



ARNOLD  
REGGE  
CENTER



# Tullio Regge: un genio eclettico, dai buchi neri alla computer art

---

Anna Ceresole  
(INFN, Torino)

*Premiazione per le Olimpiadi di Fisica 2017*

*Aula Magna Tullio Regge*

*Dipartimento di Fisica, Università di Torino*

*Torino, 19 Maggio, 2017*

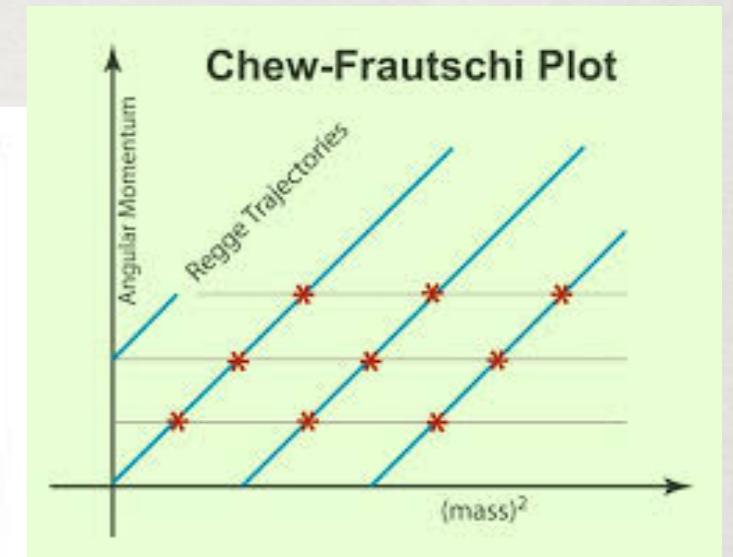
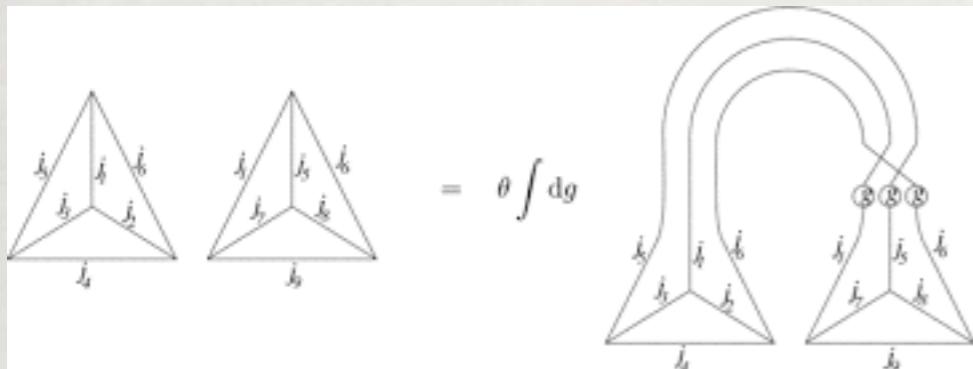


*Tullio Regge, nato nel 1931 e scomparso nel 2014, è stato un grande fisico e matematico piemontese, che ha dato contributi importanti alla Teoria Quantistica ed alla Relatività Generale.*



ARNOLD  
REGGE  
CENTER

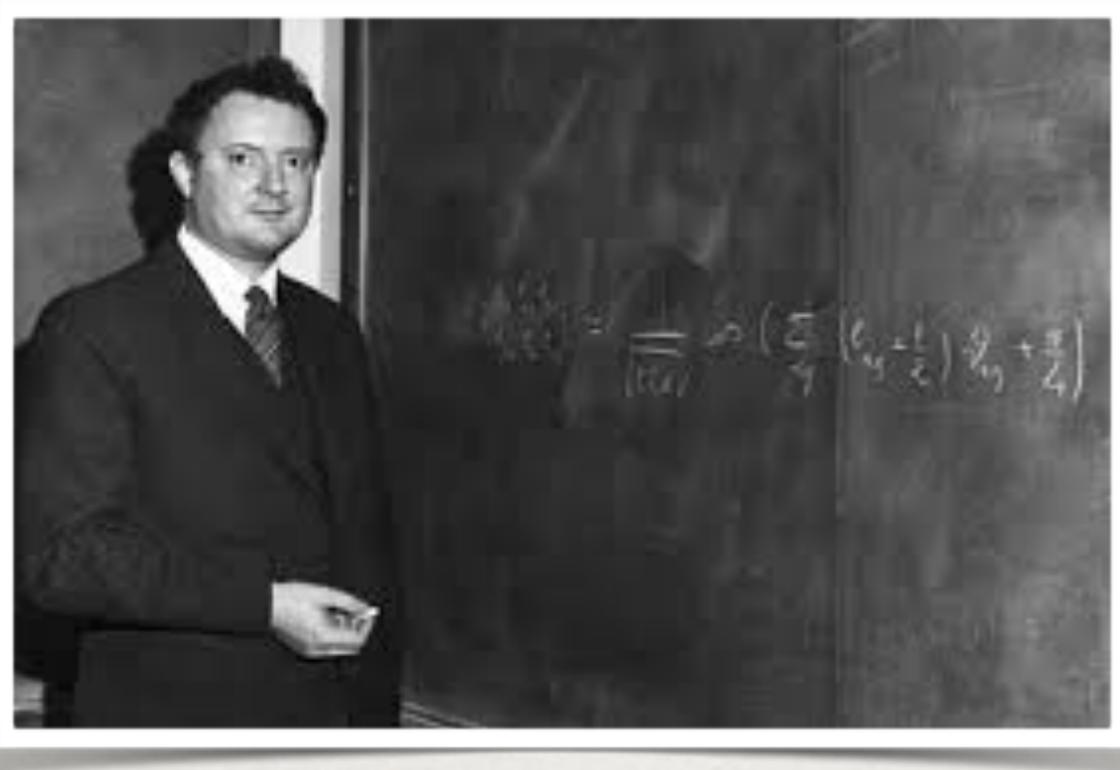
*La sua carismatica e multiforme personalità,  
ben riconosciuta anche oltre ai confini del mondo accademico internazionale,  
merita un ricordo particolare:  
per questo il **Dipartimento di Fisica dell'Università di Torino**,  
dove lui è stato a lungo professore,  
gli ha dedicato in febbraio questa **Aula Magna** ed è stato anche creato,  
unendo il suo nome a quello di un celebre matematico russo,  
il **Centro Arnold-Regge** per le ricerche avanzate in  
**Algebra, Geometria e Fisica Teorica.***



*Le idee di Regge continuano ad avere un forte impatto nella comunità scientifica, come testimoniano numerosi lavori in fisica delle alte energie che tutt'oggi vengono pubblicati con il suo cognome nel titolo: "comportamento di Regge" nei processi di diffusione fra particelle elementari, "poli di Regge", "equazione di Regge-Wheeler" per la stabilità dei buchi neri, "approssimazione di Regge-Ponzano" alla gravità quantistica....*

*Concetti spesso difficili da spiegare ai suoi colleghi, figuriamoci ai ragazzi del liceo, seppur brillanti vincitori delle **Olimpiadi di Fisica 2017**...*

# **Torino, fine degli anni `70:**

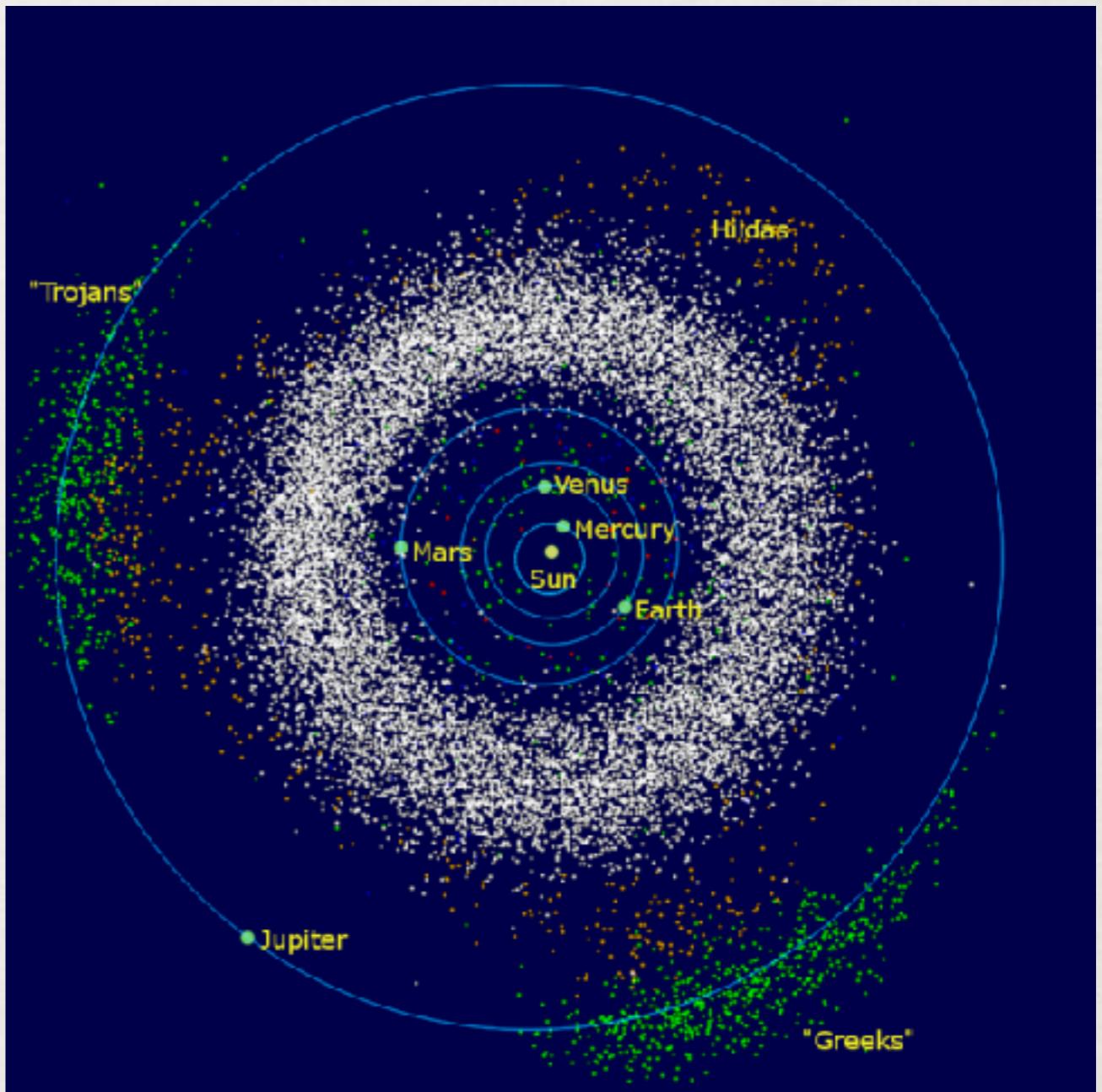


*Prima ancora che come docente di Relatività o collega, molti di noi hanno conosciuto Tullio Regge grazie alla sua appassionata attività di divulgatore, per la quale aveva un innato talento.*

*Attorno alla fine degli anni '70, essendo un astrofilo appassionato, amava tenere conferenze in parchi e cinema cittadini descrivendo diapositive di Astronomia che acquistava direttamente dalla Nasa.*

# *Nel Sistema Solare...*

Regge (3778 Regge)	
Scoperta	26 aprile 1984
Scopritore	Walter Ferreri
Classificazione	Fascia principale
Designazioni alternative	1984 HK1
Parametri orbitali (all'epoca K074A)	
Semiasse maggiore	2,8711180 UA
Inclinazione sull'eclittica	1,37738°
Eccentricità	0,0442537
Longitudine del nodo ascendente	339,72516°
Argom. del perielio	98,09065°
Anomalia media	23,54529°
Par. Tisserand ( $T_J$ )	3,295 (calcolato)
Dati osservativi	
Magnitudine ass.	12,7



*Esiste addirittura un asteroide a lui dedicato, Regge 3778:*



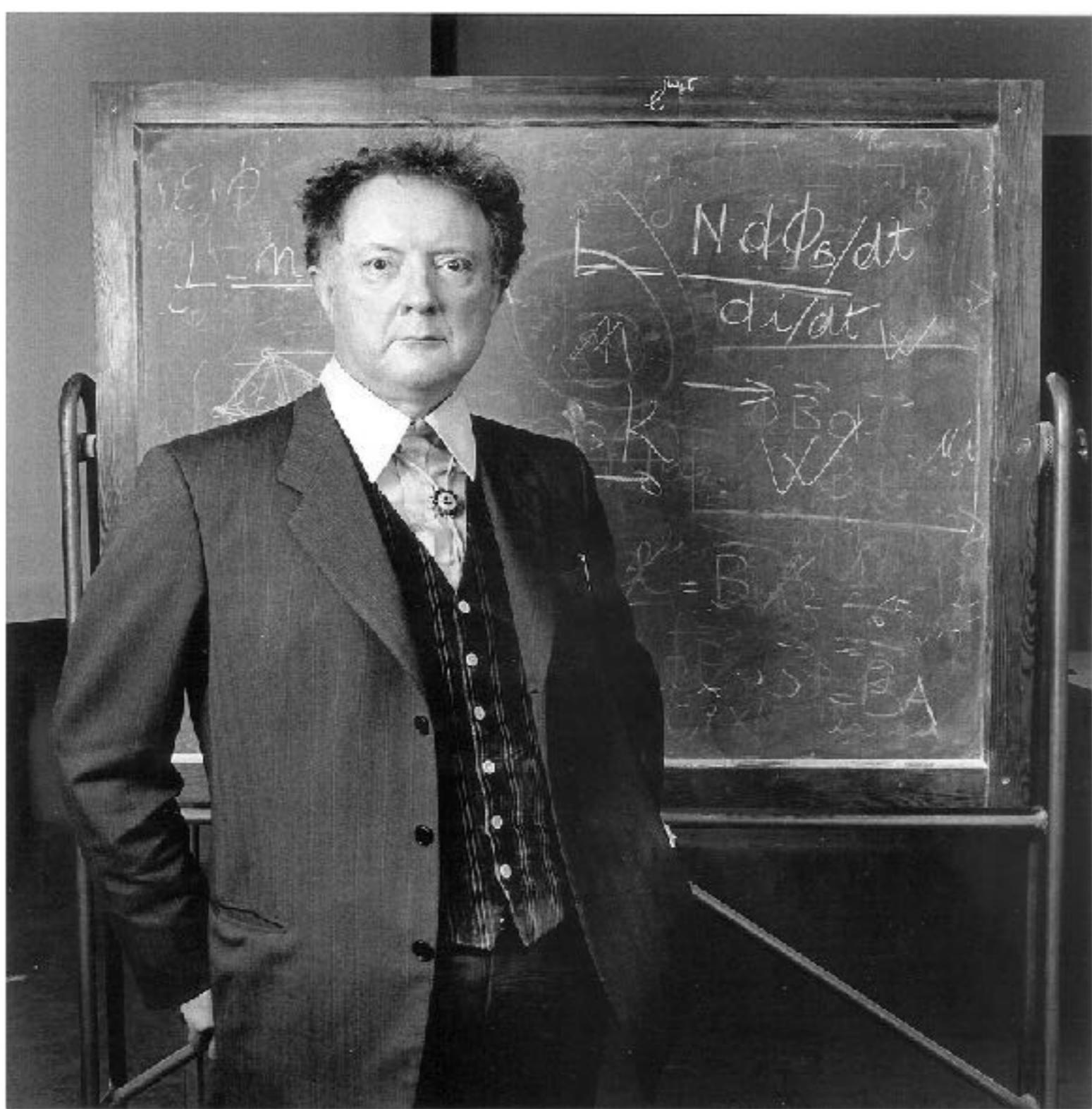
# *Una passione per le domande difficili...*

*Così io lo conobbi, rimanendo subito affascinata dai suoi racconti e dalla sua personalità...*



- **1979:** La mia tesina per la maturità : i **buchi neri**, oggetti misteriosi che si possono formare nel nostro universo quando stelle piuttosto massicce finiscono il loro carburante e subiscono un inarrestabile **collasso gravitazionale**

*Tullio Regge,  
docente di Relatività Generale a Torino  
(-1980)*

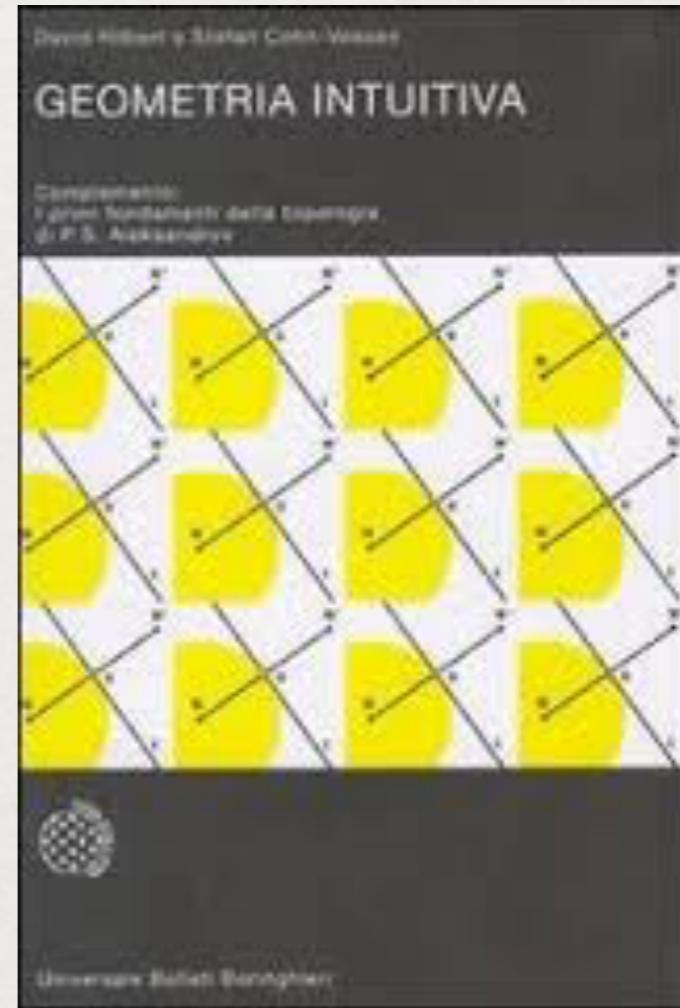
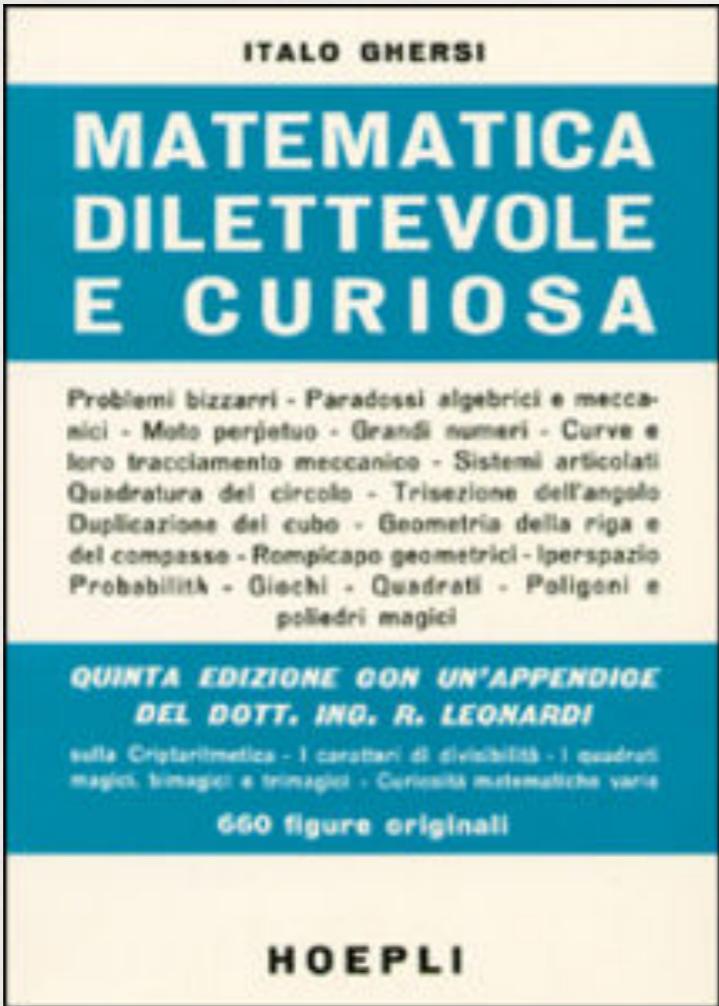


# *Un grandissimo maestro...*



- ➊ Lo devo a **Tullio Regge** se ho scelto la **Fisica** come mestiere
- ➋ La sua lettera di raccomandazione mi ha permesso di avere una borsa di studio per gli **USA**
- ➌ Ritornata in Italia, ho avuto occasione di lavorare con lui per diversi anni

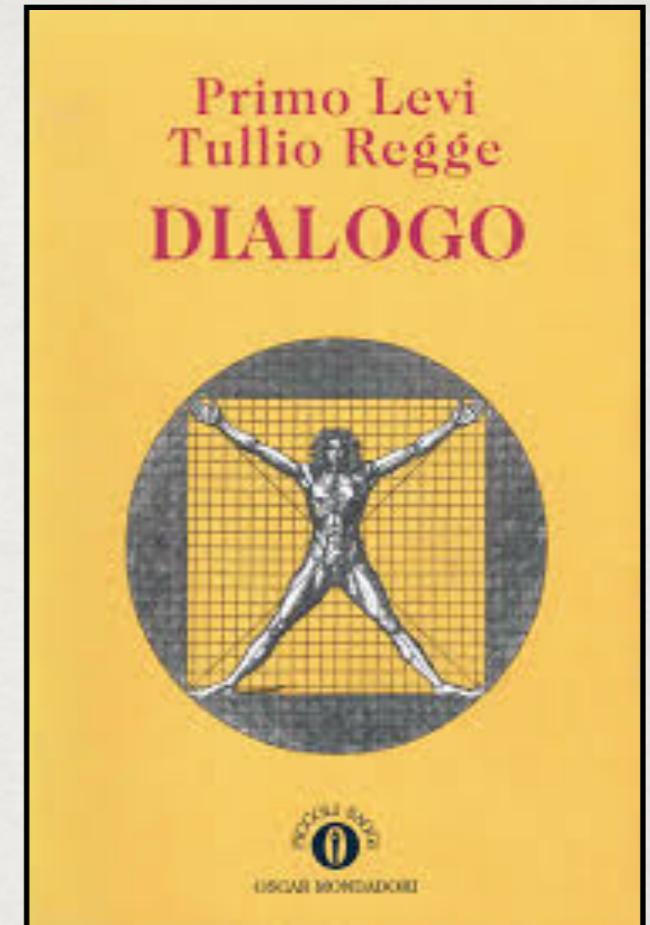
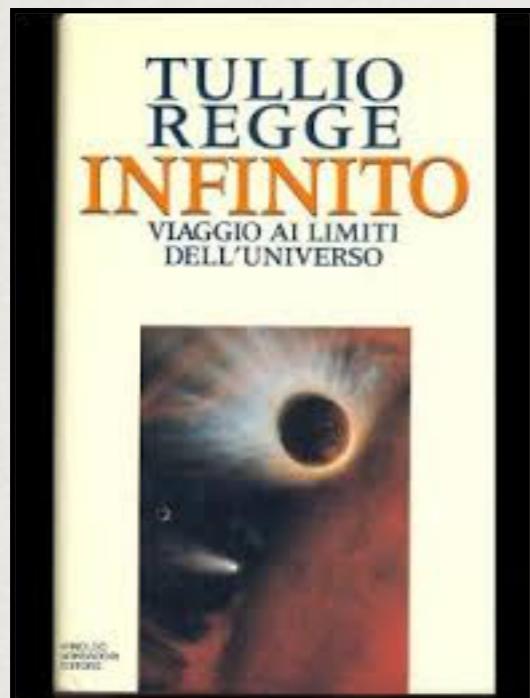
# *L'educazione matematica secondo Tullio Regge*



David Hilbert, Stefan Cohn Vossen

- “Un gatto e mezzo mangiano un topo e mezzo in un minuto e mezzo. Quanti gatti ci vogliono per mangiare 60 topi in 30 minuti ??”

