



Onde Gravitazionali - l'esperimento Virgo

A. Trovato

Università degli studi di Trieste, INFN - Sezione di Trieste



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**

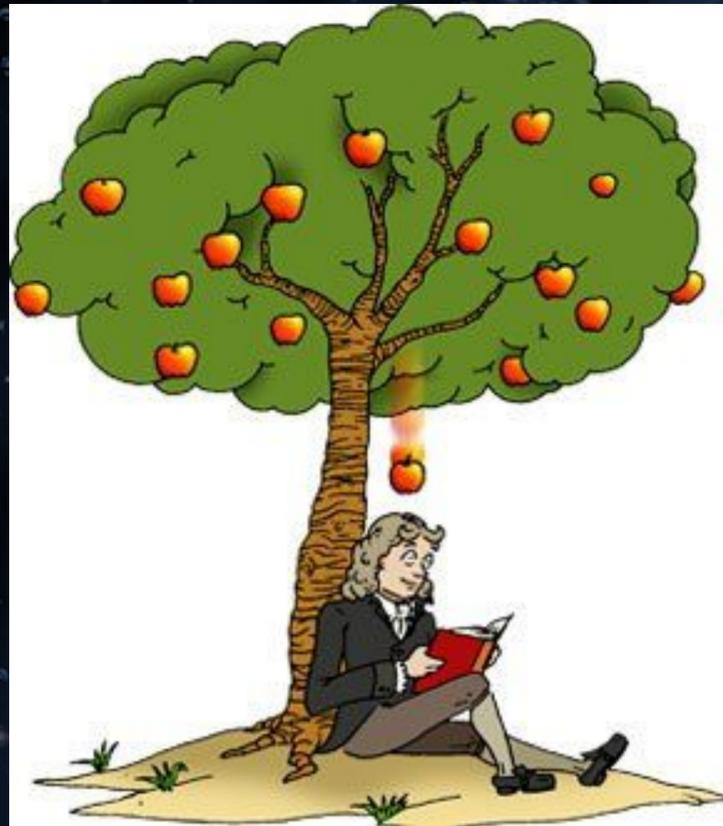


Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

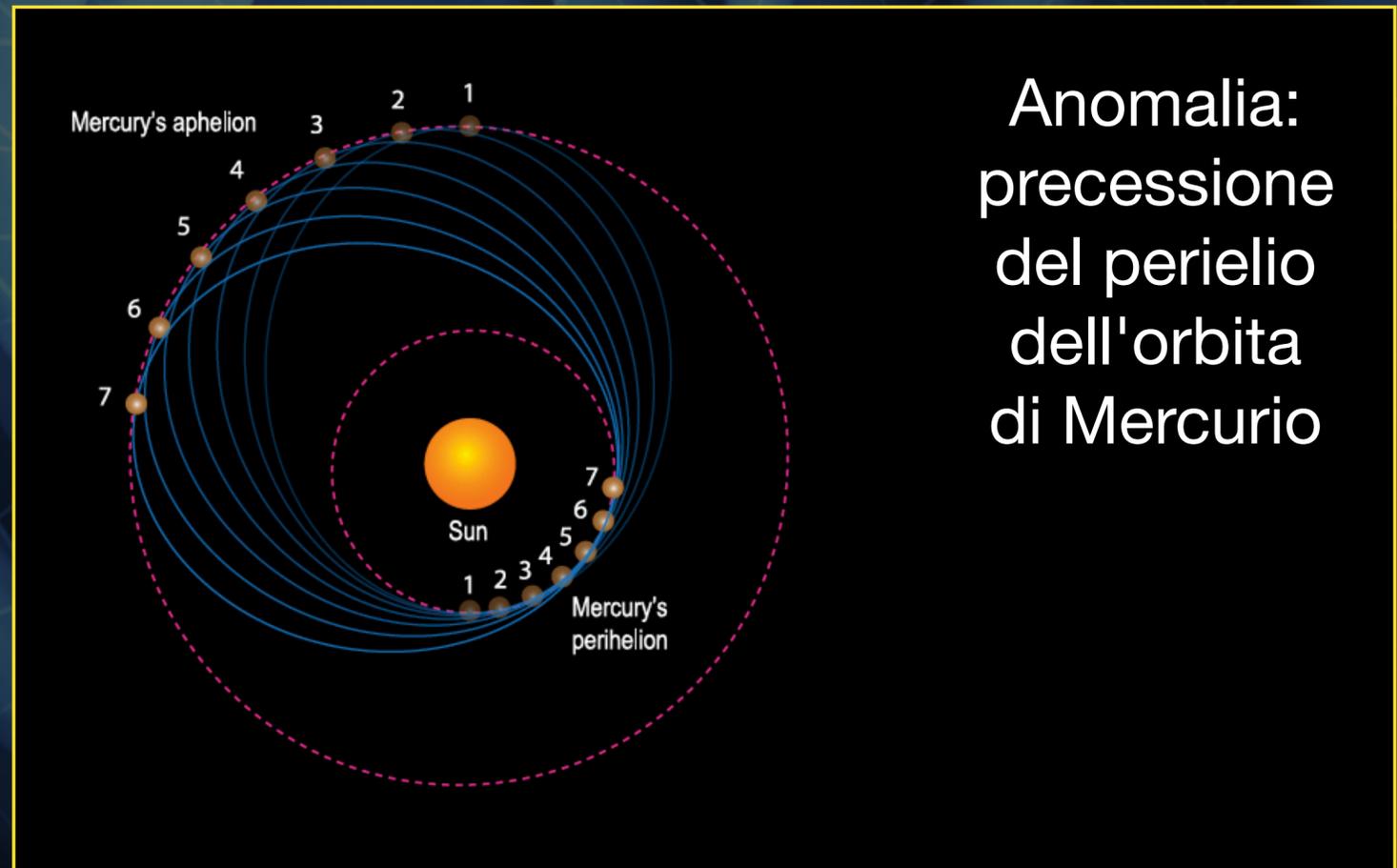
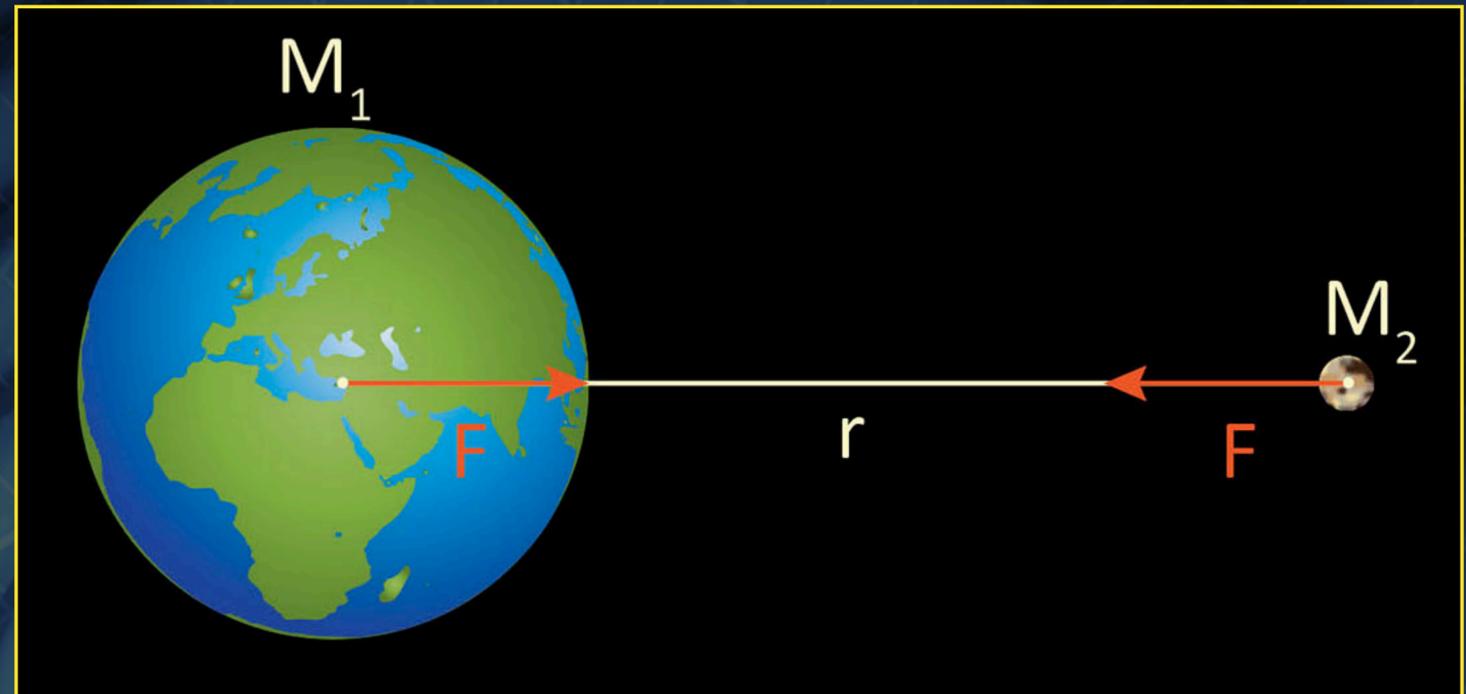
La gravità vista da Newton

Legge di gravitazione universale di Newton (1687)

