

# ..Viaggio nel mondo della *fisica*..

*L'evoluzione*: da quella classica a quella moderna, vista attraverso gli occhi delle più grandi menti fisiche e matematiche..

..Fino ad approdare alle “oscure” teorie quantistiche..

..Il tutto analizzato attraverso le varie interpretazioni di

## SPAZIO e TEMPO

*FONDATA  
DI OGNI PENSIERO  
FILOSOFICO*

*“ARMATURA INVISIBILE  
CHE DA FORMA E  
STRUTTURA ALL’  
UNIVERSO”*

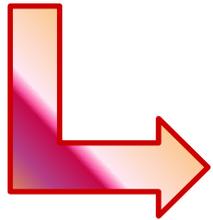


# ...Un tuffo nel passato



Abbandono della cosmologia aristotelica:

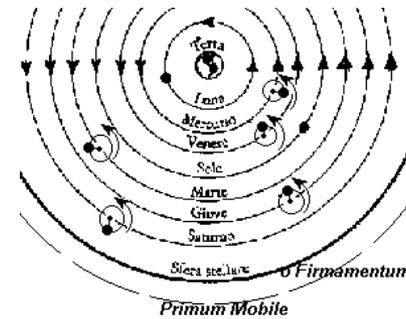
- Cosmo finito e spazialmente ordinato, racchiuso all'interno di sfere celesti
- Terra → acqua, terra, fuoco, aria
- Cieli → etere
- Gravità : corpi verso luoghi naturali



“De revolutionibus orbium coelestium”  
**Copernico**, impronta la rivoluzione astronomica



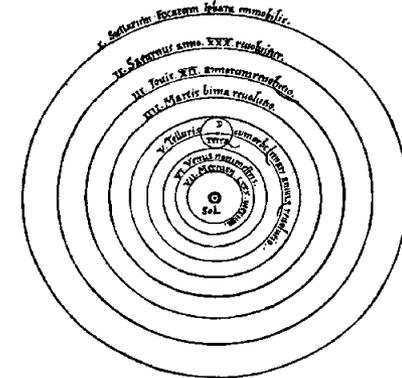
da



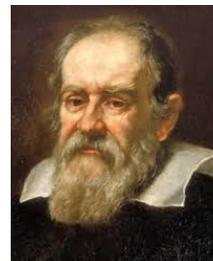
-Sistema aristotelico-tolemaico-

a

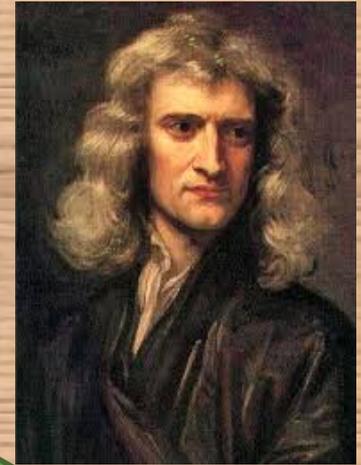
-Sistema copernicano-



..con il successivo contributo di  
**Giordano Bruno** e  
**Galileo Galilei**



...entra in scena.....



**ISAAC  
NEWTON**

*Padre della fisica classica!*

**SPAZIO**

**TEMPO**

*“contenitori vuoti”*

Assoluto:

-Sempre uguale, immobile, infinito

← Preso al posto

Relativo:

-Misura mobile dello spazio assoluto, relativo alla posizione dei corpi

Assoluto o durata:

-Scorre uniforme, non relazionato a niente di esterno

← Preso al posto

Relativo:

-Misura sensibile esterna alla durata, sono l'ora, il giorno e l'anno

SPAZIO & TEMPO →→→→ ENTITA' DISTINTE →→→→ ASSOLUTE E UNIVERSALI



# Lo spazio-tempo di Newton

*Nella concezione di Newton, lo spazio, rappresentato graficamente da una autostrada che si intreccia, ed il tempo, che scorre lungo un binario che procede lungo una direzione all'infinito, sono due entità distinte e separate. Spazio e tempo sono assoluti e universali, per qualsiasi osservatore.*



Direzione del Tempo

Rappresentazione dello Spazio

Il Tempo è indipendente dallo Spazio  
Esso non ha una "forma" ed è diretto  
lungo una determinata direzione.

*“Lo spazio assoluto, per sua natura senza relazione ad alcunché di esterno, rimane sempre uguale e immobile; lo spazio relativo è una misura o dimensione mobile dello spazio assoluto, che i nostri sensi definiscono in relazione alla sua posizione rispetto ai corpi, ed è comunemente preso al posto dello spazio immobile.”*

*“Il tempo assoluto, vero matematico, in sé è per sua natura senza relazione ad alcunché di esterno, scorre uniformemente, e con altro nome è chiamato durata; quello relativo, apparente e volgare, è una misura sensibile ed esterna alla durata, che comunemente viene impiegata al posto del vero tempo: tali sono l’ora, il giorno e l’anno. Di fatto, quindi, spazio e tempo sono per Newton dei contenitori infiniti e sempre uguali a se stessi, a prescindere dalla posizione e dal movimento dei corpi al loro interno.*

\*\*\*\*\*

# MONDO DI NEWTON

Spazio infinito e senza centro, attraversato da particelle  
Mondo di Democrito  
“matematizzato”



Di che cosa è fatto il mondo?