# *Uno scrittore per tutti...*



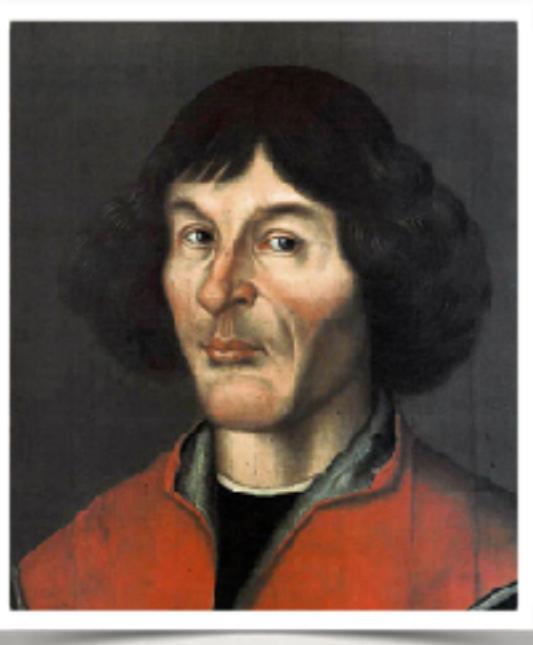
*Ha scritto vari libri (tra cui intriganti dialoghi con Primo Levi) ed un gran numero di articoli divulgativi (vedi la sua lunga e fortunata collaborazione con *La Stampa* e *TuttoScienze*, oltre che con *Repubblica* e *Le Scienze*), che hanno avvicinato numerosi studenti e futuri scienziati, tra cui molti membri di questo Dipartimento, al mondo della Fisica.*



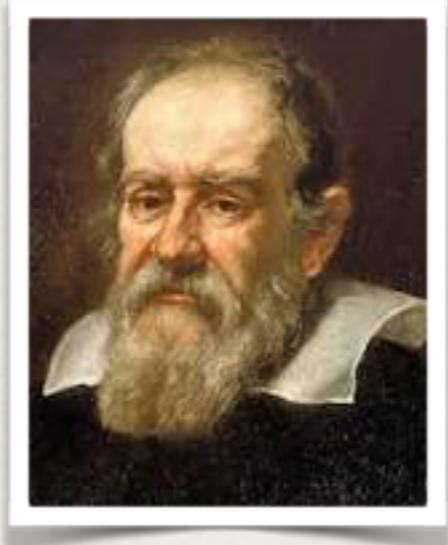
<http://www.pierobianucci.it>

**TUTTOSCIENZE**

# *Chi era Tullio Regge?*



1473-1583



1562-1642



1571-1630



1642-1727

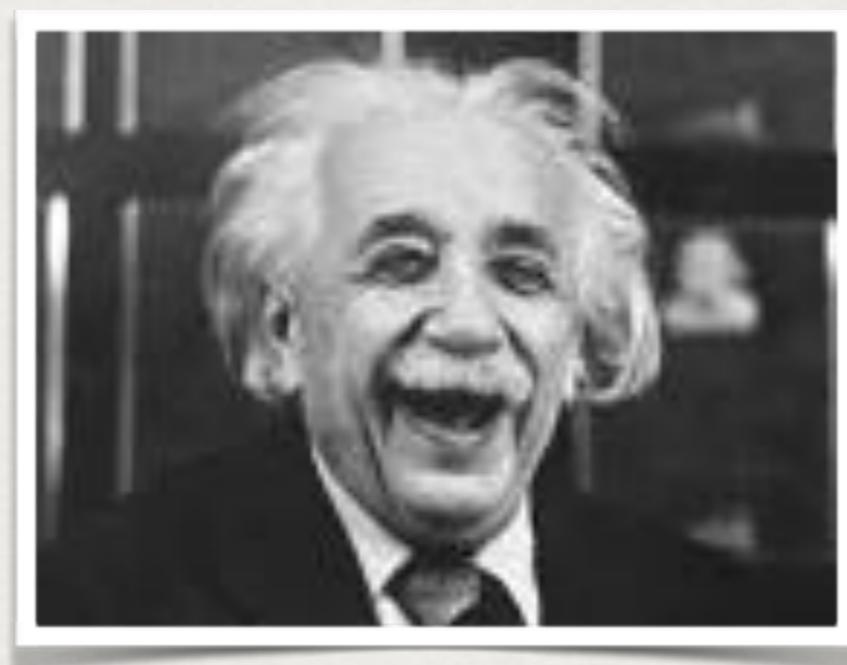
*Figure come Copernico, Galileo, Kepler e Newton non si potevano definire né fisici né matematici : erano **filosofi della natura***

*Fra il 18esimo ed il 19esimo secolo, si poteva dire lo stesso di Bernoulli, Eulero, Lagrange e Hamilton....*

# *Chi era Tullio Regge?*



1831-1879



1879-1955

*La vera distinzione è apparsa nel 19 secolo:*

**Maxwell**, che con le sue famose equazioni descrive in modo unificato Elettricità e Magnetismo.

**Einstein**, definì la descrizione matematica della Gravità.

*Chi era **Tullio Regge**: un matematico, un fisico, un fisico teorico???*

**Semplicemente...UN GENIO ECLETTICO, con una grande passione per la FISICA!**



1931-2014

**Fisica:** s.f. - Scienza che studia e descrive i fenomeni naturali, riproducendoli, quando possibile, con esperimenti, osservandoli e misurando le grandezze che li determinano, allo scopo di individuare le relazioni tra queste e le leggi che li governano; alle sue basi stanno il **metodo sperimentale** e osservativo e la formalizzazione di tali leggi tramite il linguaggio matematico.

## *La Fisica fondamentale*

Studia la Natura ad un livello più profondo, cercando di ridurre al minimo i **concetti** veramente indispensabili (fondamentali).

# *Gli attori dietro una scoperta*

La Fisica, oggi piu' che in passato, ha bisogno della collaborazione di varie figure:

Sheldon un **fisico teorico**, modella la fisica mediante la matematica

Leonard, un **fisico sperimentale** che misura la fisica in laboratorio

Howard e'un **ingegnere (con tecnici e tecnologi)** che aiuta a costruire gli apparati sperimentali

Raj e' un **astrofisico**

Importantissimi oggi sono il **fisico computazionale** che simula la fisica con un computer

ed il **fisico dei sistemi complessi**



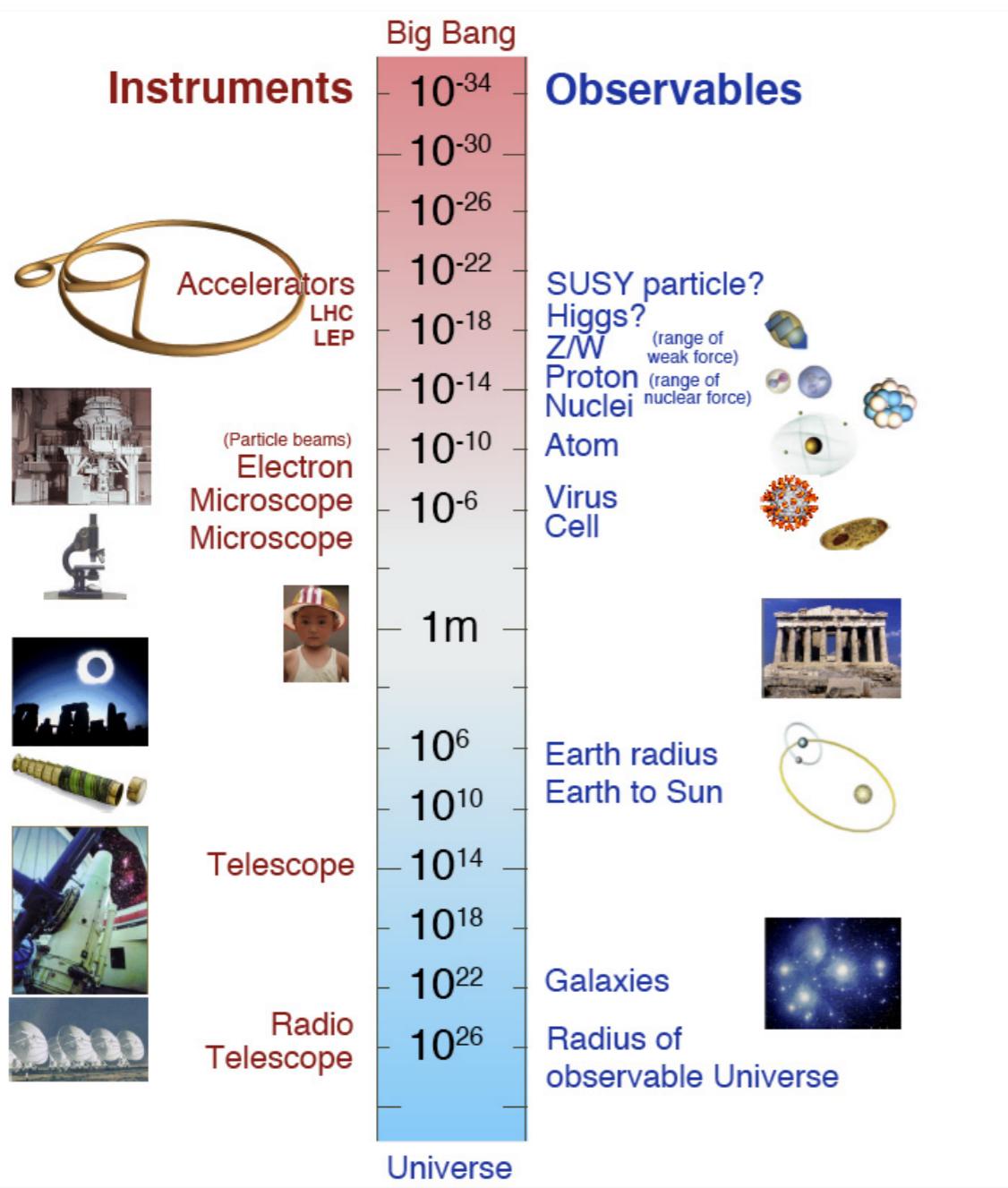
... e la loro amica Penny vorrebbe essere un'attrice ma al momento vende torte al formaggio...

It's complicated...



# La scala dei fenomeni e' importante

$$10^{-33} \text{ cm} \leftrightarrow 10^{+28} \text{ cm}$$



- Gli umani sono adatti a percepire scale dai mm ai km
- La scala dei fenomeni richiede la selezione di uno strumento adatto: microscopi, telescopi, interferometri (LHC, Hubble, Virgo)
- VIRGO:  $10^{-18}$  m (1/1000 del diametro di un protone!)
- Per il lavoro teorico si tratta di scegliere la matematica adatta**

$1 \text{ googol} = 10^{100}$  (da cui Larry Page e Sergey Brin scelsero il nome Google nel 1997)

$10^{80}$  numero di particelle elementari nell'universo

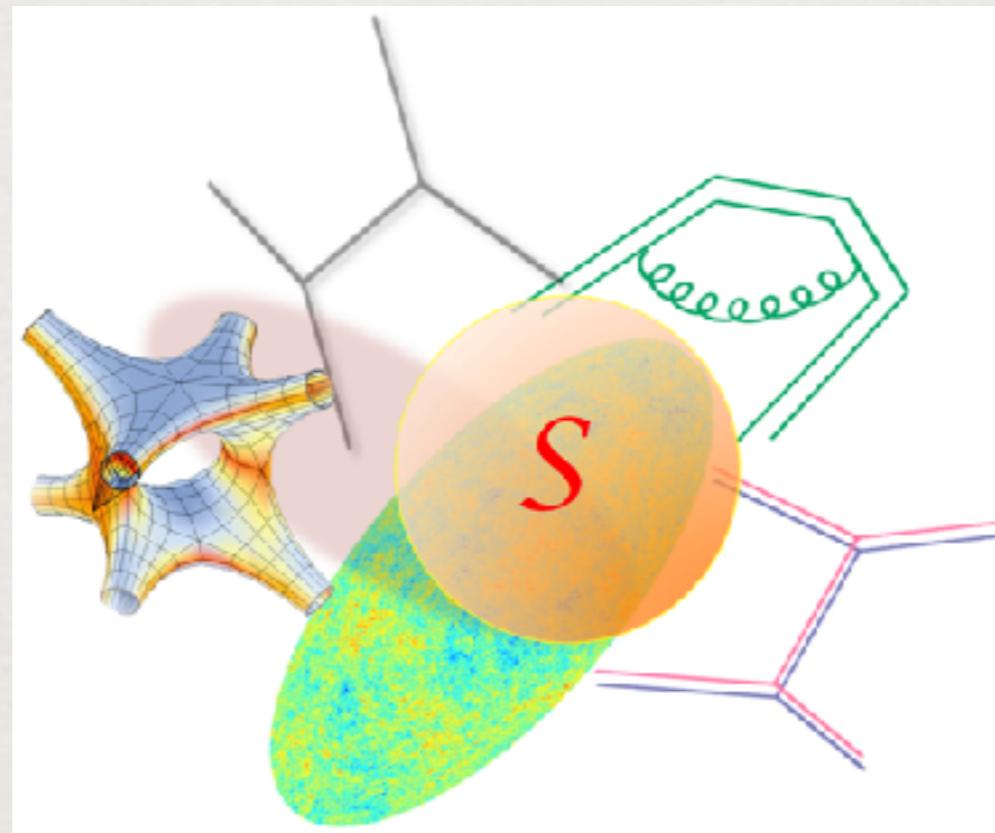
BIO

## *breve Bio*

- ✿ *Laureato nel 1952 presso questo Dipartimento*
- ✿ *aveva conseguito il Ph D a Rochester (USA) e trascorso un periodo di ricerca con Heisenberg all'Istituto Max Planck di Monaco, per poi tornare a Torino nel 1961 come professore ordinario sulla cattedra di Relatività che ha ricoperto per oltre trent'anni.*
- ✿ *Fra il 1979 e il 1982, ha servito come Direttore dell'allora Istituto di Fisica Teorica.*
- ✿ *E' stato a lungo membro dell'Institute for Advanced Studies di Princeton dove, giovanissimo, era stato chiamato da Oppenheimer in seguito alla sua prima grande invenzione nell'ambito dei processi di urto fra particelle ad alte energie.*

# *Le sue importanti scoperte*

*Introducendo momenti angolari complessi ed i “**poli di Regge**” nella matrice che codifica l’urto fra particelle, si svelavano le relazioni fra gli stati legati del sistema ed il comportamento a potenza delle ampiezze di diffusione.*



*Quest’idea, estesa alle interazioni forti, portò poi all’ampiezza di Veneziano ed ai modelli duali, reinterpretati in seguito come teorie di stringa.*

# *Tullio andava oltre...*

[Il Nuovo Cimento \(1955-1965\)](#)

December 1959, Volume 14, Issue 5, pp 951-976

## Introduction to complex orbital momenta

Authors

[Authors and affiliations](#)

T. Regge

Article

First Online: 23 October 2007

DOI: [10.1007/BF02728177](https://doi.org/10.1007/BF02728177)

Cite this article as:

Regge, T. *Nuovo Cim.* (1959) 14: 951.  
doi:[10.1007/BF02728177](https://doi.org/10.1007/BF02728177)

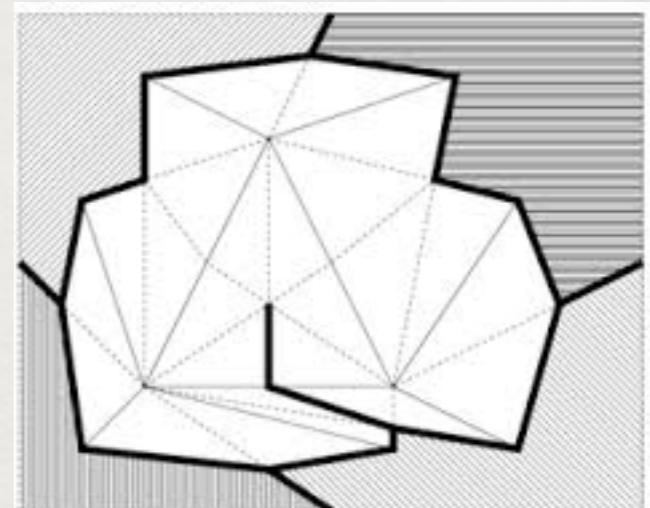
551  
Citations

1  
Shares

240  
Downloads

### Summary

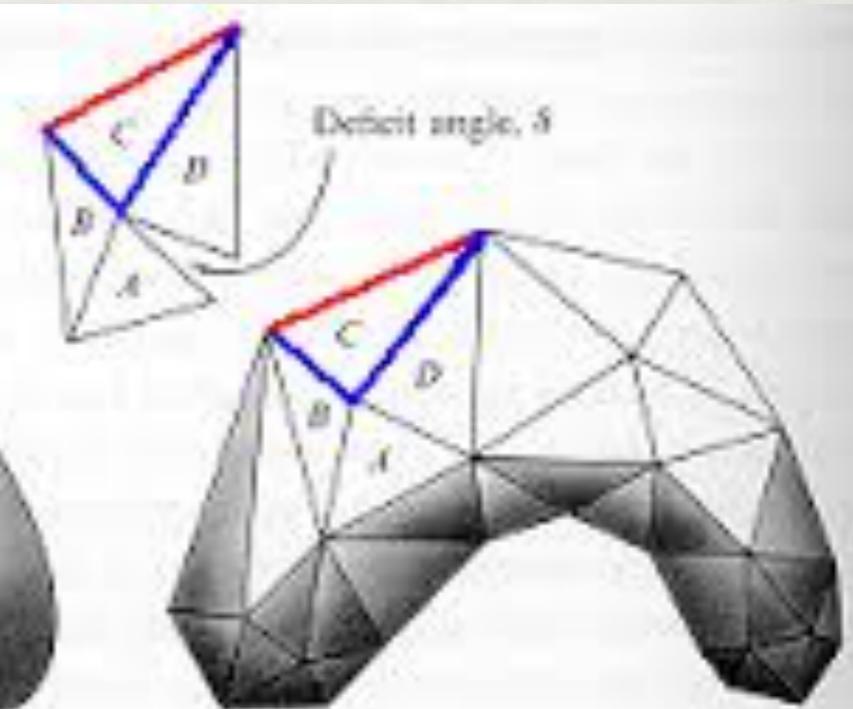
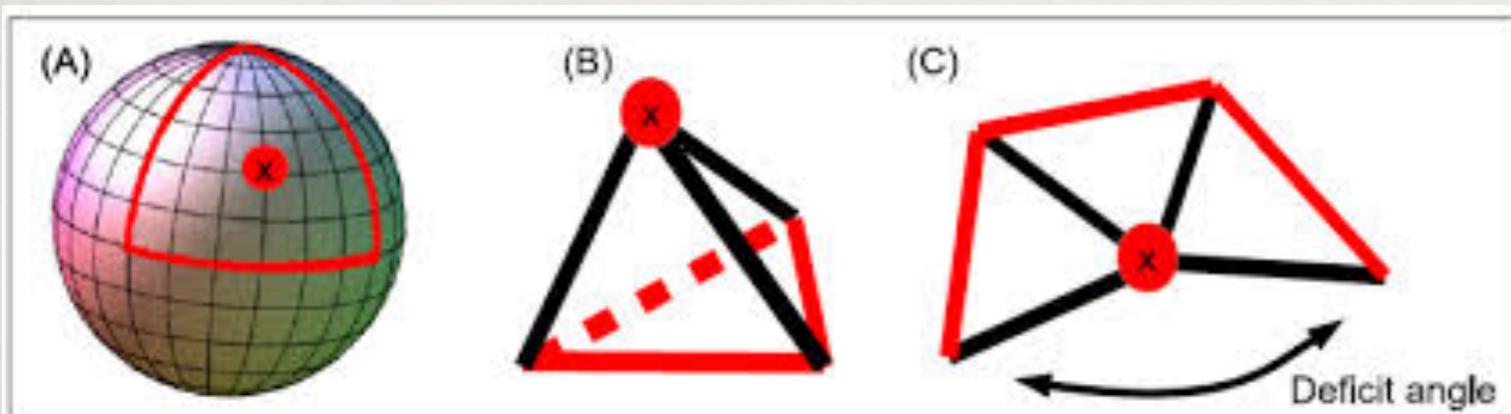
In this paper the orbital momentum  $j$ , until now considered as an integer discrete parameter in the radial Schrödinger wave equations, is allowed to take complex values. The purpose of such an enlargement is not purely academic but opens new possibilities in discussing the connection between potentials and scattering amplitudes. In particular it is shown that under reasonable assumptions, fulfilled by most field theoretical potentials, the scattering amplitude at some fixed energy determines the potential uniquely, when it exists. Moreover for special classes of potentials  $V(x)$ , which are analytically continuable into a function  $V(z)$ ,  $z=x+iy$ , regular and suitable bounded in  $x > 0$ , the scattering amplitude has the remarkable property of being continuable for arbitrary negative and large cosine of the scattering angle and therefore for arbitrary large real and positive transmitted momentum. The range of validity of the dispersion relations is therefore much enlarged.



$$i = \sqrt{-1}$$

# *Le sue importanti scoperte*

*All'inizio degli anni Sessanta, inventò un approccio completamente nuovo alla relatività generale, basato su una ‘discretizzazione’ dello spazio-tempo, che immaginava tappezzato di poliedri quadridimensionali: il “calcolo di Regge” è usato ancora oggi per risolvere le equazioni di Einstein in sistemi ove la mancanza di simmetria preclude soluzioni analitiche.*



# *Le sue importanti scoperte*

*Con John Wheeler compì studi fondamentali sulla **stabilità dei buchi neri**.*

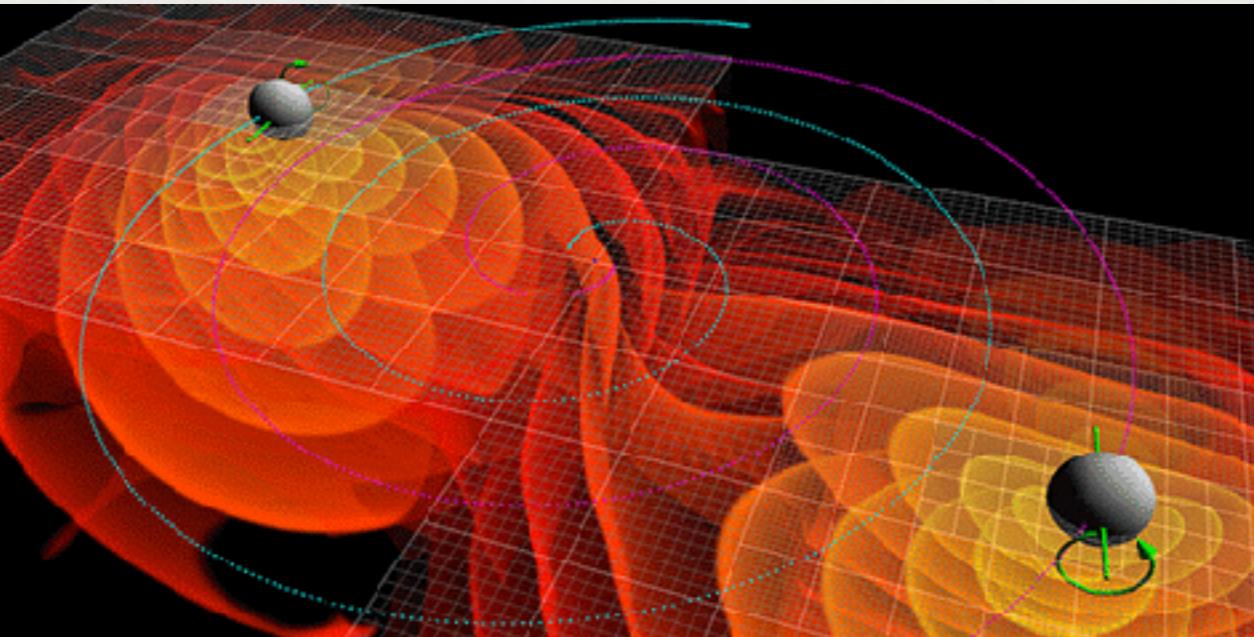
$$\partial_t^2 \Phi_{s,l} + (-\partial_x^2 + V_{s,l}) \Phi_{s,l} = 0$$

**Equazione di Regge-Wheeler**

*Questa magica equazione è tutt'oggi alla base dei calcoli che vengono fatti per identificare le sorgenti di **onde gravitazionali** che osserviamo dopo la grande scoperta dell'anno scorso*



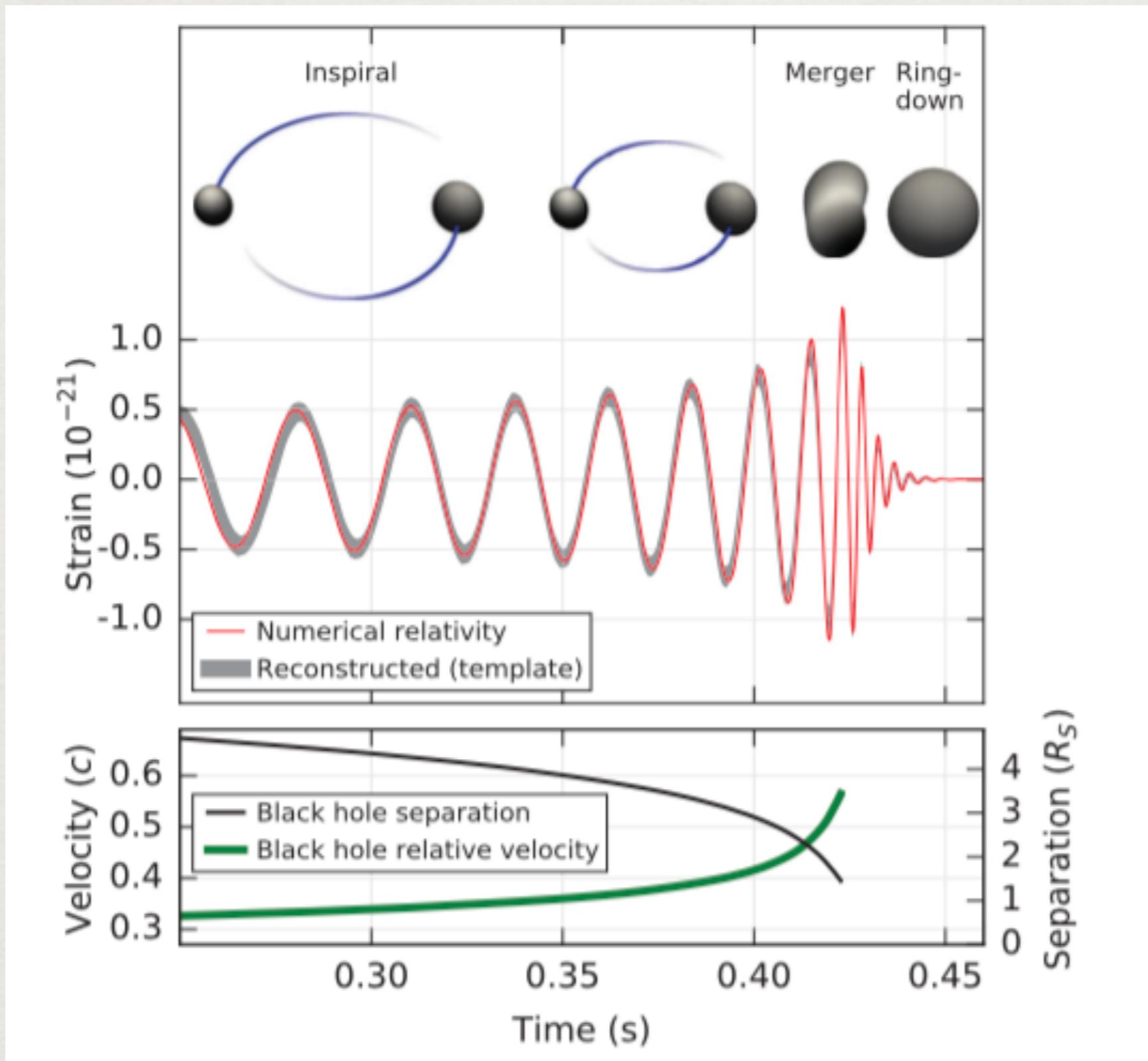
# *II febbraio 2016: annunciata la scoperta delle Onde Gravitazionali*



**GW140915**: increspature dello **spaziotempo** stesso predette dalla teoria della Relativita' Generale di Einstein nell'anno del suo centenario.

