



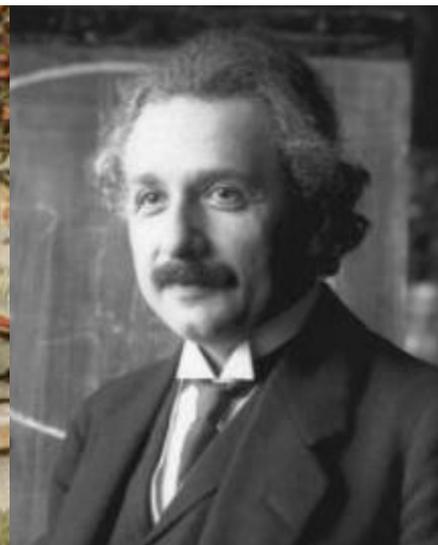
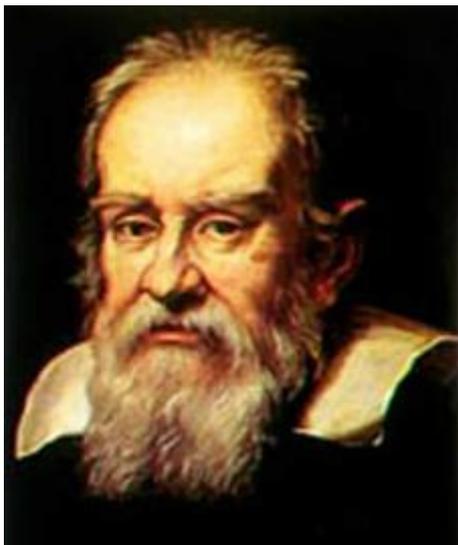
La rivelazione delle Onde Gravitazionali