NEWTON

SPAZIO

TEMPO

PARTICELLE

...lo stesso che canterà Leopardi:

*“[...] interminati spazi di là da quella, e sovrumani silenzi, e profondissima quiete io nel pensier mi fingo. [...]*



*Newton influenzerà  
anche la filosofia di:*

**IMMANUEL  
KANT**



*Improntata sul  
modello  
SALDO e  
CERTO di  
scienza  
proposto da  
Isaac Newton*

**MA**

**..con qualche differenza!**

..rivoluziona i concetti di

# SPAZIO & TEMPO

✦ ~~NON PIU' INDIPENDENTI DAL SOGGETTO, OGGETTIVI~~

Rispetto alla concezione che di spazio e tempo aveva Newton, Kant ne riconosce, come lo scienziato inglese, il carattere *originario*, ma nega il loro carattere oggettivo.

Spazio e tempo non sono *esistenti per sé*, ma sono funzioni **soggettive** con cui ordiniamo i dati forniti dalle sensazioni.



MA DI CARATTERE  
SOGGETTIVO

*...riprendendo  
in parte le tesi  
di Locke e  
degli empiristi  
e di Leibniz*

✦ INTUZIONI  
PURE DELLA  
SENSIBILITA'

✦ CONDIZIONE  
DI  
POSSIBILITA'  
DEI FENOMENI  
(quindi di tutto il  
reale)

✦ NON DERIVATI  
DALL'ESPERIENZA

# TEORIA DELLA "NEBULOSA SOLARE"-1755,

KANT

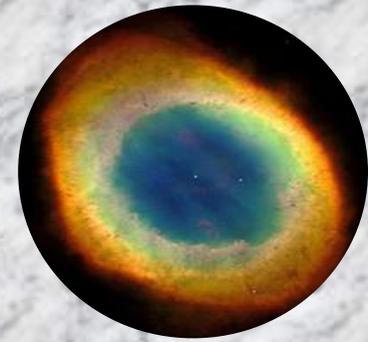
LAPLACE

Ne cura la parte matematica..

Sulla **GENESI DEL SISTEMA SOLARE**

*NEWTON!*

Causata dalla forza di attrazione



**SPAZIO E TEMPO**

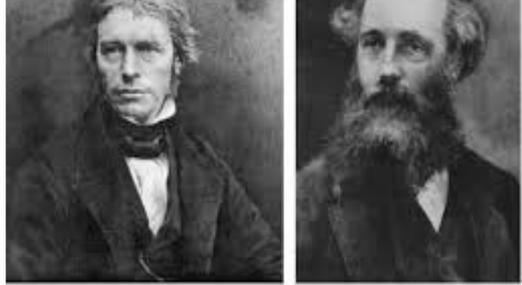
Da: CONDIZIONE DI POSSIBILITA' DELLA NOSTRA ESPERIENZA

A: CONDIZIONE DI POSSIBILITA' DELLA NOSTRA ESISTENZA

<p>La polvere della nebulosa entra in rotazione e si riscalda</p>	<p>La polvere di addensa sul piano equatoriale</p>
<p>Si verificano degli addensamenti di materia</p>	<p>Si formano i protopianeti</p>

...Ma la fisica di Newton non è sufficiente...

→ Non c'è solo la forza di gravità che spinge e tira i corpi..



Michael Faraday

James Maxwell

intervengono...

**MICHAEL FARADAY**

&

**JAMES MAXWELL**

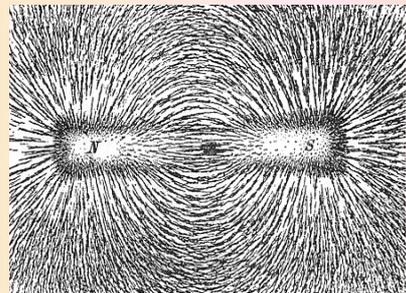


Scopre l'entità di

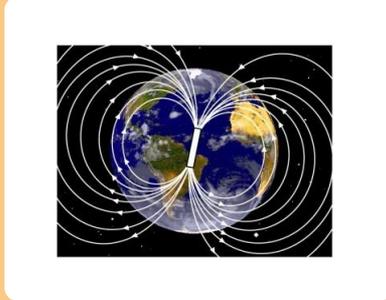
CAMPO = OVUNQUE NELLO SPAZIO

• Formato da FASCI DI LINEE sottilissime:

LINEE DI FORZA → PORTANO IN GIRO LA FORZA ELETTRICA E MAGNETICA



Comprenderanno la natura della FORZA MAGNETICA!