Emesse dal meccanismo con cui due **buchi neri** di circa 30 masse solari si sono fusi insieme, dopo aver roteato l'uno attorno all'altro. Ne e' risultata una perturbazione dello spaziotempo che ha colpito il nostro pianeta ed e' stata rivelata dagli strumenti dell'interferometro **Ligo**, del tutto simile al nostro apparato **Virgo** che ora si integrera' con Ligo in una rete di interferometri ad altissima sensibilita'.

# *GW150914: scoperti i buchi neri*



# *Il segnale di GW150914*

A catalog of 171 high-quality binary black-hole simulations for gravitational-wave astronomy [PRL 111 (2013) 241104]

Abdul H. Mroué,<sup>1</sup> Mark A. Scheel,<sup>2</sup> Béla Szilágyi,<sup>2</sup> Harald P. Pfeiffer,<sup>1</sup> Michael Boyle,<sup>3</sup> Daniel A. Hemberger,<sup>3</sup> Lawrence E. Kidder,<sup>3</sup> Geoffrey Lovelace,<sup>4,2</sup> Sergei Ossokine,<sup>1,5</sup> Nicholas W. Taylor,<sup>2</sup> Anıl Zenginoğlu,<sup>2</sup> Luisa T. Buchman,<sup>2</sup> Tony Chu,<sup>1</sup> Evan Foley,<sup>4</sup> Matthew Giesler,<sup>4</sup> Robert Owen,<sup>6</sup> and Saul A. Teukolsky<sup>3</sup>

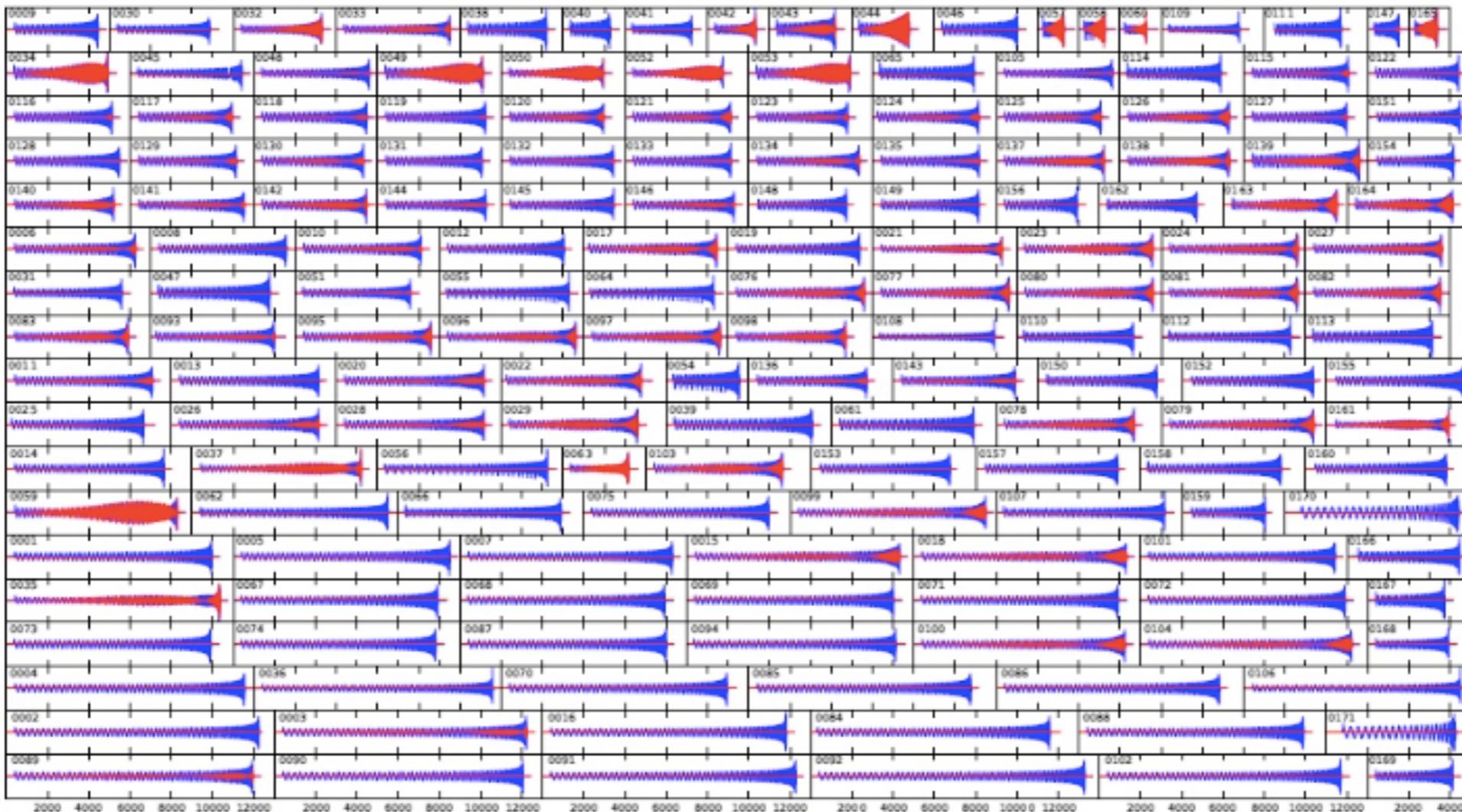


FIG. 3: Waveforms from all simulations in the catalog. Shown here are  $h_+$  (blue) and  $h_x$  (red) in a sky direction parallel to the initial orbital plane of each simulation. All plots have the same horizontal scale, with each tick representing a time interval of  $2000M$ , where  $M$  is the total mass.

• [www.blackholes.org](http://www.blackholes.org)

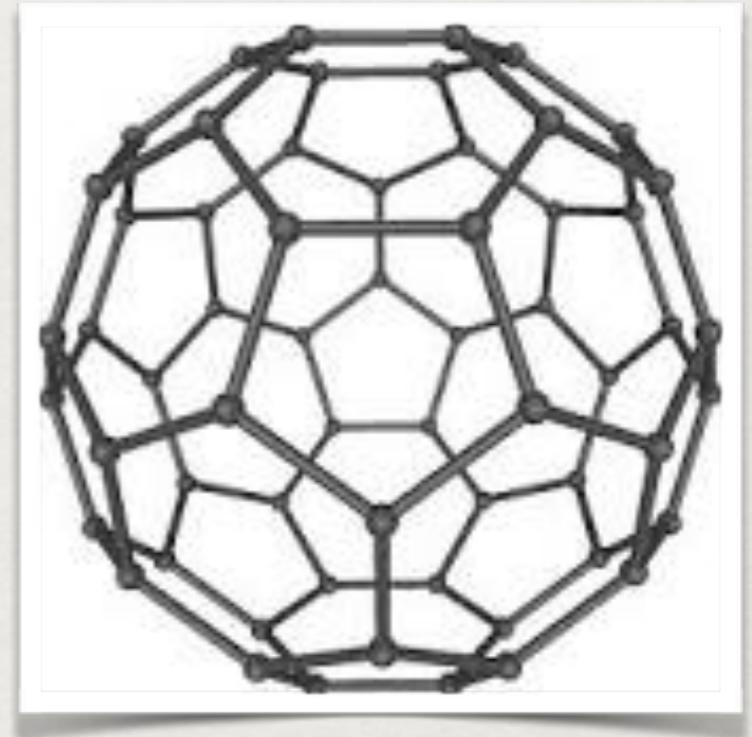
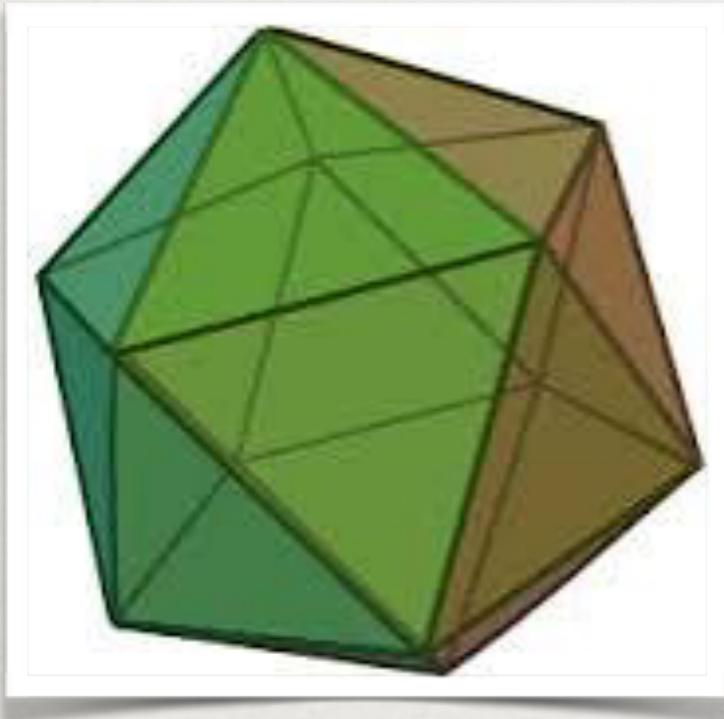
# *Il segnale di GW150914*



Occorre trovare il modello di segnale giusto con calcoli analitici e simulazioni numeriche

## *Le sue importanti scoperte*

*Poi analizzò le proprietà di sistemi quantistici vincolati, vortici quantistici ed anche le simmetrie matematiche di molecole a forma icosaedrica ben prima che venisse scoperto il **fullerene**.*



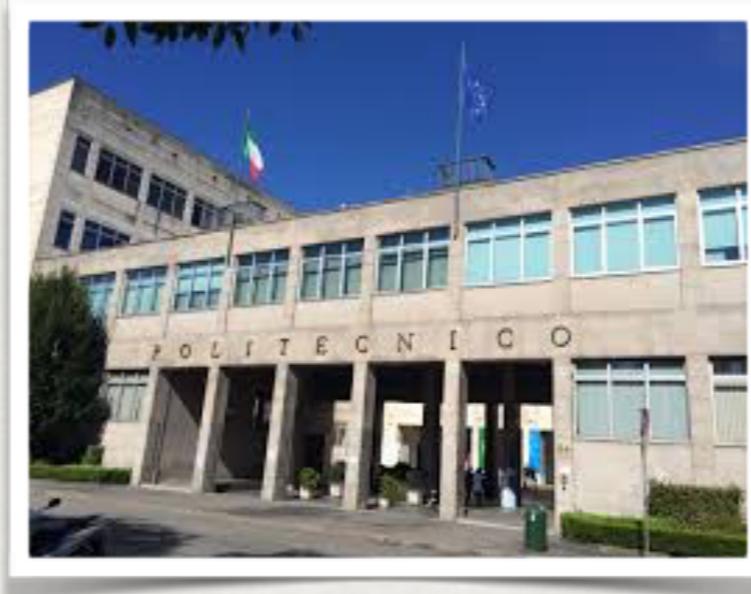
*Tornato a Torino nei primi anni '80, fondò una scuola di approccio geometrico alla (super)-**gravità** attiva ancora oggi e lavorò estesamente su modelli semplificati della gravità quantistica in 2+1 dimensioni.*

*Trascorse estesi periodi come visiting scientist al CERN.*

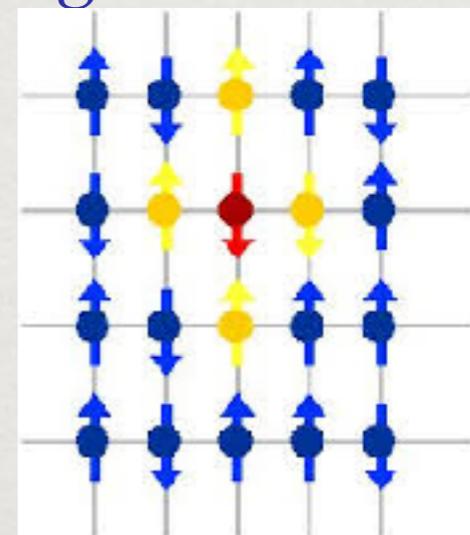
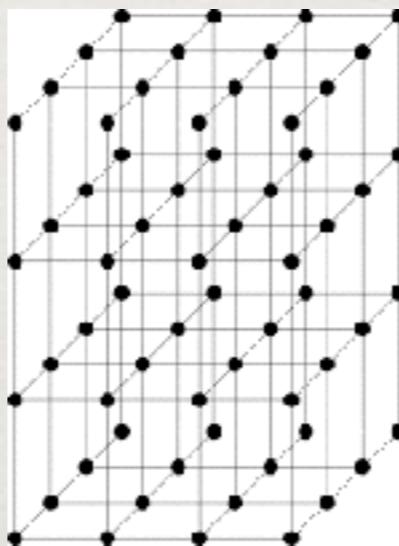
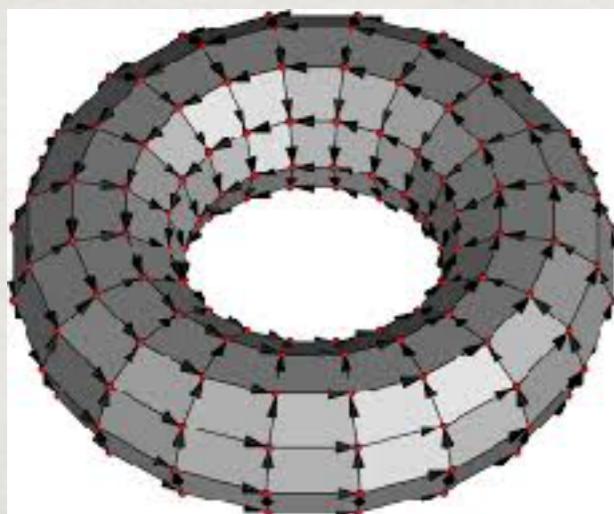


## *Le sue importanti scoperte*

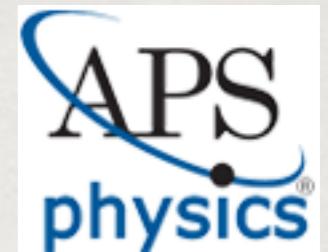
Regge ha trascorso l'ultima parte della sua carriera scientifica al **Politecnico di Torino**, tornando dove, per volere del padre, aveva iniziato come studente di Ingegneria.



Lì si era dedicato con entusiasmo allo studio di **modelli statistici** inattaccabili, come Ising 3-dimensionale, che definiva innovativamente attraverso un reticolo bidimensionale di genere topologico elevato.



# *Numerosi riconoscimenti*



*A riconoscimento dei suoi contributi scientifici Regge è stato insignito di numerosi premi, fra cui:*

- ✿ **Premio Heineman** per la Fisica Matematica nel 1964,
- ✿ **Medaglia Cecil Powell** nel 1987,
- ✿ **Premio Einstein** nel 1979 e
- ✿ **Medaglia Dirac** dell'ICTP nel 1996

✿ .....



# GRAVITAS

*Una grande passione: capire la gravità*



*T'las fait al blu pum!*  
(Regge parlava 8 lingue, incluso il Piemontese!)

# *2017: Problemi della gravità oggi*

- ★ **Onde gravitazionali:** una nuova vista sulla natura
- ★ Come catturarle?
- ★ Test di precisione della **Relatività Generale**
- ★ Il lato **quantistico** della **gravità**
- ★ **Dimensioni extra?** Le cerchiamo da 20 anni
- ★ George Lemaître: un prete e astronomo belga che dialogava con Einstein, padre del **Big Bang**



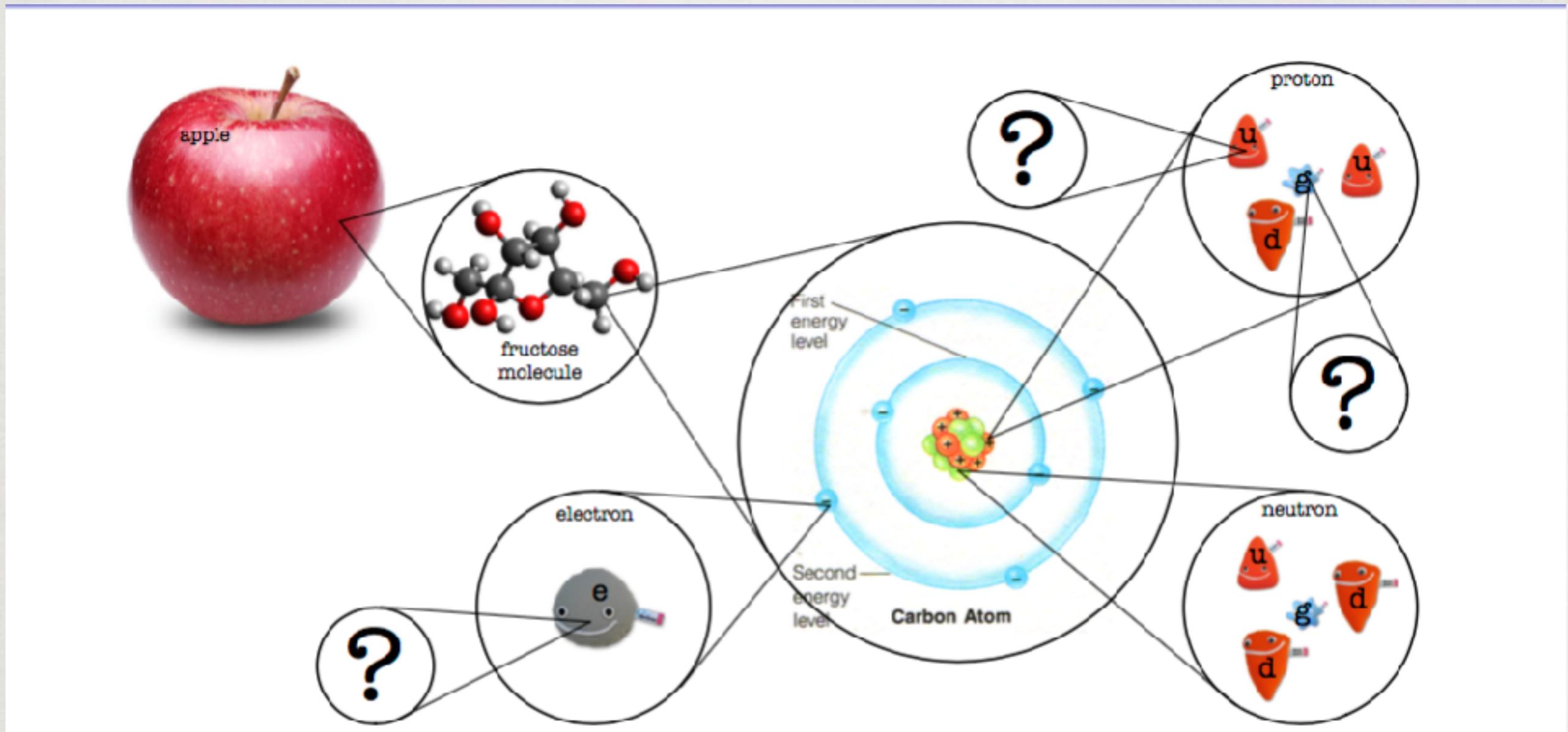


*Tutto cio' che sappiamo sull'Universo oggi e' racchiuso in due Modelli Standard che codificano la **Fisica delle Particelle** e la **Cosmologia**.*

*Pur offrendo un'ottima descrizione dei fenomeni osservati negli esperimenti, essi pero' lasciano ancora aperte le risposte a molte domande fondamentali sulla **materia**, lo **spazio** ed il **tempo**.*

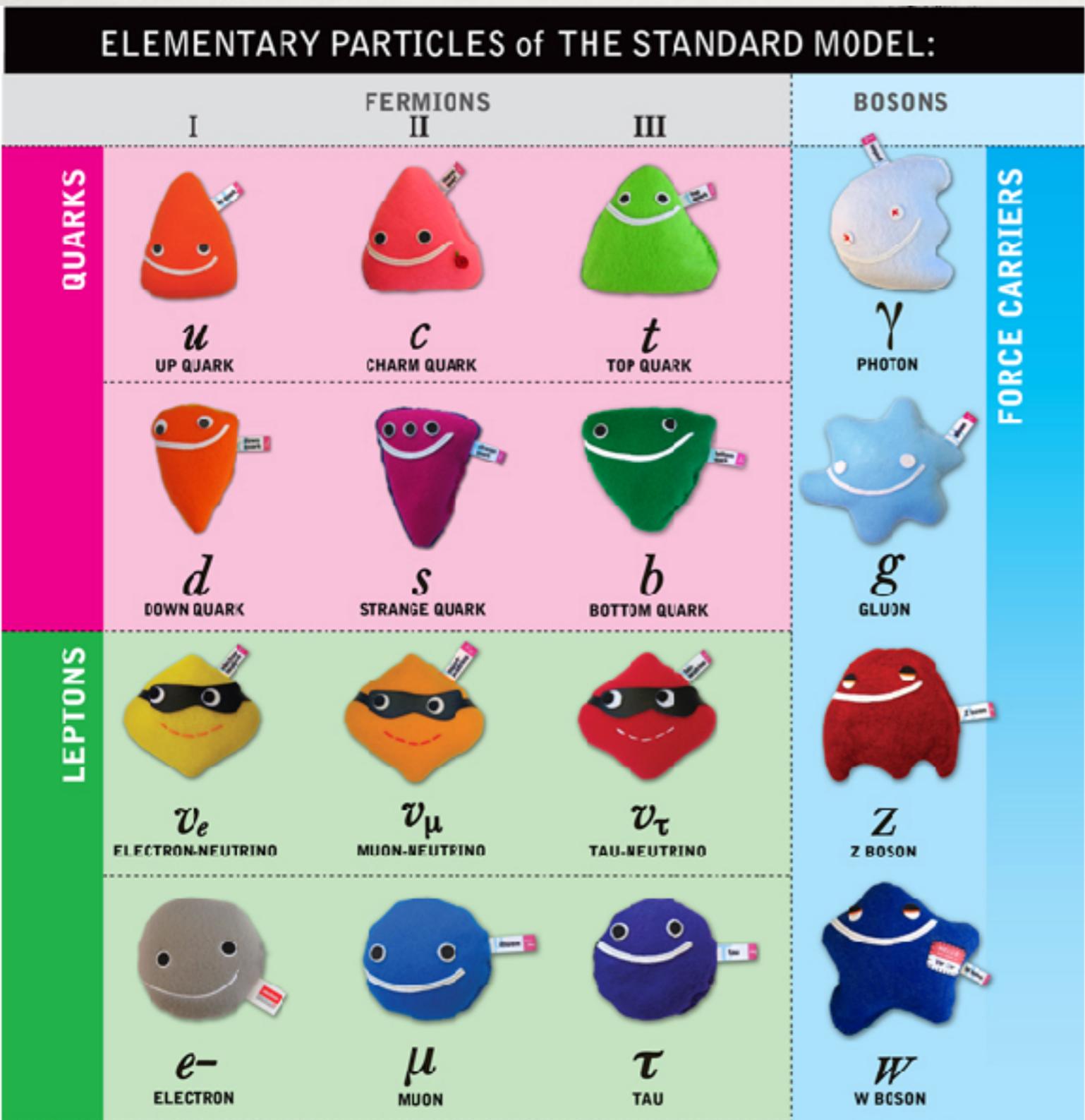
*Un grande quesito oggi riguarda come combinare la Meccanica Quantistica con la Relatività di Einstein.*