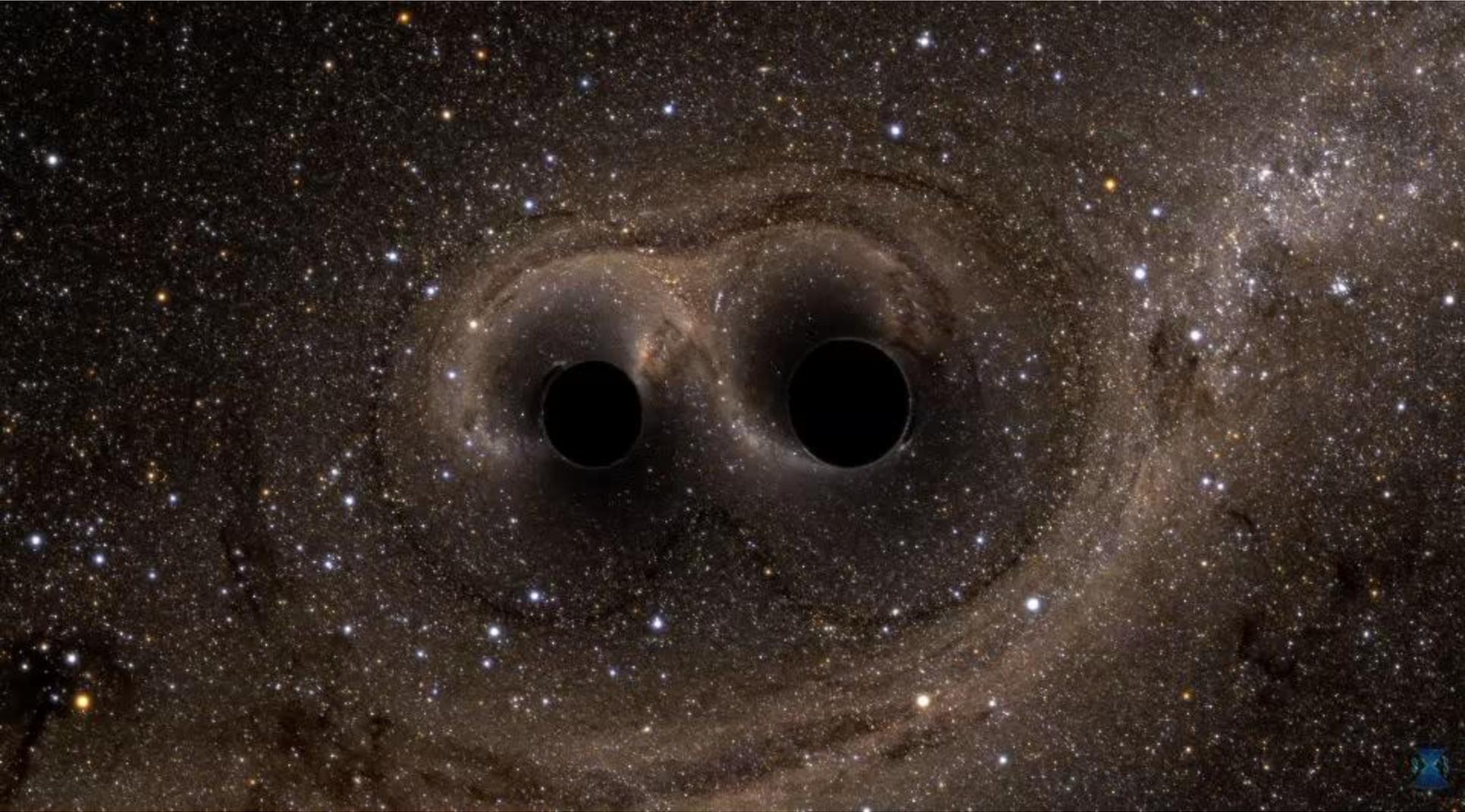


Enrico Calloni

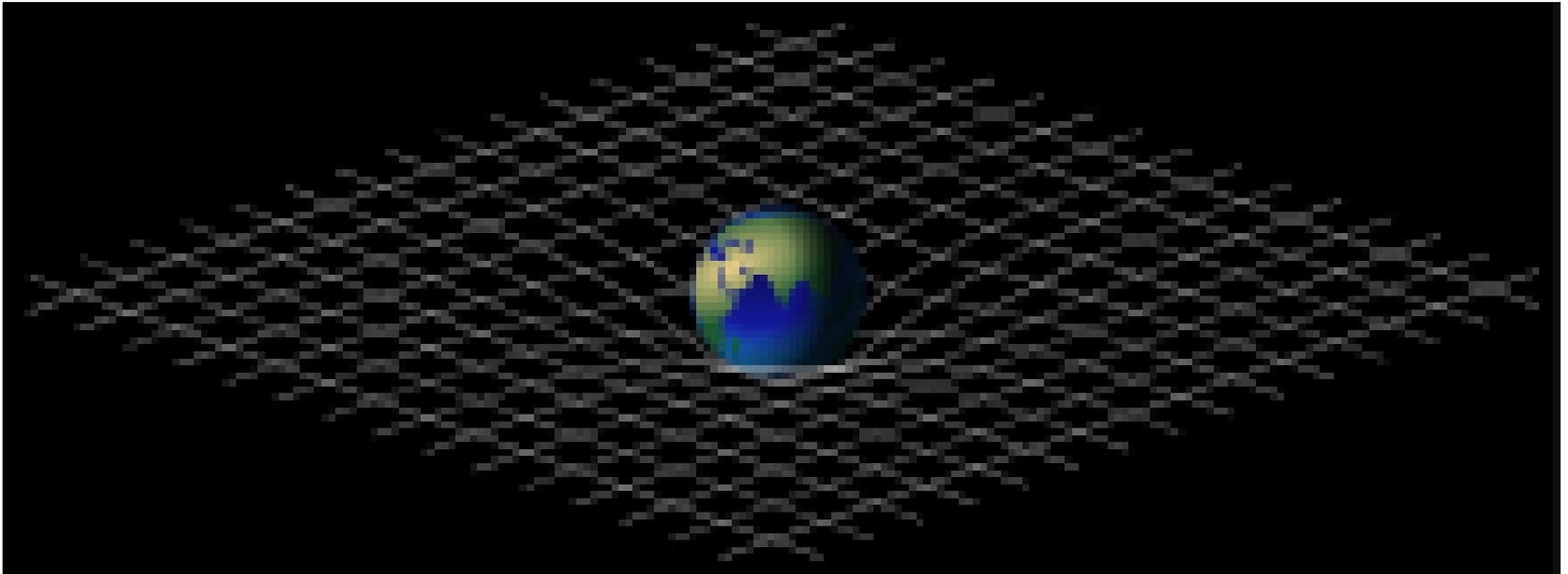


on behalf of the LIGO Scientific and VIRGO collaborations



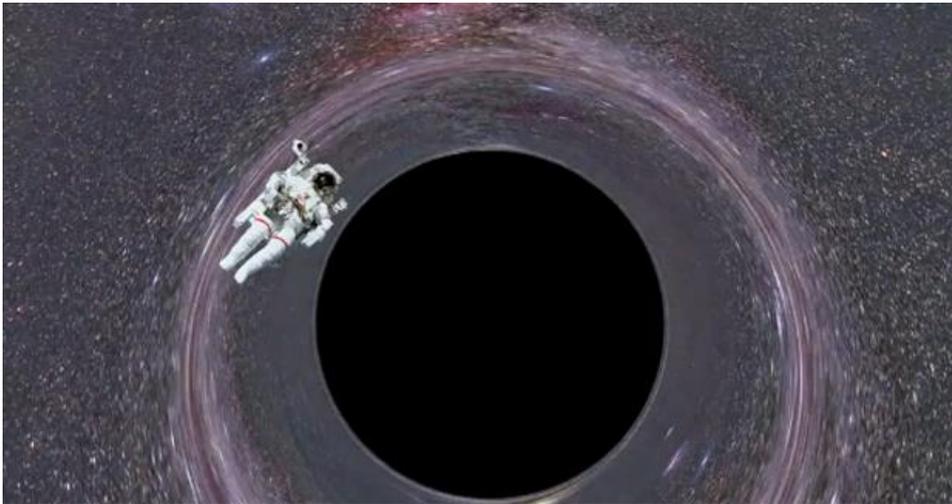


Relatività Generale



Cos'è un Buco Nero

- Un buco nero ha l'orizzonte degli eventi
- Chi va troppo vicino all'orizzonte degli eventi non torna più indietro: per lui il tempo scorre «normalmente» ma per chi lo aspetta a casa passa un tempo infinito

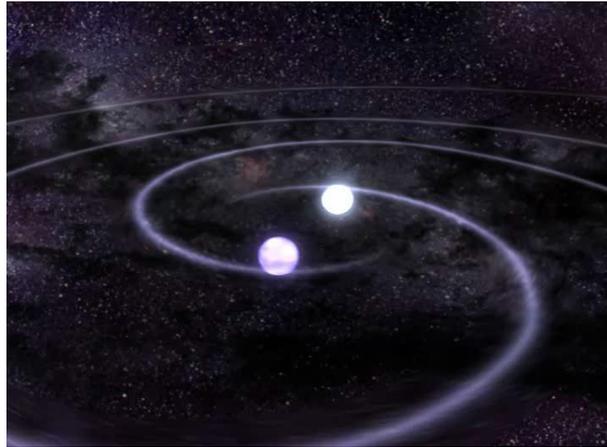


**Immagine da
Fantascienza !**

- Nessuno sa cosa avviene «oltre l'orizzonte degli eventi»
- La materia che va vicino ad un buco nero viene attratta dentro il buco nero (ovvero dentro l'orizzonte degli eventi) e il buco nero diventa più grosso

Cosa sono le onde gravitazionali

Le onde gravitazionali sono perturbazioni dello spazio tempo che si propagano alla velocità della luce



Sono generate da masse accelerate. Quelle che possiamo Rivelare sono generate da grandi masse accelerate in cataclismi cosmici, come buchi neri coalescenti, stelle di neutroni coalescenti, esplosioni di supernovae o stelle di neutroni rotanti.



