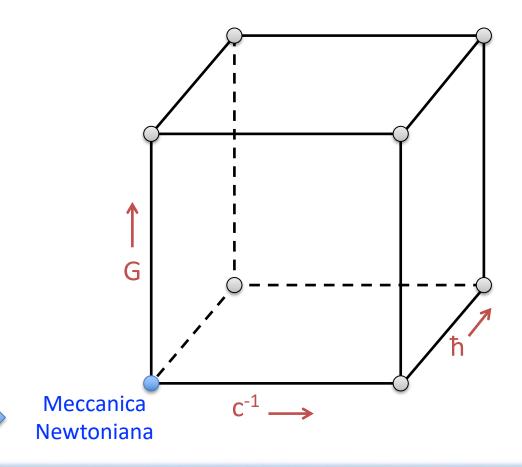
Elementi di Fisica Teorica Contemporanea

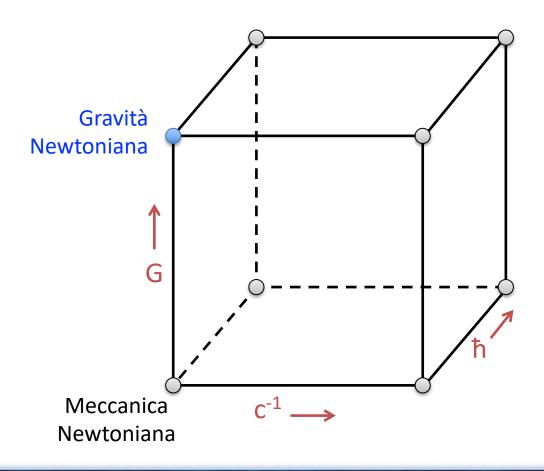
- 1. Teoria della Relatività
- 2. Meccanica quantistica
- 3. Particelle e campi
- 4. Gravità quantistica



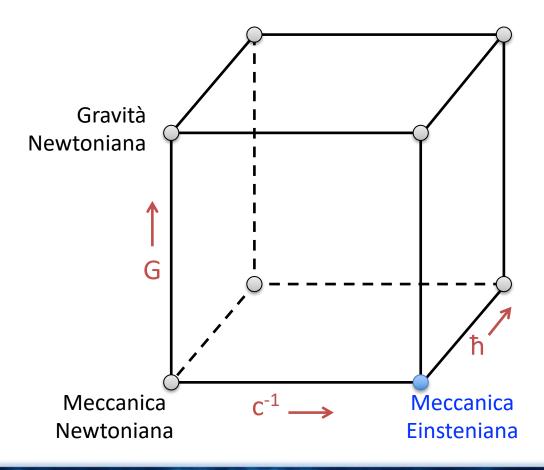
da A. Zee, "Einstein gravity in a nutshell"



