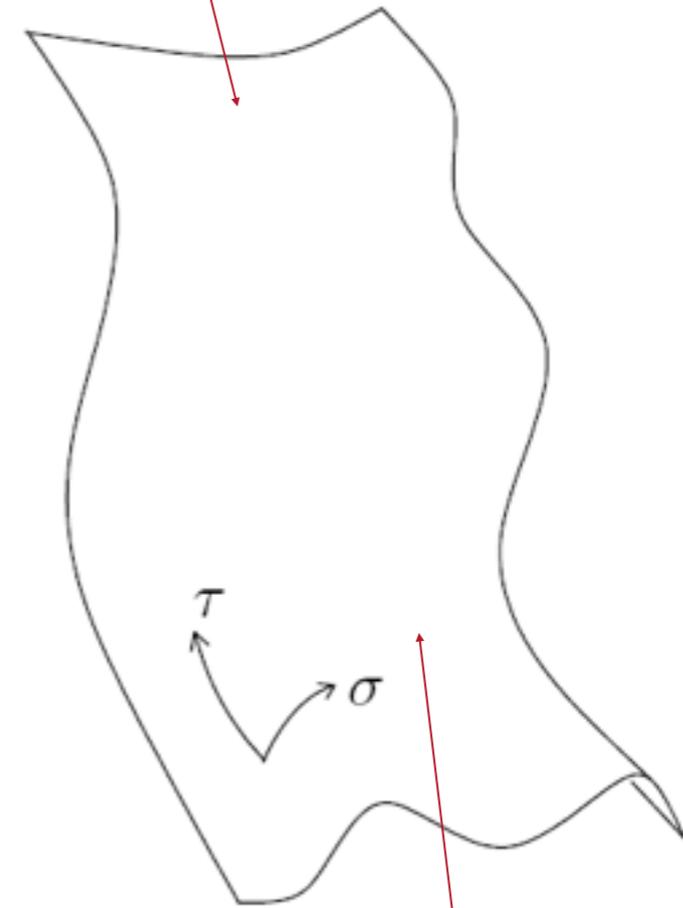
$$l_P = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 1.62 \times 10^{-35} m$$



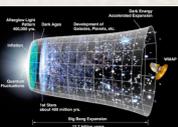
World-lines e World-sheets



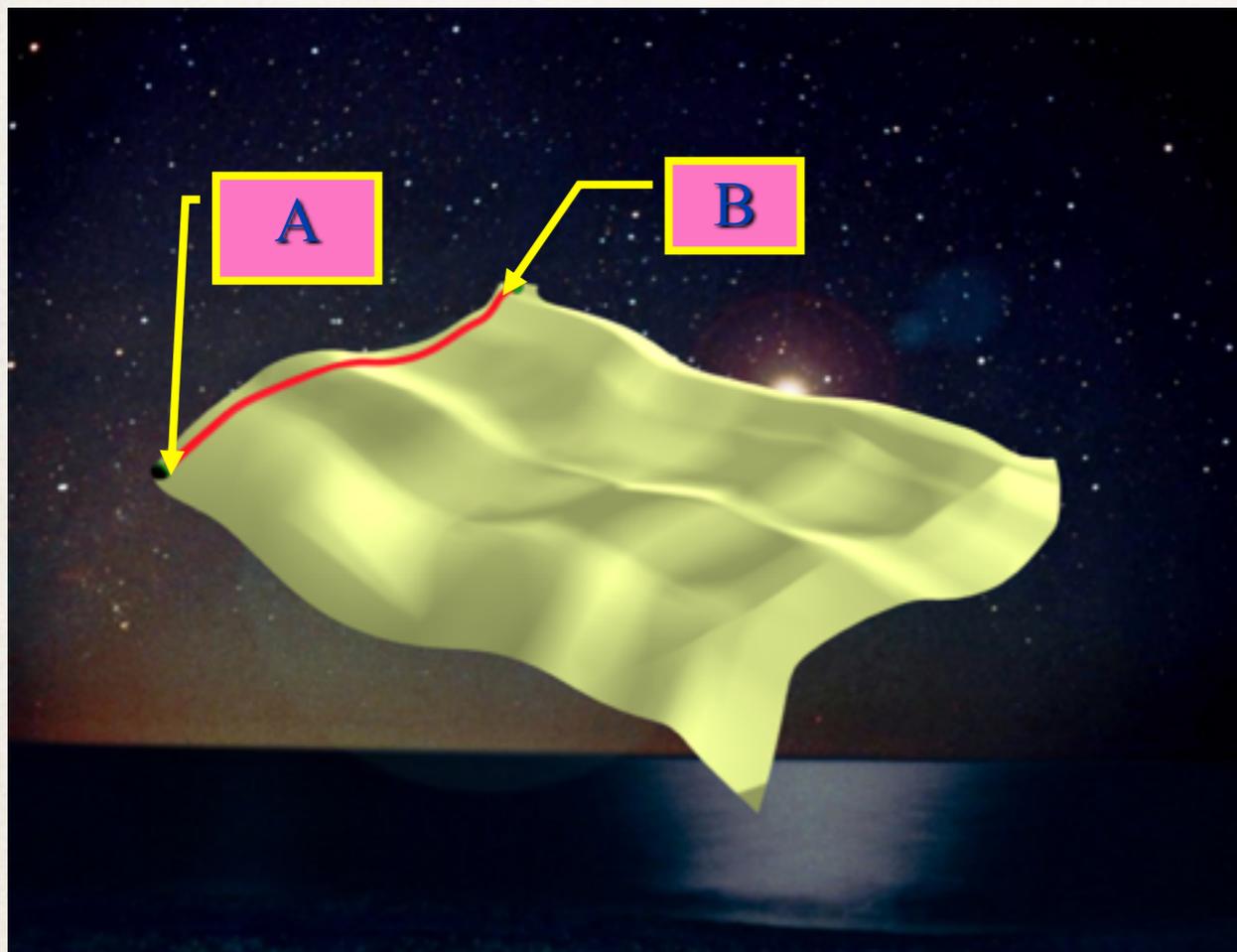
$$(X^0(\tau), X^1(\tau), \dots, X^{D-1}(\tau))$$



$$(X^0(\sigma, \tau), X^1(\sigma, \tau), \dots, X^{D-1}(\sigma, \tau))$$

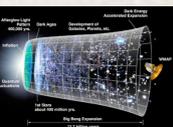


La stringhe si muovono nello spazio tempo e tracciano un World Sheet.



Una stringa aperta ha due estremi (A e B) e traccia un world sheet con bordi.

$$\begin{aligned} X^\mu &= X^\mu(\sigma, \tau) \\ X_A^\mu &= X^\mu(0, \tau) \\ X_B^\mu &= X^\mu(\pi, \tau) \end{aligned}$$



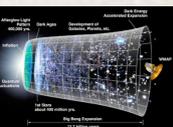
Il world sheet di una stringa chiusa ha la topologia di un cilindro



Una stringa chiusa è un laccio che si muove nello spazio-tempo

$$X^\mu = X^\mu(\sigma, \tau)$$
$$X^\mu(0, \tau) = X^\mu(2\pi, \tau)$$

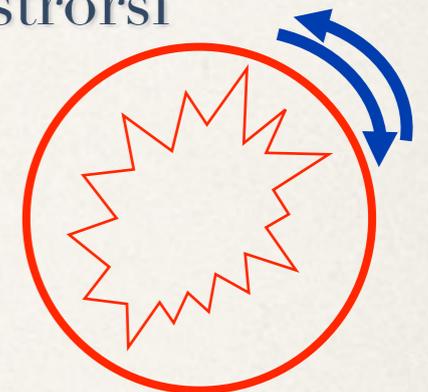
tracciando un tubo di mondo



Mentre si muove la stringa vibra anche.....



Le stringhe chiuse hanno modi di vibrazione indipendenti sinistrorsi e destrorsi

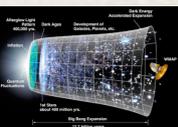


Le stringhe aperte hanno un solo tipo di modi (l'onda è riflessa agli estremi)

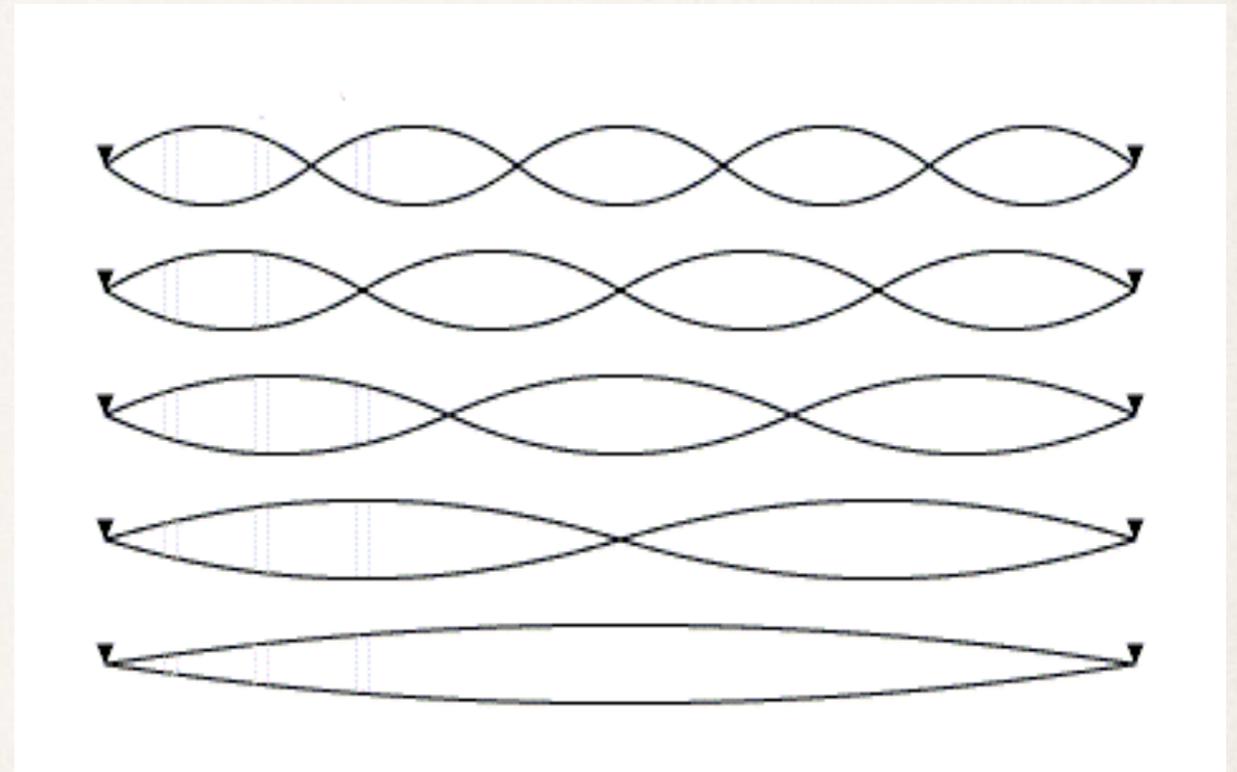


Ma in ogni caso entrambe vibrano!!

