

[Home](#)

[News](#)

[Il progetto](#)

[Il team](#)

[IV edizione](#) 2022  
2024

[Campionato di  
Creatività](#)

[Classifica Il sfida](#)

[Brochure 2022](#)

[Calendario](#)

[Tappe](#)

[Opere](#)

[Scuole](#)

[Biblioteca](#)

[Contatti](#)

[Archivio Edizioni](#)

[Privacy](#)

[Partner](#)

[Area Docenti](#)

# Art & Science across Italy

Un progetto STEAM tra Scienza e Arte  
con l'Istituto Nazionale di Fisica  
Nucleare e il CERN di Ginevra [per le  
scuole secondarie italiane di II  
grado]



# Dall'infinitamente piccolo all'infinitamente grande

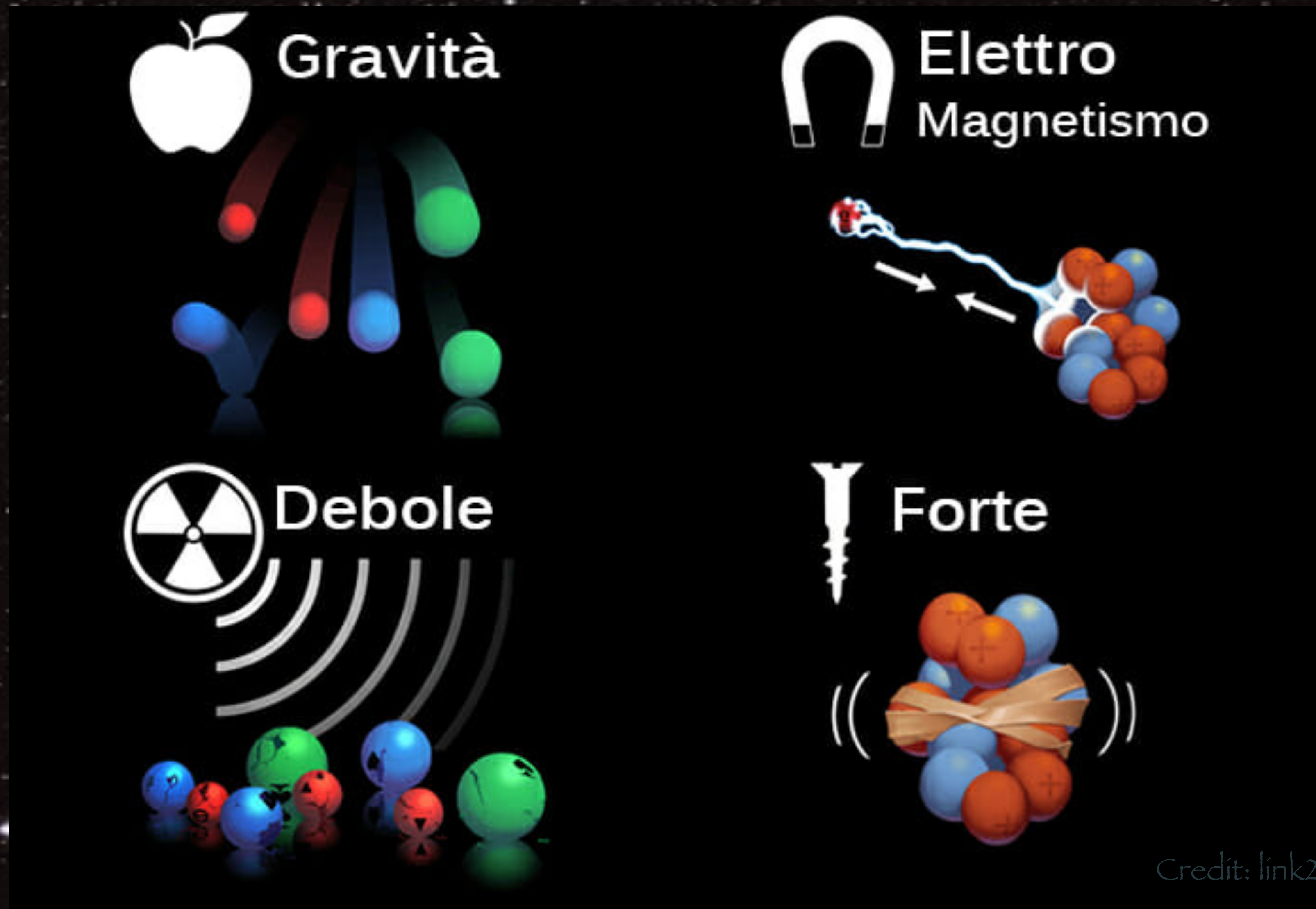
[dalla mela di Newton alla scoperta delle onde gravitazionali]

Cristiano Palomba - Istituto Nazionale di Fisica Nucleare





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





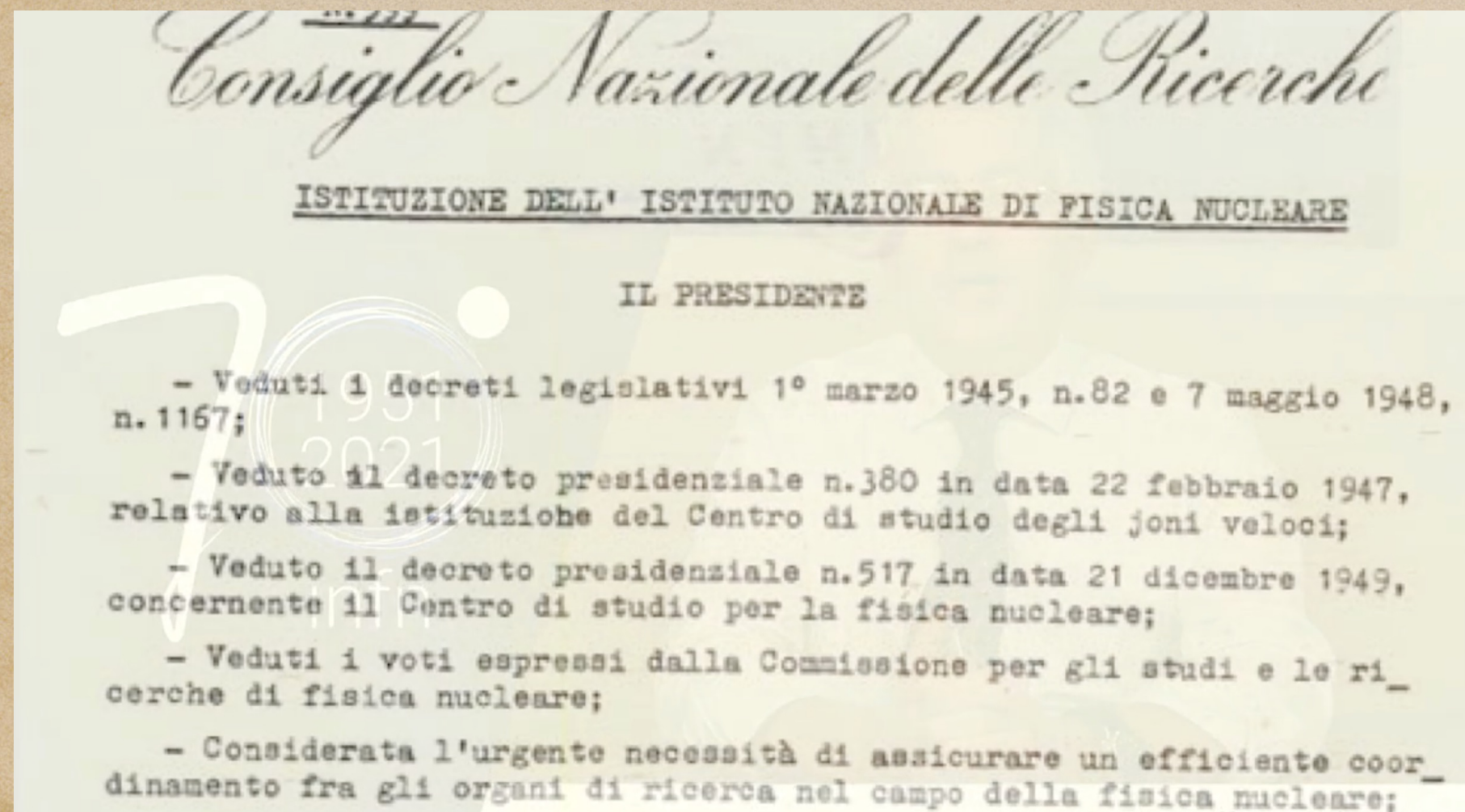
# Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



• 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, nei campi della fisica subnucleare, nucleare e astroparticellare.*

Fondato l'8 Agosto 1951



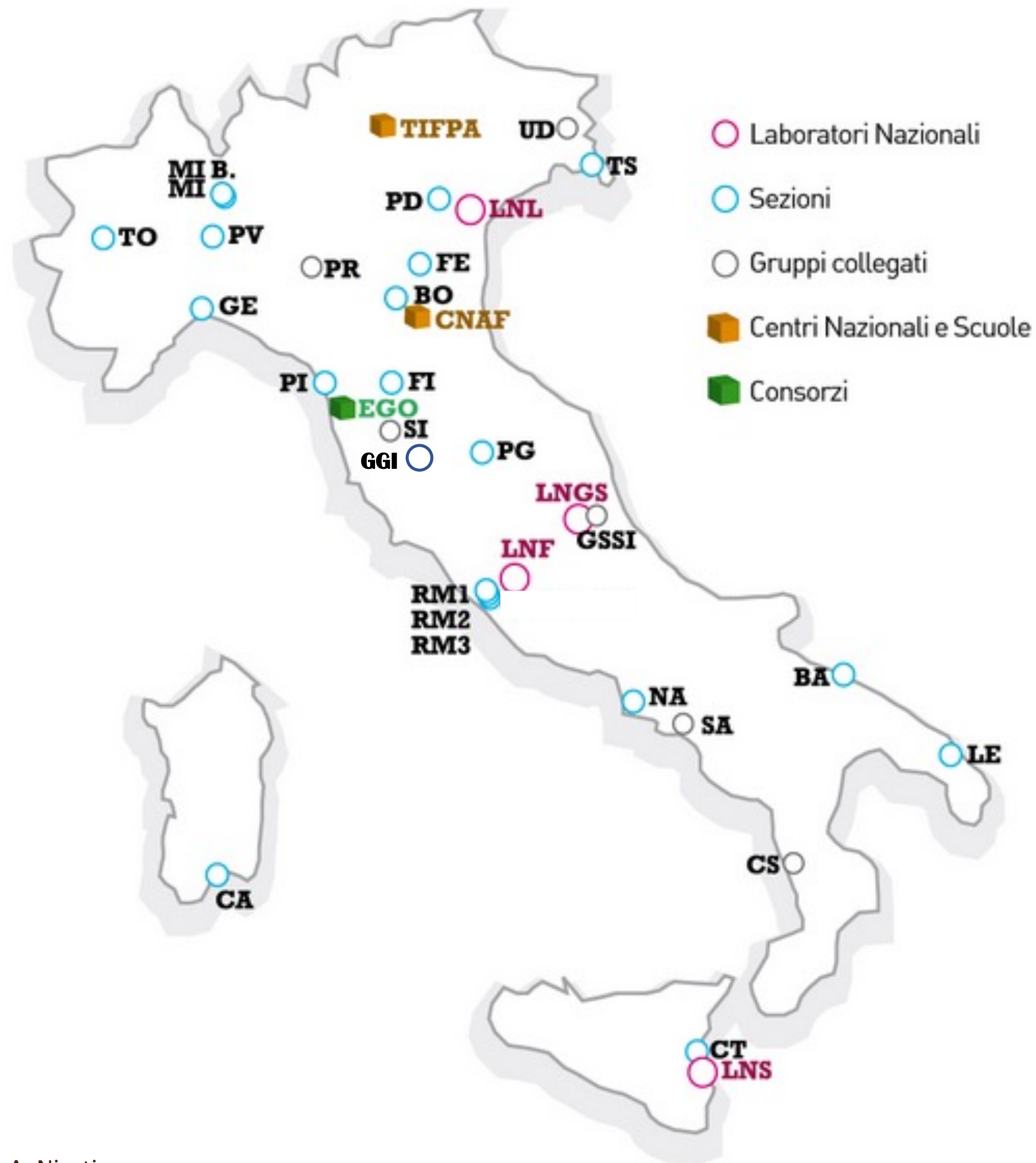
Gilberto Bernardini ed  
Edoardo Amaldi



I "ragazzi" di Via Panisperna



# INFN sul territorio nazionale



- 4 Laboratori Nazionali (LNF, LNL, LNGS, LNS)
- 20 Sezioni **collocate nelle Università'**
- il CNAF, TIFPA, GGI ; partecipa a EGO
- Nel Lazio:
  - **Laboratori Nazionali di Frascati**
  - **Sezione di Roma (Università': La Sapienza)**
  - **Sezione di Roma Tor Vergata (Università: Tor Vergata)**
  - **Sezione di Rome TRE (Università': Roma Tre)**

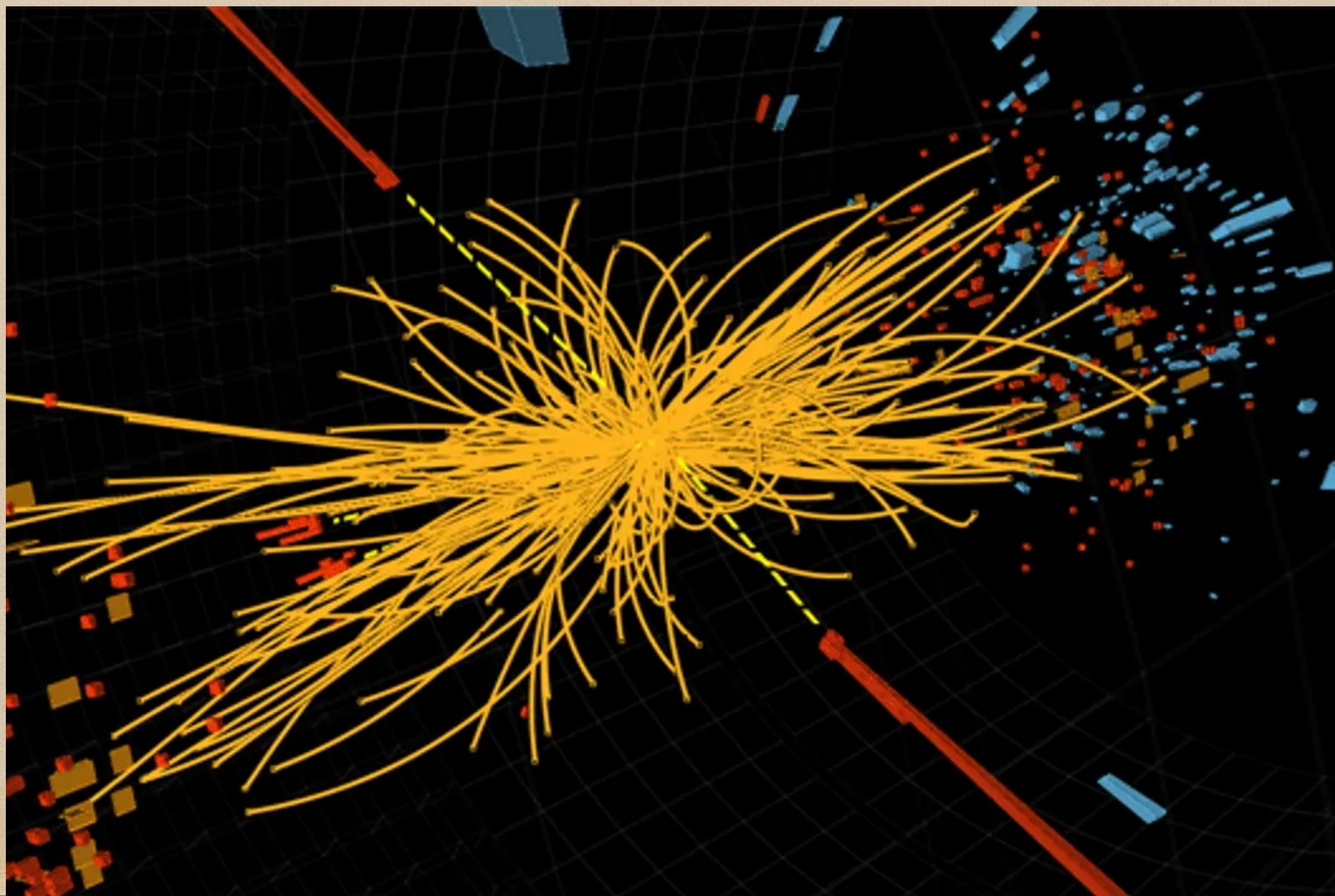








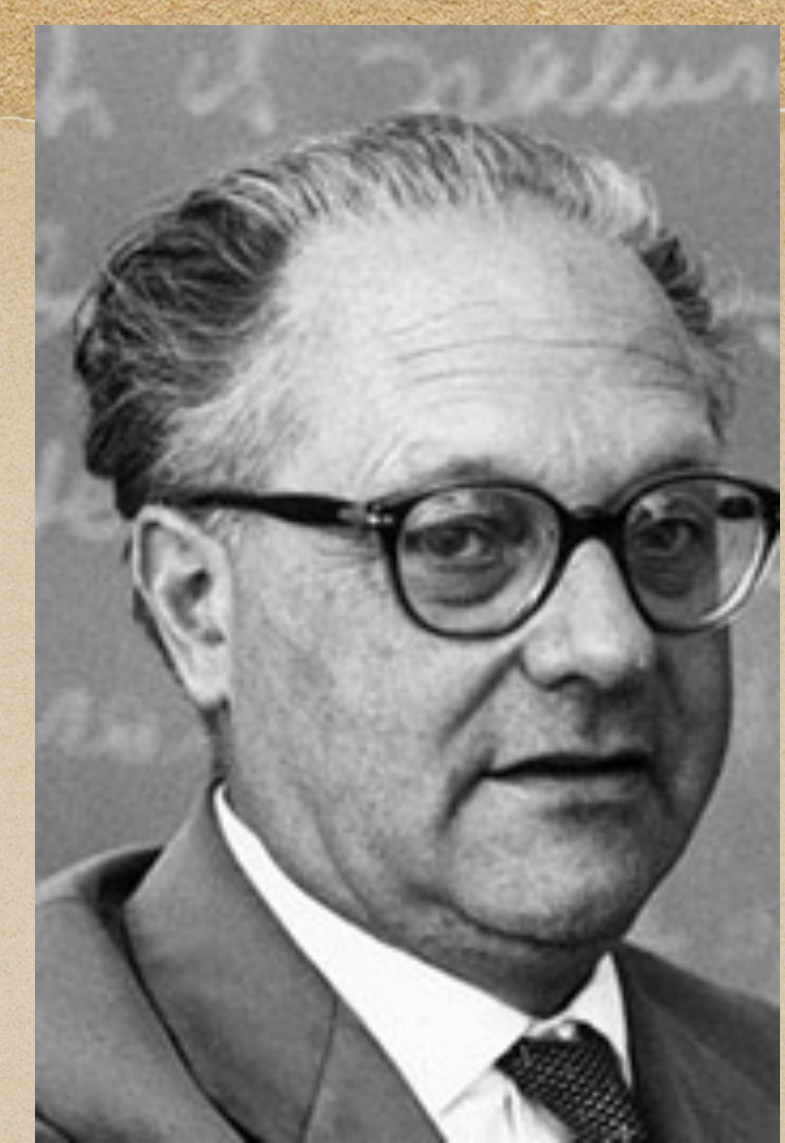
Collisioni tra particelle ad altissima energia per capire come funziona il mondo su scala microscopica





# 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



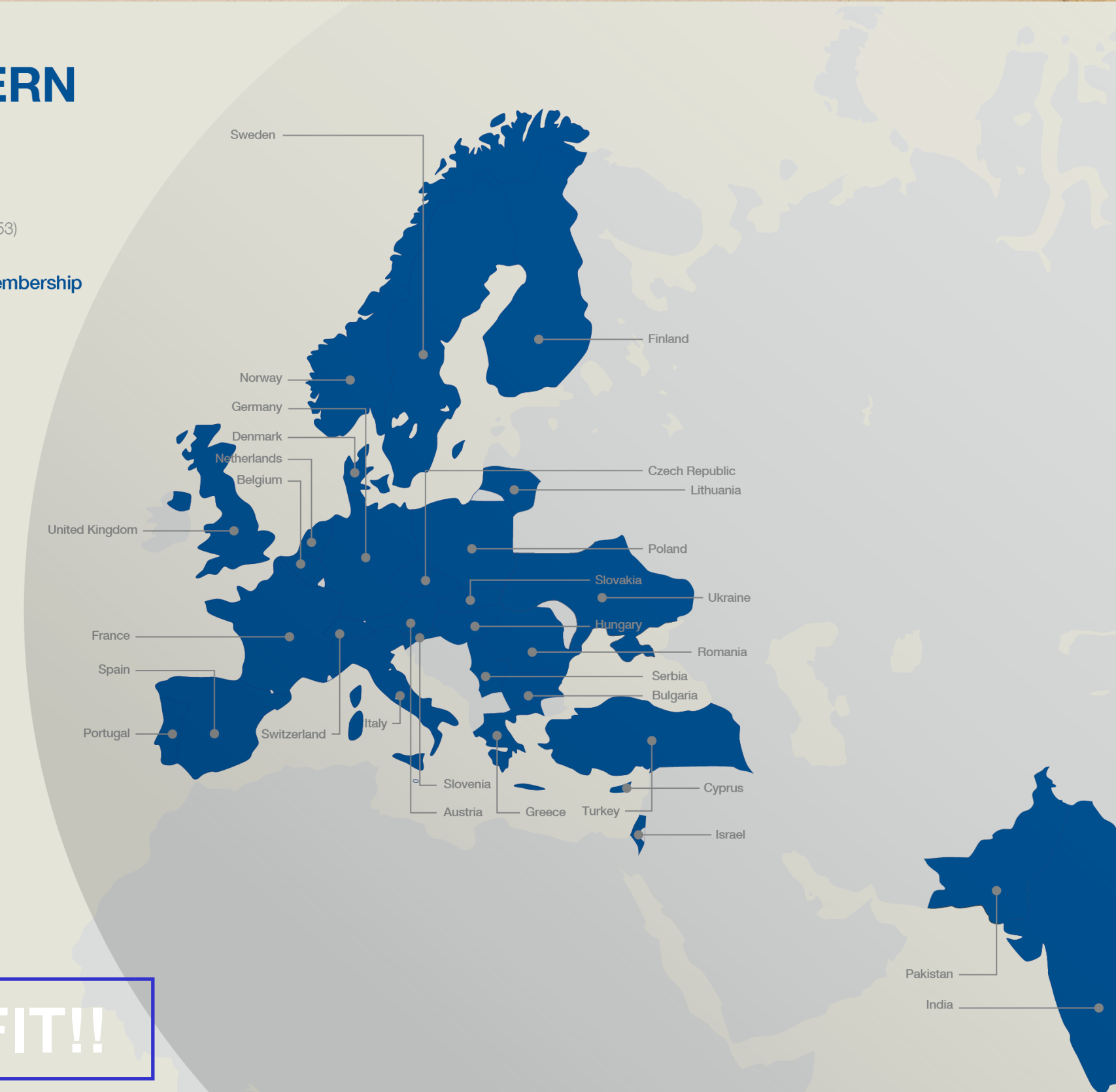
Edoardo Amaldi, fondatore del CERN



## Member States of CERN

Member States (date of accession)

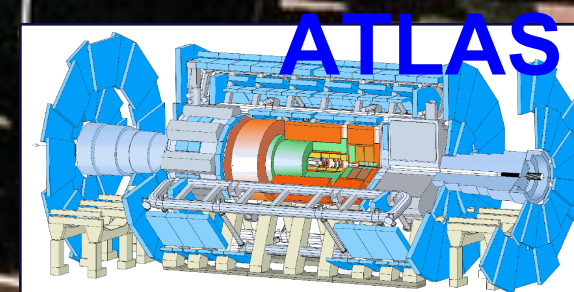
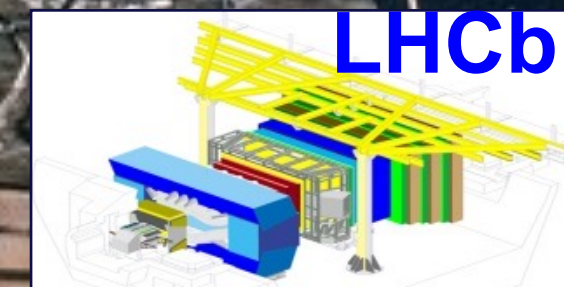
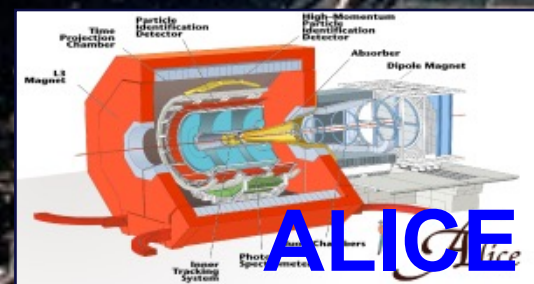
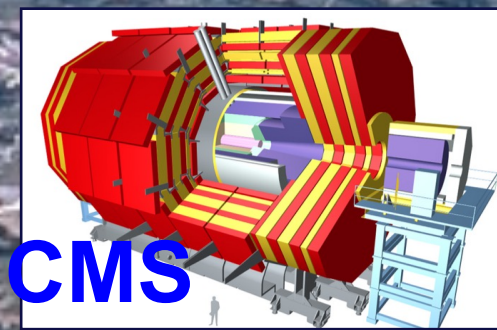
- |  |   |
|--|---|
|  Austria (1959)             |  Switzerland (1953)    |
|  Belgium (1953)             |  United Kingdom (1953) |
|  Bulgaria (1999)          | <b>States in accession to Membership and Associate Members</b>  |
|  Czech Republic (1993)    |  Cyprus (2016)       |
|  Denmark (1953)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



NO PROFIT!!



# Acceleratori al CERN: il Large Hadron Collider

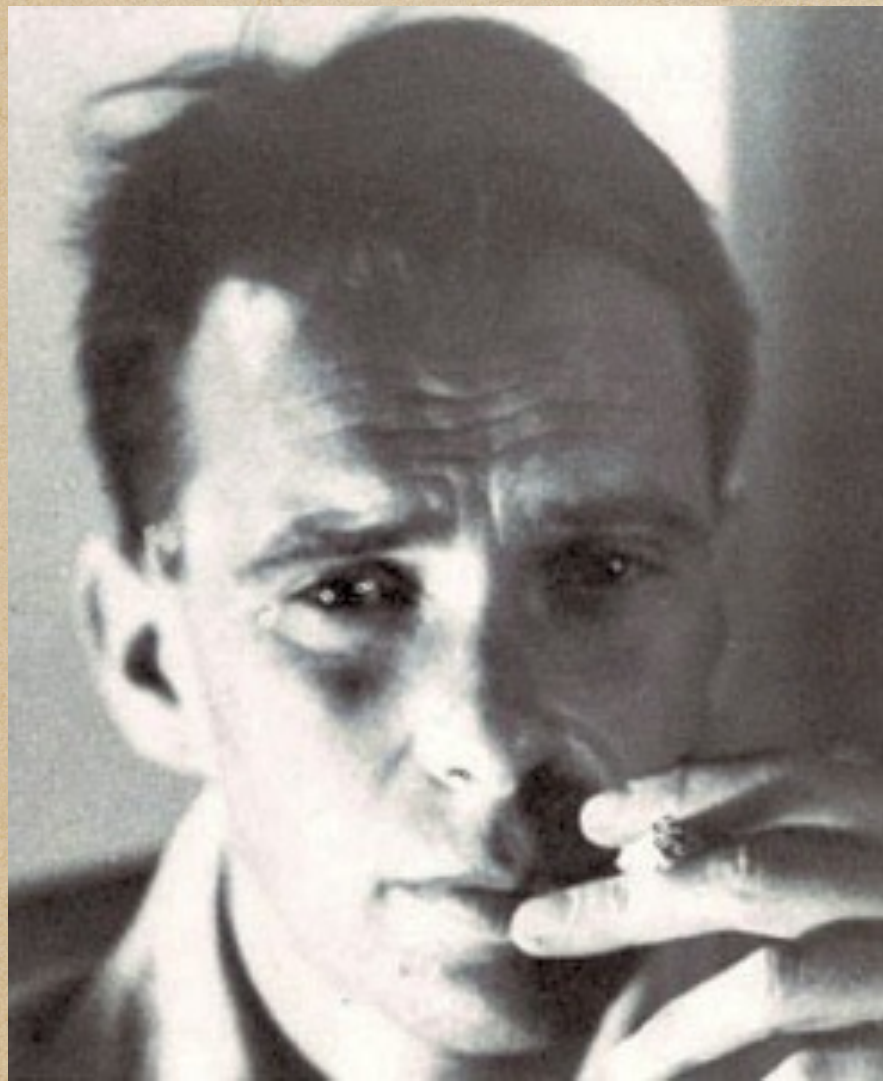


**Un anello di 27 km**

**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

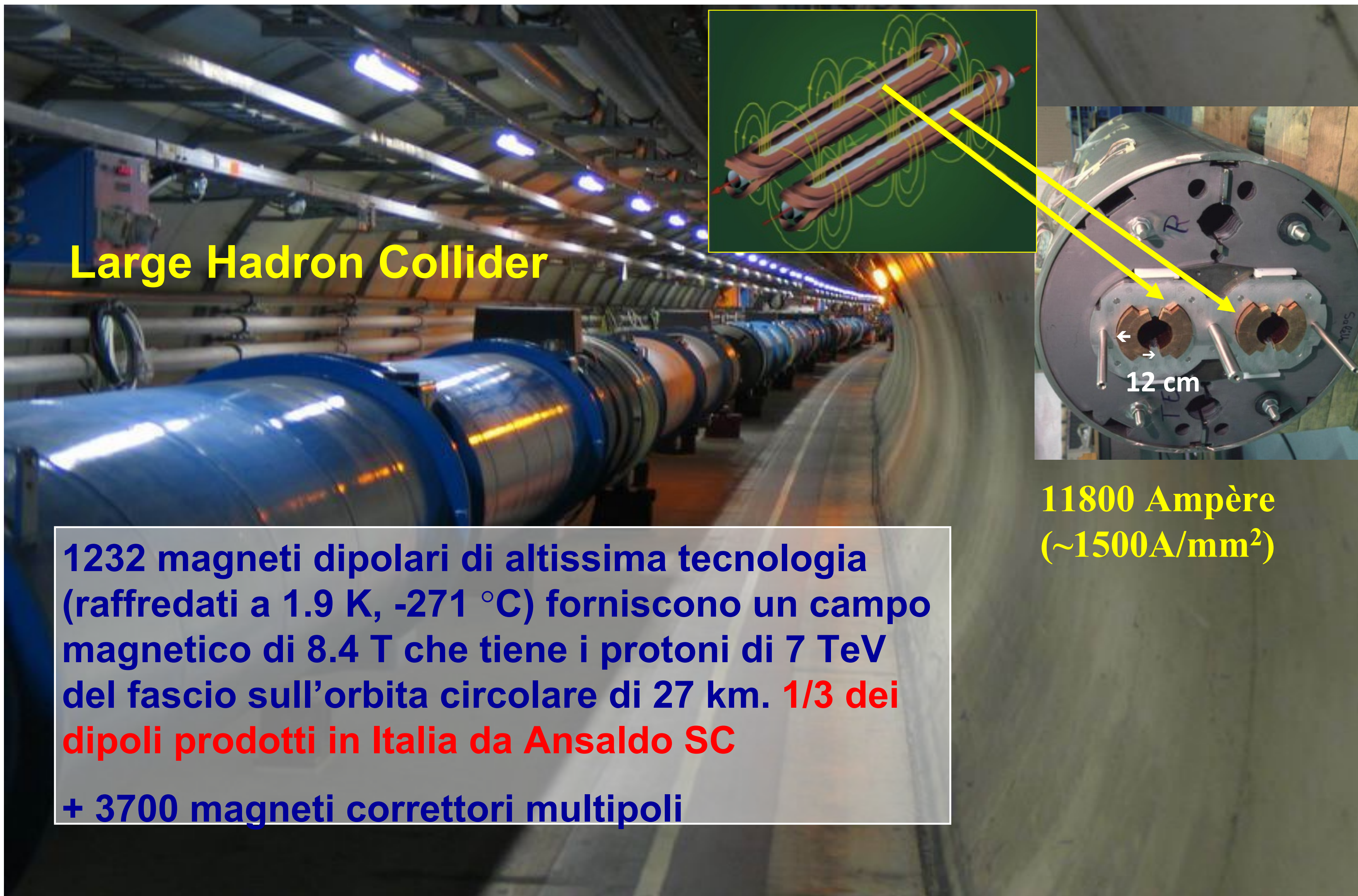


MAGNETIC DISCUSSION

*Bruno Touscheck*



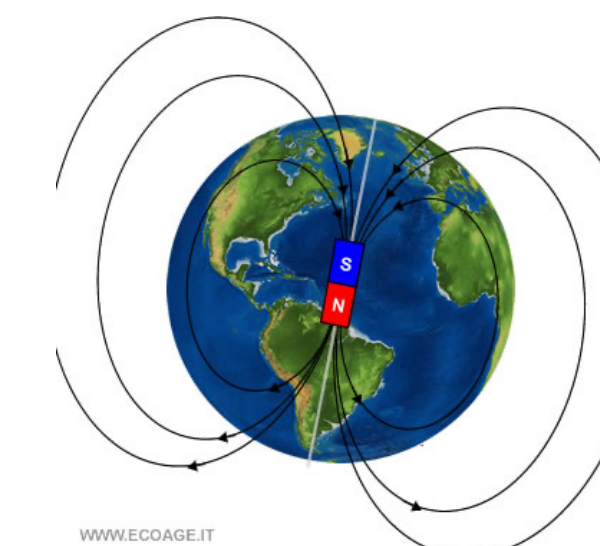
# Acceleratori: alla frontiera della tecnologia