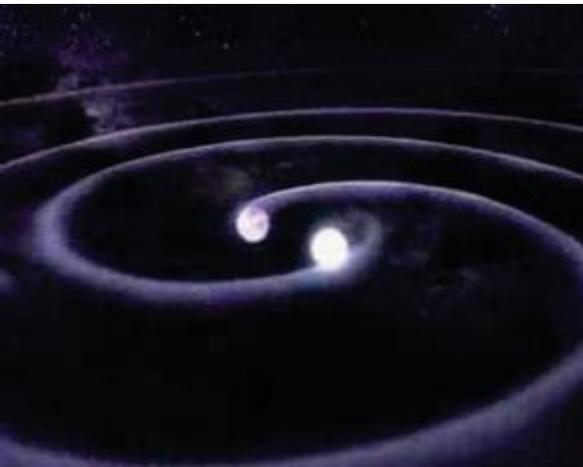
Supernovae



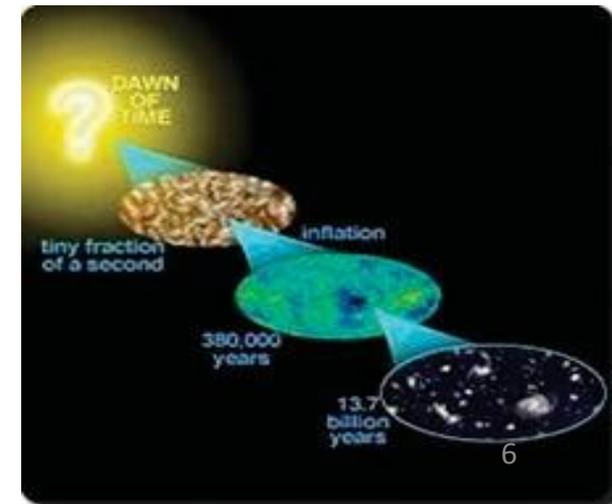
Rotating neutron stars

Le sorgenti di onde gravitazionali rilevabili

Coalescent Binary System



GW stochastic background



Proprietà delle onde gravitazionali

- Le onde gravitazionali interagiscono molto debolmente con la materia. **Possono attraversare grandi quantità di materia senza essere praticamente perturbate.** Questo significa che ci portano le informazioni da regioni dell'universo fino ad oggi impossibile da osservare con qualunque altro mezzo. Per esempio i telescopi possono vedere solo l'esterno delle galassie, degli ammassi di galassie e così via, perché la luce non può attraversare la materia.
- Per questa loro grandissima importanza astrofisica sono state cercate per più di **50 anni!**

Dalla matematica al significato fisico

- Cosa significa «perturbazioni dello spazio tempo» ?
- Nota storica: dalla prima scrittura matematica (Einstein 1918) alla comprensione fisica e a alla prima proposta di esperimento (Weber 1960) sono passati più di 40 anni!

Together with a young collaborator, I arrived at the interesting result that gravitational waves **do not exist**, though they had been assumed a certainty to the first approximation.

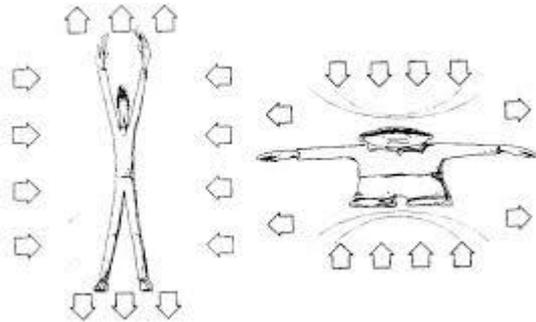


Insieme ad un giovane collaboratore sono arrivato all'interessante risultato che le onde gravitazionali **non esistono**, sebbene siano apparse certe in una prima approssimazione

A. Einstein 1936

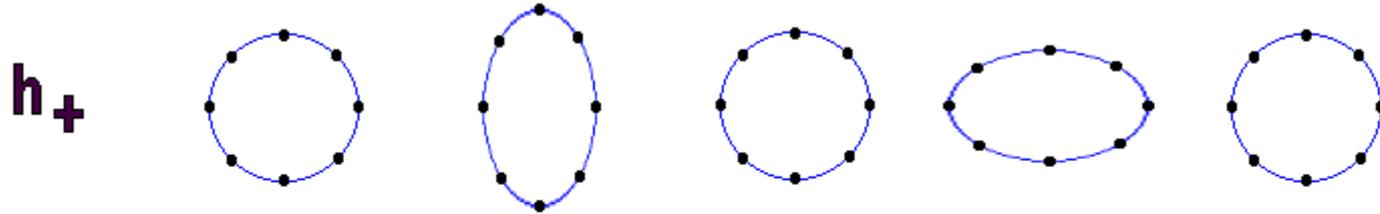
Cosa sono le onde gravitazionali

- Tutti abbiamo esperienza del campo gravitazionale: per esempio il campo gravitazionale terrestre è quello che ci fa cadere tutti per terra
- Un'onda gravitazionale, quando arriva, sposta tutto quello che investe come se strizzasse un panino, prima da una parte e poi dall'altra