Stringhe, buchi neri e gravità quantistica

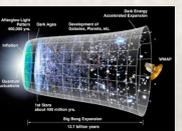


i modi della stringa rappresentano eccitazioni di diversi
``toni fondamentali''

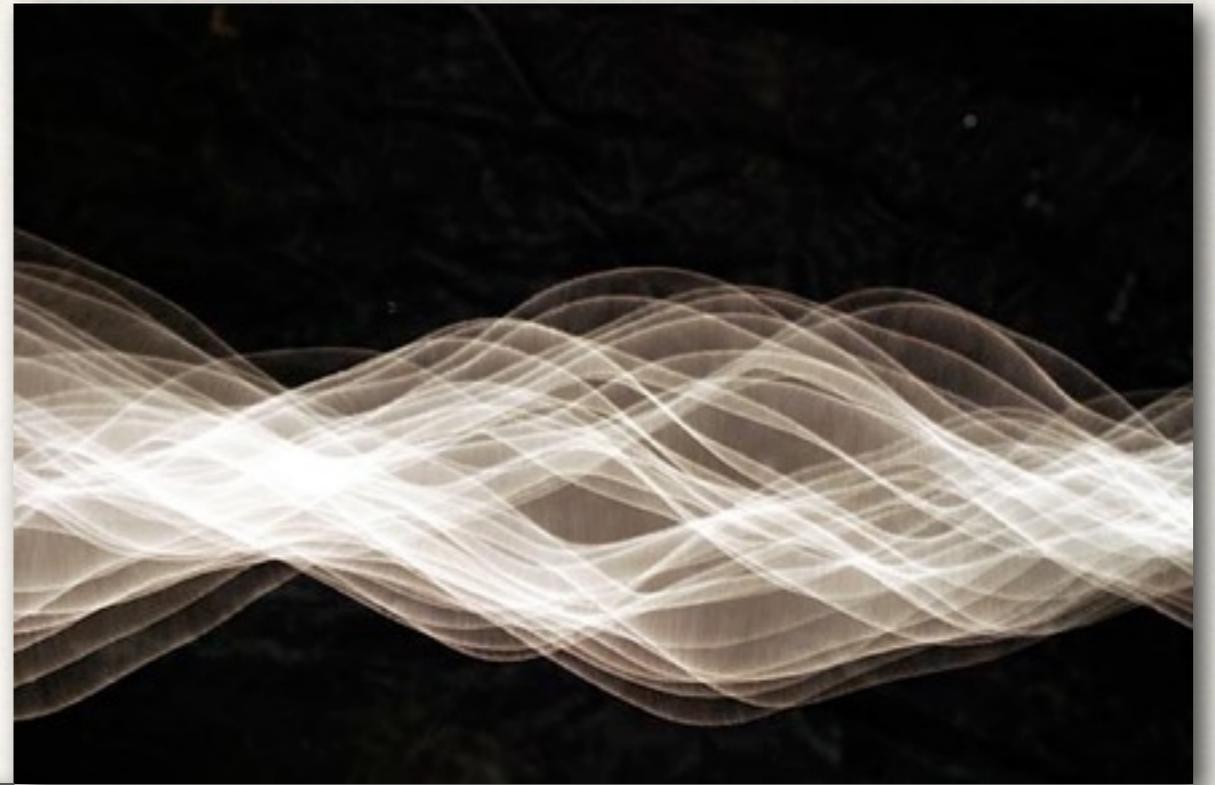


Ogni tono rappresenta un tipo di
particella

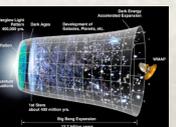
Una eccitazione si comporta come il gravitone!



Le particelle che osserviamo
in natura (*materia e interazioni*)
corrispondono a differenti
armoniche di una corda
vibrante!

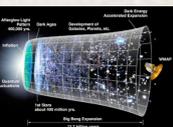
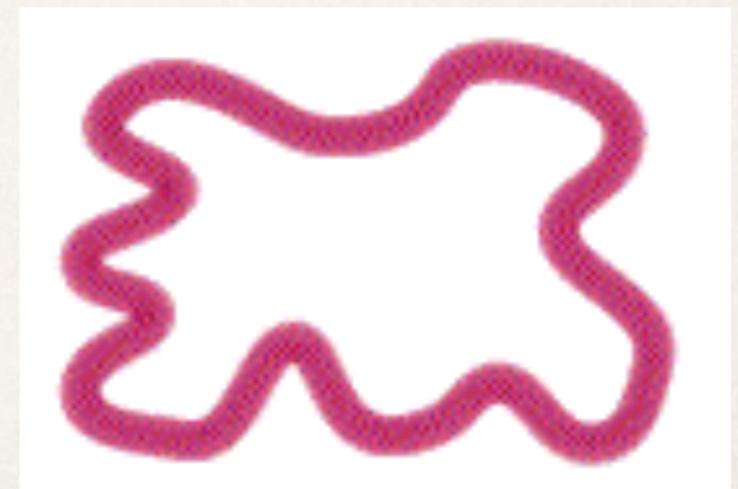
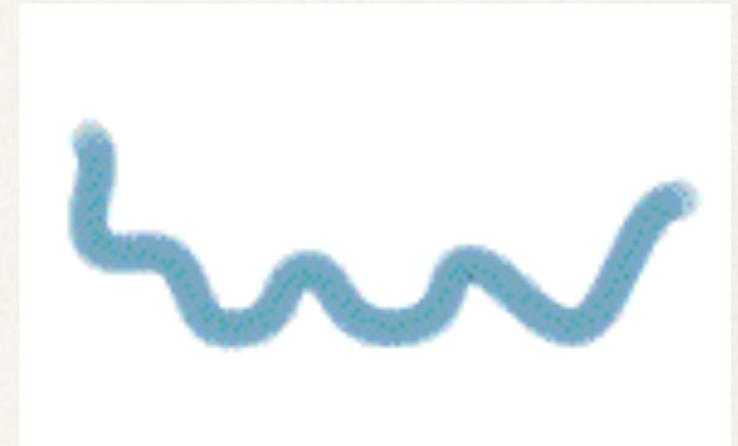


Le interazioni delle stringhe
sono descritte in termini
di superfici con buchi e
manici (*superfici di Riemann*)

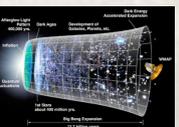
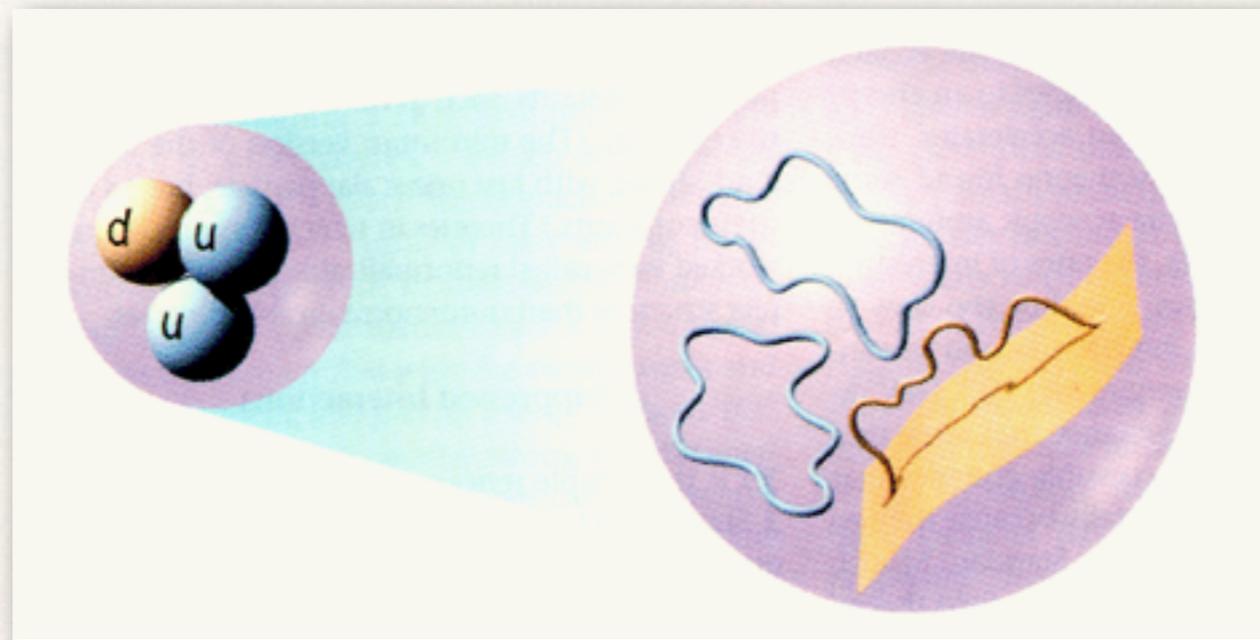


Tra le varie “note” emesse dalla stringa ci sono:

- le particelle del modello standard
- gravitone (mediatore della gravità)

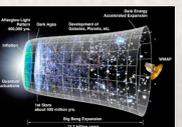


La Teoria delle Stringhe permette di controllare le fluttuazioni gravitazionali su piccola scala e riconciliare la **Relatività Generale** di Einstein con la **Meccanica Quantistica**



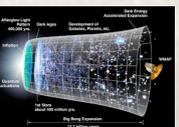
Da questa semplice idea di base:

1. Si riesce a trovare una teoria quantistica della gravità:
 - a) Buchi Neri e loro termodinamica
 - b) Problemi Cosmologici
2. Si prevede l'esistenza della supersimmetria per consistenza interna
3. **Materia Oscura!**
4. Si prevede il numero di dimensioni dello spazio-tempo: 10
5. A basse energie si riproduce la fisica delle interazioni fondamentali a noi nota (**purché si compattifichino le 6 extra-dimensioni**)
6. Si prevede l'esistenza delle D-brane: D-brane democracy
7. Si riesce a descrivere il comportamento del Plasma di Quark e Gluoni

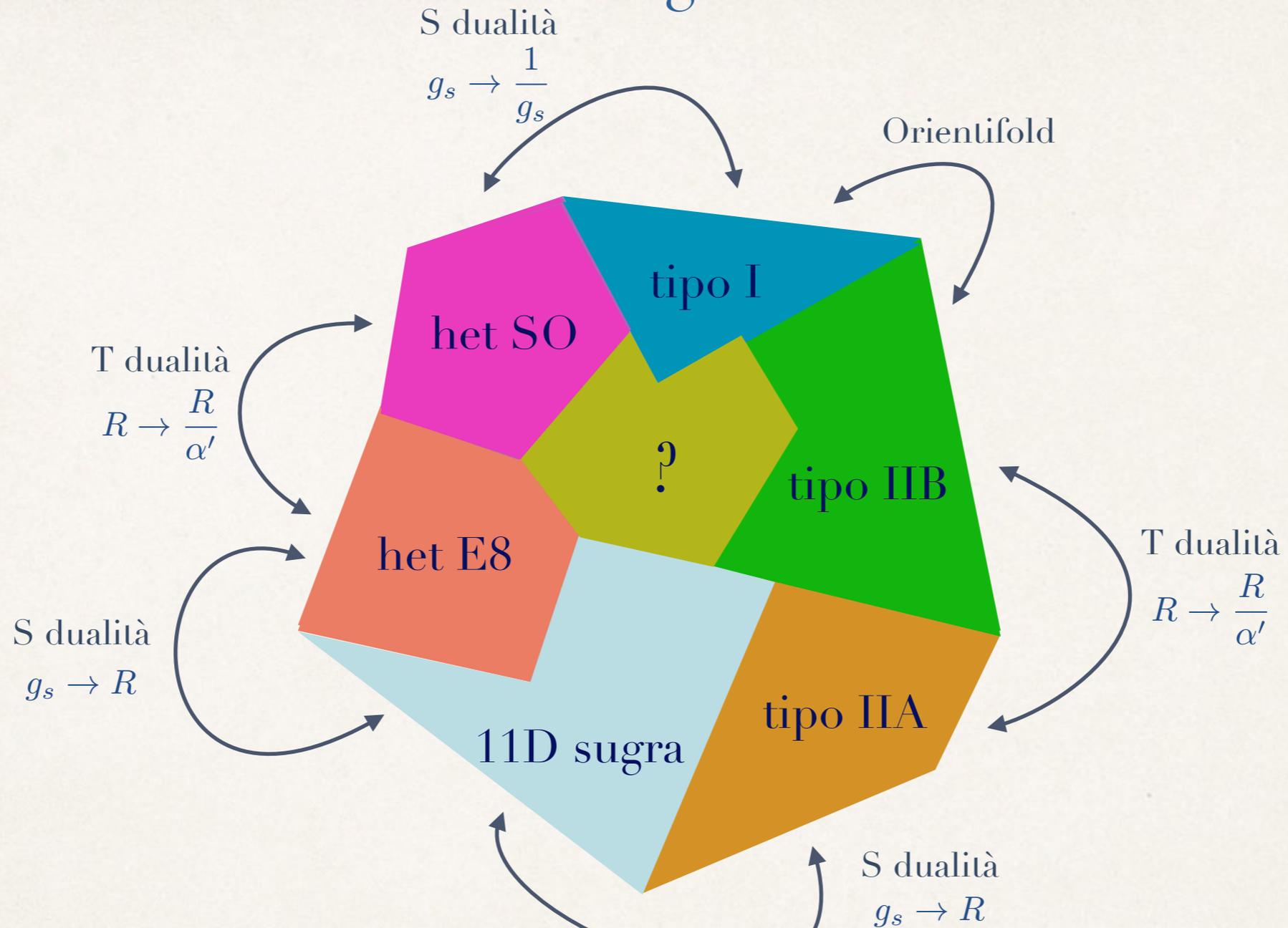


Tra i primi anni '70 fino a metà degli anni '80
abbiamo assistito a sviluppi importanti nella
teoria delle stringhe

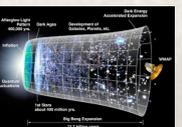
- *Quantizzazione della gravità e unificazione di forze e materia;*
- *Le interazioni di gauge sono determinate dalla consistenza matematica della teoria (cancellazione di anomalie);*
- *Lo spazio-tempo è in realtà 10-dimensionale;*
- *Esistono 5 teorie di stringhe apparentemente differenti;*
-



Dualità di Stringhe e Teoria M



La Teoria delle Stringhe non è una teoria di **sol**i oggetti unidimensionali (corde), ma include anche **oggetti estesi** (membrane, p -brane)!