## Large Hadron Collider

1232 magneti dipolari di altissima tecnologia (raffreddati a 1.9 K, -271 °C) forniscono un campo magnetico di 8.4 T che tiene i protoni di 7 TeV del fascio sull'orbita circolare di 27 km. **1/3 dei dipoli prodotti in Italia da Ansaldo SC**  
+ 3700 magneti correttori multipoli

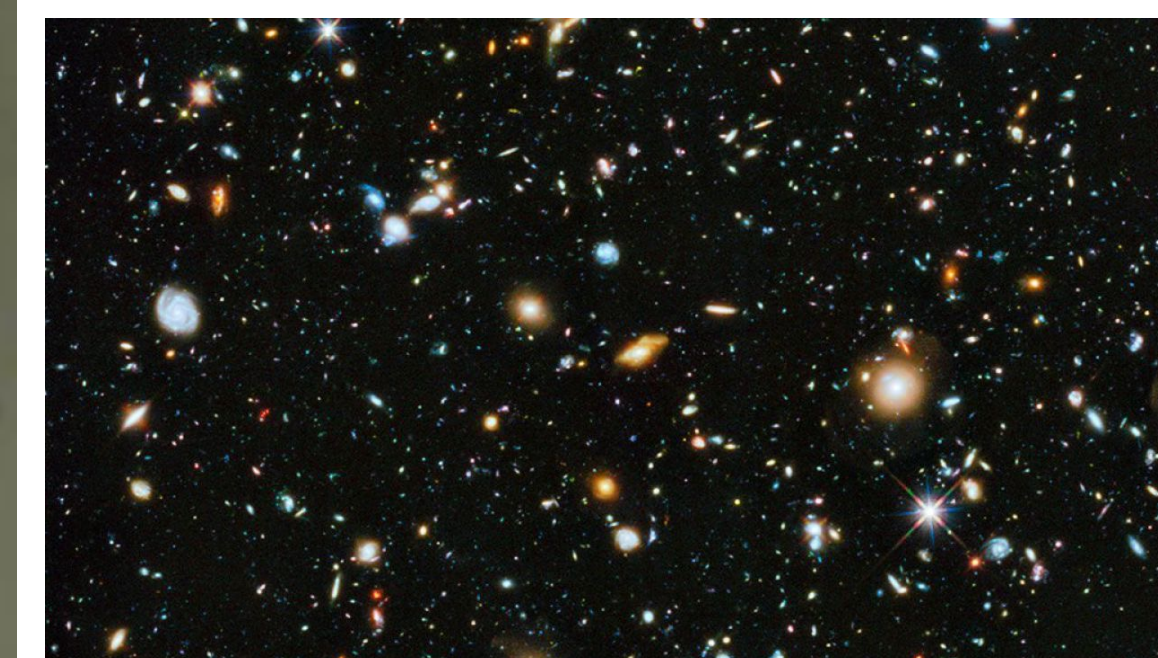
**11800 Ampère**  
**(~1500 A/mm<sup>2</sup>)**



**Campo magnetico terrestre:**  
da 25 a 65 milionesimi di T



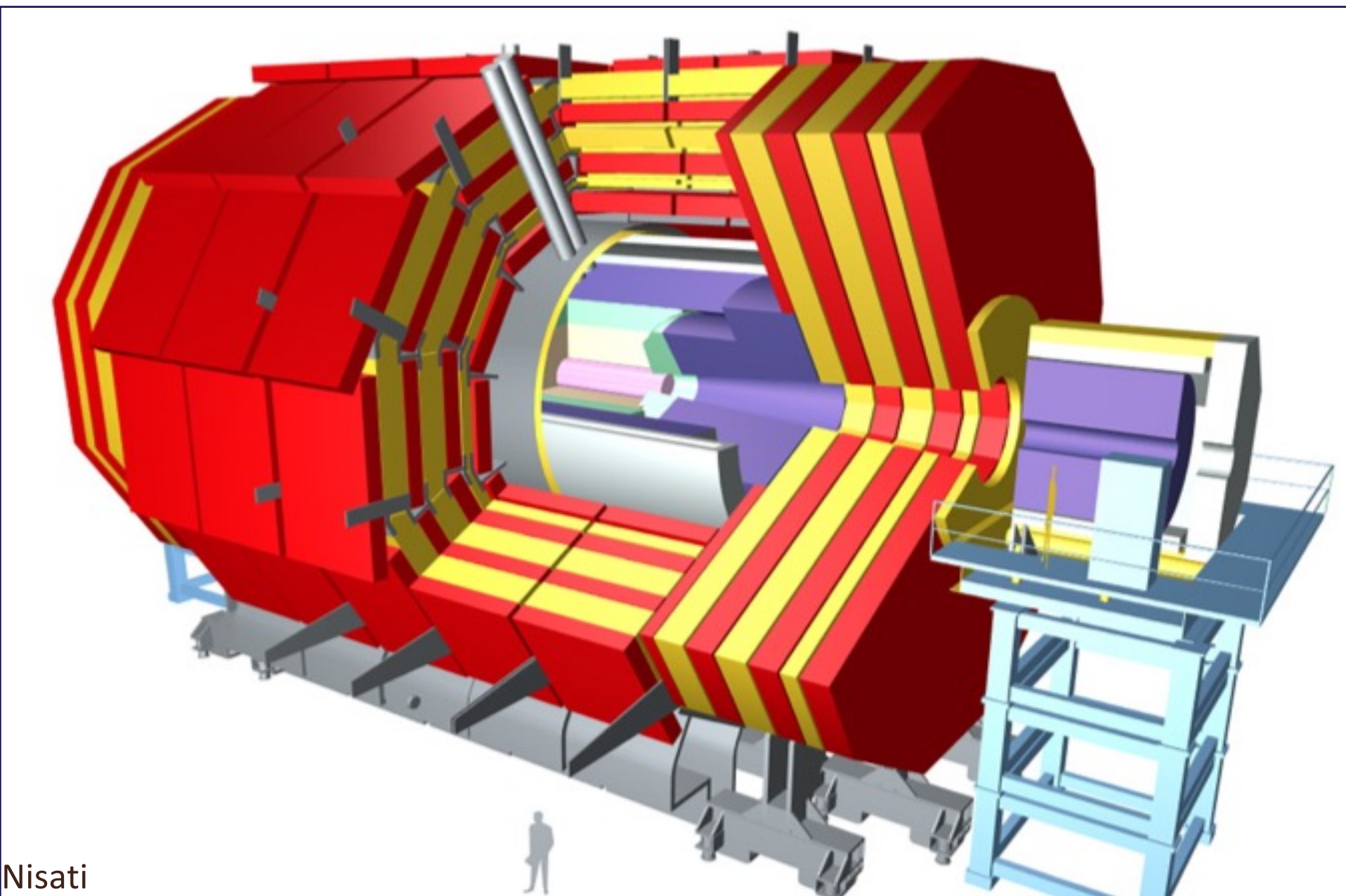
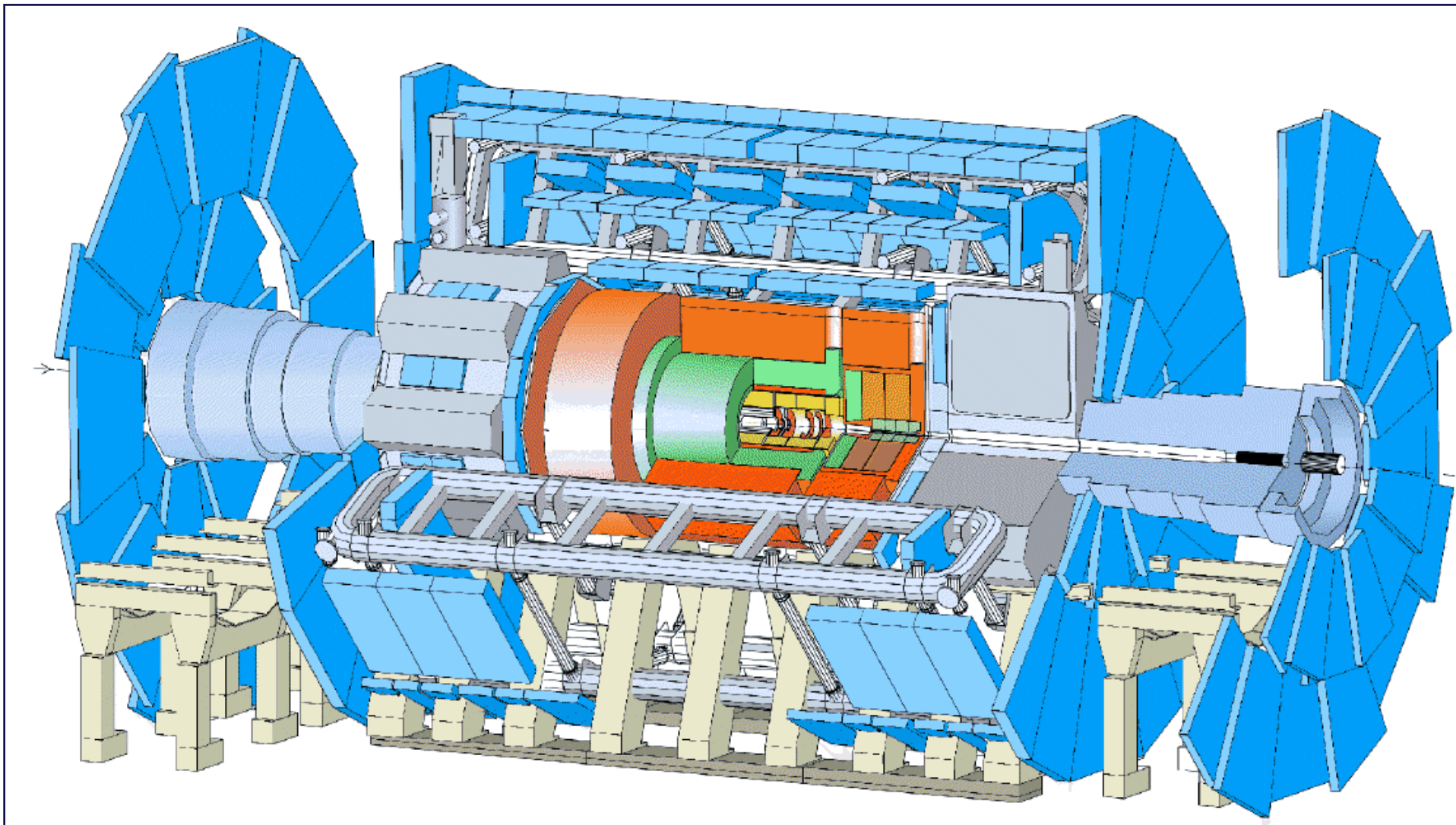
**cavi in rame: 6 A/mm<sup>2</sup>**



**temperatura intergalattica:**  
**-270 °C**



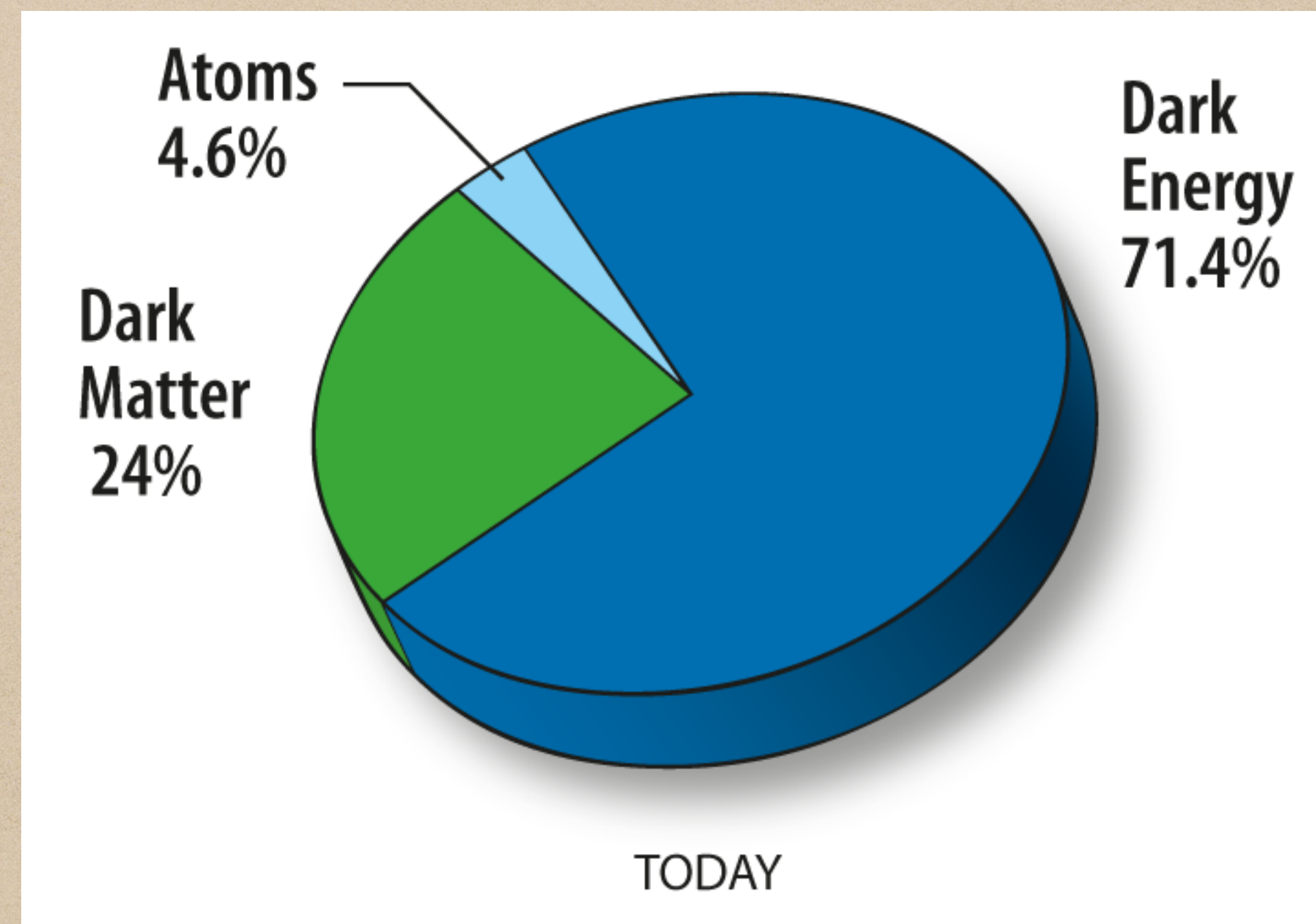
# Rivelatori per la “caccia” di nuove particelle



- 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 !



- ❖ 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**.



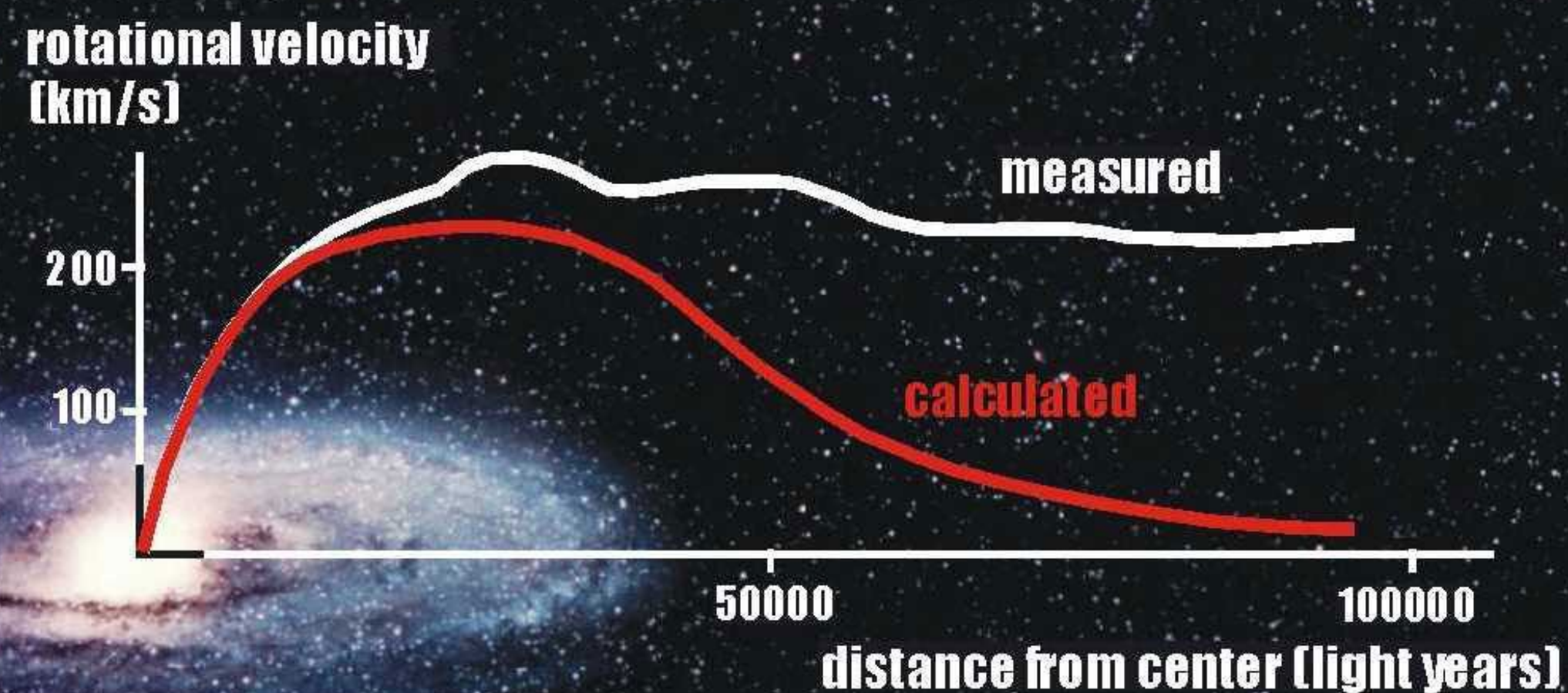
In sostanza, la quasi totalità del contenuto di materia e energia dell'Universo ci è sconosciuta!



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

"Osservata" indirettamente

Curve di rotazione delle galassie



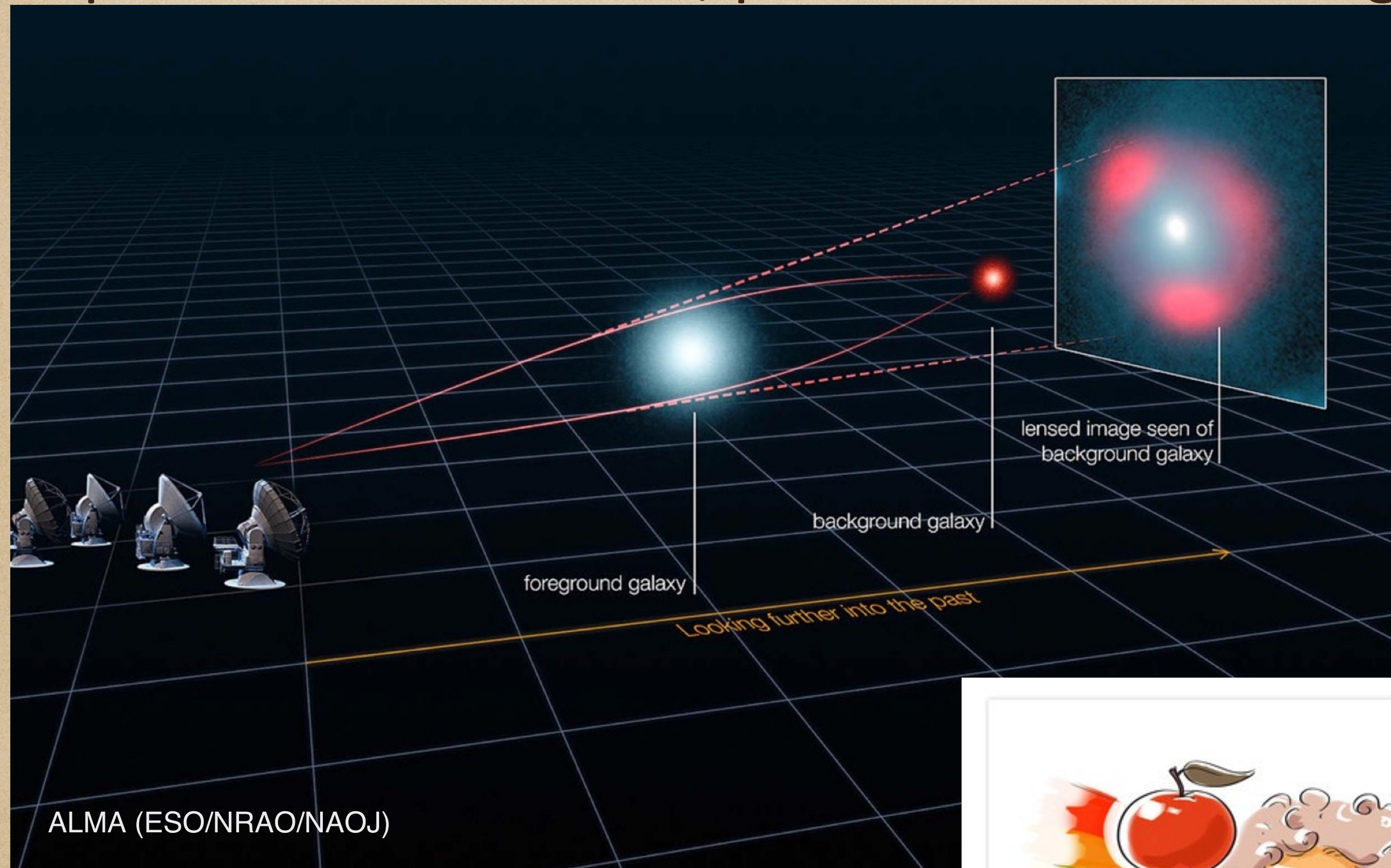
L'applicazione delle Leggi di Keplero produce risultati in disaccordo con le osservazioni

Emissione di raggi X dal Cluster della Chioma





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??







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

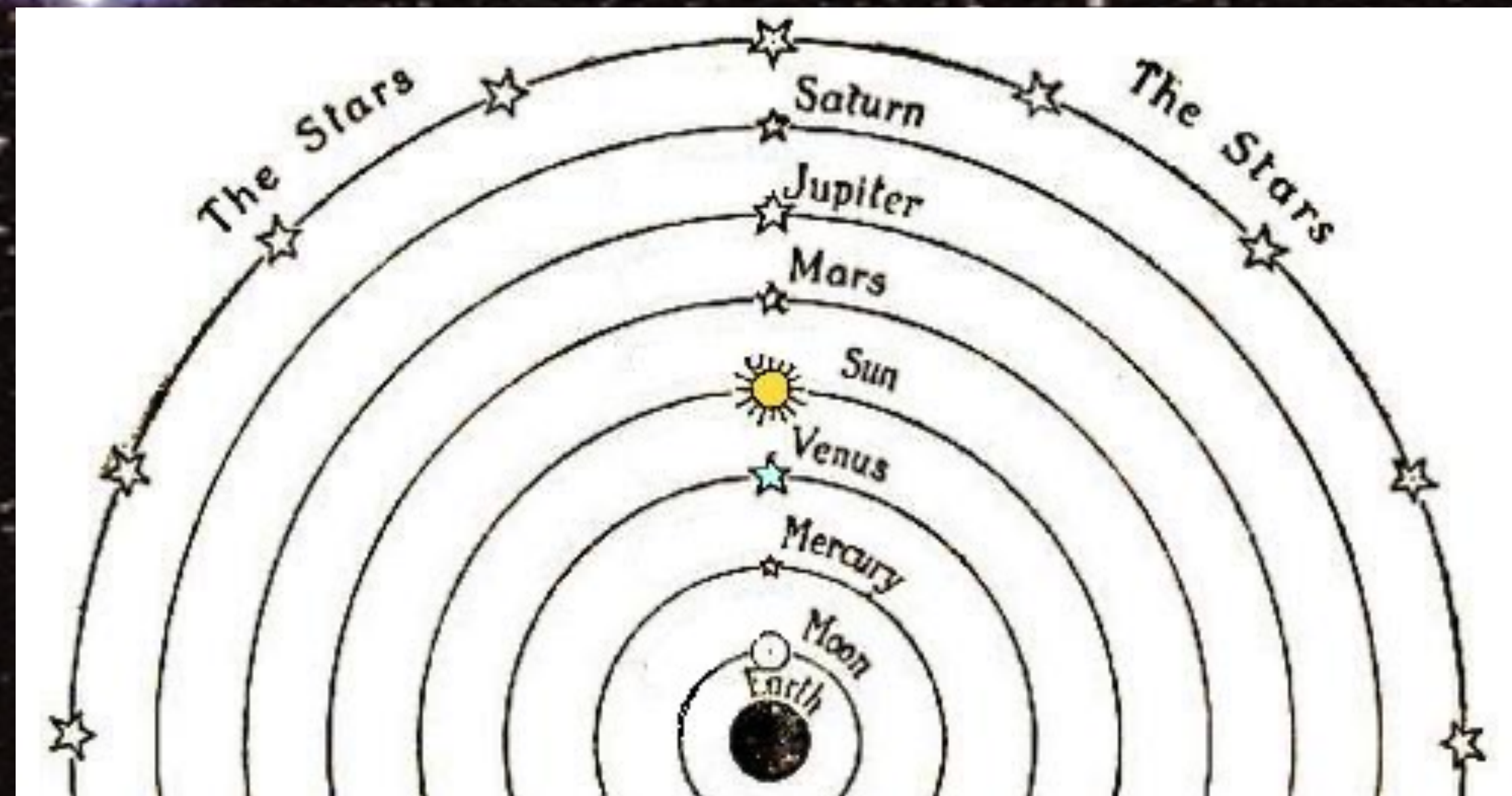
- L'osservazione e lo studio dei corpi celesti è iniziato agli albori della civiltà.
- Si riteneva che i corpi celesti avessero influenza sulla vita umana.





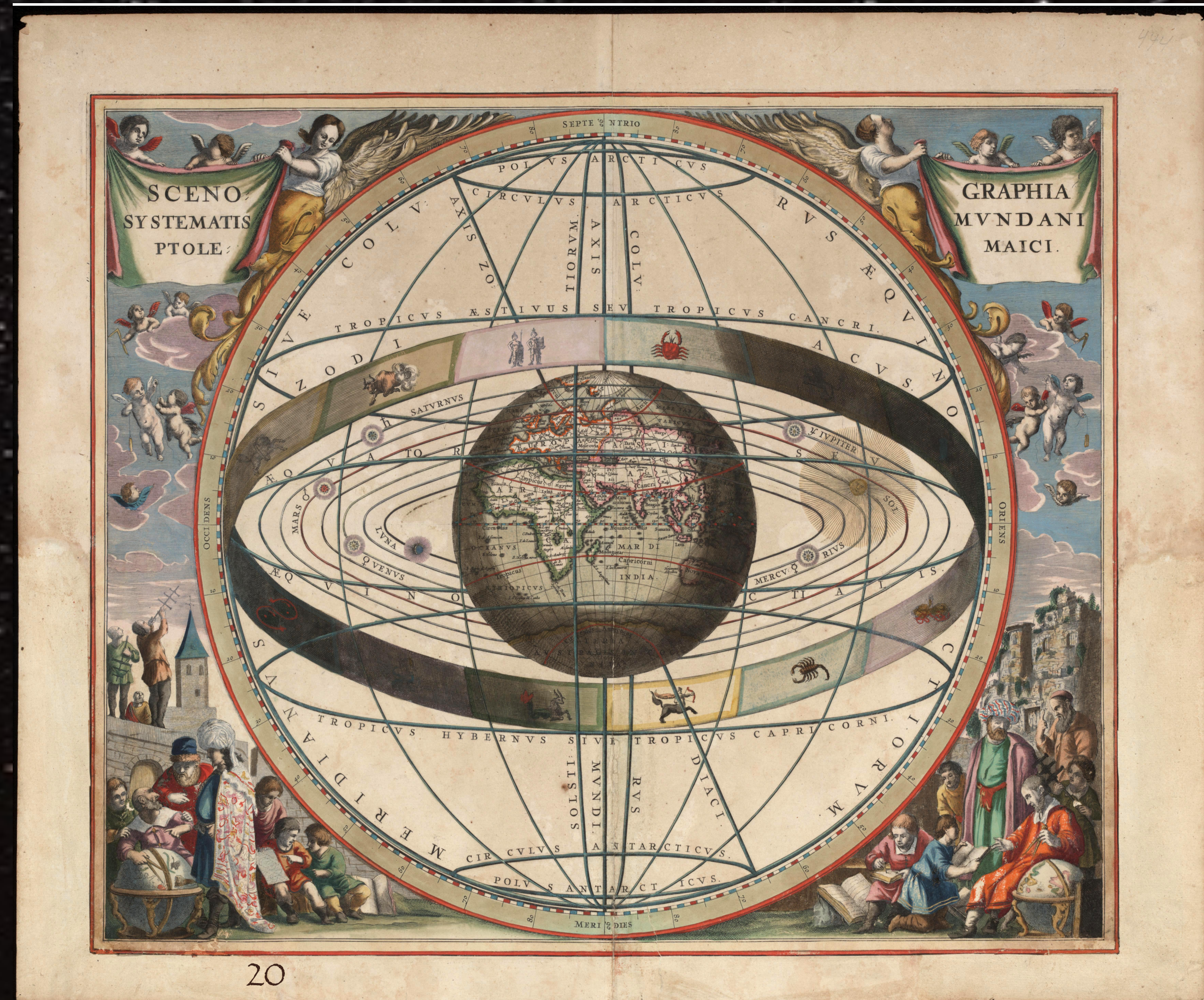
- I primi tentativi di descrivere e spiegare la gravità furono fatti dai filosofi greci (aggregazione dei corpi “simili”).
- Aristotele (384-322 a.c.) osservò che i corpi più pesanti cadono più velocemente

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).

