



# Art & Science across Italy (V edizione 2024-2026)

Un progetto STEAM tra Scienza e Arte  
con l'Istituto Nazionale di Fisica  
Nucleare e il CERN di Ginevra  
per le scuole

secondarie di II grado





# Dall'infinitamente piccolo all'infinitamente grande

[dalla mela di Newton alla scoperta delle onde gravitazionali]

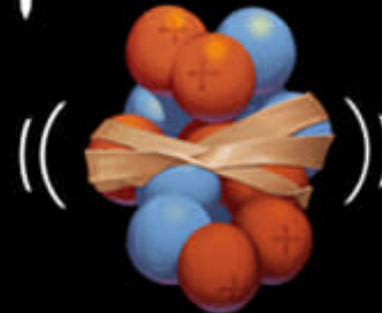
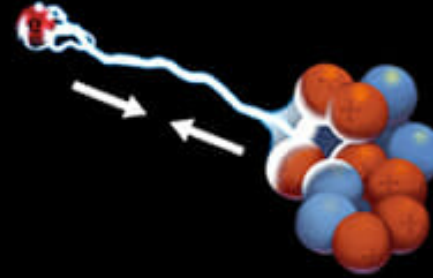
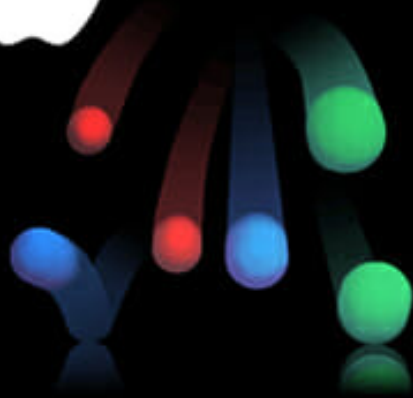
Cristiano Palomba - Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



Credit: La scienza coatta

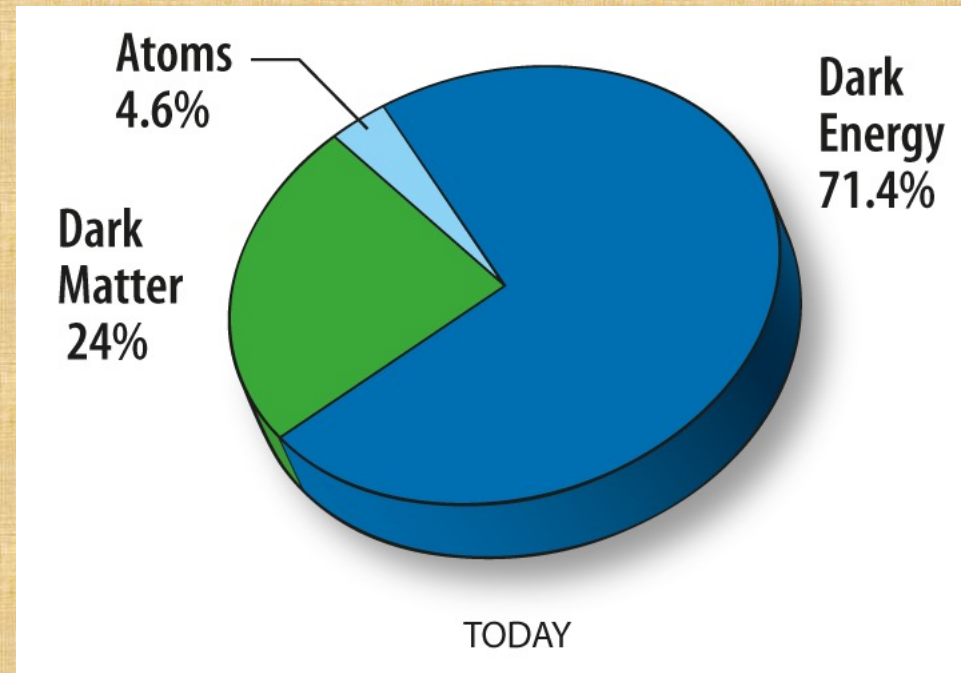


In Natura esistono 4 forze fondamentali che, per quanto ne sappiamo, sono in gradi di spiegare tutti i fenomeni osservati:





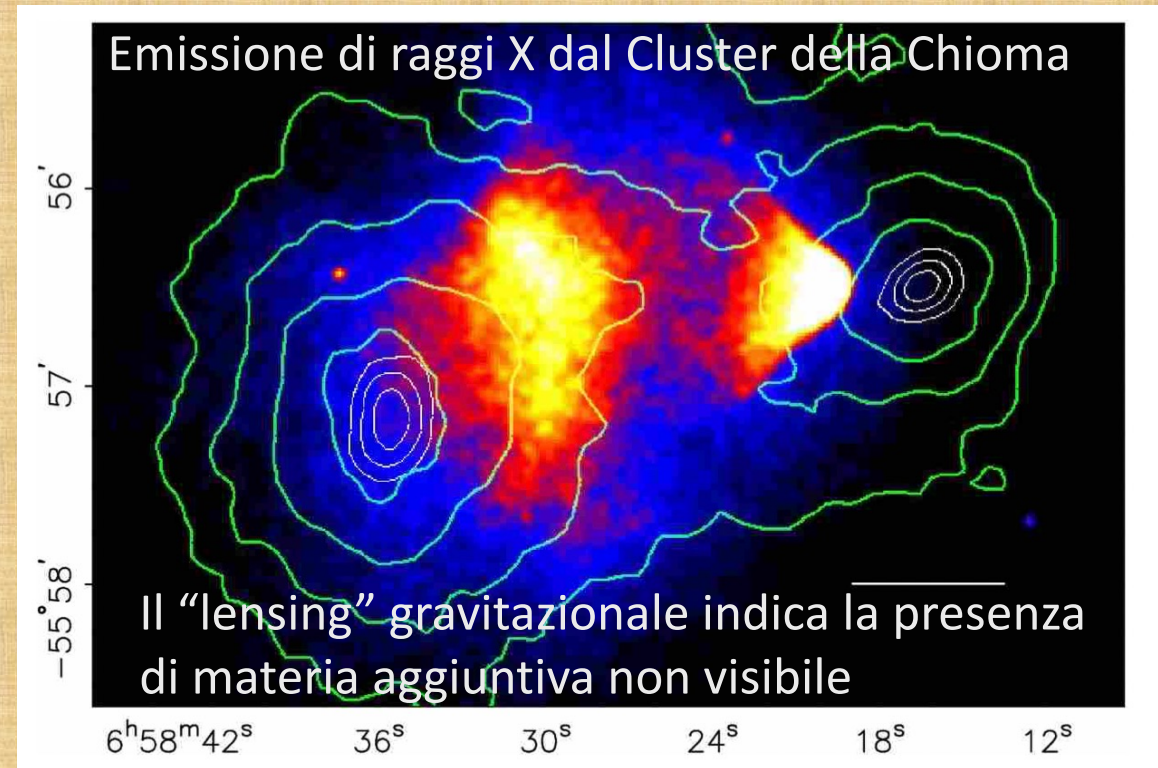
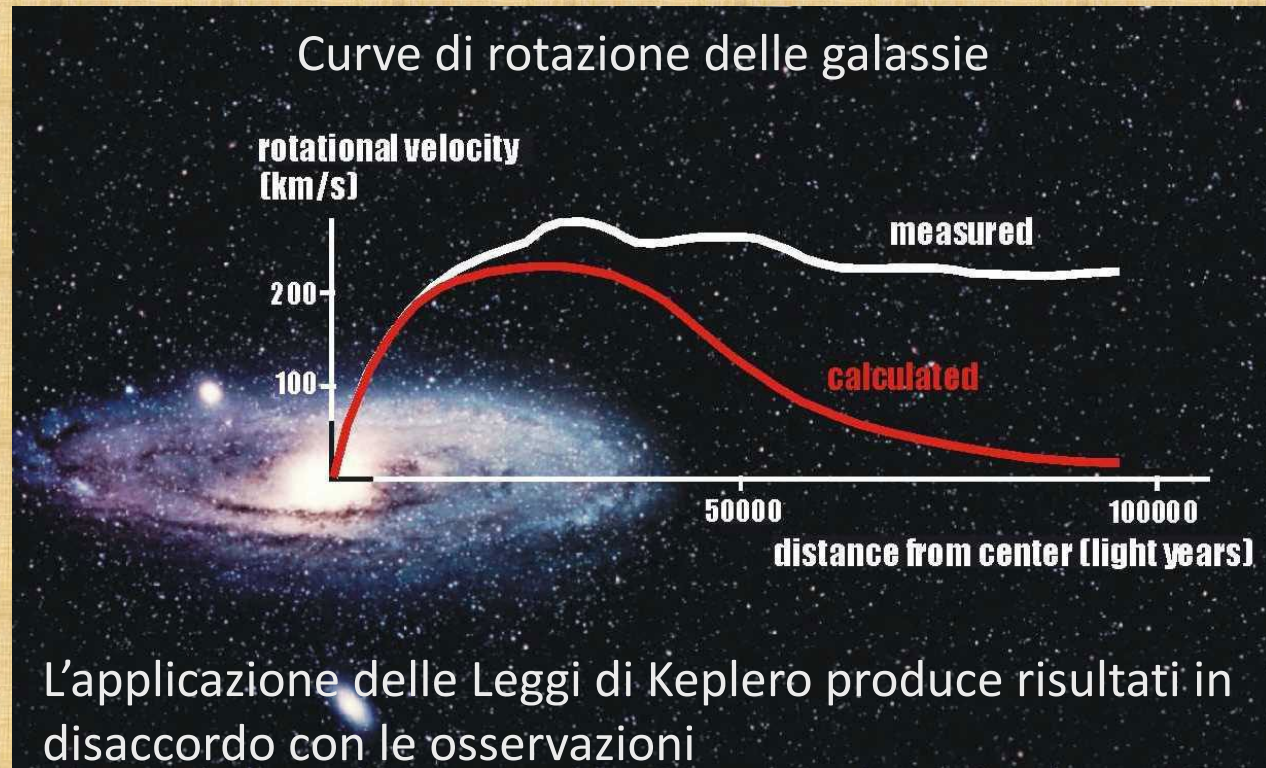
- ❖ Sebbene sia stato confermato da innumerevoli esperimenti, l'attuale modello delle interazioni fondamentali (detto Modello Standard) non spiega tutto.
- ❖ Per es. non è in grado di spiegare l'espansione dell'Universo (attribuita all'**Energia Oscura**), l'esistenza della **Materia Oscura**, varie proprietà di alcune particelle,....
- ❖ Inoltre non include la **Gravità**.



In sostanza, la quasi totalità del contenuto di materia e energia dell'Universo ci è sconosciuta!

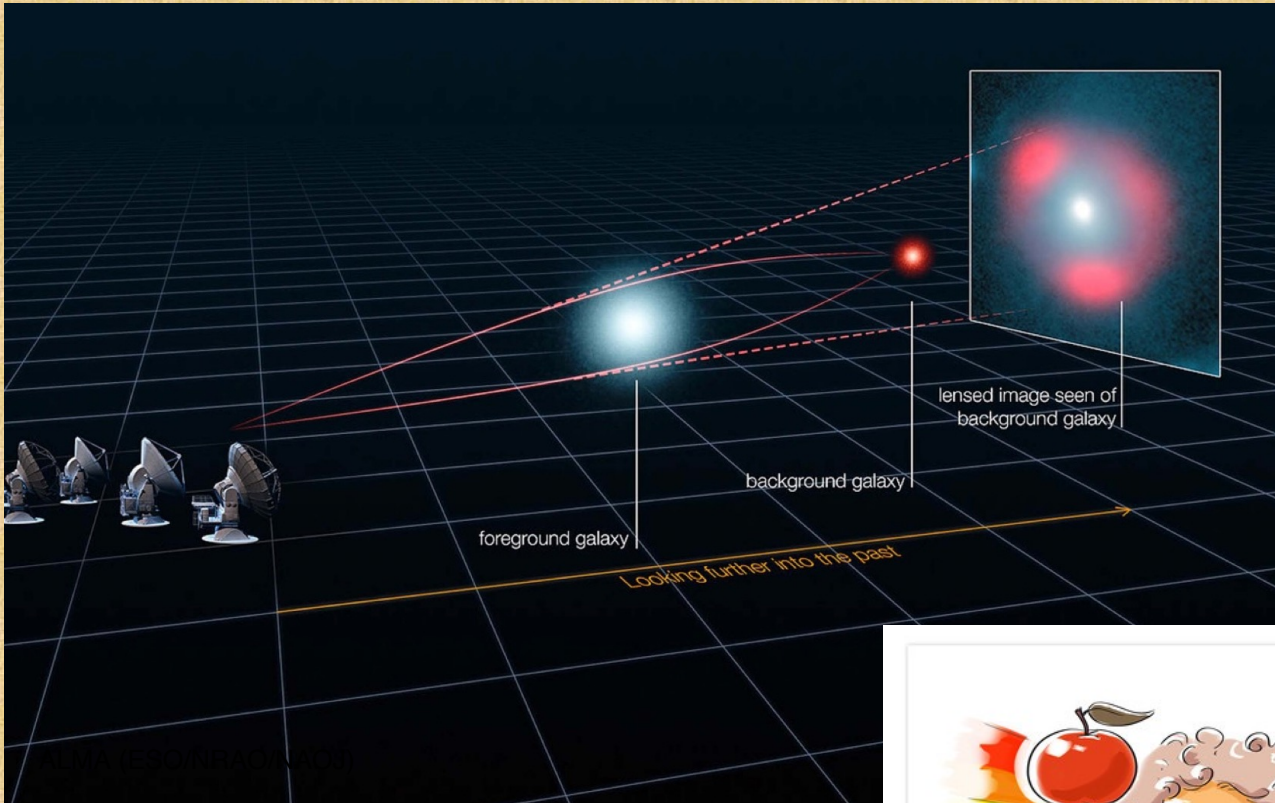
La Materia Oscura è composta da particelle che non assorbono o emettono luce, ma che interagiscono gravitazionalmente con la materia “ordinaria”

“Osservata” indirettamente





La luce emessa da una galassia “sullo sfondo” curva attorno ad una galassia in posizione intermedia, producendo un’immagine distorta nei telescopi



Ma la luce curva??



Credit: Posterlounge



10000000000000000000000000000000000000000000000000000000

Nonostante ciò, è la forza che più di ogni altra plasma la struttura dell'Universo su grande scala, e influisce sulla vita stessa.



La struttura degli esseri viventi, le funzioni organiche e più in generale l'evoluzione della vita sono condizionate fortemente dalla forza di gravità terrestre.



GettyImages

Che aspetto avrebbero avuto le forme di vita terrestri con una diversa forza di gravità?



# La forza di gravità attraverso i secoli

- L'osservazione e lo studio dei corpi celesti è iniziato agli albori della civiltà.
- Si riteneva che i corpi celesti avessero influenza sulla vita umana.

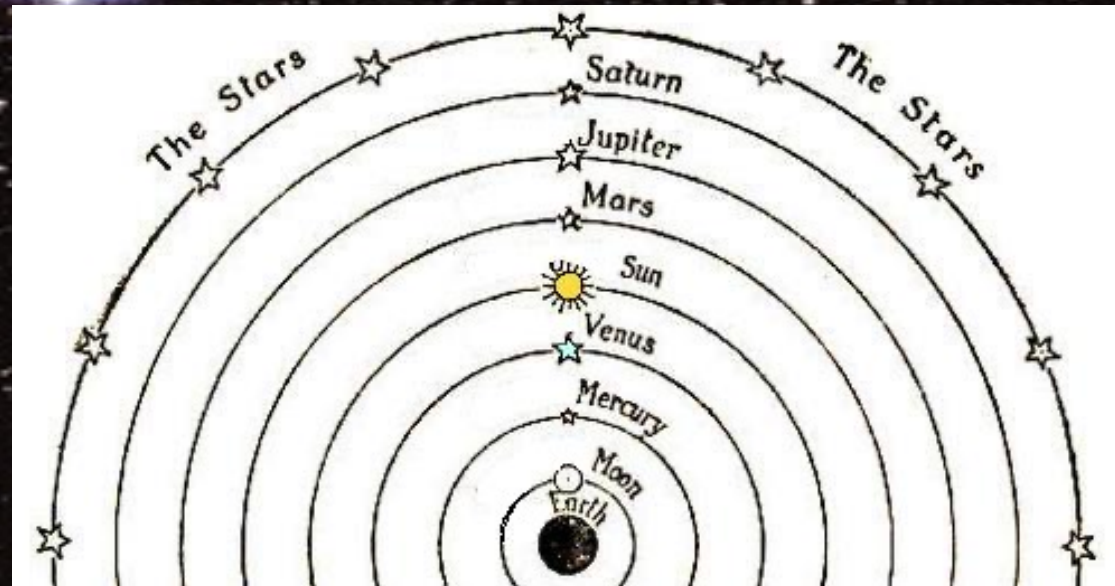




- I primi tentativi di descrivere e spiegare la gravità furono fatti dai filosofi greci (aggregazione dei corpi “simili”).
- Aristotele (384-322 a.c.) osservò che i corpi più pesanti cadono più velocemente

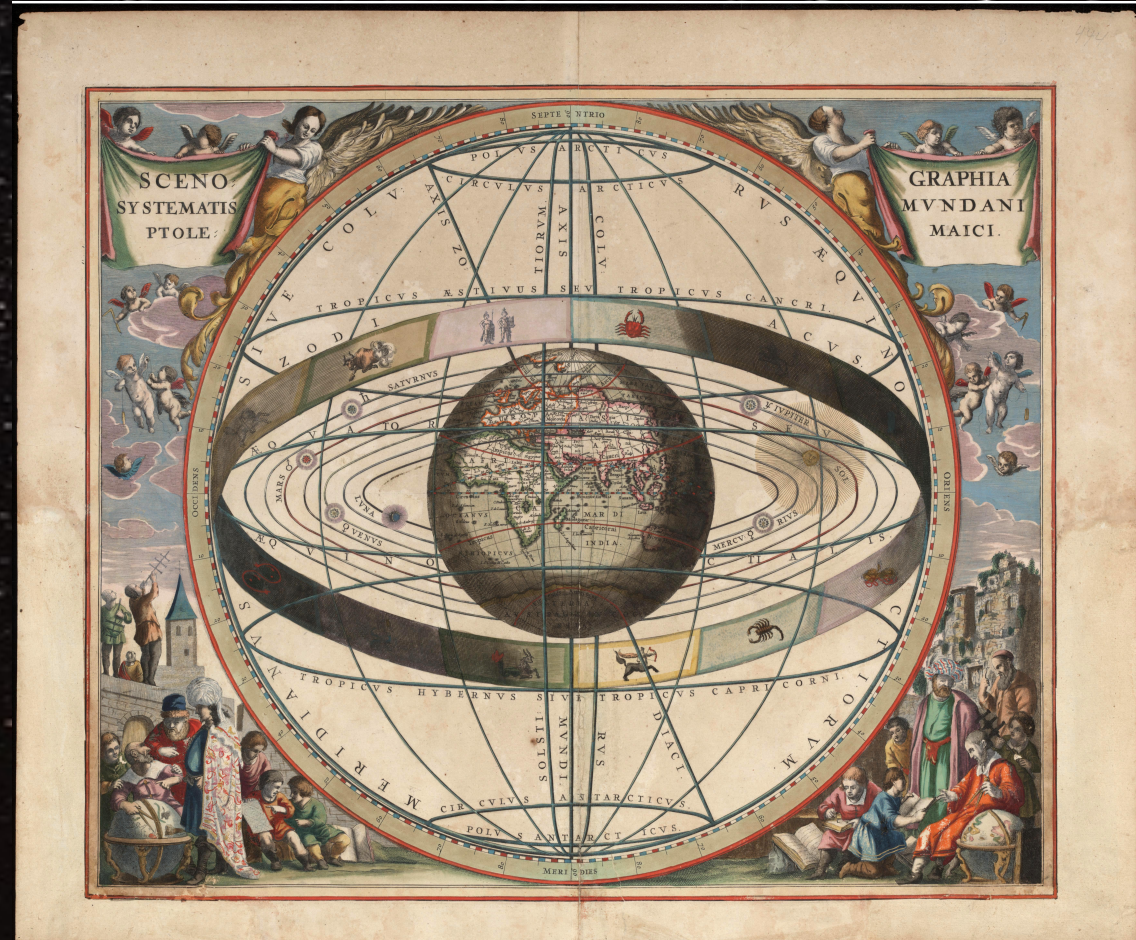


Teoria geocentrica: Terra al centro dell'Universo, tutti gli astri le ruotano attorno (Aristotele, Ipparco)