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



La stessa legge descrive l'orbita della Luna e la caduta di una mela sulla Terra

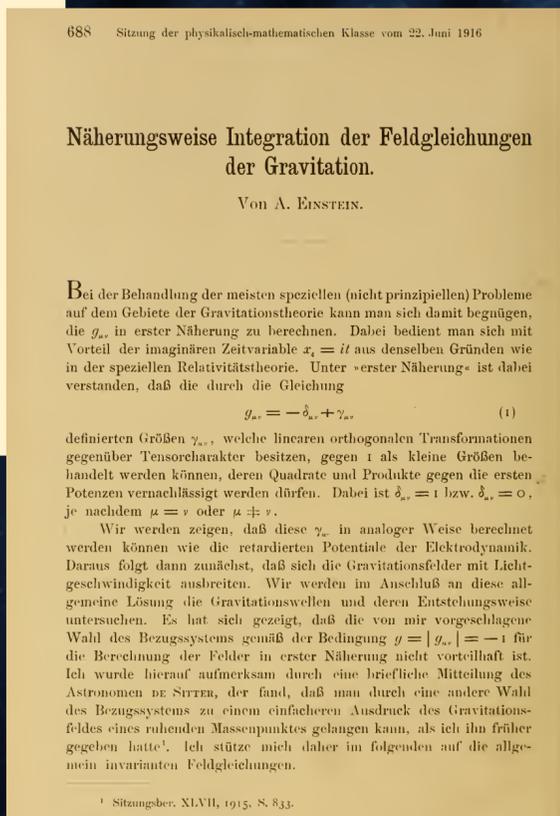
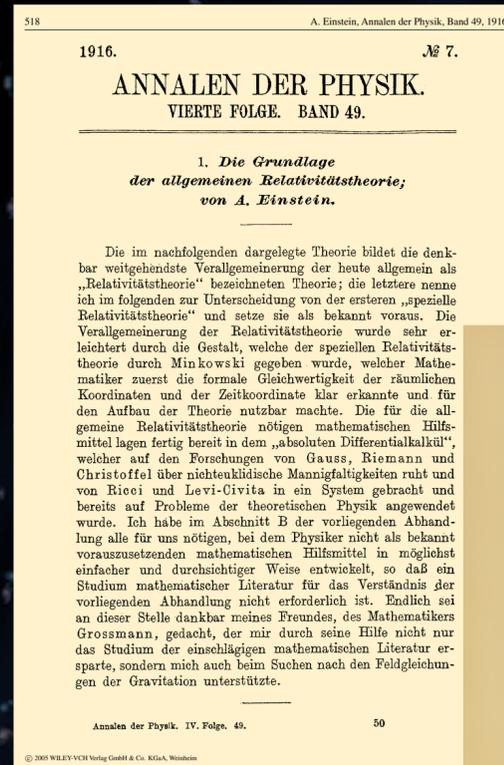


Anomalia:
precessione
del perielio
dell'orbita
di Mercurio

Teoria della relatività generale di Einstein

Teoria della relatività generale di Einstein (1916)

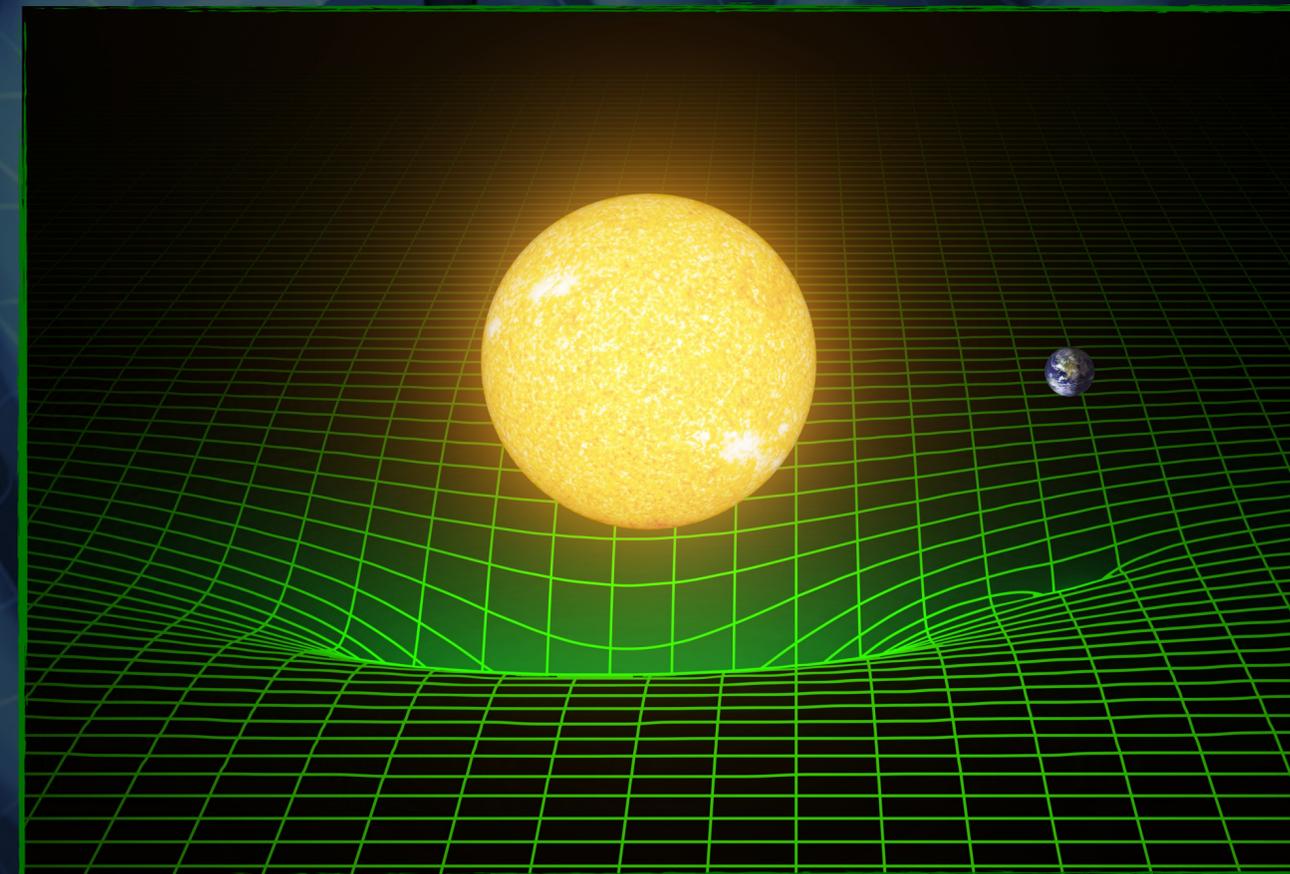
- La gravità è il risultato della distorsione dello spazio-tempo
- “Space-time tells matter how to move; matter tells space-time how to curve”, J. Wheeler



Curvatura dello spazio-tempo

$$G_{\mu\nu} = 8\pi G_N T_{\mu\nu}$$

Distribuzione di massa ed energia



Onde Gravitazionali

Carica elettrica e
correnti elettriche



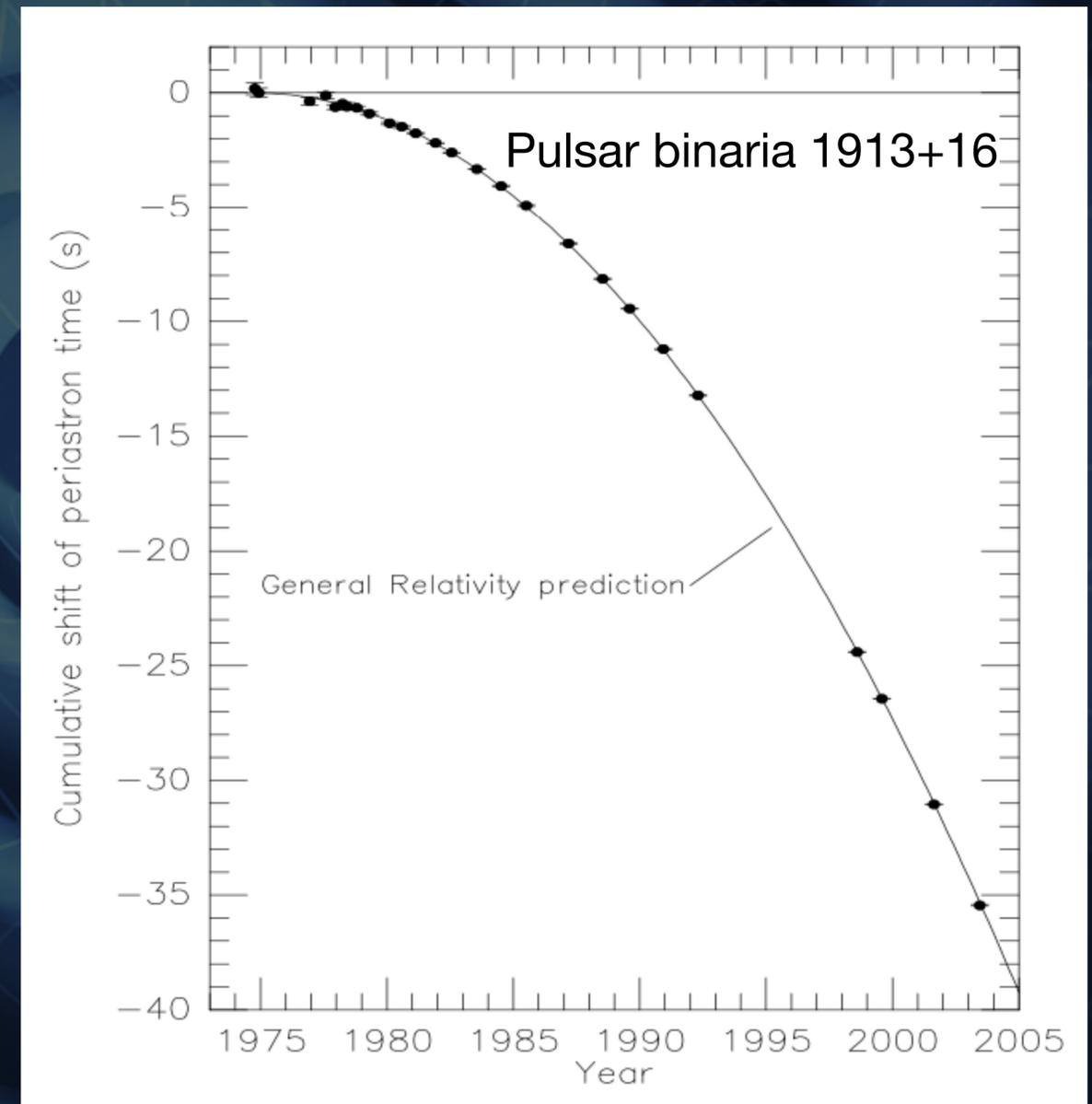
Onde
Elettromagnetiche

Modifiche nella
distribuzione di
massa



Onde Gravitazionali

Prova indiretta: misura della riduzione
del periodo di percorrenza dell'orbita
di un sistema binario