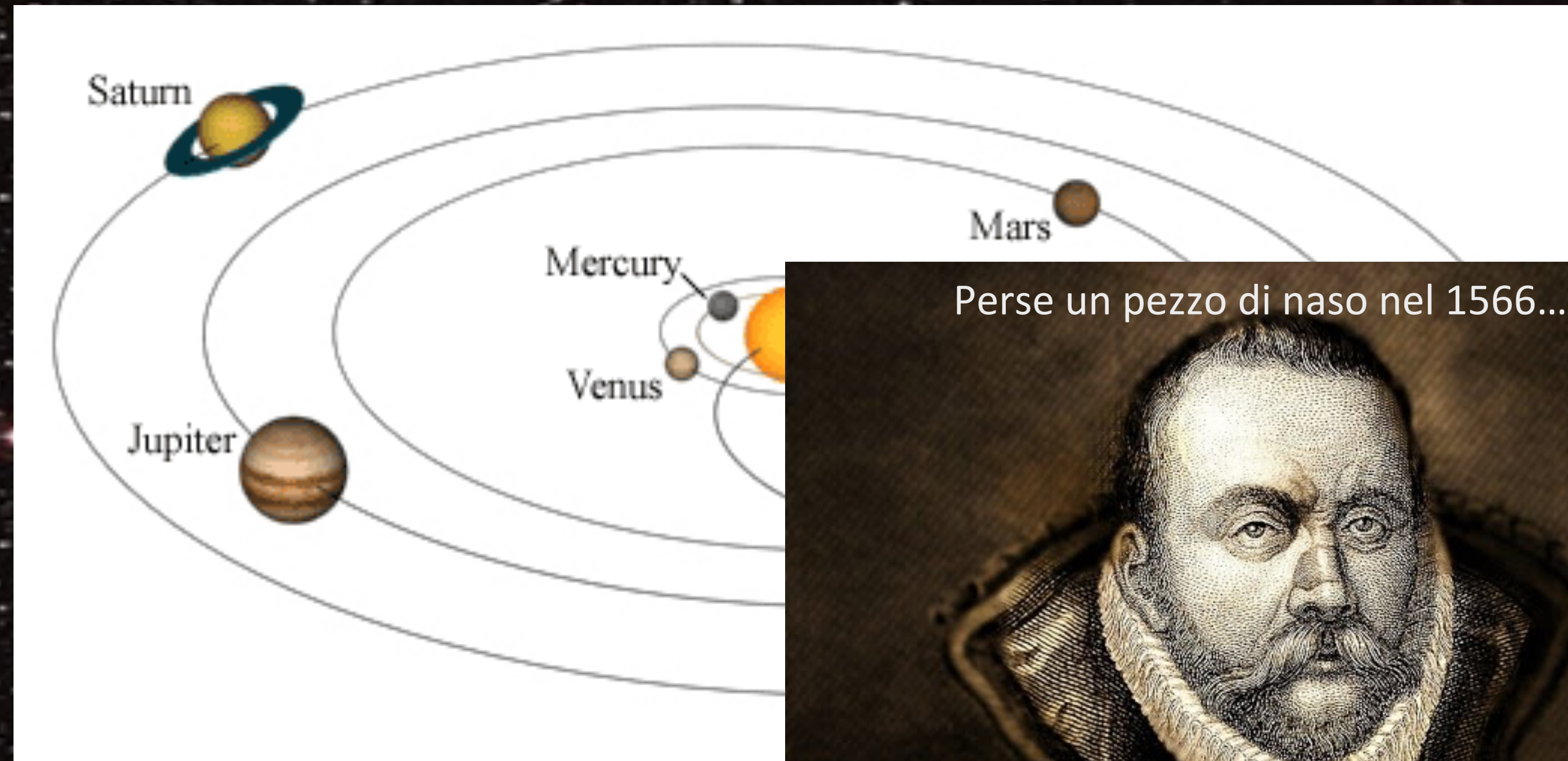








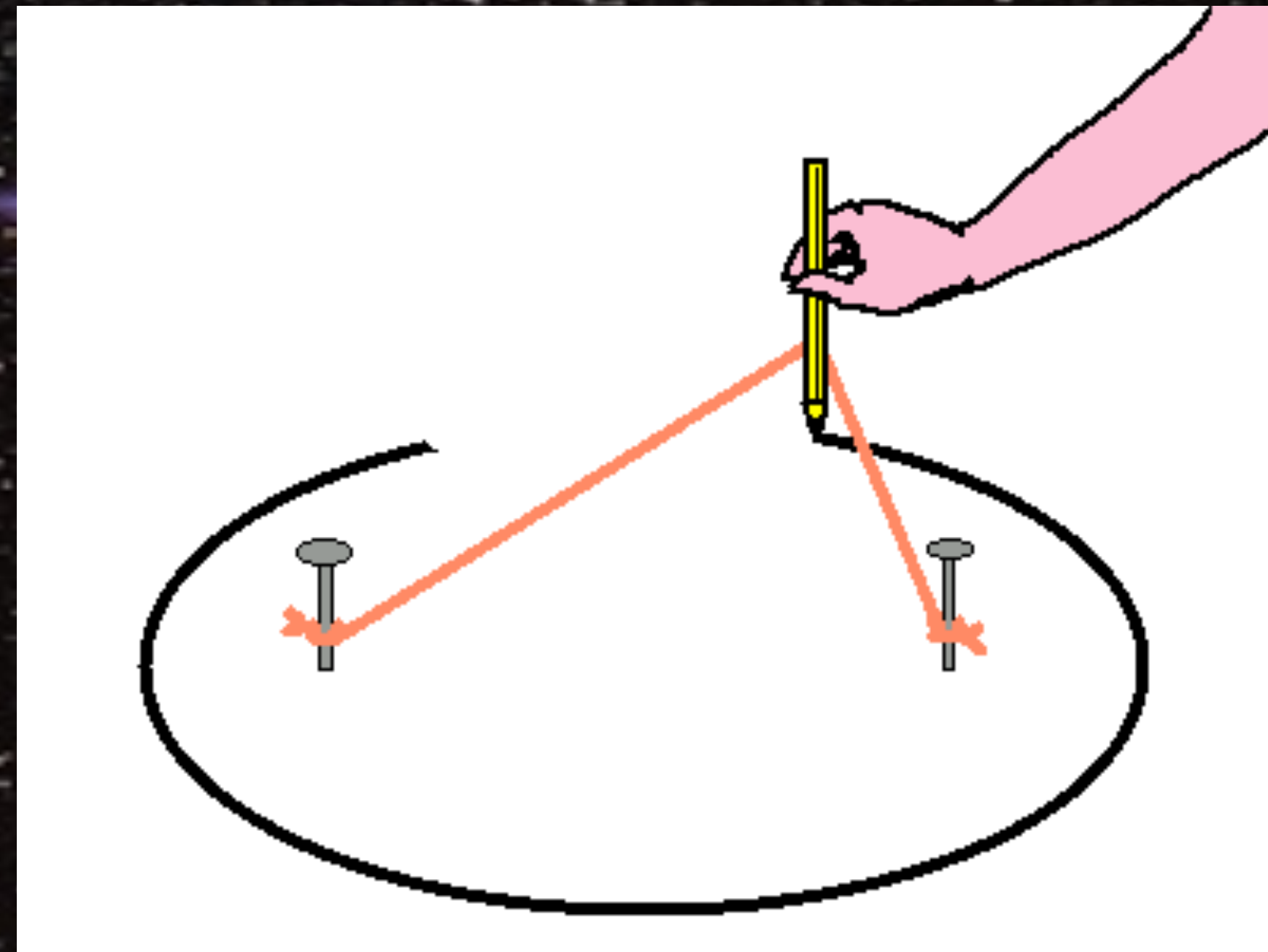
- Tycho Brahe (1546-1601) passò buona parte della sua vita a fare misure sul moto dei pianeti



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

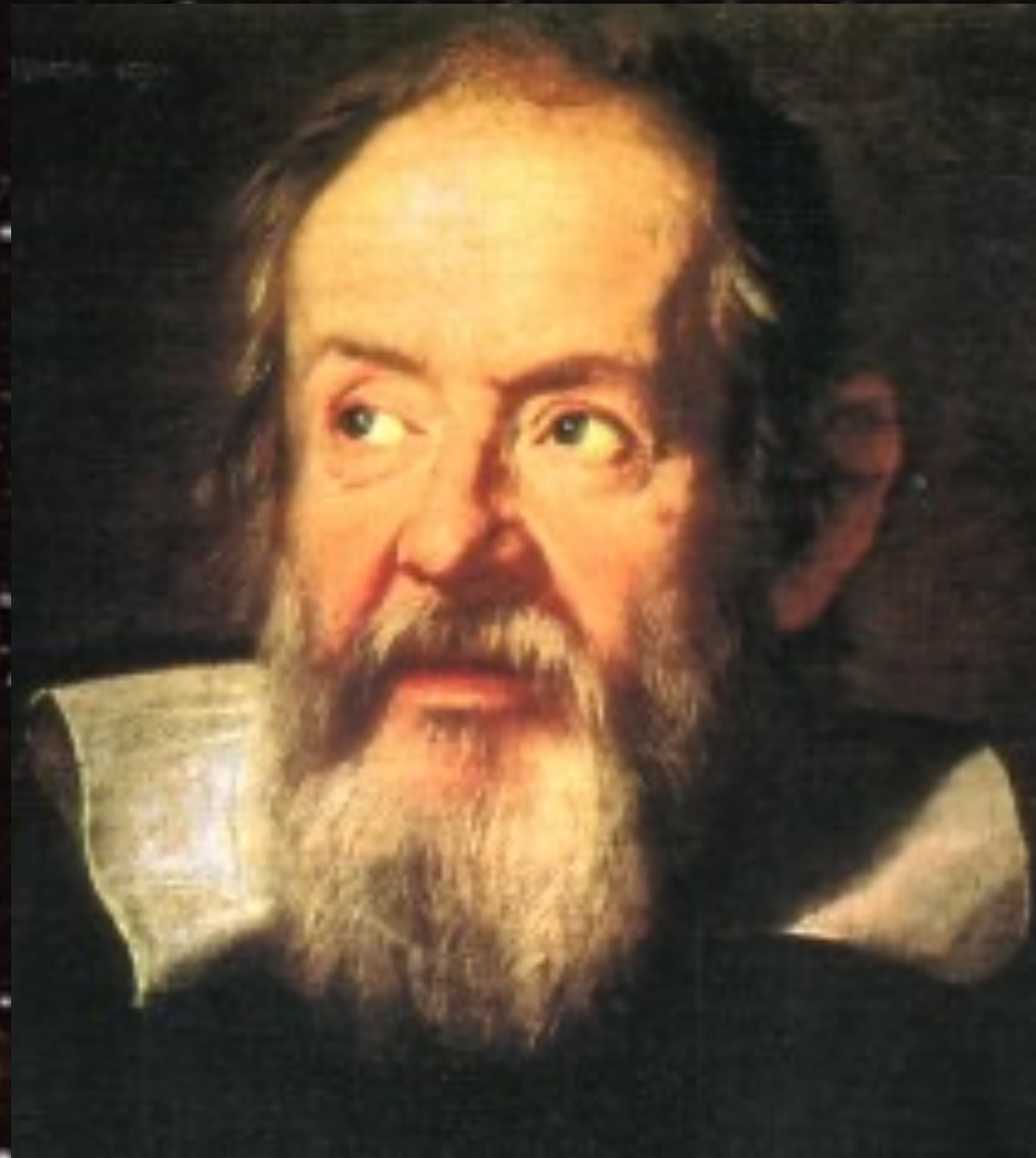


- Keplero (1571-1630) utilizzò I dati di Brahe per dedurre le sue tre Leggi omonime.
- Queste leggi descrivono accuratamente il moto dei pianeti attorno al Sole, ma non spiegano il perchè.





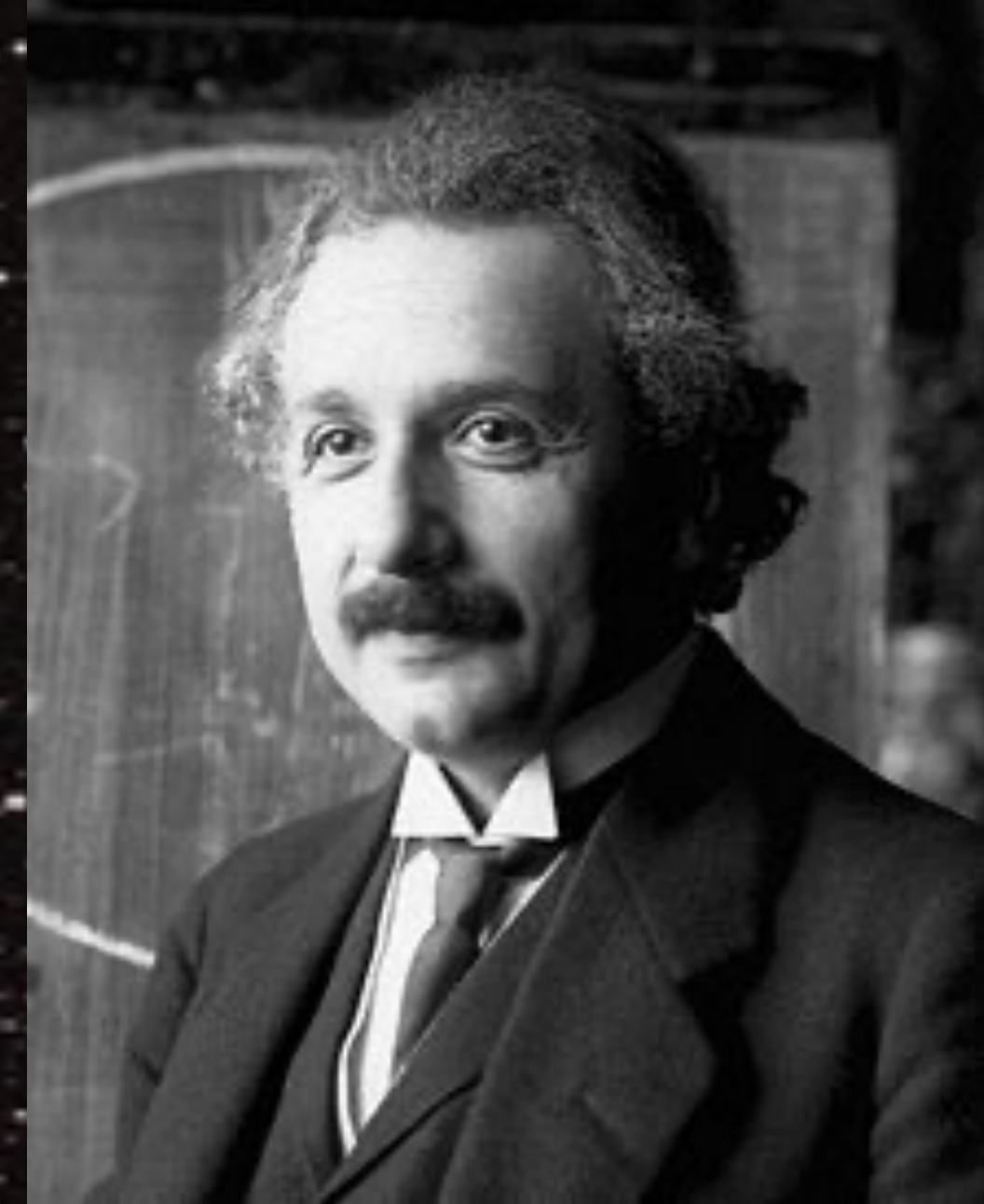
# I tre pesi massimi della gravitazione



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)

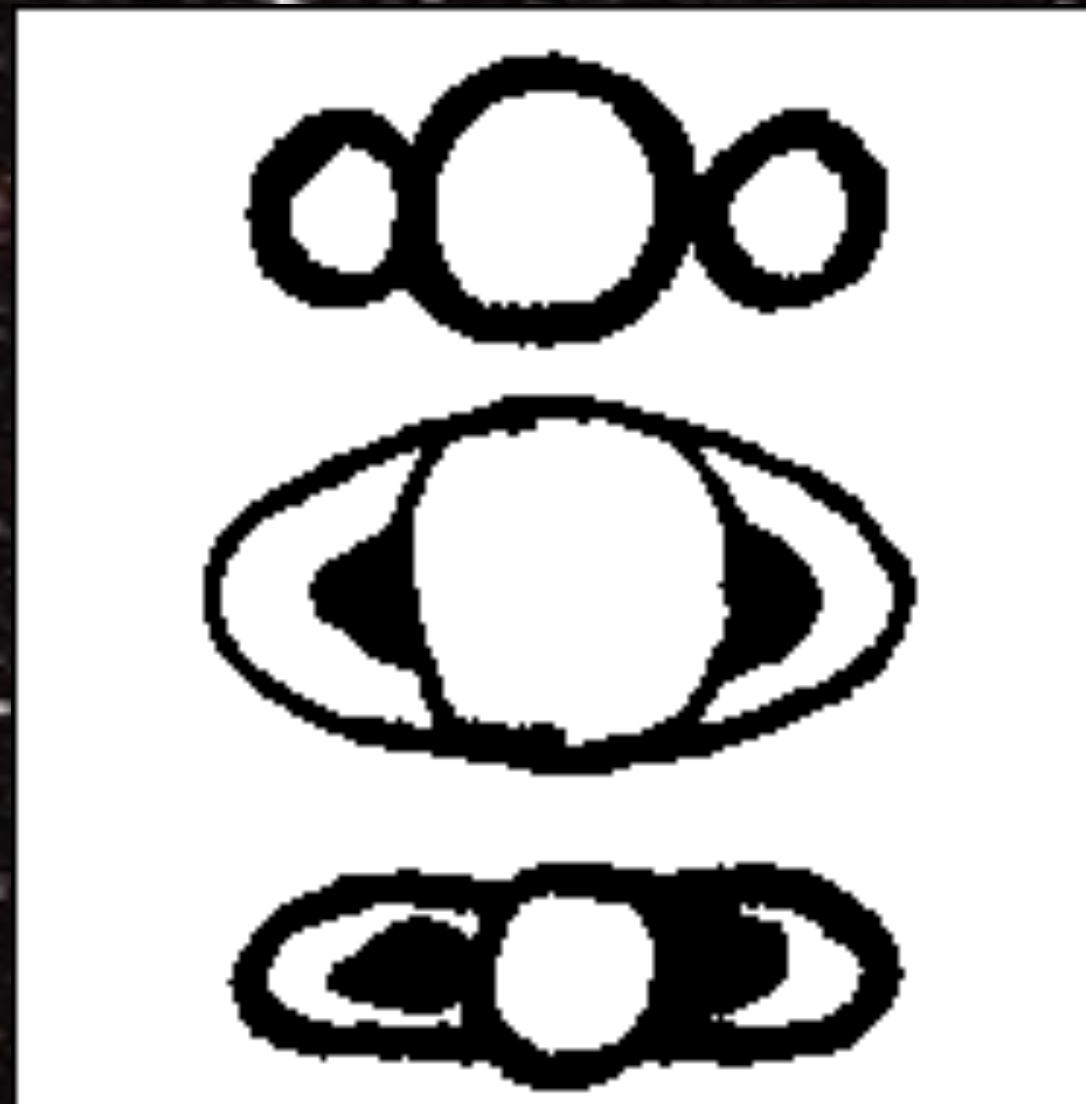




- Perfeziona il telescopio e dimostra che il cielo è tutt'altro che "perfetto" e che la Terra non occupa una posizione privilegiata nell'Universo.



La Luna e le sue fasi



Gli anelli di Saturno

*Observationes Joviales*  
1610

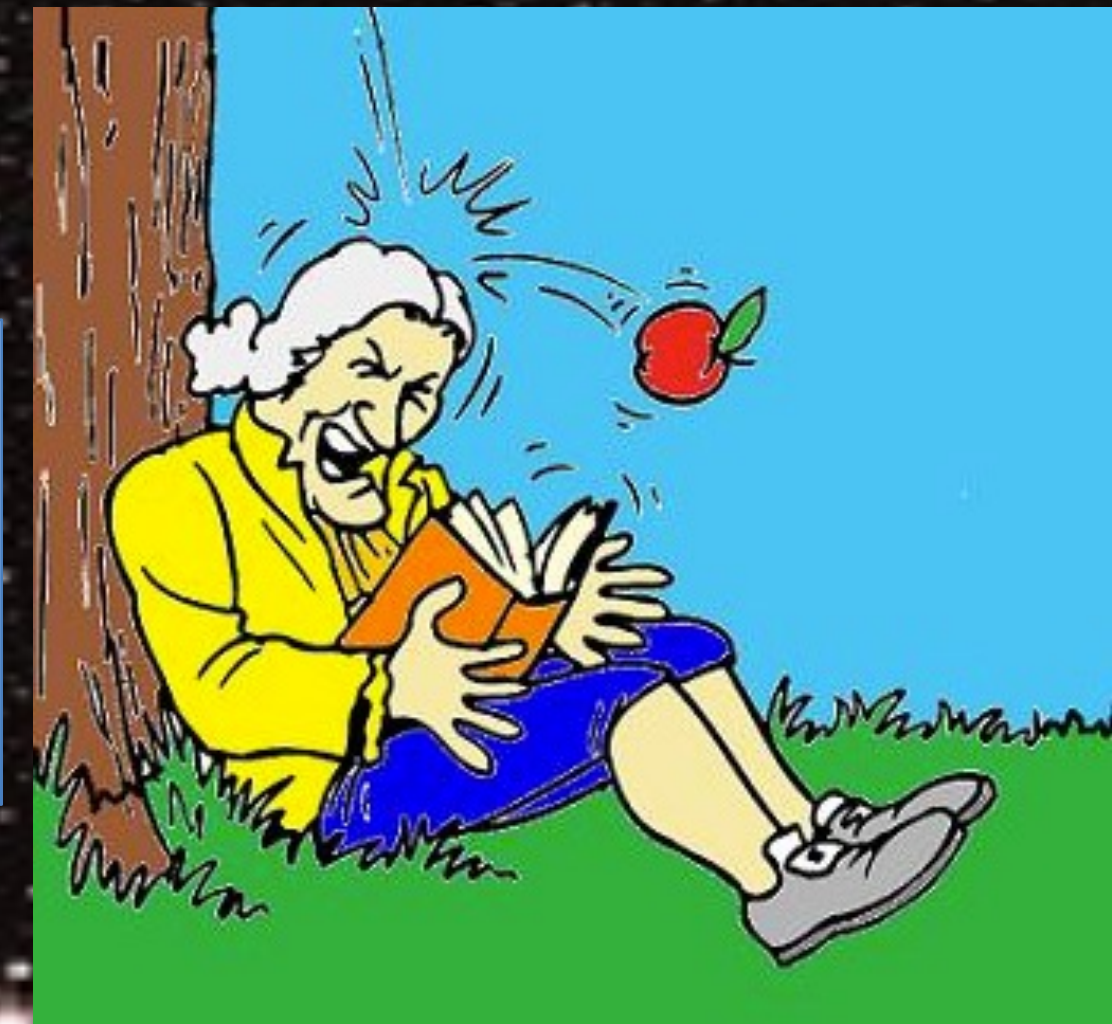
20. Febr. mart H. 12	○ **
30. mart	** ○ *
2. Febr.	○ ** *
3. mart	○ * *
3. Ho. 5.	* ○ *
4. mart	* ○ **
6. mart	** ○ *
8. mart H. 13.	* * * ○
10. mart	* * * ○ *
11.	* * ○ *
12. H. 4. vesp.	* ○ *
13. mart	* ** ○ *
14. mart	* * * ○ *

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.



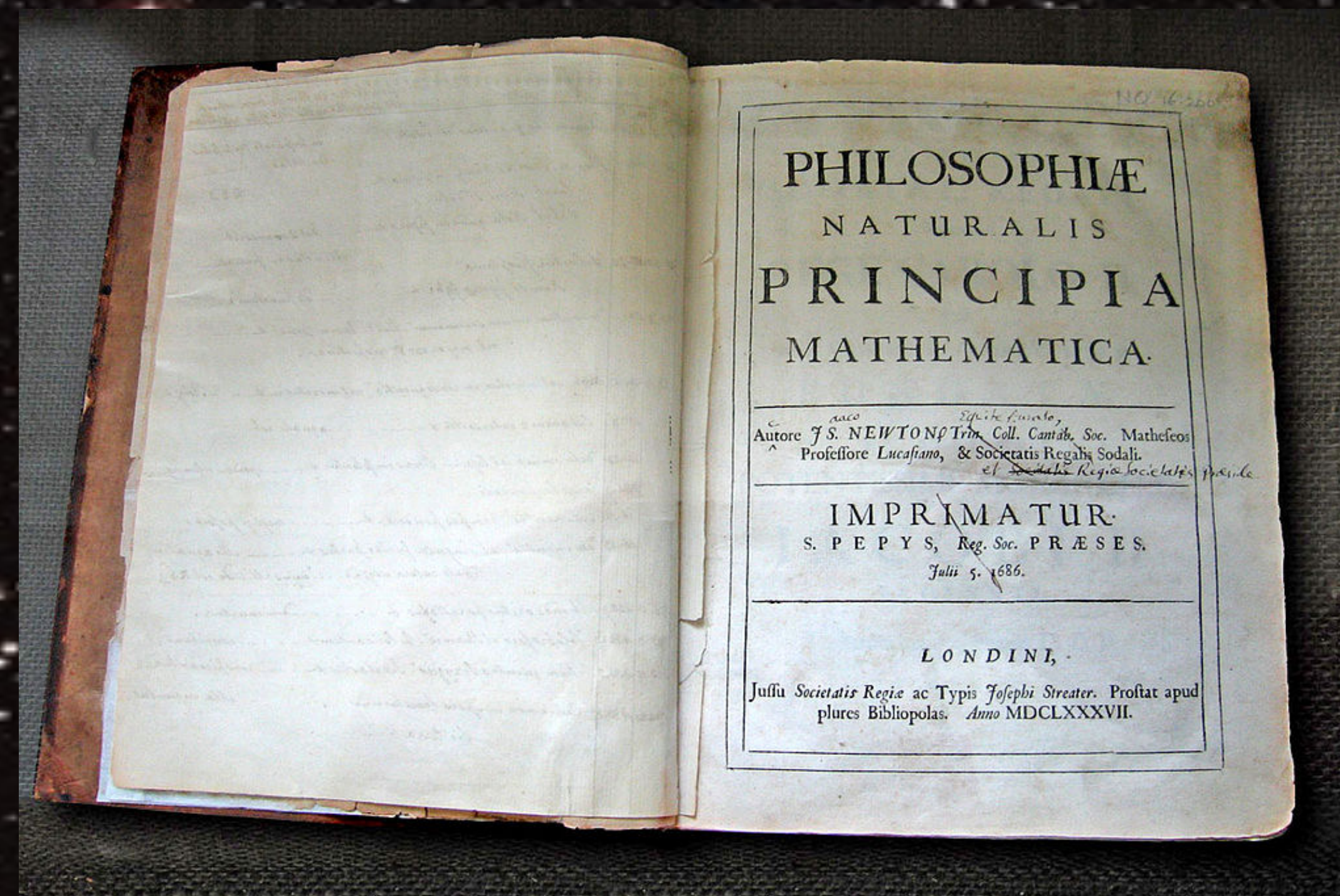
Intermezzo:  
perchè la Luna non cade sulla Terra?



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:  $V_{fuga} = 11.2 \text{ km/s}$



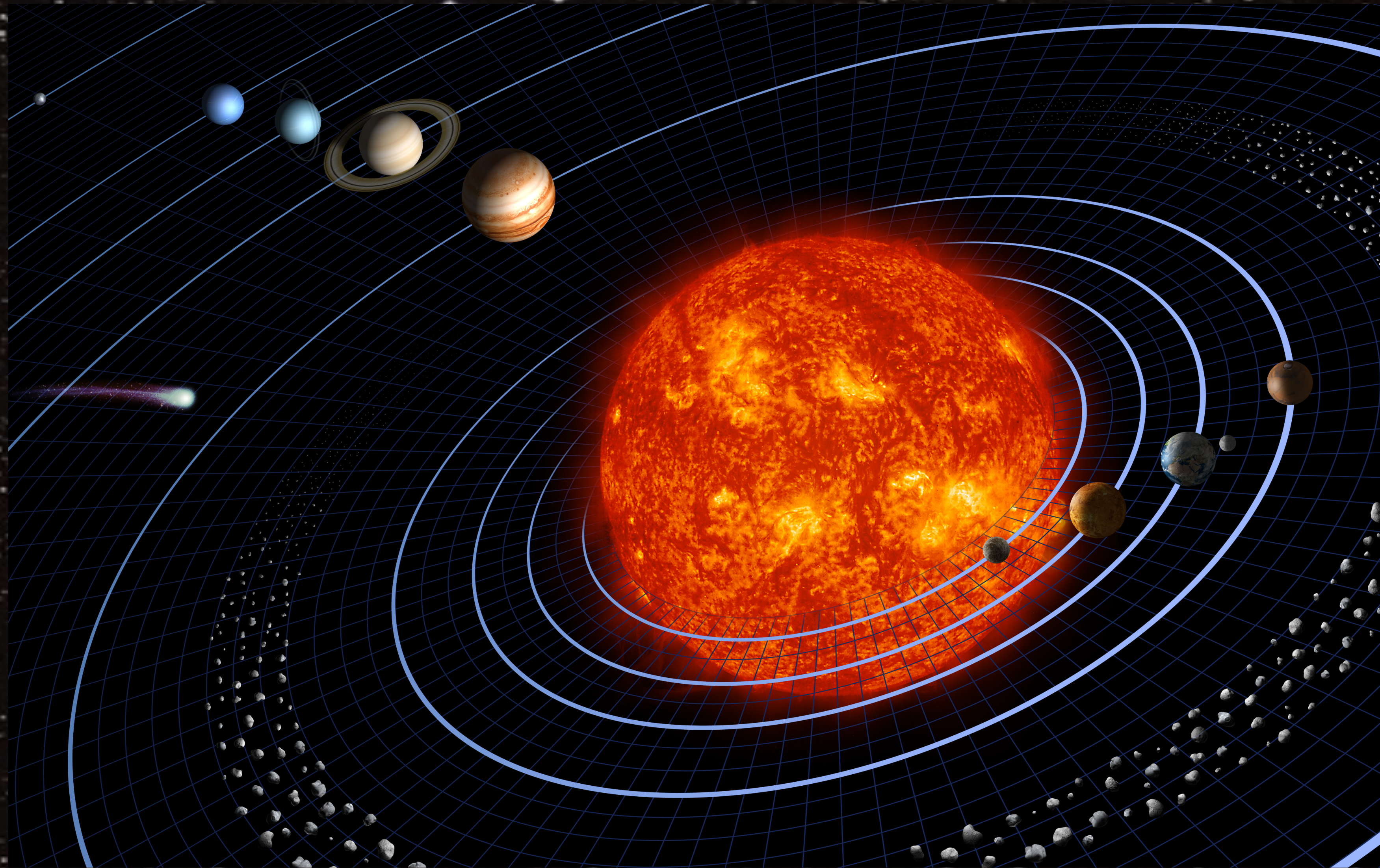
◇ La forma dei corpi celesti (purchè sufficientemente grandi,  $R > 1000$  km circa)



67P/Churyumov-Gerasimenko



# ◇ Il moto dei pianeti





## ◇ Le forma delle galassie



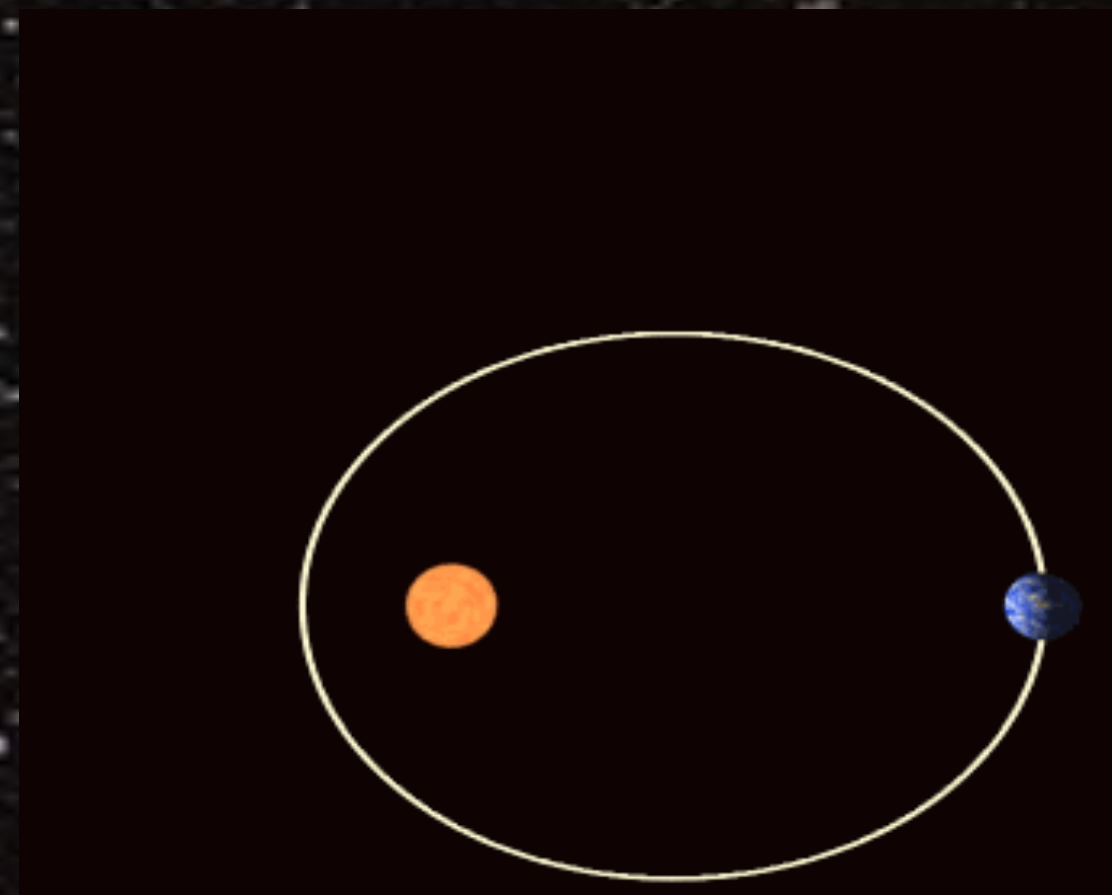


◇ L'esistenza e le caratteristiche degli ammassi di galassie





- La 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...