# *La struttura subatomica*





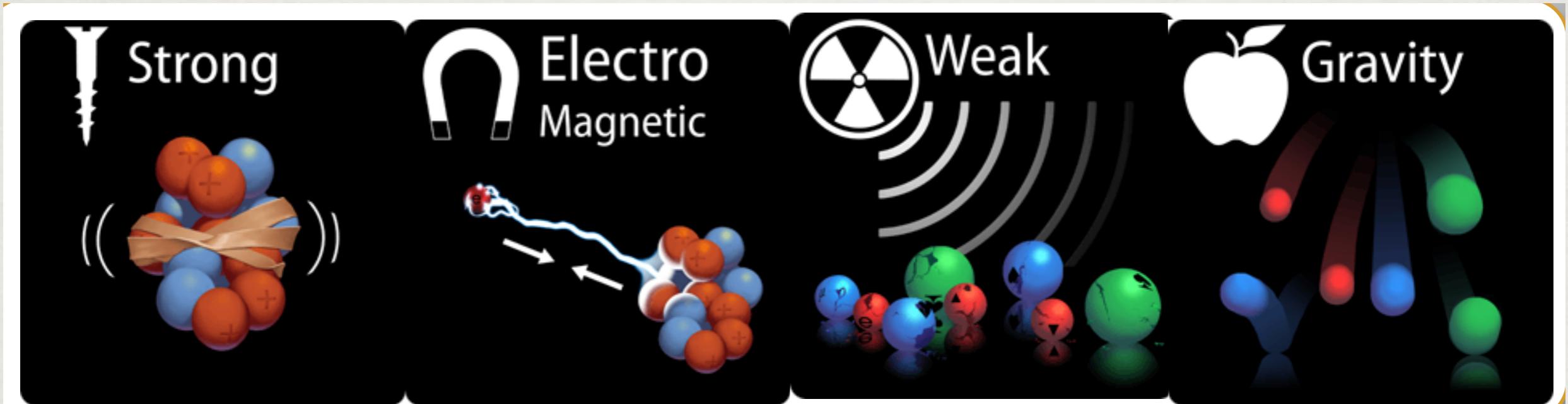
# ..Il Modello Standard delle particelle elementari



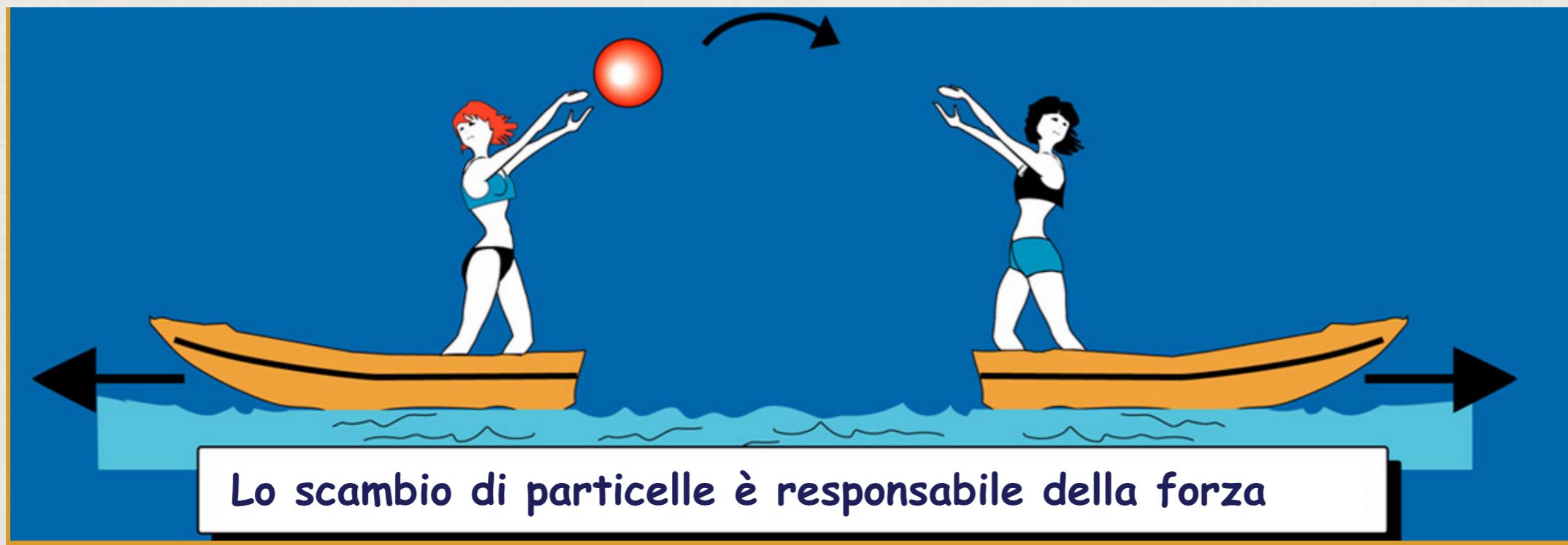
Le **particelle elementari** si distinguono per 3 quantita' su cui tutti gli osservatori concordano:

- **massa a riposo**
- **spin intrinseco**
- **carica** (elettrica, colore,...)
- Lo spin può essere intero (BOSONI) o semi-intero (FERMIONI).
- La materia e' fatta di fermioni mentre i messaggeri delle forze sono bosoni.

# Oltre alle particelle della materia, ci servono le FORZE !



Anche alle forze sono associate delle particelle



# *La gravità: il problema delle due masse*

- La legge d'inerzia: i corpi sono o in **quieta**, o in **moto rettilineo uniforme**, o subiscono una **accelerazione** per la presenza di **FORZE**
- Noi osserviamo i fenomeni e classifichiamo le forze
- Non tutte le forze sono fondamentali (es. attrito)
- Einstein: massa inerziale=massa gravitazionale, primo esempio di unificazione delle forze

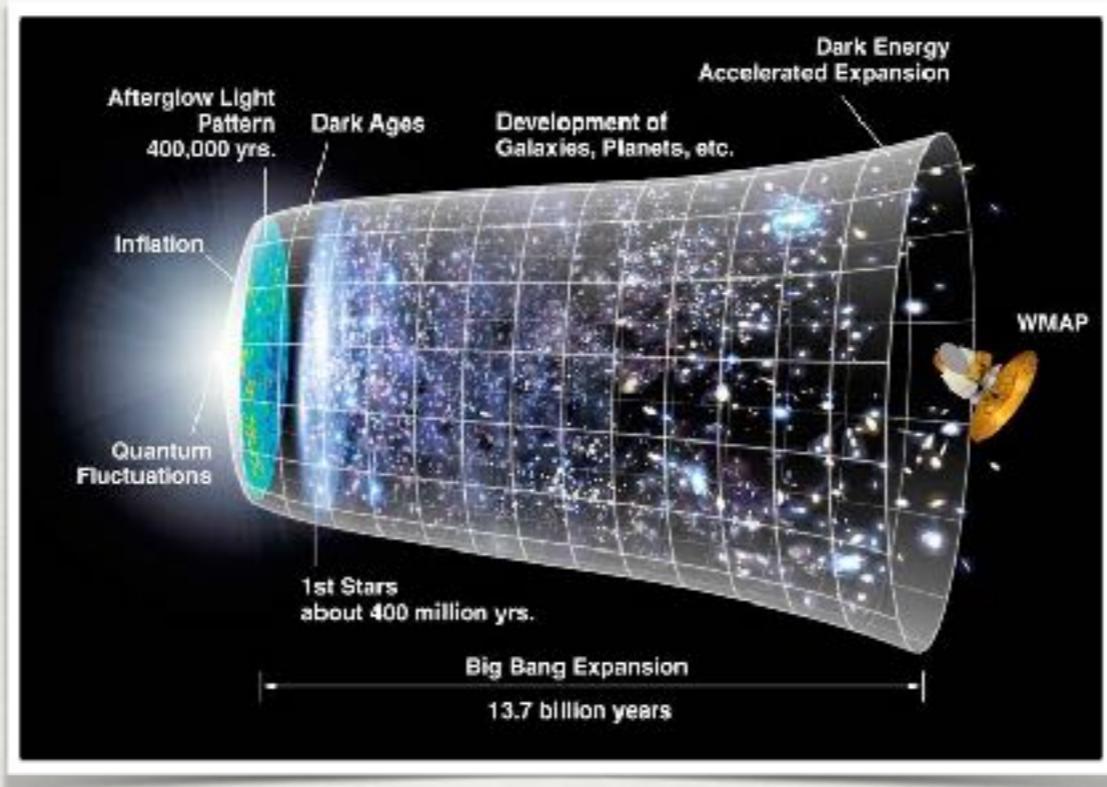
$$\vec{F} = m \vec{a}$$

$$m \vec{a} = m \vec{g} - \gamma \vec{v}$$



$$F_{\text{grav}} = -\frac{G_N M m}{r^2}$$

# *Il modello standard cosmologico*



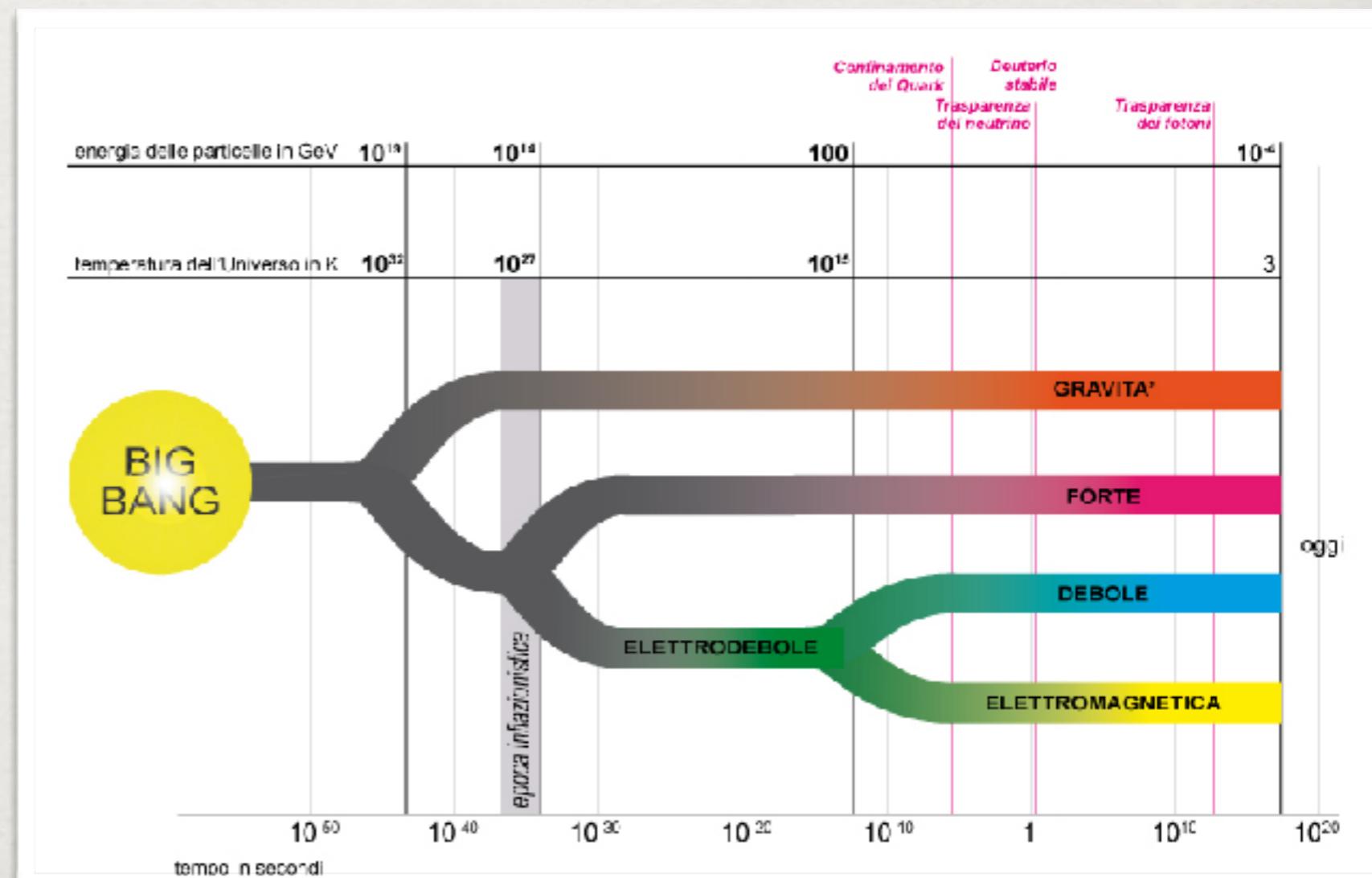
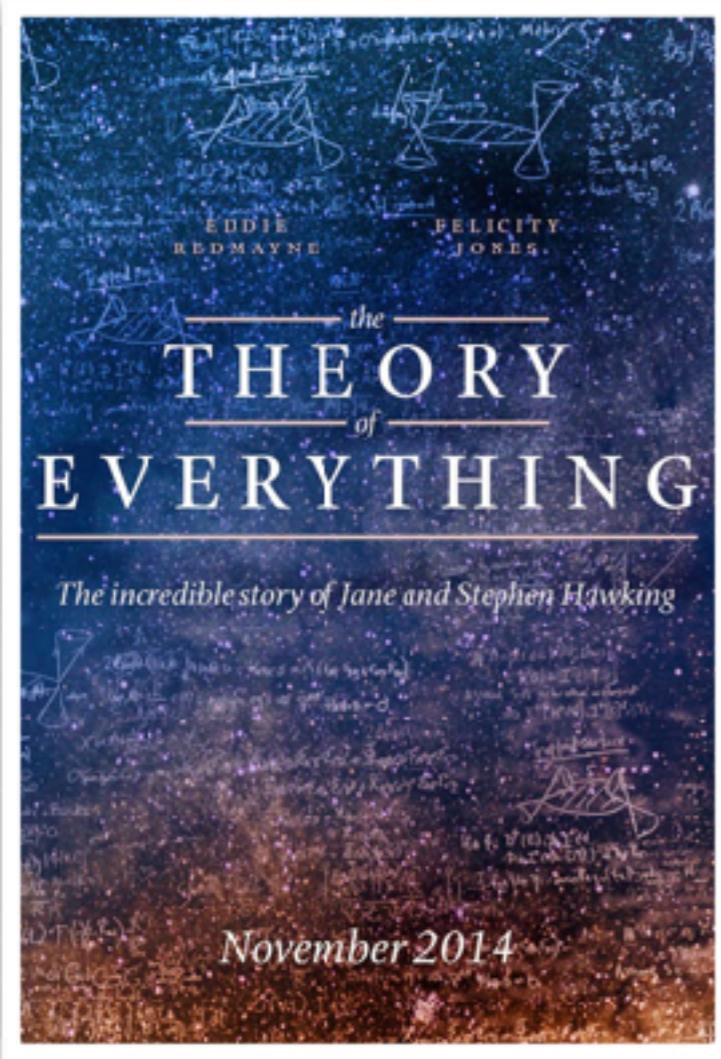
Tutta la **Cosmologia** moderna si basa su due principi/osservazioni:

- ➊ **UNIFORMITA'**: L'Universo e' uguale dappertutto (omogeneo), almeno sulla scala di miliardi di anni luce
- ➋ **LA LEGGE DI HUBBLE**: le galassie si allontanano le une dalle altre con una velocità che è proporzionale alla loro distanza.
- ➌ Big Bang , universo in espansione,...

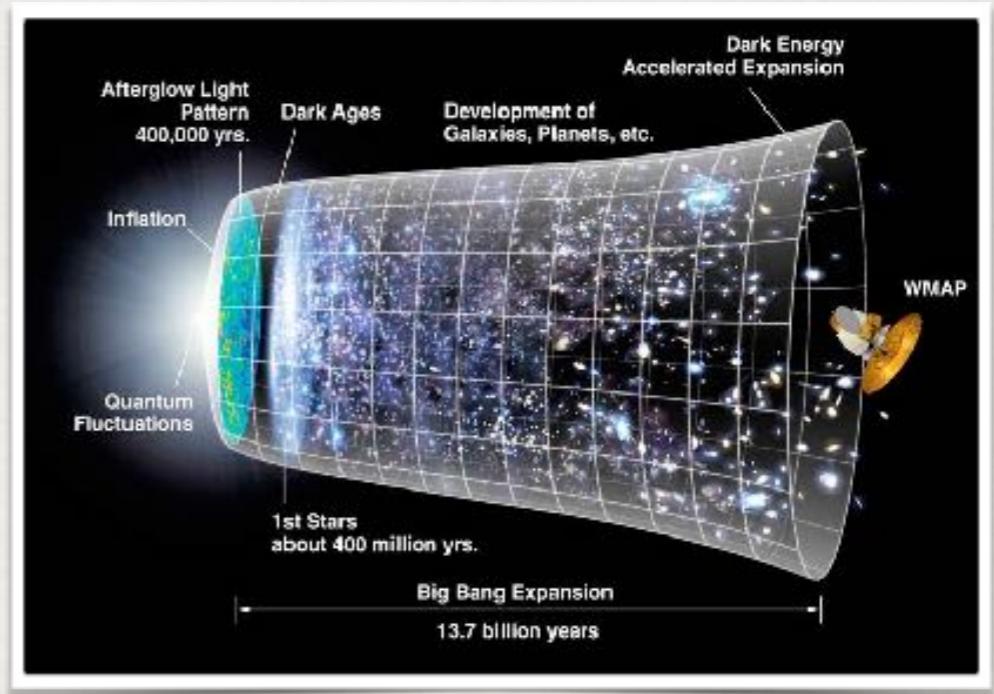
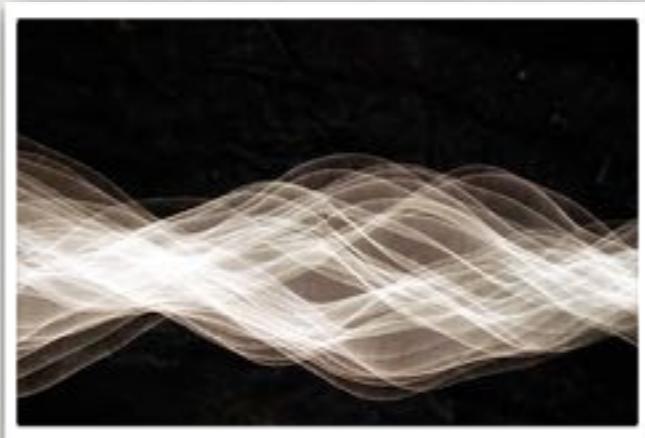
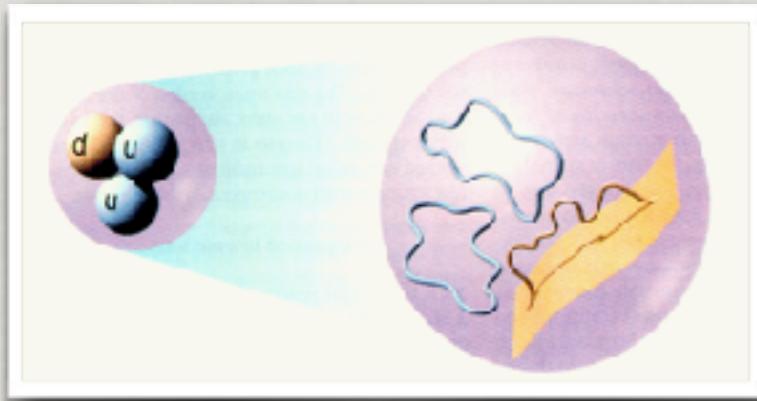
# *La teoria del tutto*

Uno degli scopi della fisica è di riportare teorie che sembrano non collegate tra loro ad un'unica e semplice **teoria unificata**.

Il vantaggio di una **teoria unificata** è che essa offre una spiegazione più elegante dei dati e può indicare soluzioni ai problemi del Modello Standard.

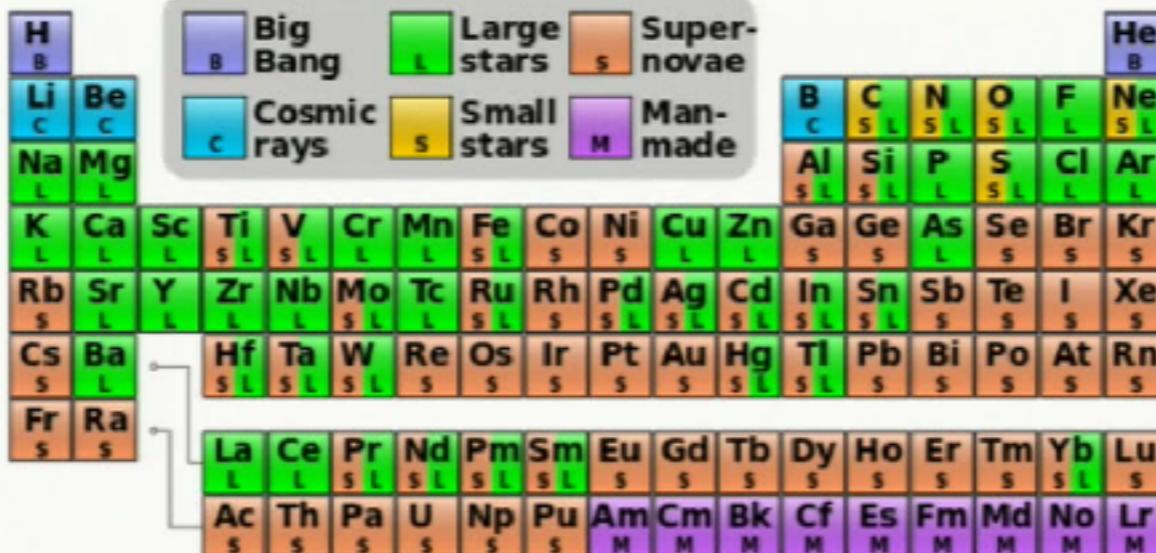


# *La teoria delle stringhe*



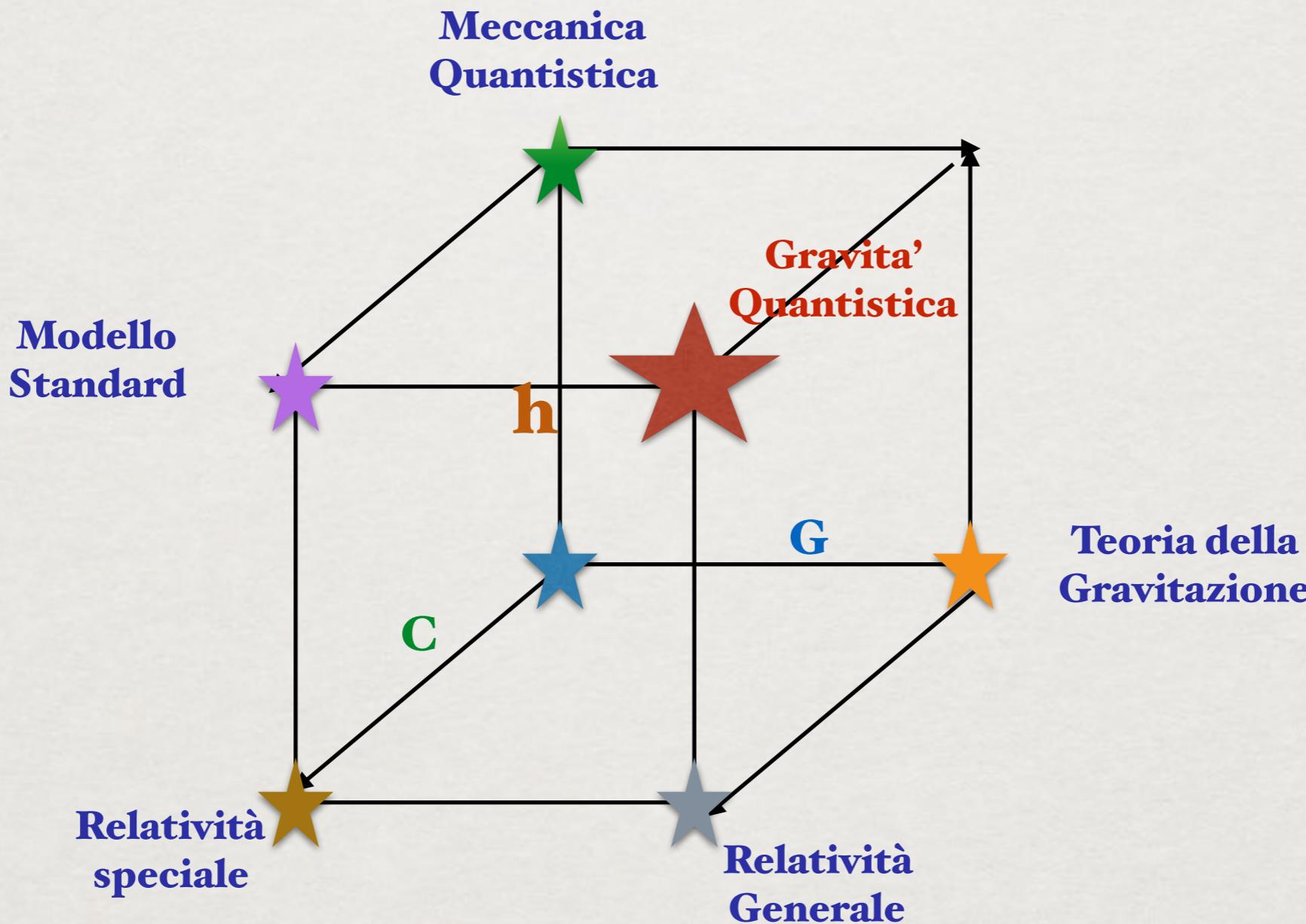
- ★ Schema quantistico consistente per la descrizione unificata di Modello Standard per le **Particelle Elementari** e **Relativita` Generale**
- ★ Ricca struttura matematica che ha permesso progressi rilevanti sia in **Fisica** sia in **Matematica** pura.
- ★ **Contenitore/laboratorio** per idee e tecniche matematiche innovative riguardo ai problemi fondamentali in Fisica
- ★ *La teoria delle stringhe ha applicazioni alla Fisica delle Particelle, alla Cosmologia e alla Fisica della Materia Condensata.*