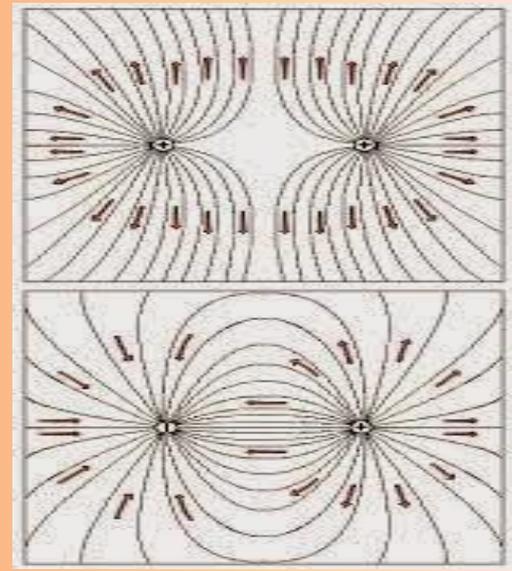
Traduce tale geniale intuizione in una pagina di equazioni

$$\begin{cases} \nabla^2 \phi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = -\frac{\rho}{\epsilon} \\ \nabla^2 A_x - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 A_x}{\partial t^2} = -\mu \rho v_x \\ \nabla^2 A_y - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 A_y}{\partial t^2} = -\mu \rho v_y \\ \nabla^2 A_z - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 A_z}{\partial t^2} = -\mu \rho v_z \end{cases}$$

...Lo stesso Newton sembrava avere dei dubbi sull' incompletezza della sua teoria:

*“E' inconcepibile che materia inanimata possa, senza la mediazione di qualcos'altro di materiale, agire su altra materia, e avere un effetto su di essa, senza che ci sia un contatto”*

CON L'INTRODUZIONE DEL CONCETTO DI CAMPO, CAMBIA LA VISIONE DEL MONDO NEWTONIANA:

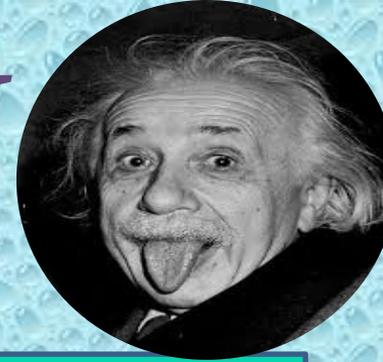


- Il campo che riempie lo spazio, e due oggetti con carica elettrica con i quali il campo interagisce. La forza tra i due oggetti è portata dalle linee di forza del campo -

Di che cosa è fatto il mondo?



# ALBERT EINSTEIN



• *Pubblica:*

3 ARTICOLI  
agli  
“Annalen  
der Physik”



dove presenta la teoria della  
RELATIVITA' RISTRETTA - 1905

..dopo gli studi  
sulla:

SIMULTANEITA'  
ASSOLUTA → NON  
ESISTE



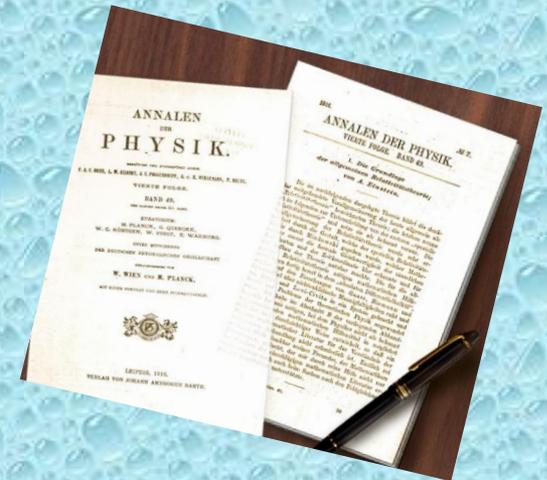
Viene introdotta la  
nuova teoria del  
continuo-  
SPAZIOTEMPO

..da SPAZIO e  
TEMPO come  
entità distinte

..a  
SPAZIOTEMPO  
intimamente  
legato

Conseguenza:  
-Fusione CAMPO  
ELETTRICO +  
MAGNETICO  
- Fusione  
ENERGIA + MASSA

$$E=mc^2$$



..ma il vero capolavoro di Einstein verrà, 10 anni dopo..

**“TEORIA DELLA  
RELATIVITA’  
GENERALE” -1915**  
*La più bella delle  
teoria*

**-NUOVA TEORIA DELLA  
GRAVITA’-**

*raccoglie ben 2  
problemi:*

**DEFINIRE LO  
SPAZIO DI  
NEWTON**

*“Scatolone  
rigido per l’  
universo”*

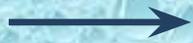
**DESCRIVERE IL  
CAMPO  
GRAVITAZIONALE**

*unisce tali  
soluzioni:*

**SPAZIO DI NEWTON  
= CAMPO  
GRAVITAZIONALE**

E' una semplificazione del mondo:

**SPAZIO**



- ENTITA' REALE,  
NON ESTERNO ALLA  
MATERIA
- SI CURVA, SI  
FLETTE, SI TORCE

*“Noi non siamo contenuti in un invisibile scaffalatura rigida, ma siamo immersi in un immenso mollusco flessibile.”*

*Non è la forza di gravità ad attirare gli oggetti, ma sono le masse che, curvando lo spazio circostante, lo inclinano, lasciando “scivolare” le altre masse*