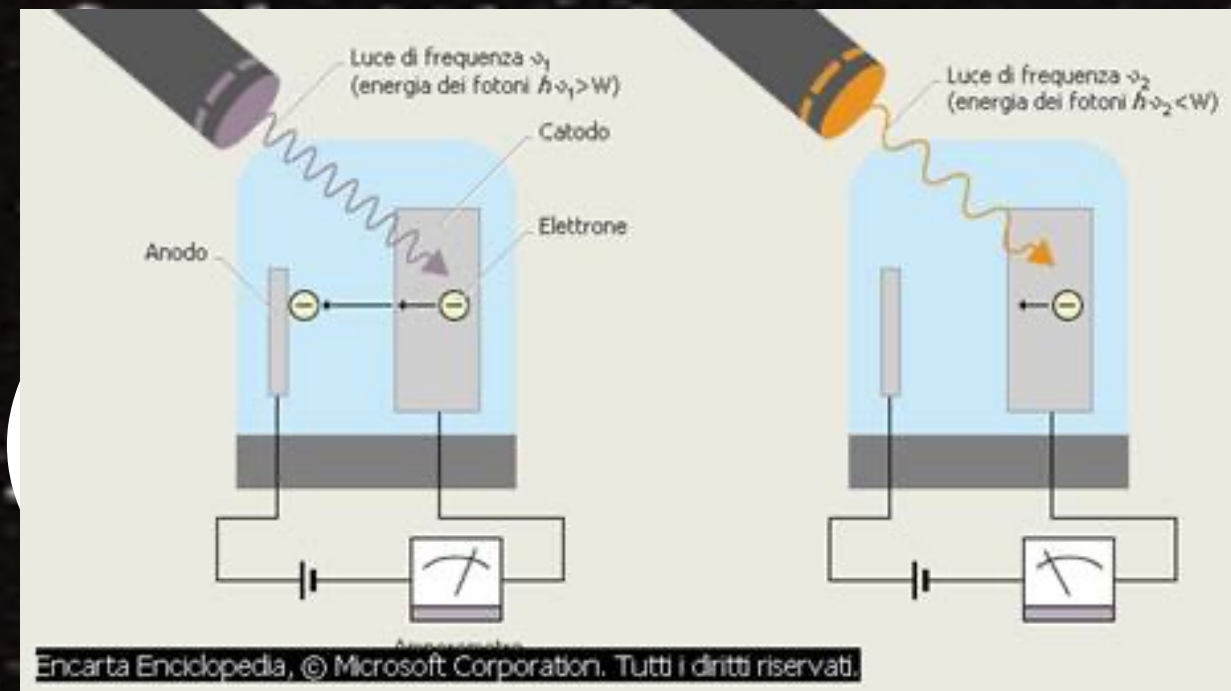


"Sono preoccupata per Albert: fatica ad imparare e non sappiamo cosa potrà fare".

Pauline Einstein ad una amica



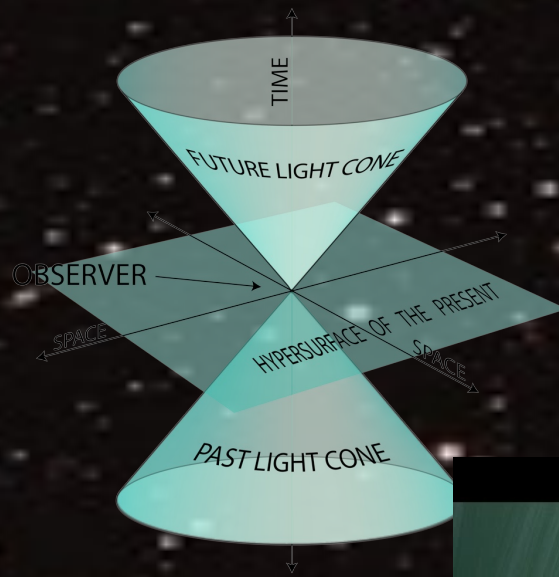
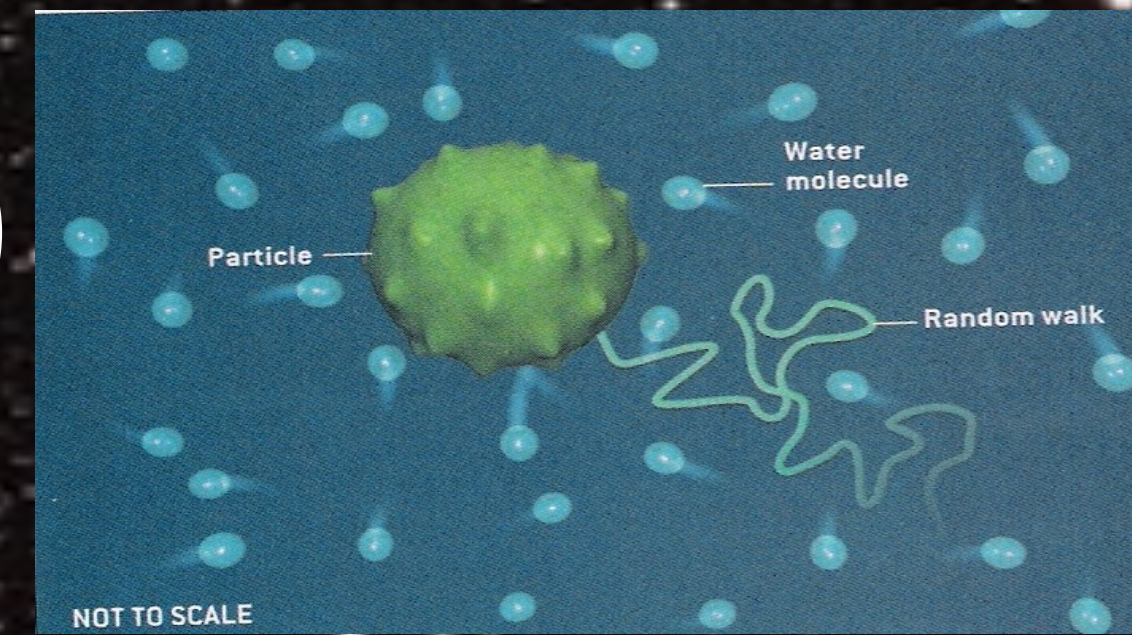
# 1905: *l'annus mirabilis* di Einstein



## 1) Effetto fotoelettrico

## 2) Il numero di Avogadro (Aprile)

## 3) Moto Browniano (Maggio)



## 4) Nuova Elettrodinamica (Giugno)

(Relatività Ristretta)

$$E = mc^2$$

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



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

*the happiest*

The gravita  
observer f  
immediate

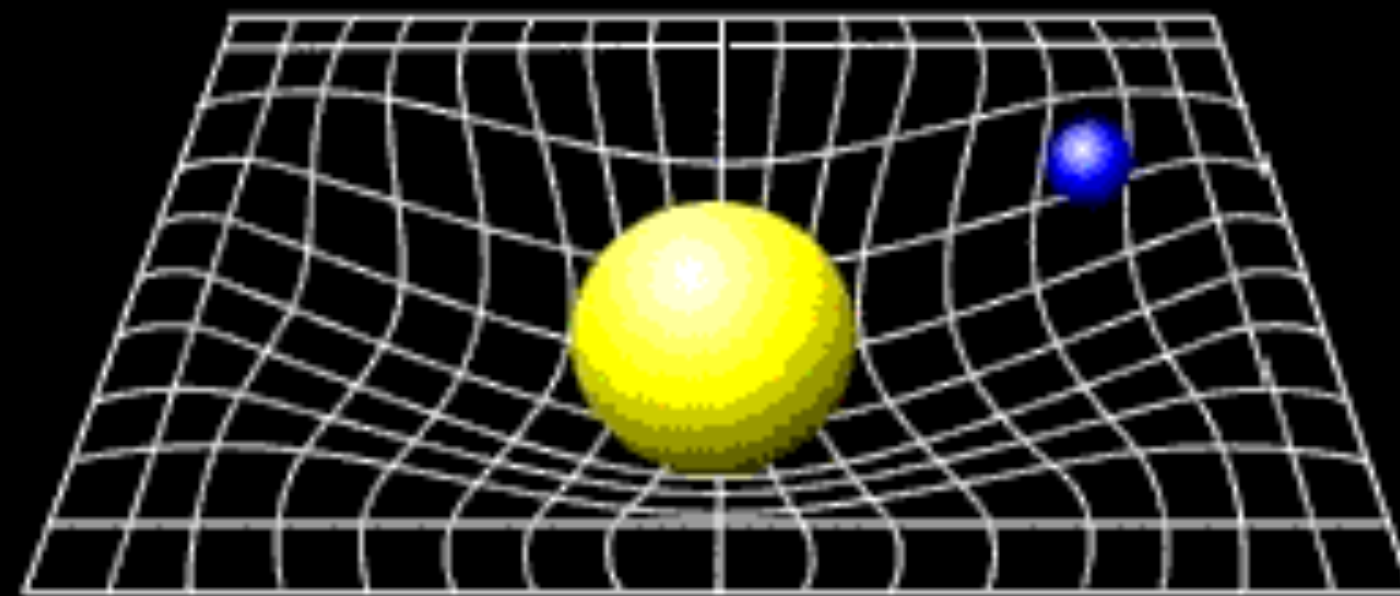
se for an  
his





# 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)*

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

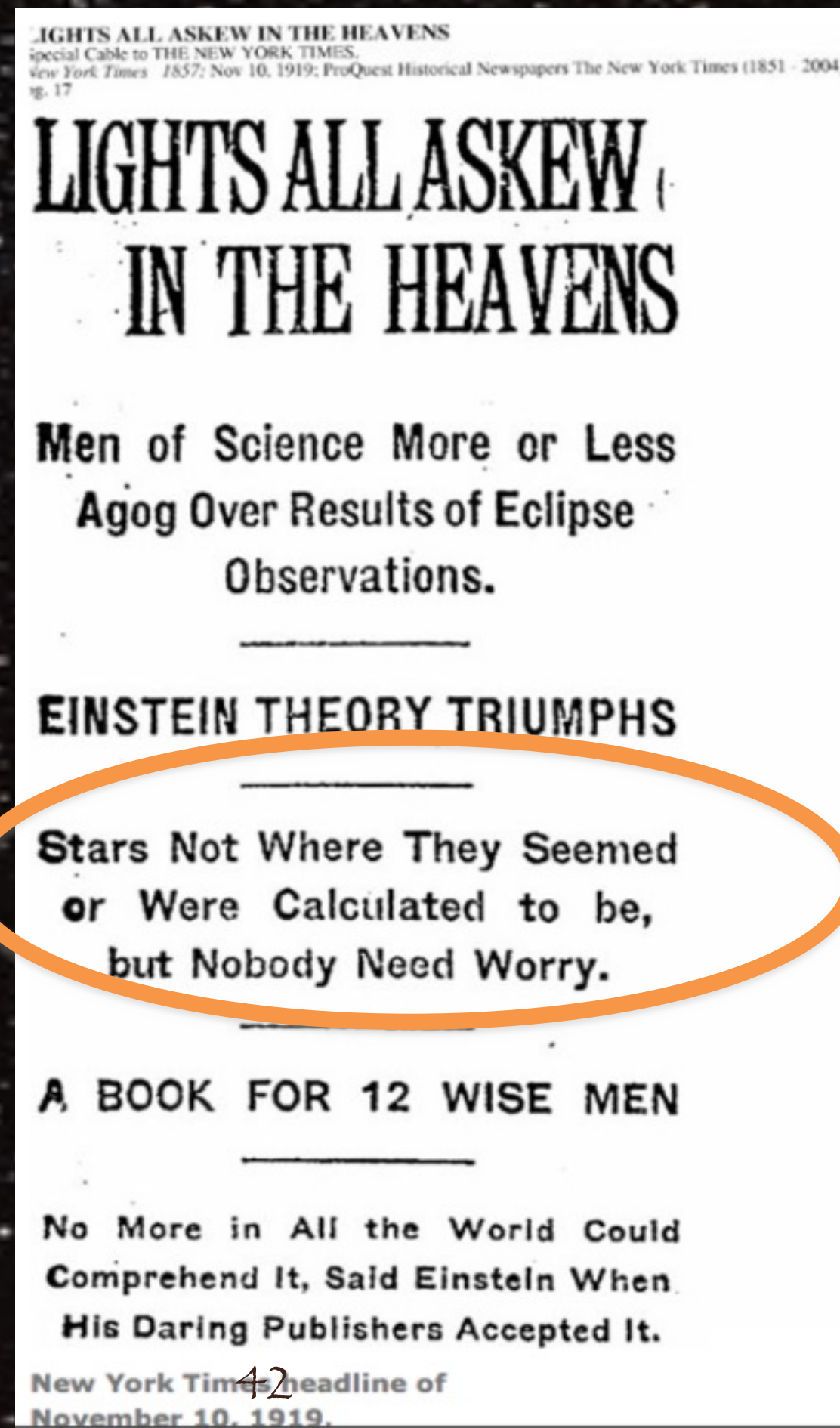
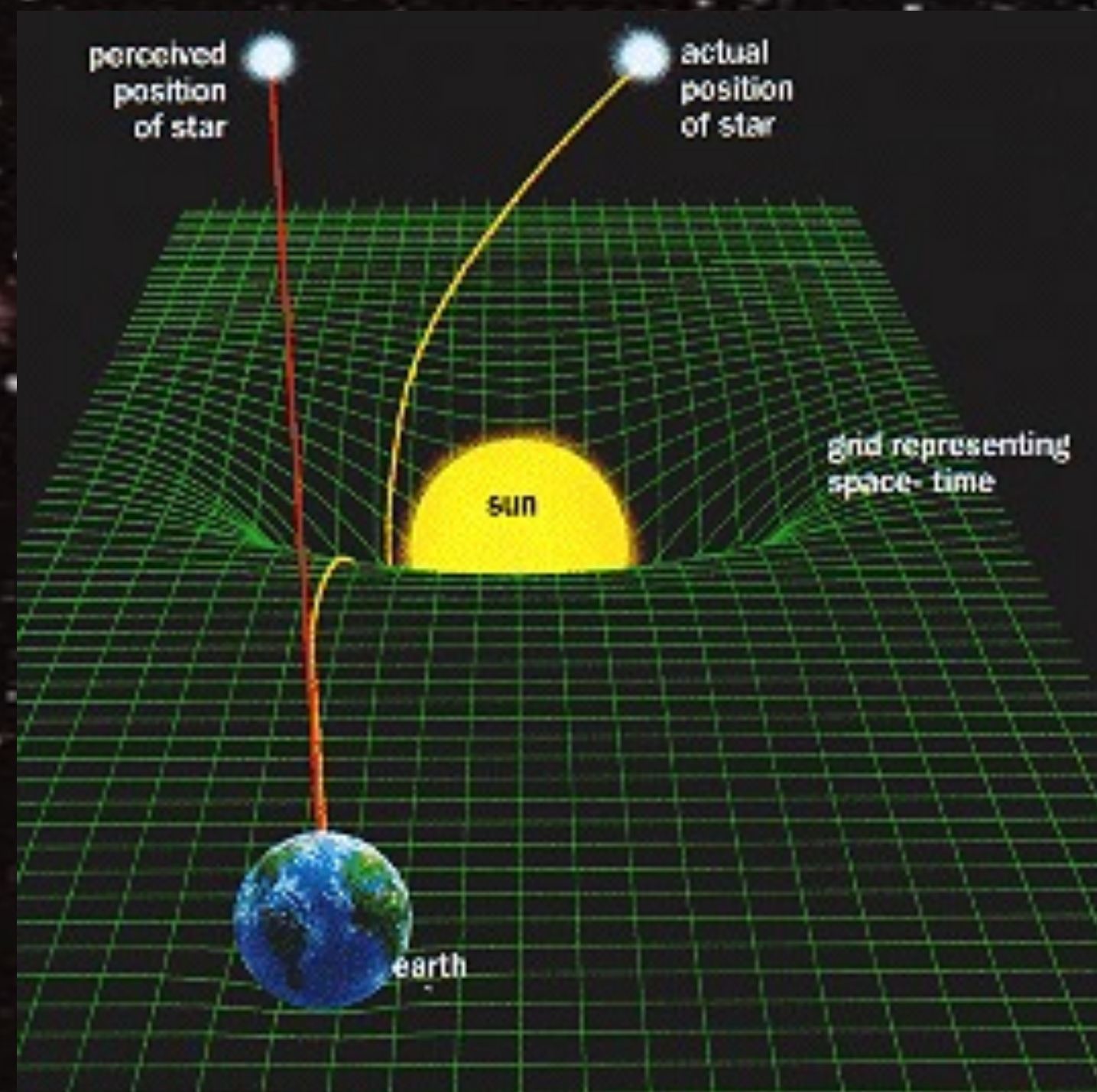
A. EINSTEIN

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

- Da queste equazioni discendono numerose conseguenze fisiche.



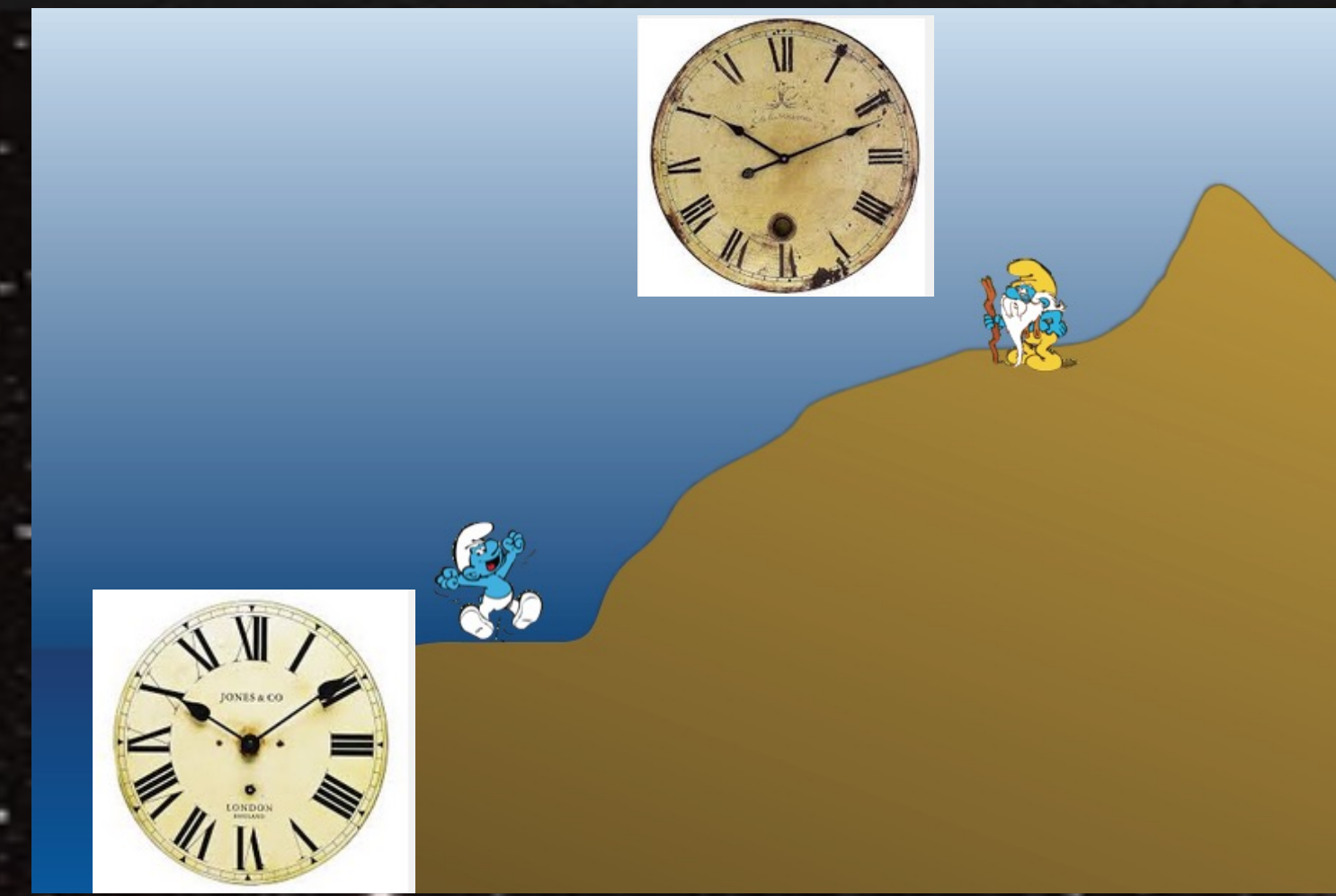
- Il calcolo dell'avanzamento del perielio di Mercurio è in accordo con le osservazioni (AE 1919)
- La luce viene deflessa (verificata da Eddington nel 1919)



Croce di Einstein



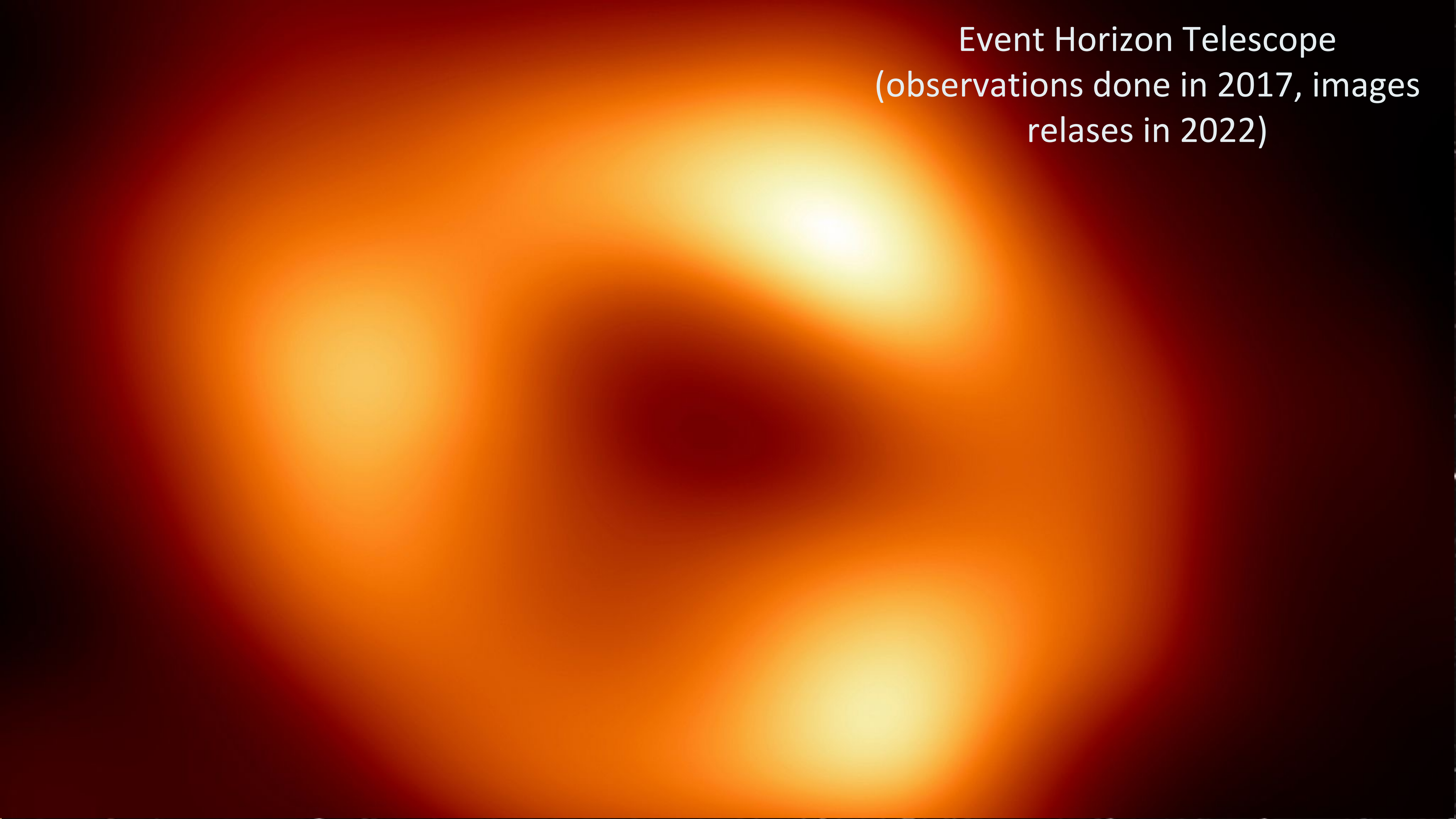
- Dilatazione del tempo
- Il tic-toc di un orologio rallenta avvicinandosi alla sorgente del campo gravitazionale.



- È un effetto cruciale nel GPS.
- L'orologio su un satellite risente (rispetto ad un orologio a Terra) di:
  - un ritardo di  $7 \mu\text{s}$  /giorno (relatività speciale)
  - un anticipo di  $45 \mu\text{s}$  / giorno (relatività generale)
- Se non se ne tenesse conto l'accuratezza dei navigatori peggiorerebbe di 10 km al giorno!