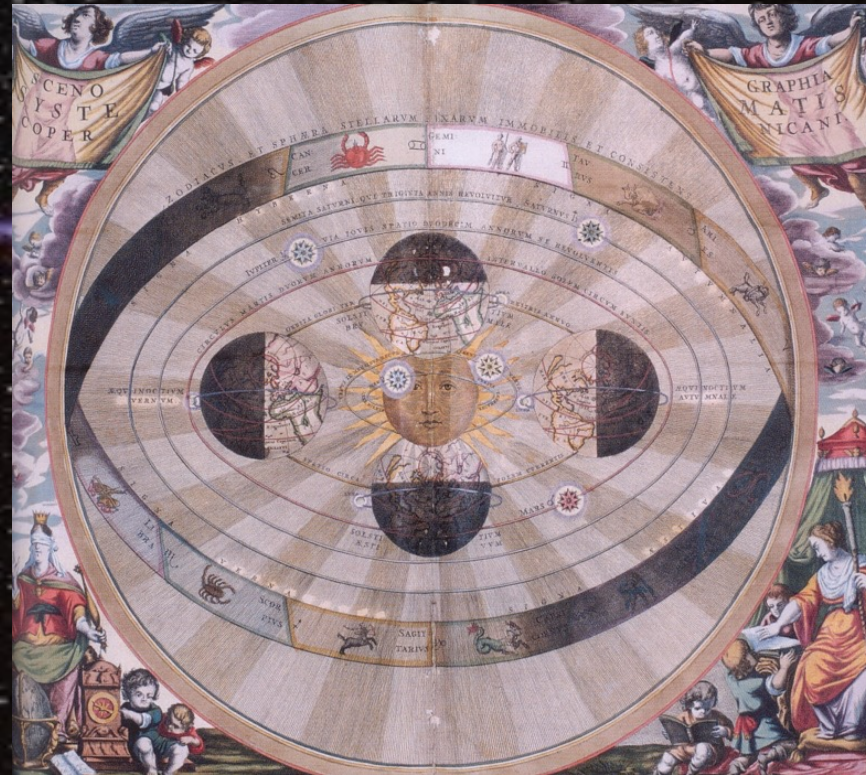
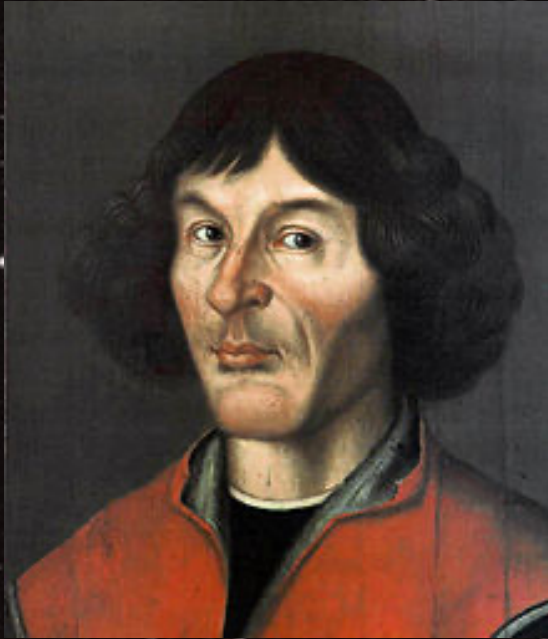


- Tolomeo (100-175) raffinò la teoria geocentrica di Aristotele e Ipparco per renderla compatibile con le osservazioni sul moto dei pianeti (teoria degli epicicli).



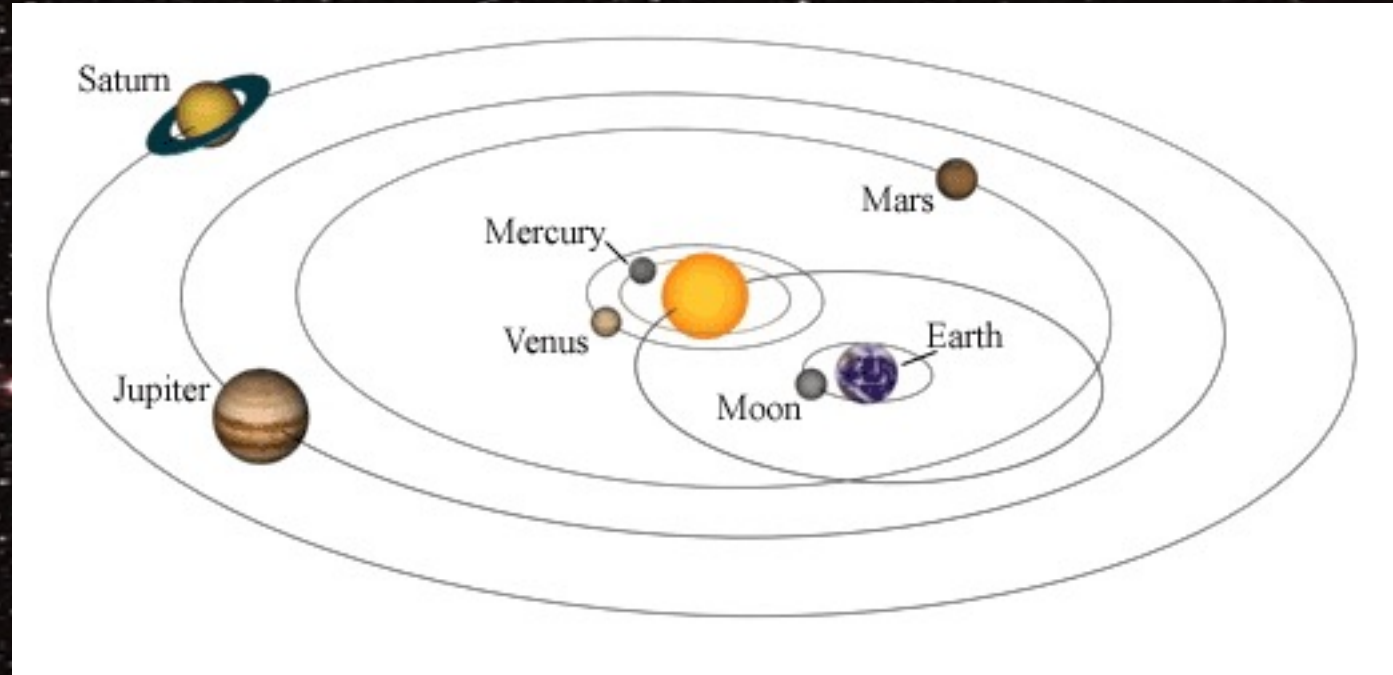


- Copernico (1473-1543) capì che il complicato modello geocentrico di Tolomeo si semplificava enormemente assumendo che il moto dei pianeti avvenisse attorno al Sole, anzichè attorno alla Terra (teoria eliocentrica).





- Tycho Brahe (1546-1601) passò buona parte della sua vita a fare misure sul moto dei pianeti



- Sviluppò un modello a metà tra quello tolemaico e quello copernicano.



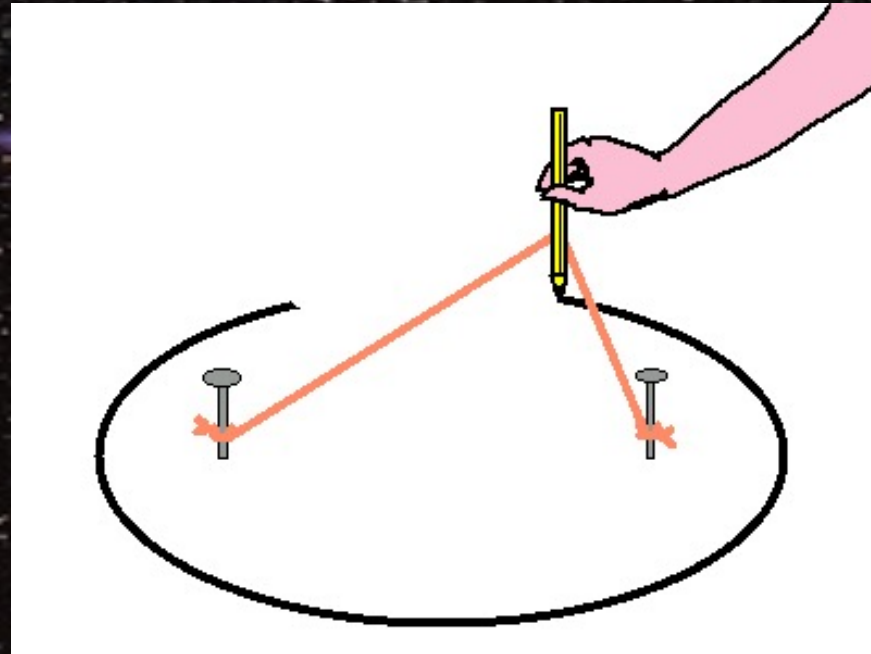
Perse un pezzo di naso nel 1566.....



...in un duello di spada con un suo “amico” per risolvere la controversia su chi fosse il più bravo in matematica



- Keplero (1571-1630) utilizzò i dati di Brahe per dedurre le sue tre Leggi omonime.
- Queste leggi descrivono accuratamente il moto dei pianeti attorno al Sole, ma non spiegano il **perché**.





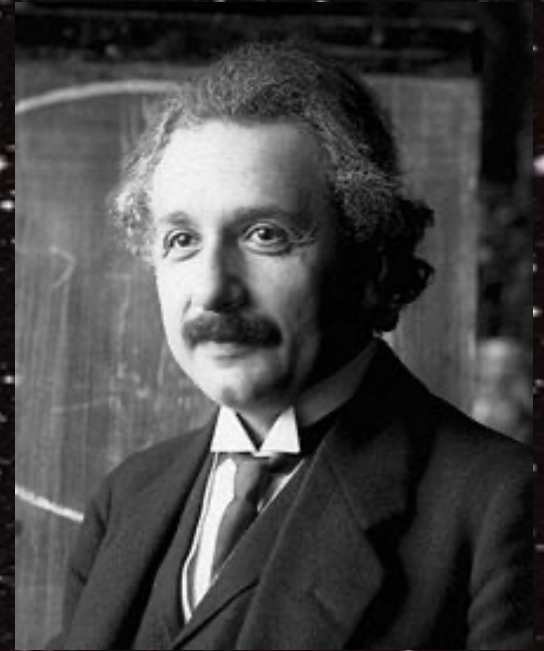
# I tre pesi massimi della gravitazione



Galileo (1564-1642)



Isaac (1642-1727)



Albert (1879-1955)



- Galileo dimostra sperimentalmente che corpi diversi cadono verso terra con la stessa accelerazione ( $g \approx 9.81 \text{ m/s}^2$ : accelerazione di gravità)

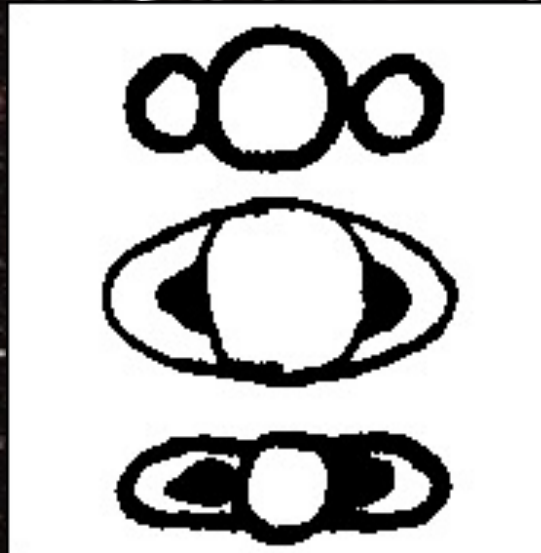




- Perfeziona il telescopio e dimostra che il cielo è tutt'altro che “perfetto” e che la Terra non occupa una posizione privilegiata nell'Universo.



La Luna e le sue fasi



Gli anelli di Saturno

*Observations Joviales*  
1610

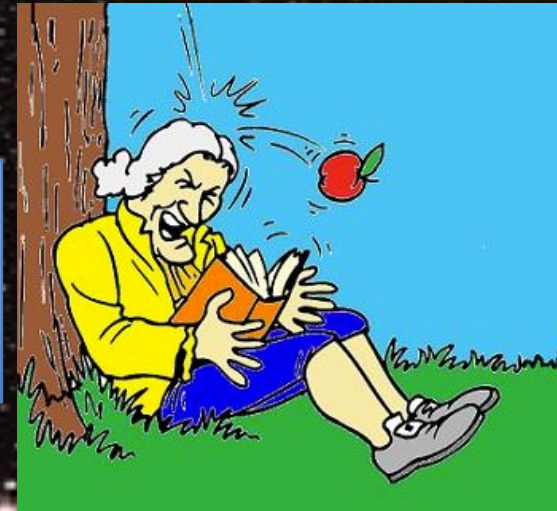
|                         |           |
|-------------------------|-----------|
| 20. Jovis<br>mane H. 12 | ○ **      |
| 30. mane                | ** ○ *    |
| 2. Jovis                | ○ ** *    |
| 3. mane                 | ○ * *     |
| 3. Ho. 5.               | * ○ *     |
| 7. mane                 | * ○ **    |
| 6. mane                 | ** ○ *    |
| 8. mane H. 13.          | * * * ○   |
| 10. mane                | * * * ○ * |
| 11.                     | * * ○ *   |
| 12. H. 4. 2. 1/2        | * ○ *     |
| 13. mane                | * ** ○ *  |
| 14. mane                | * * * ○ * |

I satelliti di Giove



- Newton è stato uno dei più grandi scienziati di tutti i tempi e al contempo un alchimista.
- È stato il padre della Meccanica Classica e della legge di gravitazione universale che sintetizza in un'unica equazione gli studi di Copernico, Galileo, e Keplero.

$$F = G \frac{M_1 \cdot M_2}{d^2}$$



- È stato il primo a capire che la forza che fa cadere la mela è la stessa che fa “cadere” la Luna.



Intermezzo:  
perchè la Luna non cade sulla Terra?





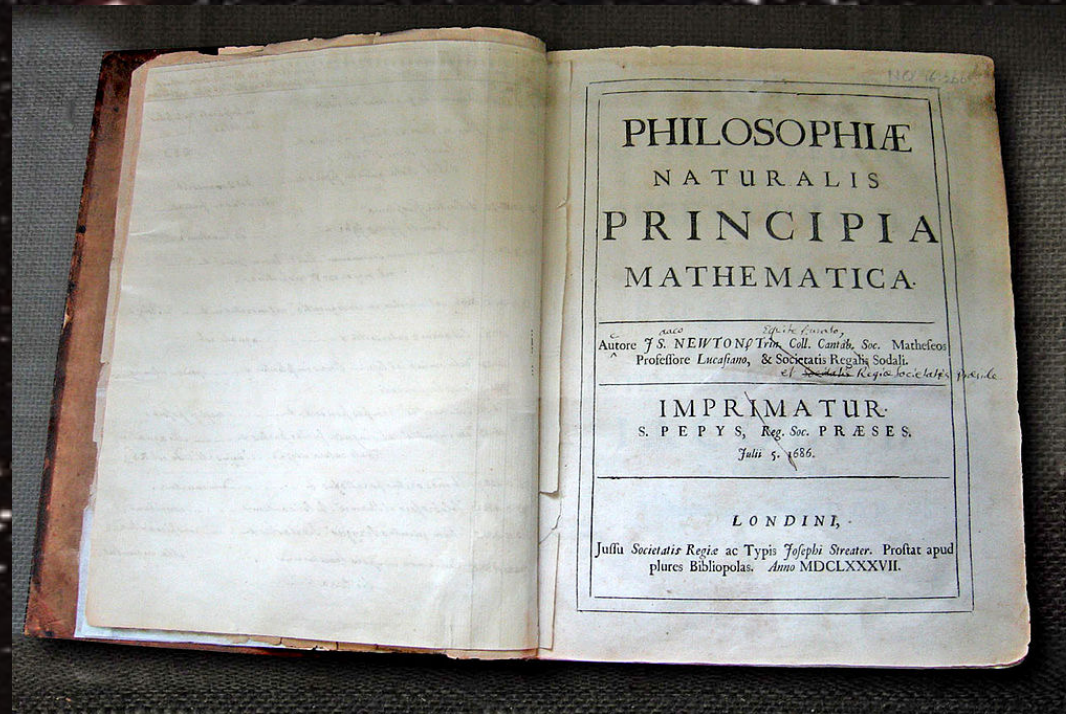
# Intermezzo: perchè la Luna non cade sulla Terra?



In effetti, la Luna cade verso la Terra ma manca il bersaglio perchè nel frattempo si è spostata un pò più in là!



- La sua legge permise ad Halley di prevedere l'apparizione dell'omonima cometa nel 1759.
- E permise ad Addams e Le Verrier di prevedere l'esistenza di Nettuno prima che venisse osservato, nel 1846.