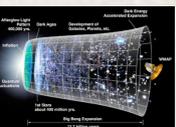
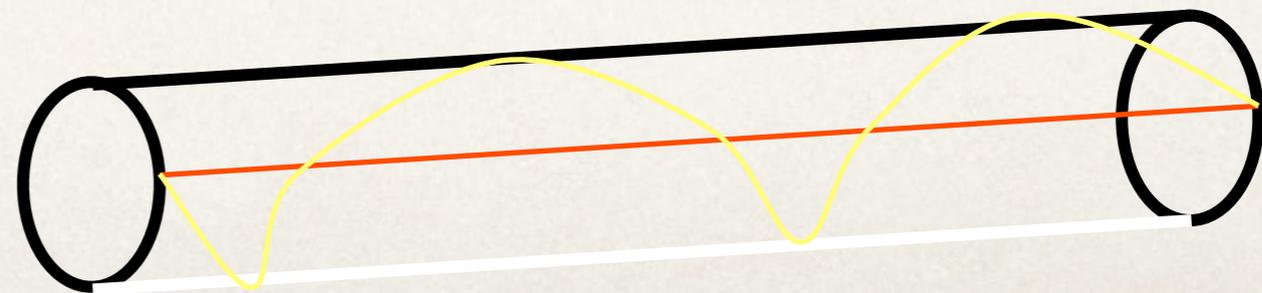
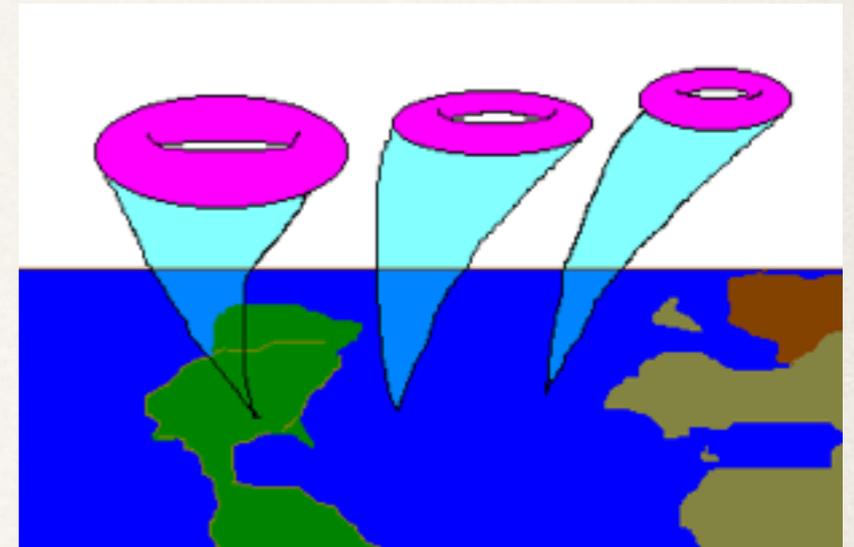


Ma l' universo ha 4 dimensioni!

COMPATTIFICAZIONE

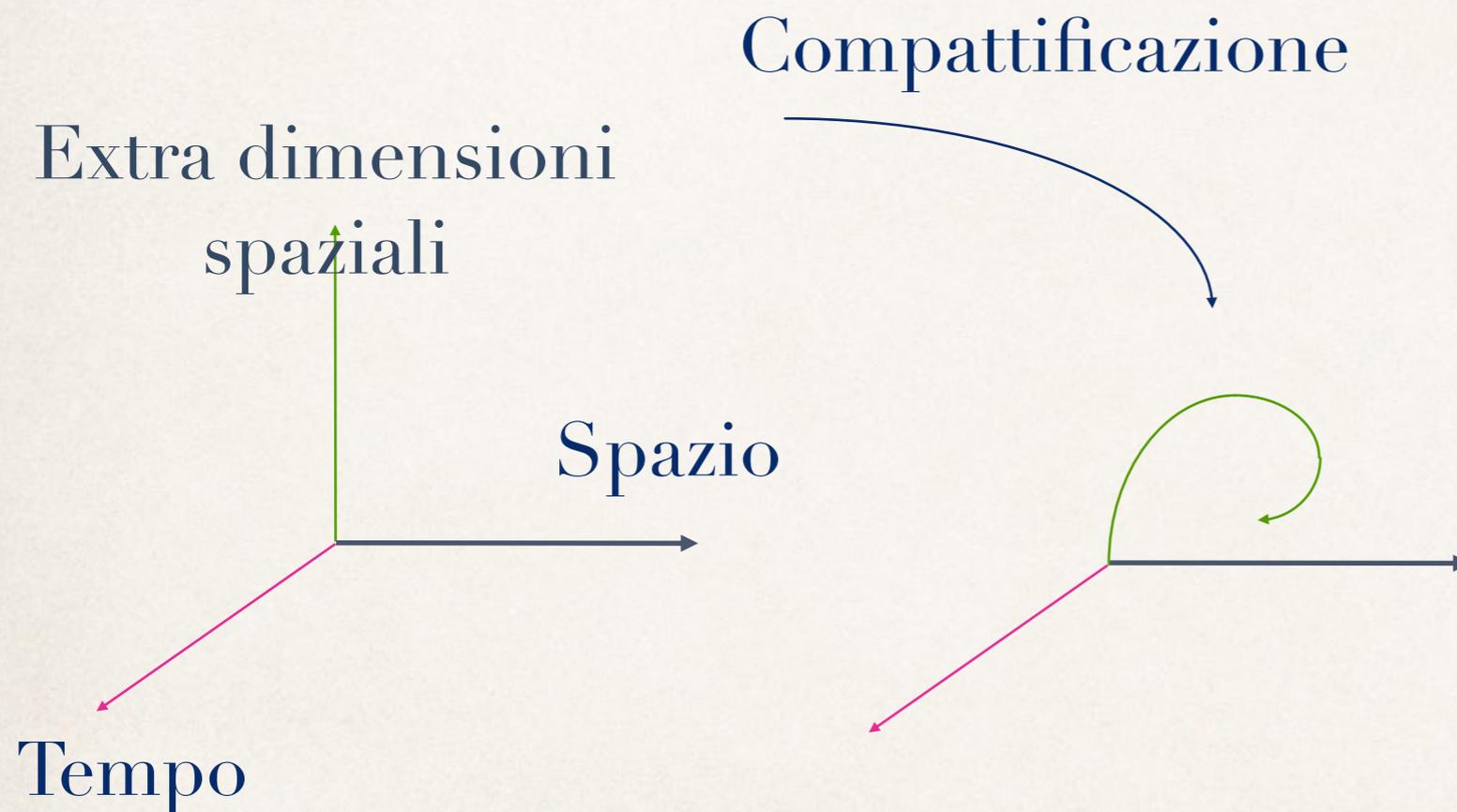
$$10 \Rightarrow 4$$

se 6 dimensioni sono
“piccole” ed arrotolate



Un'idea antica: Kaluza-Klein

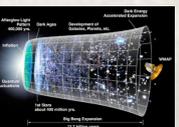
Per interpretare fisicamente una teoria in dimensioni spazio
temporali >4 la si compattifica:



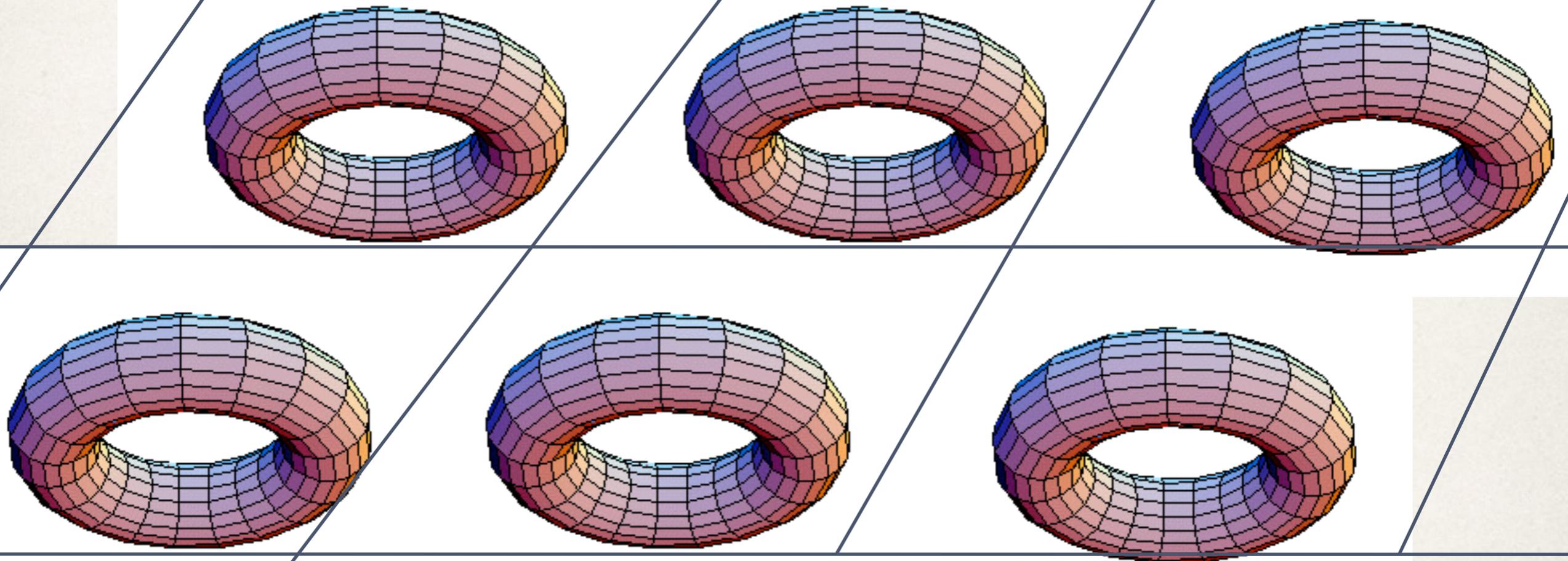
Le n dimensioni spaziali che
eccedono le tre fisiche,
corrispondono a quelle di
una varietà compatta,
anzichè di

R^n

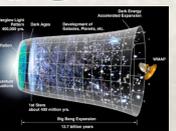
La geometria delle dimensioni compatte determina la proprietà delle
particelle elementari



Le dimensioni aggiuntive sono compatte



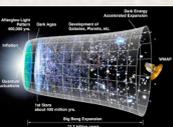
In questo esempio due dimensioni aggiuntive sono state arrotolate nella forma di una ciambella ovvero di un TORO



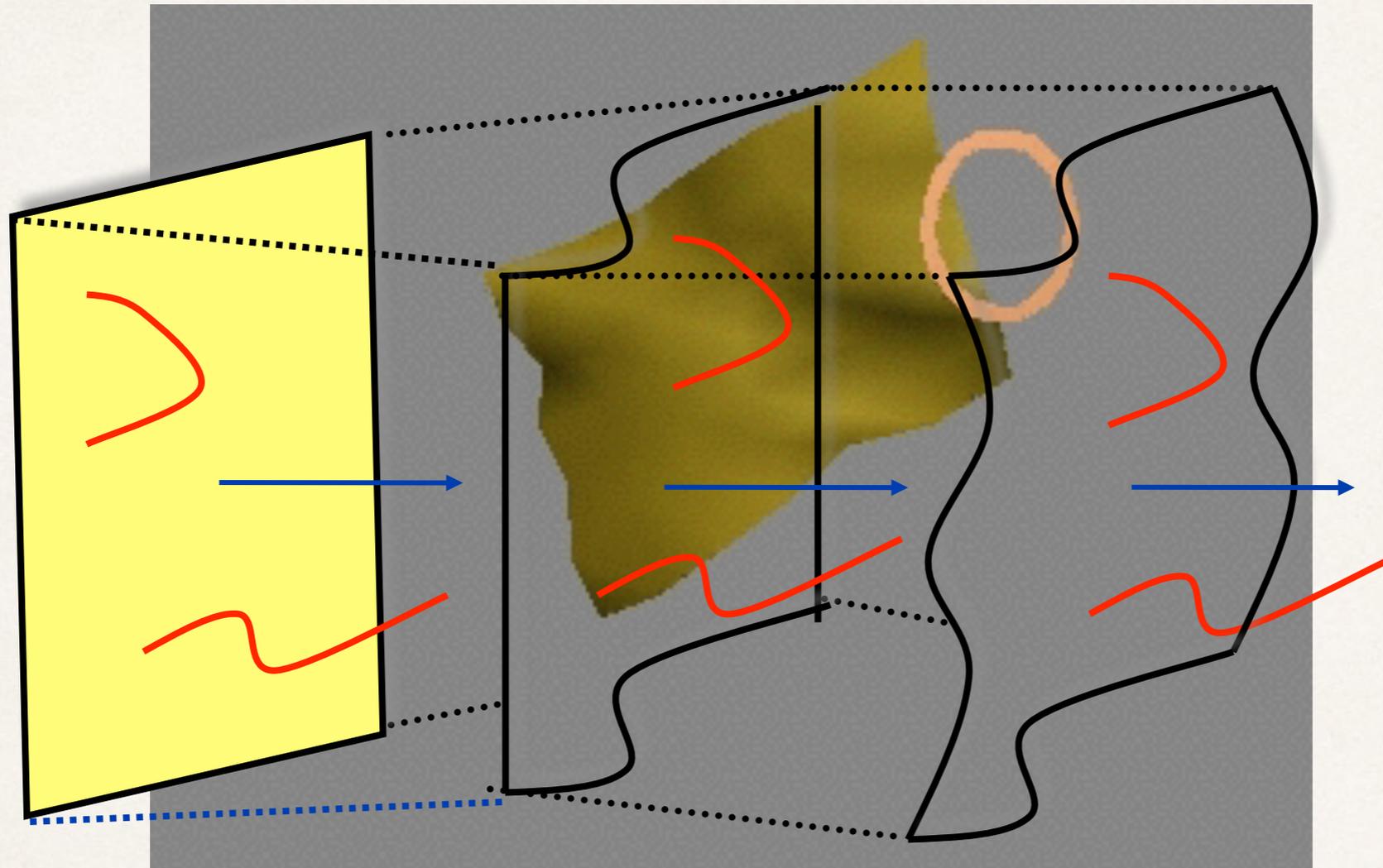
La consistenza della teorie delle stringhe
richiede anche l'esistenza di oggetti estesi p -dimensionali
(1990-1995)