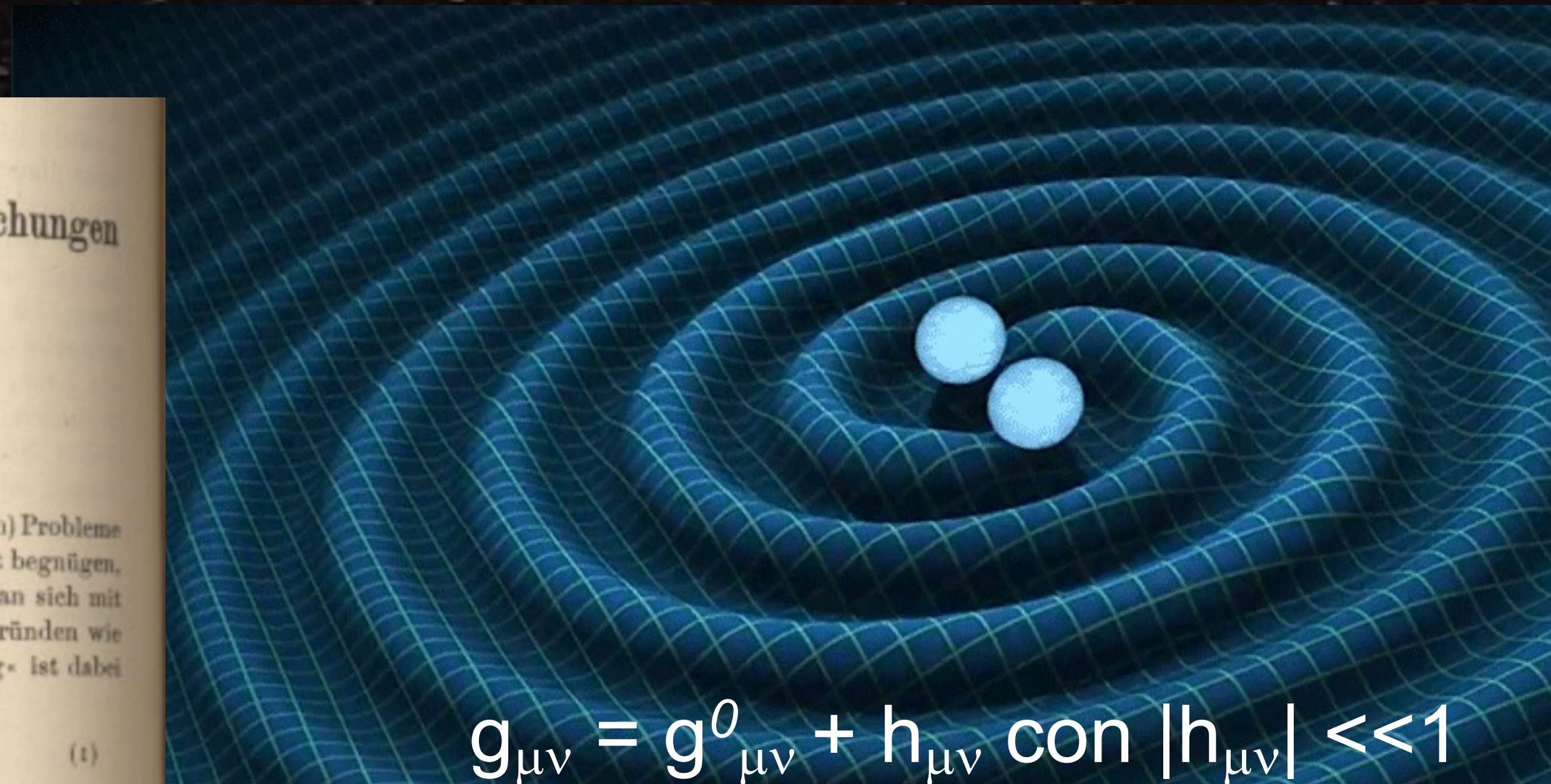
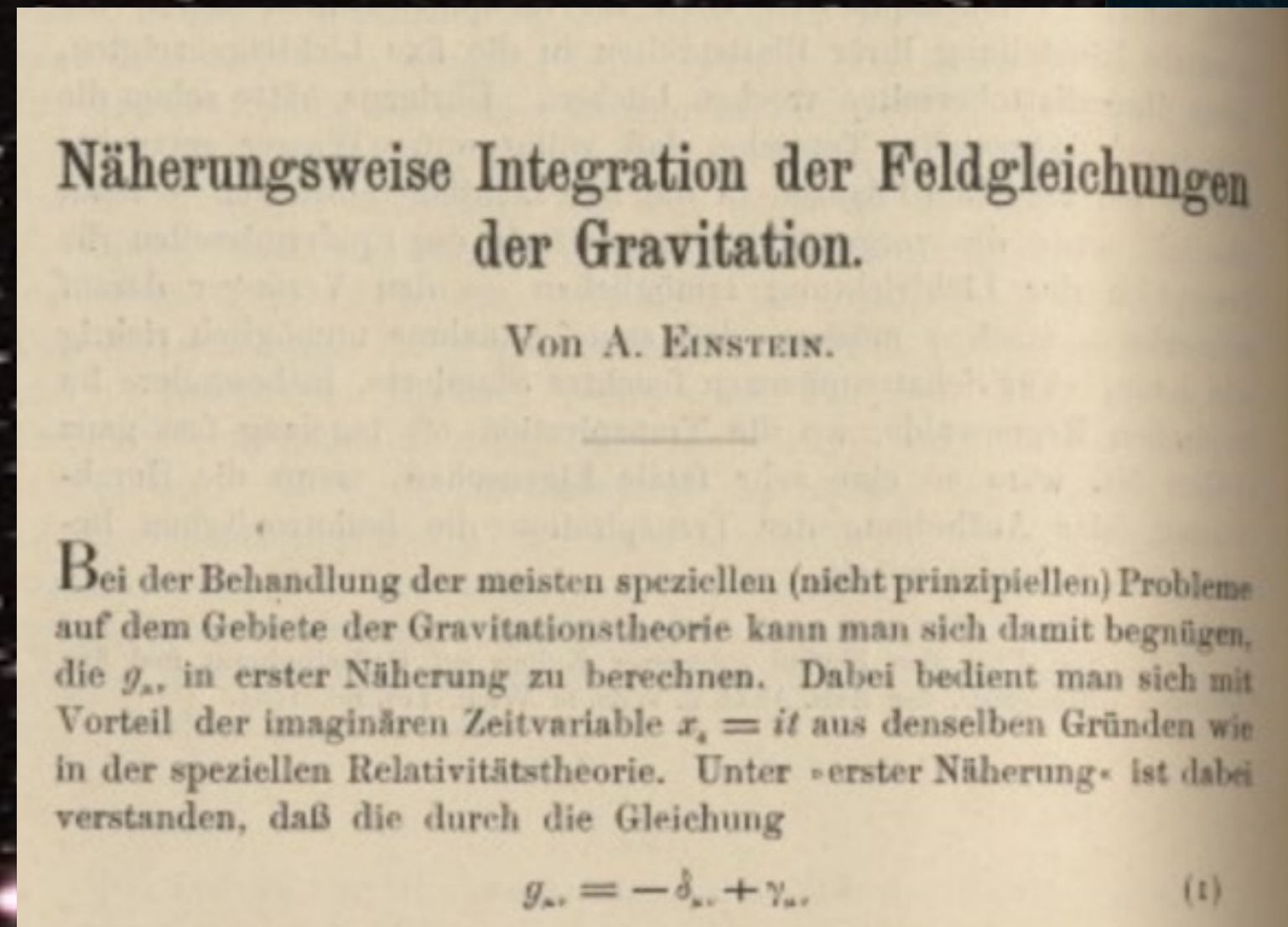


Event Horizon Telescope  
(observations done in 2017, images  
relases in 2022)





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

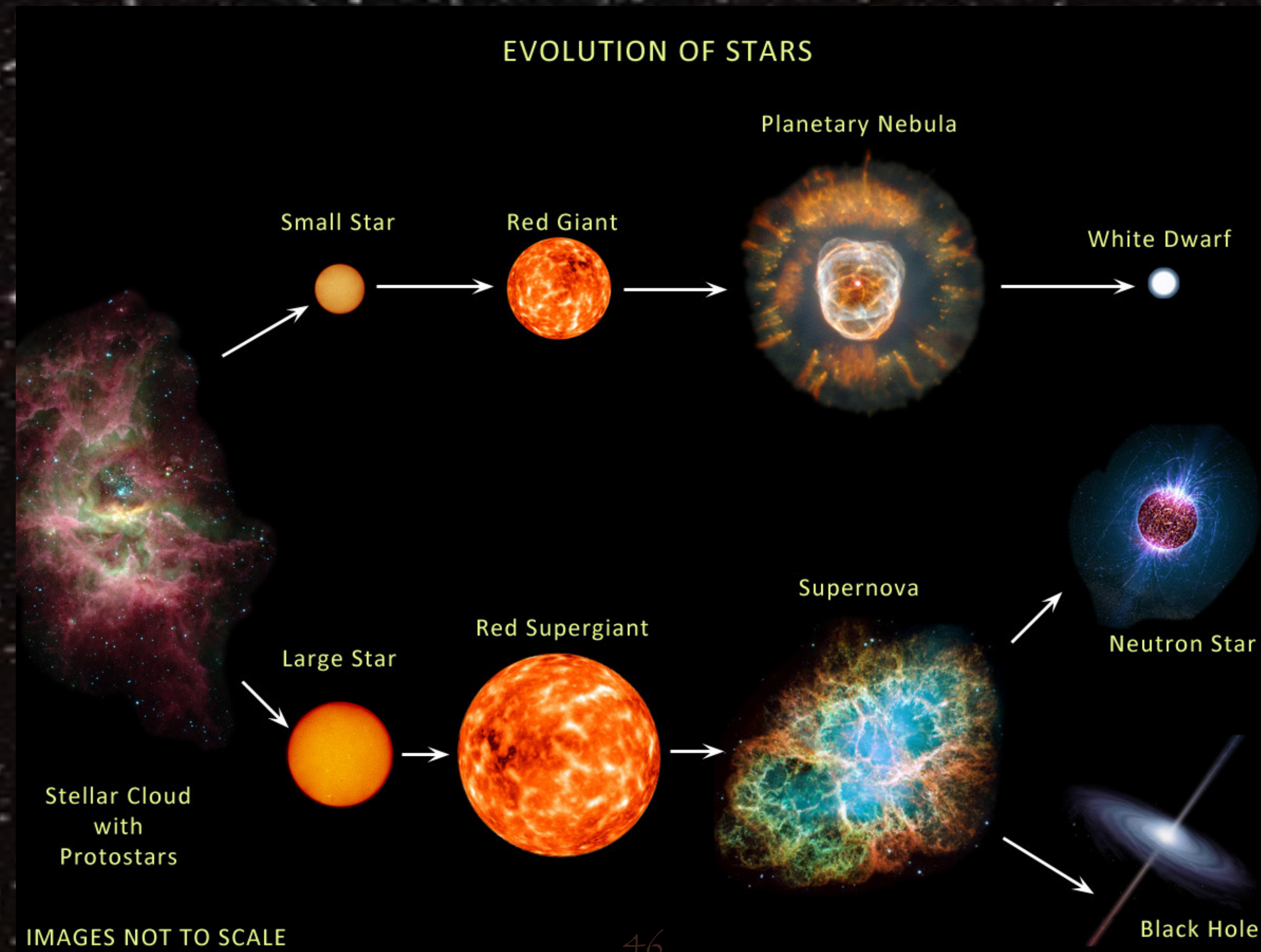


- Sono le soluzione “perturbative” delle Equazioni della RG, in assenza di materia:  $T_{\mu\nu} = 0$ .
- Sono prodotte dall’ accelerazione di masse



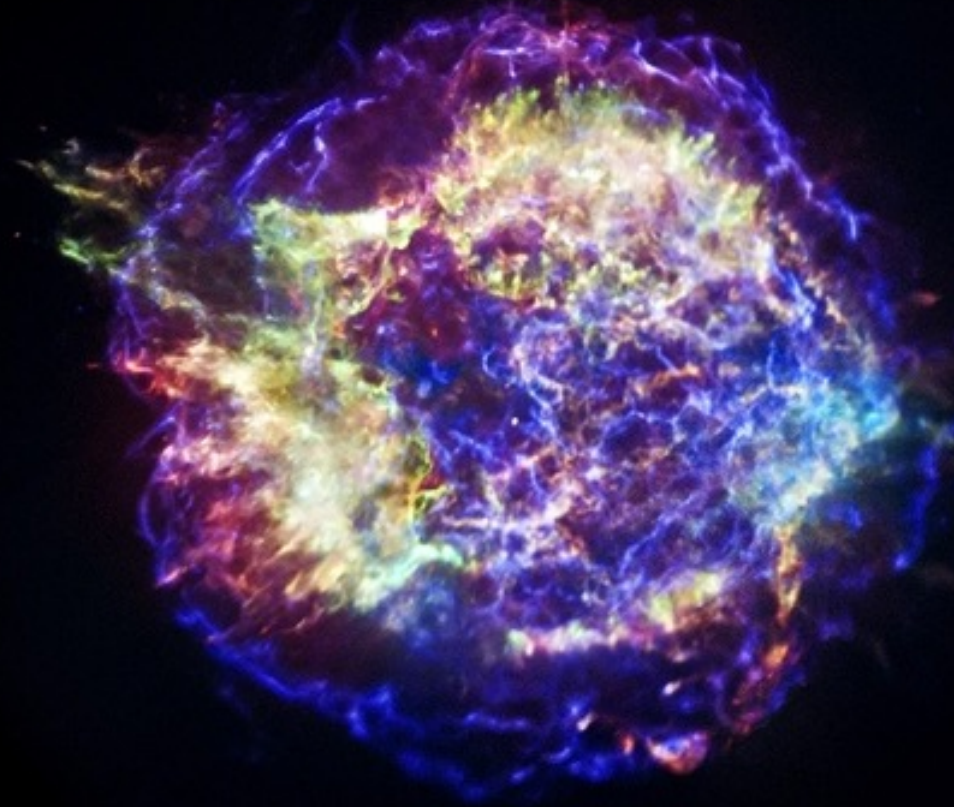
# Sorgenti di onde gravitazionali

- 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

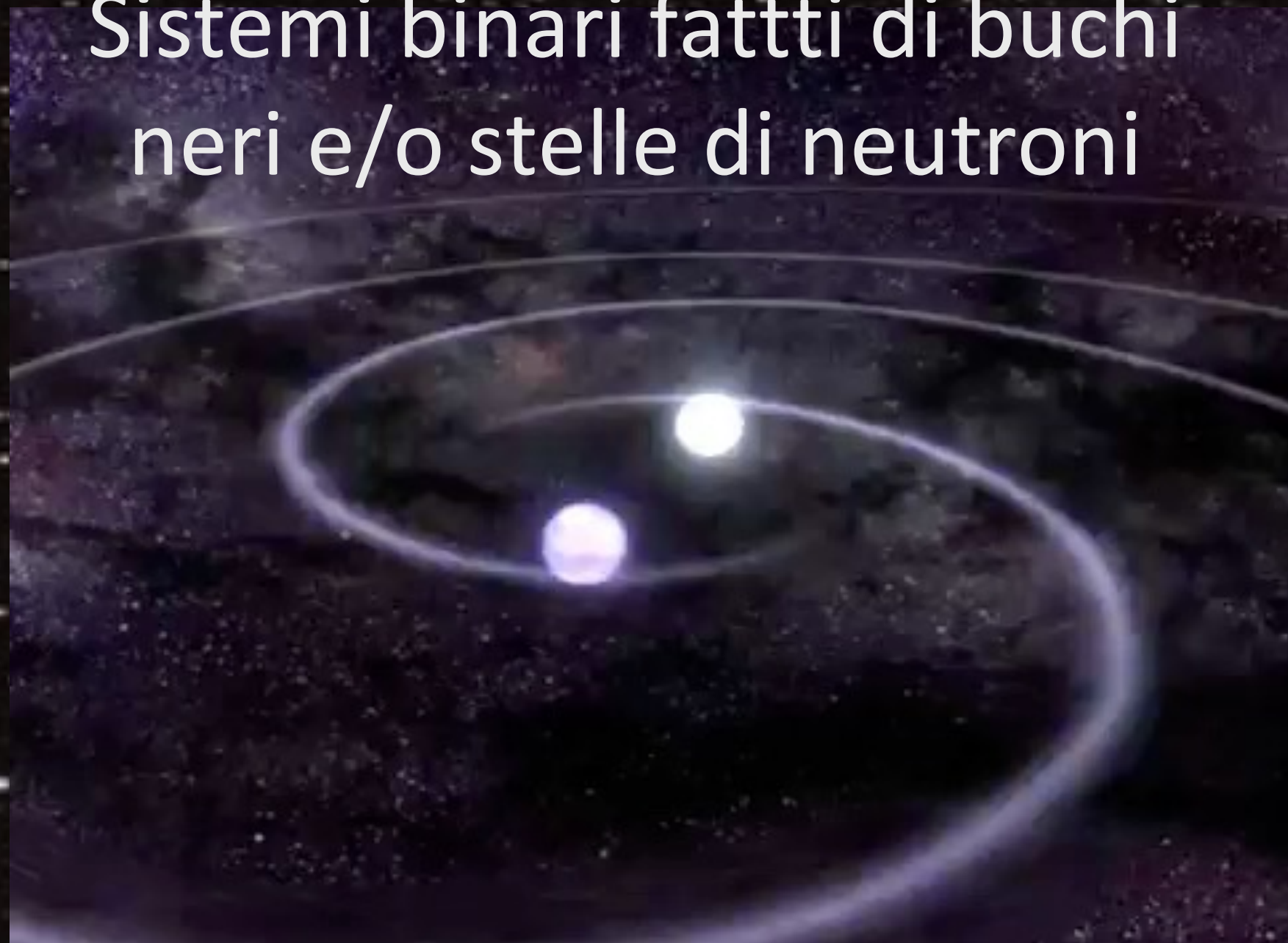
Cassiopeia A, a supernova remnant.

# Stelle di neutroni in rotazione

Un cucchiaino di materia peserebbe quanto l'intera popolazione umana!

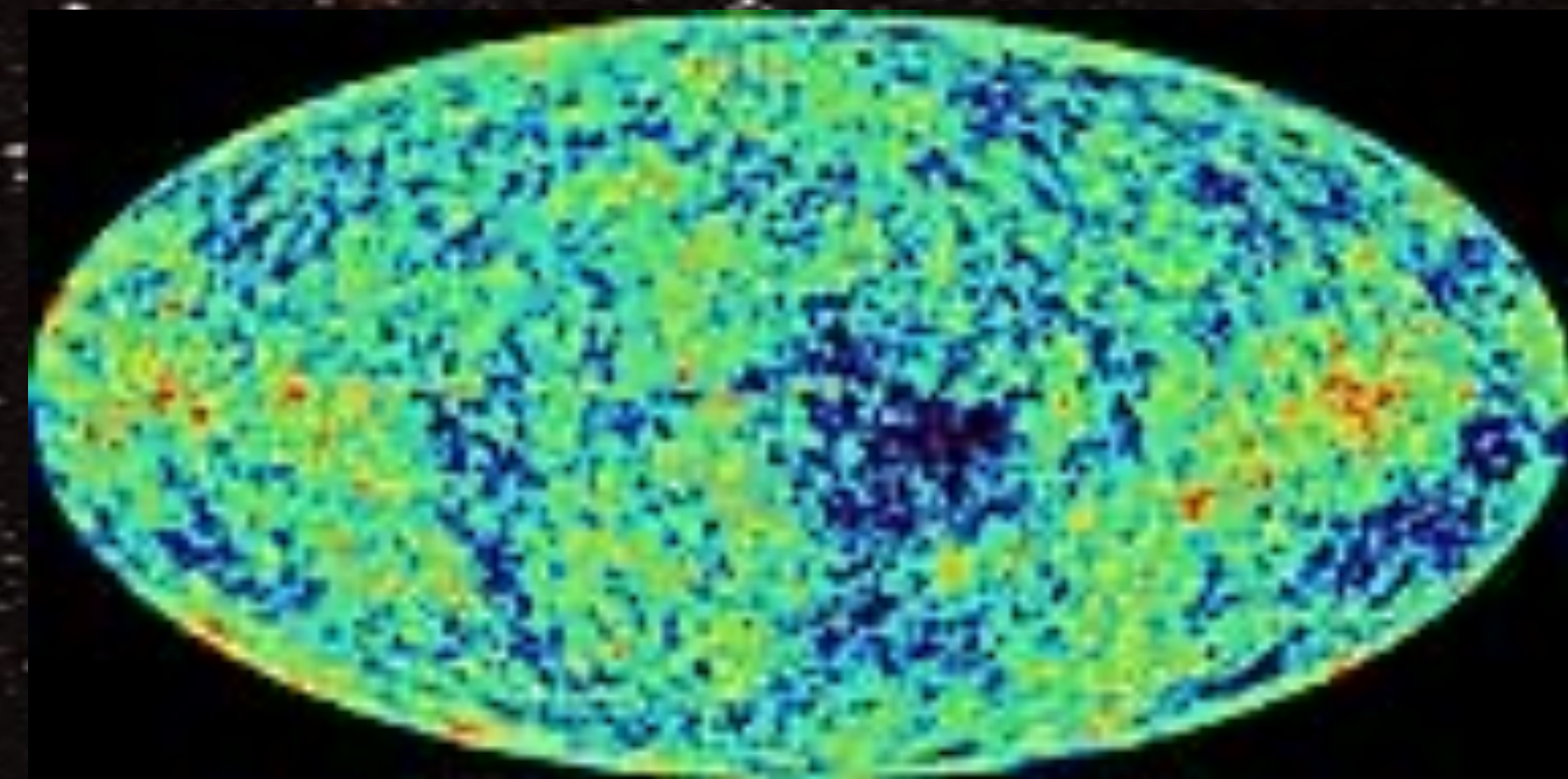


# Sistemi binari fatti di buchi neri e/o stelle di neutroni



Basta una "montagnola di 1 mm per produrre un segnale osservabile!"

"Rumore di fondo" di origine cosmologica o astrofisica

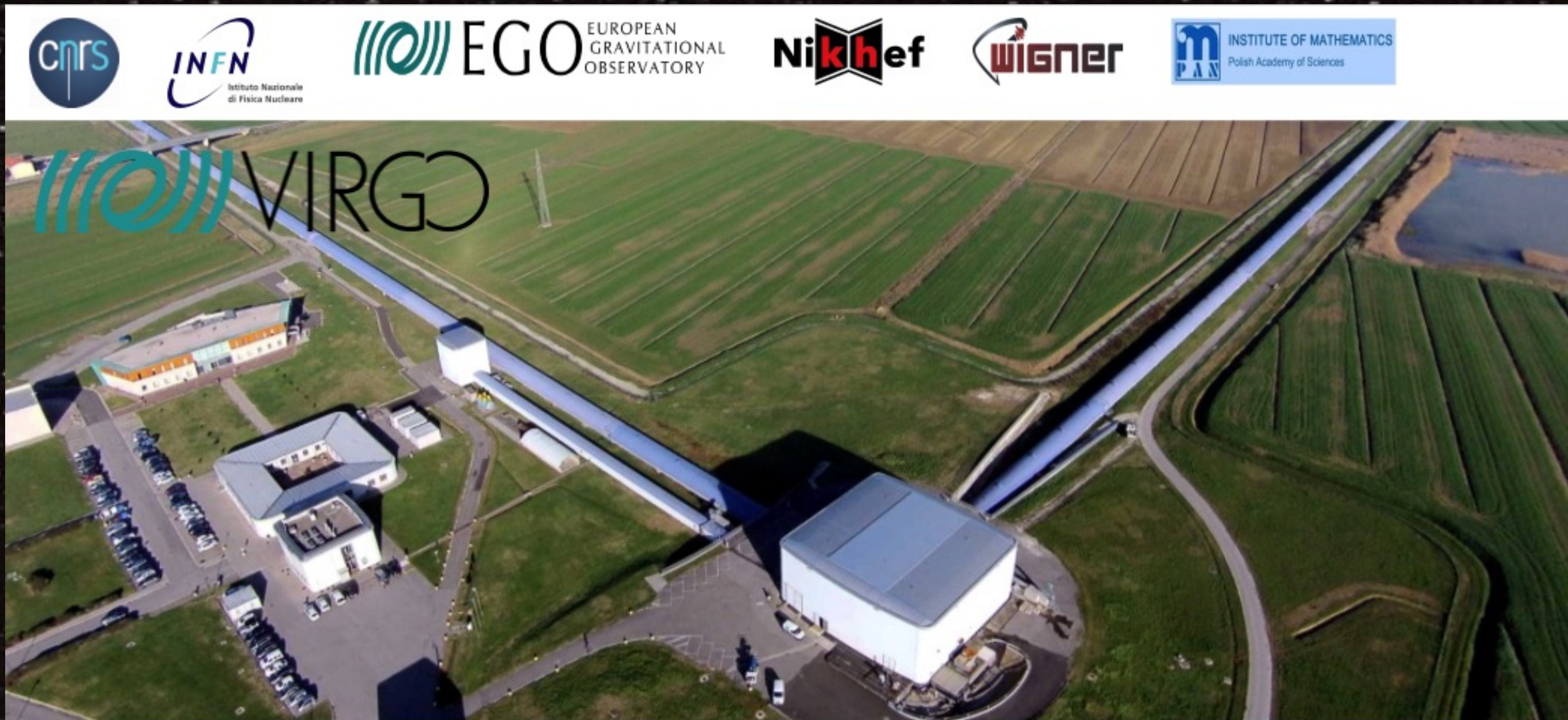


© 2016 Google

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO



# Come osservare le onde gravitazionali





Lontano dalla sorgente che le genera...



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



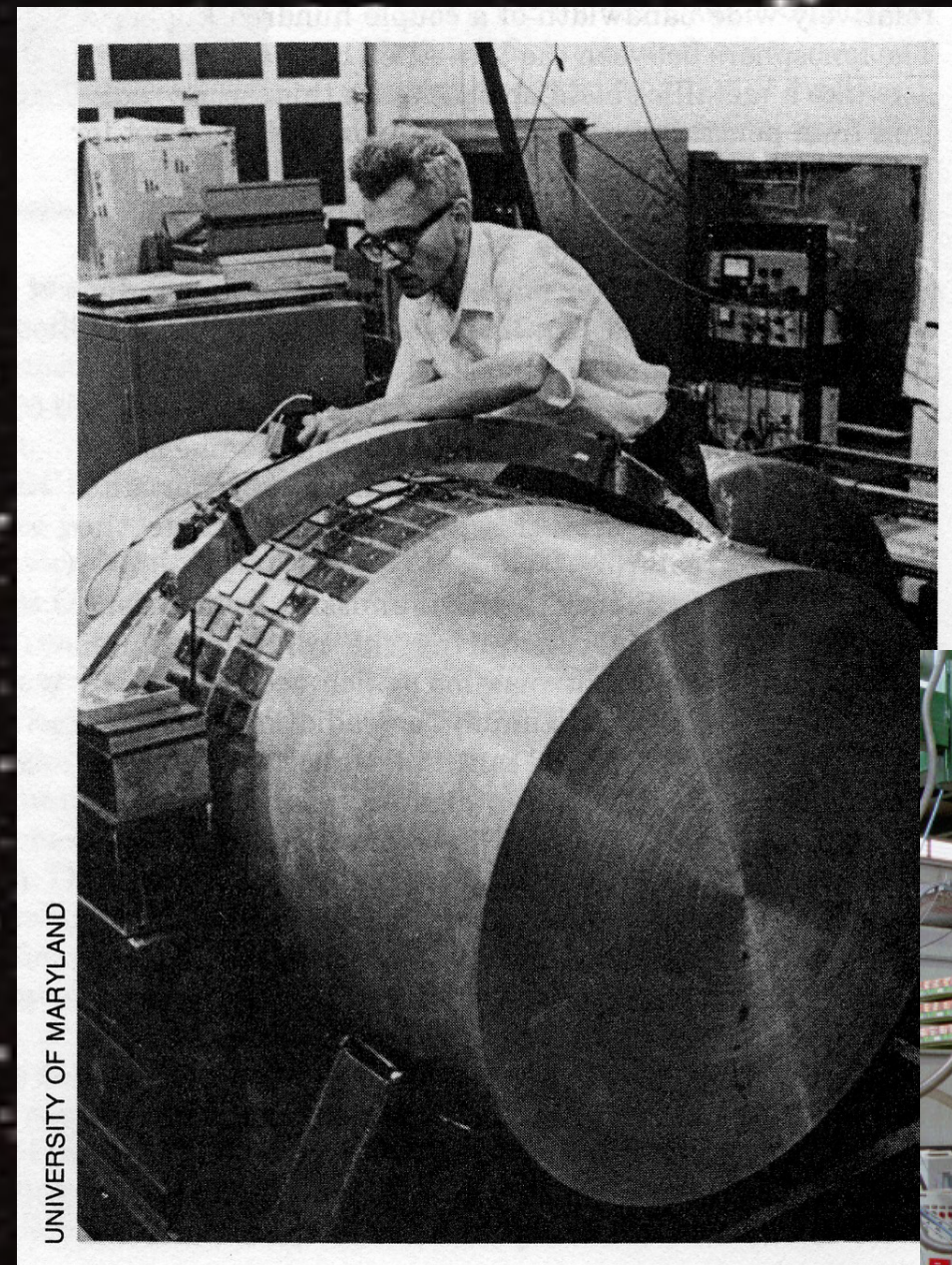
z



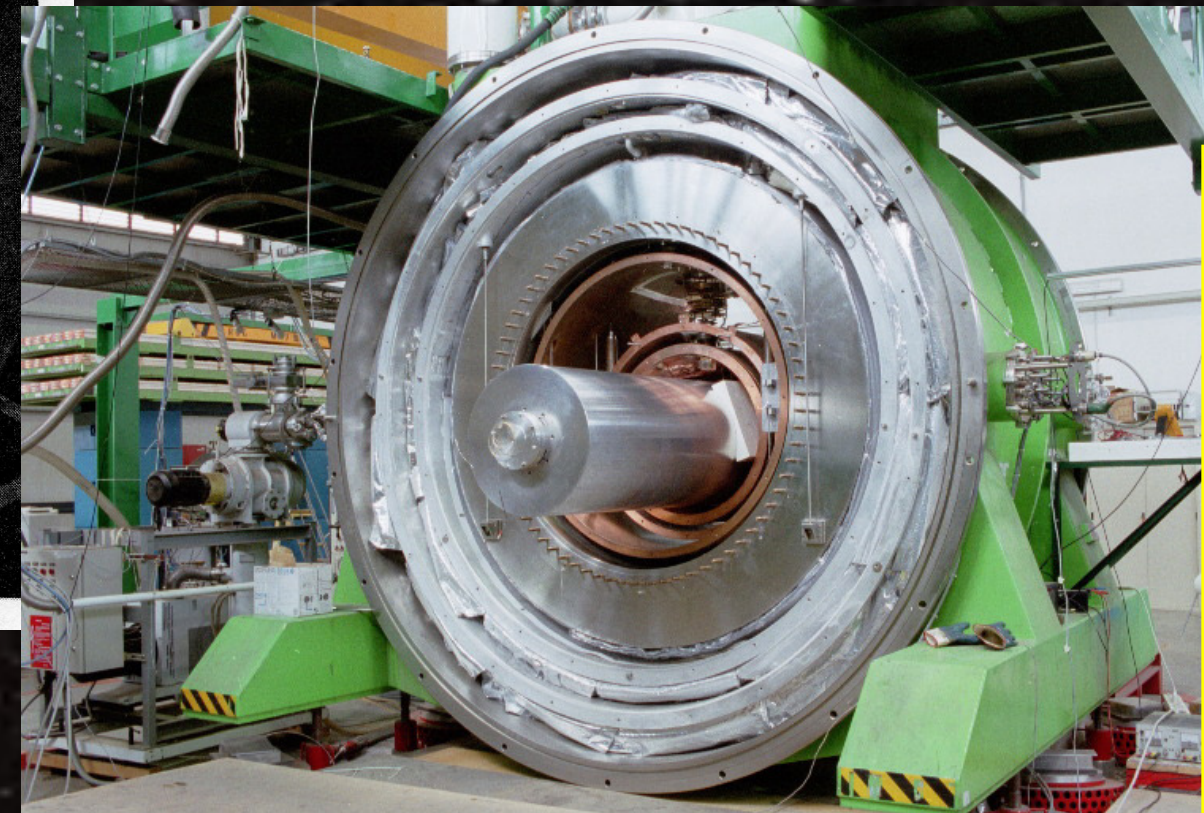


▪ 50 e piu' anni di lavoro e progressi

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:



60': Joe Weber pioneering work



90': Cryogenic Bars



Edoardo Amaldi & Guido Pizzella



Rai Weiss, Kip Thorne



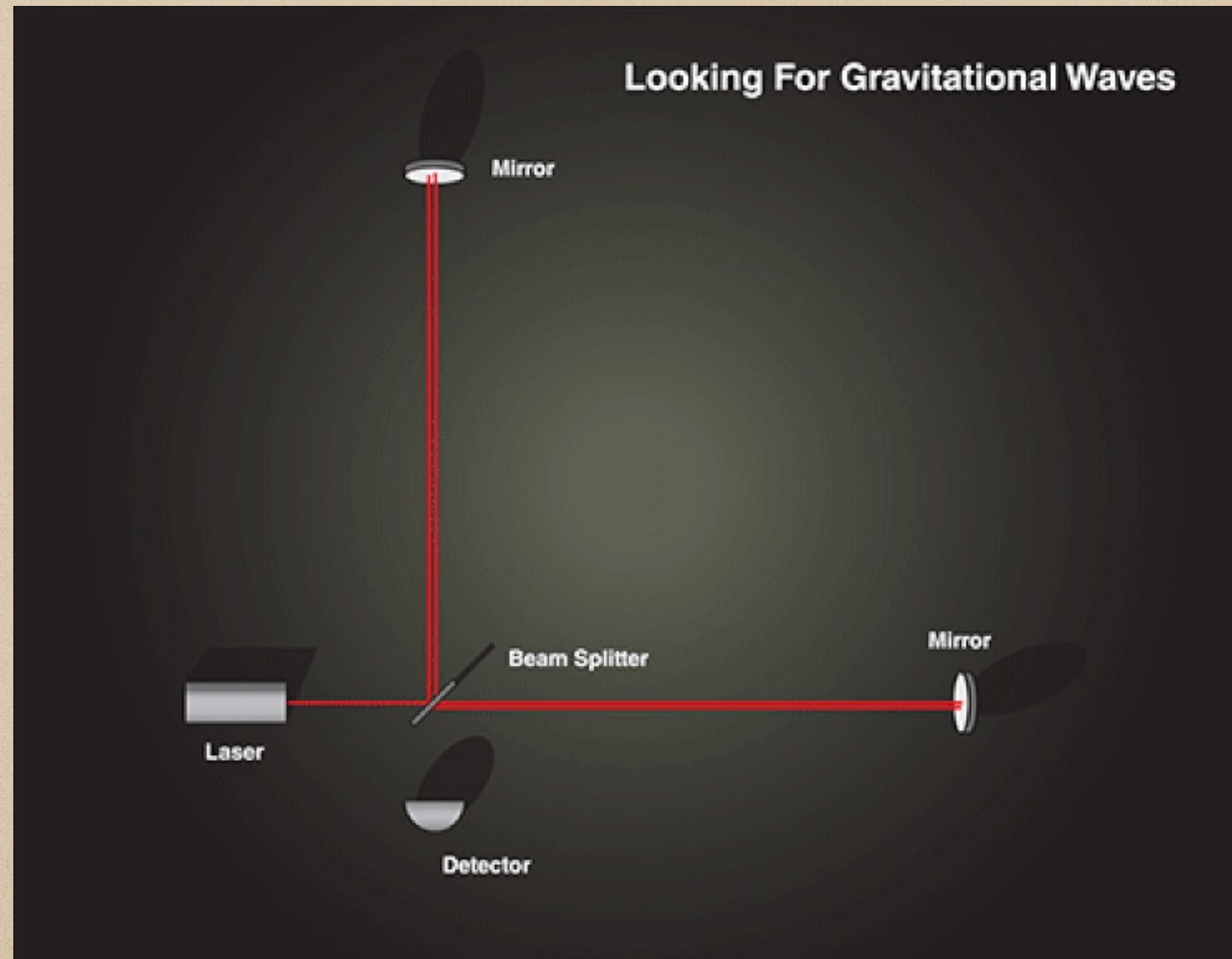
Alain Brillet, Adalberto Giazzotto



2000' - : Large Interferometers



## Il principio di funzionamento degli interferometri gravitazionali



Si usa luce laser per misurare la variazione di lunghezza relativa dei due bracci