# Cosí in Cielo come in Terra

- La gravitazione newtoniana permette di spiegare quasi tutto....
  - ◇ Le **maree** (dovute principalmente alla Luna e alla forza centrifuga)





◇ Balistica et al.



$$E_{tot} = E_{cin} + E_{pot}$$
$$\frac{1}{2} mV^2 = \frac{GMm}{r} \Rightarrow V_{fuga} = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

Sulla Terra:  $V_{fuga}=11.2$   
km/s



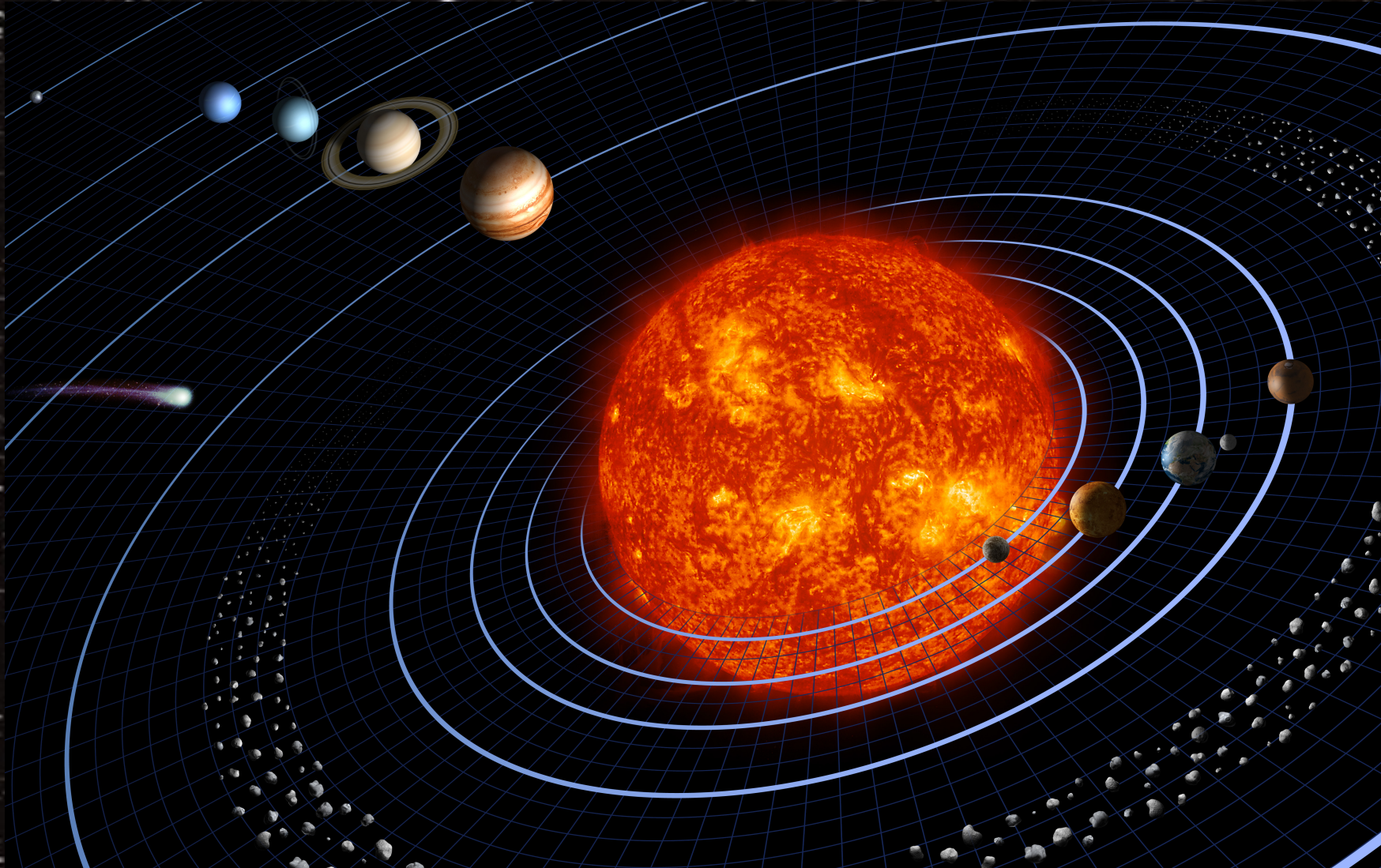
- ◇ La forma dei corpi celesti (purchè sufficientemente grandi,  $R > 1000$  km circa)



67P/Churyumov-Gerasimenko



# ◇ Il moto dei pianeti





## ◇ Le forma delle galassie





◇ L'esistenza e le caratteristiche degli ammassi di galassie





La forza di gravità può essere “usata” in molti modi, oltre che per divertimento

Per esempio in architettura. La struttura degli edifici deve necessariamente tenere conto della gravità.

È ben noto che l’arco, nelle sue varie forme, è una struttura efficiente per “scaricare a terra” il peso sovrastante



Esiste un modo migliore? Sì, la cosiddetta CATENARIA

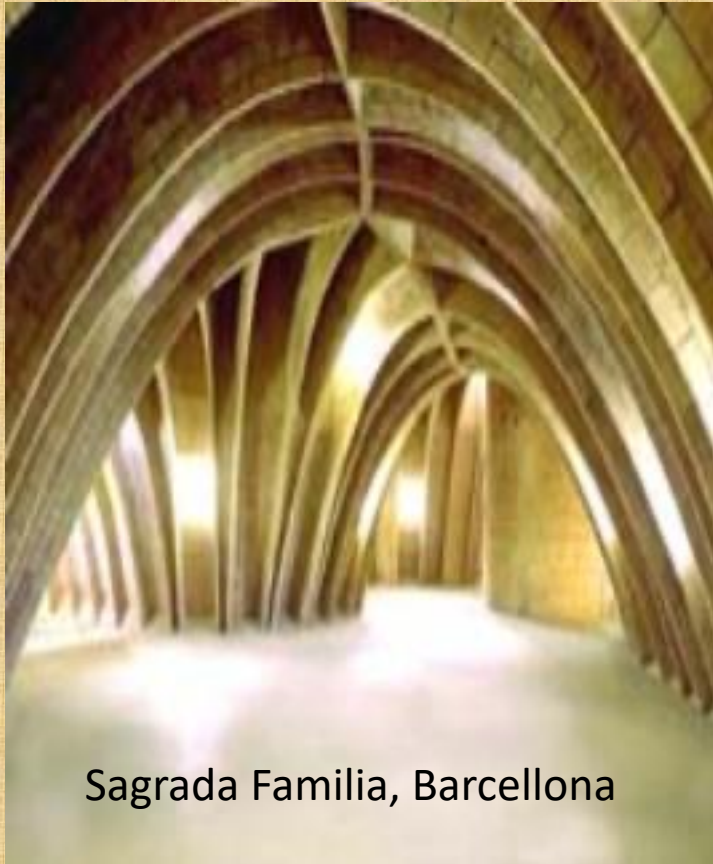


È la forma di una catenina tenuta per le due estremità



Una caratteristica importante della catenaria è che il peso è distribuito uniformemente in ogni suo tratto.

Se prendiamo una catenaria e la rovesciamo, otteniamo un modo migliore di scaricare il peso a terra rispetto all'arco classico.



Sagrada Familia, Barcellona

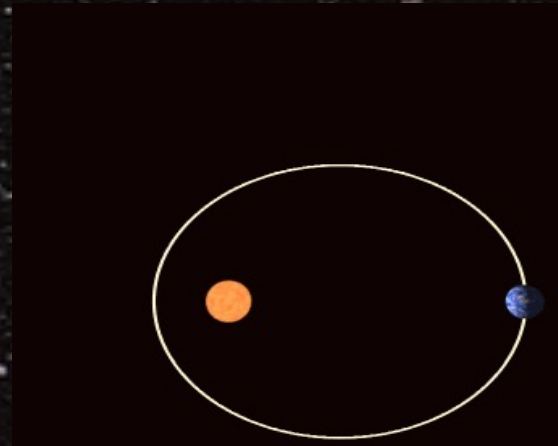
L'arco a catenaria è stato molto usato per esempio di Gaudì, il celebre architetto di Barcellona



Gateway Arch, Saint Louis (Missouri)  
Progettato da Eero Saarinen



- La gravità newtoniana funziona bene nella maggior parte dei casi (infatti si studia ancora oggi) ma non sempre.
- Per esempio, non spiega la precessione del perielio di Mercurio



- Inoltre assume che la forza gravitazionale si propaghi istantaneamente (cosa che disturbava lo stesso Newton)



# Entra in campo Albert Einstein....

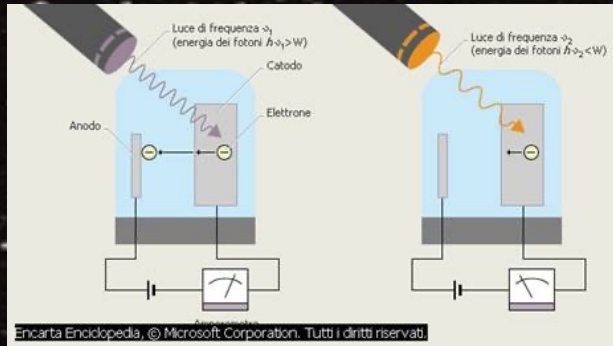


"Sono preoccupata per Albert: fatica ad imparare e non sappiamo cosa potrà fare".

Pauline Einstein ad una amica



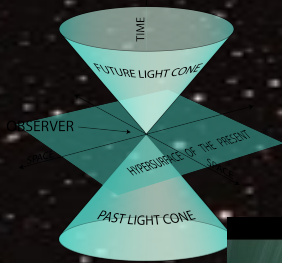
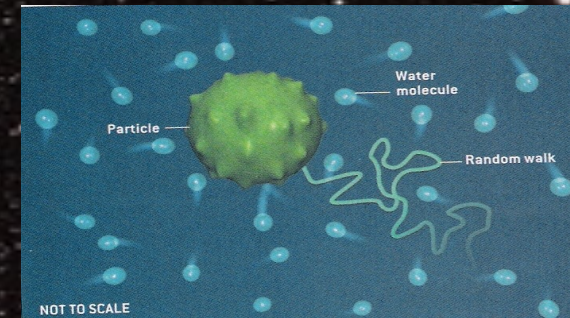
# 1905: *l'annus mirabilis* di Einstein



1) Effetto fotoelettrico (Marzo)

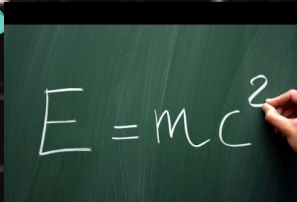
2) Il numero di Avogadro (Aprile)

3) Moto Browniano (Maggio)



4) Nuova Elettrodinamica (Giugno)

(Relatività Ristretta)



5)  $E = mc^2$  (Settembre)

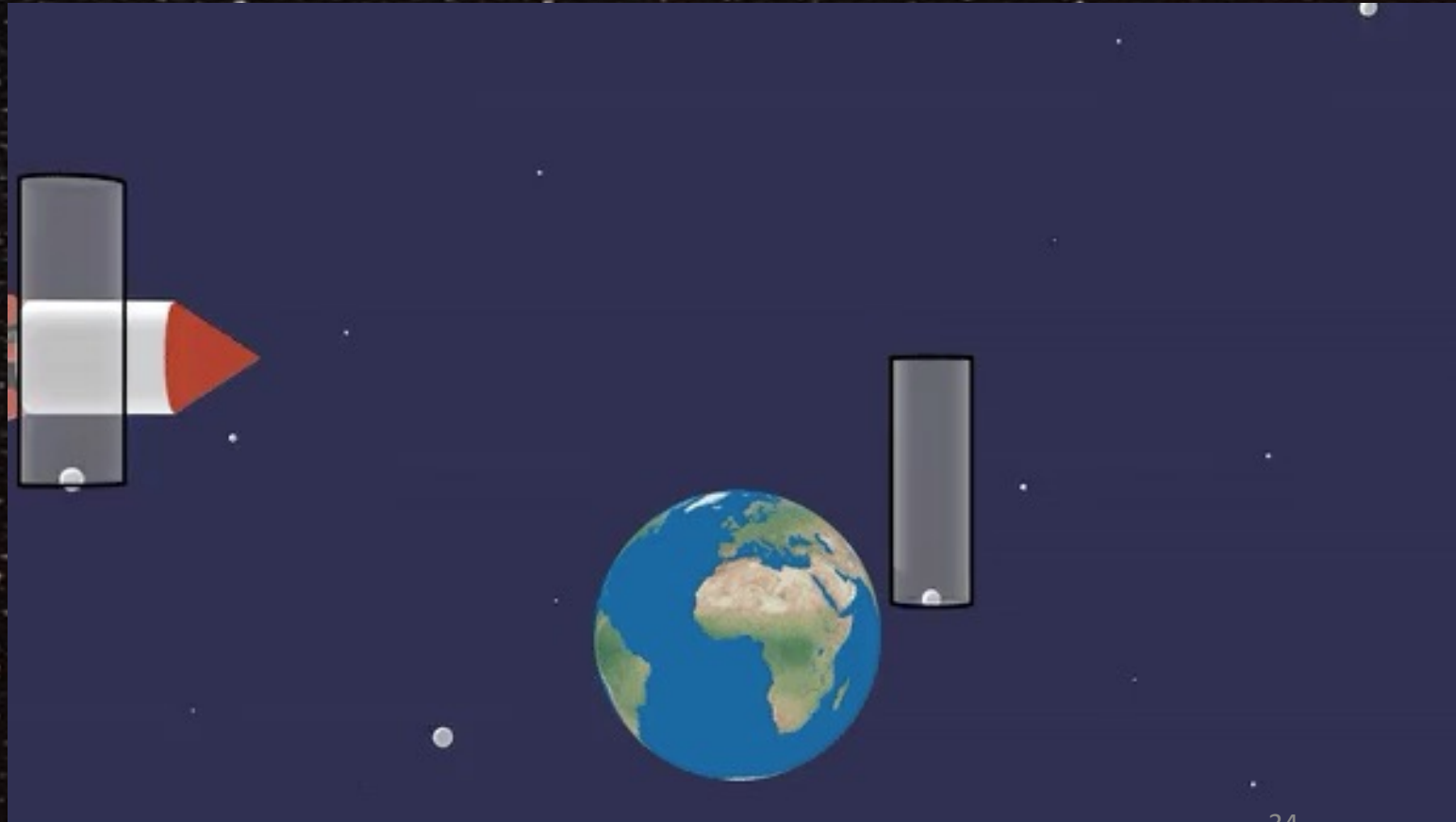


La Relatività ristretta prevede una serie di effetti “strani”, ma tutti verificati sperimentalmente.

**Spazio e tempo sono legati tra di loro:** per esempio, lo scorrere del tempo dipende dallo stato di moto:

Il tempo sul razzo scorre più lentamente!

Però l'effetto è così piccolo che è influente nella vita quotidiana





Le scoperte di Einstein, e di altri scienziati, ebbero un impatto significativo nella società, inclusa l'arte.

**Picasso**, nelle sue opere cubiste, rappresenta i soggetti visti contemporaneamente da diversi punti di vista



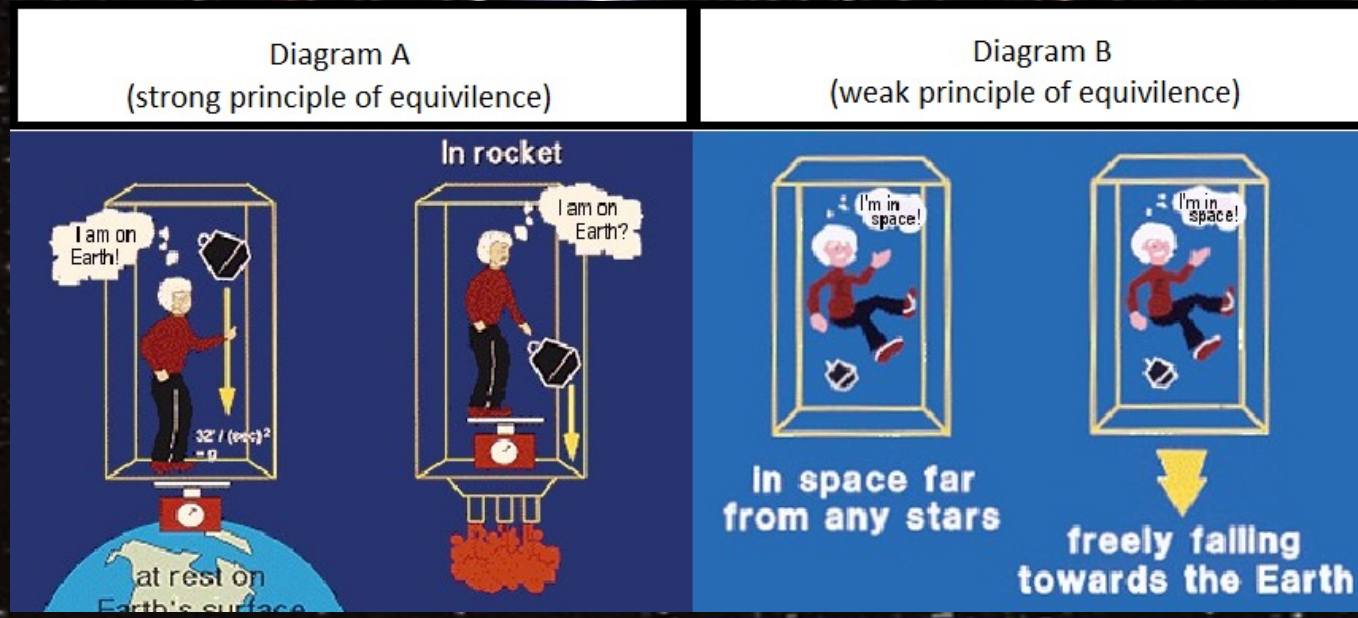
Spazio e tempo si mescolano giocando sul concetto di simultaneità



- Einstein nel 1907 iniziò a lavorare ad nuova una teoria della gravitazione

*the happiest thought of my life...*

The gravitational field has only a relative existence... Because for an observer freely falling from the roof of a house - at least in his immediate surroundings - there exists no gravitational field.





- Einstein nel 1907 iniziò a lavorare ad nuova una teoria della gravitazione

*the happiest*

The gravitation  
observer for  
immediate

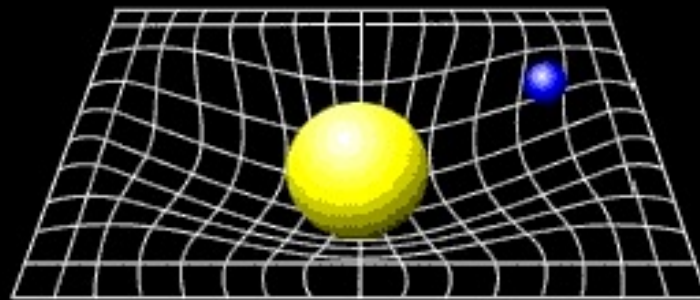
se for an  
his





# La Relatività Generale

- I corpi curvano lo spazio-tempo.
- I corpi in moto seguono il cammino più breve tra due punti dello spazio-tempo curvo.
- La gravità è un effetto geometrico!



- Lo spazio-tempo è descritto dalla geometria non-euclidea (Riemann, Poincaré etc.).