Una 2-brana evolve nel tempo e spazza una 3-
superficie

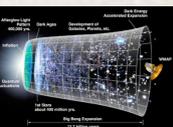


Le Dp brane

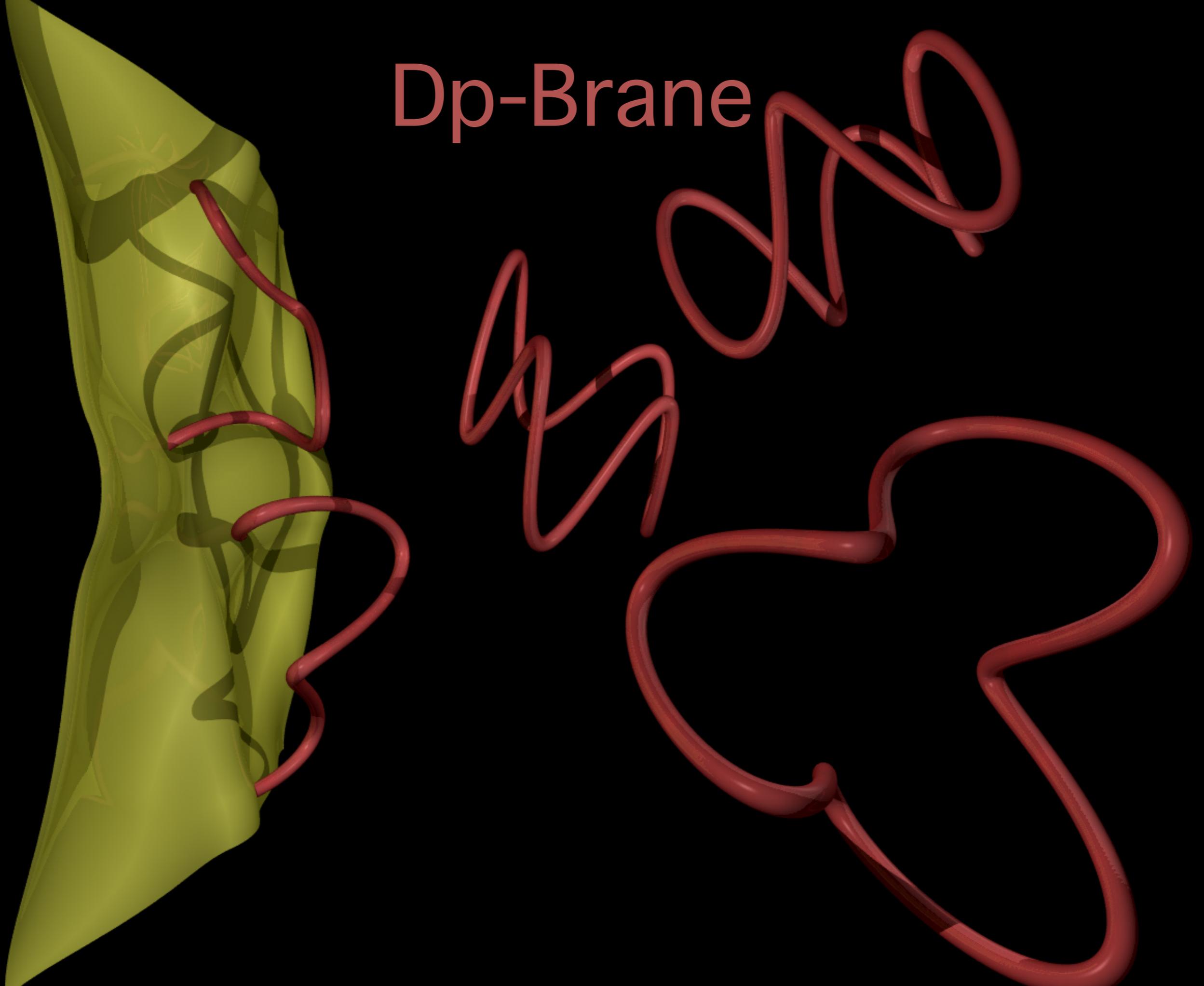


Le Dp brane
sono i luoghi
a cui si
attaccano gli
estremi delle
stringhe
aperte

**Alternativamente possiamo considerare le Dp brane
come bordi dello spazio tempo a 10 dimensioni che
assorbono (od emettono) stringhe chiuse**

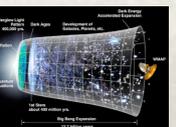


Dp-Brane



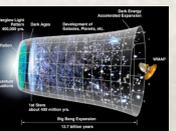
Termodinamica dei Buchi Neri e Olografia

Alternative al Modello Standard delle Interazioni Fondamentali



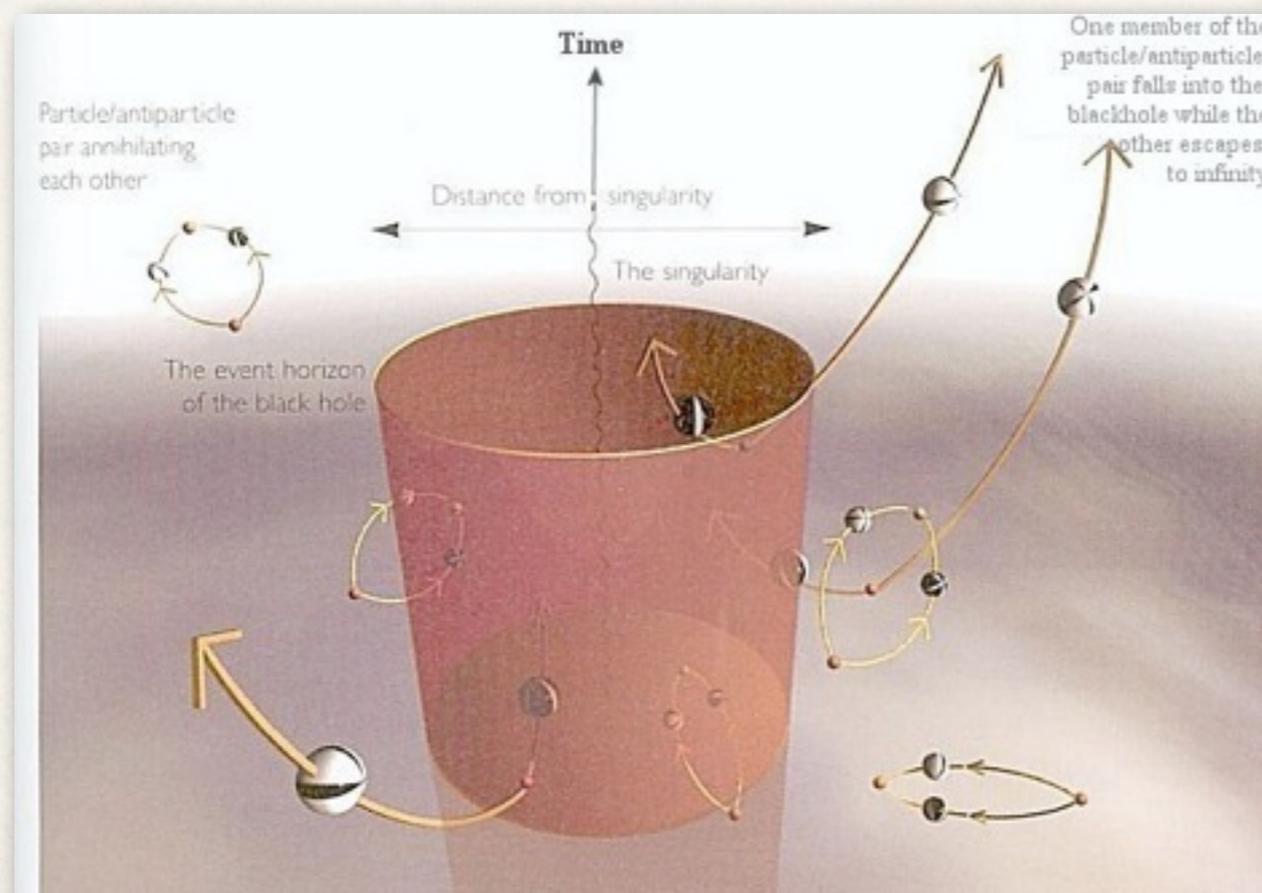
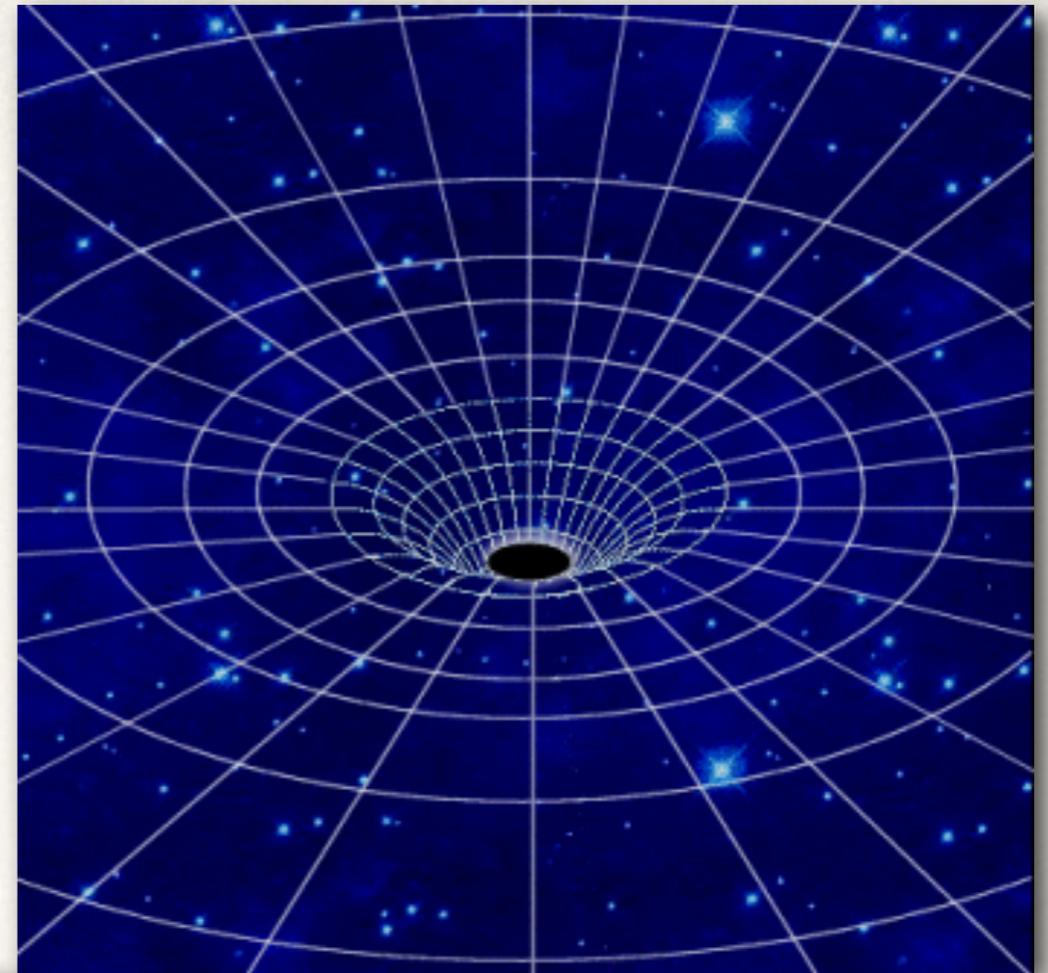
Termodinamica dei Buchi Neri e Olografia

Alternative al Modello Standard delle
Interazioni Fondamentali



Buchi Neri

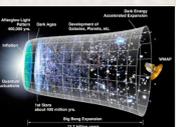
Un ambiente naturale per mettere alla prova la teoria delle stringhe in quanto in prossimità del buco nero gli effetti quantistici della gravità sono essenziali. Infatti ...