Link al video: <https://www.ligo.caltech.edu/video/ligo20160615v1>

Onde Elettromagnetiche vs Onde Gravitazionali

- Radiazione di dipolo elettrico
 - Due segni opposti della carica



- Facili da rivelare ma vengono facilmente assorbite dalla materia

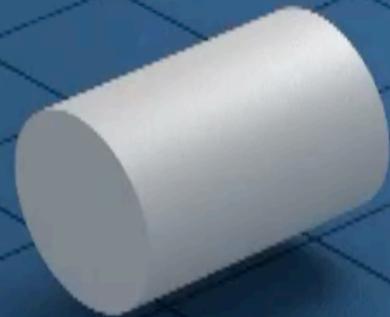
- **No radiazione di dipolo gravitazionale**
- Radiazione gravitazionale **quadrupolare** (ordine principale)
 - Non vengono emesse onde gravitazionali se la simmetria sferica viene mantenuta
- Difficili da rivelare, passano indisturbate attraverso la materia

Link al video: <https://www.ligo.caltech.edu/video/ligo20160211v5>

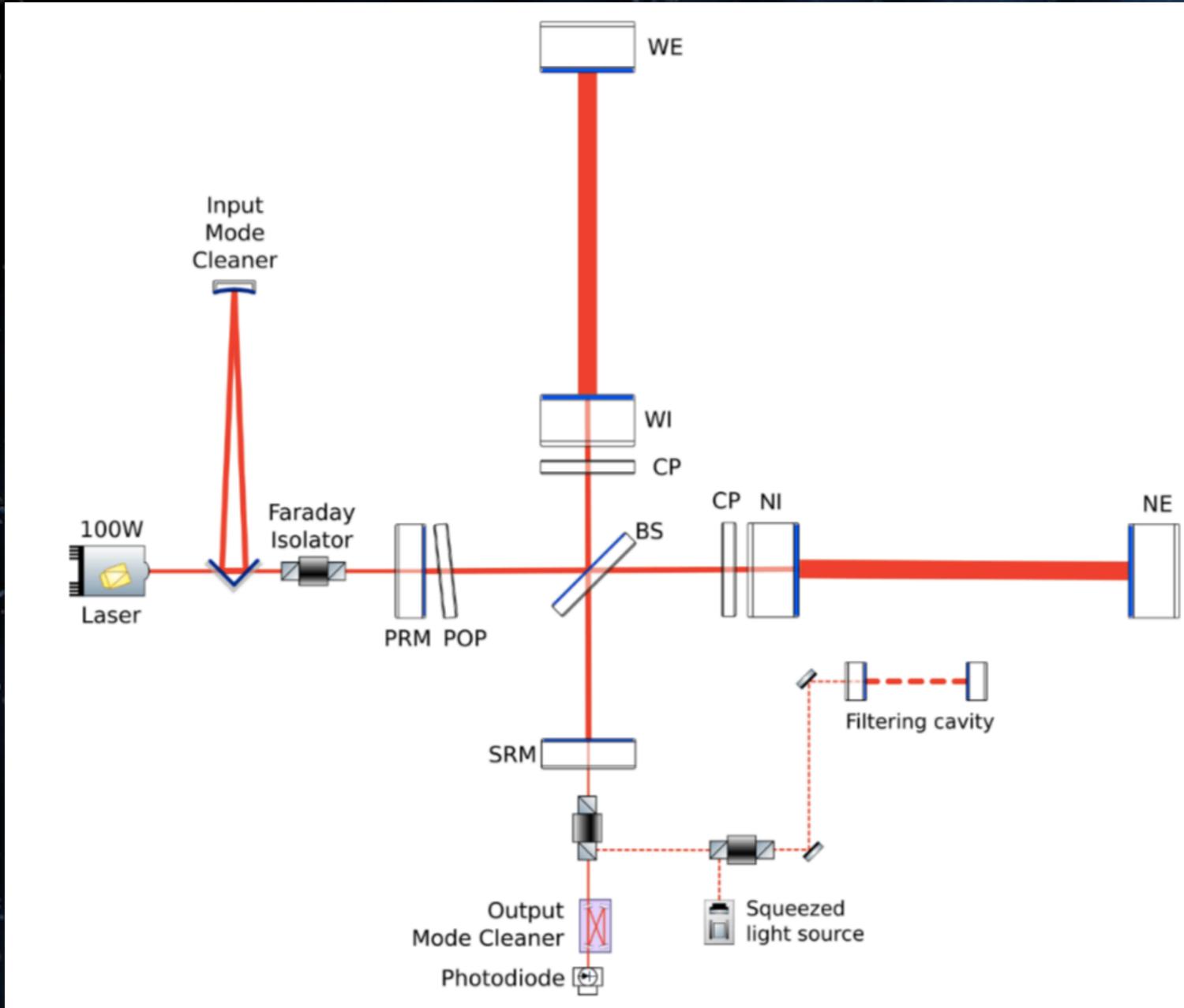


Scale of Effect Vastly Exaggerated

Link to the video: <https://www.ligo.caltech.edu/video/ligo20160211v6>



Rivelatori: interferometri di Michelson modificati



- Gli interferometri che utilizziamo sono strumenti molto complessi

$$\Delta L \sim h L$$

Lunghezza delle braccia dell'interferometro \sim km

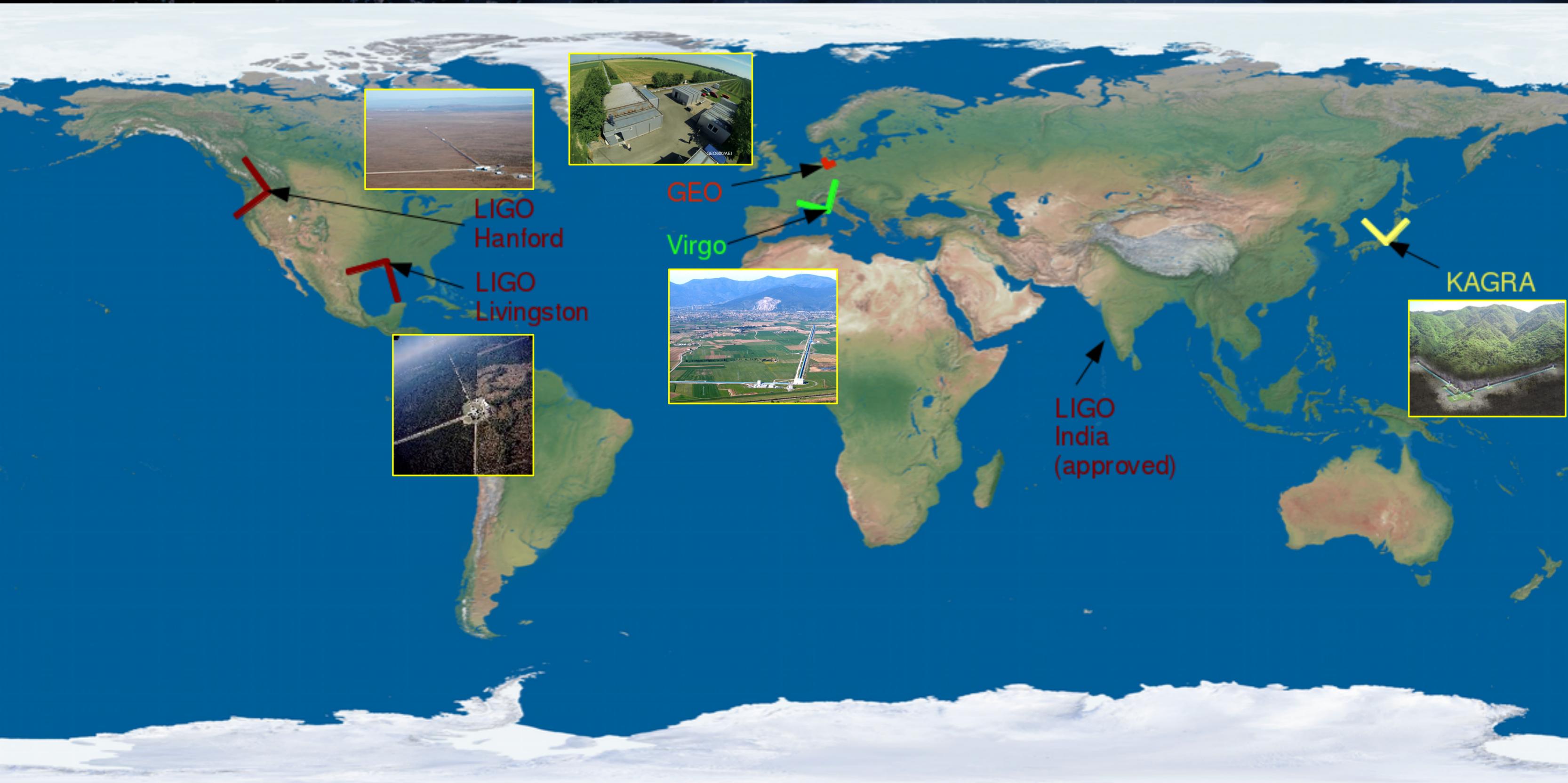
Deformazione dovuta all'onda gravitazionale (**strain**)

$$h \sim 10^{-21}$$

$$\Delta L < 10^{-18} \text{ m}$$

Variazione di distanza da misurare: almeno 1000 volte più piccola del raggio di un protone!