# Le Equazioni della Relatività Generale

*Spacetime tells matter how to move; matter tells spacetime how to curve. (J. A. Wheeler)*

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

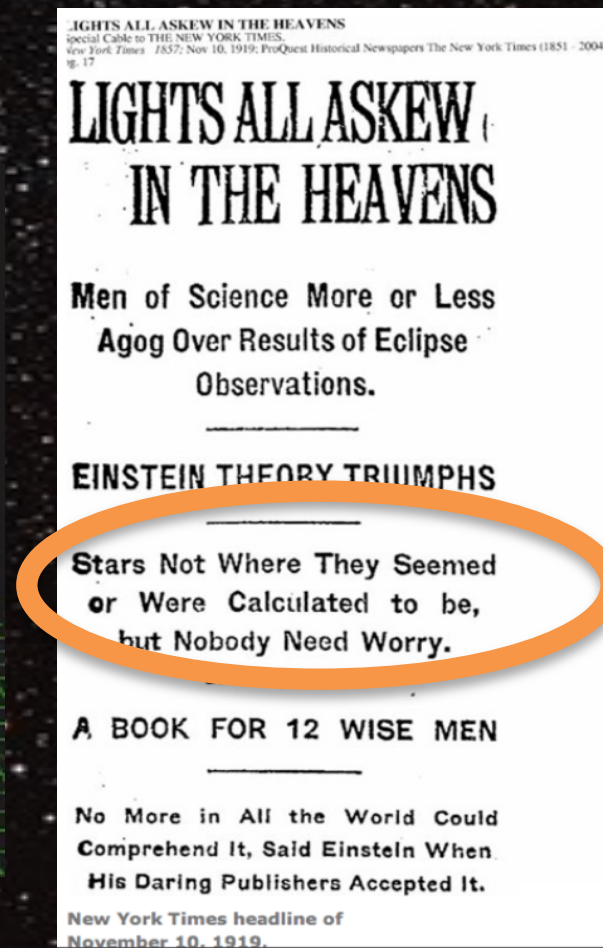
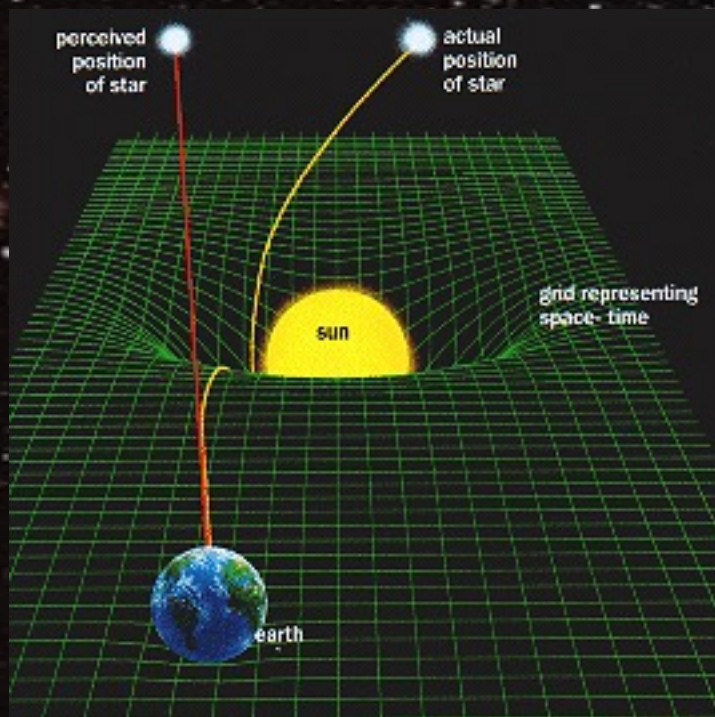
A. EINSTEIN

$$\begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} \\ g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} \end{pmatrix}$$

- Da queste equazioni discendono numerose conseguenze fisiche.



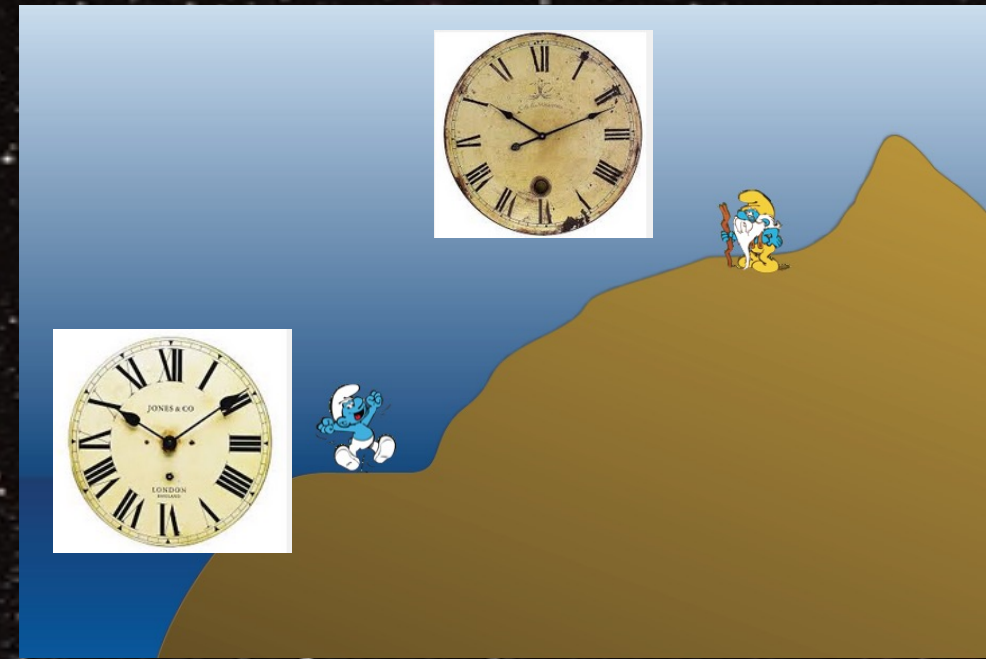
- Il calcolo dell'avanzamento del perielio di Mercurio è in accordo con le osservazioni (AE 1919)
- La luce viene deflessa (verificata da Eddington nel 1919)



Croce di Einstein



- Dilatazione del tempo
  - Il tic-toc di un orologio rallenta avvicinandosi alla sorgente del campo gravitazionale.
  - È un effetto cruciale nel GPS.
- Se non se ne tenesse conto l'accuratezza dei navigatori peggiorerebbe di 10 km al giorno!





La nuova teoria della gravitazione di Einstein ha probabilmente influenzato una delle opere più famose di Salvador Dalì (oltre che il formaggio molle che aveva mangiato a cena...)



La persistència de la memòria – Salvador Dalì 1931

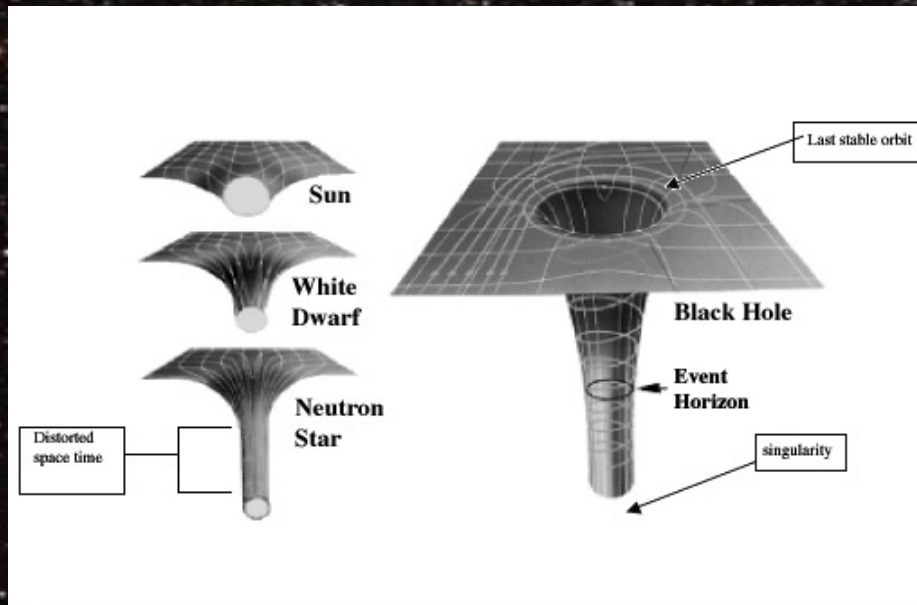


- Buchi neri (Schwarzschild 1916)  
Event Horizon Telescope (observations done in 2017, images released in 2022)

Immaginiamo di comprimere una grande quantità di materia in un volume molto piccolo.

La geometria dello spazio-tempo diventa estrema.

Nessuna forza può sostenere la materia ed essa collassa in un punto: si crea una singolarità





**Buchi neri:** oggetti con un campo gravitazionale così intenso che nemmeno la luce può sfuggirgli

Sono il risultato del collasso di stelle molto massicce (almeno 20 volte la massa del sole)

Per molto tempo sono stati considerati "curiosità matematiche"





Event Horizon Telescope (observations done in 2017,  
images release in 2022)





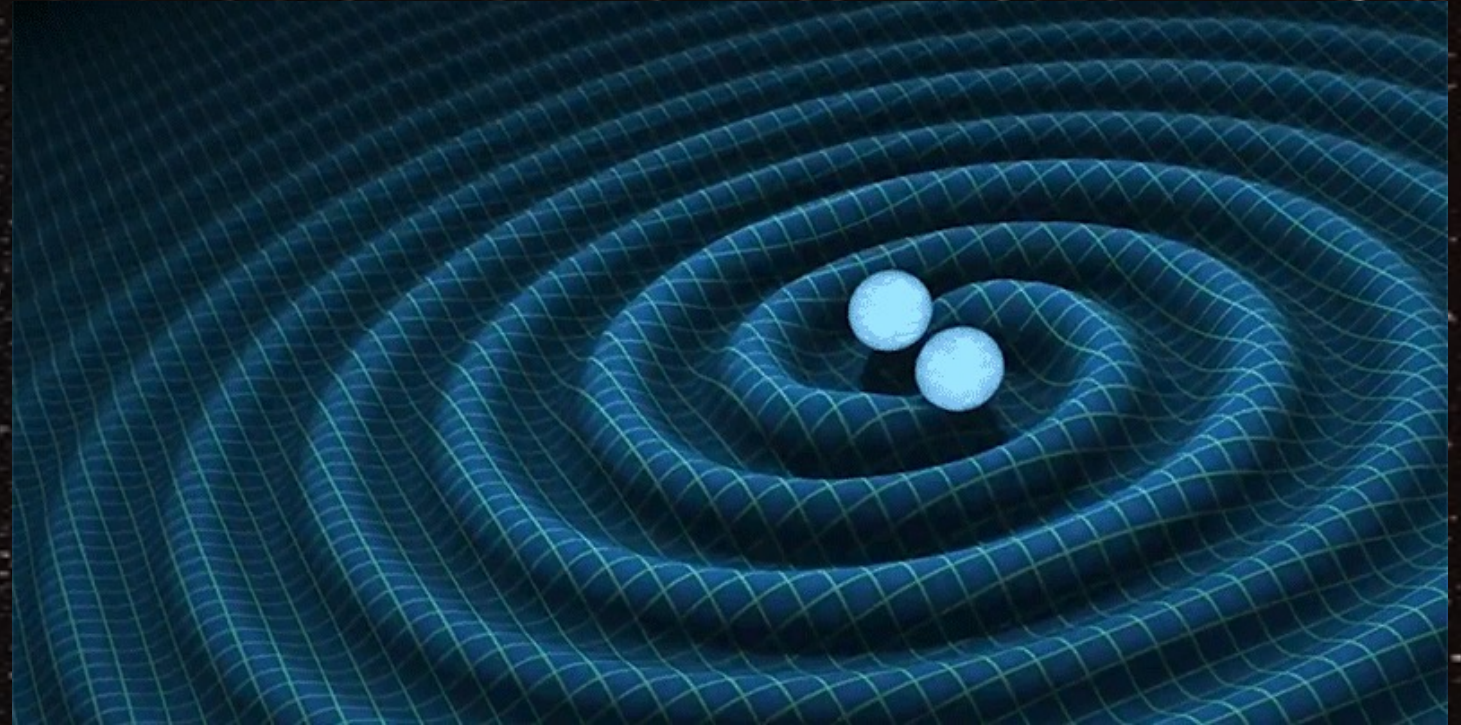
- Onde gravitazionali (AE 1916): increspature dello spazio-tempo, che si propagano alla velocità della luce

Näherungsweise Integration der Feldgleichungen  
der Gravitation.

VON A. EINSTEIN.

Bei der Behandlung der meisten speziellen (nicht prinzipiellen) Probleme auf dem Gebiete der Gravitationstheorie kann man sich damit begnügen, die  $g_{\alpha\beta}$  in erster Näherung zu berechnen. Dabei bedient man sich mit Vorteil der imaginären Zeitvariable  $x_4 = it$  aus denselben Gründen wie in der speziellen Relativitätstheorie. Unter »erster Näherung« ist dabei verstanden, daß die durch die Gleichung

$$g_{\alpha\beta} = -\delta_{\alpha\beta} + \gamma_{\alpha\beta} \quad (1)$$

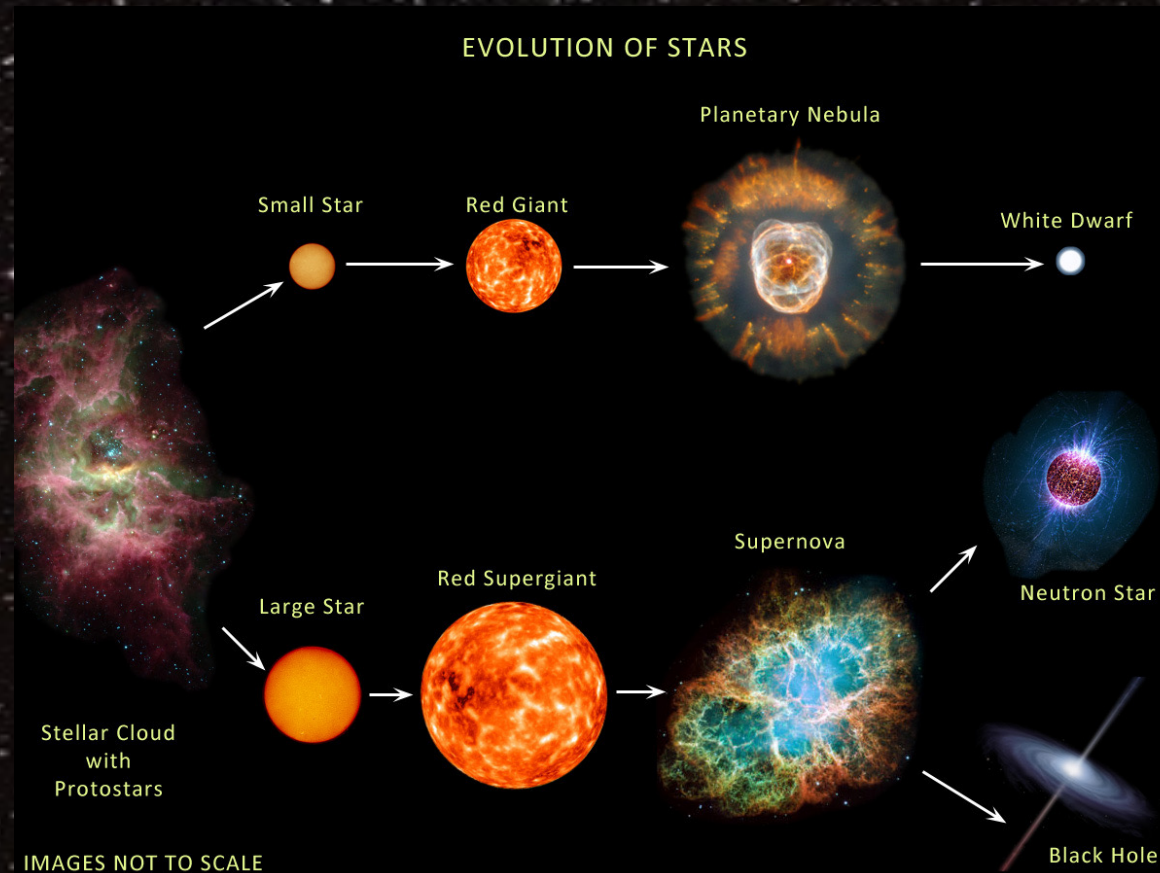


- Sono le soluzione “perturbative” delle Equazioni della RG, in assenza di materia:  $T_{\mu\nu} = 0$ .
- Sono prodotte dall’ accelerazione di masse



# Sorgenti di onde gravitazionali

- Data la debolezza delle onde gravitazionali è necessario considerare corpi celesti molto grandi e che si muovono a velocità elevate: buchi neri e stelle di neutroni.





## Supernovae



NASA/CXC/SAO

Cassiopeia A, a supernova remnant.

## Stelle di neutroni

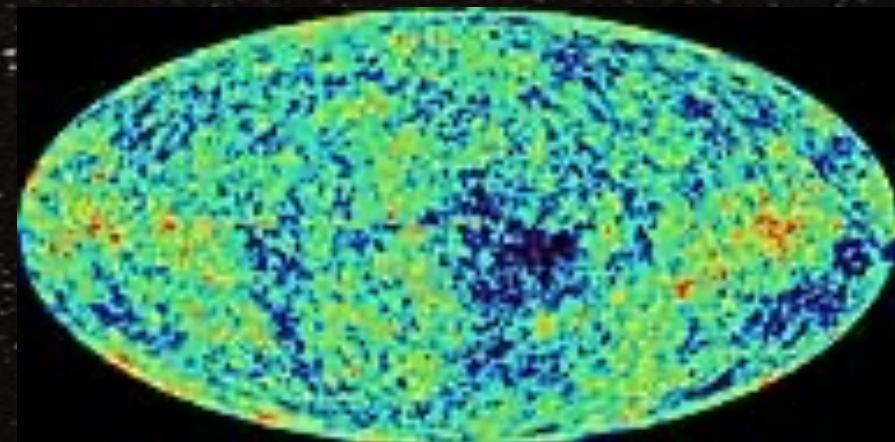


## Sistemi binari fatti di buchi neri e/o stelle di neutroni



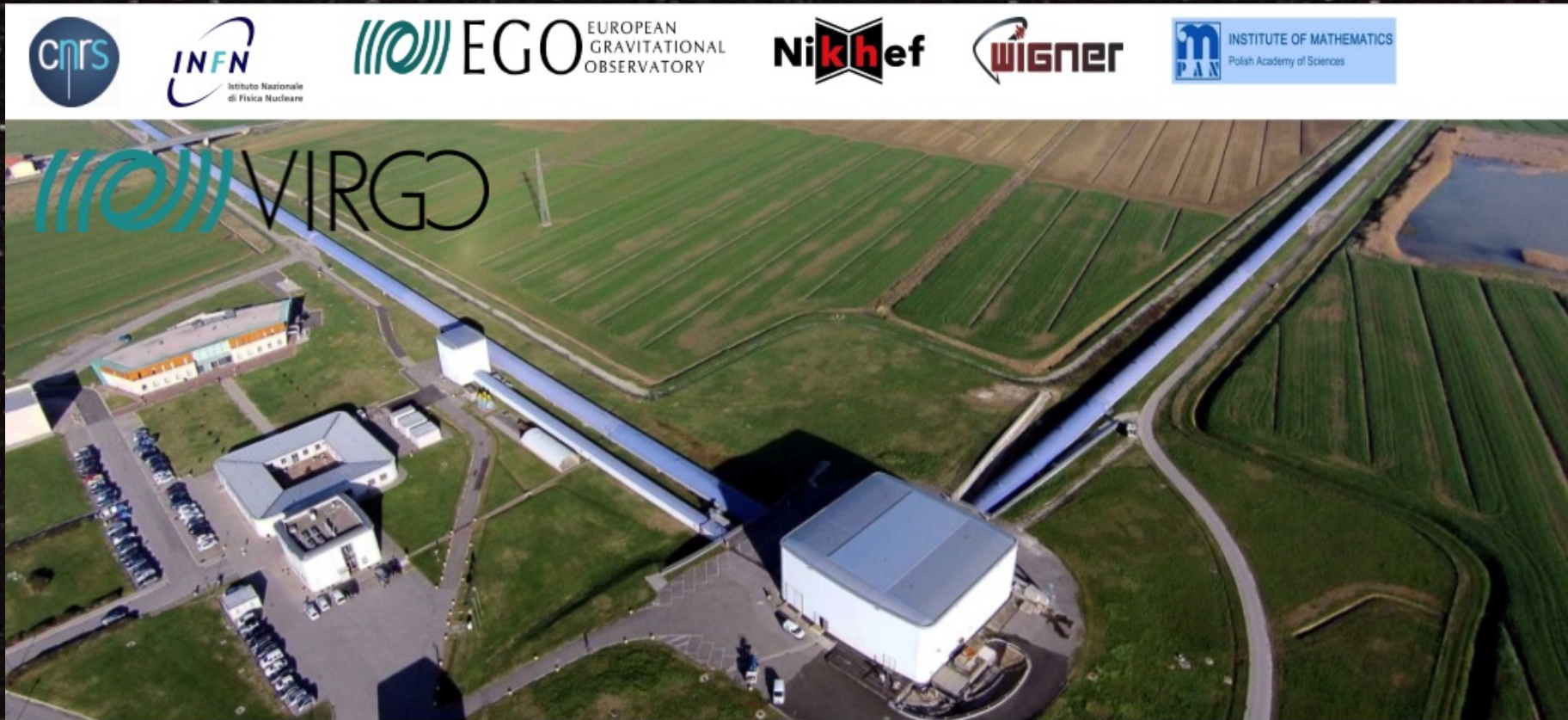
Un cucchiaino di materia peserebbe quanto l'intera popolazione umana! Basta una "montagnola di 1 mm per produrre un segnale osservabile!