*... i buchi neri non sono poi così neri, ed emettono la **radiazione di Hawking**. Ad un osservatore distante essi appaiono come un corpo nero con temperatura*

$$T = \frac{1}{8\pi M G_N}$$

Stringhe, buchi neri e gravità quantistica



Pertanto, un buco nero ha un'entropia.

Macroscopicamente è data dalla formula di Bekenstein-Hawking

$$S_{BH} = \frac{k_B c^3}{4 \hbar G_N} A_{\text{orizzonte}}$$

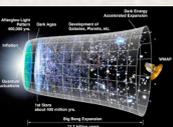
area dell'orizzonte degli eventi

Qual è il vero significato dell'entropia del buco nero?

In un sistema fisico, l'entropia è legata alla struttura microscopica del sistema stesso.

$$S = k_B \log \Omega$$

numero di gradi di libertà microscopici del sistema



Pertanto, un buco nero ha un'entropia.

Macroscopicamente è data dalla formula di Bekenstein-Hawking

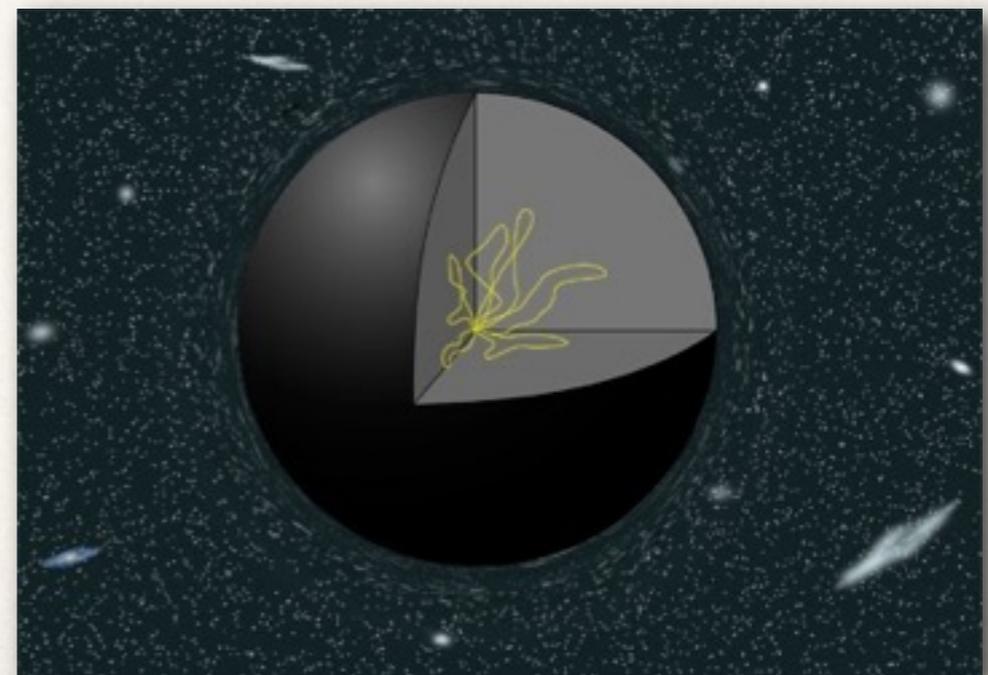
$$S_{BH} = \frac{k_B c^3}{4 \hbar G_N} A_{\text{orizzonte}}$$

area dell'orizzonte degli eventi

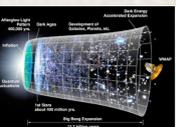
Quali sono i gradi di libertà microscopici associati ad un buco nero?

$$S = k_B \log \Omega$$

numero di gradi di libertà microscopici del sistema



Stringhe, buchi neri e gravità quantistica



Pertanto, un buco nero ha un'entropia.

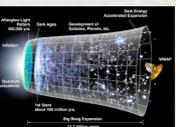
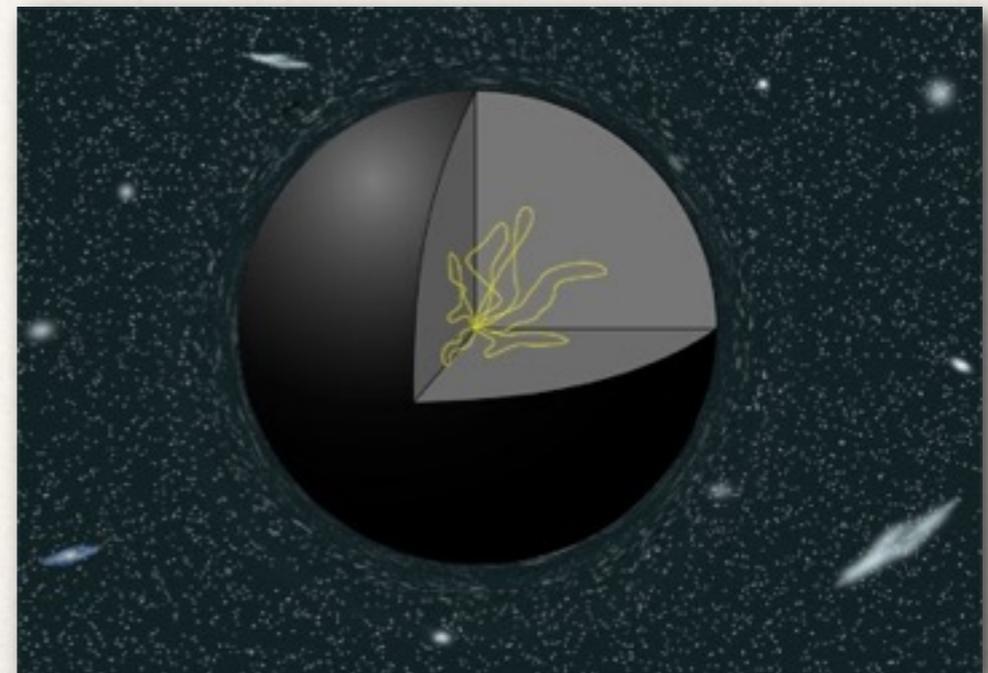
Macroscopicamente è data dalla formula di Bekenstein-Hawking

$$S_{BH} = \frac{k_B c^3}{4 \hbar G_N} A_{\text{orizzonte}}$$

area dell'orizzonte degli eventi

A livello microscopico un buco nero è costituito da opportune configurazioni di p -brane, le cui eccitazioni sono rappresentate da stringhe!

Il conteggio dei modi in cui le stringhe possono vibrare riproduce l'entropia di Bekenstein-Hawking!

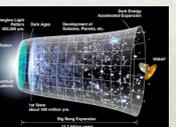
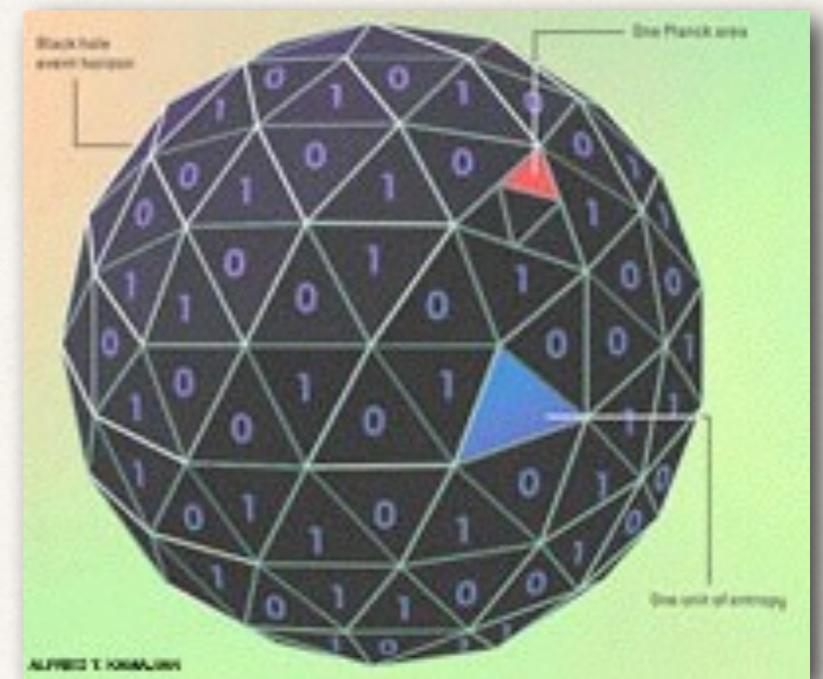


Tuttavia, per un sistema fisico racchiuso in un volume V ci si aspetta che l'entropia sia proporzionale a V .

Cosa ci sta dicendo allora la formula di Bekenstein-Hawking?

$$S_{BH} = \frac{k_B c^3}{4 \hbar G_N} A_{\text{orizzonte}}$$

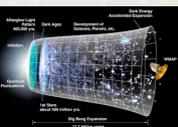
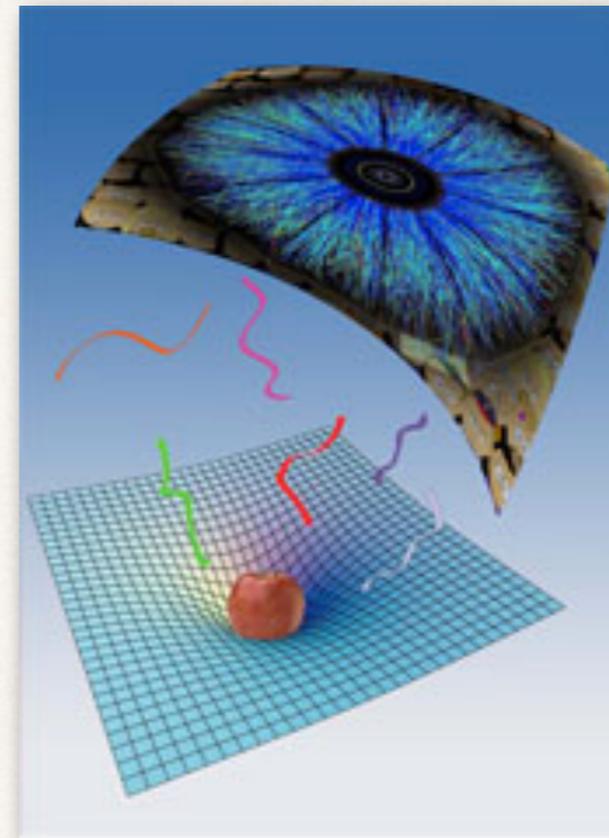
I gradi di libertà di un buco nero vivono sulla superficie dell'orizzonte degli eventi!



Tuttavia, per un sistema fisico racchiuso in un volume V ci si aspetta che l'entropia sia proporzionale a V .

Cosa ci sta dicendo allora la formula di Bekenstein-Hawking?

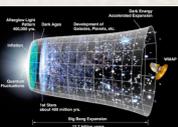
L'orizzonte degli eventi è un ologramma del buco nero!



Il mondo come un ologramma

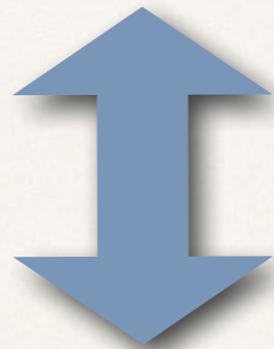


Stringhe, buchi neri e gravità quantistica

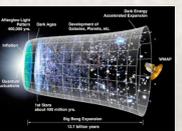


Il mondo come un ologramma

Gravità in uno spazio con
 $D+1$ dimensioni



Interazioni di gauge
in D dimensioni

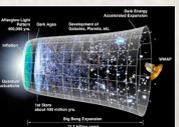


Il mondo come un ologramma (corrispondenza AdS/CFT)

**Lo spazio è un'illusione?
La gravità è un'illusione?**

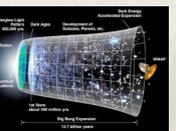
Una forza che non è presente nello spazio D-dimensionale si materializza insieme ad una dimensione extra!