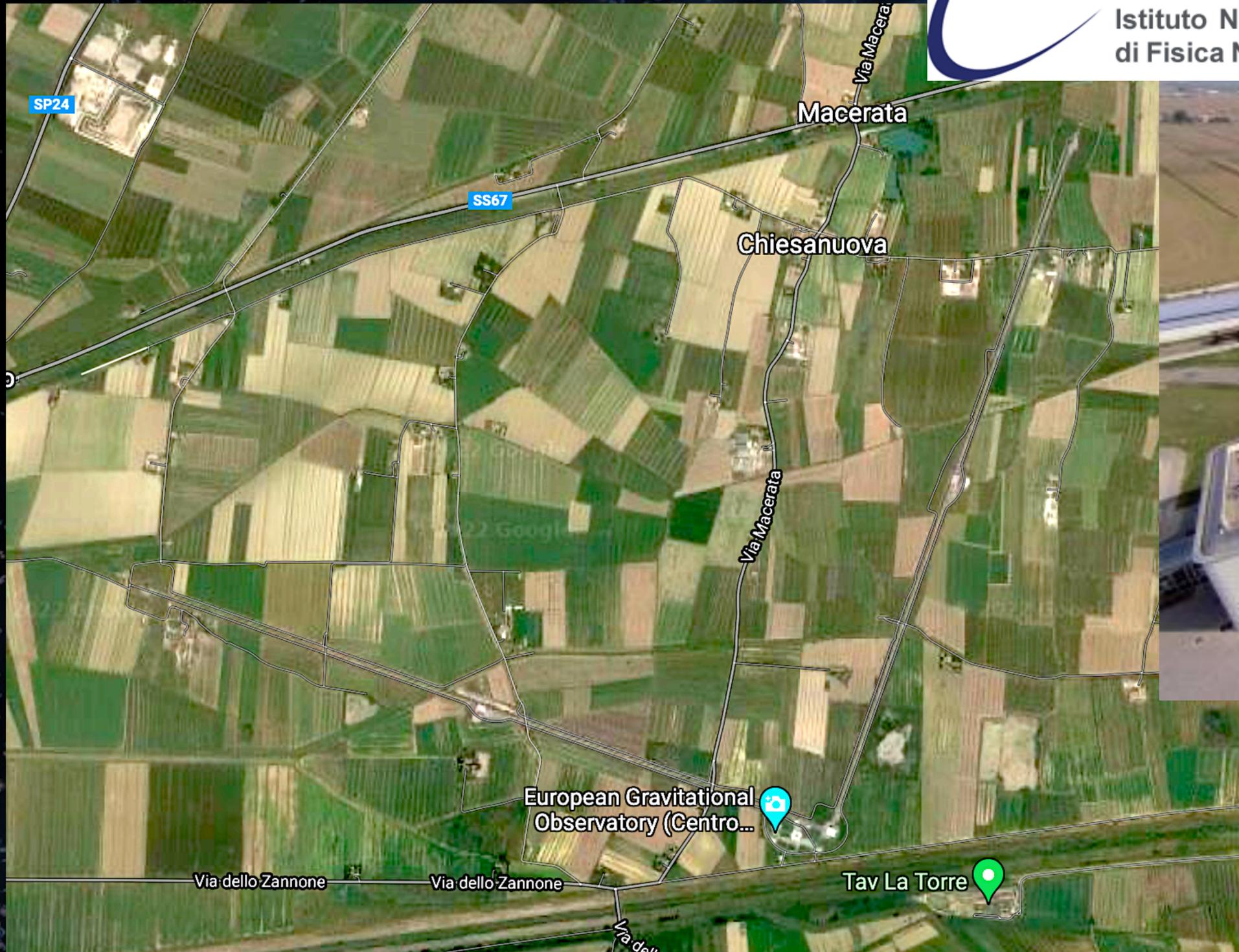
Worldwide network of gravitational observatories



Virgo



centre national
de la recherche
scientifique



- Costruzione iniziata nel 1997 (INFN + CNRS)
- 2007: accordo con i rivelatori LIGO negli Stati Uniti

Uno dei tunnel di 3 km dentro il quale viaggia il raggio laser

La pressione del gas residuo deve essere estremamente bassa, circa mille miliardi di volte inferiore alla normale atmosfera!

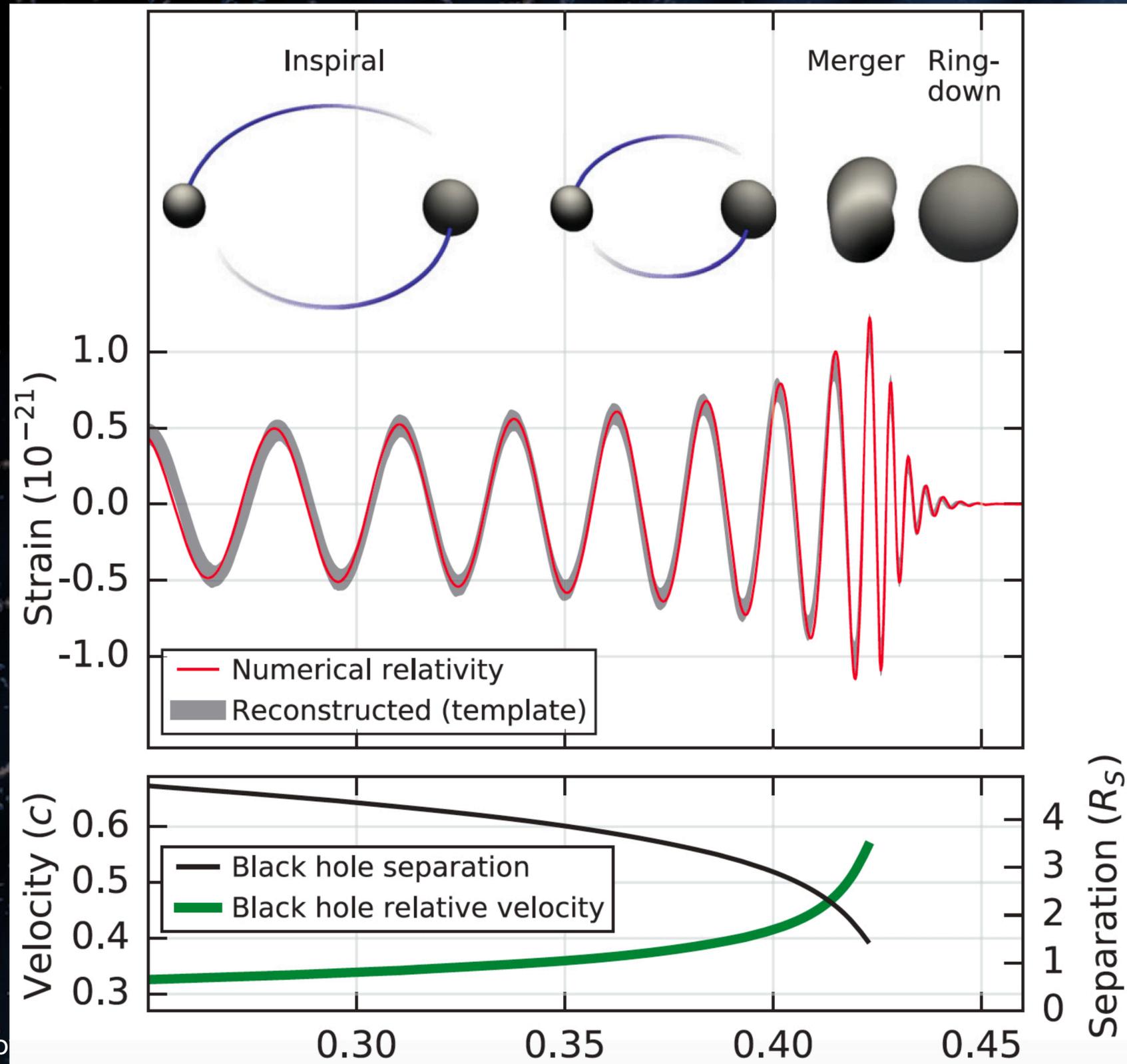


Gli specchi Virgo sono sospesi tramite una lunga catena di pendoli, in torri alte circa 10 metri

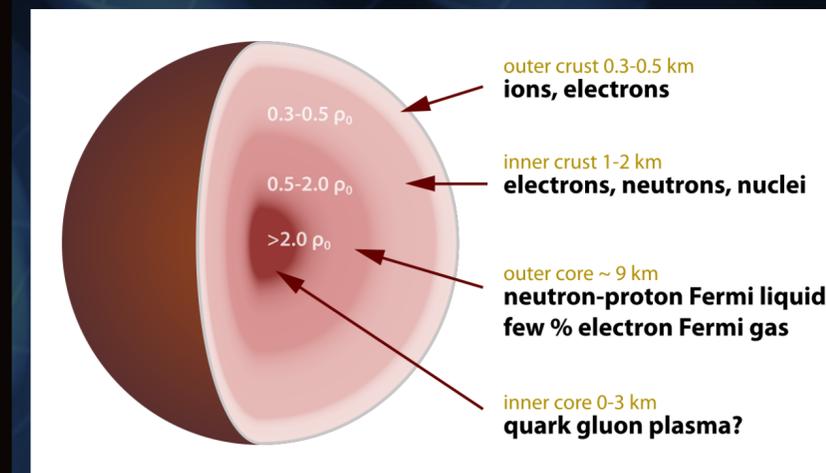
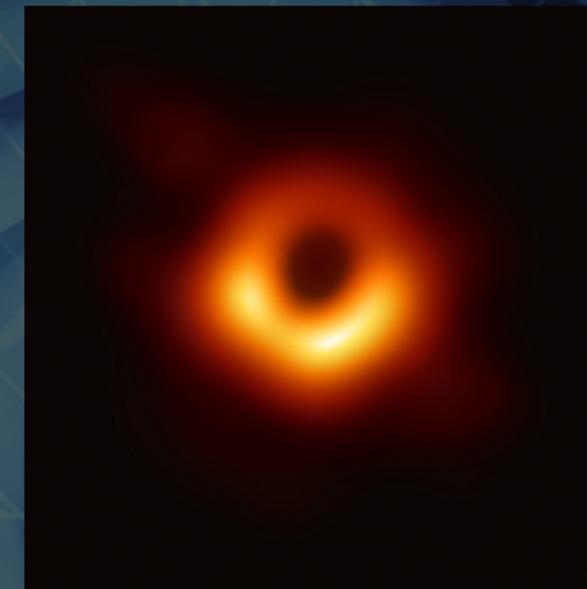