"Rumore di fondo" di origine cosmologica





# Come osservare le onde gravitazionali





Lontano dalla sorgente che le genera...

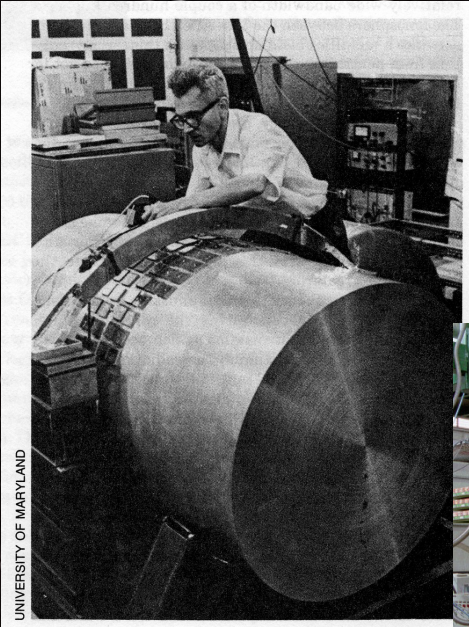


$$g_{\mu\nu}(x) \simeq \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}(x)$$



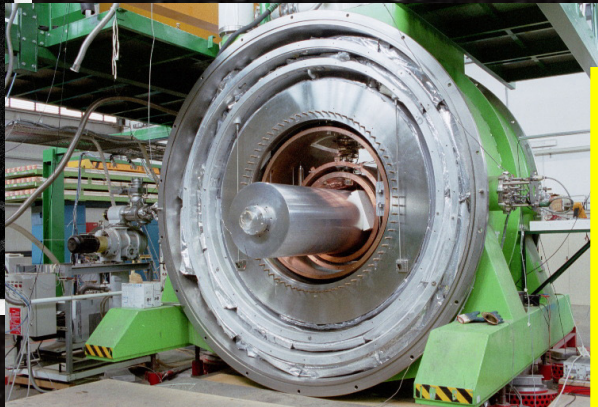


# ■ 50 e piu' anni di lavoro e progressi



60': Joe Weber  
pioneering work

Since the pioneering work of Joseph Weber in the '60, the search for Gravitational Waves has never stopped, with an increasing effort of manpower and ingenuity:



90': Cryogenic Bars



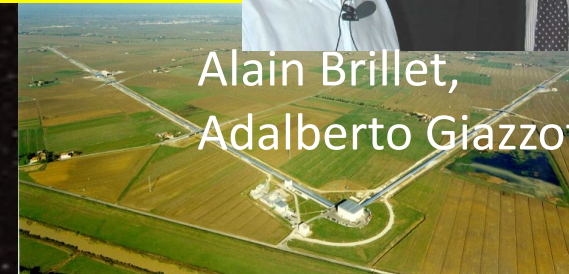
Edoardo Amaldi & Guido Pizzella



Rai Weiss,  
Kip Thorne



Alain Brillet,  
Adalberto Giazotto



2000' - : Large Interferometers



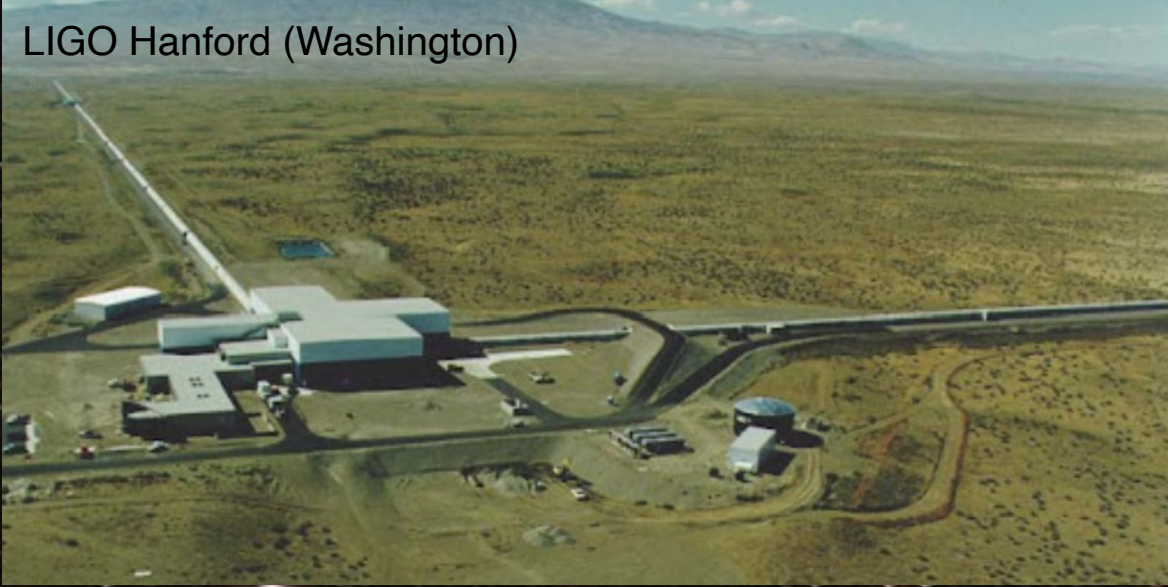
# L'interferometro Michelson dopo un secolo ...





Da qualche anno tre grandi rivelatori di onde gravitazionali sono “in ascolto”

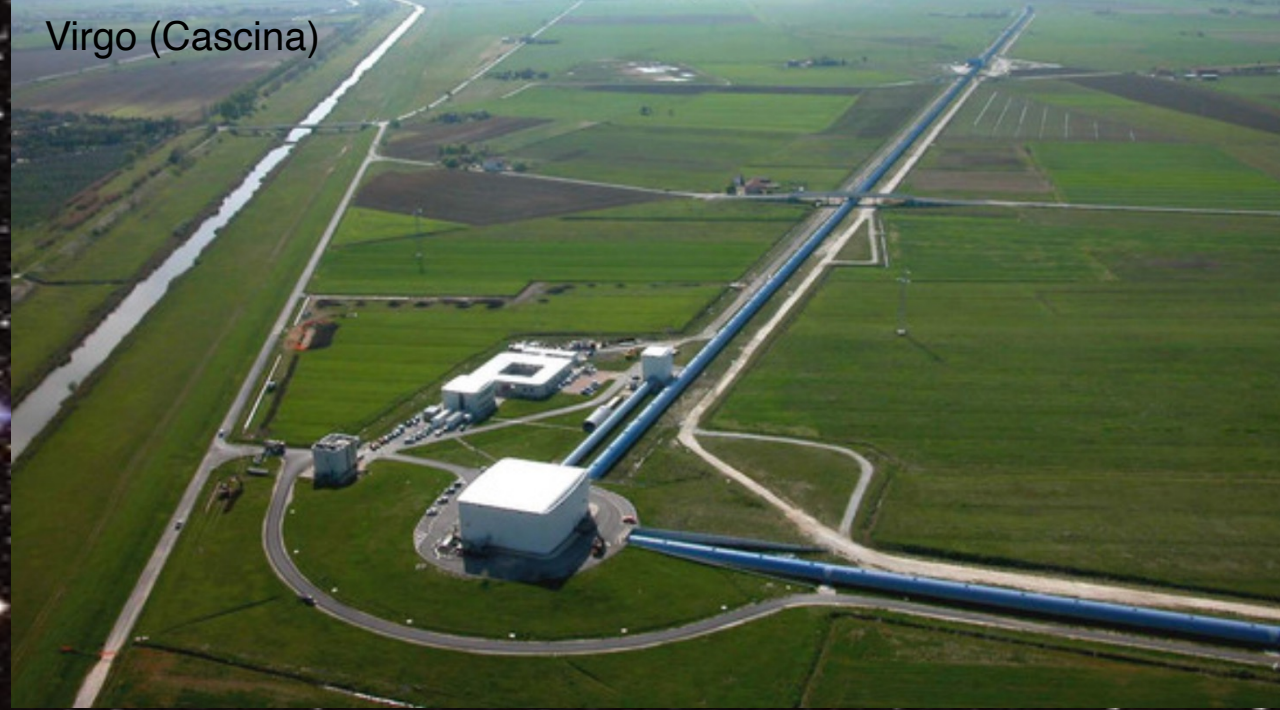
LIGO Hanford (Washington)



LIGO Livingston (Louisiana)

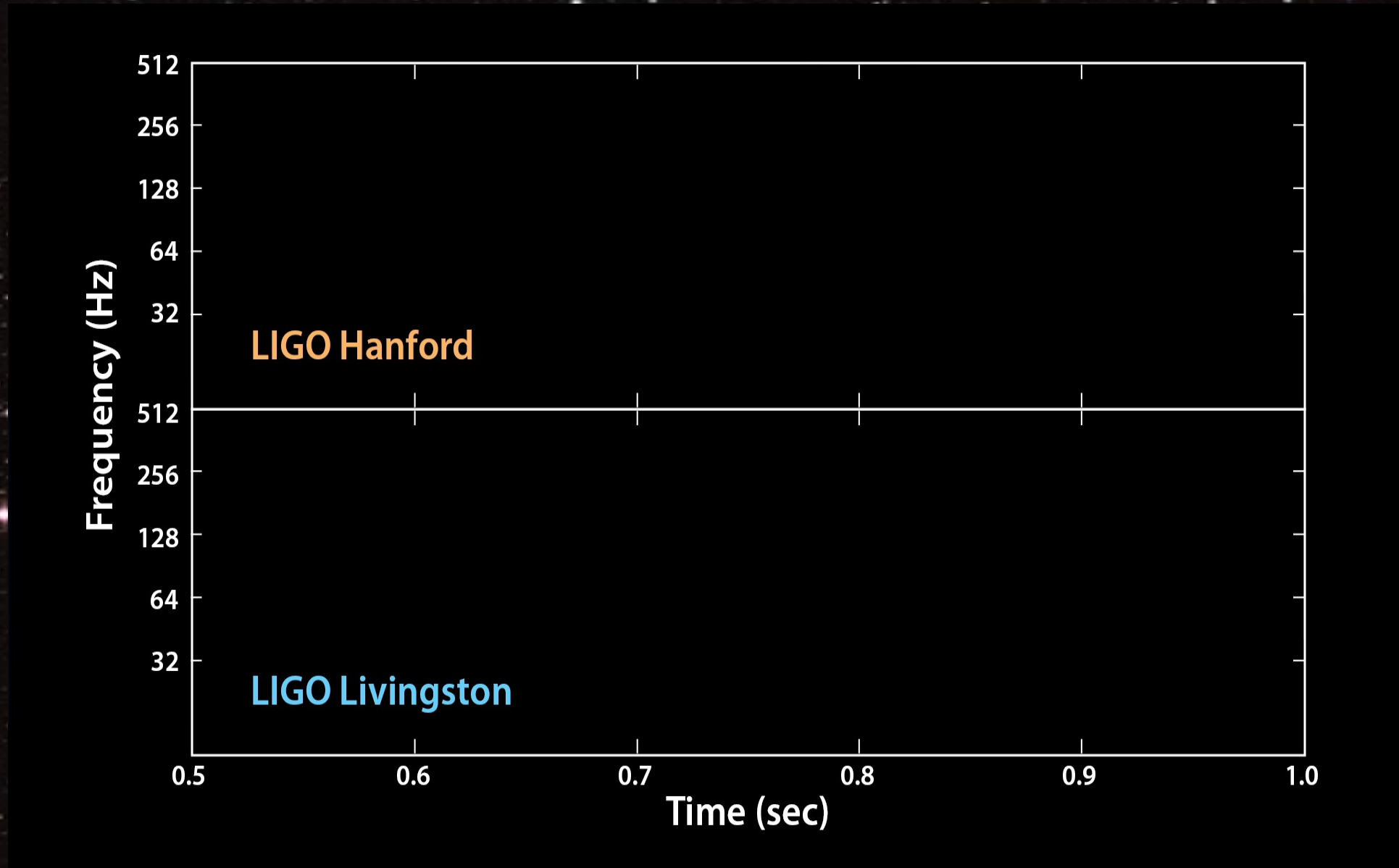


Virgo (Cascina)





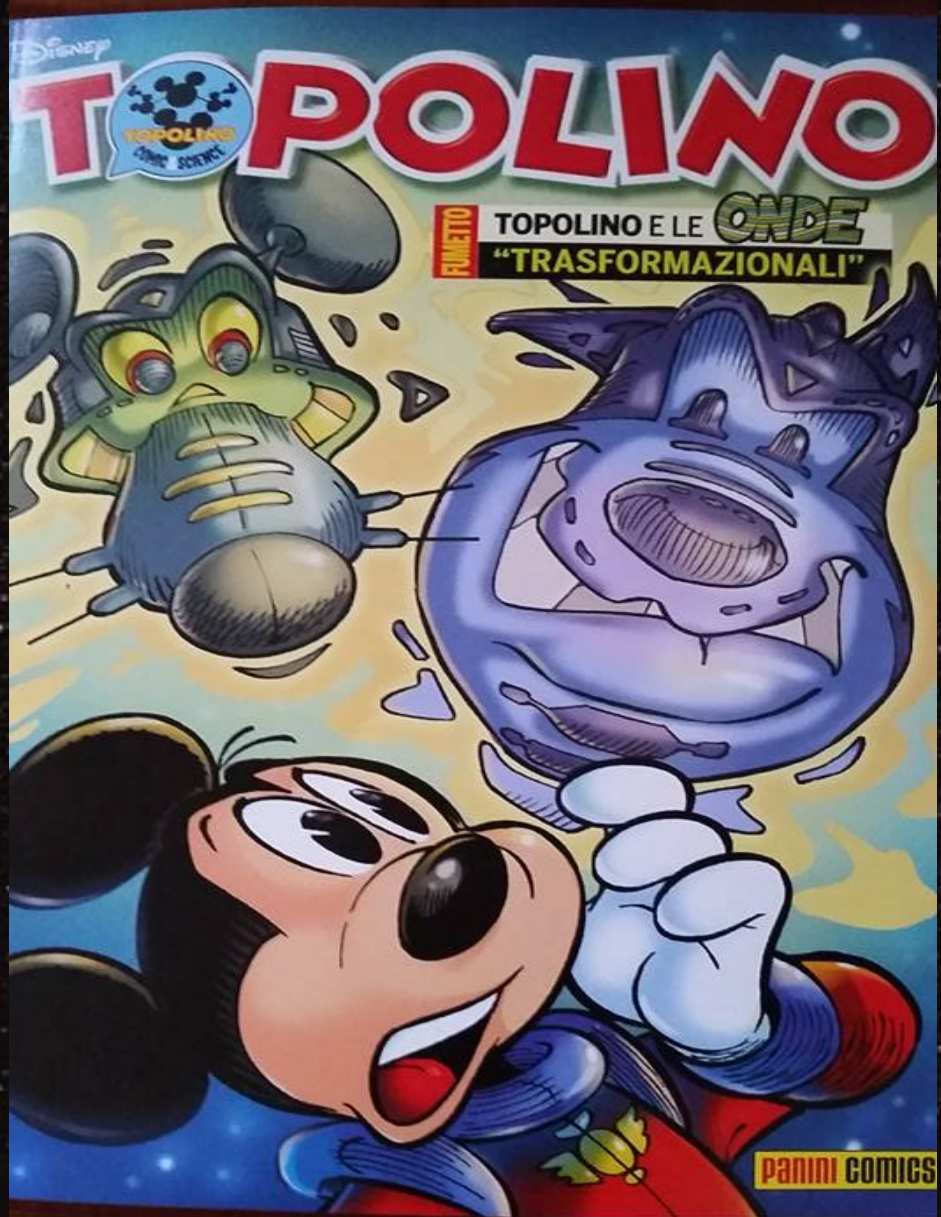
Il 15 settembre 2015 è stata rivelata la prima onda gravitazionale













*"For the greatest benefit to mankind"*  
*Alfred Nobel*



*The Royal Swedish Academy of Sciences has decided to award the*

## 2017 NOBEL PRIZE IN PHYSICS



Illustrations: Niklas Elmehed, Nobel Prize Medal: © The Nobel Foundation, Photo: Lovisa Engblom.