- Perché noi le onde gravitazionali non le sentiamo? Perché sono debolissime. Anche quelle più forti, che come vedremo dopo sono generate da grandi cataclismi cosmici, sono così deboli che su di noi non hanno nessun effetto. Anche se proviamo a stare fermissimi su di noi ci sono tanti e tante di quelle perturbazioni che non ce la faremmo mai.

Effetto delle onde su corpi separati



Se i corpi sono disposti su un cerchio, l'onda prima allunga il cerchio in una direzione e poi nella direzione perpendicolare.

La differenza di distanza è proporzionale alla distanza dal centro:

Dimostrazione pratica....

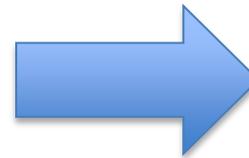
$$\Delta L = hL$$

ΔL è la differenza di distanza , h è l'ampiezza dell'onda gravitazionale
 L è la distanza iniziale

Come misurarle?

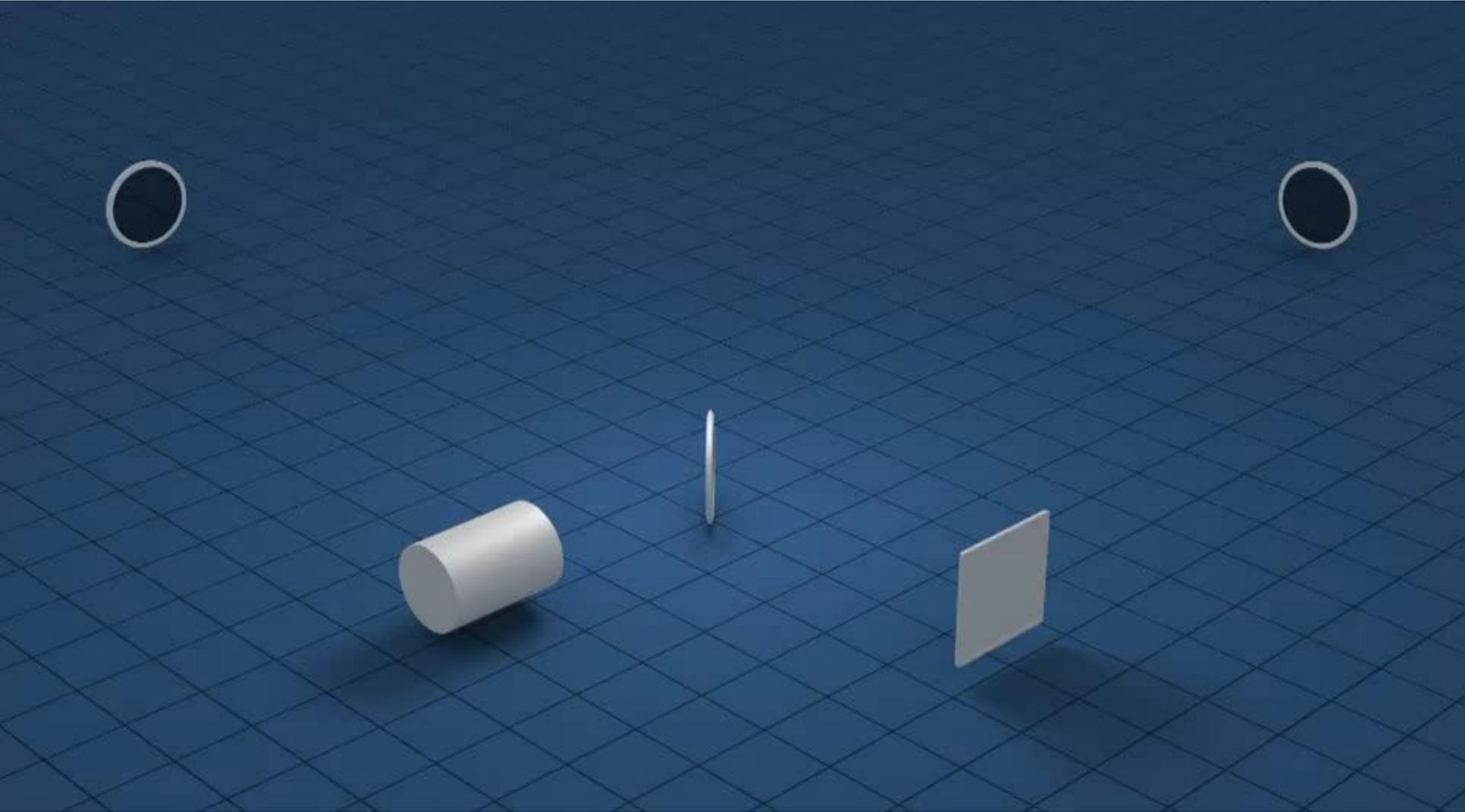
Dobbiamo misurare una variazione di distanza: se ci mettiamo in centro vediamo che la distanza diventa più grande in una direzione e più piccola nell'altra direzione, poi ritornano uguali, poi la distanza diventa più corta dove prima si era allungata e più lunga dove si era accorciata. E poi ritorna tutto uguale e si ricomincia...