Edificio centrale

Esempi di segnali da Onde Gravitazionali



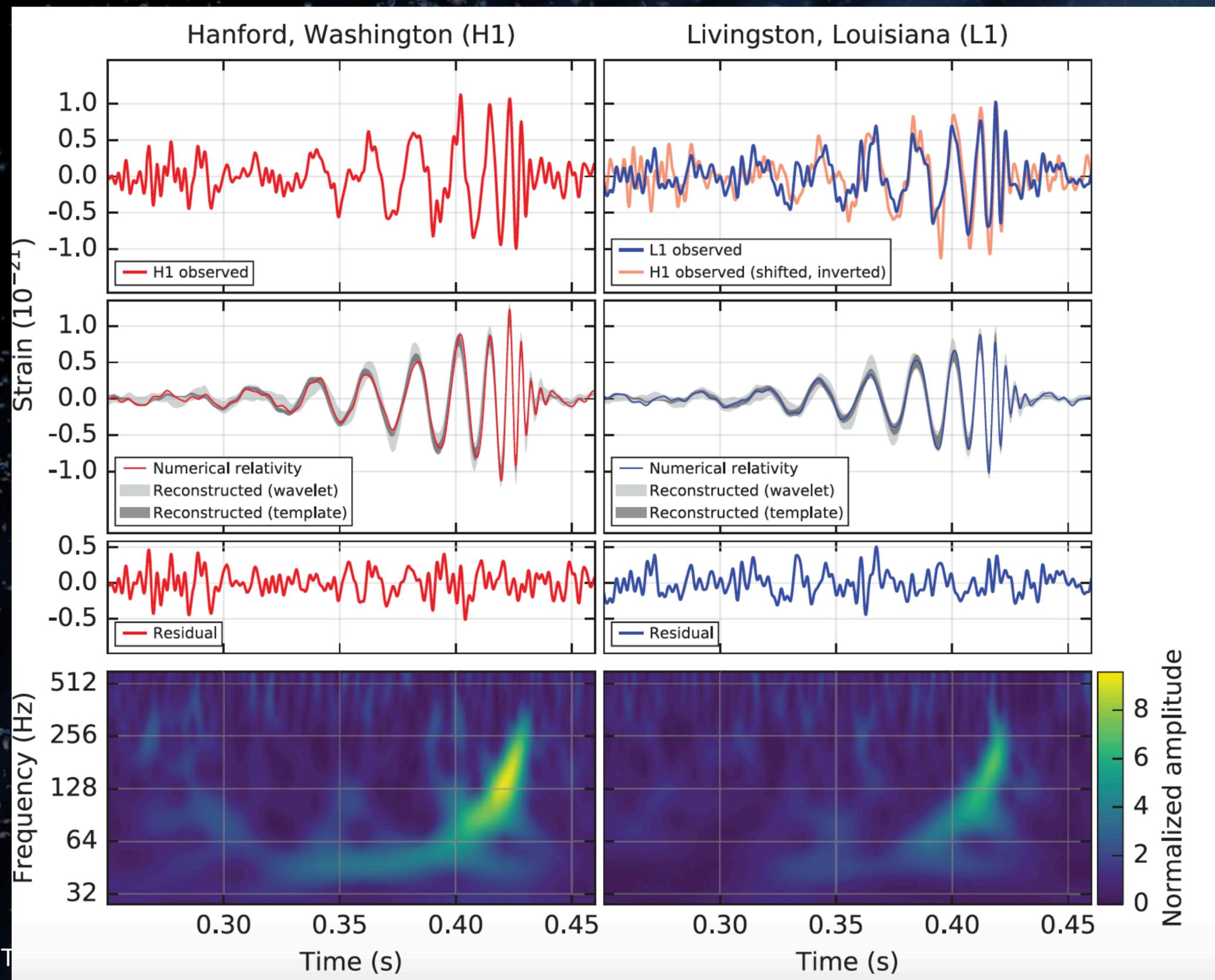
- Collisioni di sistemi compatti binari: **Buchi Neri o Stelle di neutroni**



- Modellare il segnale atteso ha richiesto molti decenni!
- 15-17 parametri delle sorgenti in gioco (masse, spin, posizioni, orientazione, ...)

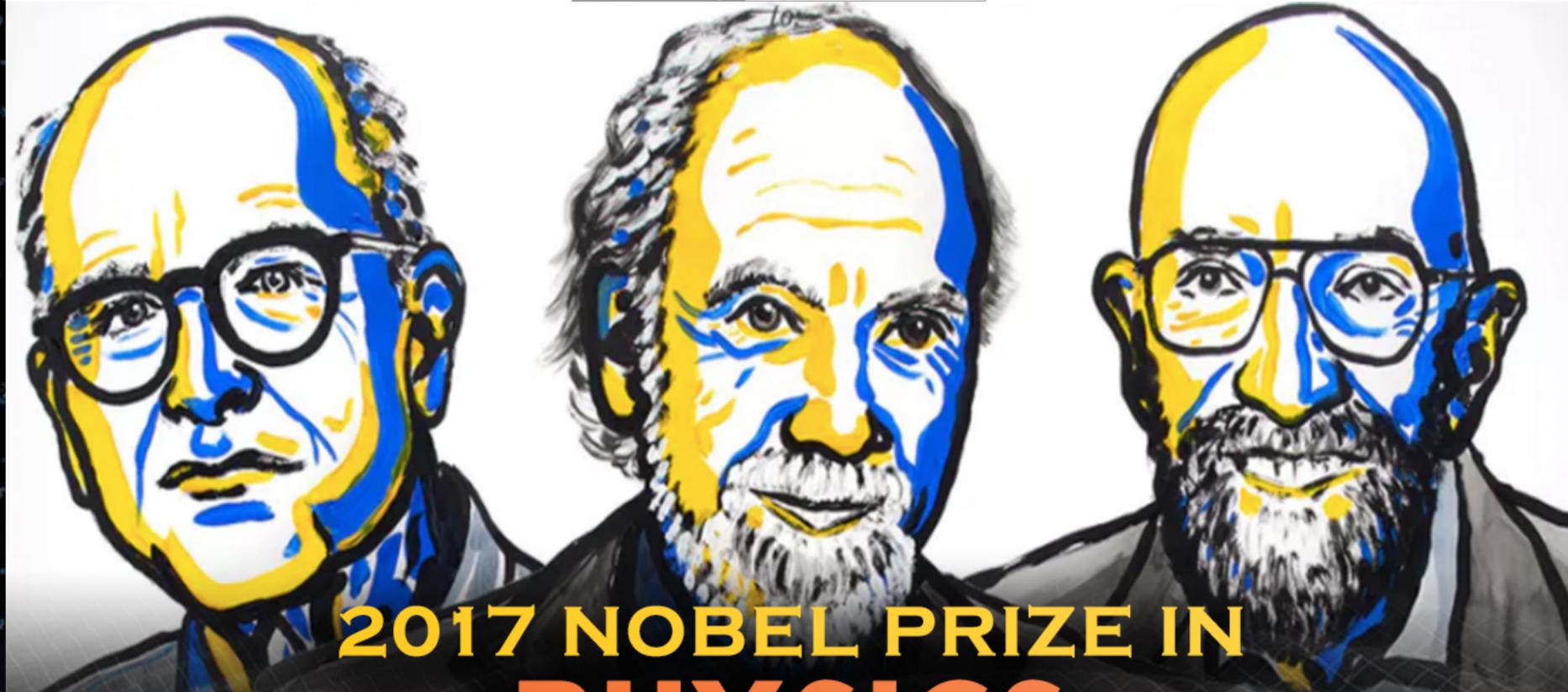
PRL 116, 061102 (2016)

Prima rivelazione diretta delle Onde Gravitazionali



GW150914

- Un secolo dopo la pubblicazione della teoria di Einstein!
- Sistema binario di buchi neri
 - Ogni stella “pesa” circa 30 volte la massa del sole
 - Velocità $\sim c/2$
- Distanza ~ 1.3 miliardi di anni luce
- 3 masse solari emesse in energia