*Esattamente come in un ologramma!
Un oggetto piatto visto sotto un'opportuna
angolazione rivela una terza dimensione!*

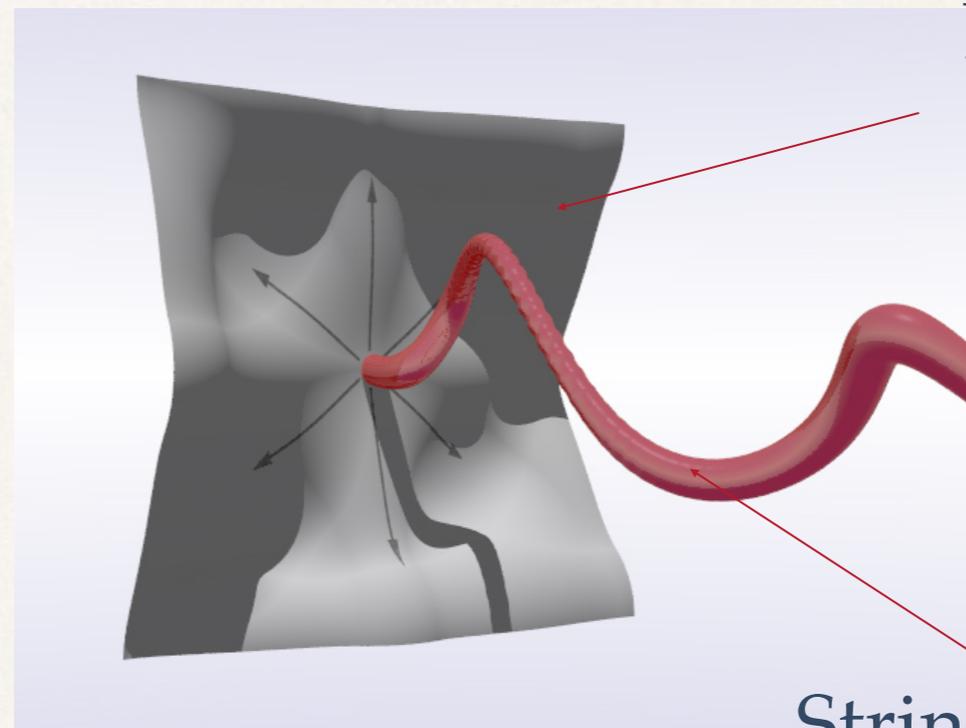
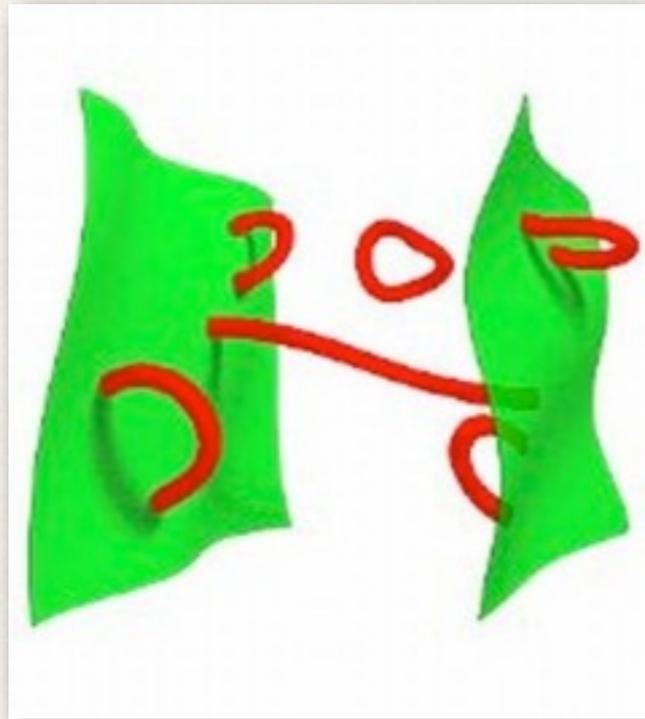


Termodinamica dei Buchi Neri e Olografia

Alternative al Modello Standard delle
Interazioni Fondamentali



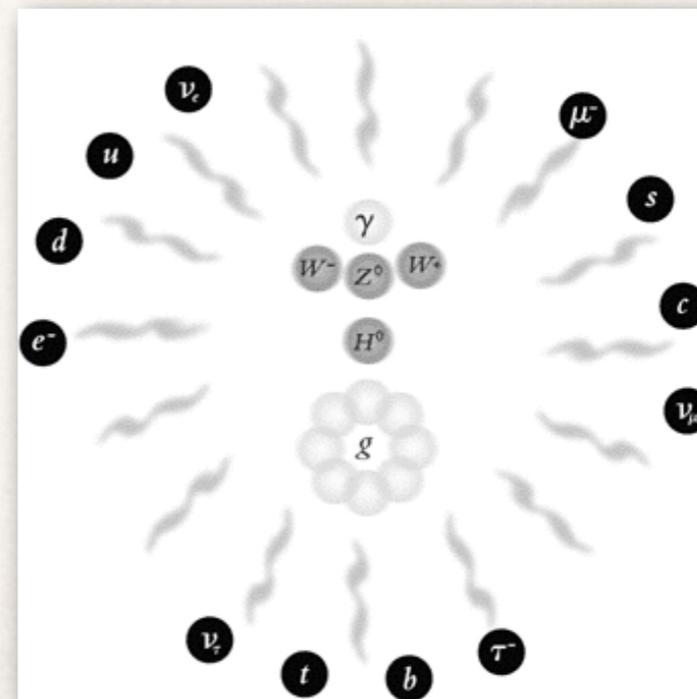
Possiamo riprodurre il Modello Standard delle Interazioni Fondamentali?



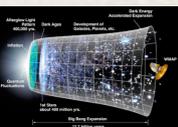
D-brana

Stringa aperta

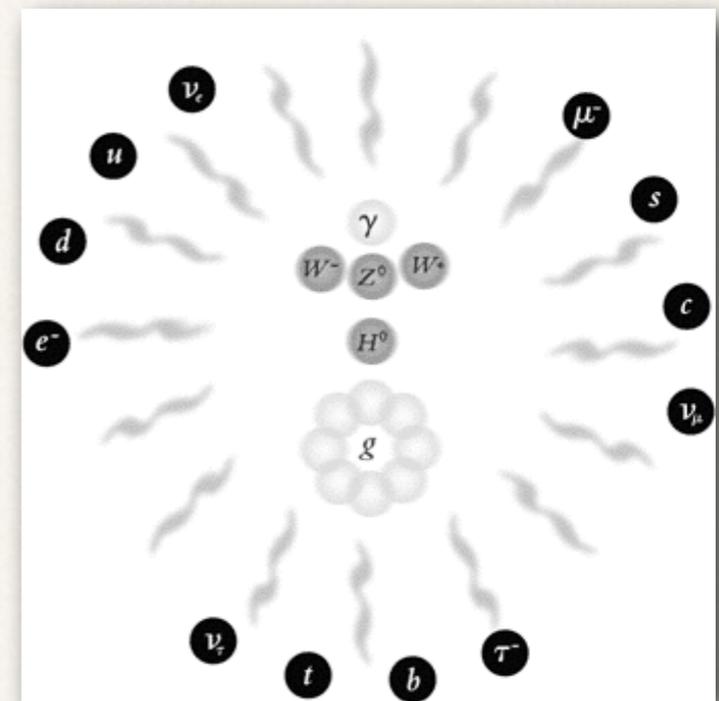
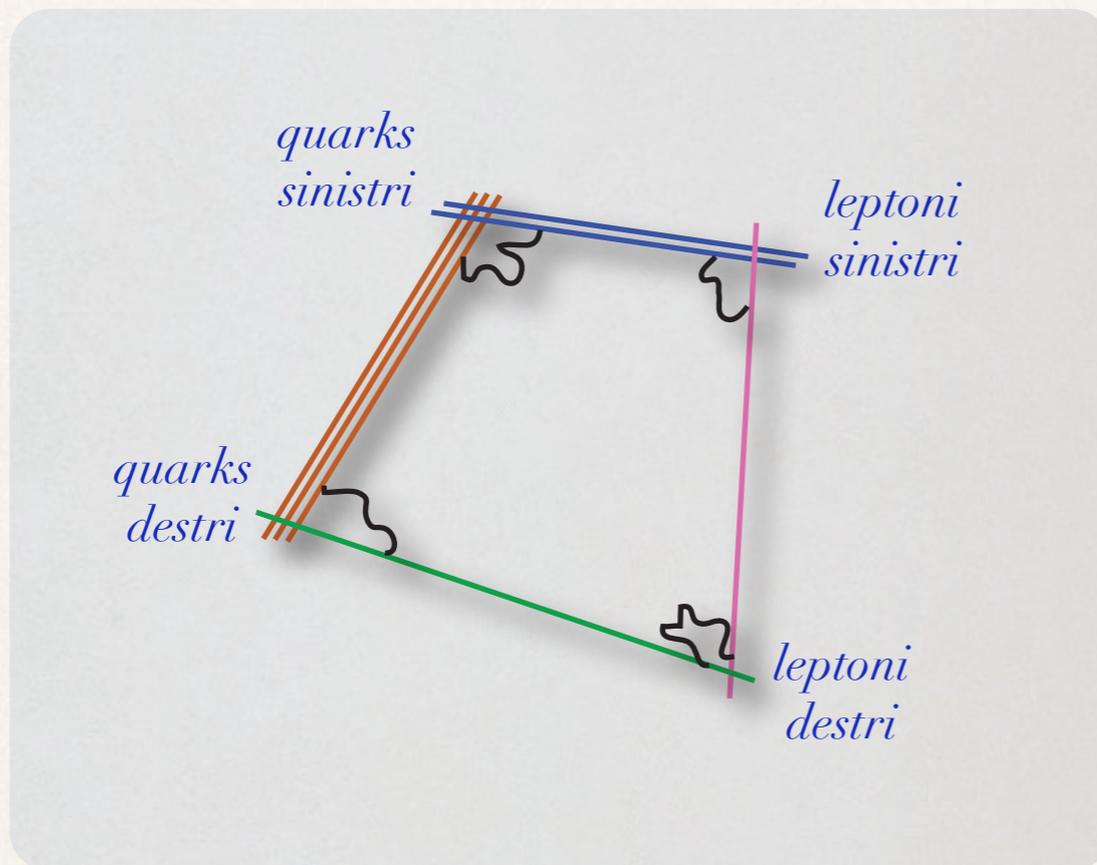
Le eccitazioni delle D-brane sono stringhe aperte



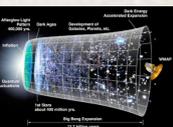
Stringhe, buchi neri e gravità quantistica



Possiamo riprodurre il Modello Standard delle Interazioni Fondamentali?



(altre configurazioni di stringhe chiuse per riprodurre il Modello Standard)



Oltre il Modello Standard?

1

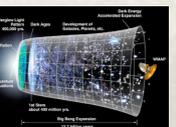
Supersimmetria

2

Dimensioni extra e effetti di stringa

3

Brane Worlds



Oltre il Modello Standard?

1

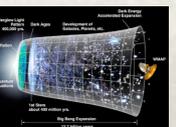
Supersimmetria

2

Dimensioni extra e effetti di stringa

3

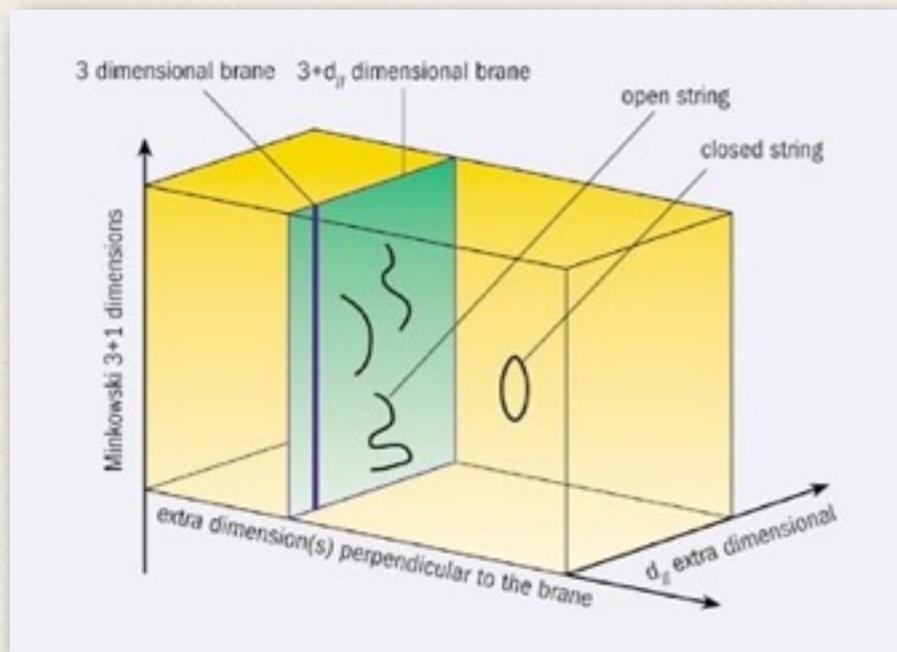
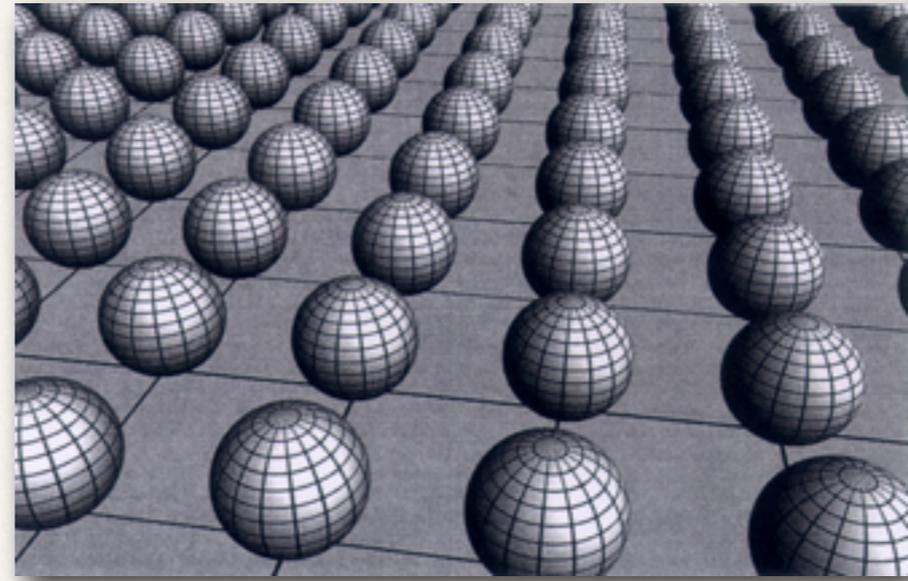
Brane Worlds