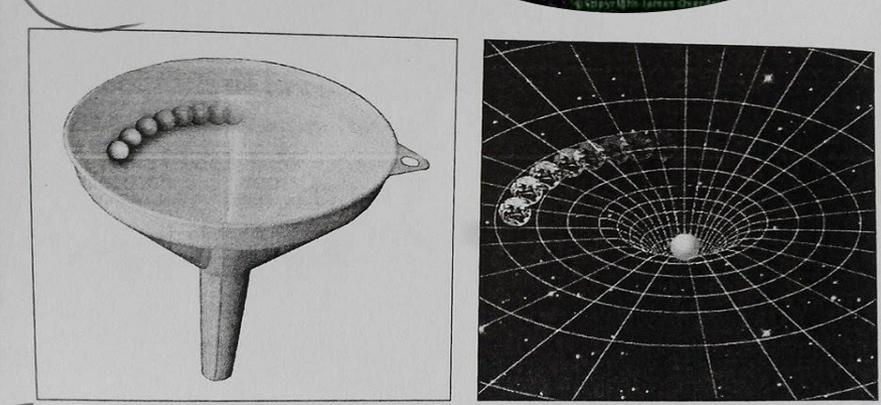
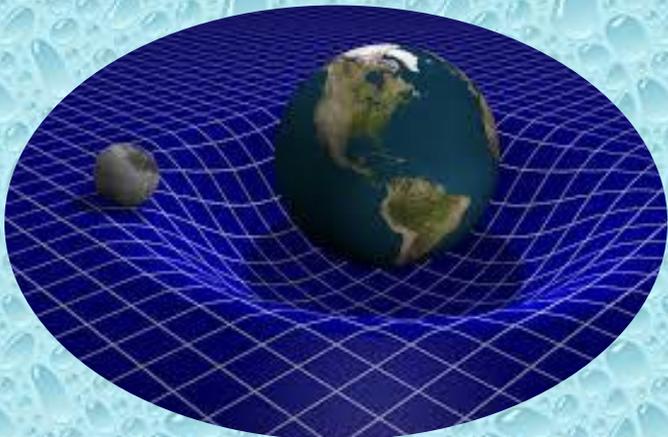
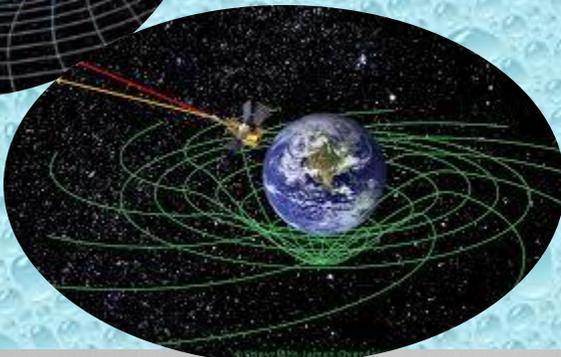


Figura 3.5 La Terra gira intorno al Sole perché lo spaziotempo intorno al Sole è curvo. Un po' come una pallina che ruoti sulle pareti curve di un imbuto.

Ma se SPAZIOTEMPO rappresenta ora un'unica entità..allora **anche il tempo si curva, si flette e si torce..**

**Einstein predice che..**

**Il tempo sulla Terra passa più veloce in "alto", rispetto al "basso"**



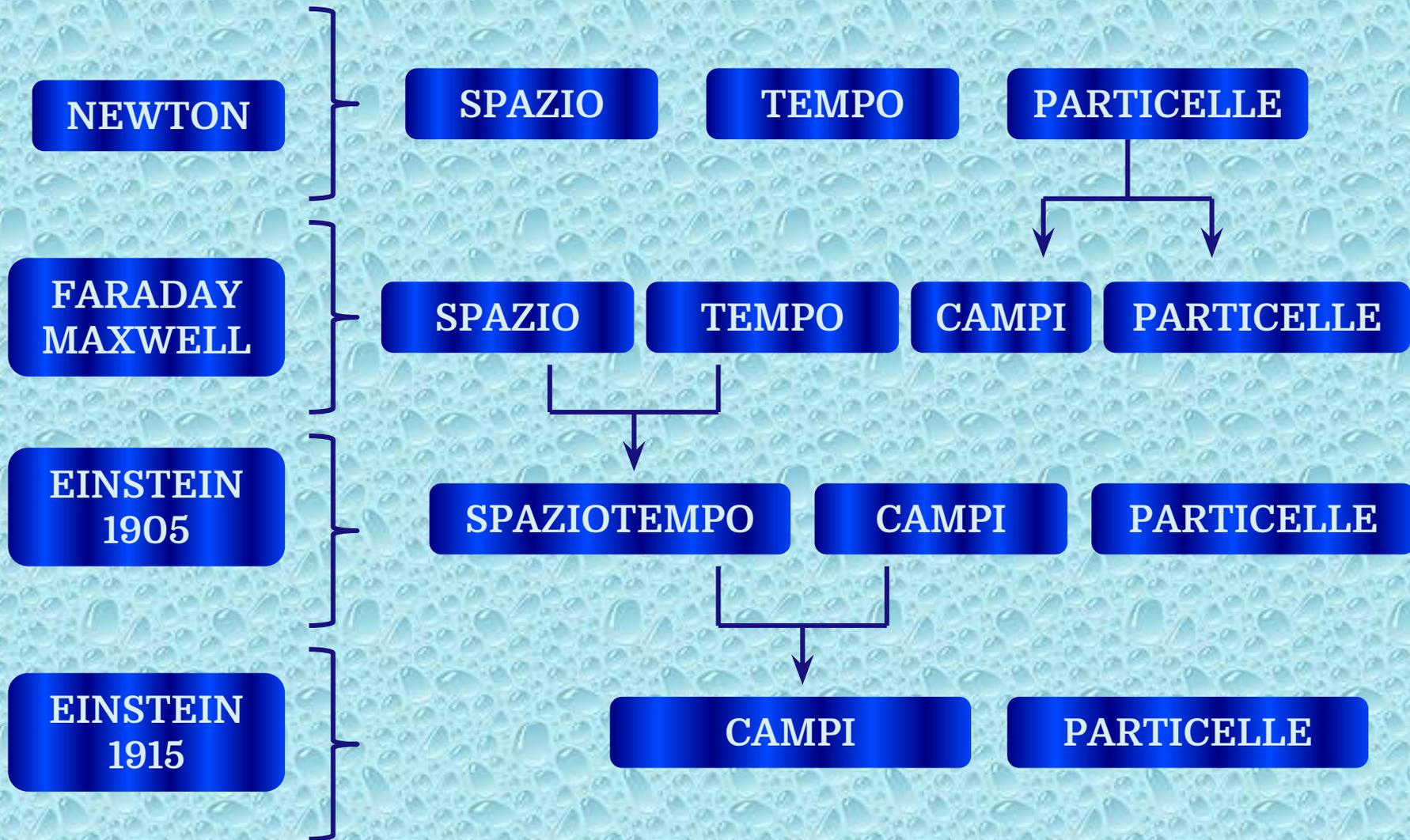
- Di poco, ma due gemelli che abbiano vissuto uno al mare e uno in montagna si ritrovano uno più vecchio dell'altro, quando si reincontrano. -