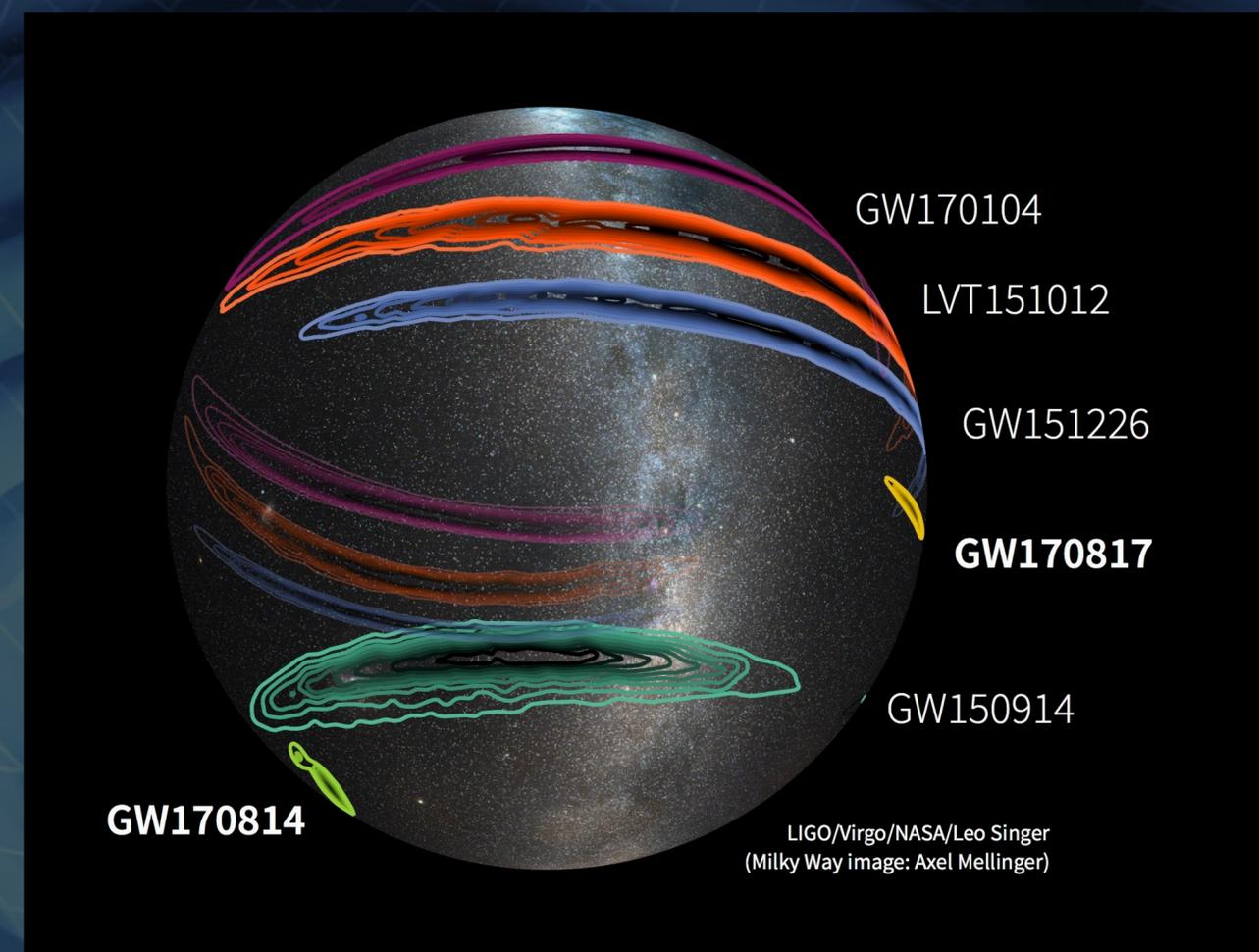
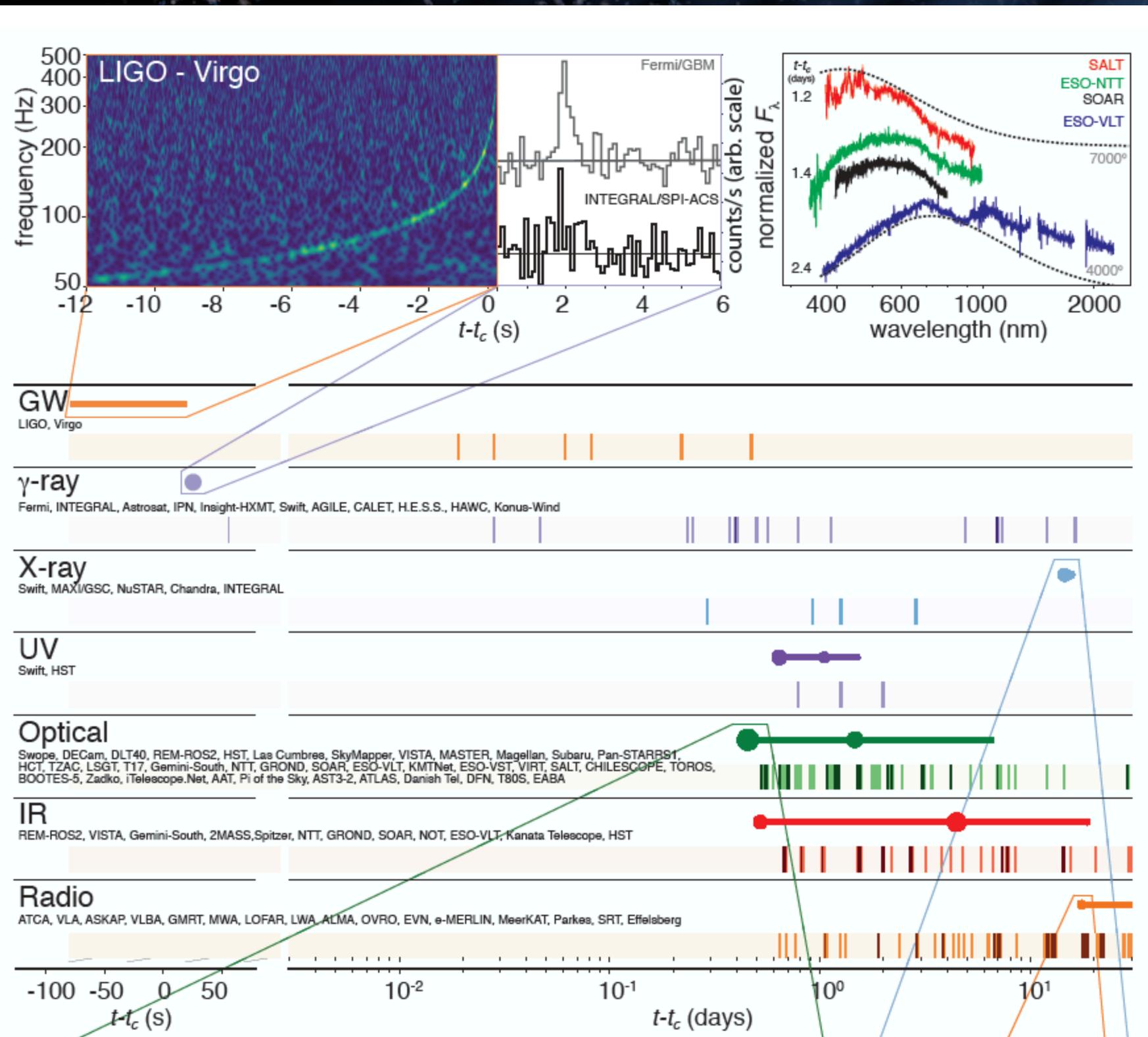


2017 NOBEL PRIZE IN
PHYSICS
AWARDED FOR
**GRAVITATIONAL
WAVE DETECTION**

American scientists **Rainer Weiss**, **Barry C Barish** and **Kip S Thorne** from the LIGO/VIRGO collaboration contributed in gravitainoal wave detection. Predicted by **Albert Einstein** in **1916**, the ripples in space-time created by colliding black holes were **first detected in 2015**. They will share the **\$1.1 million** prize money.

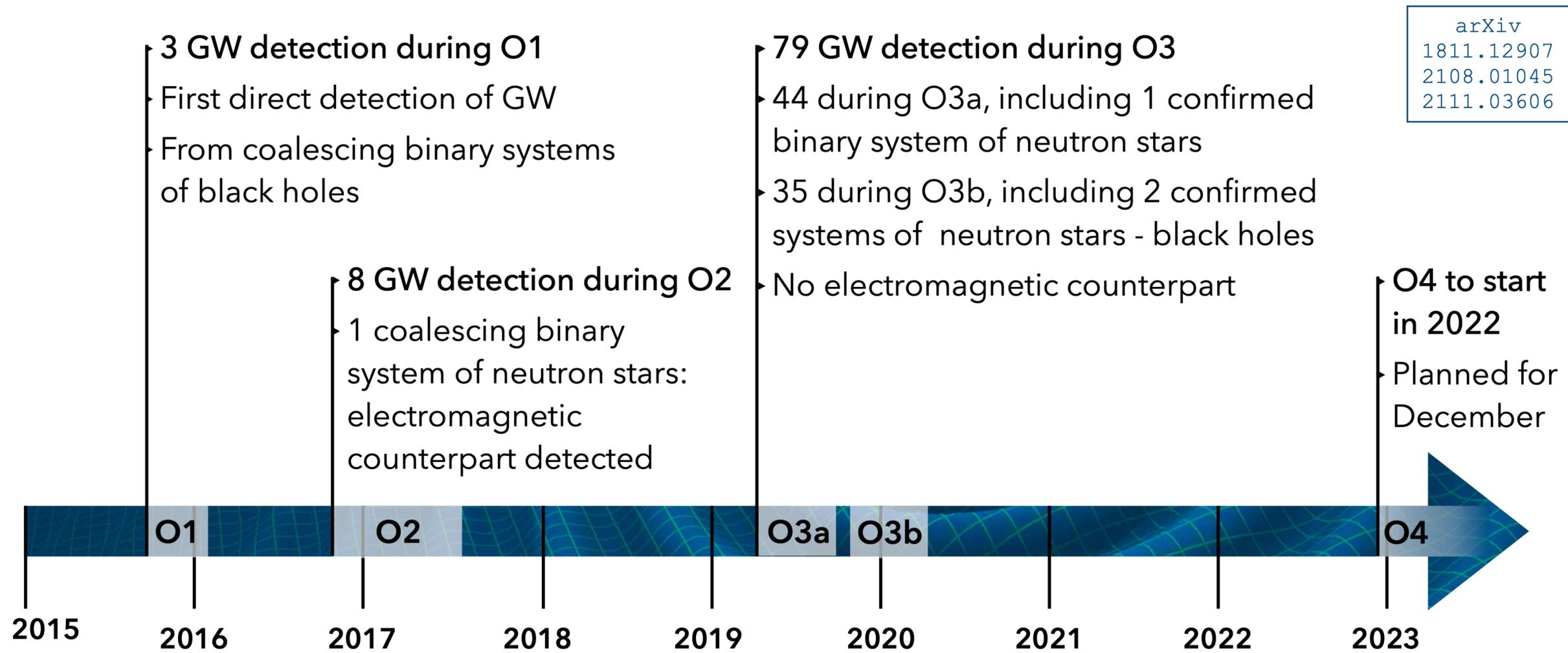
Premio Nobel in
Fisica 2017

Primo sistema binario di stelle di neutroni



- Eventi elettromagnetici rilevati da oltre 70 osservatori.
- Meccanismo alla base della produzione di elementi pesanti come l'oro

GWTC: Gravitational Waves Transient Catalog - 3



90 GW
detections
reported



Coalescence of compact objects
(black holes, neutron stars)