2

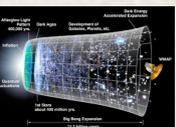
Dimensioni extra e effetti di stringa

Le stringhe sono definite in $D=10$.
Dove sono le altre dimensioni?
Quanto sono estese?



$$\mathcal{S} = \int d^{10}x \frac{\sqrt{G}}{g_s^2 \ell_s^8} R + \int d^{p+1}x \frac{\sqrt{g}}{g_s \ell_s^{p-3}} F^2$$

$$\mathcal{S} = \int d^4x \sqrt{g} \left[\frac{V_{\parallel} V_{\perp}}{g_s^2 \ell_s^8} R + \frac{V_{\parallel}}{g_s \ell_s^{p-3}} F^2 \right]$$



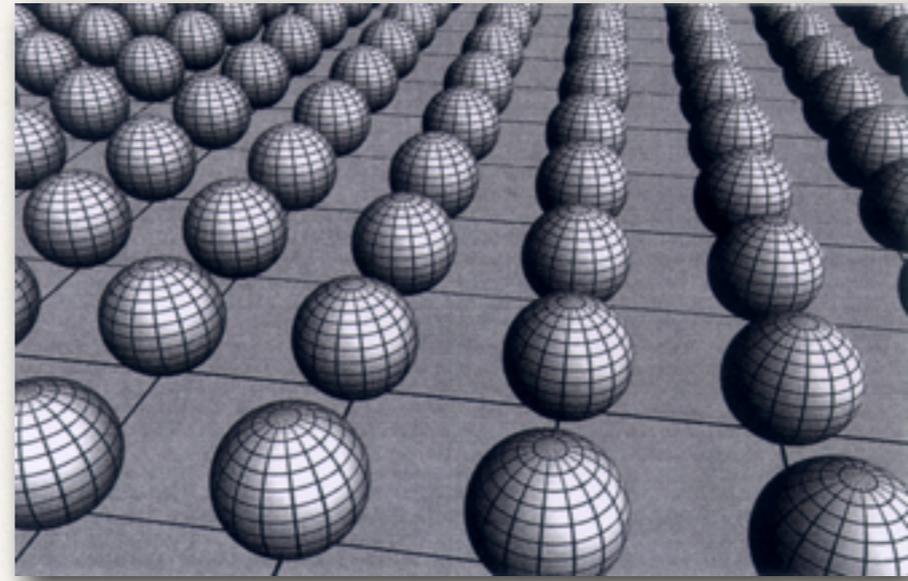
2

Dimensioni extra e effetti di stringa

Le superstringhe
sono definite in
 $D=10$.

Dove sono le altre
dimensioni?

Quanto sono estese?



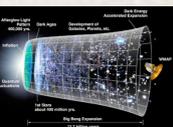
$$\ell_{\text{Pl}}^2 \sim \frac{g_s^2 \ell_s^8}{V_{\parallel} V_{\perp}}, \quad g_{\text{YM}}^2 \sim \frac{g_s \ell_s^{p-3}}{V_{\parallel}}$$

$$\ell_{\text{Pl}}^2 \sim \frac{\ell_s^{11-p}}{V_{\perp}} \quad R_{\perp} \sim 1 \text{ mm}$$

$$\ell_s^{-1} \sim 1 \text{ TeV}$$

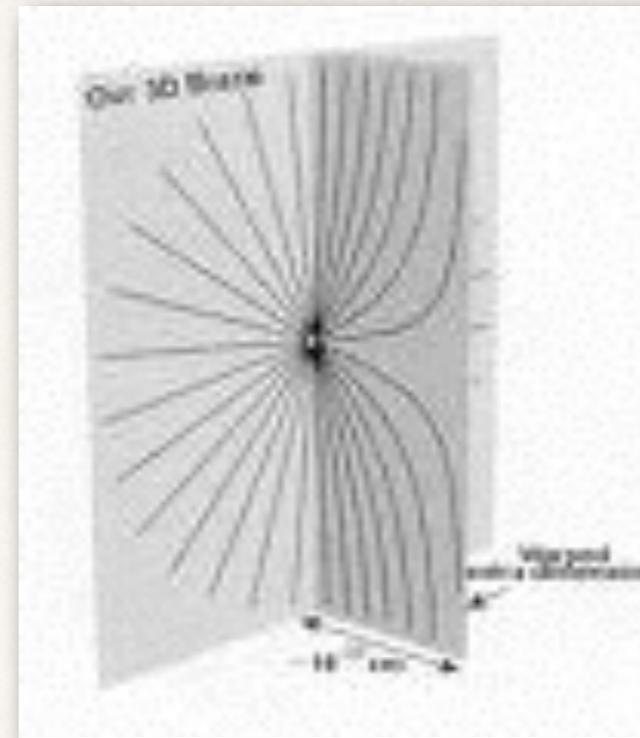
$$\mathcal{S} = \int d^{10}x \frac{\sqrt{G}}{g_s^2 \ell_s^8} R + \int d^{p+1}x \frac{\sqrt{g}}{g_s \ell_s^{p-3}} F^2$$

$$\mathcal{S} = \int d^4x \sqrt{g} \left[\frac{V_{\parallel} V_{\perp}}{g_s^2 \ell_s^8} R + \frac{V_{\parallel}}{g_s \ell_s^{p-3}} F^2 \right]$$

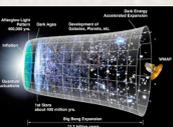


Una possibile soluzione al problema della gerarchia?

Perché la gravità è così debole rispetto alle altre interazioni?



La gravità in 4D **appare** così debole perché la maggior parte delle sue linee di forza **si perdono** nelle dimensioni extra!

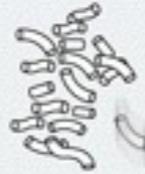


A Far-Out Theory Describing What's Out There

Physicists have long sought a unified theory to explain all the forces and matter in the universe. Superstring theory is an attempt at such a unification, and now "brane" theory expands on it, proposing that our universe is one of many membranes that "float" in a multidimensional megaverse.

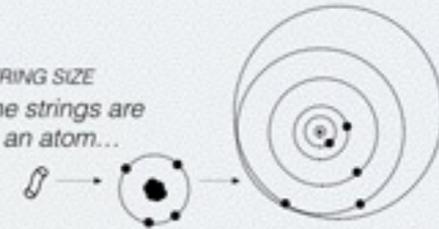
SUPERSTRING THEORY

At its most basic level, the universe consists of tiny loops of string that vibrate at different frequencies.



Since matter can be described in terms of energy, each frequency (energy) corresponds to a type of particle (matter) just as different frequencies coming from a violin's strings produce different notes.

STRING SIZE
The strings are to an atom...



...as an atom is to the solar system.

Brane Theory

It expands superstring theory to include vibrating membranes, or branes, which may have many dimensions.

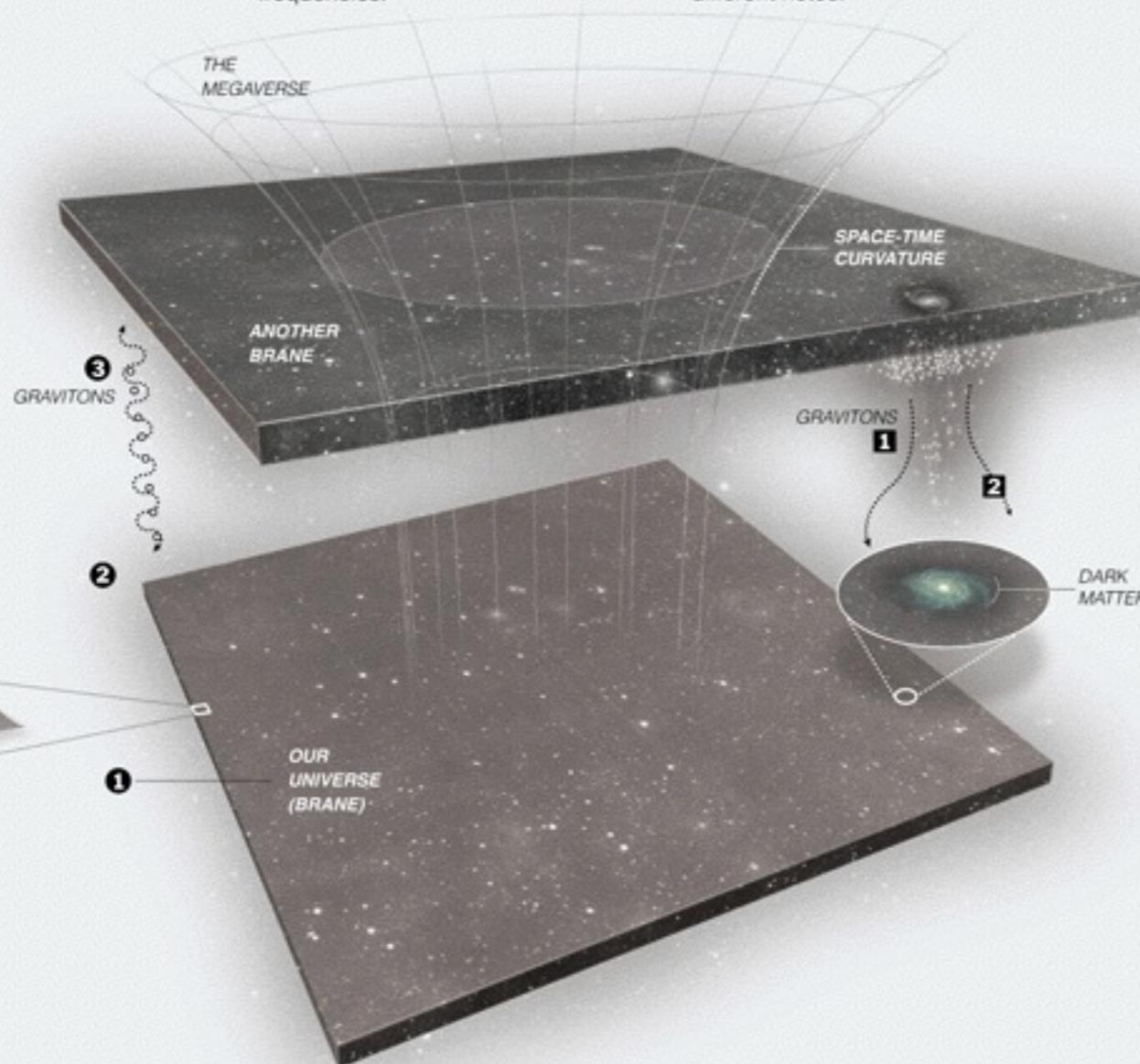
1 Our universe can be thought of as a three-dimensional brane floating inside a four-dimensional megaverse.

2 Most strings that compose our universe are attached to the brane's surface, and so most particles that exist on our brane are confined to its three-dimensional space.



3 However, the particles that convey gravity, gravitons, are not tightly confined to any particular brane, and some of them roam across to other branes in the megaverse.

Sources: "Q is for Quantum," by John Gribbin; "The Ideas of Particle Physics," by J.E. Dodd



BRANE THEORY AND GRAVITY

Gravity is described by relativity theory as curved space-time, and it is the weakest of the forces in our universe. Brane theory contains a possible explanation.