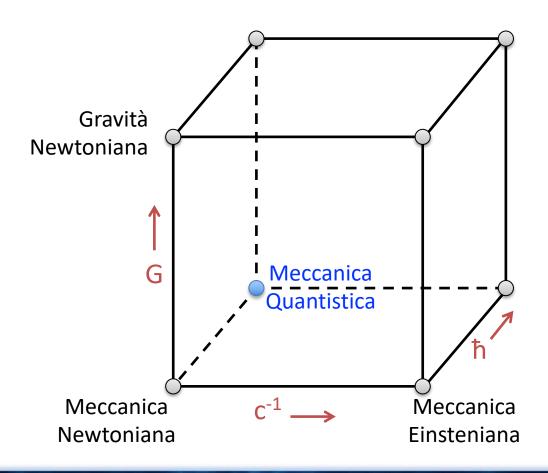


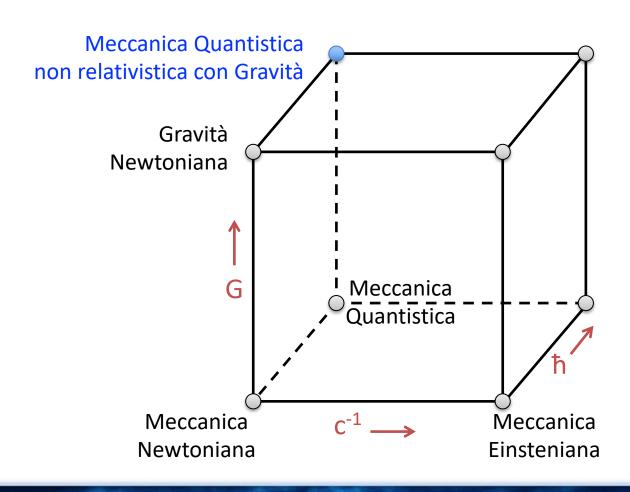


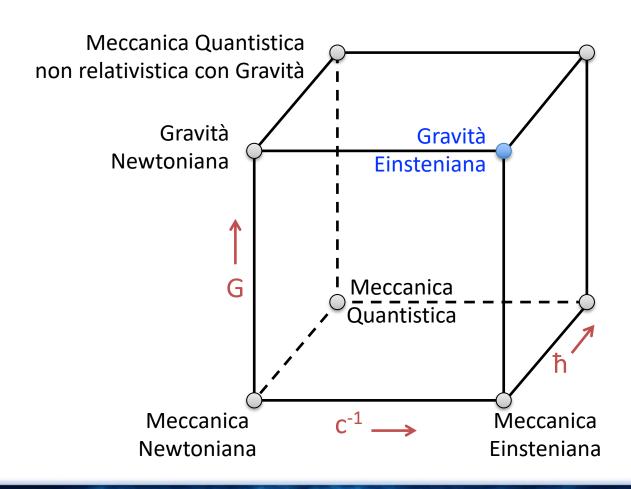




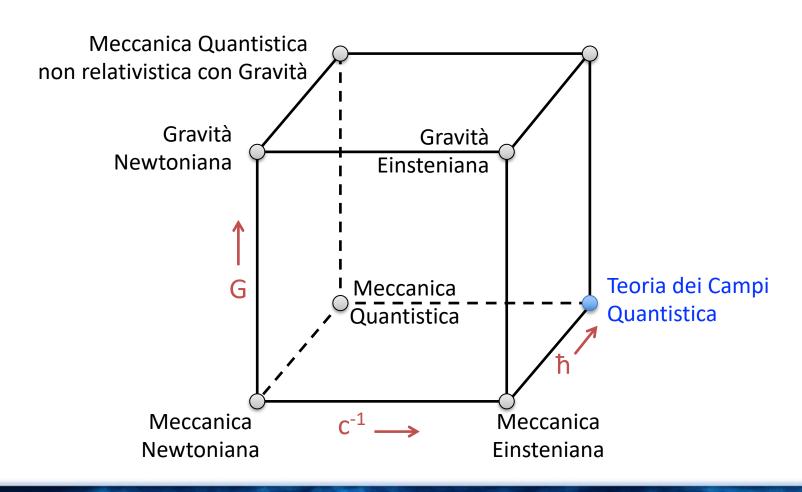




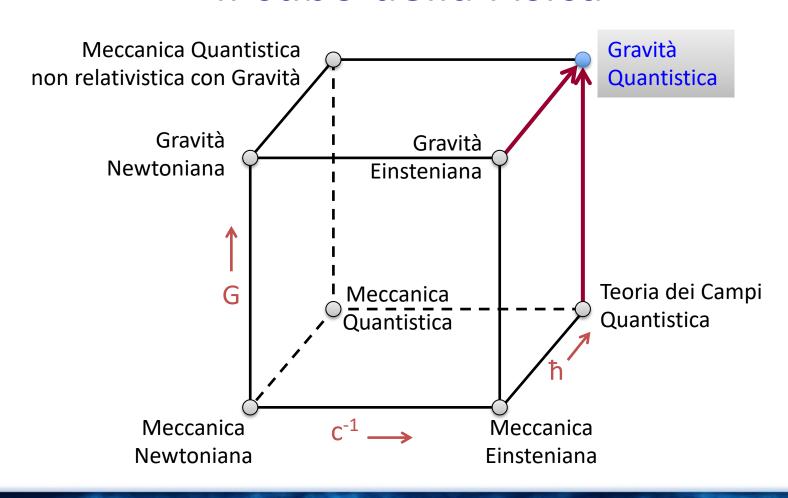








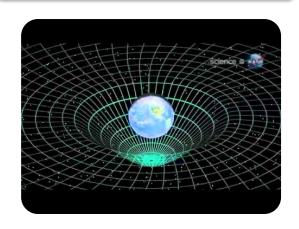






Relatività generale

Meccanica quantistica





Sebbene ampiamente confermate dall'esperienza, le due teorie sono incompatibili

 $\Delta x \cdot \Delta p \ge \hbar/2$

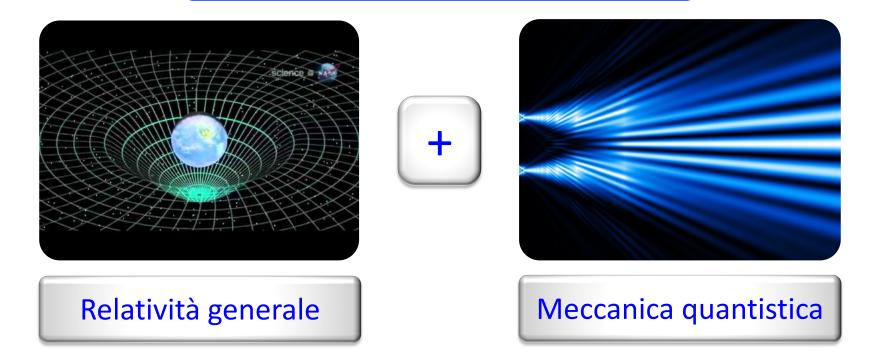
Ad esempio: il principio di indeterminazione nella MQ implica che una particella in moto non segue una traiettoria, ossia non ha una posizione e una velocità simultaneamente determinate.



Qual è il campo gravitazionale generato da una particella?