# L'interferometro Michelson dopo un secolo ...



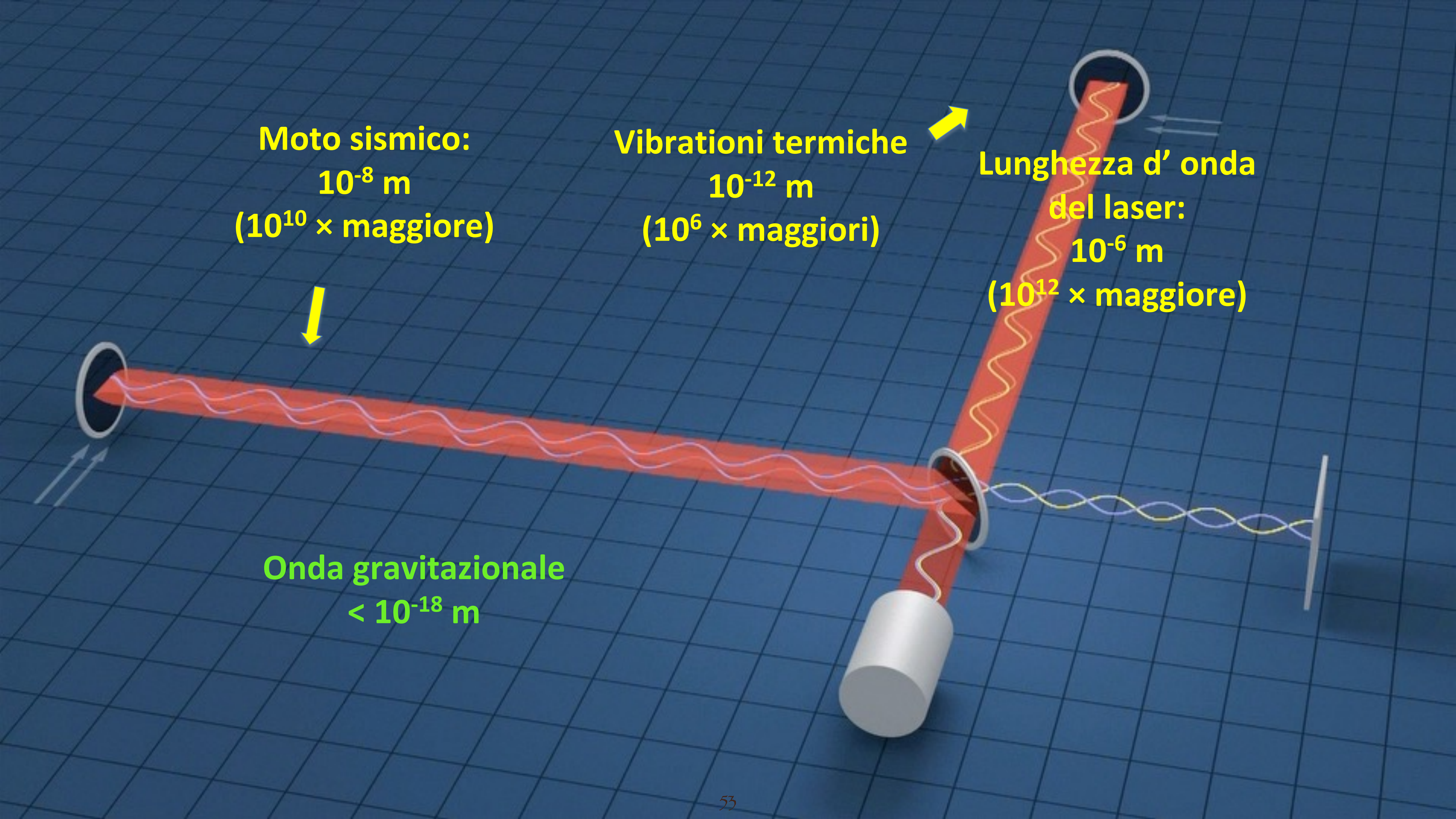


**Moto sismico:**  
 $10^{-8}$  m  
( $10^{10} \times$  maggiore)

**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





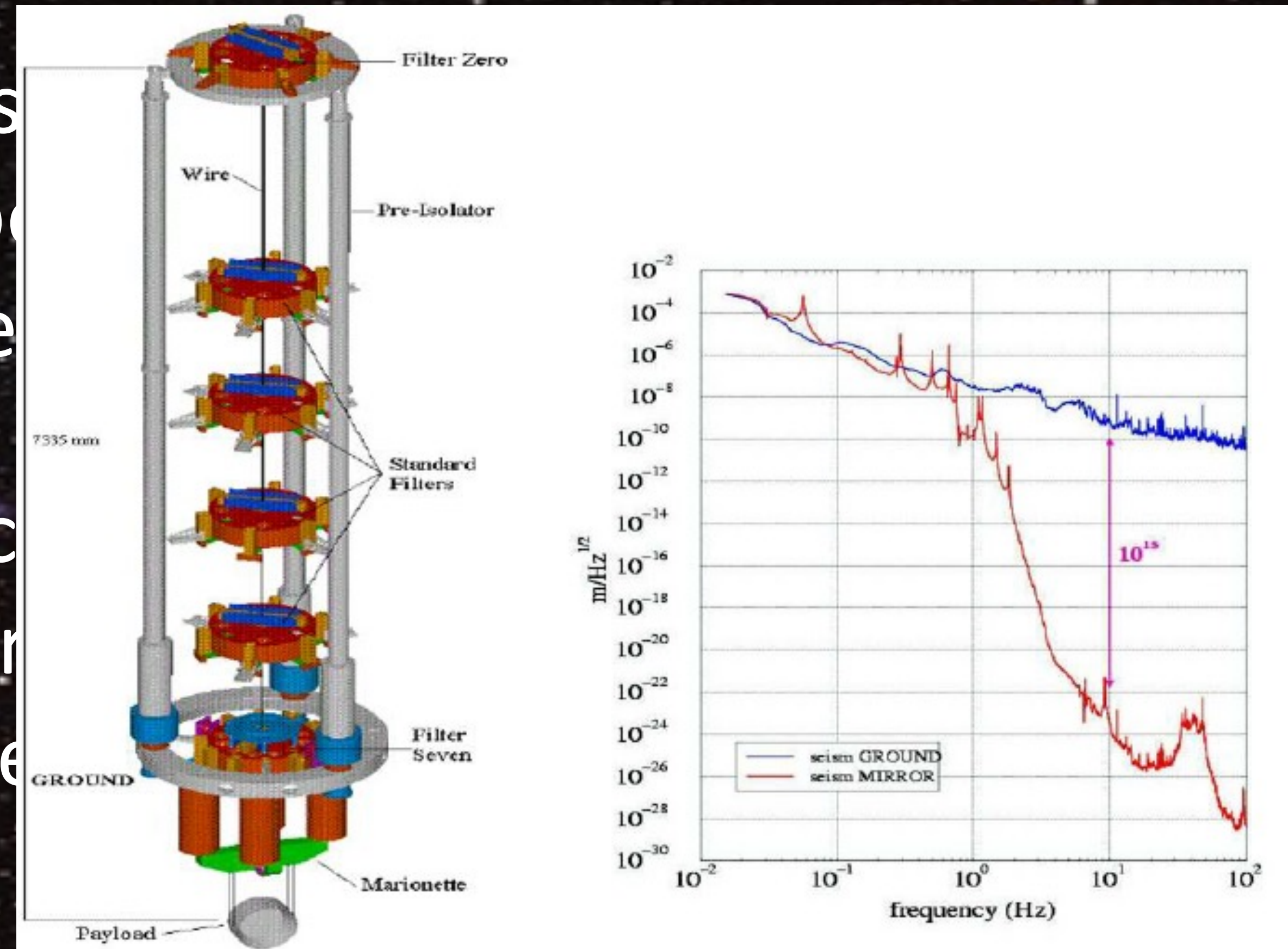


• I piu' grandi sistemi di vuoto esistenti al mondo

• Sofisticati sistemi sospesi dalle pareti

• Specifiche assomiglianti a quelle per avere

• Laser molto potenti !





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

LIGO Hanford (Washington)



Virgo (Cascina)



LIGO Livingston (Louisiana)



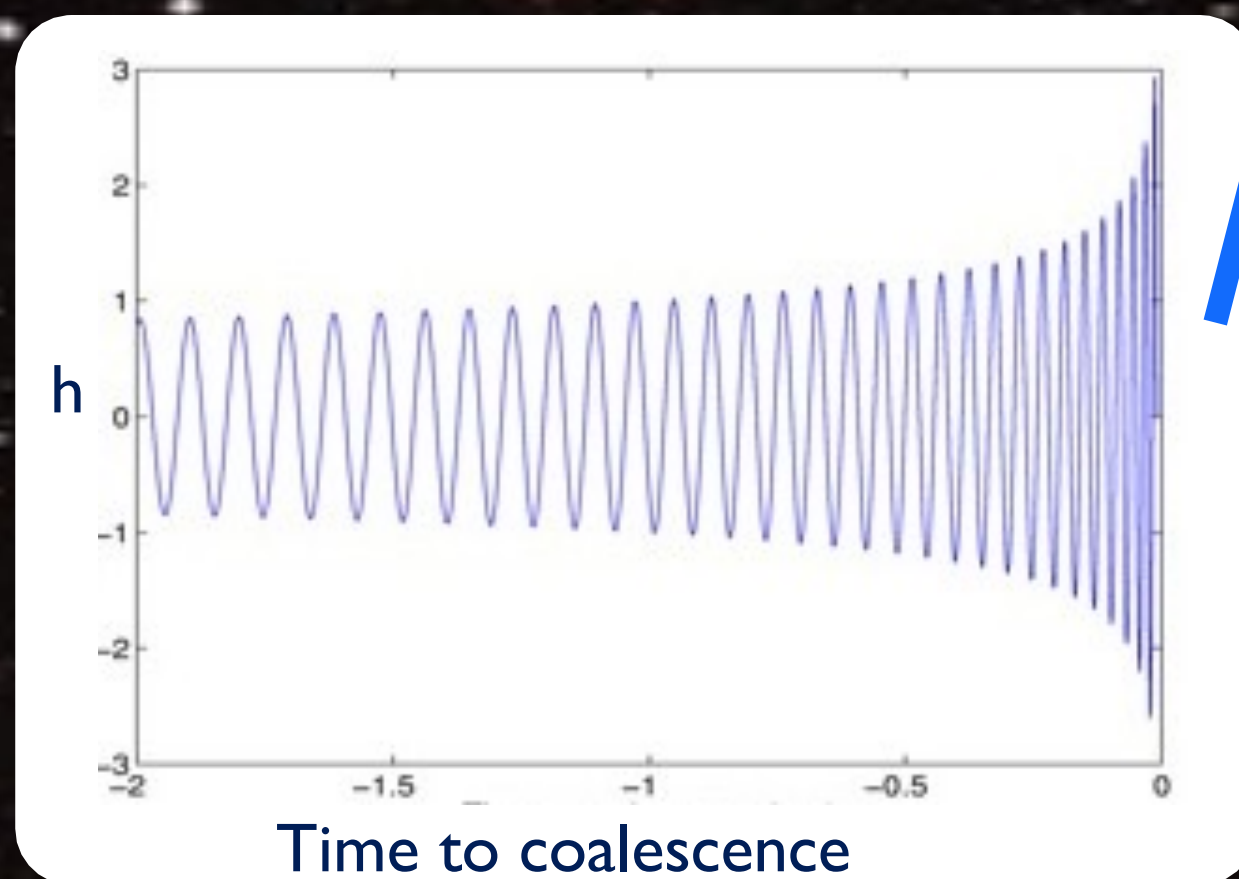


- Nonostante l'incredibile sensibilità degli strumenti, le onde gravitazionali sono immerse nel rumore strumentale.

This source:  
Binary system



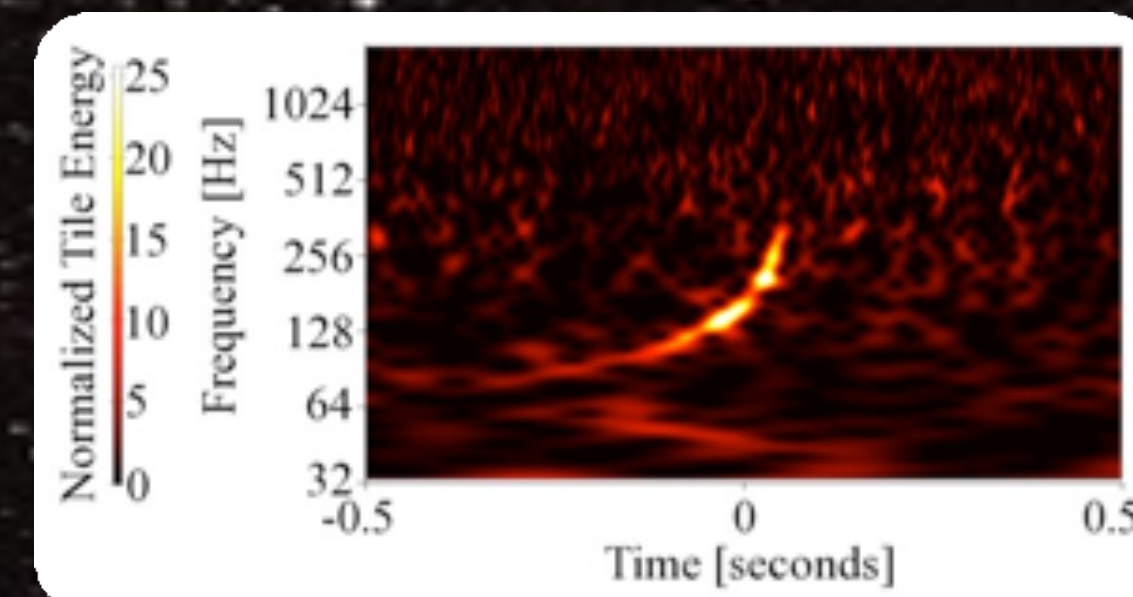
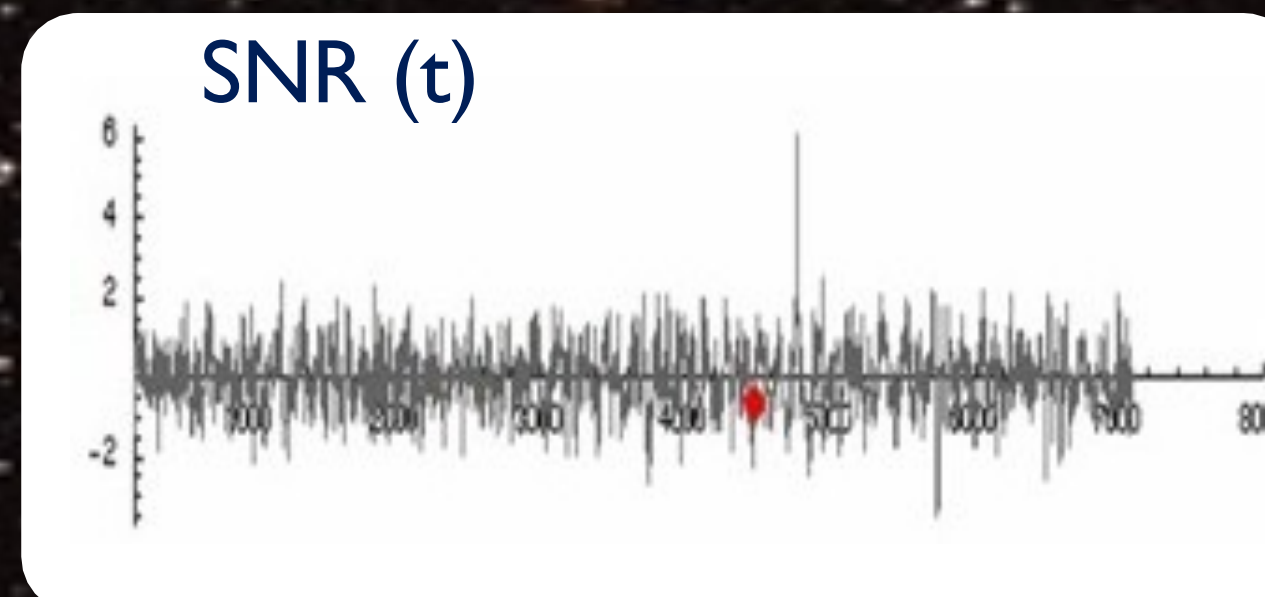
Produces this



(sec)



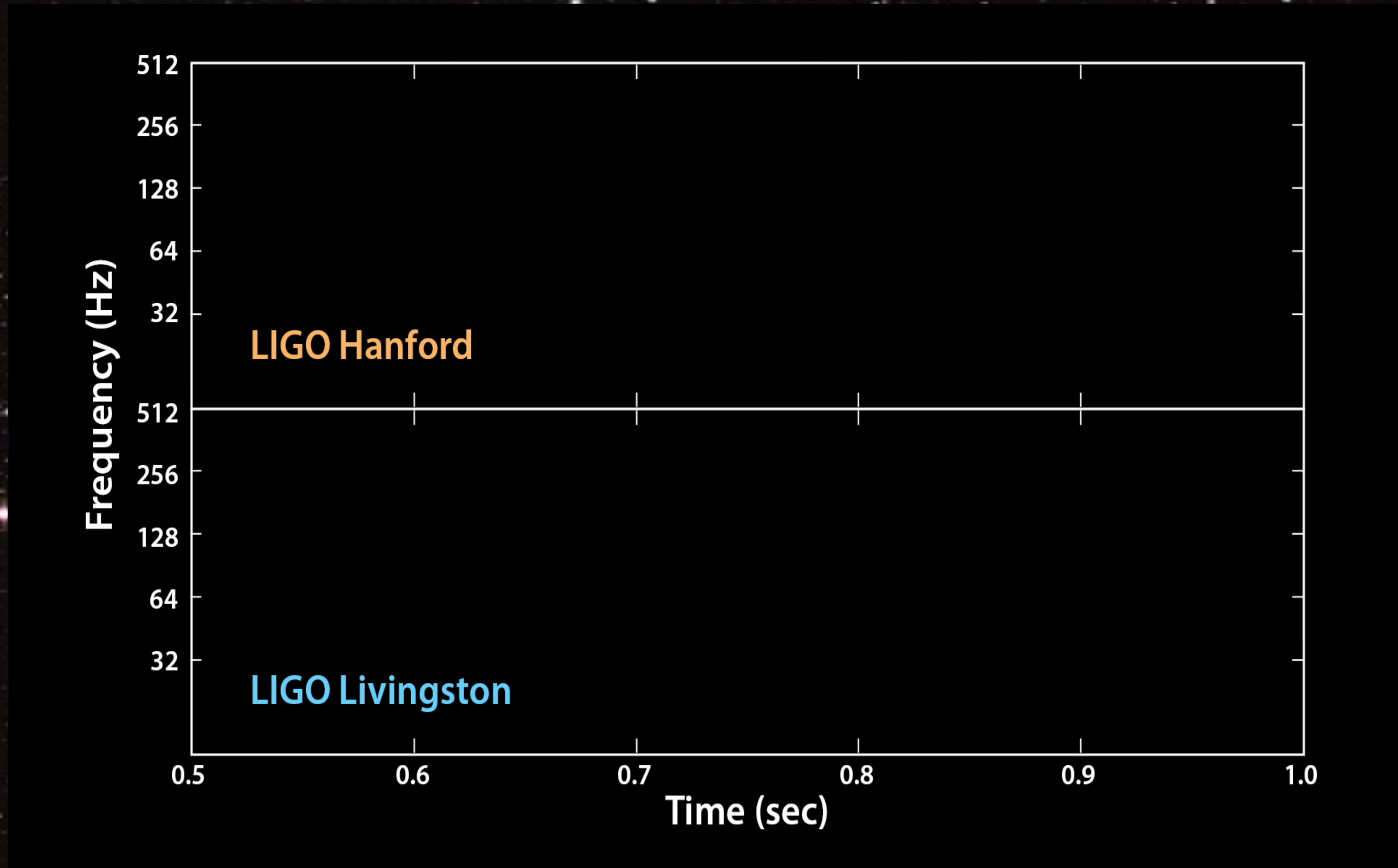
- L'estrazione del segnale dal rumore richiede tecniche molto raffinate



matched filtering or excess power



Il 15 settembre 2015 è stata rivelata la prima onda gravitazionale





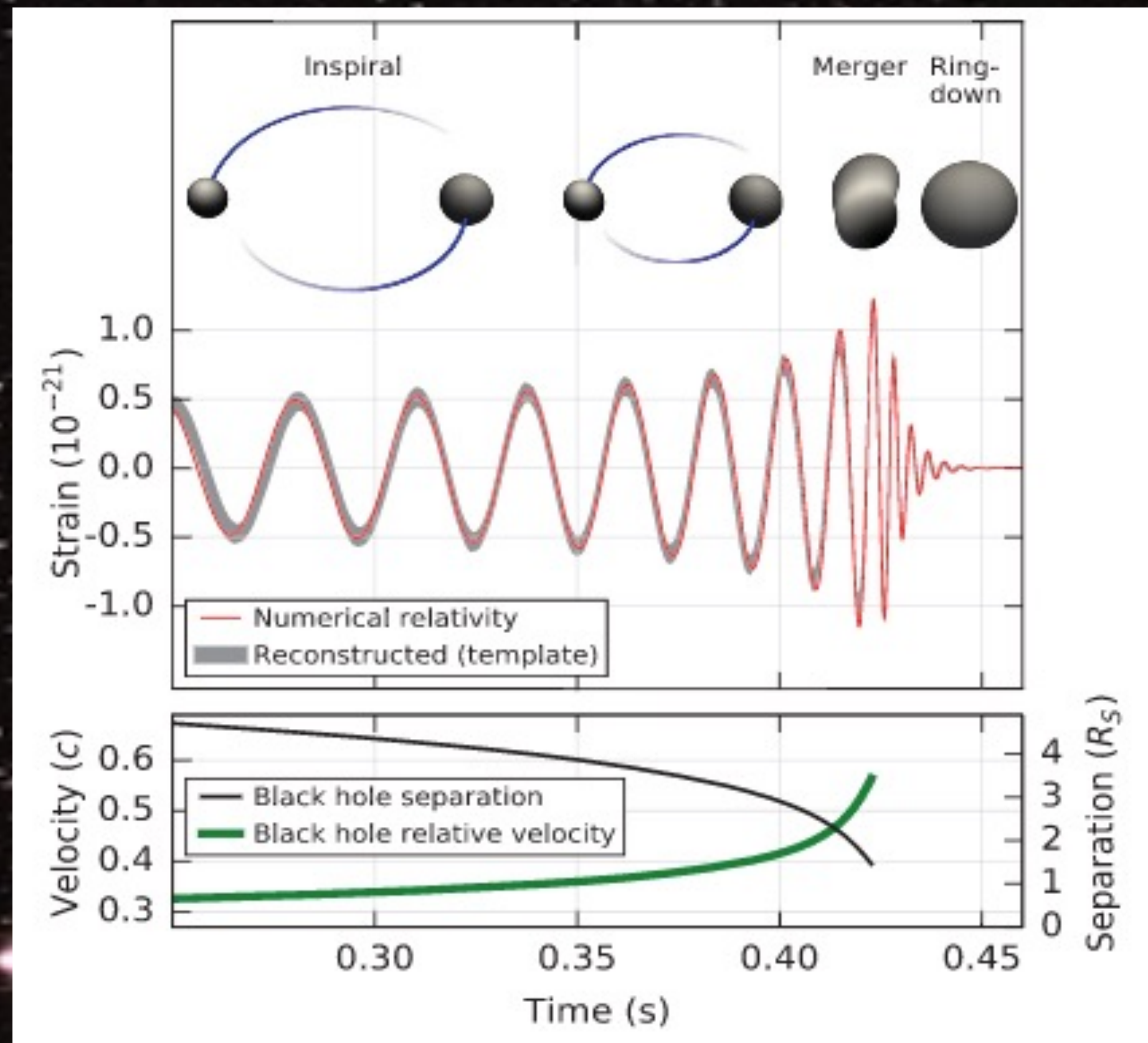
Due buchi neri, in orbita stretta uno intorno all' altro, nella direzione del Polo Sud celeste..  
Il periodo della loro orbita diminuisce per perdita di energia dovuta ad emissione di onde gravitazionali e i buchi neri si avvicinano fra loro

Alla fine si fondono in un singolo buco nero, emettendo ancora onde gravitazionali. Il fenomeno dura una frazione di secondo.

*Video: credit to SXS collaboration*







La collisione è avvenuta a oltre metà della velocità della luce !!!

- La forma del segnale è in accordo con quella prevista per lo spiraleggiamento e successiva collisione di due buchi neri di 29 e 36 masse solari



Clinton Paints Sanders Plans As Unrealistic

BY ANNY CHIRKIN and PATRICK HEALY MILWAUKEE — Hillary Clinton, scrambling to recover from her double-digit deficit in the new Hampshire primary, repeatedly challenged the influential policy plans of Bernie Sanders at their presidential debate, and she painted him as a big spender who needed to "reel" with voters about the difficulty of accomplishing his agenda.



A scientist installed a baffle in 2010 to control light in the Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory in Hanford, Wash.

Long in Clinton's Corner, Blacks Notice Sanders

BY RICHARD FRANKY ORANGEBURG, S.C. — When Hilda Dancy was asked when she would vote for the South Carolina primary, she answered as if the very question were absurd.

WITH PAINT CHIRP, SCIENTISTS PROVE EINSTEIN CORRECT

A RIPPLE IN SPACE-TIME

An Echo of Black Holes Colliding a Billion Light-Years Away

BY DENNIS OVERBY A team of scientists announced on Thursday that they had found and recorded the signal of two black holes colliding a billion light-years away, a finding they said fulfilled the last prediction of Einstein's general theory of relativity.

Navigation bar with links for sign in, become a supporter, subscribe, search, and various news categories like UK, world, sport, football, opinion, culture, business, lifestyle, fashion, environment, tech, travel.

Gravity

Gravitational waves: breakthrough discovery after a century of expectation

Scientists announce discovery of clear gravitational wave signal, ripples in spacetime first predicted by Albert Einstein



Scientists announce discovery of gravitational waves - video

Physicists have announced the discovery of gravitational waves, ripples in the fabric of spacetime that were first anticipated by Albert Einstein a century ago. "We have detected gravitational waves. We did it," said David Reitze, executive director of the Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (Ligo), at a press conference in Washington.

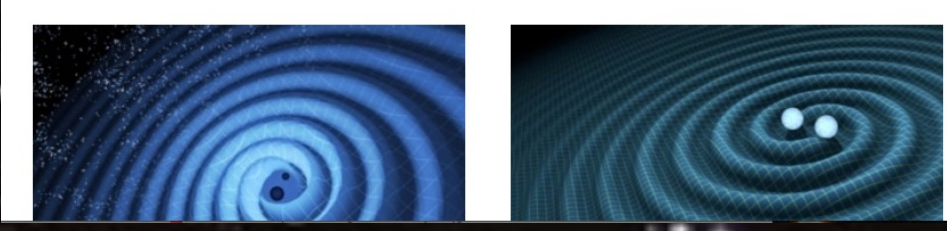
Subscription bar for Scientific American with a SUBSCRIBE button and language options.

THE SCIENCES MIND HEALTH TECH SUSTAINABILITY EDUCATION VIDEO PODCASTS BLOGS

SPECIAL REPORT The Discovery of Gravitational Waves

All you need to know about the ripples in spacetime detected by LIGO

February 14, 2016



Front page of Corriere della Sera newspaper with headline 'Borse, il caso Deutsche Bank' and other news items.

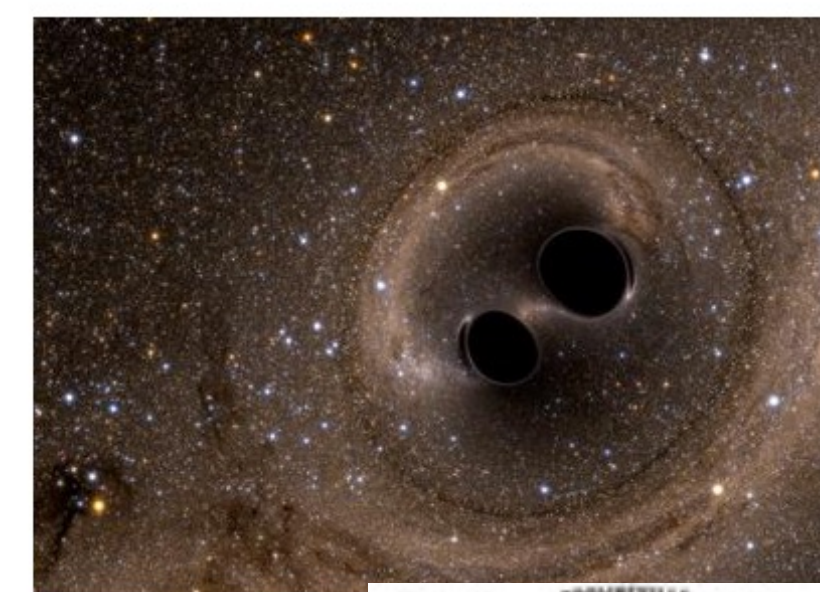
Front page of la Repubblica newspaper with headline 'Il grande caos delle Borse Ue, Juncker gela Renzi' and other news items.

USA Today Weekend magazine cover with headline 'A WHOLE NEW WINDOW ON THE UNIVERSE' and other news items.

National Geographic advertisement for a subscription with 'SUBSCRIBE NOW' button.

Found! Gravitational Waves, or a Wrinkle in Spacetime

Ripples produced by enormous cosmic events could open a new era in astronomy.



Scientists detected gravitational waves (simulated here), an event colliding black holes swallowed rest of the universe combined.

Weekend Photo Workshop advertisement for a photography workshop in South Florida.

Potent Play advertisement for a performance or event.

The Post-Standard newspaper front page with headline 'SU SCIENTISTS ON TEAM THAT CONFIRMS EINSTEIN'S GRAVITY RIPPLES AND HIS WARP-IN SPACE-TIME'.

The Monitor newspaper front page with headline 'Collaboration proves Einstein correct'.