**Il tempo non è universale e fisso, ma dipende dalla presenza di masse nelle vicinanze !**

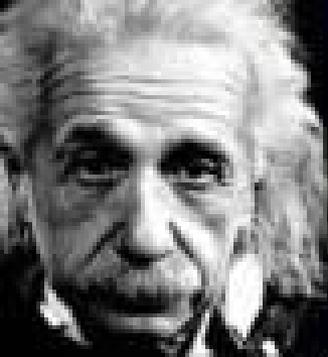
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$



**Più in alto il tempo passa più veloce**



*Di che cosa è fatto il mondo?*



# Lo spazio-tempo di Einstein



Le direzioni dello Spazio e del Tempo sono interconnesse.

Spazio e Tempo sono interconnessi. Non è possibile curvare lo spazio senza "curvare" il Tempo.

Il Tempo ha una "forma" ed una direzione.

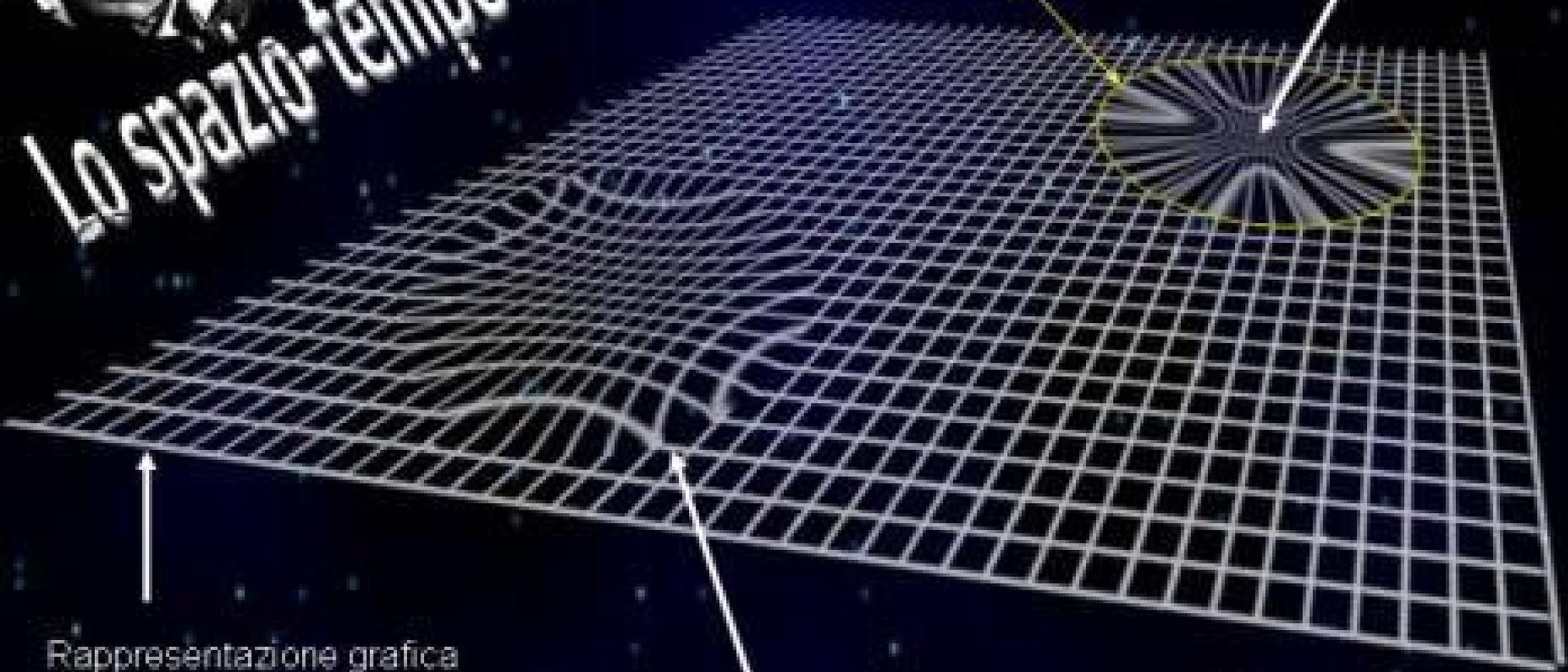


# Lo spazio-tempo di Einstein

## Relatività Generale - 1915

Deformazione geometrica dello spazio-tempo dovuta ad un buco-nero

Linea dell'orizzonte degli eventi



Rappresentazione grafica del "tessuto" spazio-tempo in 2 dimensioni

Deformazione geometrica dello spazio-tempo dovuta ad una massa (es: pianeta, stella, etc.)

Anche Einstein trovò degli oppositori alle sue teorie..in primis:

## LA FISICA QUANTISTICA

“Nessuno comprende la meccanica quantistica!”  
*Richard Feynman*

e RELATIVITA' GENERALE costituiscono tutt'oggi le teorie più complete per descrivere l'universo; sono le COLONNE PORTANTI DELLA FISICA DEL XX SECOLO.

..il problema è conciliarle!

La principale distinzione fra le due è che:

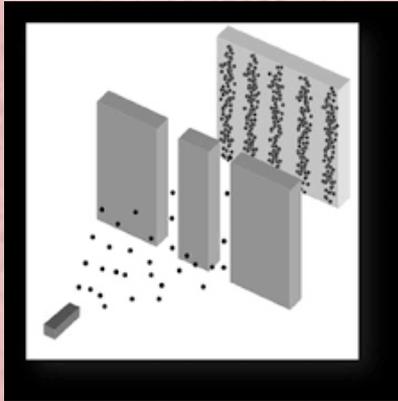
• La **FISICA QUANTISTICA** spiega il funzionamento del mondo MICROSCOPICO;

• La **RELATIVITA' GENERALE** descrive i fenomeni dell'universo MACROSCOPICO;

Nasce da risultati sperimentali, concepita da molti: Max Planck, Niels Bohr, Paul Dirac, Max Born