**Rainer Weiss  
Barry C. Barish  
Kip S. Thorne**

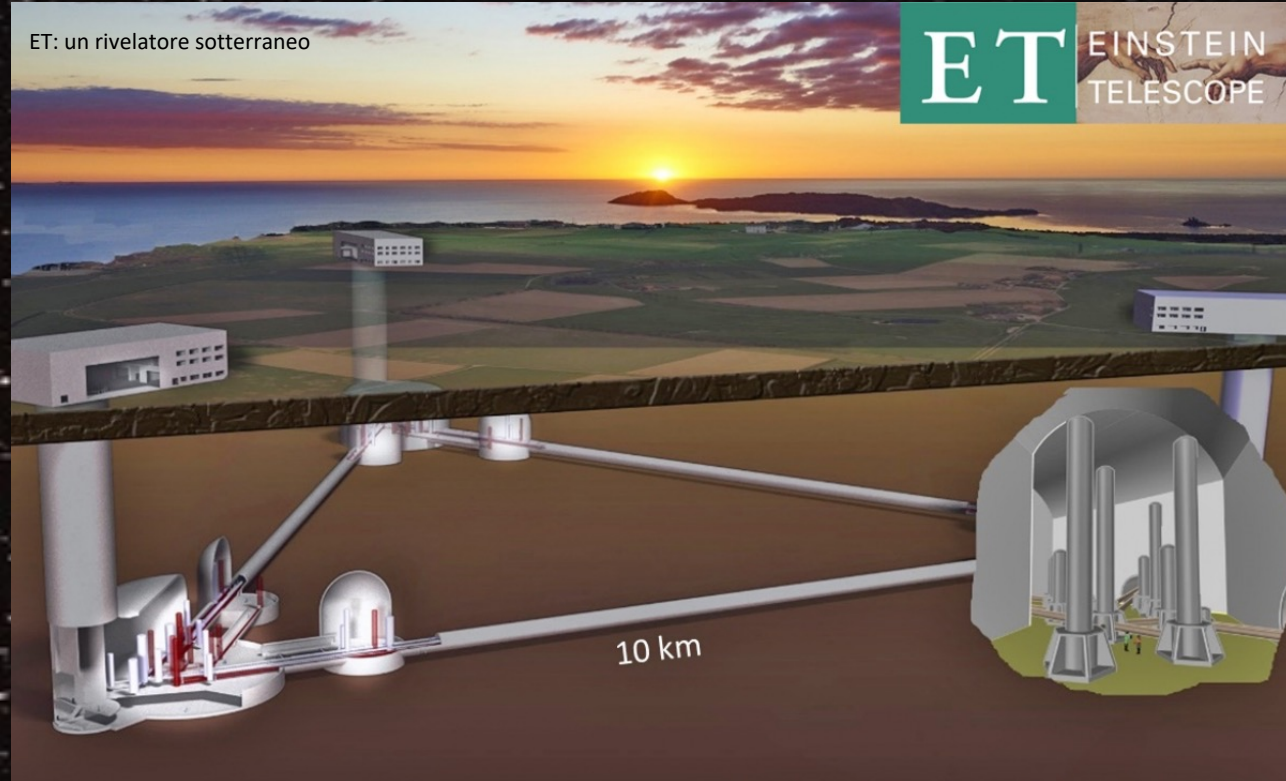
*"for decisive contributions to the LIGO detector and the observation of gravitational waves"*



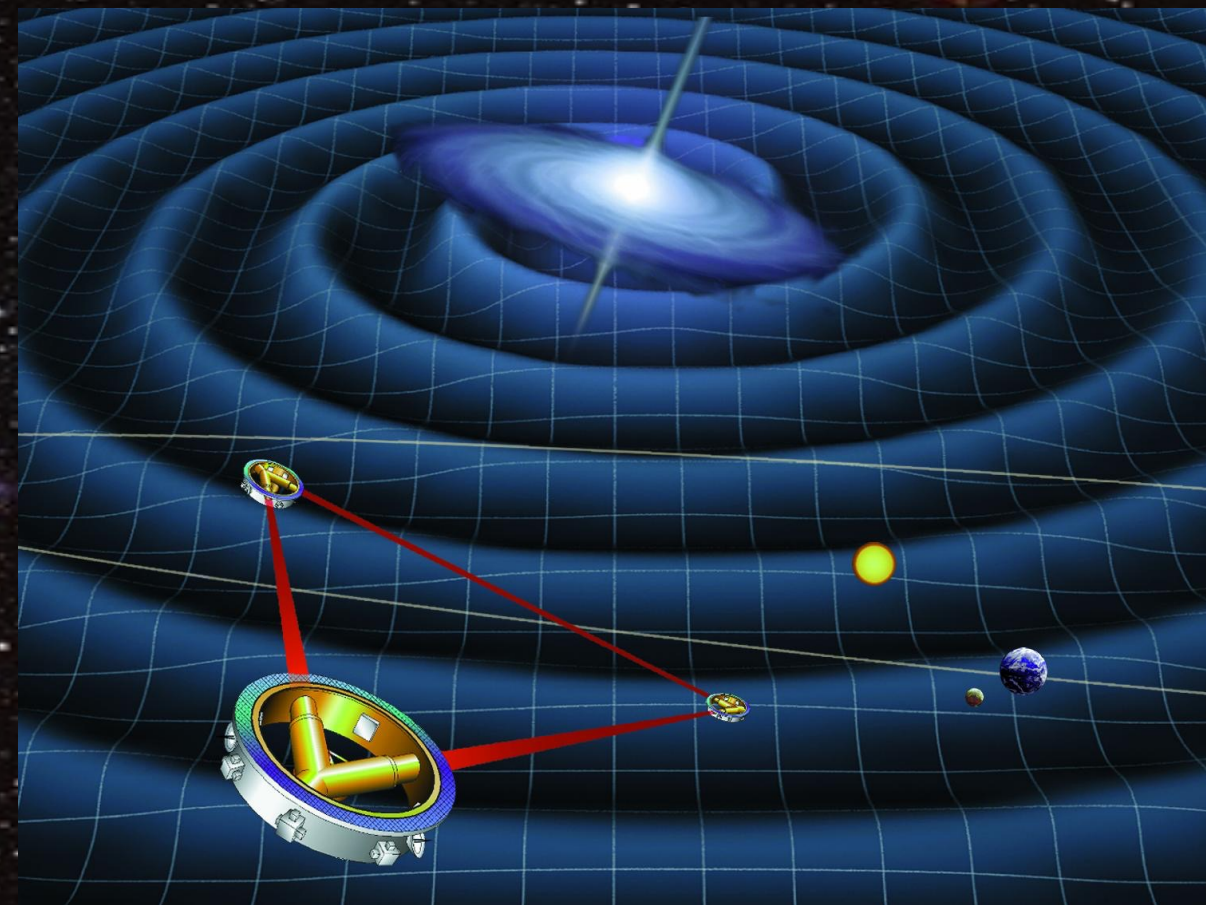
# Il futuro è adesso!

ET EINSTEIN  
TELESCOPE

ET: un rivelatore sotterraneo



LISA: un rivelatore nello spazio



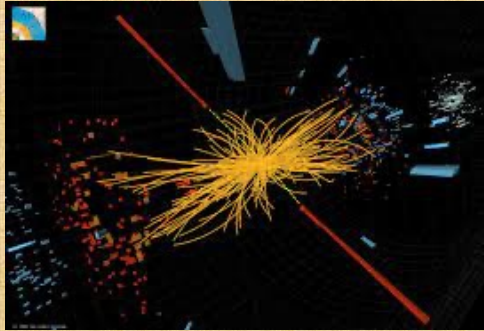
La miniera di Gola in Sardegna



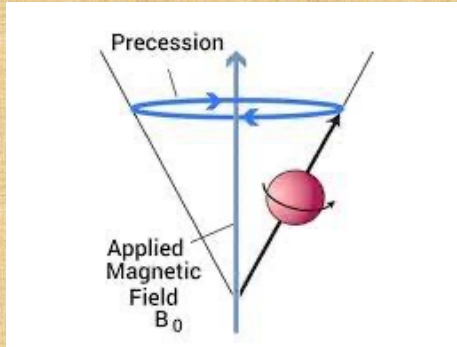
Entrambi entreranno in funzione intorno al 2035



Capire come è fatto e come funziona l'Universo è una necessità per l'essere umano, ma è anche alla base di innumerevoli avanzamenti tecnologici (con impatti formidabili sulla vita di tutti i giorni)



World Wide Web



RMN



GPS





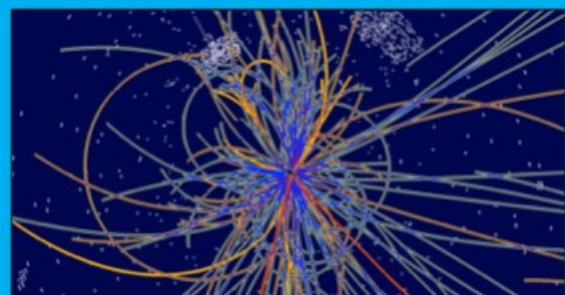
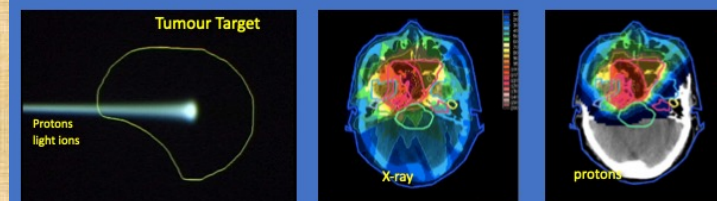
Centro Nazionale Adroterapia Oncologica  
(Pavia)



## Adroterapia



## Adroterapia

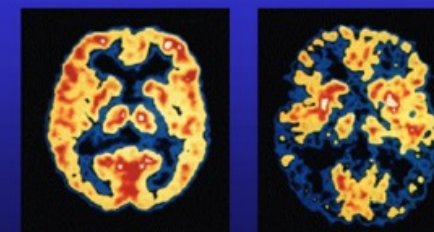


Rivelatori di particelle

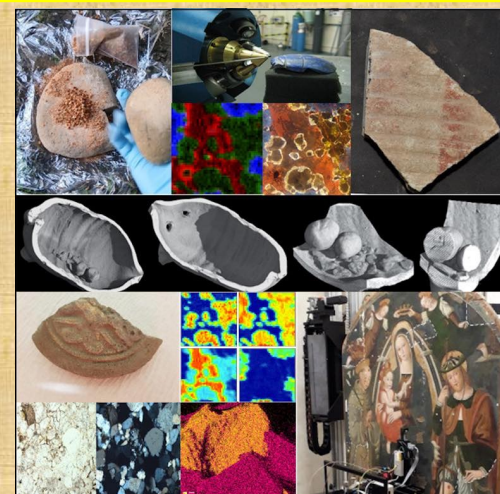
## Medical Imaging



## Brain Metabolism in Alzheimer's Disease: PET Scan



## Analisi chimico-fisica dei beni culturali





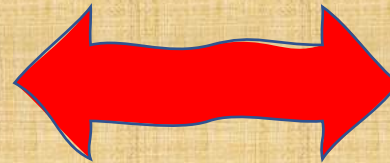
Fisica per I beni culturali



Composizione

Caratterizzazione

Datazione



Storici dell'arte

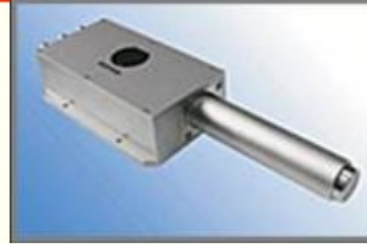
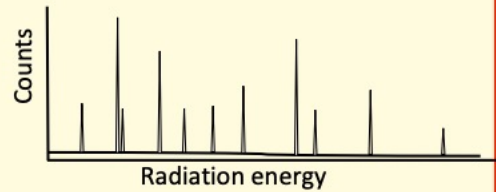
Archelologici

Restauratori



# Analisi della composizione dei materiali tramite fasci di particelle (es protoni)

*rivelazione delle radiazioni e  
analisi delle loro energie*

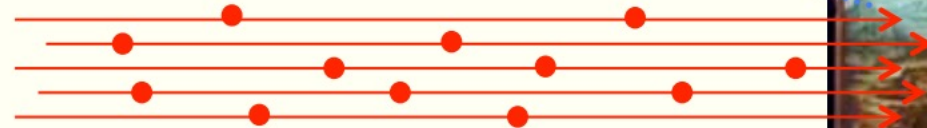


*emissione di radiazioni (raggi X o  $\gamma$ ,  
particelle...)  
**di energie caratteristiche***



*acceleratore di particelle*

*fascio di particelle*



*"oggetto" da  
analizzare*



Credit: P. A. Mandò

Tecnica completamente non invasiva (nessun danno può essere prodotto)





# Fernand Léger, Contraste de Formes

olio su tela, 92x73 cm

si presumeva dipinto nel 1913-14

acquistato da Peggy Guggenheim per  
la Venice Foundation alla fine degli  
anni '60

mai esposto al pubblico a causa di  
sospetti subito insorti che si trattasse  
di un falso

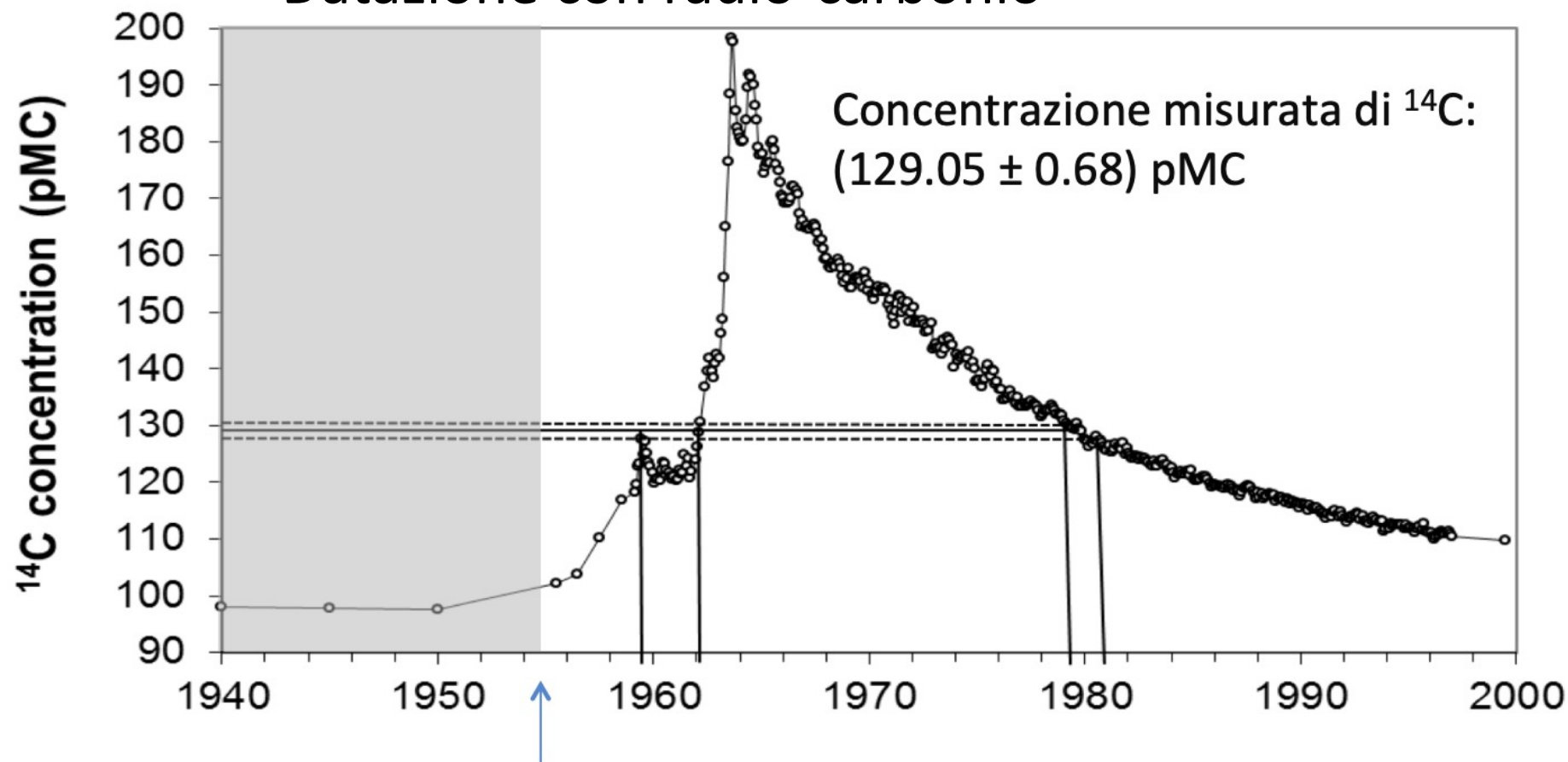
(notevolissimo esempio di correttezza)





La tela era stata prodotta con piante di cotone tagliate nel  
1959, o 1962, o 1979-80

## Datazione con radio-carbonio



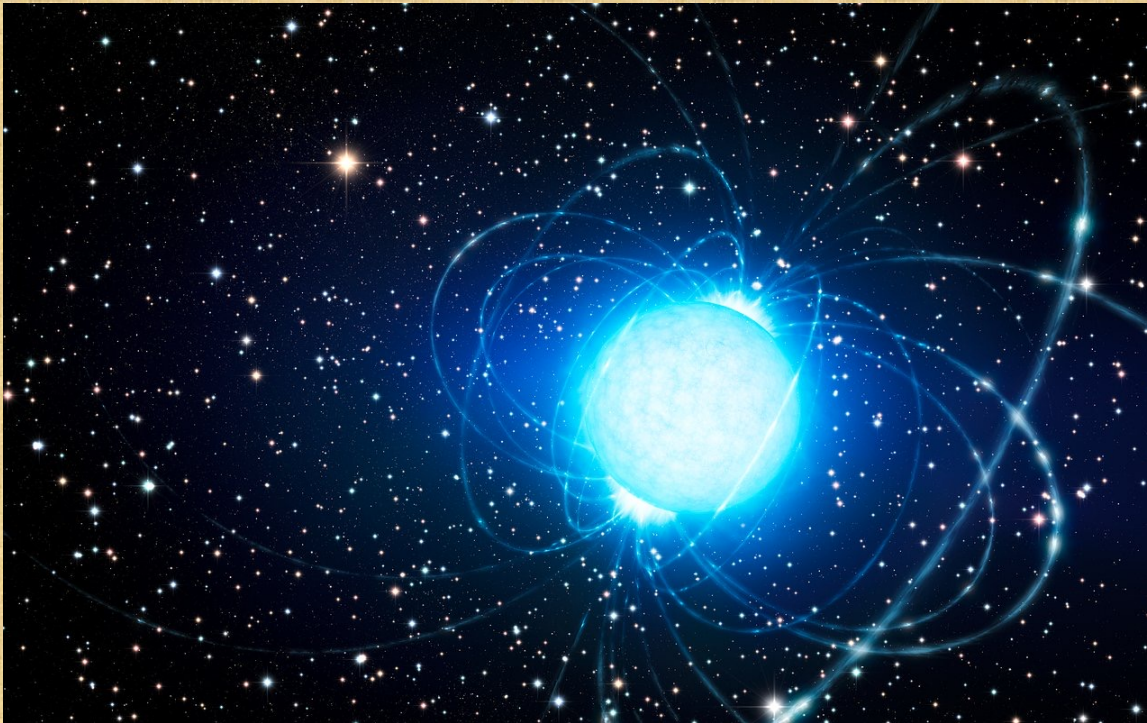
morte di Léger → il dipinto è falso



È chiaro che scienza e arte sono due mondi comunicanti, che interagiscono e si influenzano l'un l'altro.

Due strade parallele verso la comprensione del mondo, con frequenti intersezioni

**L'arte fa da ponte tra i concetti scientifici e il pubblico e la scienza ispira l'innovazione artistica.**





Grazie per l'attenzione!