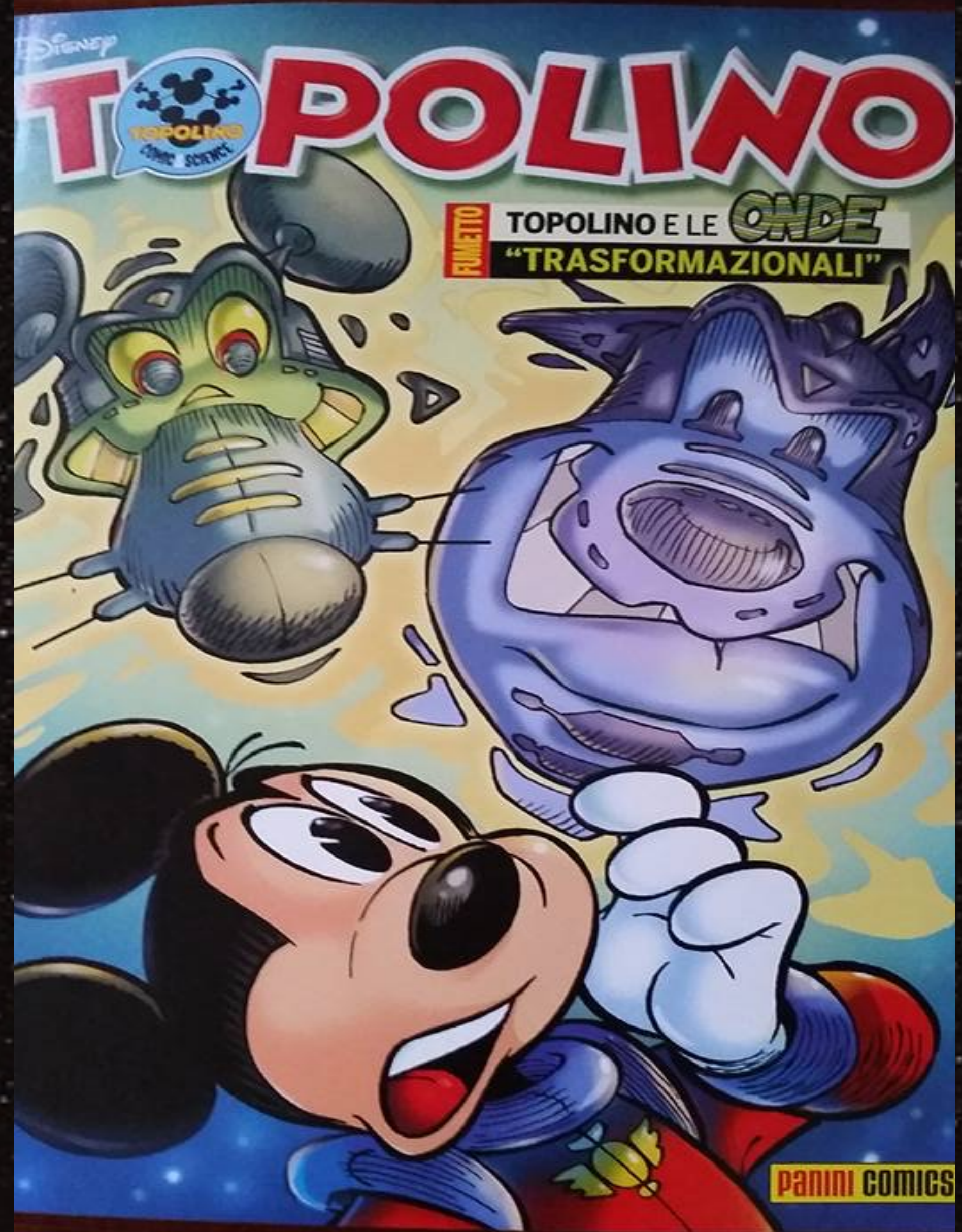
The Monitor newspaper front page with headline 'Texas A&M regrets approval \$40M facility'.

The Herald newspaper front page with headline 'EINSTEIN CORRECT' and 'Zapata family suing bank'.

Il Messaggero newspaper front page with headline 'Retromarcia Usa, Borse a picco'.

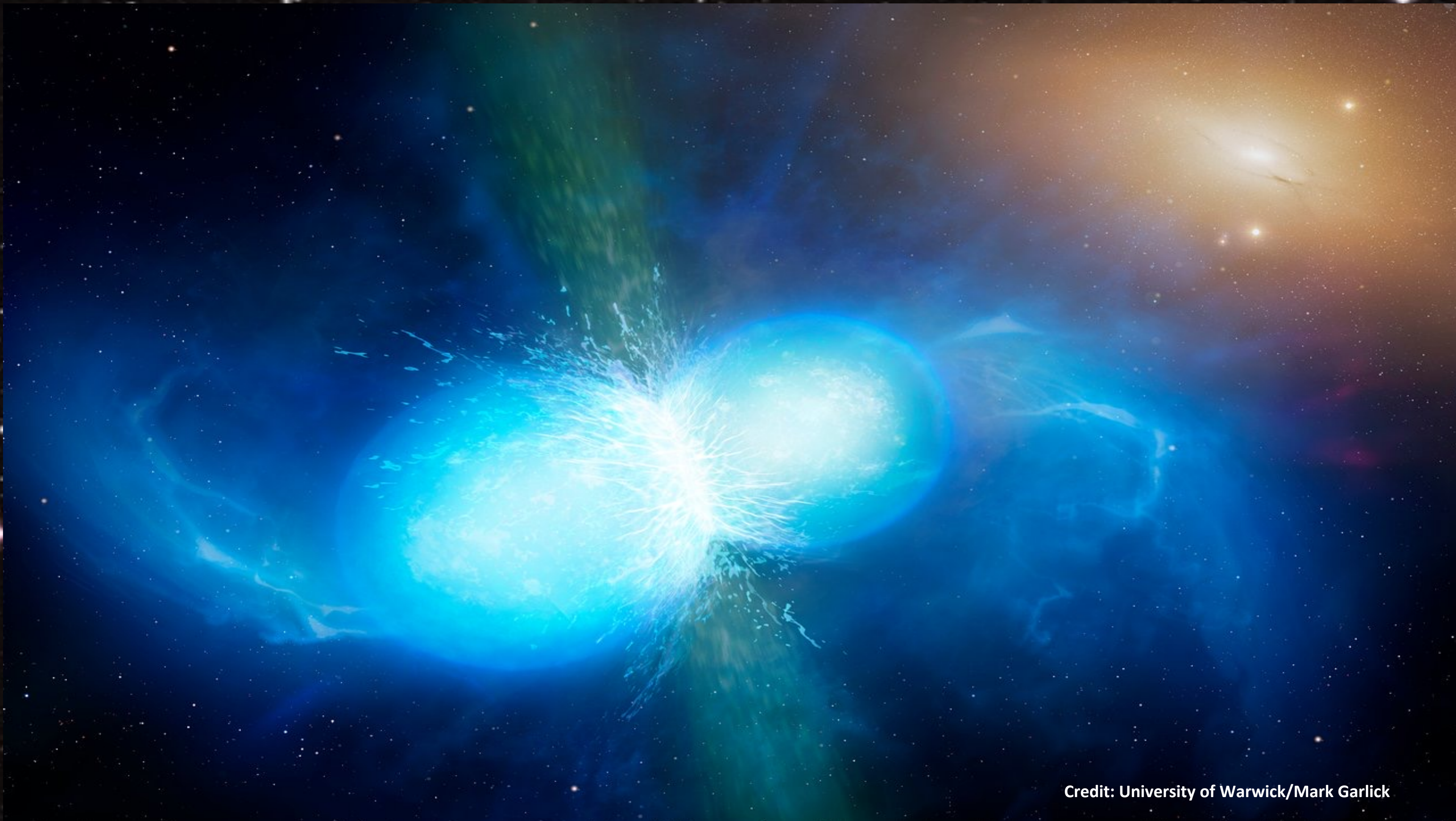
Il Messaggero newspaper front page with headline 'Unioni civili, i vescovi per il voto segreto'.







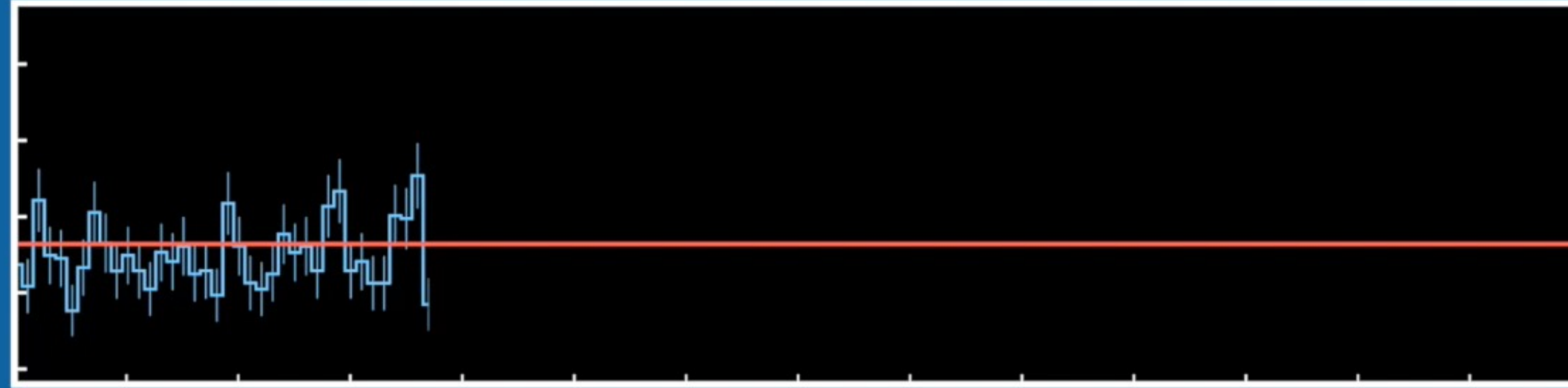
17 Agosto 2017, 12:41:04



Credit: University of Warwick/Mark Garlick



Fermi (light)



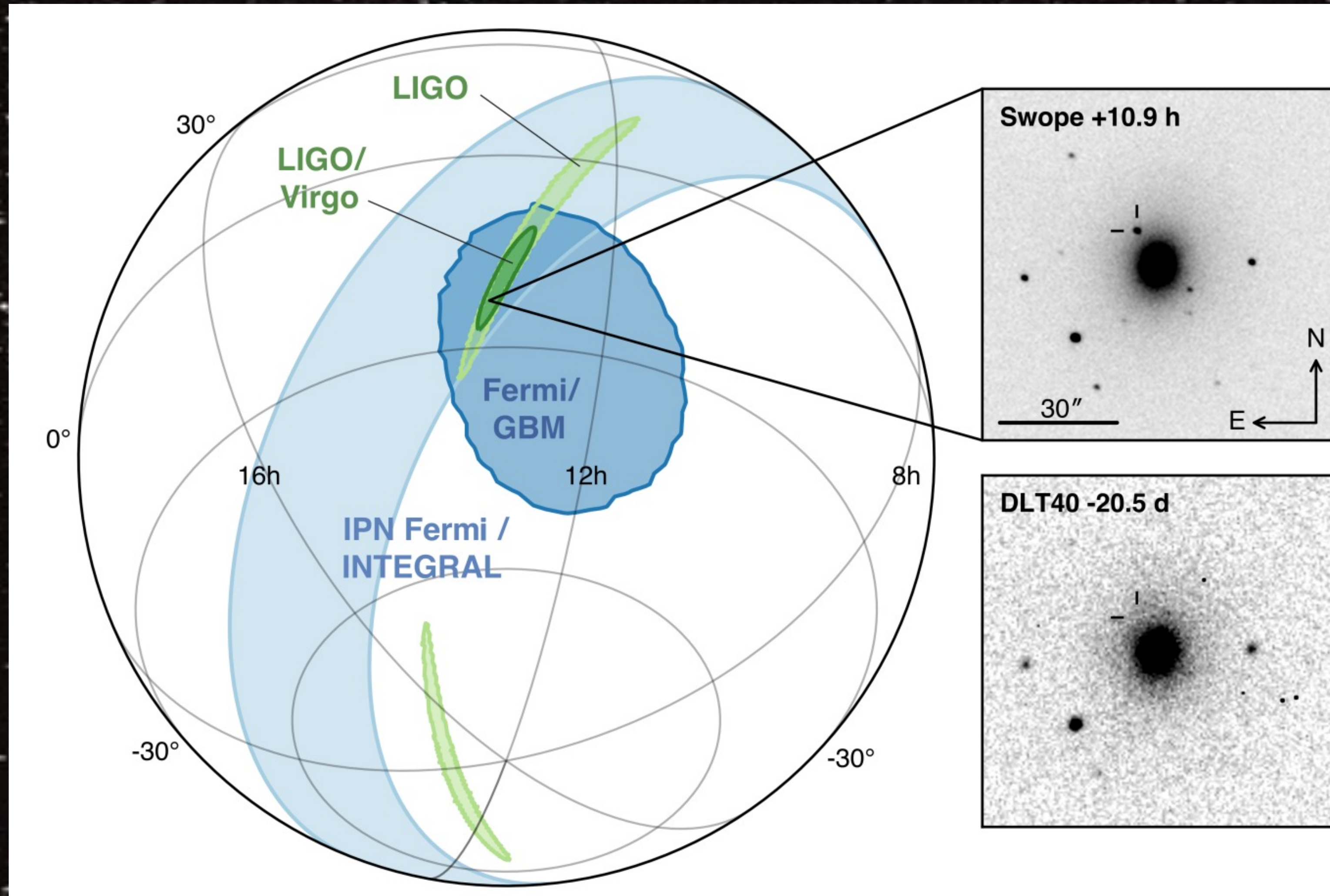
LIGO (gravitational waves)

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!



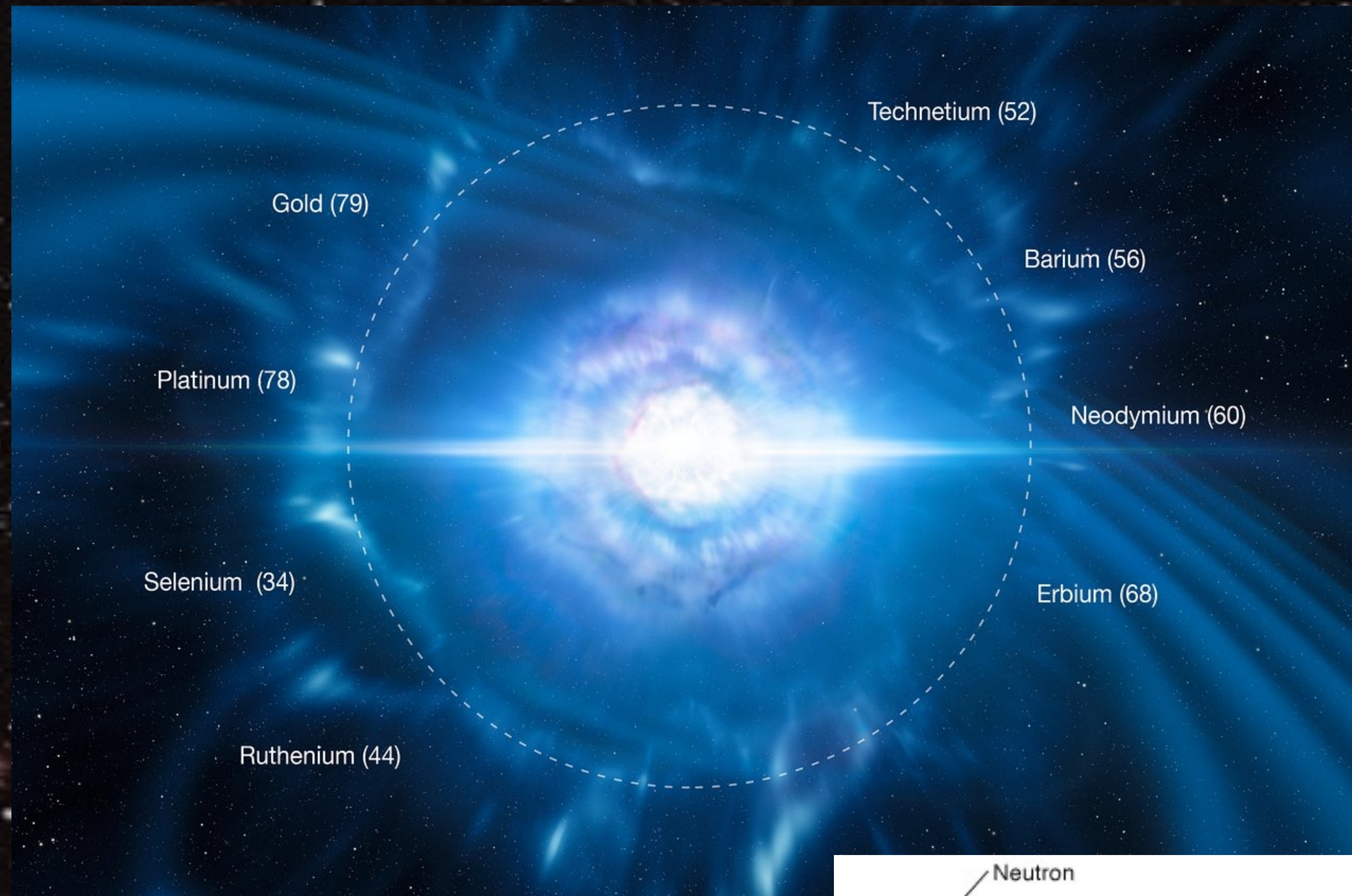
Oltre 100 telescopi si sono messi ad osservare la zona di cielo compatibile con la direzione dell'onda gravitazionale e dopo poche ore una "controparte elettromagnetica" è stata effettivamente individuata (nella galassia NGC 4993)

➔ Nascita dell'astronomia multi-messaggera!



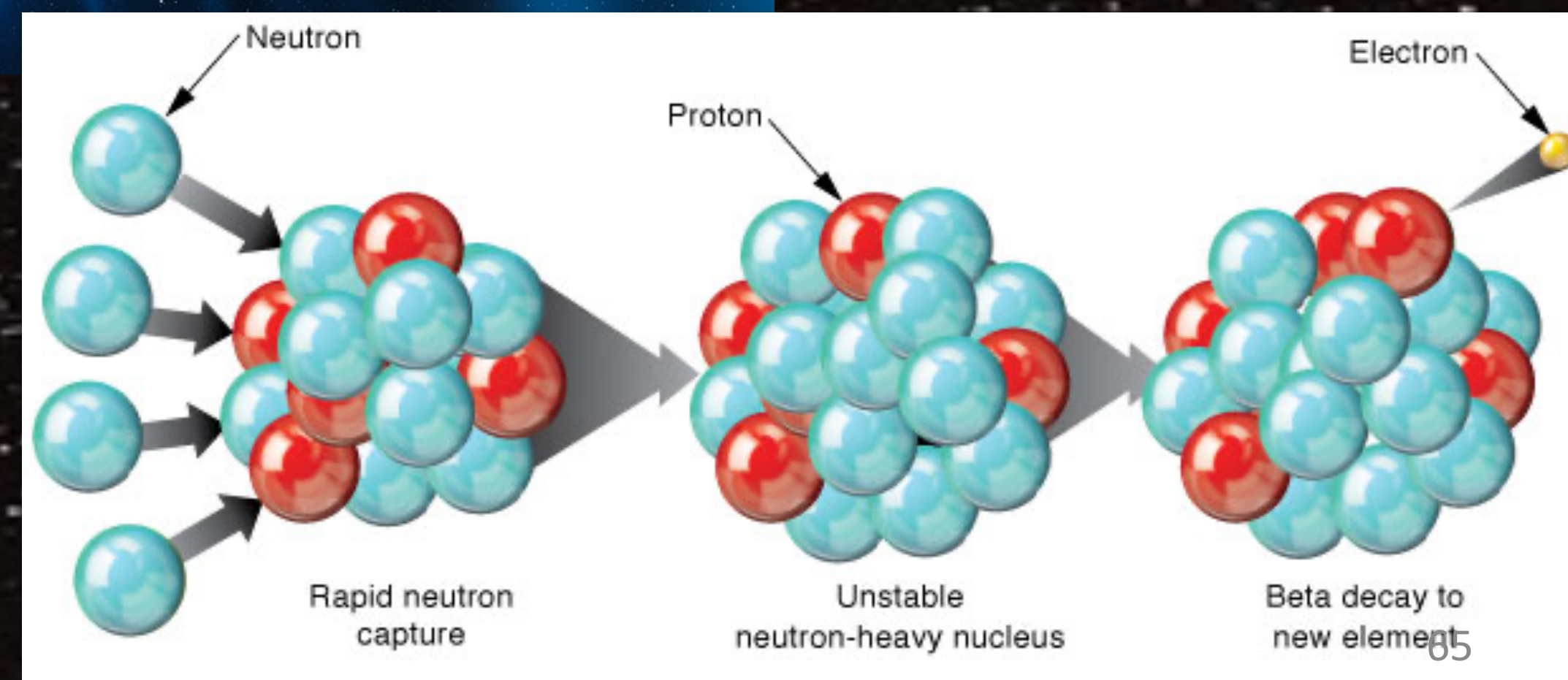


# Kilonova: analogo di una supernova per una fusione di stelle di neutroni



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

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





*"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"*

 [Nobelprize.org](http://Nobelprize.org)



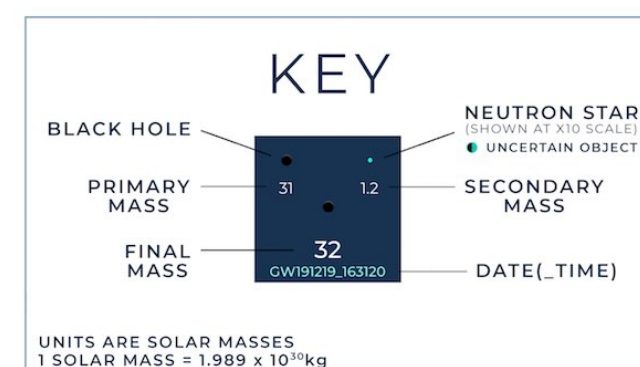
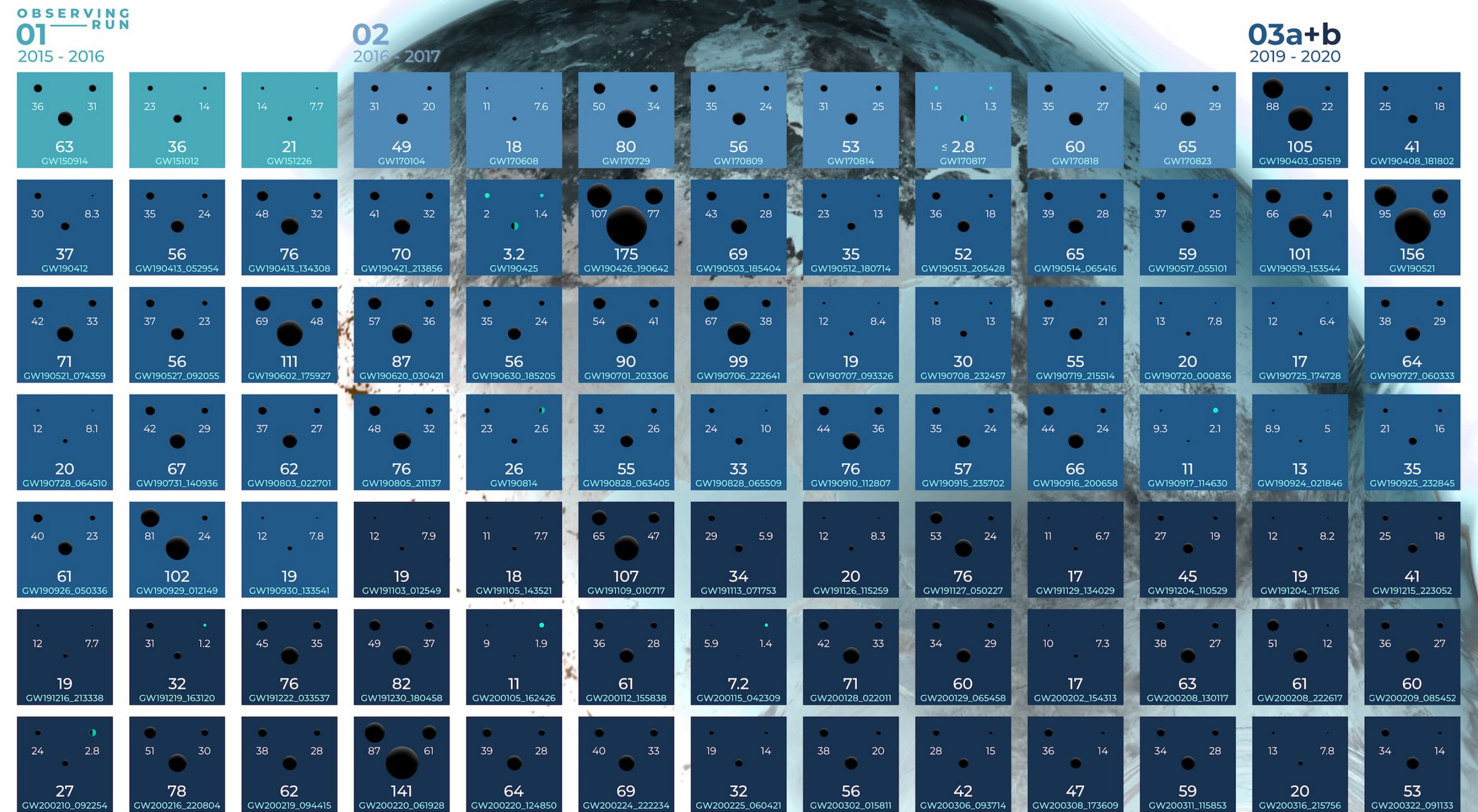
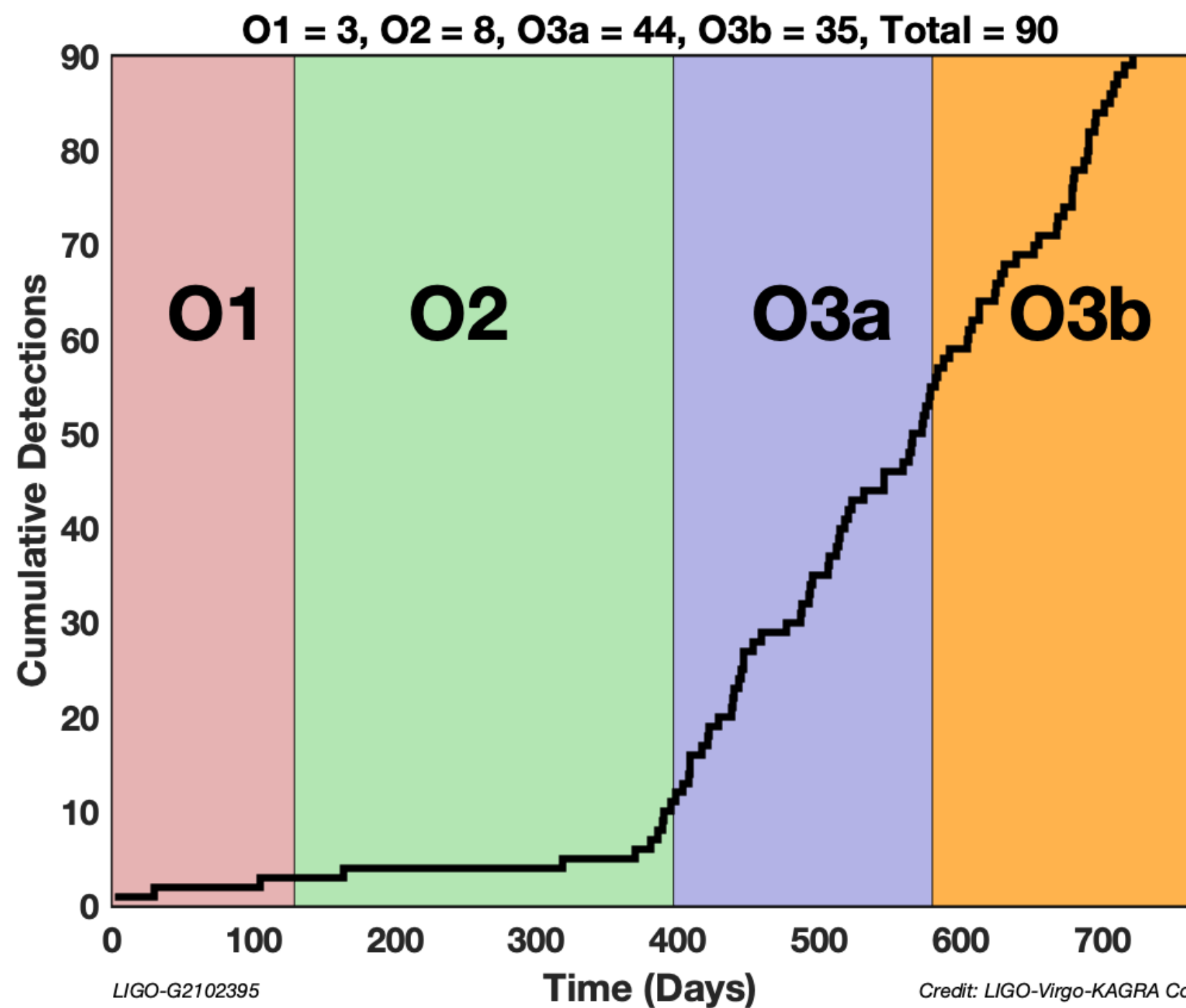
L'astronomia gravitazionale: una nuova finestra sull'Universo! E  
come tale, le sorprese non mancheranno!!



**Non è esagerato dire che siamo nella stessa situazione di quando Galileo Galilei  
ha per la prima volta osservato il cielo con il suo telescopio**



# Tutti gli eventi di onde gravitazionali osservati finora: 90 "merger" di buchi neri o stelle di neutroni



Note that the mass estimates shown here do not include uncertainties, which is why the final mass is sometimes larger than the sum of the primary and secondary masses. In actuality, the final mass is smaller than the primary plus the secondary mass.

The events listed here pass one of two thresholds for detection. They either have a probability of being astrophysical of at least 50%, or they pass a false alarm rate threshold of less than 1 per 3 years.