# *Il nuovo sistema periodico*



★ (figura di Amanda Peet)

# Il cubo delle interazioni



Hubble eXtreme Deep Field (XDF)

HST • ACS/WFC • WFC3/IR



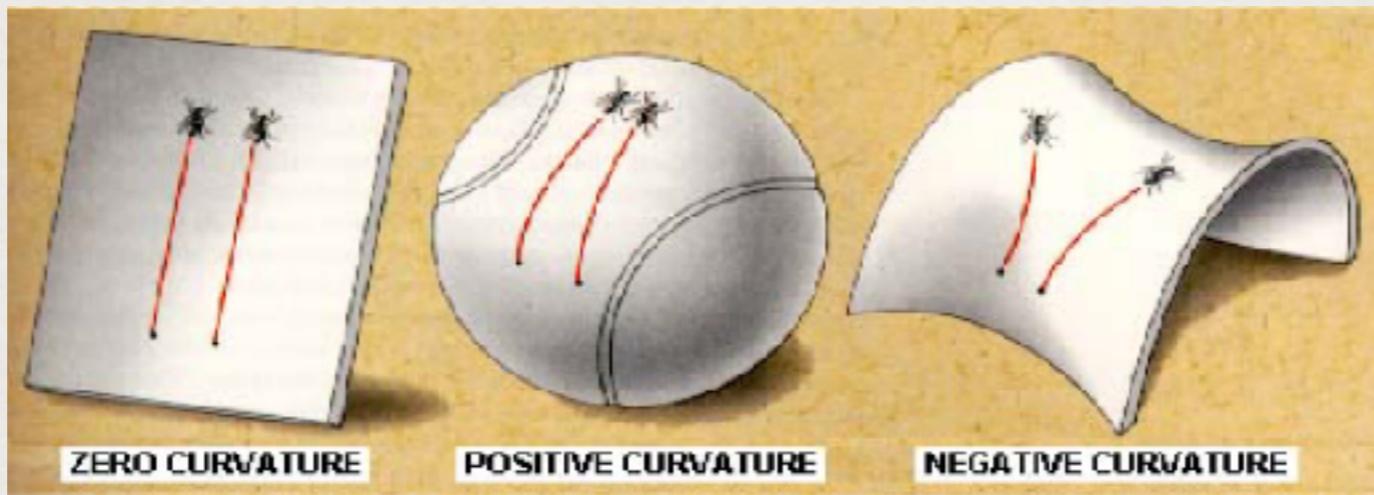
NASA and ESA

STScI-PRC12-37

*Su scala cosmica, la gravita' diventa fondamentale*



# *La metrica*



- ★ Per definire lo spazio scelgo le coordinate x,y,z.
- ★ Serve una ricetta per misurare le distanze :
- ★ La METRICA e' la ricetta che lega la distanza alle coordinate
- ★ Generalizzo il teorema di Pitagora

$$\Delta s^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2 - c^2 \Delta t^2$$

- ★ Posso descrivere anche lo spazio curvo:

$$g_{\mu\nu}(x) = \begin{pmatrix} g_{00}(x) & g_{01}(x) & g_{02}(x) & g_{03}(x) \\ g_{01}(x) & g_{11}(x) & g_{12}(x) & g_{13}(x) \\ g_{02}(x) & g_{12}(x) & g_{13}(x) & g_{23}(x) \\ g_{03}(x) & g_{13}(x) & g_{23}(x) & g_{33}(x) \end{pmatrix}$$

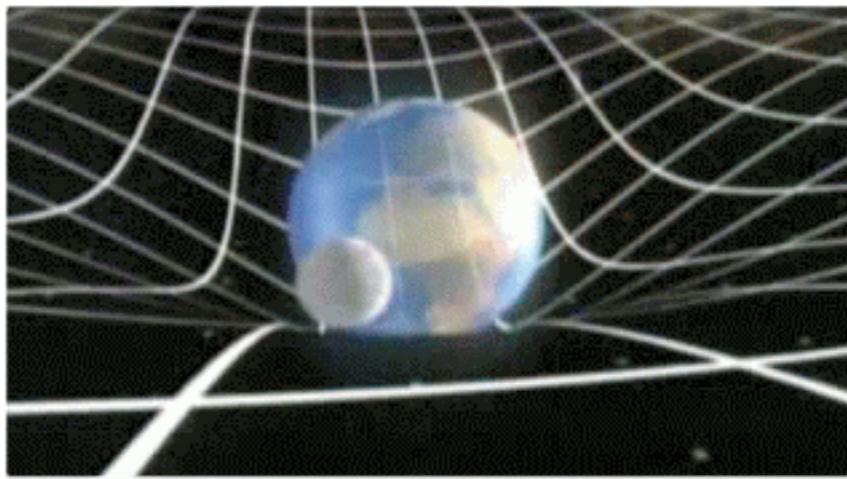
$$ds^2 = g_{\mu\nu}(x) dx^\mu dx^\nu$$

- ★ I corpi si muovono lungo linee di minima lunghezze dette GEODETICHE  
(principio di pigrizia cosmica...)

# *La gravita': da Newton a Einstein*

L'interazione gravitazionale non avviene istantaneamente  
ma attraverso la deformazione dello spazio tempo

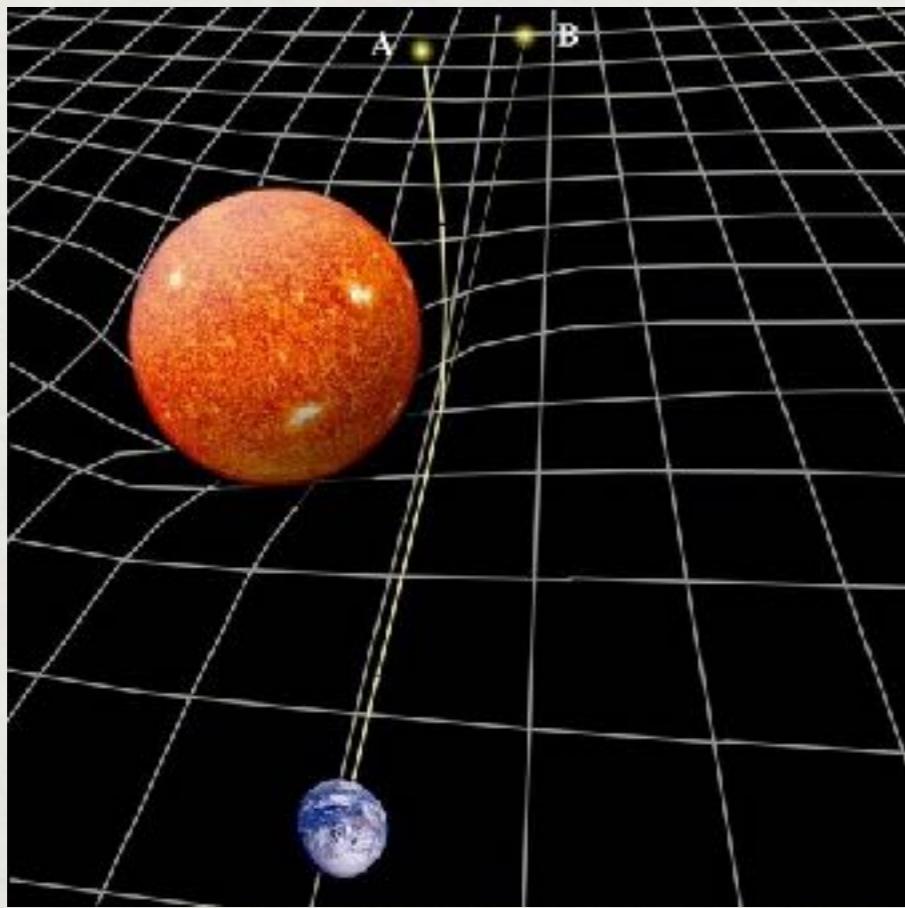
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = 8\pi G_N T_{\mu\nu} - \Lambda g_{\mu\nu}$$



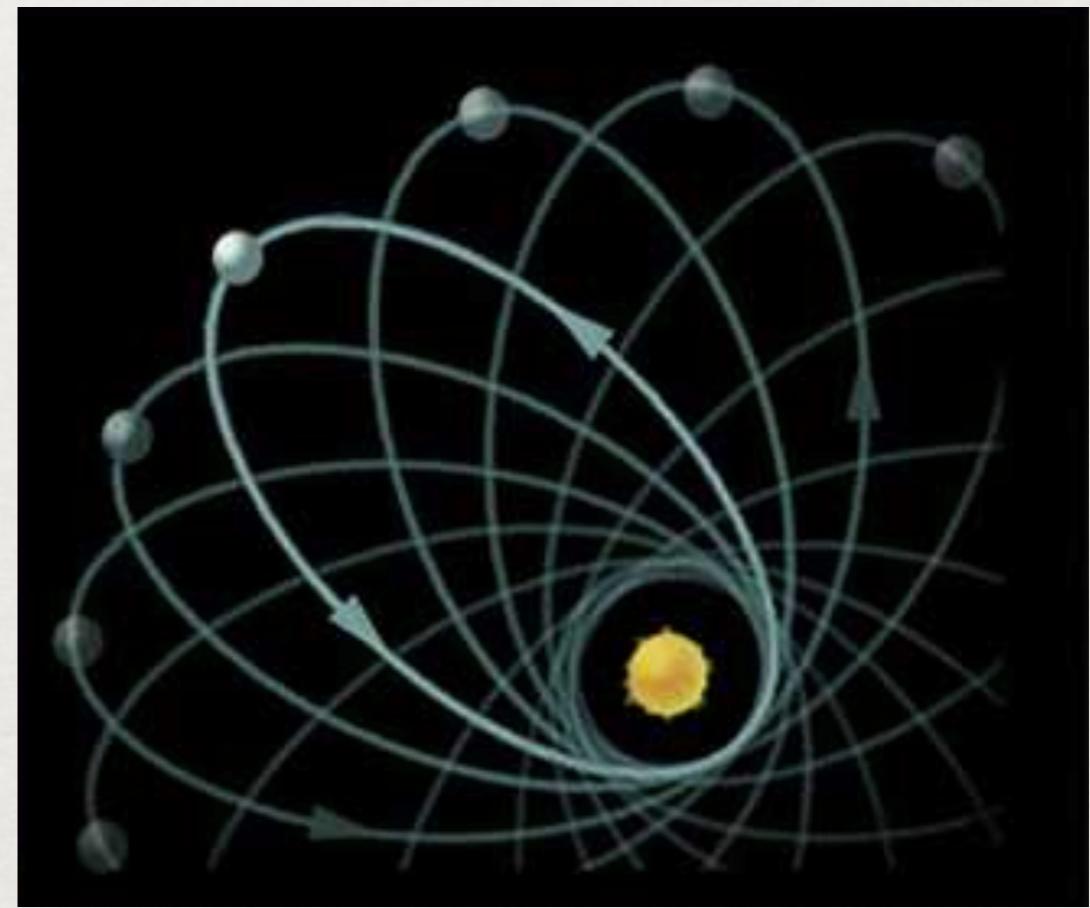
Tristan Savatier - [www.toupiofe.com](http://www.toupiofe.com)

# *Einstein: ottimo accordo con l'osservazione*

La gravità di Einstein descrive perfettamente la natura su grandi scale



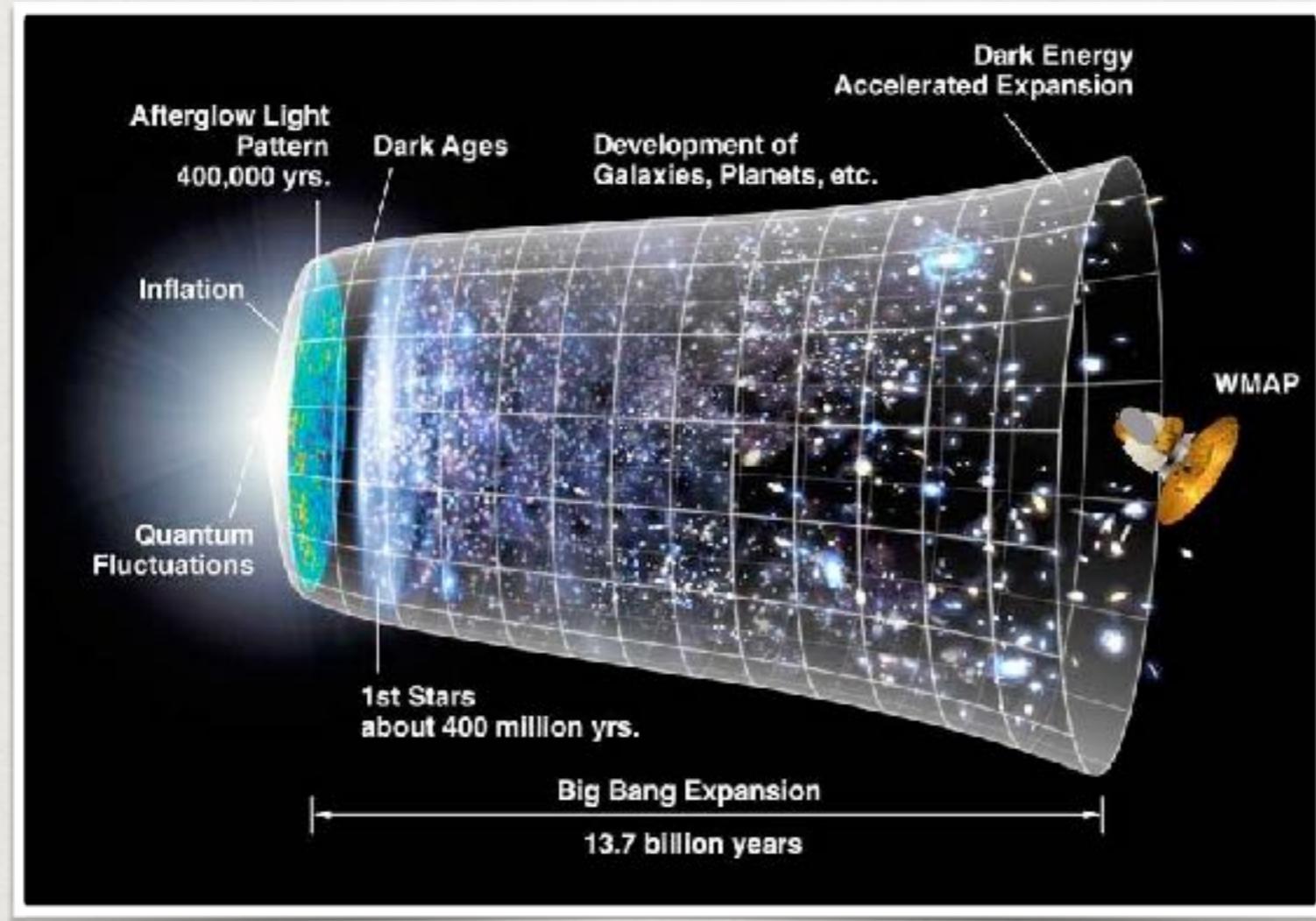
deflessione dei raggi di luce



precessione del perielio di Mercurio

# Einstein: ottimo accordo con l'osservazione

La gravità di Einstein descrive perfettamente la natura su grandi scale



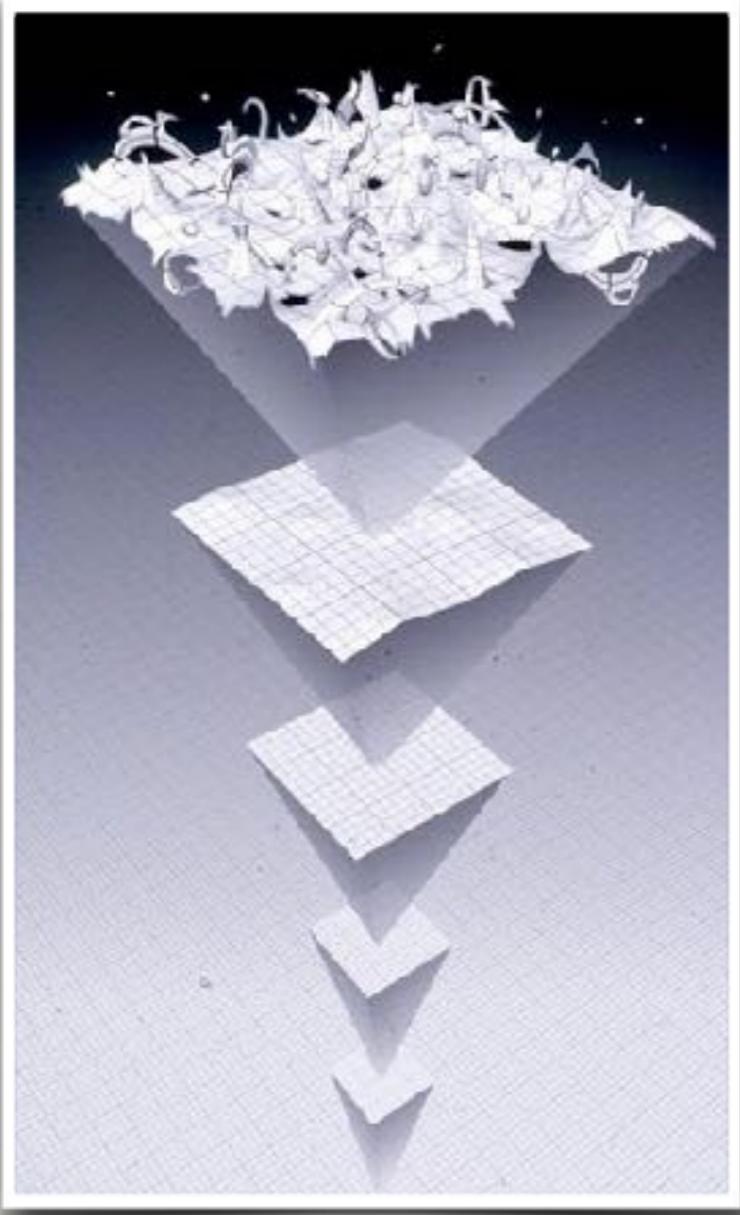
# *Einstein: ottimo accordo con l'osservazione*

La gravità di Einstein è essenziale se non vogliamo sbagliare strada!



Senza la teoria di Einstein  
il GPS commetterebbe un errore  
di qualche km!

## *Einstein: ottimo accordo con l'osservazione*



La forza gravitazionale è descritta dalle *incredibili* *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!

*La Gravità di Einstein  
è incompatibile con  
la Meccanica Quantistica!*

Regge era scettico sull'esistenza di una  
``Teoria del tutto'', diceva piuttosto

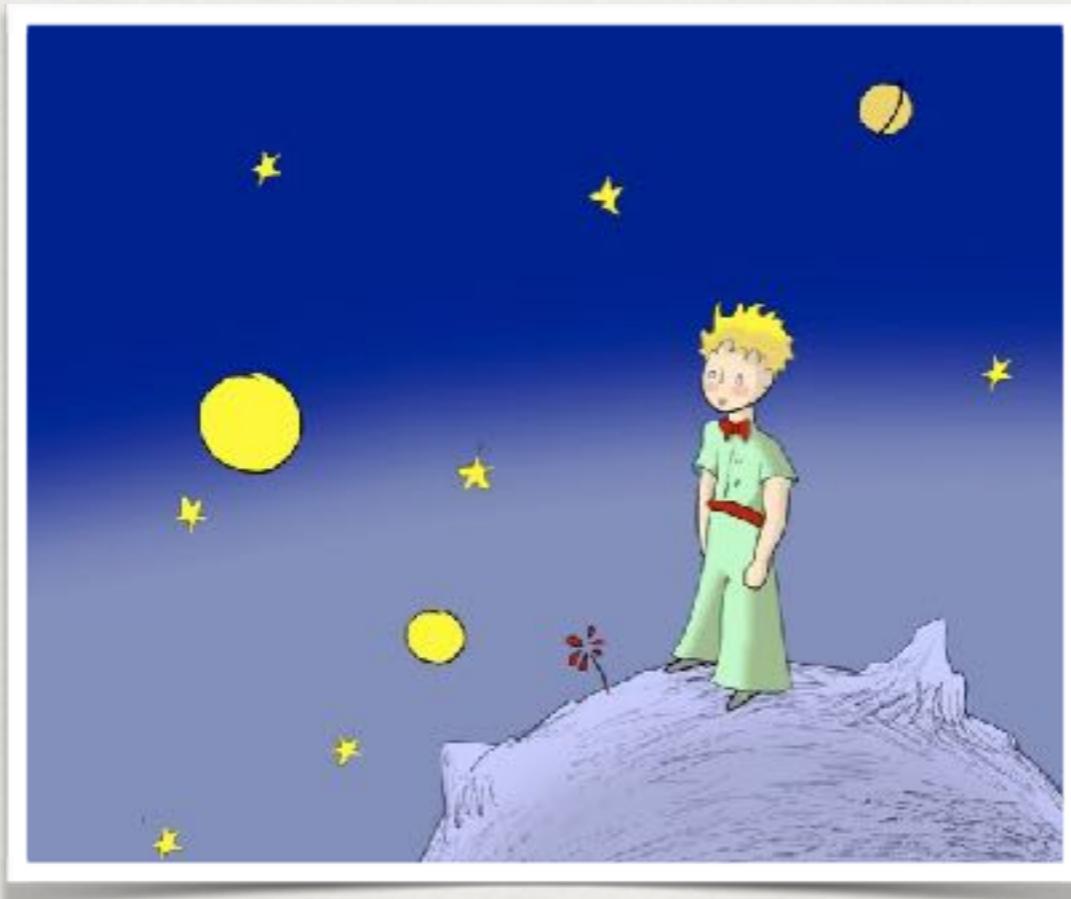
**“Vorrei essere ibernato per 200 anni e  
risvegliarmi in una nuova era dove, grazie  
al progresso negli esperimenti e nella  
teoria, capire la gravità non sia così  
difficile...”**

# *Come evolve la descrizione della gravita'?*

- ★ **Newton:**
- ★ gravita' trasmessa istantaneamente nello spazio,
- ★ spiega in modo unificato fenomeni terrestri e celesti
  
- ★ **Einstein:** nella Relativita' Generale, la gravita' e' data dalla geometria dello spaziotempo.
  