“Gemma compatta”, concepita da un'unica mente; visione semplice e coerente di **GRAVITA', TEMPO e SPAZIO**

*Prima di procedere oltre,  
ecco una definizione sintetica  
della Fisica Quantistica o  
“Teoria dei quanti”:*



*Descrive la materia sia come fenomeno ondulatorio che come entità particellare, al contrario della meccanica classica, dove per esempio la luce è descritta solo come un'onda o l'elettrone solo come una particella. Questa inaspettata e contro intuitiva proprietà, chiamata dualismo onda-particella, è la principale ragione del fallimento di tutte le teorie classiche sviluppate fino al XIX secolo. La relazione fra la natura ondulatoria e quella corpuscolare delle particelle è definita nel principio di complementarità e formalizzata nel principio di indeterminazione di Heisenberg.*

# Limite della RELATIVITA' GENERALE:

**Cessa di  
essere valide  
su scale  
piccolissime,  
sull'ordine di  
lunghezza di  
Planck**

*..Quindi.....*

**COME RISULTA ESSERE LA STRUTTURA  
DELLO SPAZIOTEMPO QUANTISTICO?**

*...Tale domanda apre la porta a delle teorie che tentano di descriverlo, tuttavia fino ad oggi tutti i tentativi di provare le varie teorie quantistiche sulla struttura dello spaziotempo non hanno portato a risultati certi dato che stiamo considerando scale estremamente piccole*

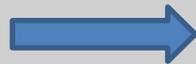


# “SCHIUMA QUANTISTICA”

- *John Wheeler, 1955*
- *Su scale quantistiche l'Universo è come composto da singole unità costituite da tantissimi buchi neri microscopici che emergono e svaniscono continuamente =*