Le due teorie sono incompatibili



Una teoria consistente della gravità quantistica non è stata ancora formulata ma possiamo anticiparne alcuni aspetti.



IL CAMPO GRAVITAZIONALE QUANTISTICO

1 La relatività generale ci ha insegnato che lo spazio-tempo è un campo, il campo gravitazionale.

La meccanica quantistica ci ha insegnato che a piccola scala i campi fisici hanno una struttura particellare

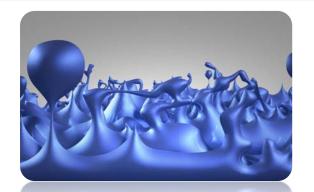
Campo elettromagnetico

Campo gravitazionale Spazio-tempo

Fotoni

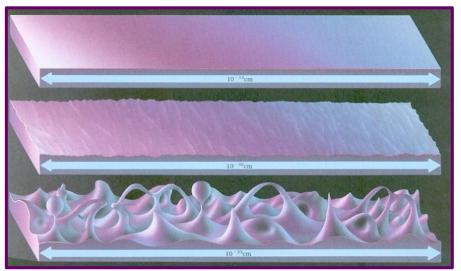
"Atomi" di spazio-tempo







IL CAMPO GRAVITAZIONALE QUANTISTICO



$$L = 10^{-12} \, \text{cm}$$

$$L = 10^{-30} \, \text{cm}$$

$$L = 10^{-33} \, \text{cm}$$

Lo spaziotempo a scale diverse

Le nozioni di spazio e di tempo che abbiamo oggi potrebbero essere concetti utili solo nell'ambito di una descrizione approssimata della realtà

A livello microscopico è probabilmente più utile pensare ad un'unica entità fondamentale:

Il campo gravitazionale quantistico

La scala della gravità quantistica

Da un'analisi dimensionale

$$\left[\frac{Gm^2}{r}\right] = \left[E\right] = \left[\frac{\hbar}{t}\right] = \left[\frac{\hbar c}{r}\right] \qquad \Longrightarrow \qquad \left[G\right] = \left[\frac{\hbar c}{m^2}\right] = \left[\frac{\hbar c^5}{E^2}\right]$$

$$\left[G\right] = \left[\frac{\hbar c}{m^2}\right] = \left[\frac{\hbar c^5}{E^2}\right]$$

Consideriamo l'ampiezza di scattering di due gravitoni nel sistema del c.m.:

$$E/2$$
 θ
 $E/2$

$$\mathcal{M} = \alpha(\theta) G \frac{E^2}{\hbar c^5} + O(G^2) = \alpha(\theta) \left(\frac{E}{M_P c^2}\right)^2 + O(G^2)$$

L'ampiezza cresce con E^2 e per energie maggiori della massa di Planck diventa > 1!

2 La scala della gravità quantistica

$$M_P = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = 10^{19} \,\text{GeV/c}^2$$

Massa di Planck

$$L_P = \frac{\hbar}{M_P c} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 10^{-33} \text{ cm}$$

Lunghezza di Planck

Rappresentano le scale di energia e lunghezza alle quali gli effetti quantistici della gravità diventano rilevanti. Per es. Big bang e buchi neri

Se s'ingrandisse un solo atomo fino a renderlo uguale all'intero Sistema solare e proporzionalmente si ingrandisse la lunghezza di Planck, questa resterebbe comunque ancora 100 volte più piccola dell'atomo di partenza



Una teoria completa e consistente della gravità quantistica ad oggi non esiste. Esistono diverse teorie e linee di studio:

- Teoria delle stringhe
- Gravità a loop
- Geometria noncommutativa
- Triangolazione dinamica causale
-

Nella teoria delle stringhe: la lunghezza di Planck rappresenta la lunghezza minima possibile di una stringa

Nella gravità a loop: l'area è quantizzata e proporzionale all'area di Planck.

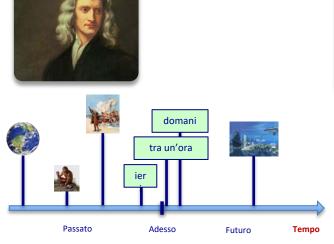
La gravità quantistica



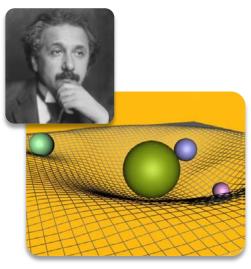
Quale che sia la teoria della gravità quantistica, sappiamo che in questo ambito la nostra concezione dello spazio e di tempo, dovrà essere profondamente modificata

La gravità quantistica

CAPITOLO 1: Il tempo assoluto

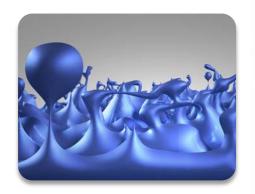


CAPITOLO 2: Il tempo elastico



CAPITOLO 3:

Lo spaziotempo quantistico



Quale che sia la teoria della gravità quantistica, sappiamo che in questo ambito la nostra concezione dello spazio e di tempo, dovrà essere profondamente modificata