- ★ **Gravita' quantistica???** Serve quando vogliamo esaminare MASSE molto grandi confinate in DISTANZE molto piccole

**BUCHI NERI & BIG BANG !**

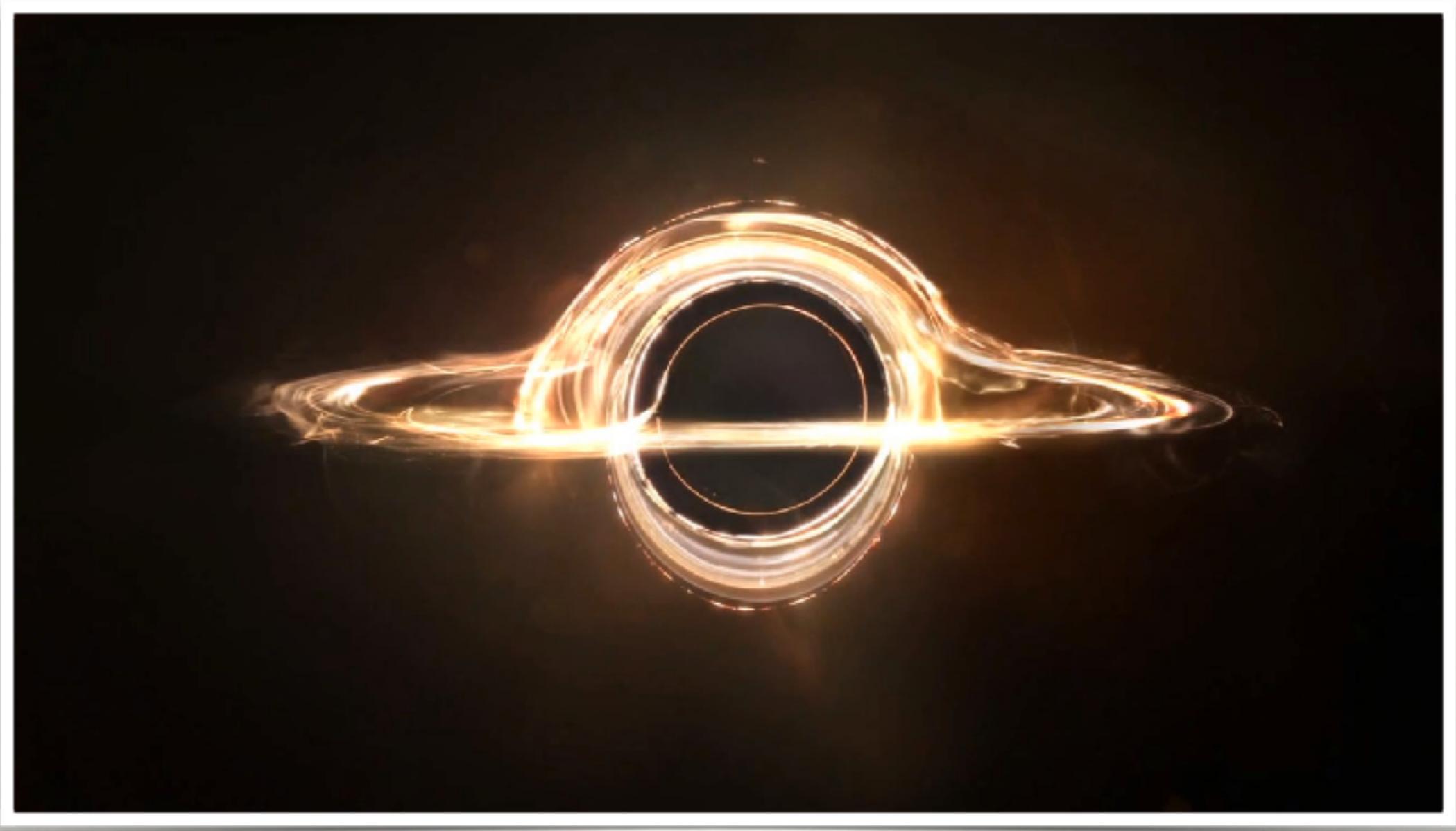
I BUCHI NERI



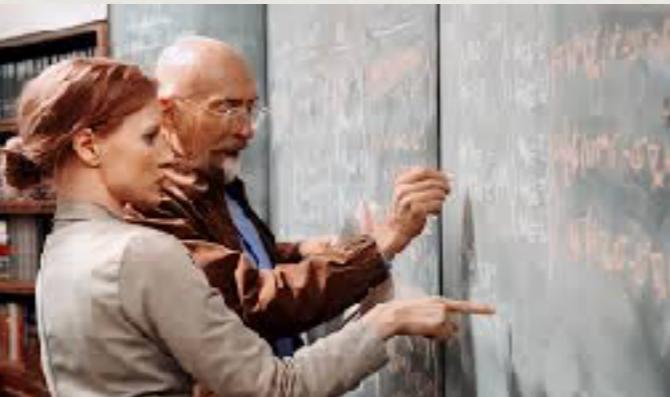
Un buco nero fornisce la palestra intellettuale perfetta per fare esperimenti ideali sulla gravita':

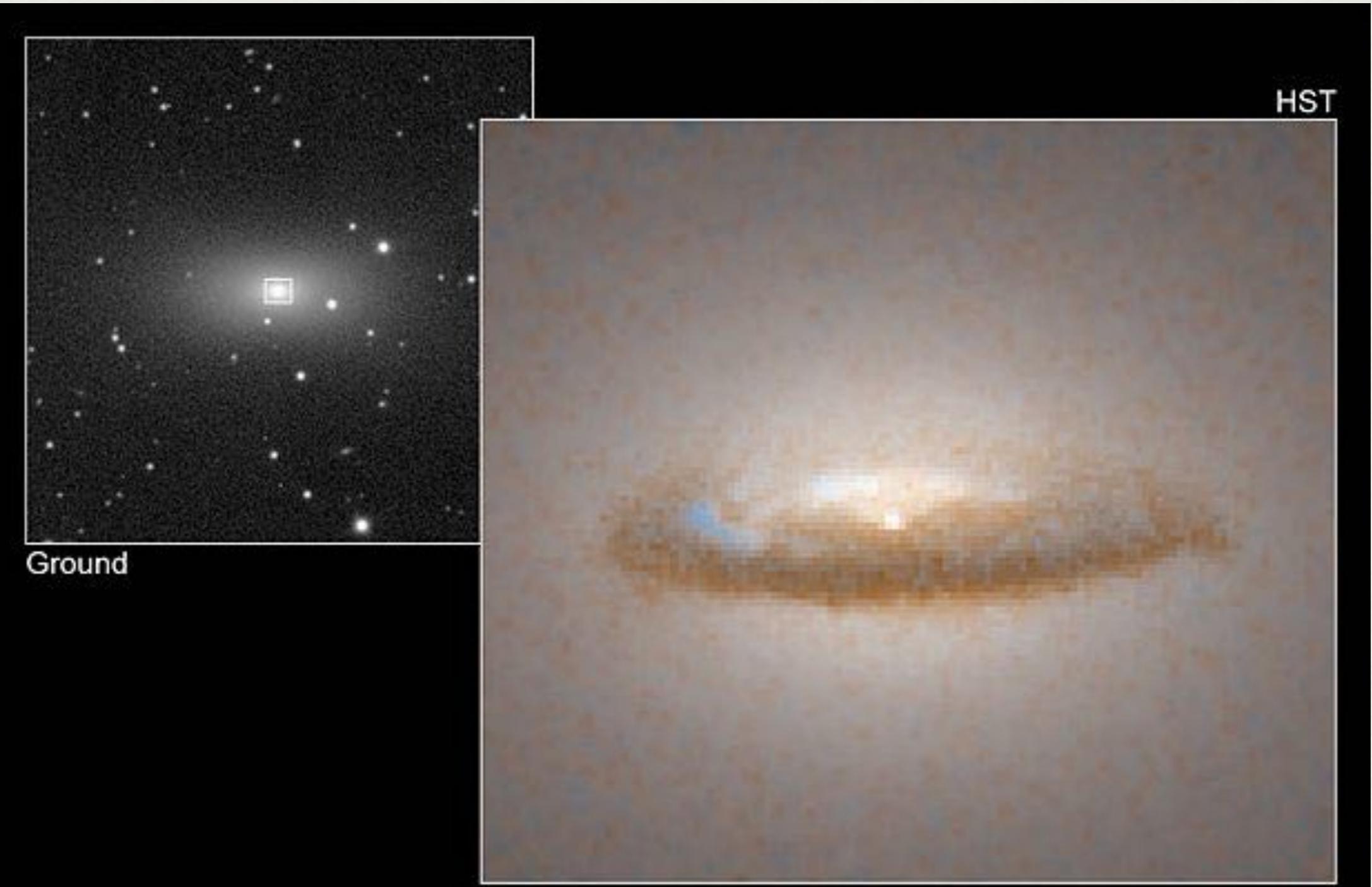
richiede **Meccanica Quantistica + Relativita' generale**

*"L'oscillatore armonico del XXI Secolo"*



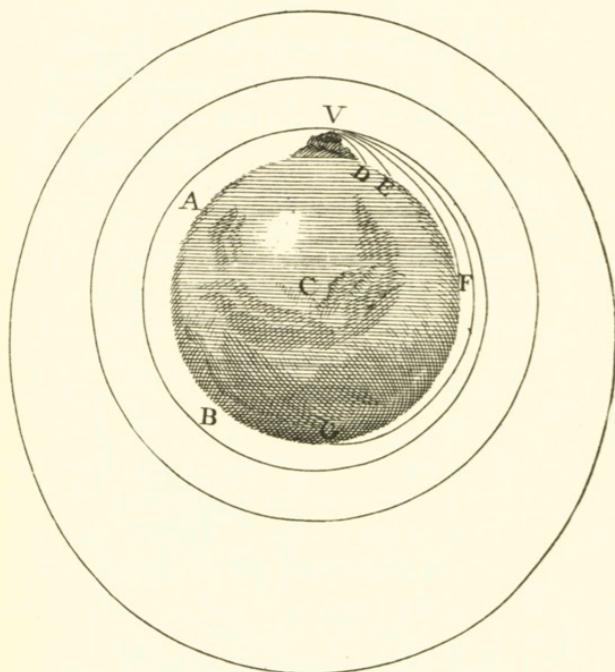
**dal film Interstellar ( di Christopher Nolan, con la collaborazione del Prof. Kip Thorne di Caltech )**





**Disk around a Black Hole in Galaxy NGC 7052**  
Hubble Space Telescope • Wide Field Planetary Camera 2

PRC98-22 • June 18, 1998 • ST Scl OPO • R. P. van der Marel (ST Scl), F. C. van den Bosch (University of Washington) and NASA



Page 6.

## *La velocita' di fuga*

$$\frac{1}{2}mv^2 > G \frac{mM}{r}$$

$$v_{fuga} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

Pianeta	Velocità di fuga
Mercurio	4,435 km/s
Venere	10,4 km/s
Terra	11,2 km/s
Marte	5,04 km/s
Giove	59,5 km/s
Saturno	35,6 km/s
Urano	21,3 km/s
Nettuno	23,3 km/s
Plutone	1,3 km/s

- ★ *Minimo valore della velocita' di lancio in direzione verticale affinche' un corpo non faccia piu' ritorno all'oggetto da cui e' stato lanciato*

Laplace nel 1796 già capì che poteva esistere un corpo celeste di raggio R e massa M così grande da essere invisibile quando

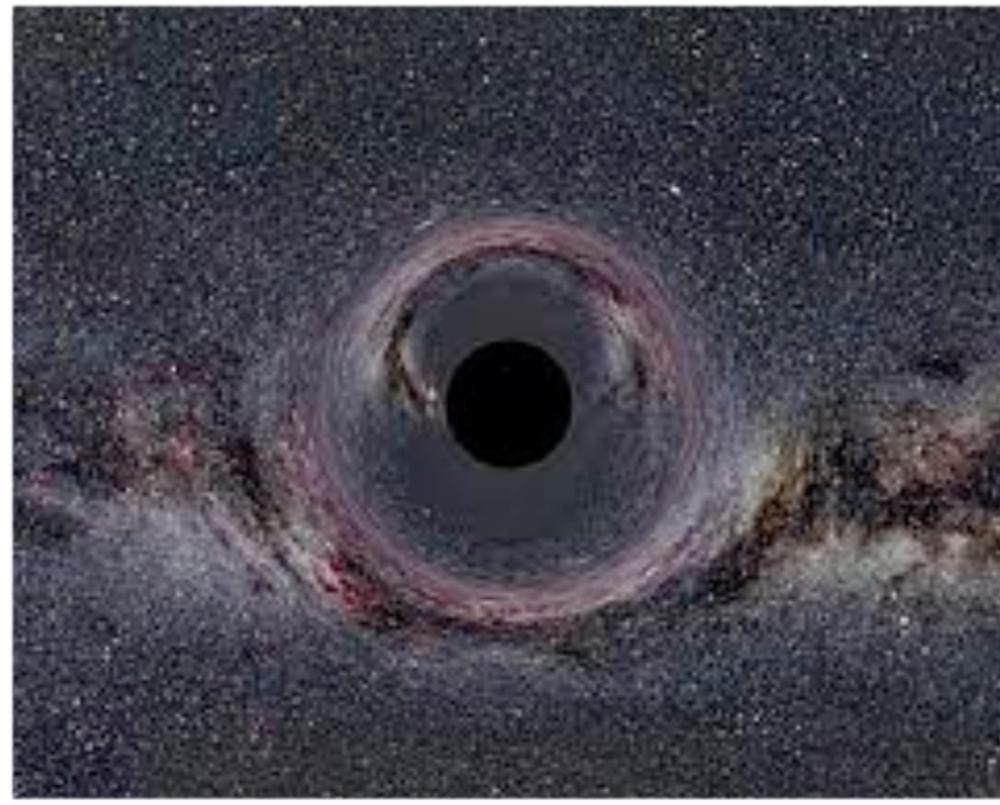
$$v_{fuga} > c$$

## *L'orizzonte degli eventi*

Dunque esistono stelle di massa  $M$  tali che, all'interno di un certo raggio  $R$  dal loro centro, nulla puo' scappare, neppure la luce.

Questa superficie critica e' detta "**“orizzonte degli eventi”**".

Un buco nero si puo' definire come un oggetto tanto denso da essere tutto contenuto all'interno del suo orizzonte degli eventi.  
(La Terra dovrebbe stare dentro una pallina da ping pong)



Se il Sole venisse rimpiazzato da un buco nero della stessa massa, la sua orbita sarebbe la stessa. Soltanto che non ci arriverebbero piu' ne' luce ne' calore. Basta non avvicinarsi troppo!

# *La singolarita'*

- ★ Al centro del buco nero c'e' una singolarita' dove la **curvatura** dello spaziotempo diventa infinita.
- ★ Neppure le forze nucleari sono abbastanza forti per impedire che la **materia** venga **frantumata** nei suoi costituenti fondamentali.
- ★ Se il buco nero e' abbastanza piccolo, gli astronauti si frantumano ancora prima di attraversare l'orizzonte: **SPAGHETTIFICAZIONE** (Kip Thorne), per violenti effetti di marea.
- ★ L'esistenza della singolarita' segnala un **problema nelle equazioni di Einstein** che al di la' di questo orizzonte non riescono piu' ad avere valore predittivo: per questo serve una modifica della gravita' che incorpori i **fenomeni quantistici**.



# *La temperatura di Hawking*

- **Stephen Hawking** ed altri ricercatori hanno chiarito che tutto quello che si puo' sapere guardando un buco nero da fuori dell'orizzonte sono la **massa M, lo spin J e delle cariche Q**. Tutto il resto rimane nascosto ad un osservatore esterno.
- Hawking dimostro' nel 1974-75, combinando strumenti di GR e teoria quantistica, che **i buchi neri emettono radiazione** di una certa temperatura  $T$  che dipende solo dalla massa  $M$  ed e' legata ad una serie di costanti universali :



$$T = \frac{\hbar c^3}{8\pi G M k_B}$$

- ★ Per i BH astrofisici, questa temperatura e' piu' fredda della radiazione cosmica di fondo CMB, ma e' sempre importante in linea di principio.

# *Buon compleanno Prof. Hawking!*



The Stephen Hawking  
Centre for Theoretical Cosmology

About

People

Research

Activities

Outreach

Supporters

Contact

Gravity and Black  
Holes

Organisation

Registration

Information

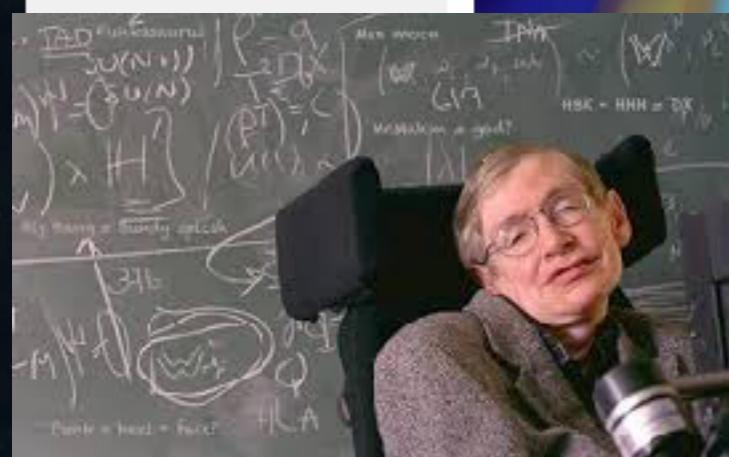
Accommodation

Participants

[Home](#) > [Activities](#) > [Stephen Hawking 75th Birthday Conference](#)

## Stephen Hawking 75th Birthday Conference

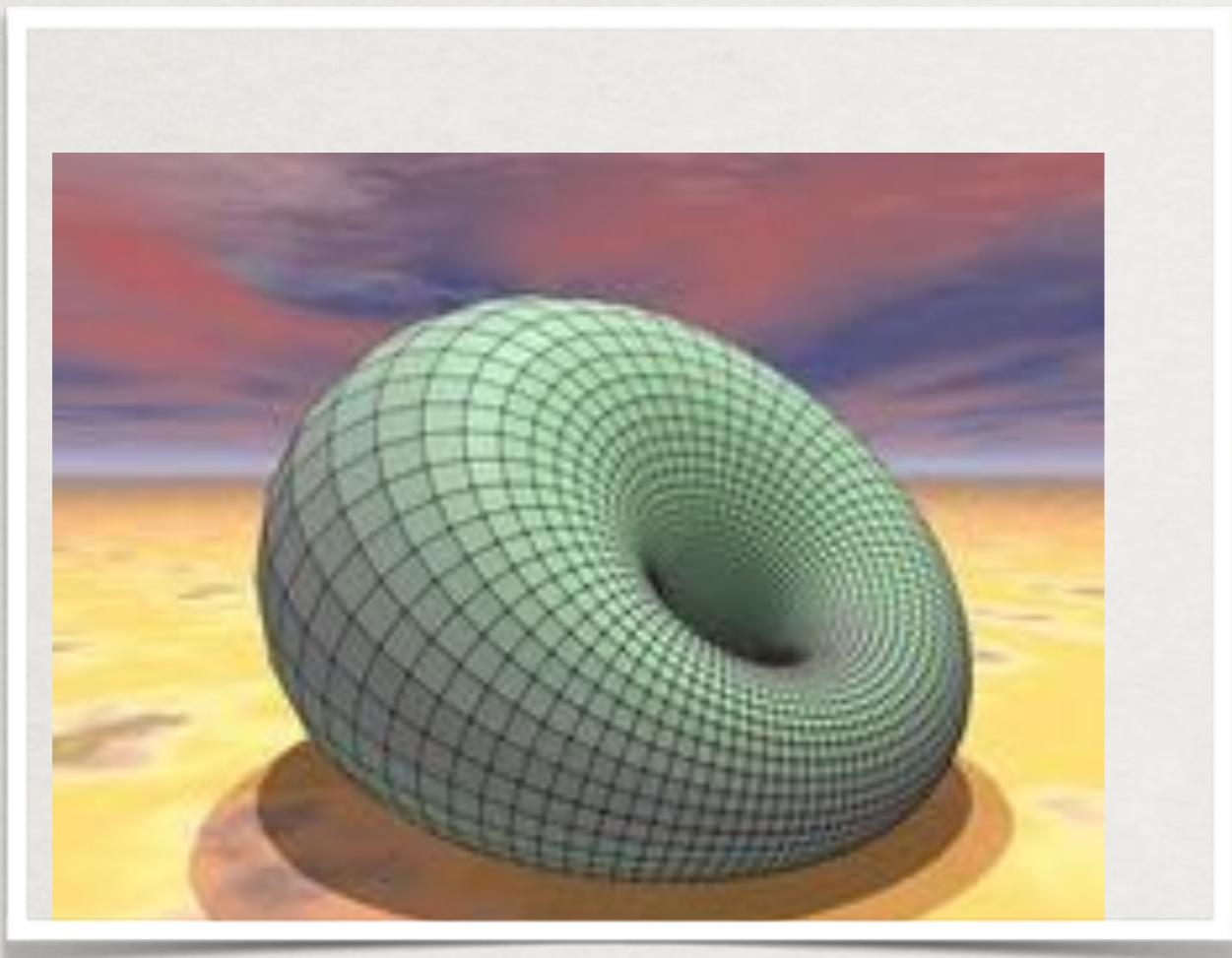
Gravity and Black Holes



**Centre for Theoretical Cosmology, Cambridge, UK, July 2-5, 2017**

VARIAZIONI SUL TEMA

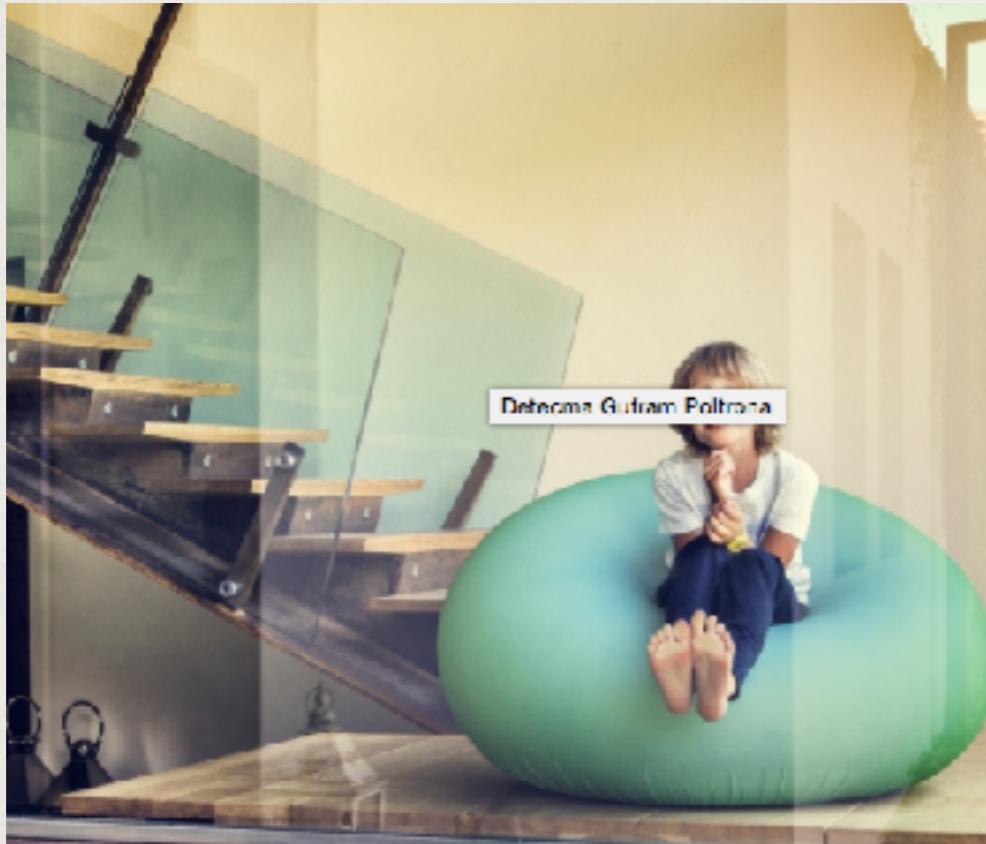
# *Poltrone & Matematica*



- ✿ **La ciclidi di Dupin:** dall'inversione geometrica di un toro
- ✿ E' una superficie a canale (formata come ricoprimento di una famiglia di sfere i cui centri appartengono ad una curva nello spazio, la direttrice).

$$(x^2 + y^2 + z^2 + b^2 - d^2)^2 - 4(ax - cd)^2 - 4b^2y^2 = 0$$

# *Poltrone & Matematica*



## Detecma Gufram Poltrona

### Detecma Gufram Poltrona

Detecma firmata da Tullio Regge per Gufram è una poltrona bassa disponibile in diversi colori.