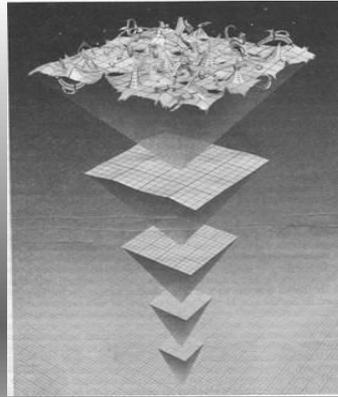
## SCHIUMA

- *Spaziotempo irregolare e spigoloso, irto di deformazioni locali*

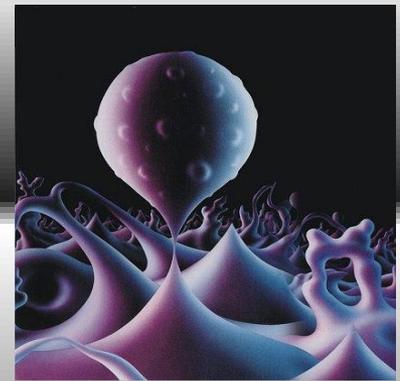


*..quindi..*

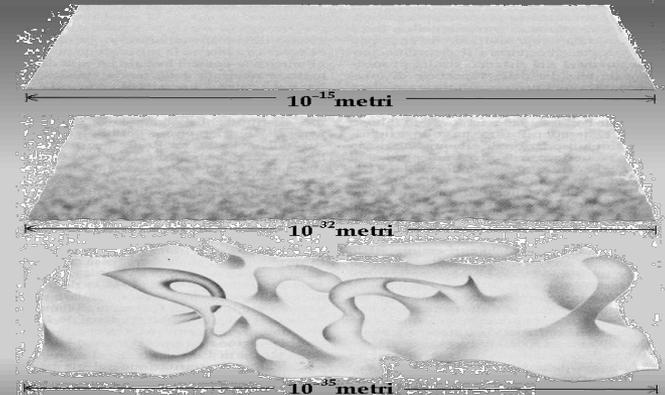
Su scale dell'ordine della lunghezza di Planck non ha più senso parlare di spazio o di tempo perchè le fluttuazioni quantistiche sono tali da creare una sorta di *confusione* o *schiuma quantistica*, che fanno sì che spazio e tempo si mescolino; il tempo è come se svanisse, ed esistono infiniti spazi-tempi.



*in queste condizioni la teoria della Relatività generale non può essere spiegata, in quanto descrive uno spazio-tempo continuo, liscio senza alcuna irregolarità.*

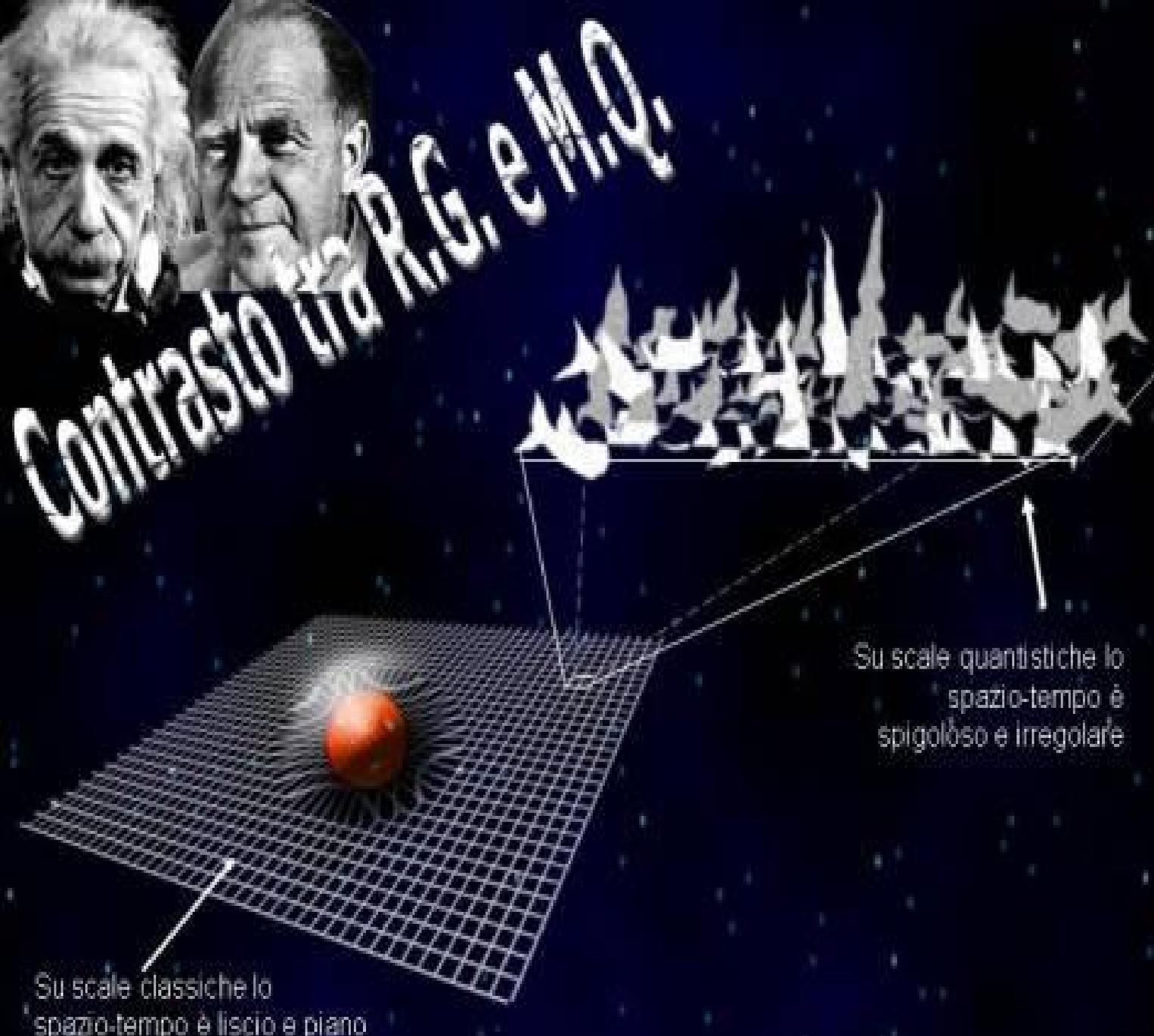


*- Illustrazione artistica del concetto di “schiuma” quantistica. La bolla in primo piano rappresenta un universo che evolve con le sue leggi fisiche.-*



*Dalla schiuma quantistica si evolverà il nostro Universo*

Contrasto tra R.G. e M.Q.