GRAVITATIONAL WAVE  
**MERGER**  
DETECTIONS  
SINCE 2015

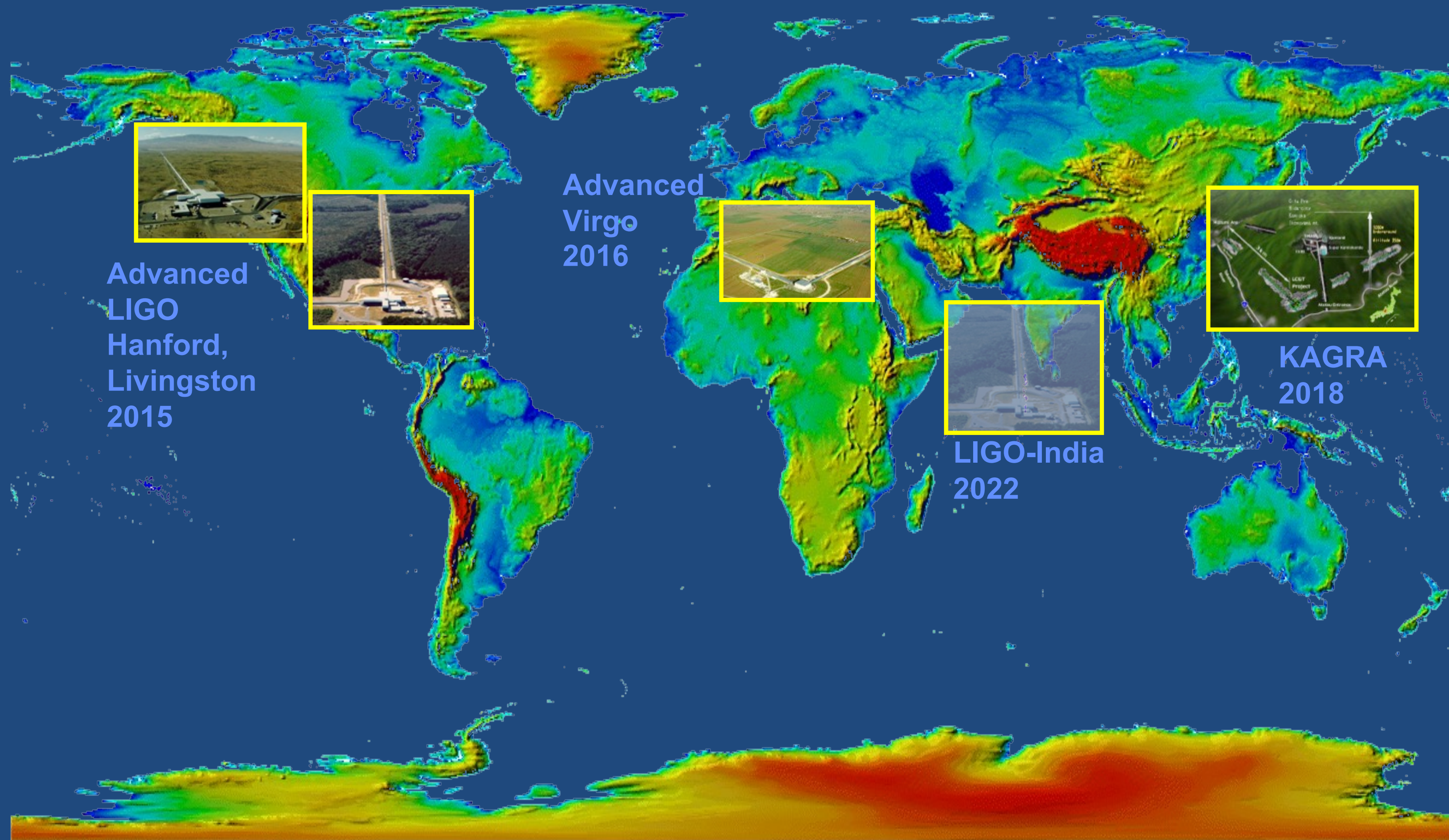


ARC Centre of Excellence for Gravitational Wave Discovery



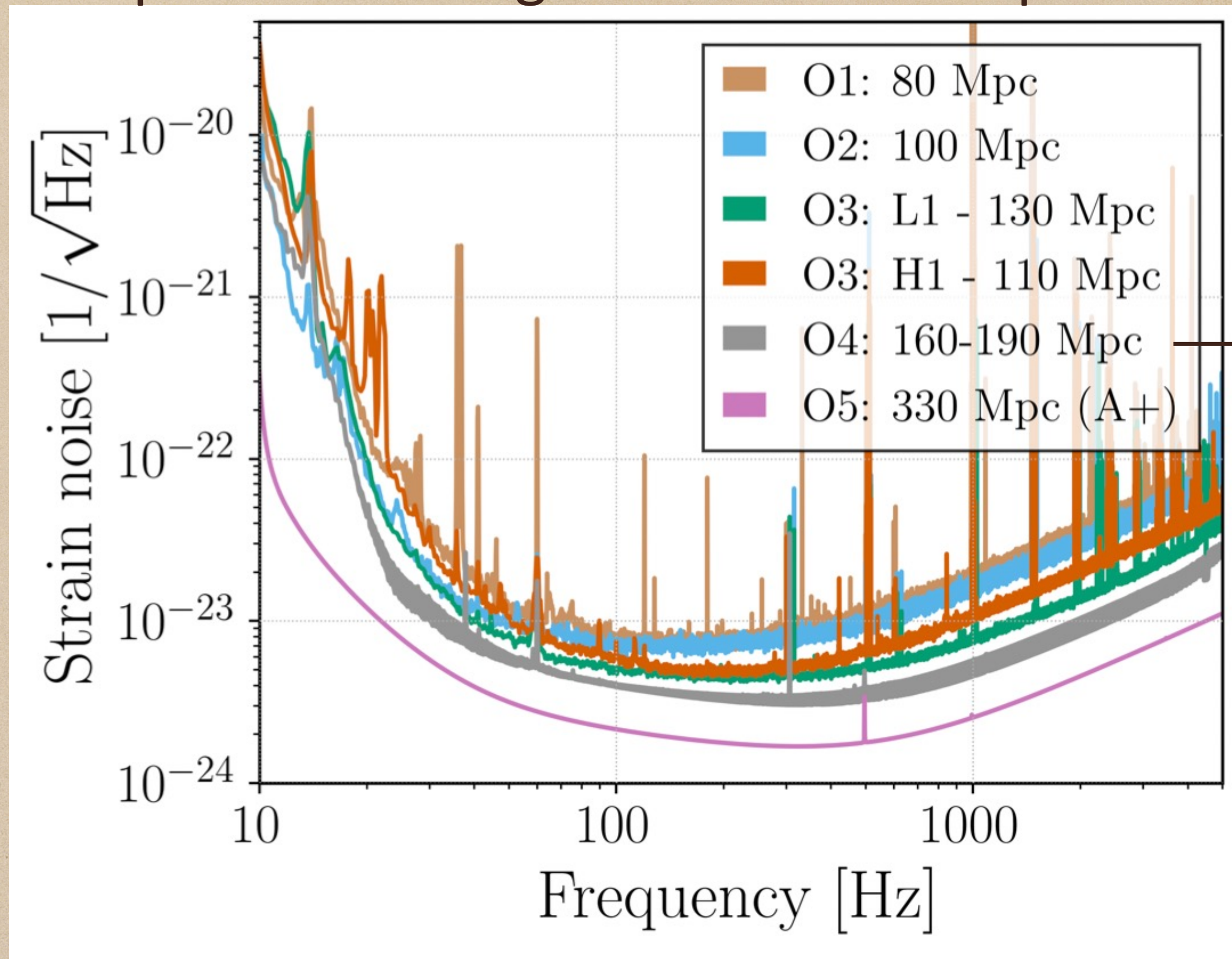


# The advanced GW detector network





Livello di rumore dei "run" passati e futuri:  
curva più in basso significa strumento più sensibile



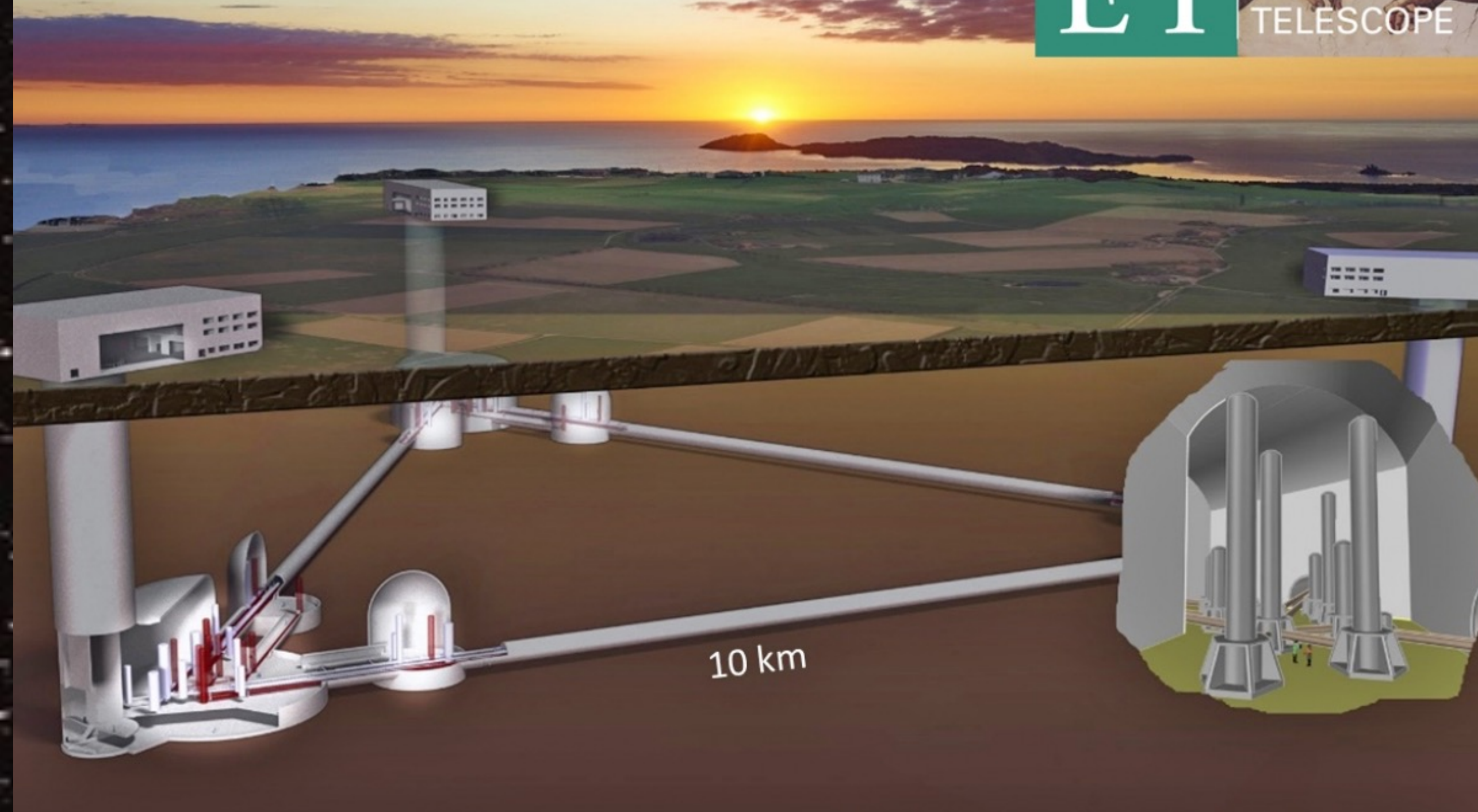
Il prossimo, chiamato O4,  
comincerà tra un mese



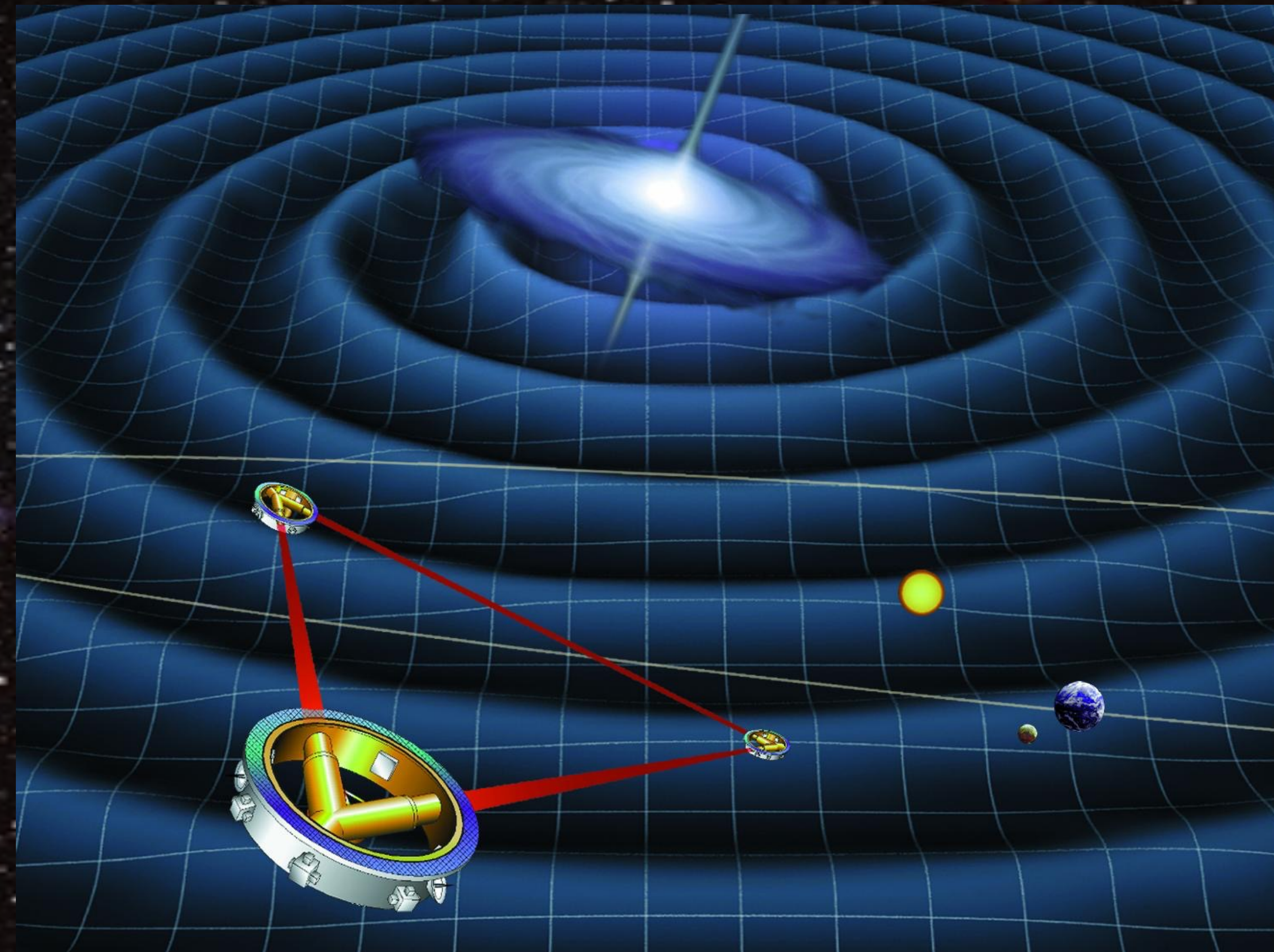
# Il futuro è adesso!

ET: un rivelatore sotterraneo

**ET** EINSTEIN  
TELESCOPE



LISA: un rivelatore nello spazio



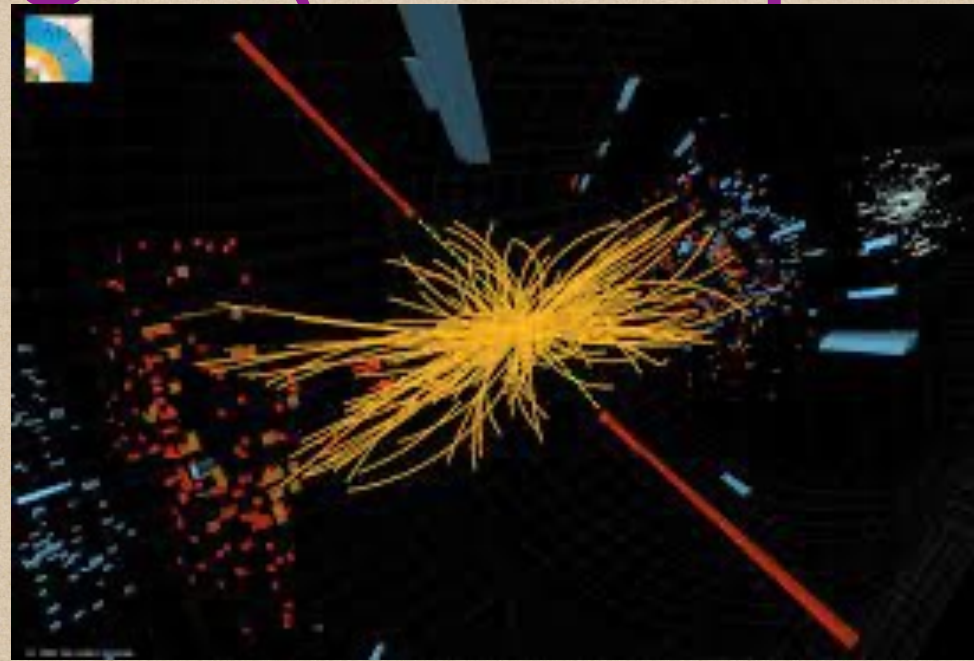
La miniera di Lula in Sardegna



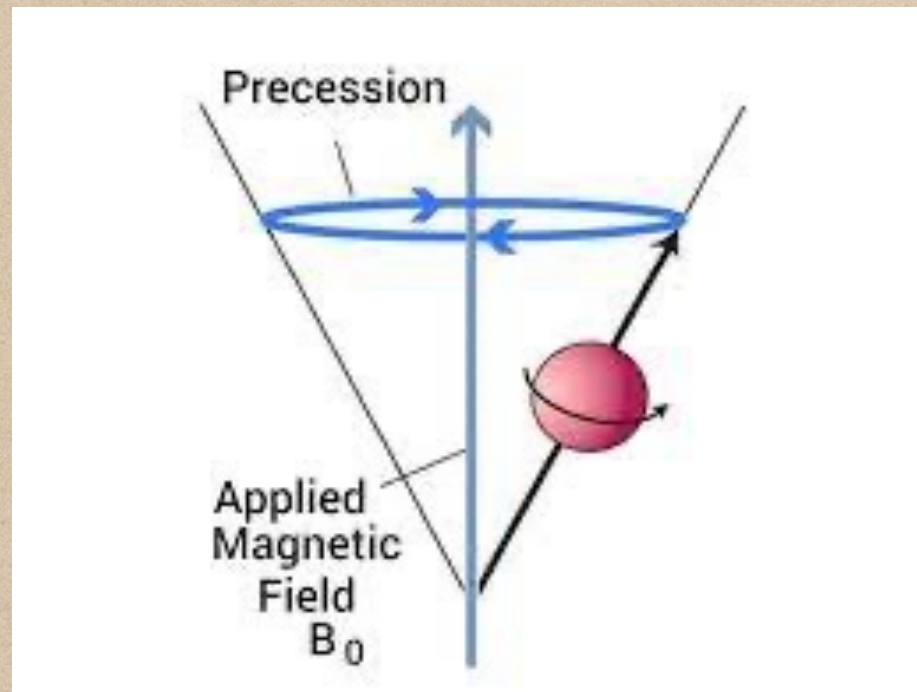
Entrambi entreranno in funzione intorno al 2035



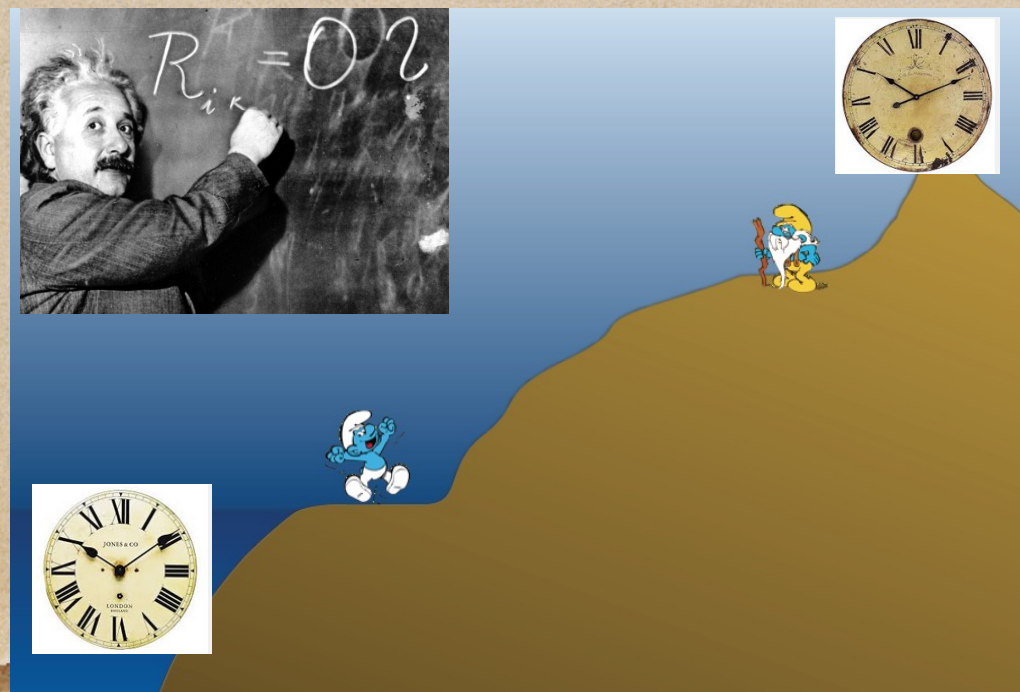
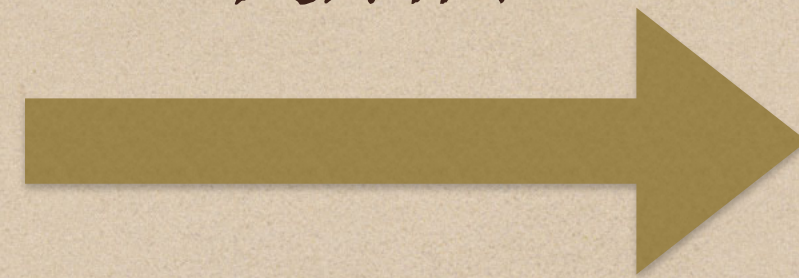
Capire come è fatto e come funziona l'Universo è una necessità per l'essere umano, ma è anche alla base di innumerevoli avanzamenti tecnologici (con impatti formidabili sulla vita di tutti i giorni)



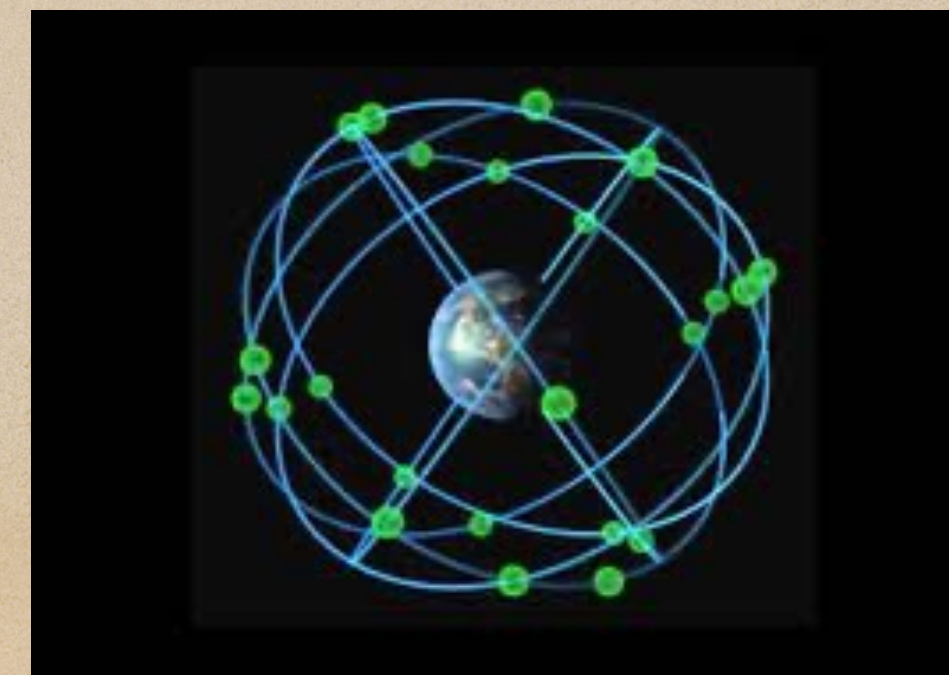
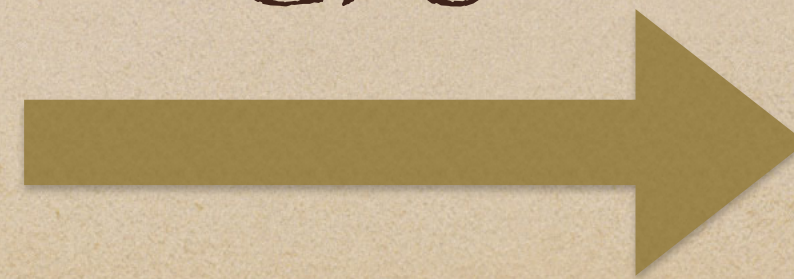
World Wide Web



RMN



GPS





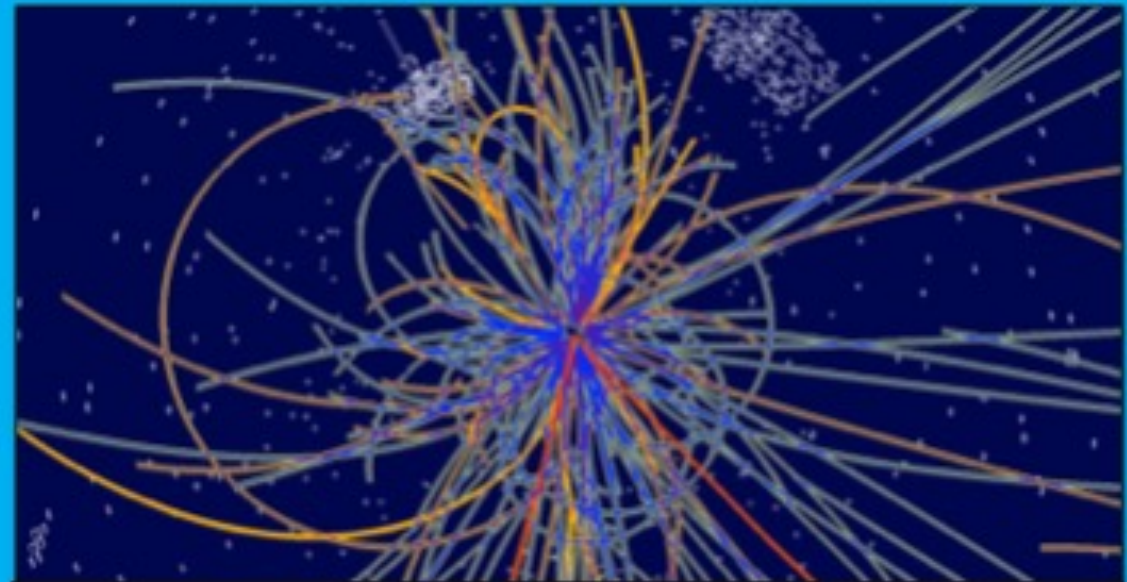
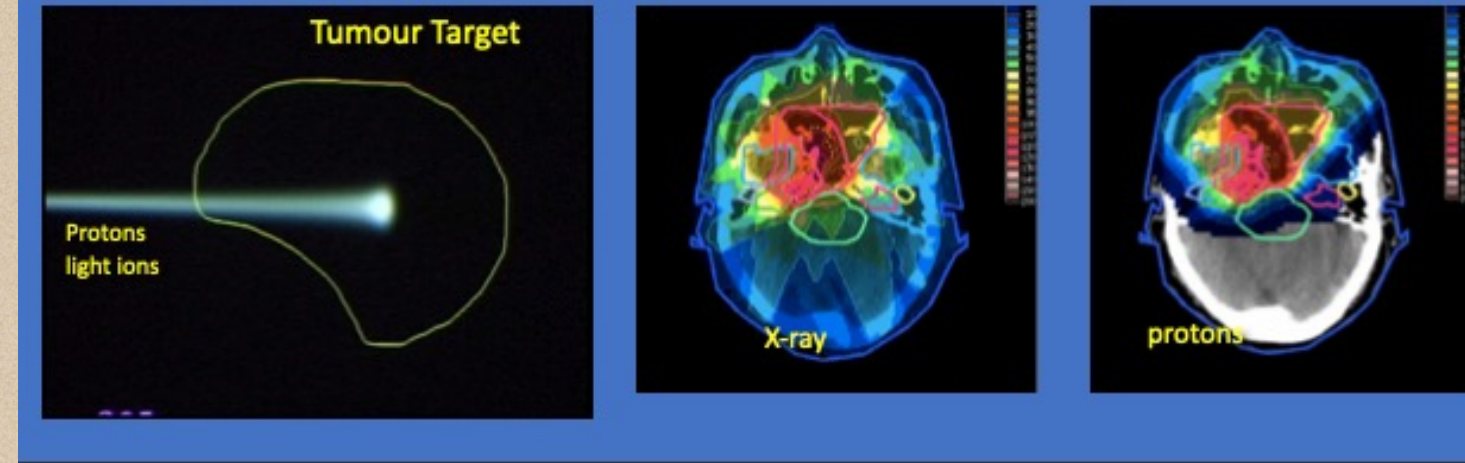
Centro Nazionale Adroterapia Oncologica  
(Pavia)



Adroterapia



Adroterapia

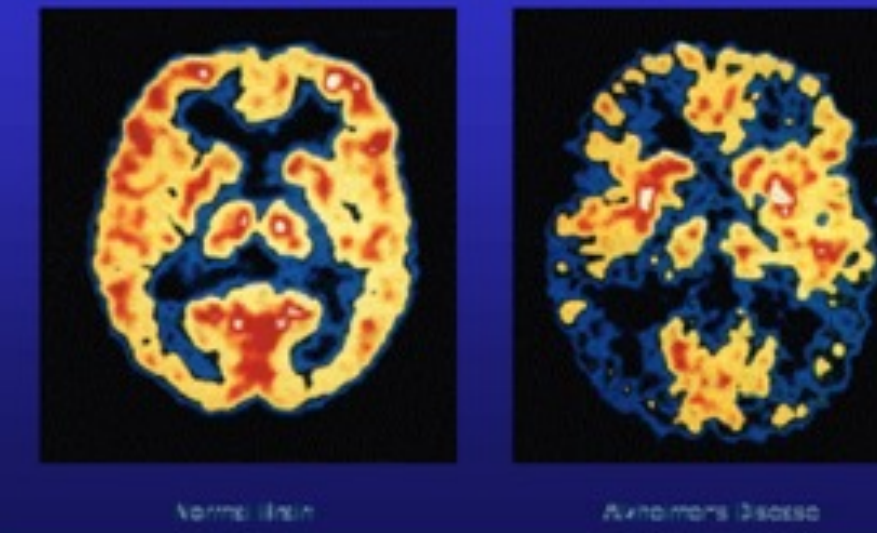


Rivelatori di particelle

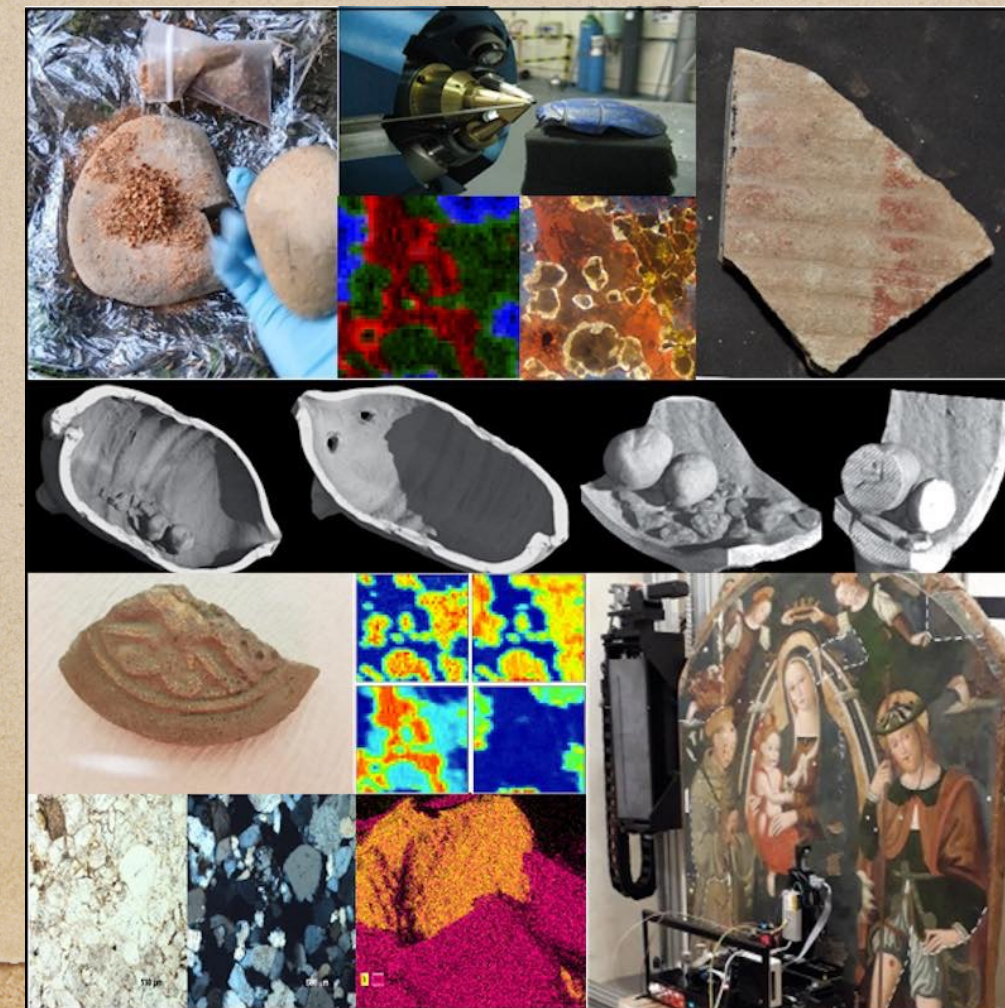
Medical Imaging



Brain Metabolism in Alzheimer's  
Disease: PET Scan



Analisi chimico-fisica  
dei beni culturali





Grazie per l'attenzione!