**1 470,00 €**

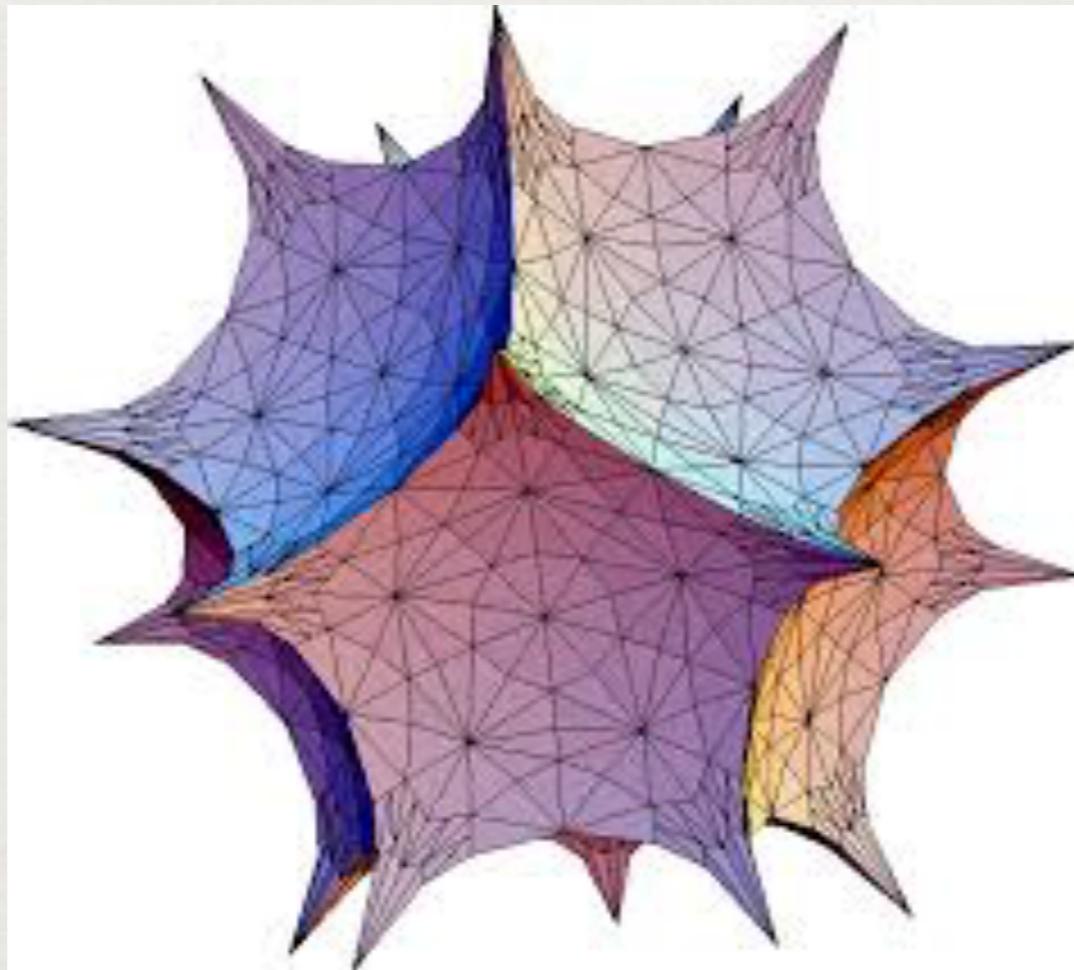
### Finitura



Detecma\_GREY G11103  
Q

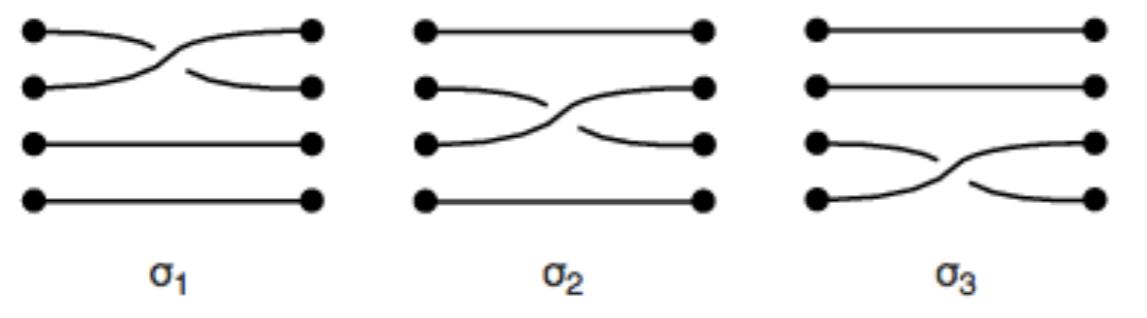
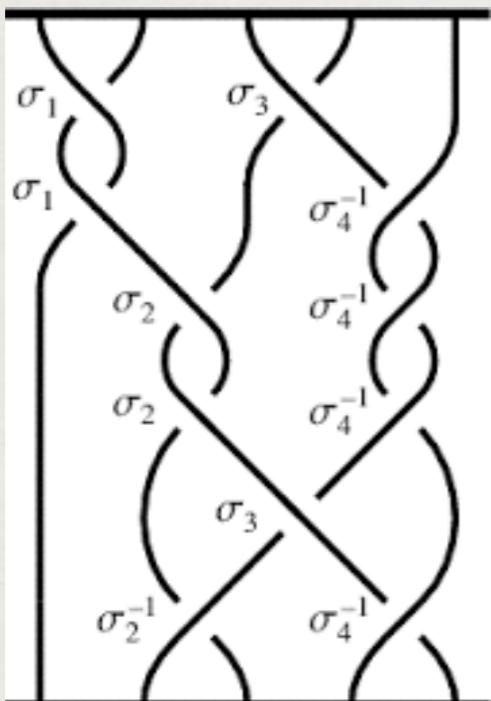


# *Gli strumenti di Tullio*



Wolfram *Mathematica*® 9

# *Il gruppo delle trecce $B_n$*



$$\begin{cases} \sigma_i \sigma_j = \sigma_j \sigma_i & \text{for } |i - j| \geq 2 \\ \sigma_i \sigma_{i+1} \sigma_i = \sigma_{i+1} \sigma_i \sigma_{i+1} & \text{for all } i \end{cases}$$



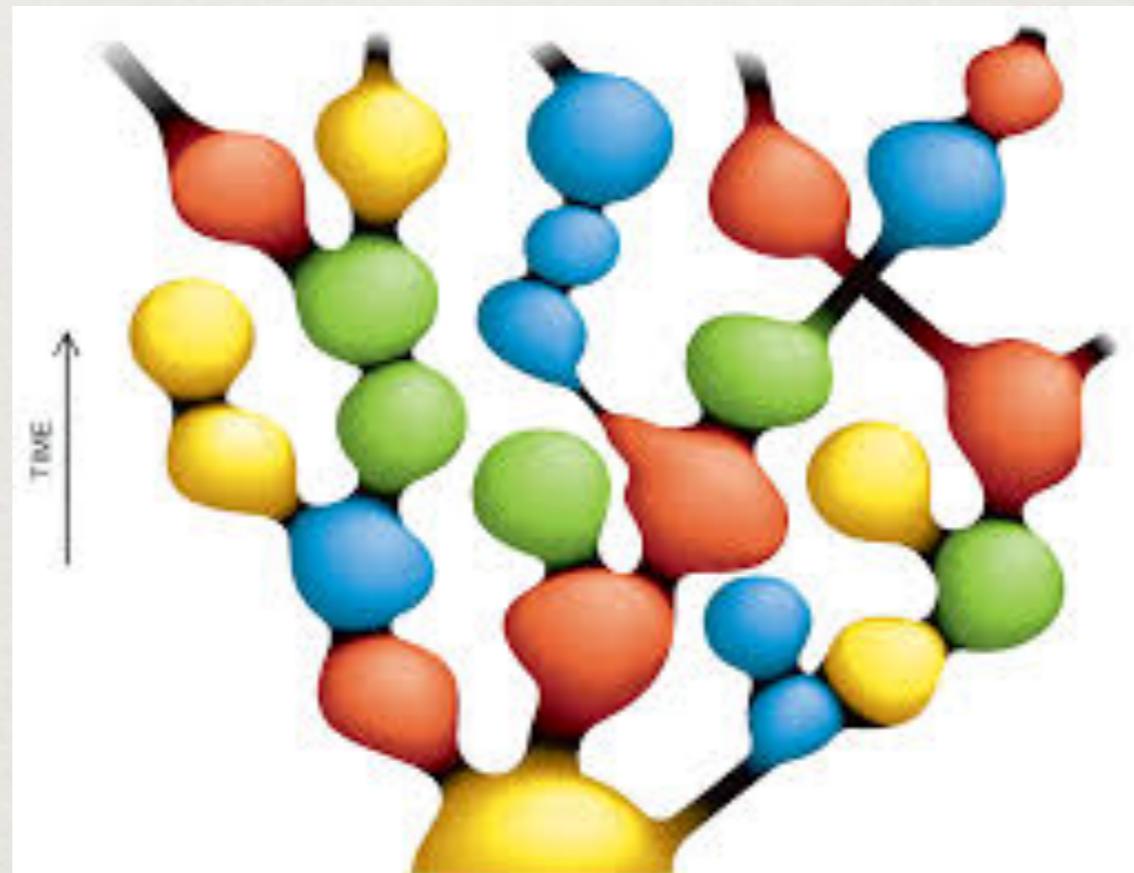
knots

- ✿ Si possono comporre parole usando i generatori di treccia
- ✿ Tutti i nodi si possono rappresentare come chiusura di trecce
- ✿ Fisica: tantissime applicazioni

# *Gli universi a bolle*

✳ T. Regge and C. Teitelboim, In “Trieste 1975, Proceedings of the Marcel Grossmann Meeting On General Relativity”, Oxford (1977) 77.

propose che il nostro universo fosse formato da infinite bolle interconnesse



# *L'impegno politico*



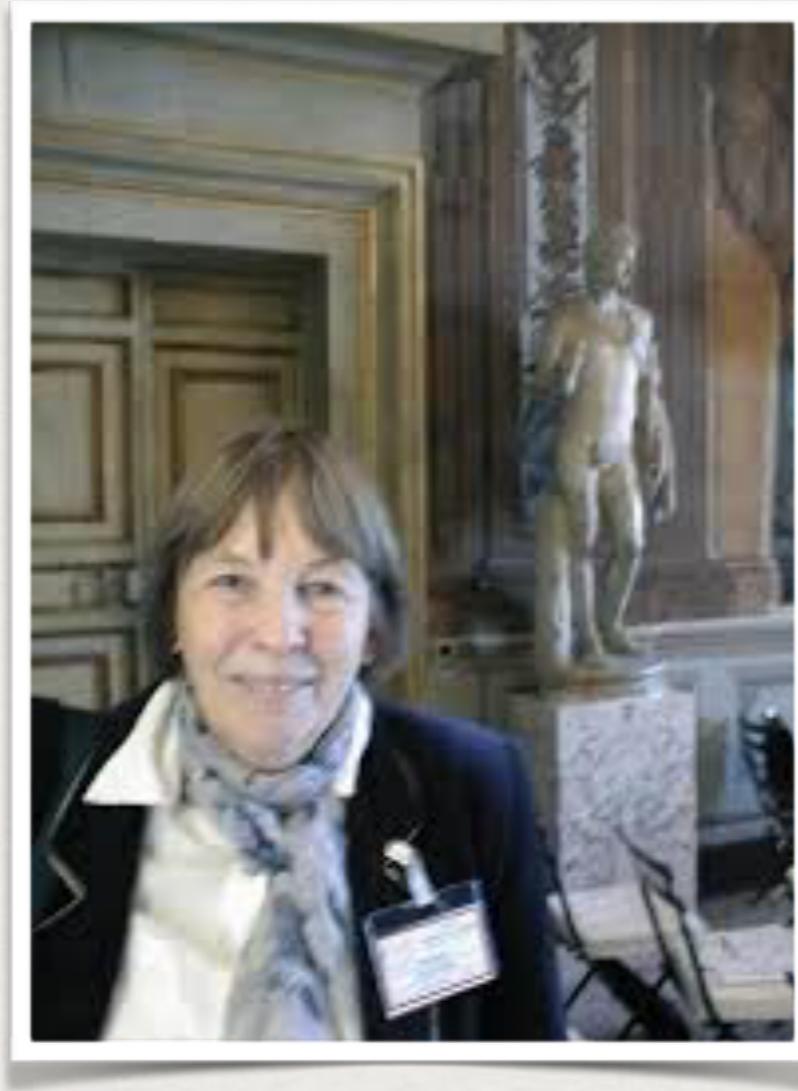
✿ E' stato anche un attivista politico con un ruolo nel  
Parlamento Europeo come esperto di Scienza e Tecnologia

# *L'amore per la musica*



- ✿ Regge era un discreto pianista, ascoltava prevalentemente Mozart, era amico di Luciano Berio: vedi interessante progetto con Federico Tibone

# *La Fisica: un mestiere di famiglia*



- ✿ Regge ha condiviso la passione e l'impegno nella Fisica con la moglie Rosanna Cester, che ha lavorato intensamente tutta la vita presso questo dipartimento ed in giro per il mondo, lasciando una scuola di numerosi ricercatori e ricercatrici:

**GRANDE ROLE MODEL PER LE DONNE IN FISICA!**

# Trova il fisico !

## Physicist - the usual suspects

Someone in this line up is a physicist . . . can you tell which one?

6'6"

6'0"

5'6"

5'0"

4'6"

4'0"

3'6"

3'



- Inchiesta realizzata dall'IOP (Institute Of Physics, UK)
- Il 98% degli intervistati ha risposto in maniera sbagliata
- Inclusi i fisici!

# Trova il fisico !

## Physicist - the usual suspects

98 percent of the public couldn't tell which of these people is a physicist . . .  
did you get it right?

6'6"

6'0"

5'6"

5'0"

4'6"

4'0"

3'6"

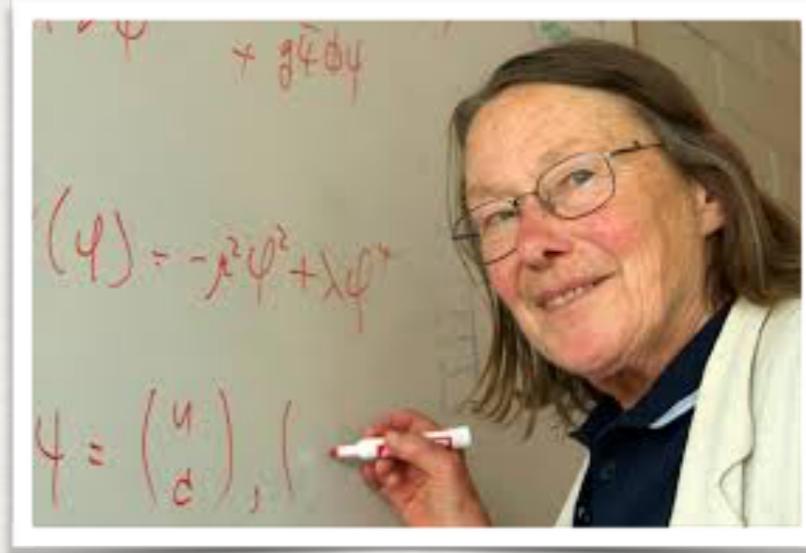
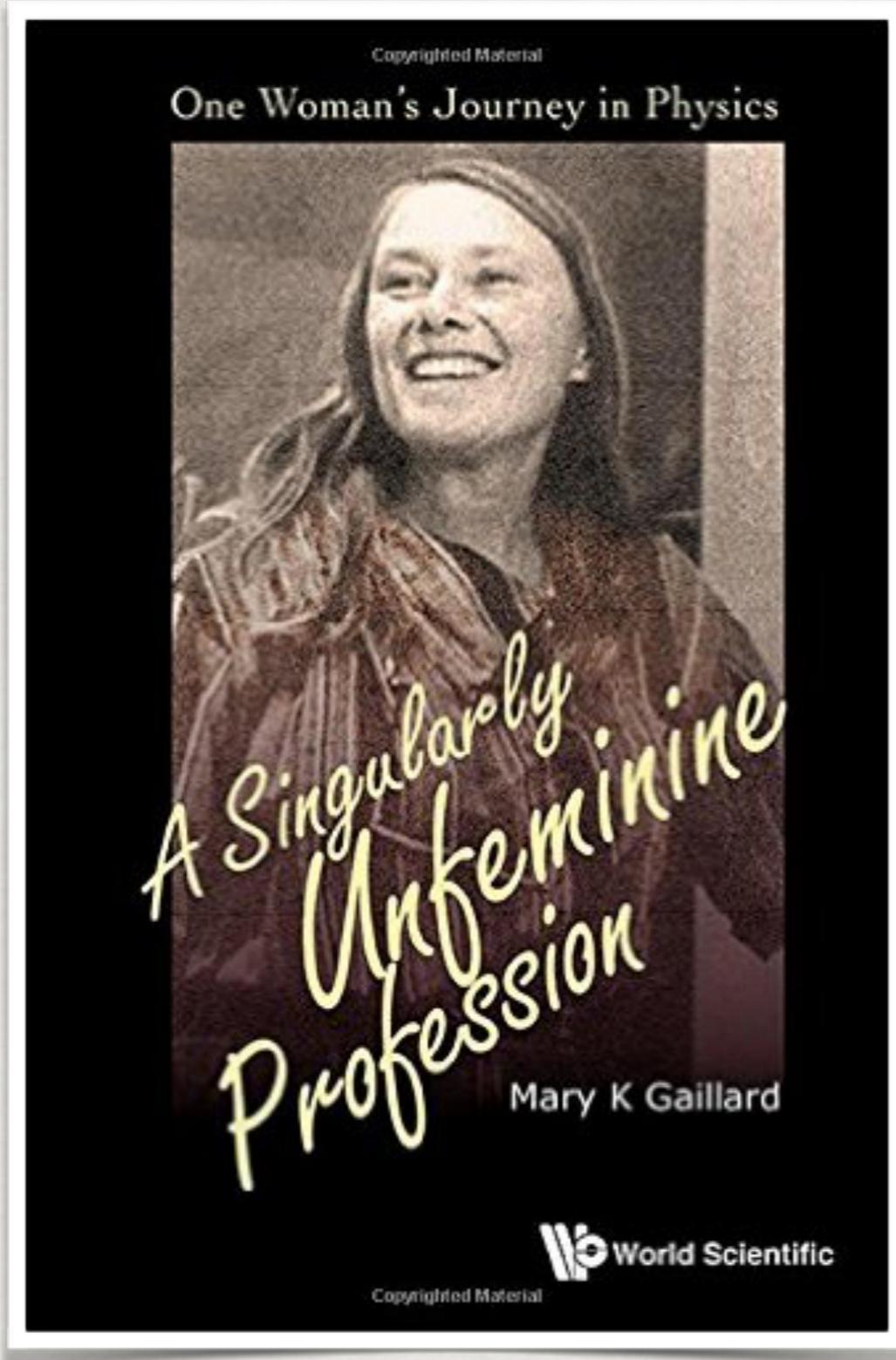
3'



- Inchiesta realizzata dall'IOP (Institute Of Physics, UK)
- Il 98% degli intervistati ha risposto in maniera sbagliata
  - Inclusi i fisici!

E voi??

# *Role Models: libro di Mary K Gaillard prof a U. C. Berkeley*



✿ molti buoni esempi a Torino ...

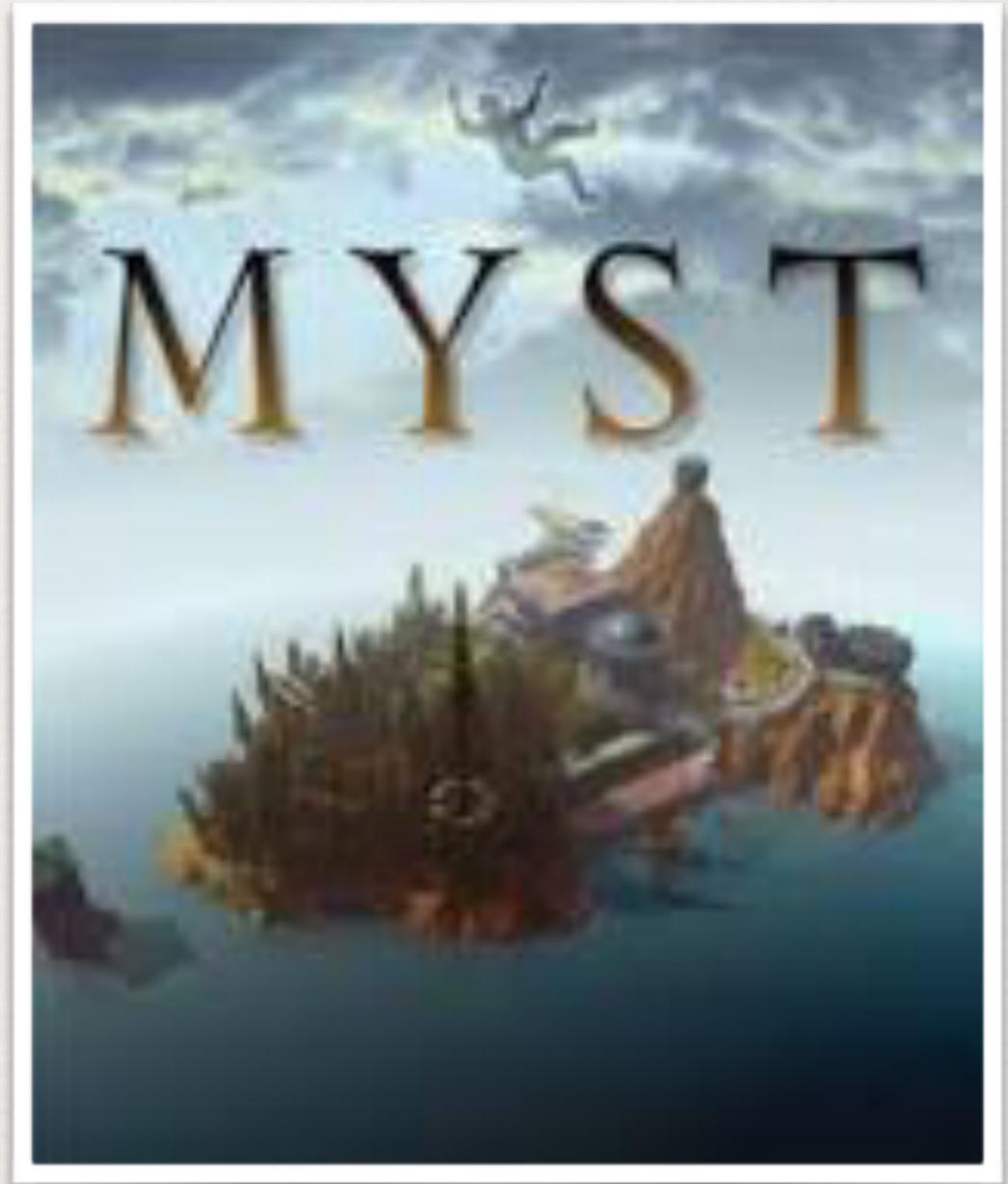
# *L'impegno sociale*



- ✿ Fu impegnato in tantissime cause sociali, dai diritti dei disabili ai bambini disagiati

## *Fantasy games*

Tullio Regge amava scherzare e giocare,  
con un atteggiamento fanciullesco di  
curiosità e incanto...



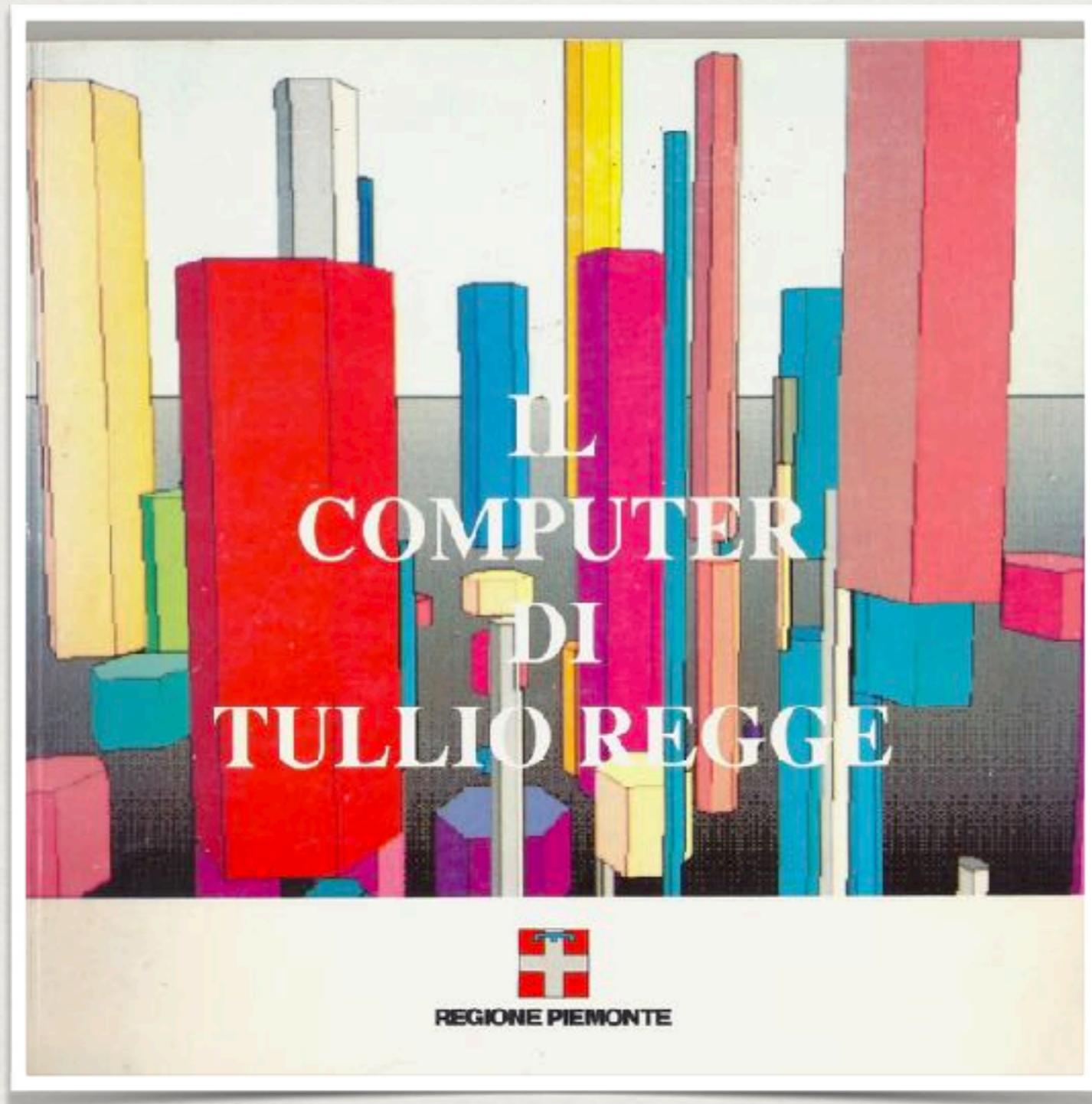
## ...Fantascienza...