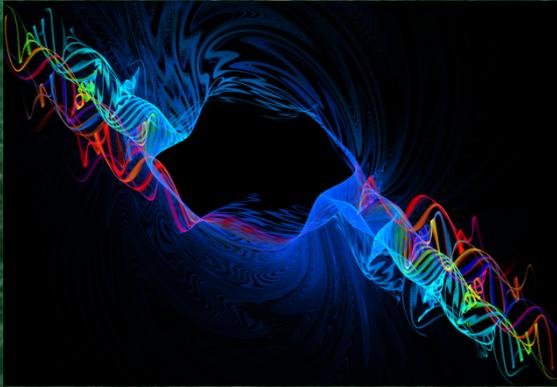
Su scale classiche lo spazio-tempo è liscio e piano

Su scale quantistiche lo spazio-tempo è spigoloso e irregolare

*Se ci riferiamo a scale piccolissime, dell'ordine delle dimensioni atomiche, ci accorgiamo che esistono una serie di fluttuazioni quantistiche, dovute alla creazione spontanea di coppie particella/anti particella, che danno allo spazio-tempo una forma alquanto spigolosa e irregolare.*

Per concludere è presentata una delle teorie più promettenti sulla gravità quantistica:

# TEORIA DELLE SUPERSTRINGHE - 1985



- Tentativo di “*teoria del tutto*” che descrive tutta la realtà, dalle particelle elementari a tutto l'Universo
- Spiega le fasi iniziali della storia dell'Universo e perciò l'origine dello spazio e del tempo



PARTICELLE

+

FORZE  
FONDAMENTALI

COMPOSTE DA STRINGHE VIRBRANTI  
- Non contraddicono né gli assiomi della meccanica quantistica, né quelli della relatività generale -



*Per finire, viene  
esposta la teoria del  
fisico:*

# CARLO ROVELLI



Ha sviluppato una  
formulazione  
della meccanica  
che esclude il  
TEMPO:



Secondo questa  
ipotesi, la sensazione  
dello scorrere del  
tempo è un'*illusione*  
derivata  
dall'incompletezza  
della conoscenza.



*“A livello fondamentale il tempo non c'è.  
(...) ci sono processi elementari in cui  
quanti di spazio e materia interagiscono  
tra loro in continuazione. L'illusione  
dello spazio e del tempo continui intorno  
a noi è la visione sfocata di questo fitto  
pullulare di processi”.*

**Carlo Rovelli: "Spazio e tempo? Solo un'illusione"**

**Professor Rovelli, come possiamo accettare l'idea che il tempo non sia reale?**

Dobbiamo farci i conti, ma forse è più semplice di quanto sembri a prima vista. In fondo noi viviamo in un mondo in cui c'è l'alto e il basso, ma sappiamo bene che si tratta di una distinzione locale e che non vale per tutto l'universo. Anche il tempo probabilmente è così.

**Lei dice "probabilmente", non abbiamo certezze al riguardo?**

No, ma la scienza non dà mai risposte certe, dà solo le migliori risposte del momento. Non è un male: possiamo vivere anche senza certezze assolute.

**Quali sono i problemi aperti della fisica oggi?**

In fisica fondamentale, ovvero la fisica che si occupa della descrizione delle cose più elementari, ci sono vari problemi aperti, ma ce n'è uno più bello degli altri: quello della gravità quantistica. Lungo tutto il Novecento abbiamo scoperto molte cose sul mondo grazie alla meccanica quantistica e alla relatività generale. Ma le immagini dell'universo fornite da queste due teorie sono difficili da mettere insieme, non si conciliano. La gravità quantistica tenta di farlo, ma per riuscirci dobbiamo cambiare l'idea che abbiamo di spazio e di tempo.

**E' passato un secolo da quando la relatività generale ha cambiato la natura dello spazio e del tempo, ma a noi sembra ancora strano immaginare il mondo secondo la fisica di Einstein. Forse aveva ragione Kant nel dire che Spazio e Tempo sono le forme a priori entro le quali solamente è possibile la nostra esperienza?**

Kant aveva ragione su quasi tutto. In particolare, oggi sappiamo che aveva ragione nel dire che quello che vediamo è il mondo esperito da un soggetto fatto così come è fatto. Ma la nozione di spazio che Kant considera naturale in realtà è quella nata nel 1670 con i Principia di Newton: lo spazio di Dante o quello di Aristotele non sono così. Bisogna allora prendere in considerazione la storia. La relatività ha cento anni, ma le sue basi sperimentali sono di oggi: quando andavo a scuola già mi insegnavano che, secondo la teoria di Einstein, un orologio su un tavolo corre più velocemente di uno a terra, ma solo recentemente sono stati creati orologi così precisi da provarlo. Cento anni sono pochi: in fondo Copernico è vissuto nel Cinquecento, ma nel Seicento solo alcuni visionari come Galilei pensavano di prendere sul serio le sue teorie.



**Arianna  
Cassetta  
4^CLS**

**FONTI:** - *"La realtà non è come ci appare"* -

*Carlo Rovelli*

- *Testo di filosofia: "La filosofia"*

- *Internet*