Se avessimo un metro precisissimo potremmo usare quello.



**Lo abbiamo:
usiamo il
Laser**

Il rivelatore



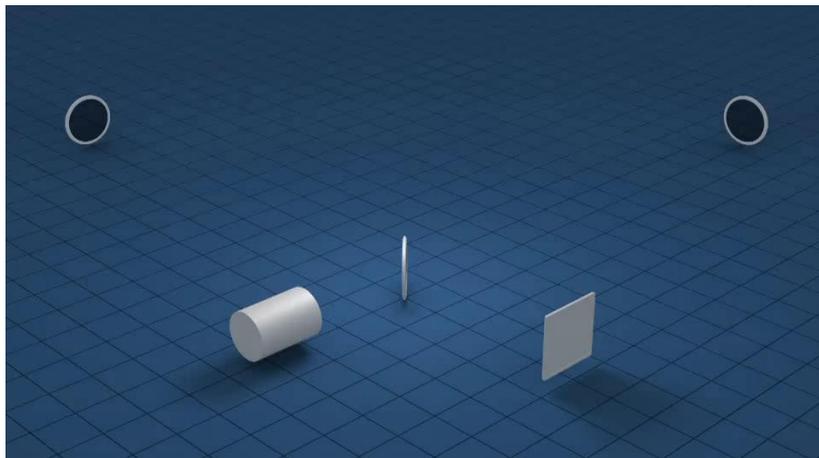
Il principio di rivelazione e la necessità di fare bracci lunghi