Scrisse anche un libro di storie di fantascienza in cui ho l'onore  
di comparire come [Hannah Tchehrsol](#)

BRICOLART

# Il computer: "il miglior amico dell'uomo"



1992 :Mostra al Palazzo della Giunta Regionale,  
(libro curato da Francesca Libertini)

Attenzione: ce ne sarà un'altra in settembre a Torino

# Guax e Bricolarte

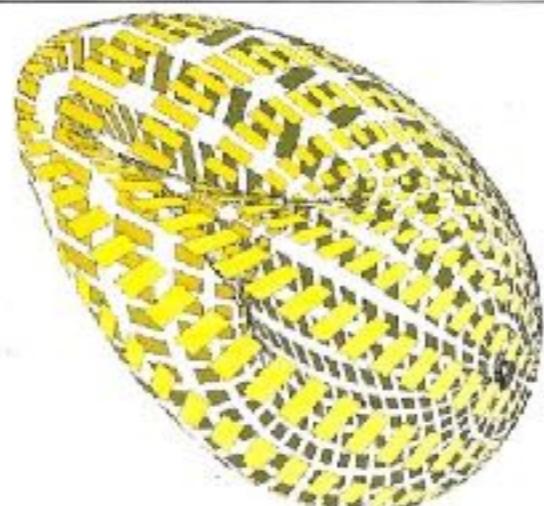
Regge aveva un attaccamento quasi morboso al suo computer. Sognava un congegno meccanico che potesse riprodurre un dato modello matematico e dare vita alle magiche figure geometriche ispirate dal libro di **Hilbert e Cohn-Vossen** (oggi stampanti 3D!)

Per questo aveva inventato il programma **Guax** (dal mare di guai che ha creato), che correva su uno Spectrum della Sinclair: utilizzando una variante del QuickBasic era in grado di mostrare le linee nascoste delle superfici che poi colorava con Paint Brush...

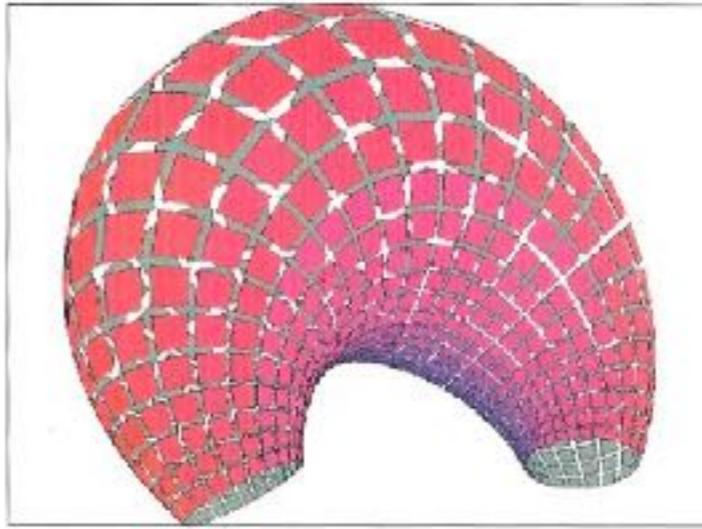
**"Il computer mi evita le sofferenze del disegno manuale. Da studente ero scappato dal Politecnico perché mi costringevano a disegnare".**

# La serie romana

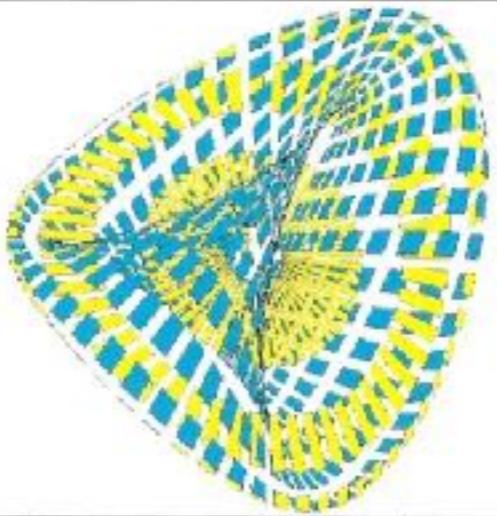
**Superficie  
Romana**  
(si autointerseca  
lungo i tre assi)



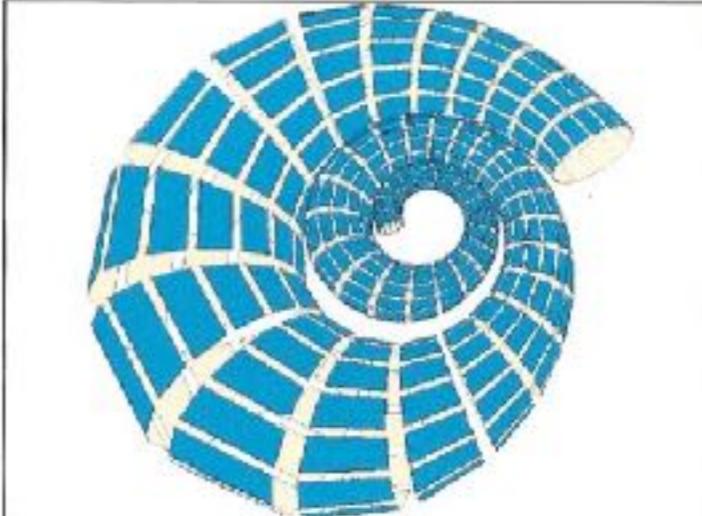
**Prototipo  
di Croissant**  
(particolare  
Ciclide di  
Dupin)



**Cartone  
Ombelicale**  
(non orientabile)



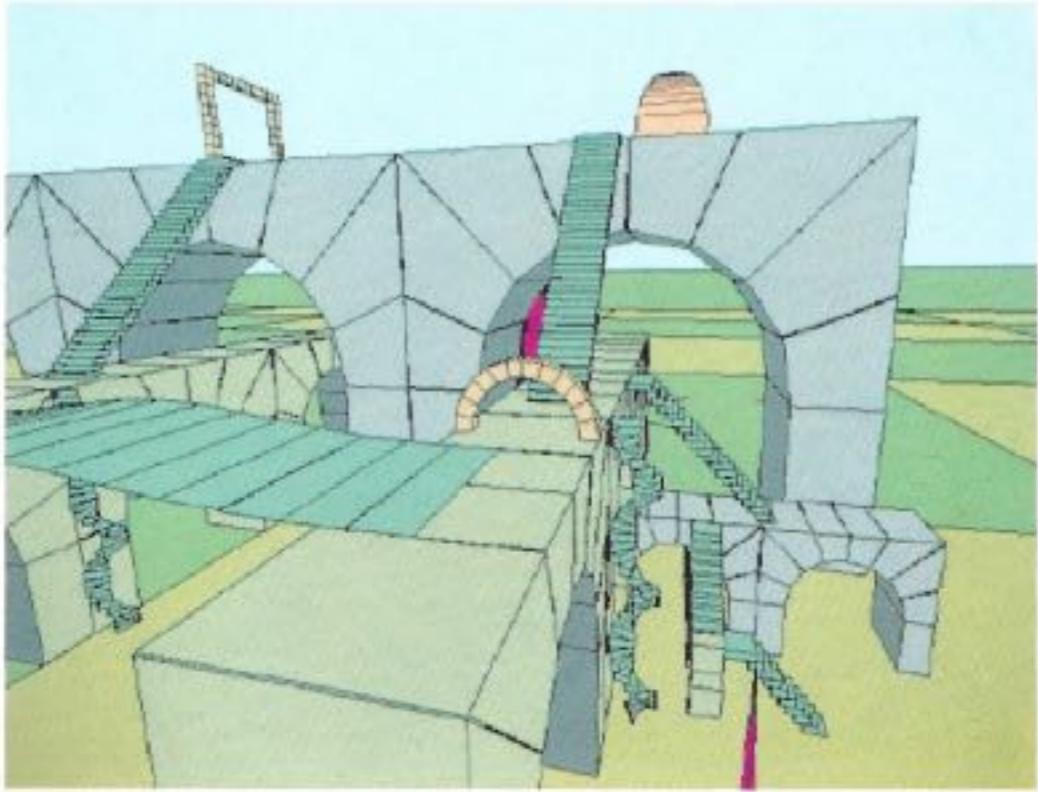
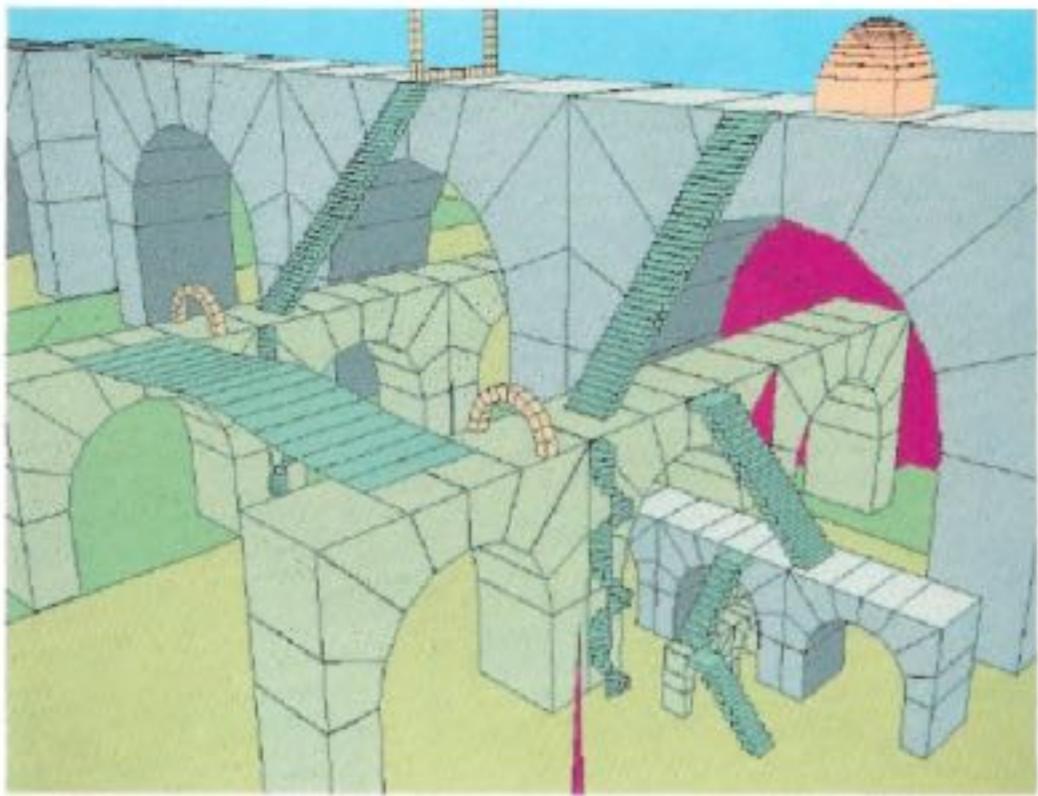
**Conchiglia  
Caterina**  
(tubo spiegato a  
spirale  
logaritmica)



Quattro esempi di rappresentazione grafica di superfici differenziabili (= molto lisce), decomposte in tasselli che lasciano intravedere il lato opposto  
Dalla superficie romana di Steiner non orientabile di equazione cartesiana

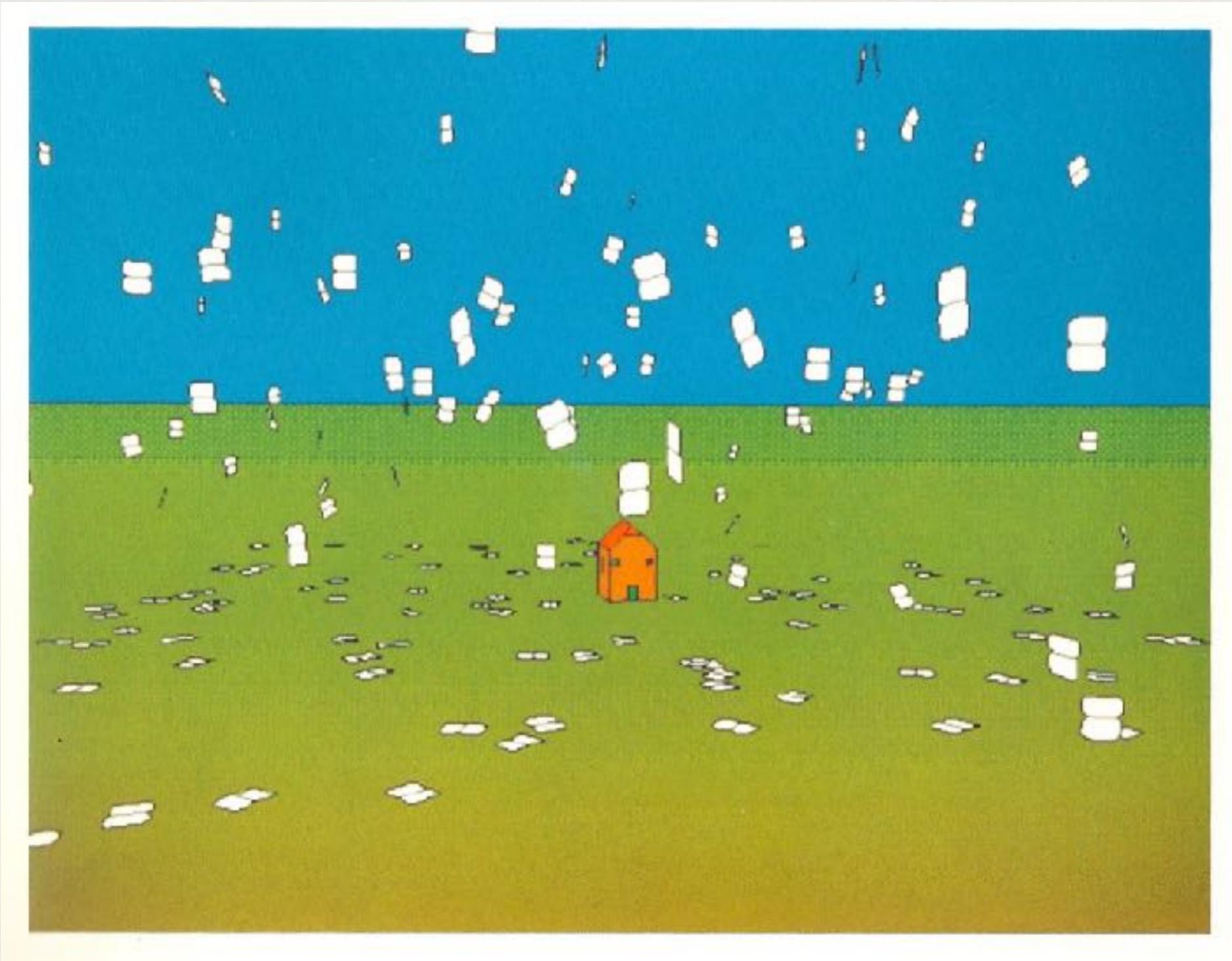
$$x^2 y^2 + y^2 z^2 + z^2 x^2 = xyz$$

# ...Apoteosi dello scalino



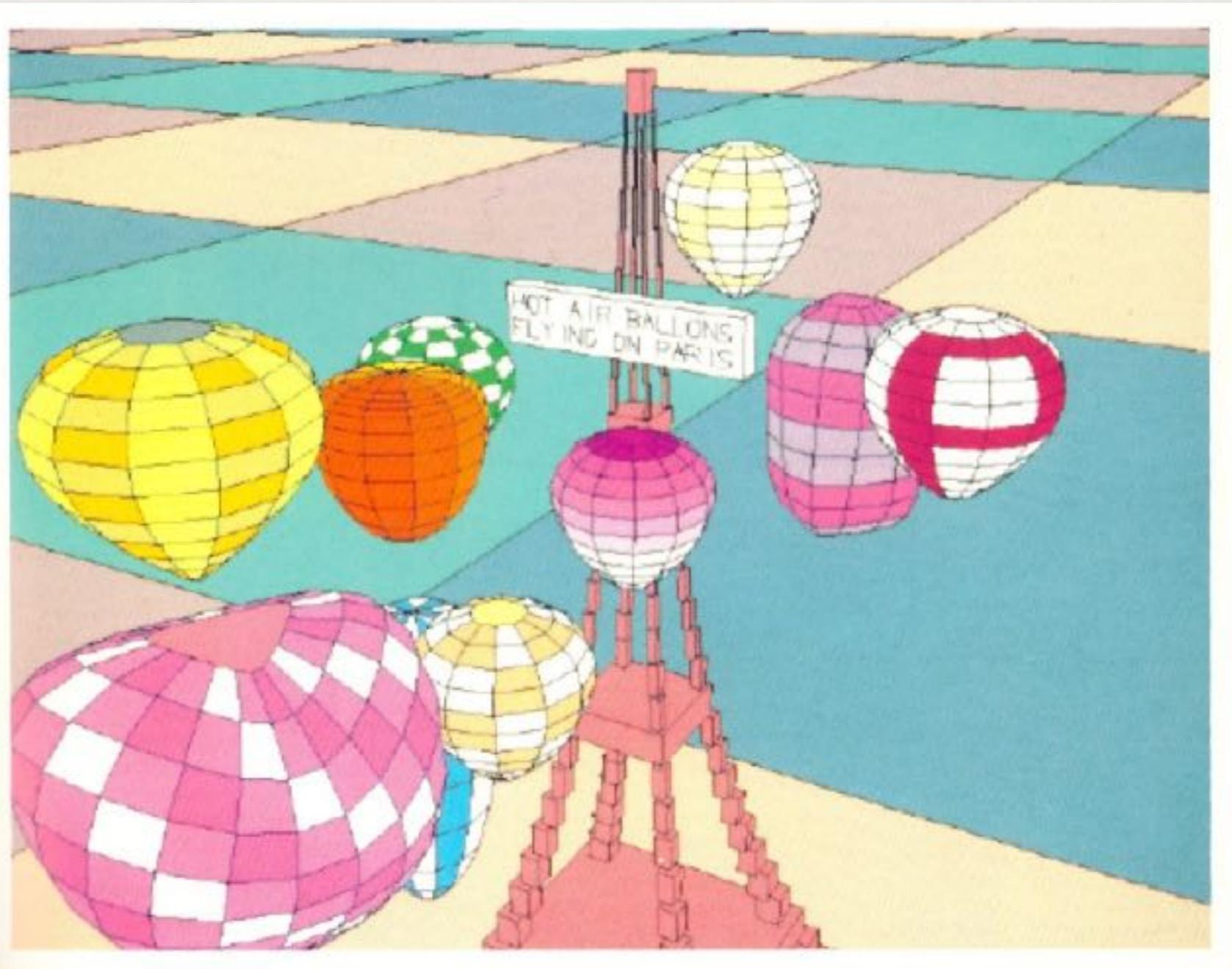
"Quale disabile confinato ad una sedia a rotelle odio gli edifici con troppi scalini e barriere architettoniche...le due immagini mostrano diversi punti di vista di un mondo da incubo (in parte ispirato a Piranesi) in cui per spostarsi si deve salire e scendere. Sono visibili anche delle scale a chiocciola, vera maledizione per i disabili..."

# Piove a dir8



"Sembra un banale gioco di parole, ma si prega di notare come la pioggia di 8 sia stata organizzata mediante un programma aleatorio che ha orientato e distribuito a caso le gocce sia nello spazio sia sul terreno."

## **...Comitato di esperti...**



Odiava la boria e la prosopopea di certi ambienti (sia accademici che politici) : "Tra gli esperti non mancano i palloni gonfiati  
Le mongolfiere sono costruite sulla base di equazioni matematiche che a me dicono molto anche se diranno poco al pubblico".

# ...Il Cicap

<https://www.cicap.org/n/index.php>



Fu anche cofondatore insieme a Piero Angela del CICAP, attraverso il quale fungeva da garante scientifico per smascherare falsi UFO e sedicenti fenomeni paranormali.

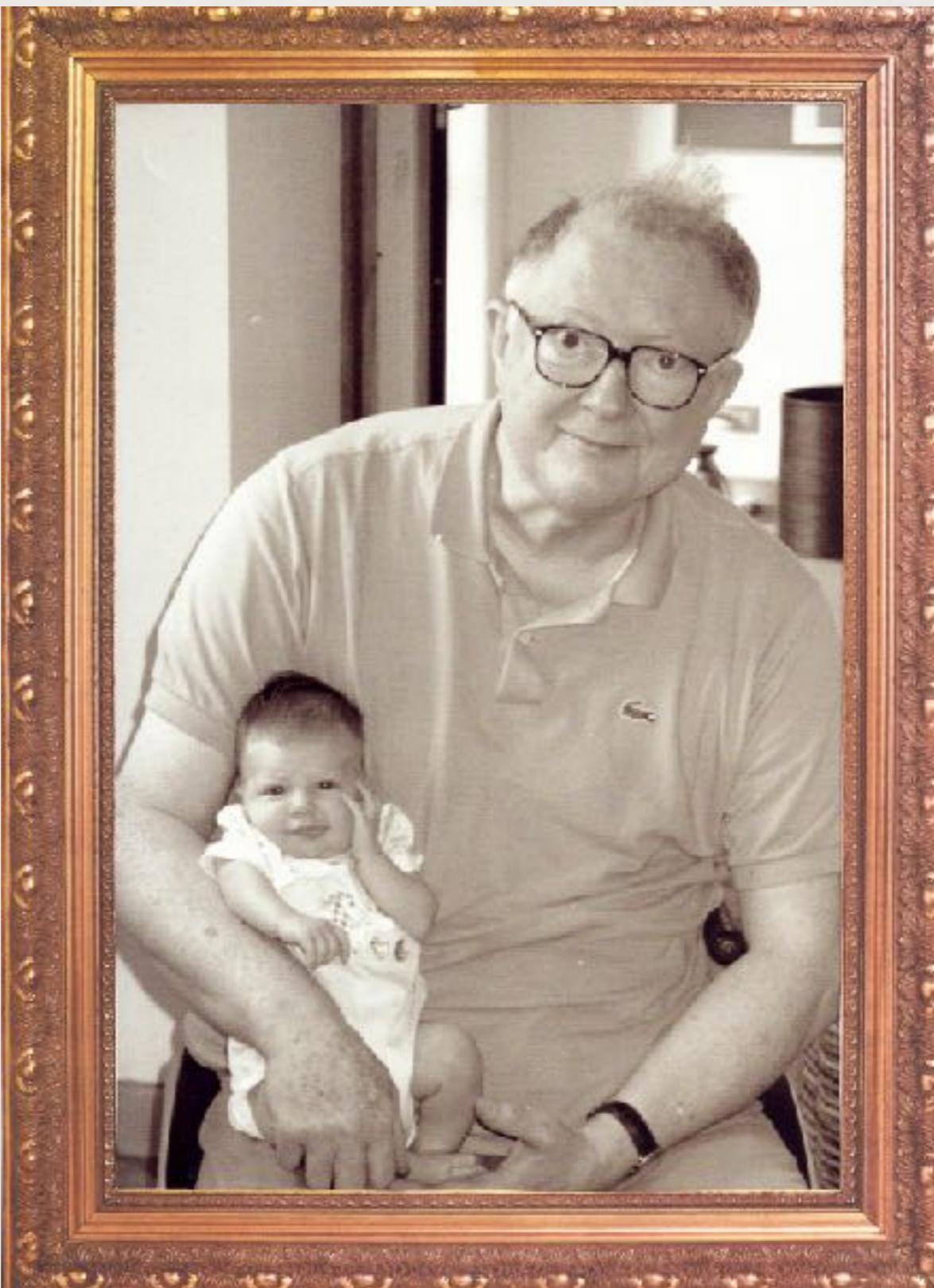
# ...Tullio Regge e Federico Tibone: RELATIVITAPP



Ieri un CD-ROM, oggi una APP per giocare con la Relatività...

# ...Tanti collaboratori @ UNITO

- ★ Jeanette Nelson, Alberto Lerda, Giorgio Ponzano,
- ★ Riccardo D'Auria, Pietro Fre', Leonardo Castellani, AC
- ★ Nando Gliozzi, Alessandro D'Adda, Stefano Sciuto
- ★ Vittorio de Alfaro, Sandro Bottino, Alfredo Molinari
- ★ Nanni Pollarolo, Cesare Rossetti, ...



**3 gatti bastano.....Hannah Tchehrsol**

## *Alcuni suggerimenti , oltre ai libri e video di Regge:*

- ★ Scienza per tutti <http://scienzapertutti.lnf.infn.it>
- ★ Asimmetrie <http://www.asimmetrie.it> (rivista INFN)
- ★ EdX, Coursera (corsi free online dalle migliori universita' del mondo)
- ★ sito web del CERN (outreach)
- ★ **Christophe Galfard : L' universo a portata di mano. In viaggio attraverso la fisica dello spazio e del tempo (Boringhieri)**
- ★ Amanda Geftner (memoir scientifico) A spasso con Einstein
- ★ La guerra dei Buchi neri (Lenny Susskind)
- ★ **RELATIVITAPP (Tullio Regge e Federico Tibone)**
- ★ **La Fisica di Interstellar, di Kip Thorne**

THANK  
YOU!