1 multimessenger
event (GW + EM
observation)

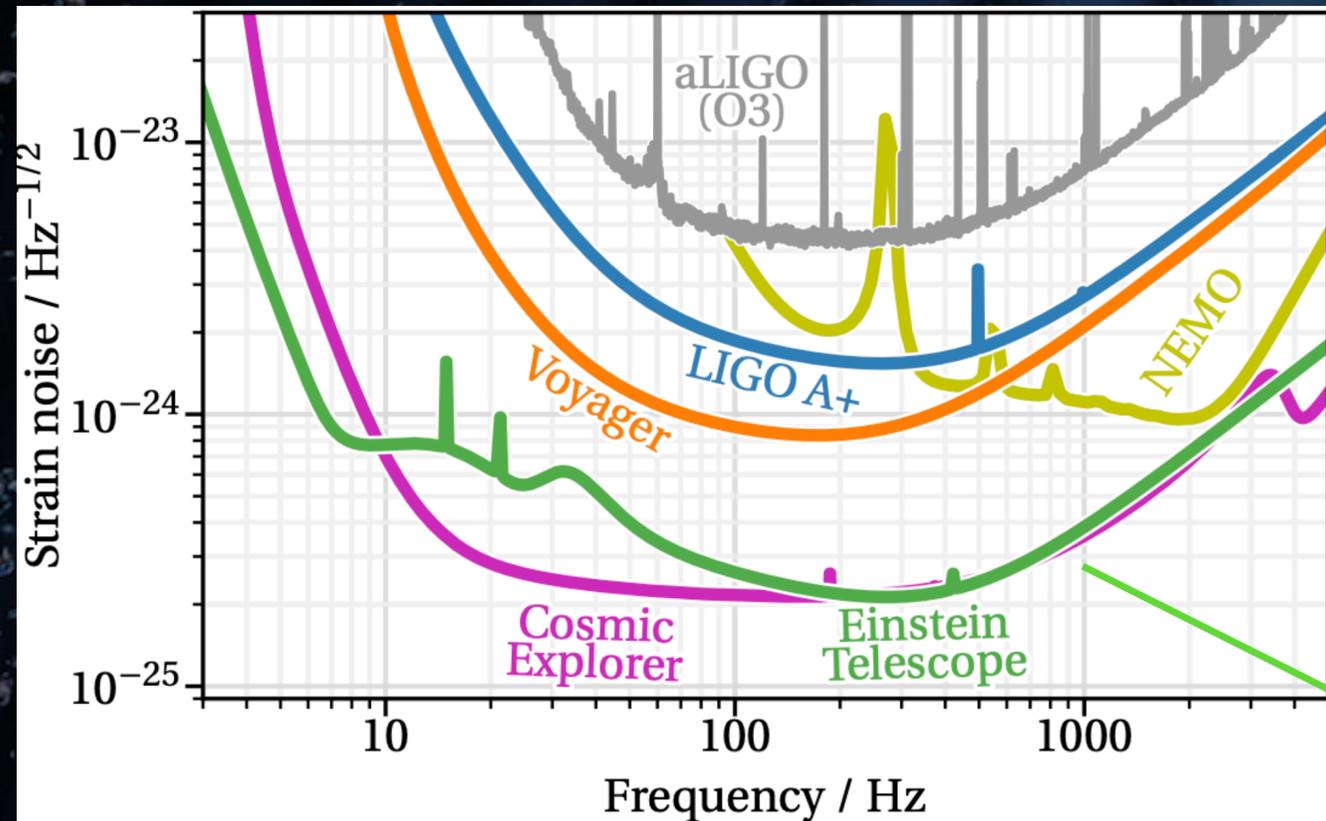
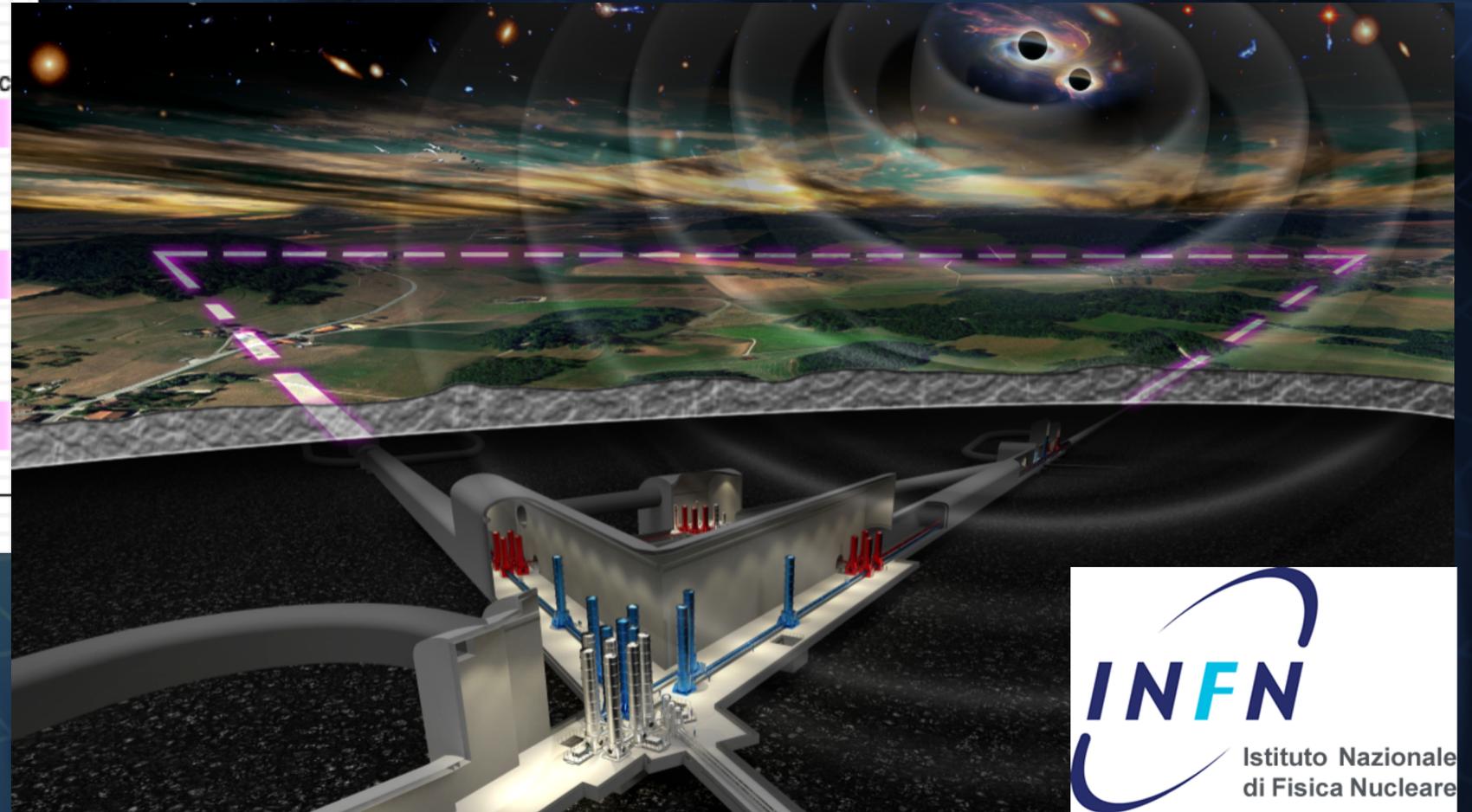
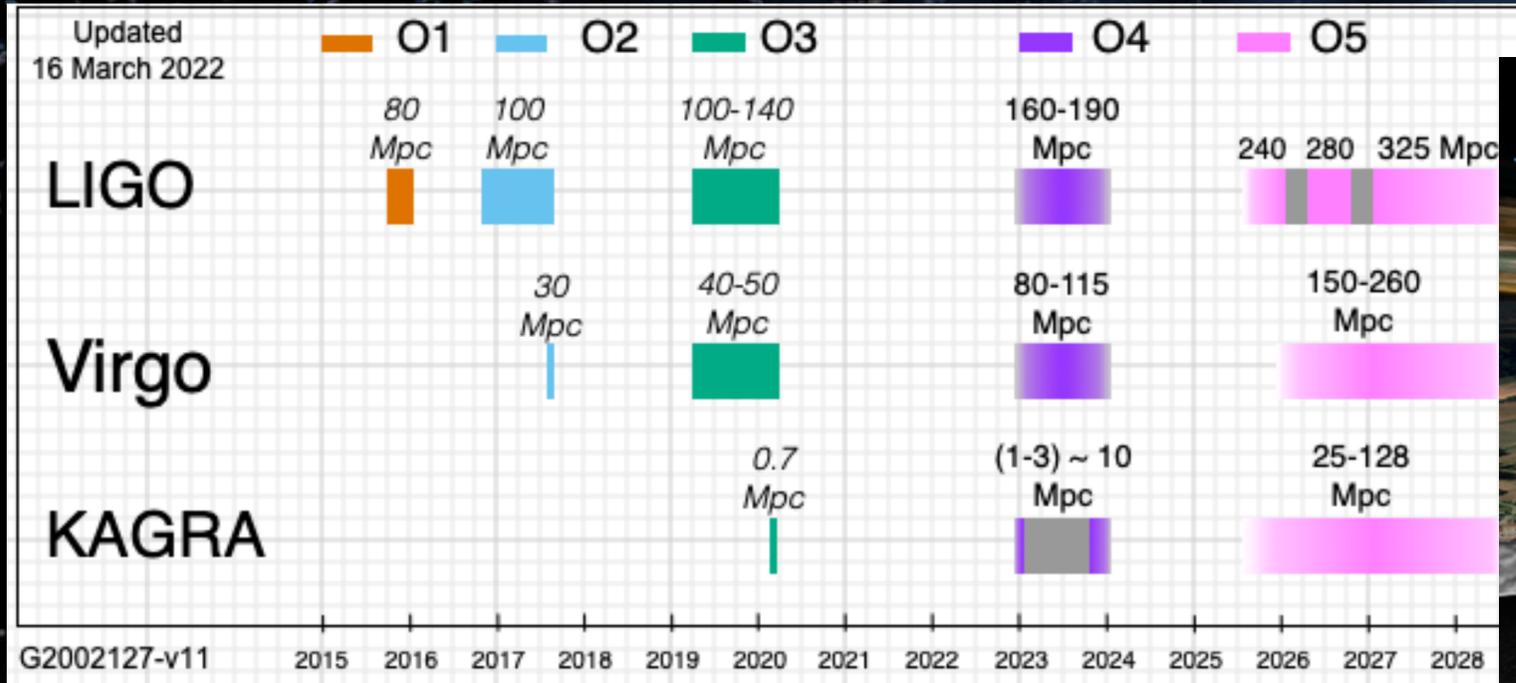


Mass range
1.2 → 107 M_{\odot}
(stellar)



Distance range
40 Mpc → 6 Gpc
($z \rightarrow 0.45$)

Cosa succede nel prossimo futuro?