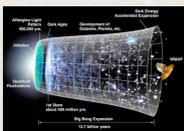
1 Gravitons, conveyors of gravity, may be concentrated on a different brane where the space-time of the megaverse is severely curved. Only a small number of gravitons make their way here, so gravity is felt as a weak force.

DARK MATTER

Cosmologists suggest that it makes up 90 percent of our universe. It neither emits or absorbs light, but it exerts gravity. According to brane theory, it may just be ordinary matter concentrated on other branes, and its light cannot shine through to this universe.

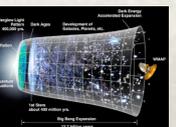
2 The light from dark matter, conveyed by particles called photons, would cling to the surface of the foreign brane, but gravitons might seep across the divide. Pulled by our galaxies' local gravitational force, the gravitons would cluster into halos around the galaxies.

Steve Dumas/The New York Times

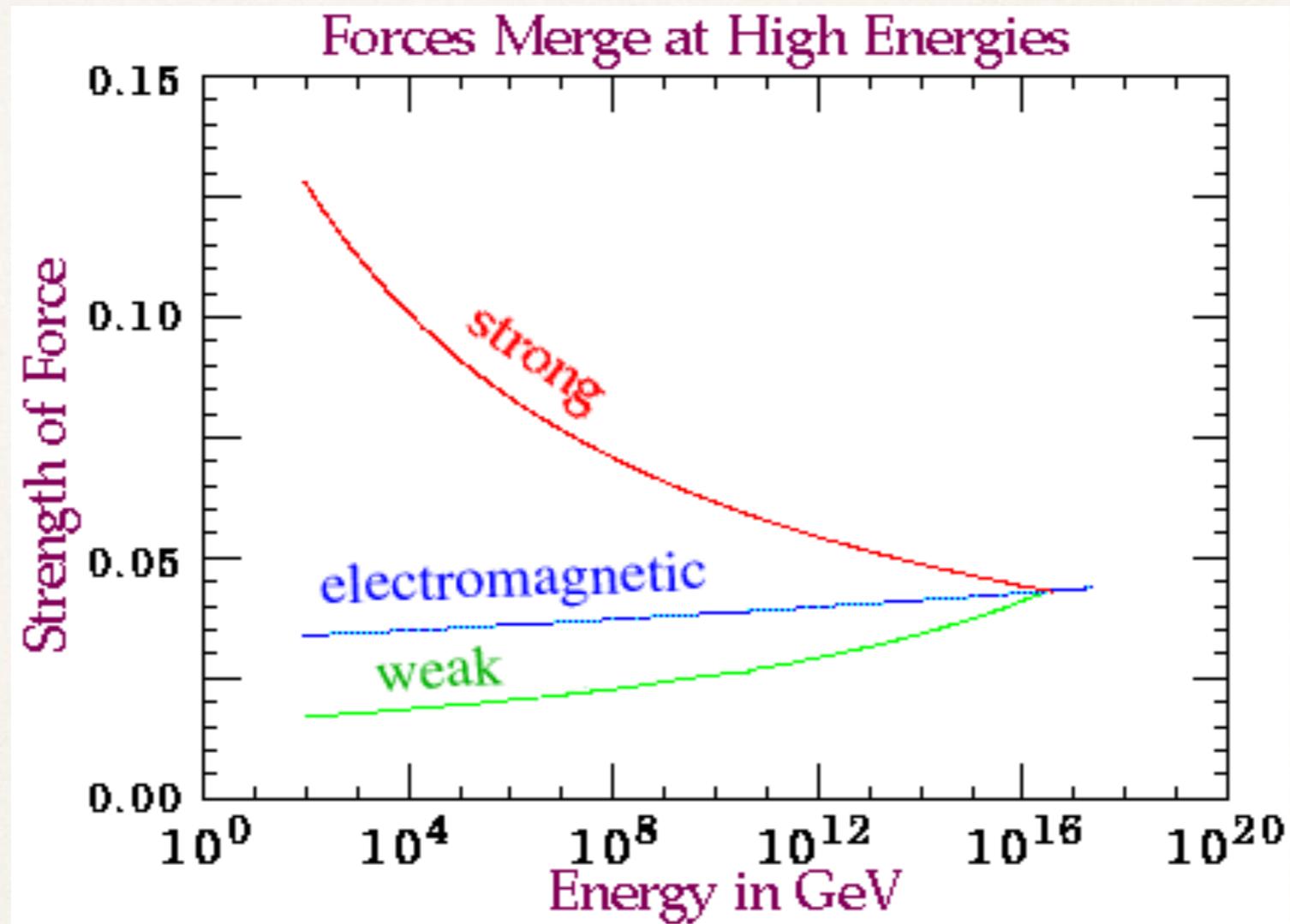


Grazie dell'attenzione!

gianluca.grignani@pg.infn.it

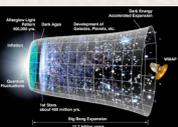


- Le interazioni fondamentali (tranne la gravità) sono descritte da teorie di campo quantistiche
- Queste forze a grandi scale di energia hanno la stessa intensità'



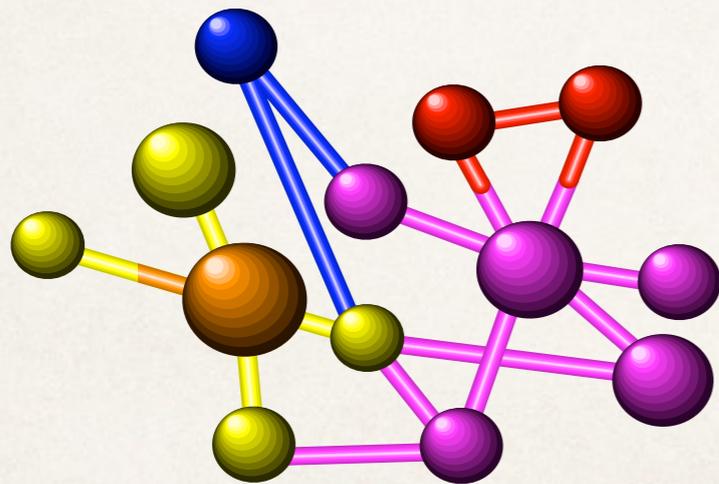
- La teoria delle stringhe e' l'unico approccio a noi noto per trattare quantisticamente la gravità'

Stringhe, buchi neri e gravità quantistica

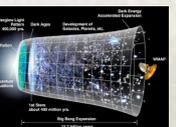


I mattoni sono particelle elementari caratterizzate da:

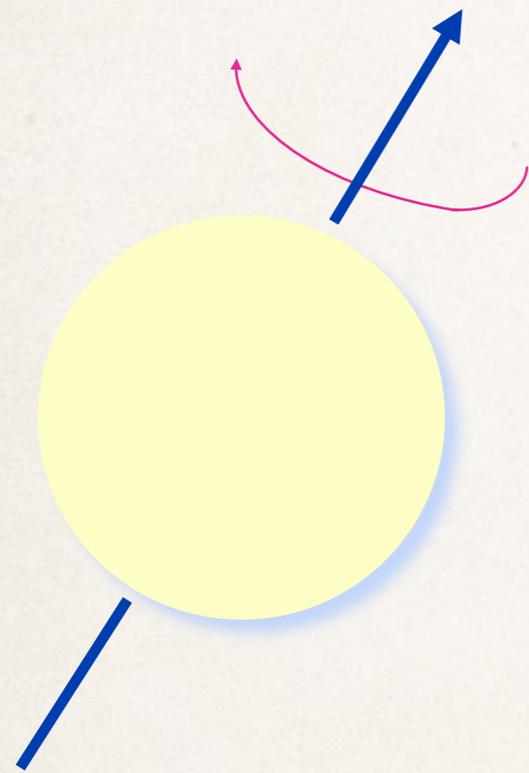
- Massa
- Spin
- Colore
- Sapore
- Numero di famiglia
- Quanto gravita
- Quanto ruota
- Come subisce le interazioni forti
- Come subisce le interazioni deboli
- Tutto si ripete tre volte



Le particelle appartengono a due grandi classi: i bosoni ed i fermioni



Fermioni e bosoni si differenziano per il tipo di spin

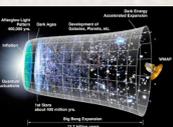


Lo spin é il momento angolare intrinseco delle particelle elementari

Valore dello spin = numero intero
← **BOSONE**

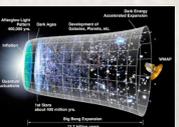
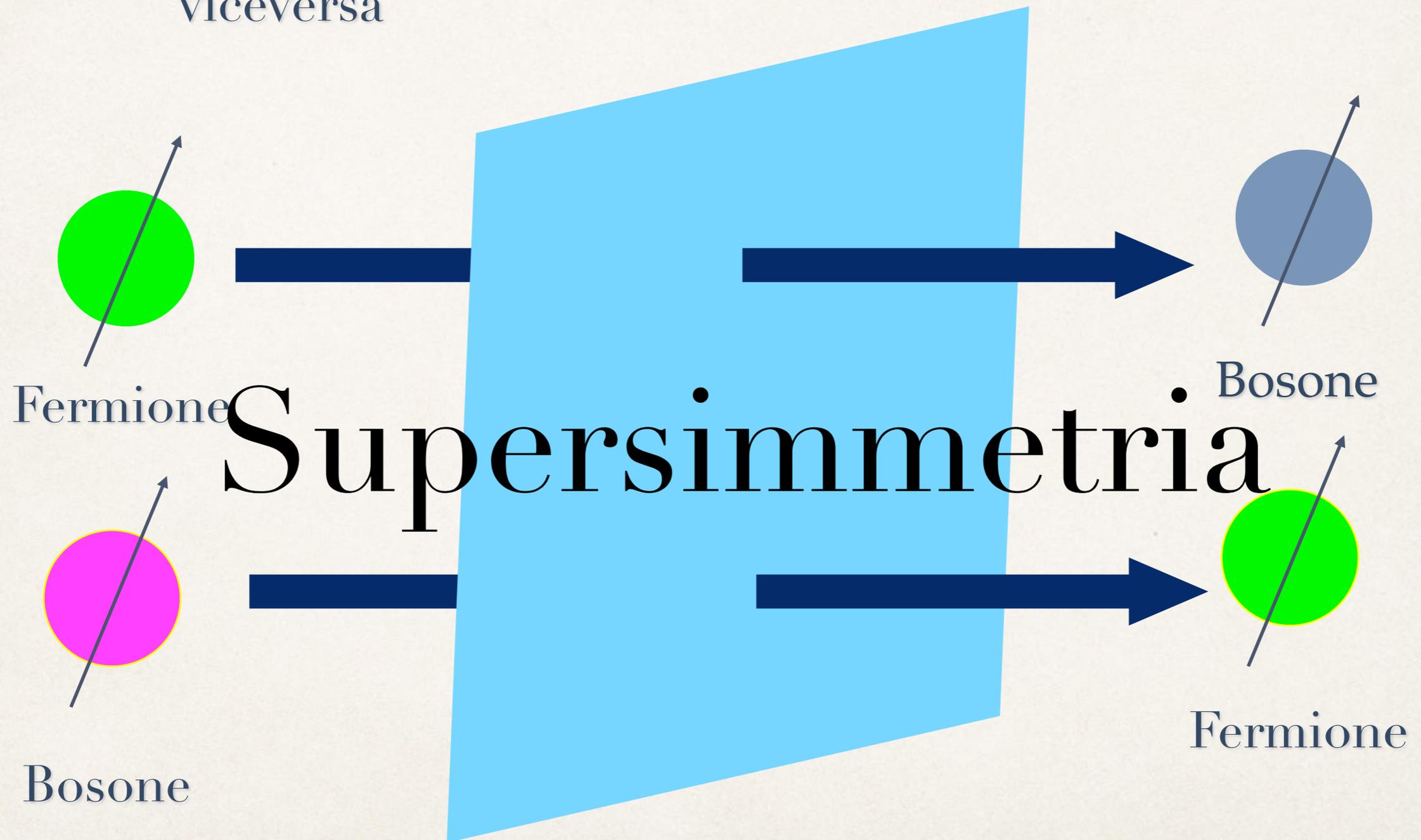
Valore dello spin = numero semi intero
← **FERMIONE**

I fermioni ubbidiscono alla statistica di Fermi Dirac e perciò al principio di esclusione di Pauli. I bosoni no!



La Supersimmetria

Trasforma i bosoni in fermioni e viceversa



I mattoni elementari del Modello Standard

I Fermioni sono i costituenti della materia:

I Bosoni sono i mediatori delle forze che “incollano” la materia

Leptoni $s=1/2$

Quarks $s=1/2$

Gravità

gravitone : $s=2$ $m=0$

elettrone

up

Interazioni forti

gluoni: $s=1$
 $m=0$

down

mu

strange

Interazioni elettro-deboli

fotone: $s=1$
 $m=0$

tau

charm

neutrini

bottom

top

W,Z: $s=1$, $m>0$