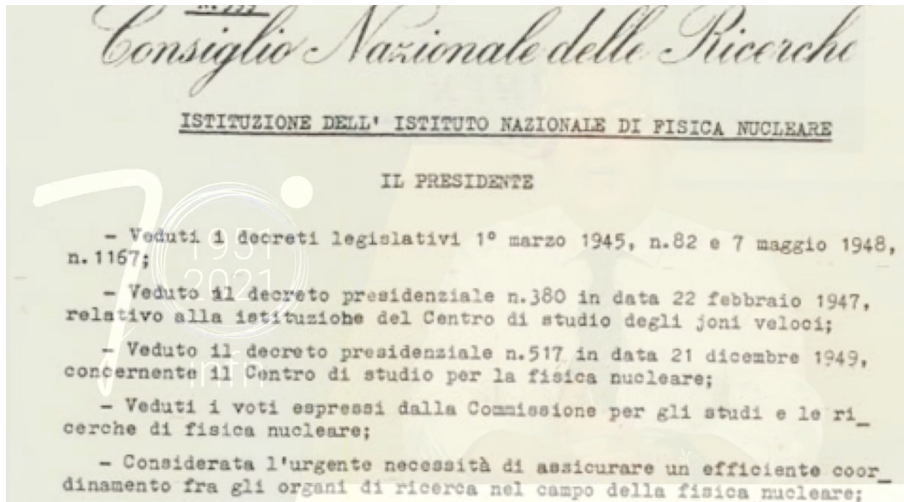
# Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



- Dal sito web dell' INFN:

*L'INFN è l'ente pubblico nazionale di ricerca, vigilato dal Ministero dell'Università e della Ricerca (MUR), dedicato allo studio dei costituenti fondamentali della materia e delle leggi che li governano. Svolge attività di ricerca, teorica e sperimentale, in fisica nucleare e astroparticellare.*

Fondato 13 Agosto 1951



Gilberto Bernardini ed  
Edoardo Amaldi



I "ragazzi" di Via Panisperna



# Il CERN

29 Settembre 1954: 12 paesi europei tra cui l'Italia costituiscono il CERN (organizzazione europea per la ricerca nucleare), sul confine fra Francia e Svizzera vicino Ginevra

Edoardo Amaldi, fondatore del CERN



## Member States of CERN

Member States (date of accession)

|                                                                                       |                          |                                                                                       |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
|    | Austria (1959)           |    | Switzerland (1953)    |
|    | Belgium (1953)           |    | United Kingdom (1953) |
|    | Bulgaria (1999)          | <b>States in accession to Membership and Associate Members</b>                        |                       |
|    | Czech Republic (1993)    |                                                                                       |                       |
|    | Denmark (1953)           |    | Cyprus (2016)         |
|    | Finland (1991)           |    | India (2017)          |
|    | France (1953)            |    | Lithuania (2018)      |
|    | Germany (1953)           |    | Pakistan (2015)       |
|    | Greece (1953)            |    | Serbia (2012)         |
|   | Hungary (1992)           |   | Slovenia (2017)       |
|  | Israel (2014)            |  | Turkey (2015)         |
|  | Italy (1953)             |  | Ukraine (2016)        |
|  | Netherlands (1953)       |                                                                                       |                       |
|  | Norway (1953)            |                                                                                       |                       |
|  | Poland (1991)            |                                                                                       |                       |
|  | Portugal (1986)          |                                                                                       |                       |
|  | Romania (2016)           |                                                                                       |                       |
|  | Slovakia (1993)          |                                                                                       |                       |
|  | Spain (1961-1968, 1983-) |                                                                                       |                       |
|  | Sweden (1953)            |                                                                                       |                       |
|  | Serbia (2019)            |                                                                                       |                       |

United

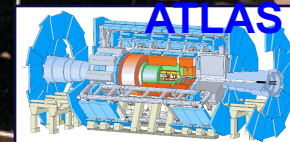
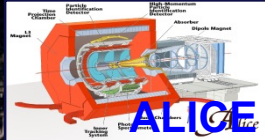
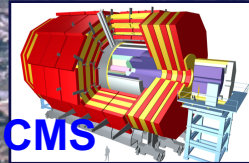
**NO PROFIT**

NO PROFIT!!





# Acceleratori al CERN: il Large Hadron Collider

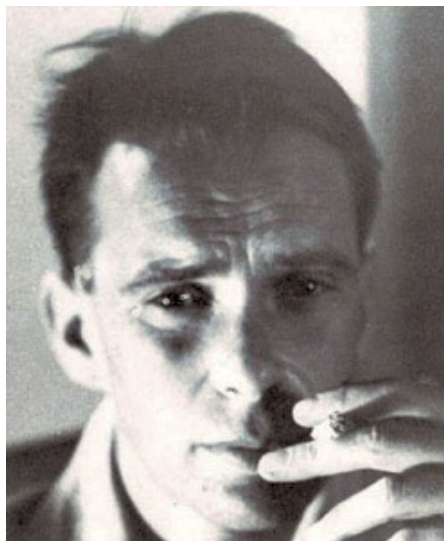


Un anello di 27 km

CERN site



L'idea di far scontrare particelle fu del fisico austriaco Bruno Touscheck (1960)

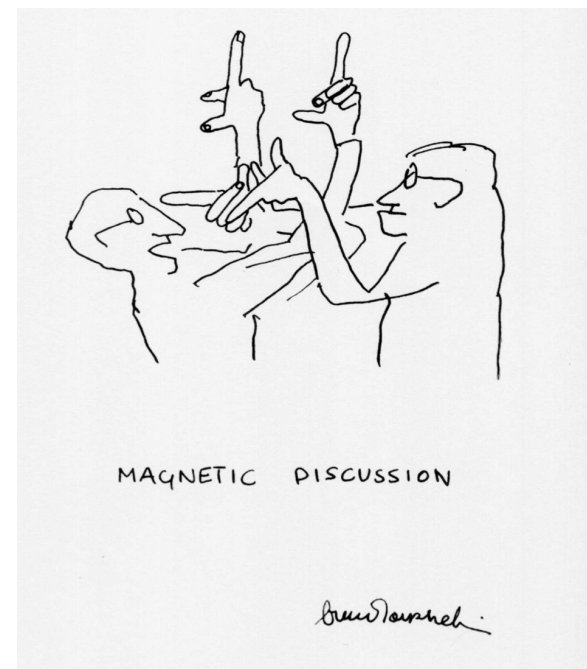


Touscheck lavorava a Roma come ricercatore INFN, con il sostegno del solito Amaldi

Il primo acceleratore di particelle basato su questa idea fu realizzato a Frascati e chiamato AdA (Anello di accumulazione)

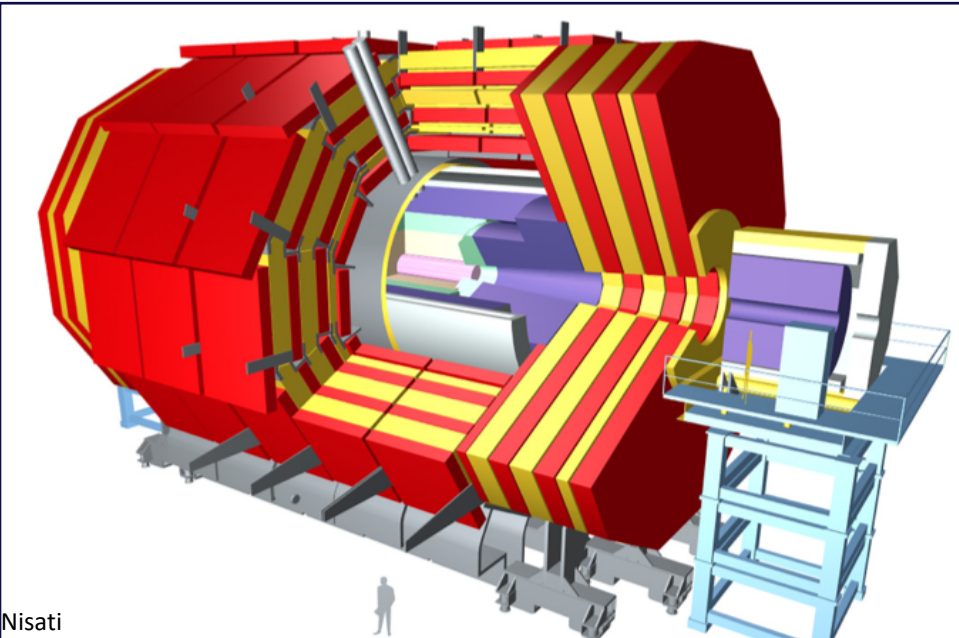
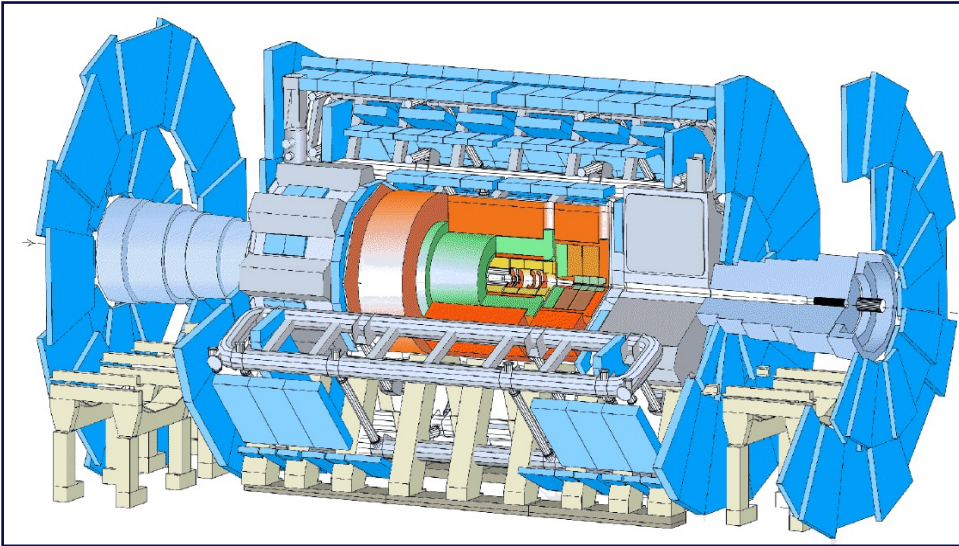


Ada era anche il nome della zia di Touscheck, che viveva sui Colli Albani





# Rivelatori per la “caccia”



- Rivelatore = “fotocamera” che scatta 40 milioni di “foto” al secondo da ~ 100 Megapixel ognuna
- Si fa una prima selezione foto, *online*: 100,000/sec, e la si invia ad una *farm* di Personal Computer (PC)
- Ogni secondo, una *farm* di PC analizza e registra le ~1000 “fotografie” *piu' interessanti* (eventi)
- → ~10 milioni GB/anno (3 milioni di DVD/anno) vengono distribuiti nei Laboratori e nelle Università in giro per il mondo! Italia inclusa !





**Big Scary Laser**

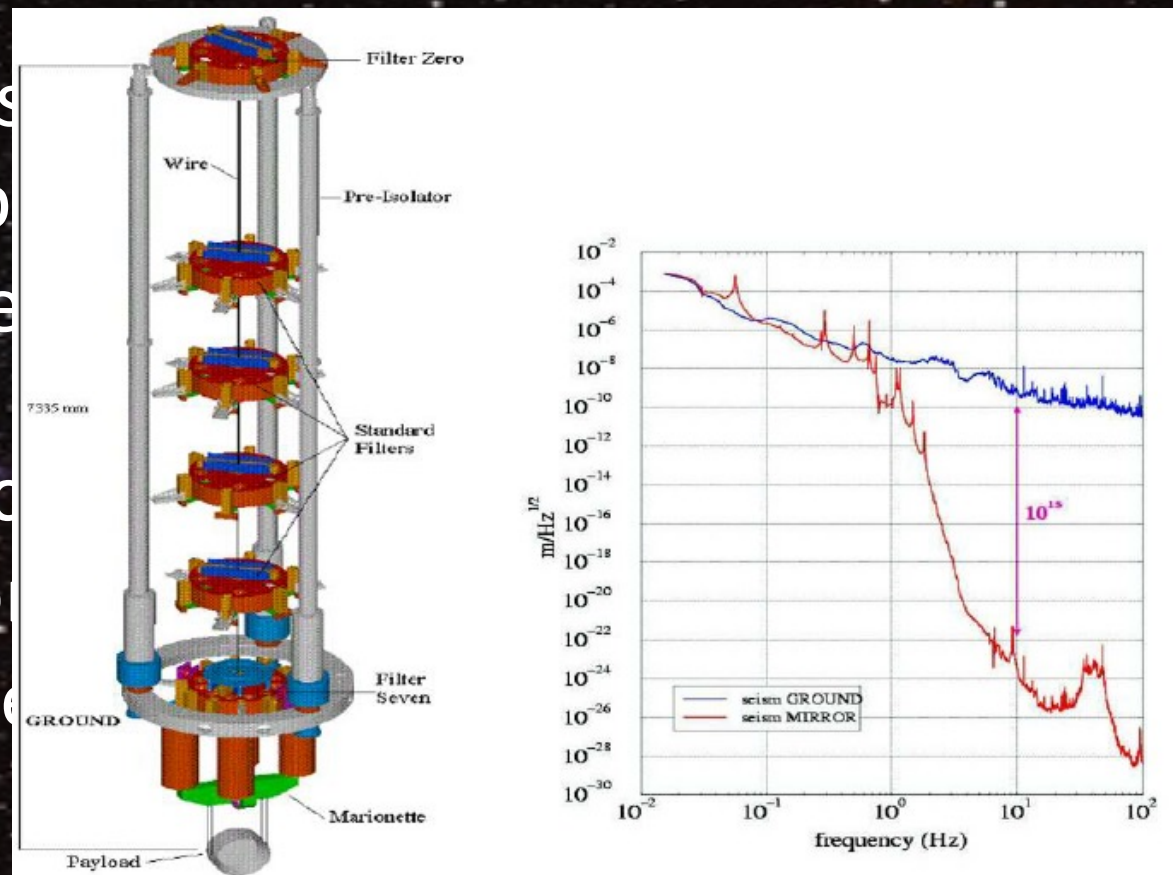
Do not look Into beam  
with remaining eye



• I piu' grandi sistemi di vuoto esistenti al mondo

• Sofisticati sistemi di sospensione dalle pareti

• Spesso sono associati a sistemi di raffreddamento



• Laser molto potenti !



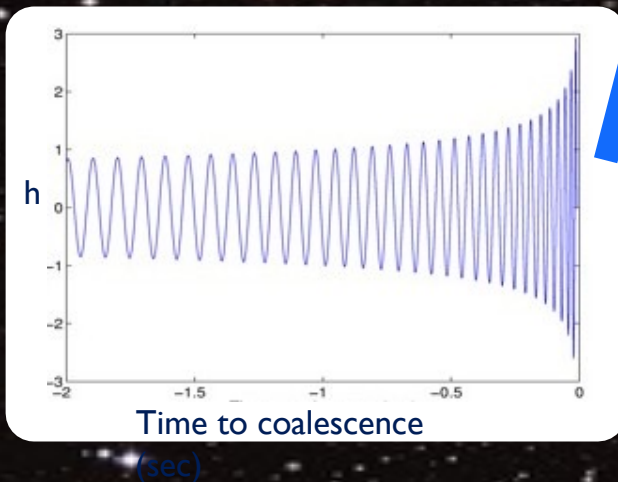
- Nonostante l'incredibile sensibilità degli strumenti, le onde gravitazionali sono immerse nel rumore str

This source:

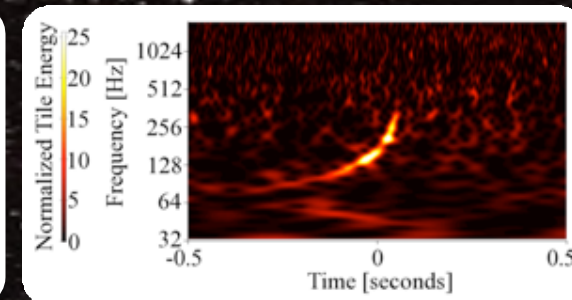
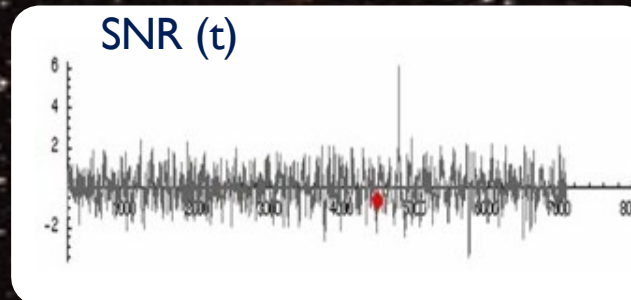
Binary system



Produces this waveform:



- L'estrazione del segnale dal rumore richiede tecniche molto raffinate



matched filtering or excess power



Fermi (light)



LIGO (gravitational waves)

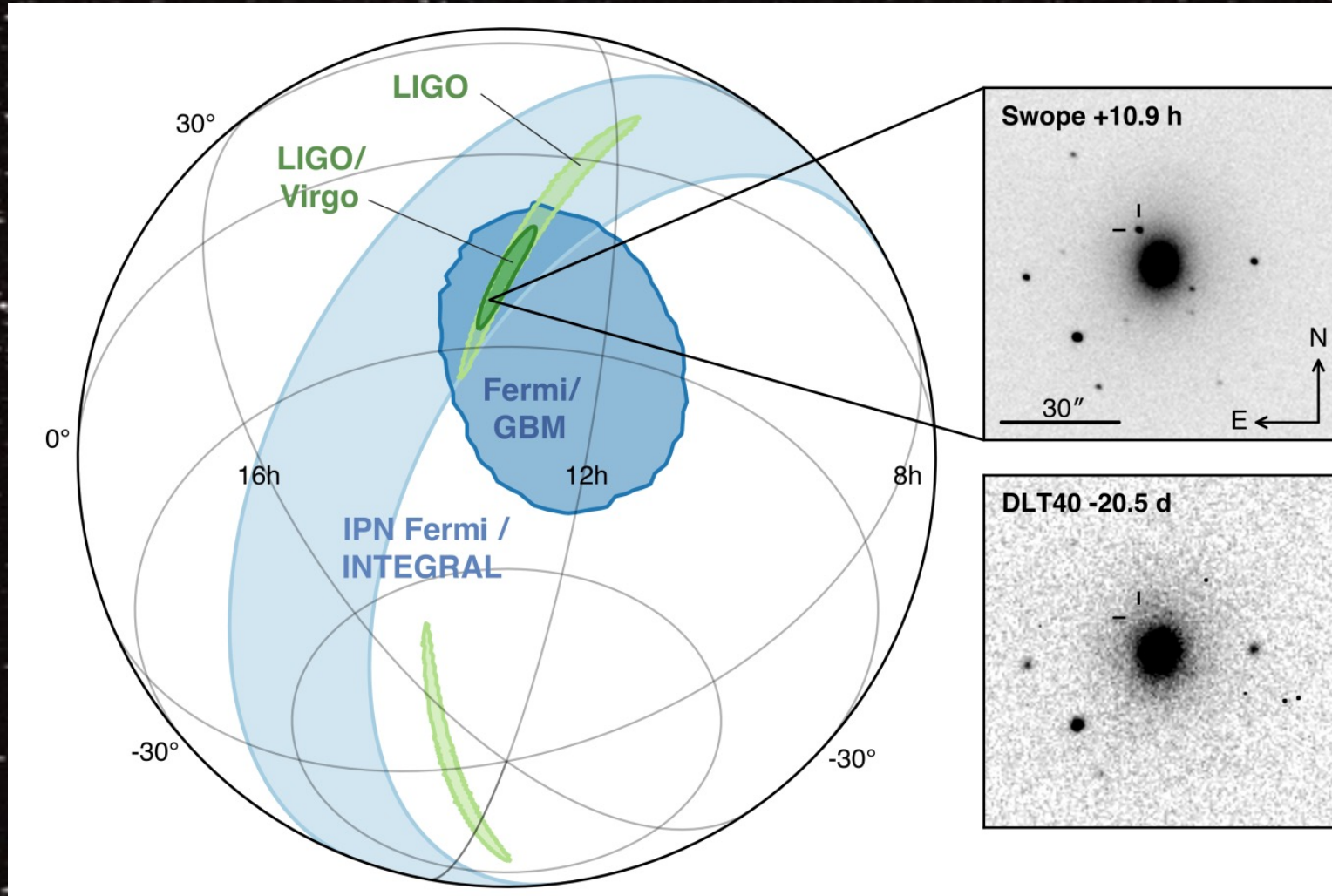
Onda gravitazionale, compatibile con una fusione di due stelle di neutroni, a distanza di 130.000.000 di anni luce, osservata in coincidenza temporale con un gamma-ray burst!