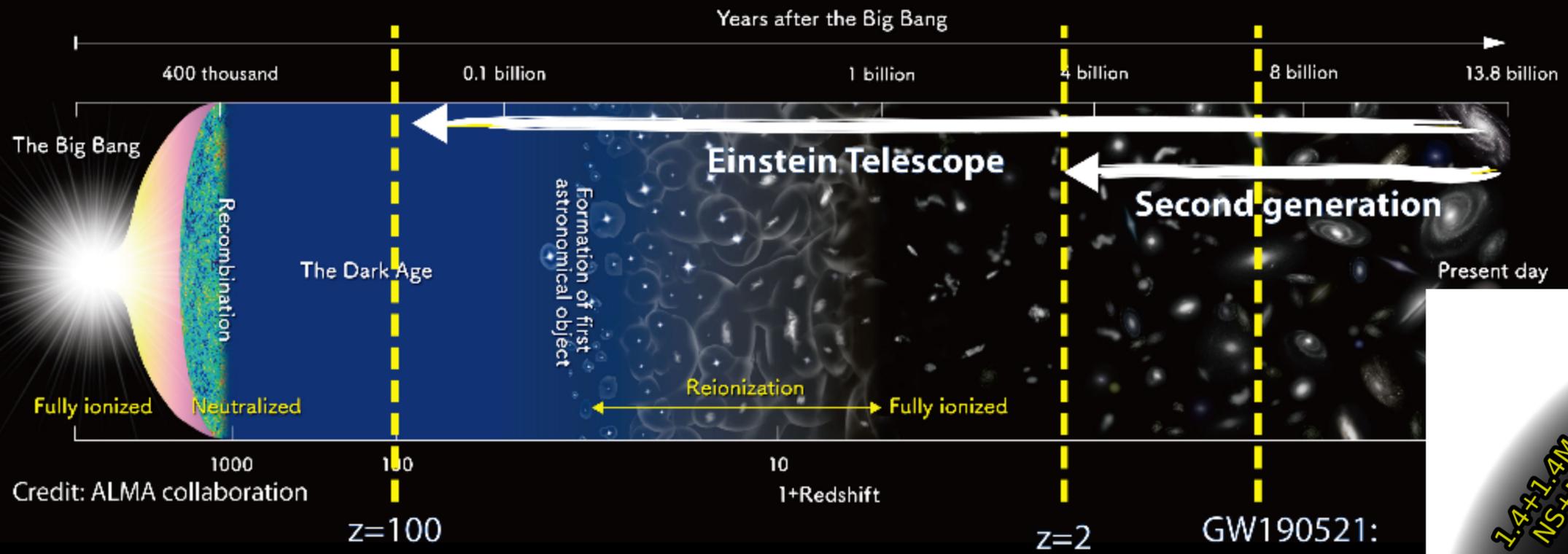
10 volte la sensibilità degli attuali rivelatori

Einstein Telescope

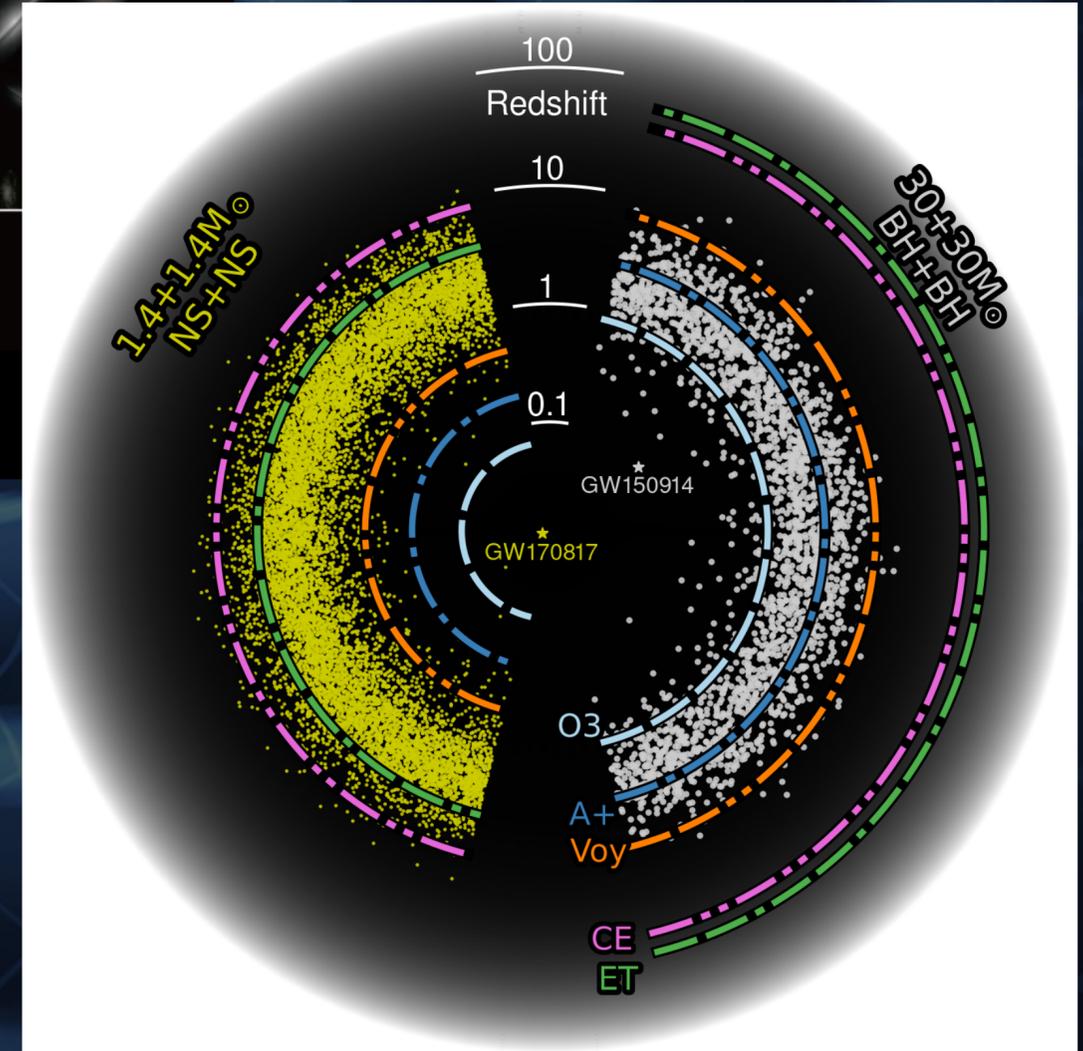
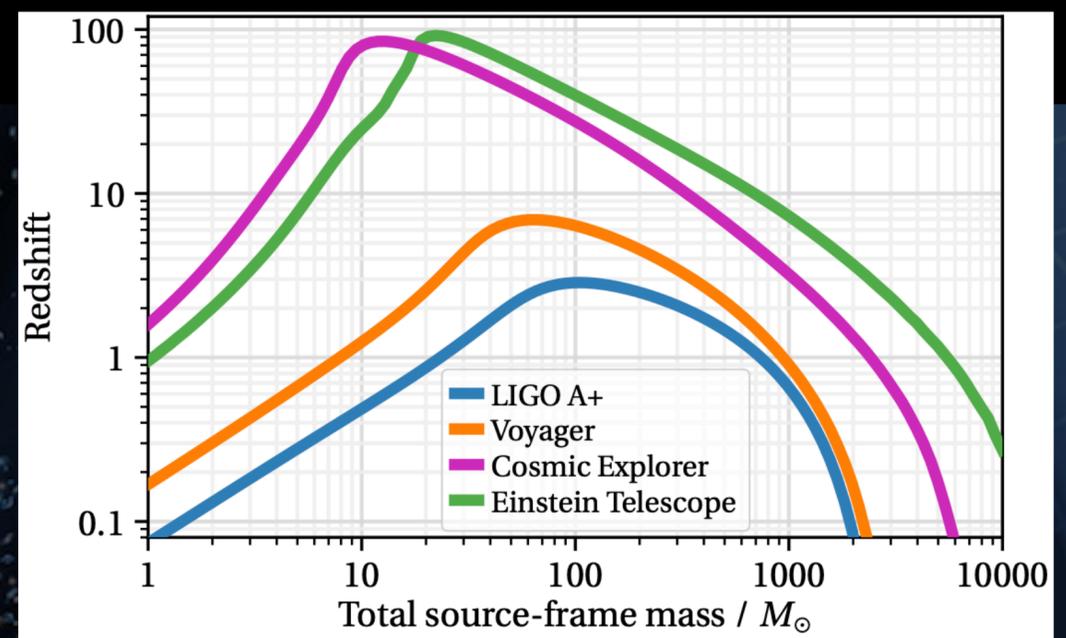
- 2026 - inizio costruzione
- 2035 - science run

Rivelatori di terza generazione

Detection horizon for black-hole binaries



Credit: ALMA collaboration



Nuove scoperte ci aspettano!!!

Grazie per l'attenzione :-)