Oltre 100 telescopi si sono messi ad osservare la zona di cielo compatibile con la direzione dell'onda gravitazionale e dopo poche ore una "controparte elettromagnetica" è stata effettivamente individuata (nella galassia NGC 4993)

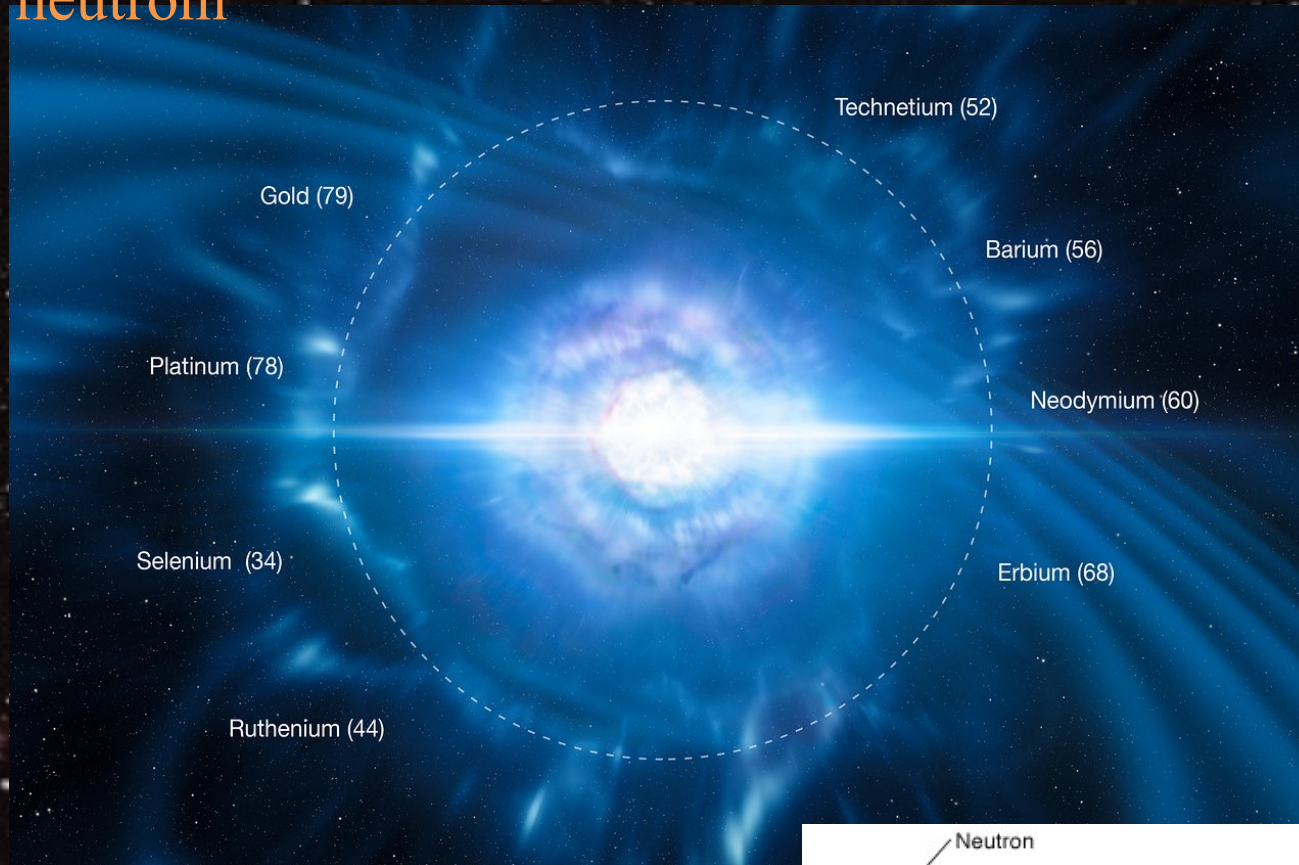


Nascita dell'astronomia multi-messaggera!



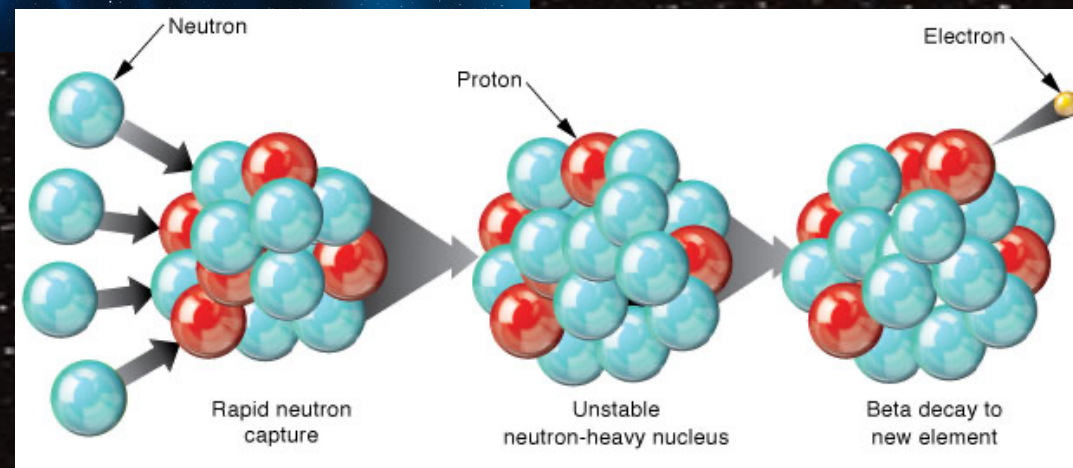


# Kilonova: analogo di una supernova per una fusione di stelle di neutroni



Si pensa che siano  
la fucine con cui  
l'universo produce  
elementi pesanti,  
come l'oro

Il meccanismo: cattura  
rapida di neutroni da parte  
dei nuclei, a formare nuclei  
più pesanti.





# Element Origins

# Element Origins

|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1<br>H   |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          | 2<br>He  |          |
| 3<br>Li  | 4<br>Be  |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          | 5<br>B   | 6<br>C   | 7<br>N   | 8<br>O   | 9<br>F   | 10<br>Ne |          |
| 11<br>Na | 12<br>Mg |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          | 13<br>Al | 14<br>Si | 15<br>P  | 16<br>S  | 17<br>Cl | 18<br>Ar |          |
| 19<br>K  | 20<br>Ca | 21<br>Sc | 22<br>Ti | 23<br>V  | 24<br>Cr | 25<br>Mn | 26<br>Fe | 27<br>Co | 28<br>Ni | 29<br>Cu | 30<br>Zn | 31<br>Ga | 32<br>Ge | 33<br>As | 34<br>Se | 35<br>Br | 36<br>Kr |          |
| 37<br>Rb | 38<br>Sr | 39<br>Y  | 40<br>Zr | 41<br>Nb | 42<br>Mo | 43<br>Tc | 44<br>Ru | 45<br>Rh | 46<br>Pd | 47<br>Ag | 48<br>Cd | 49<br>In | 50<br>Sn | 51<br>Sb | 52<br>Te | 53<br>I  | 54<br>Xe |          |
| 55<br>Cs | 56<br>Ba |          |          | 72<br>Hf | 73<br>Ta | 74<br>W  | 75<br>Re | 76<br>Os | 77<br>Ir | 78<br>Pt | 79<br>Au | 80<br>Hg | 81<br>Tl | 82<br>Pb | 83<br>Bi | 84<br>Po | 85<br>At | 86<br>Rn |
| 87<br>Fr | 88<br>Ra |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|          |          |          | 57<br>La | 58<br>Ce | 59<br>Pr | 60<br>Nd | 61<br>Pm | 62<br>Sm | 63<br>Eu | 64<br>Gd | 65<br>Tb | 66<br>Dy | 67<br>Ho | 68<br>Er | 69<br>Tm | 70<br>Yb | 71<br>Lu |          |
|          |          |          | 89<br>Ac | 90<br>Th | 91<br>Pa | 92<br>U  |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |

**Merging Neutron Stars**  
**Dying Low Mass Stars**

**Exploding Massive Stars**  
**Exploding White Dwarfs**

**Big Bang**  
**Cosmic Ray Fission**

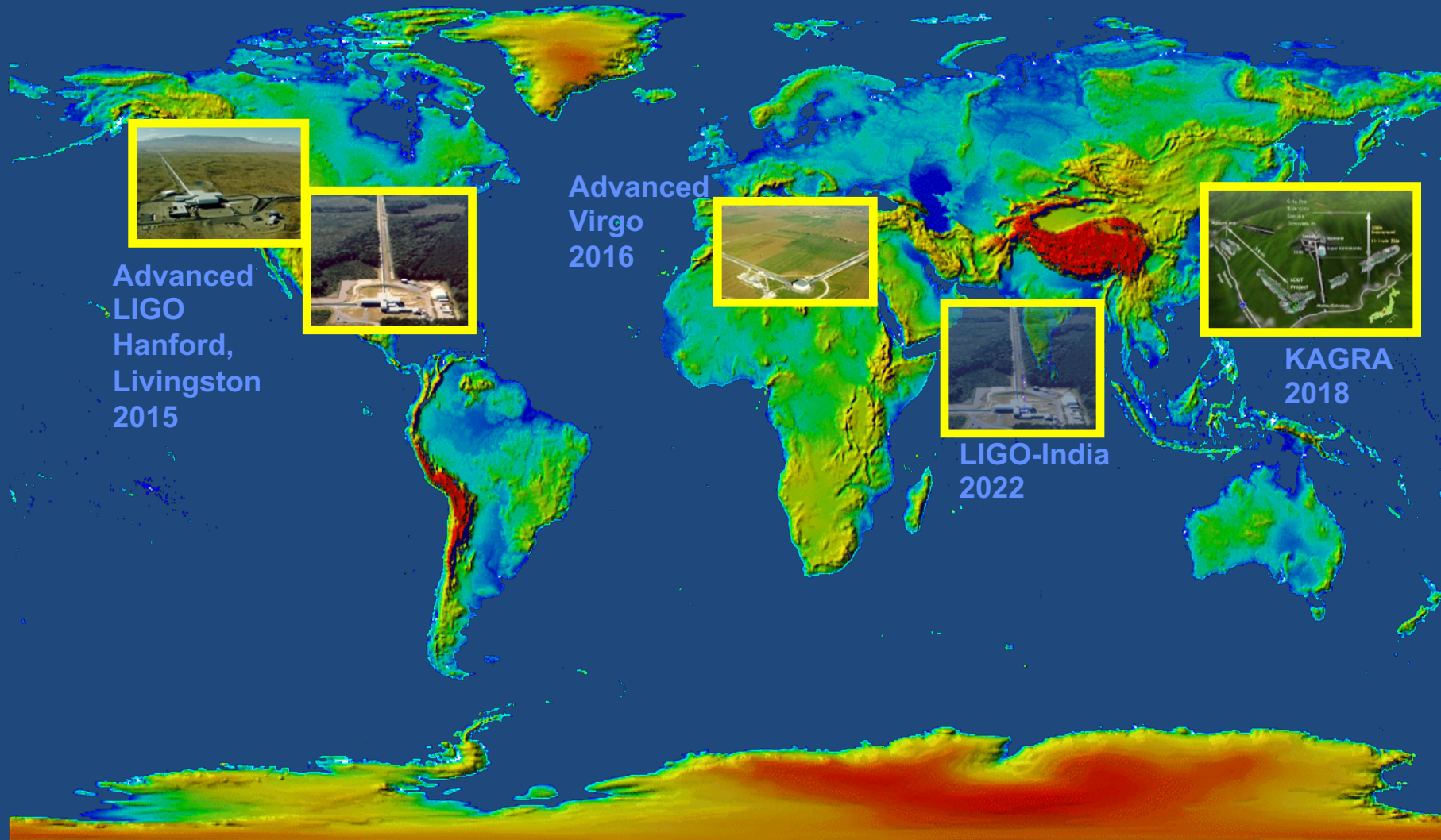
Based on graphic created by Jennifer Johnson

Come diceva una vecchia canzone, in qualche modo siamo veramente  
“figli delle stelle”

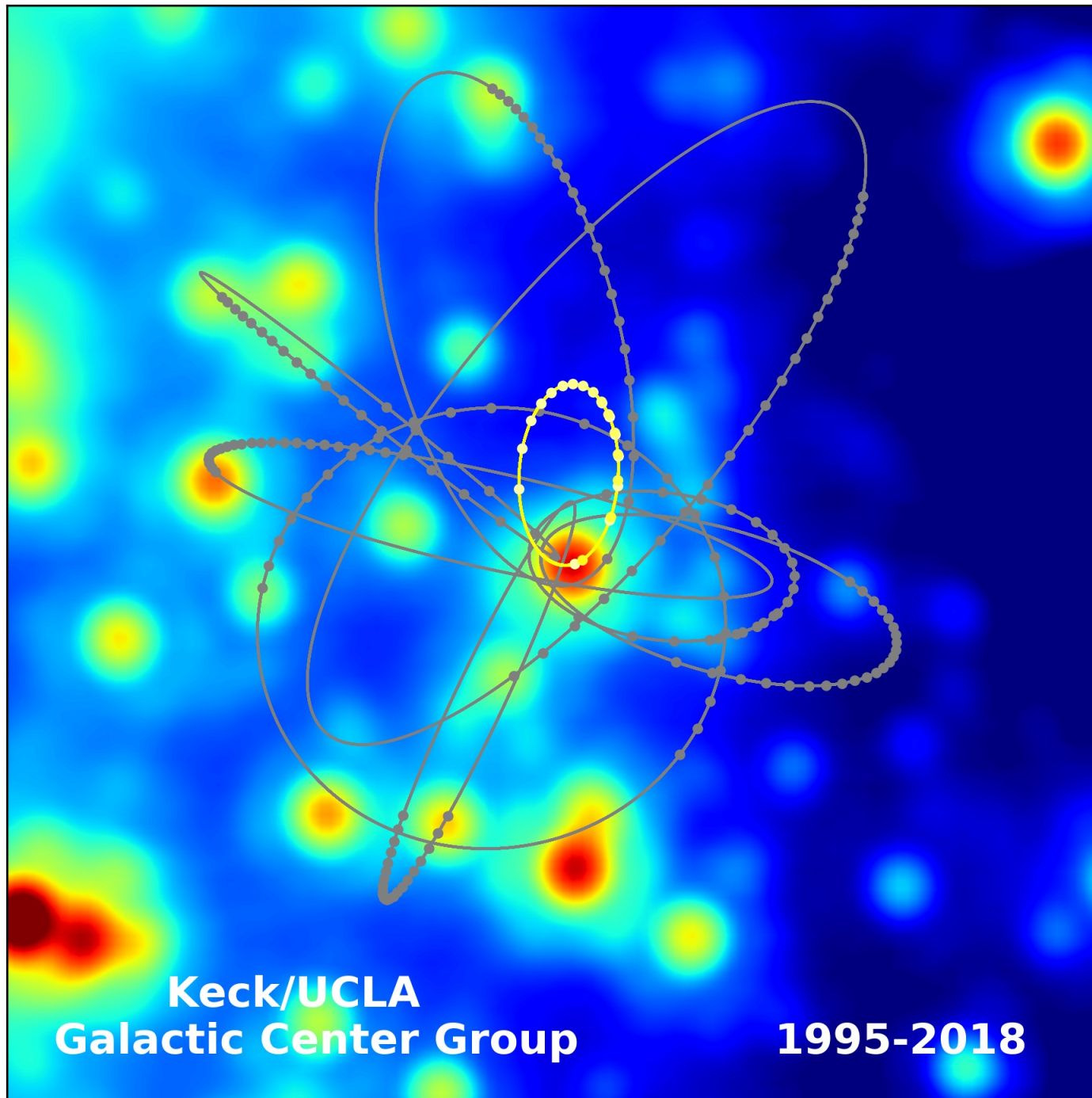




# The advanced GW detector network



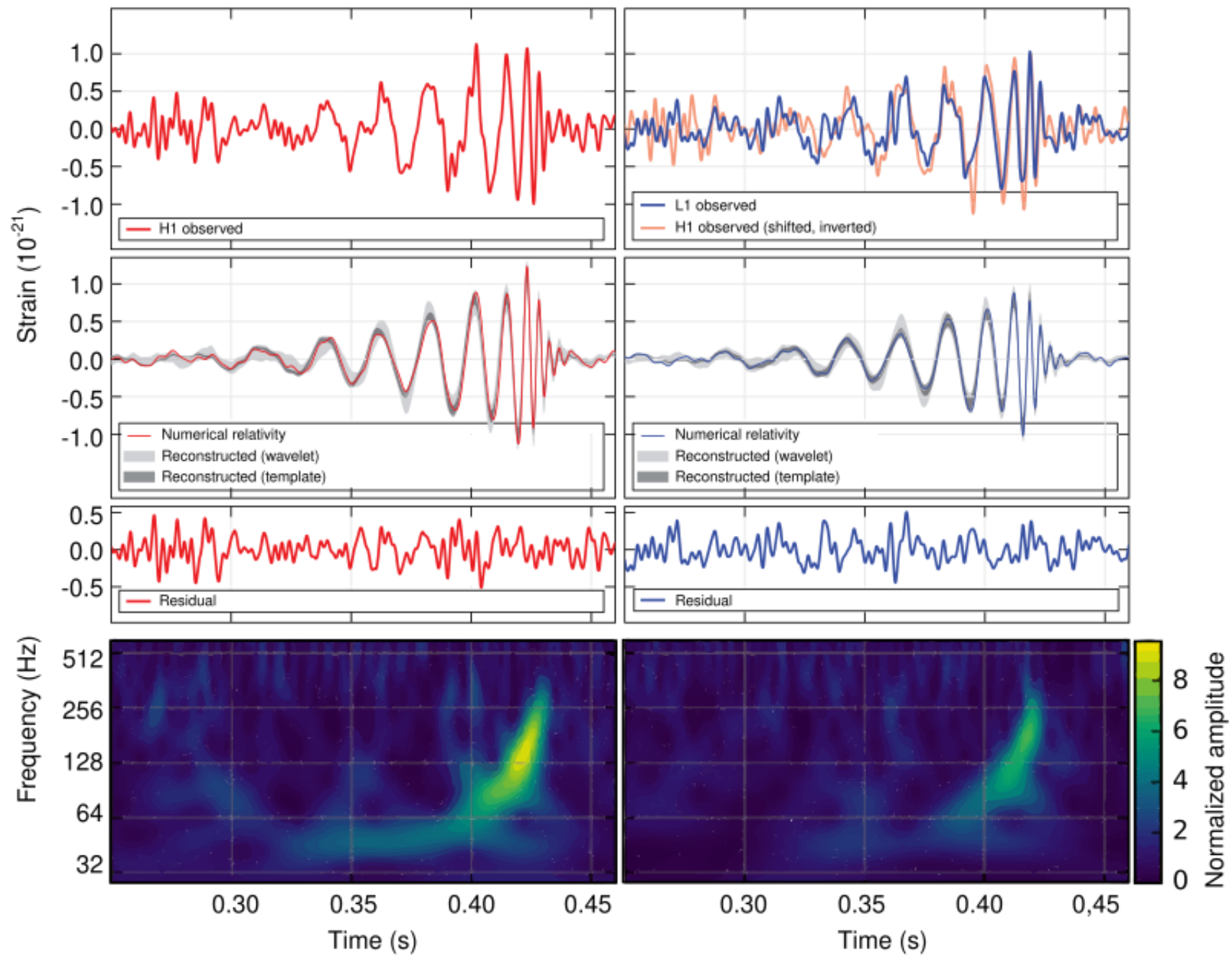






Hanford, Washington (H1)

Livingston, Louisiana (L1)





**Moto sismico:**  
 $10^{-8}$  m  
( $10^{10} \times$  maggiore)

**Vibrazioni termiche**  
 $10^{-12}$  m  
( $10^6 \times$  maggiori)

**Lunghezza d'onda  
del laser:**  
 $10^{-6}$  m  
( $10^{12} \times$  maggiore)

**Onda gravitazionale**  
 $< 10^{-18}$  m