$$\Delta L = hL$$

Dove ΔL è la differenza di distanza

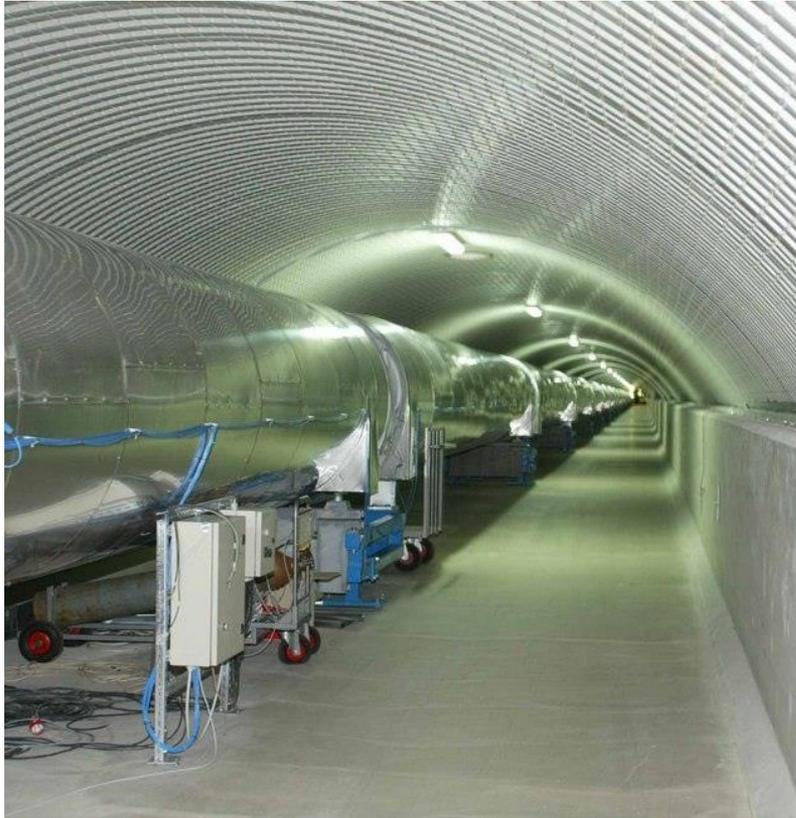
h è l'ampiezza dell'onda gravitazionale

L è la distanza iniziale, detta anche lunghezza del braccio



Bracci più
lunghi possibile

Virgo: bracci di 3 km!



*Il tubo da vuoto di
Virgo*



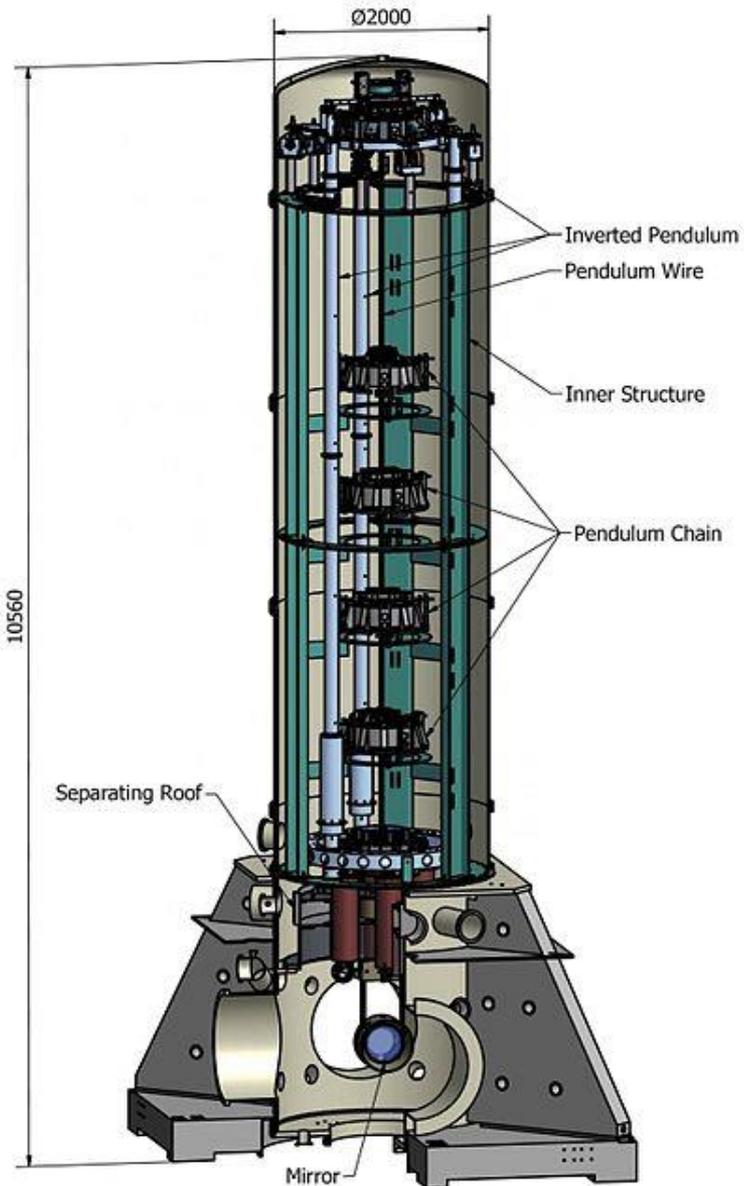
Foto aerea di Virgo

Specchio isolato da tutte le sorgenti di rumore



La catena del
Super Attenuatore

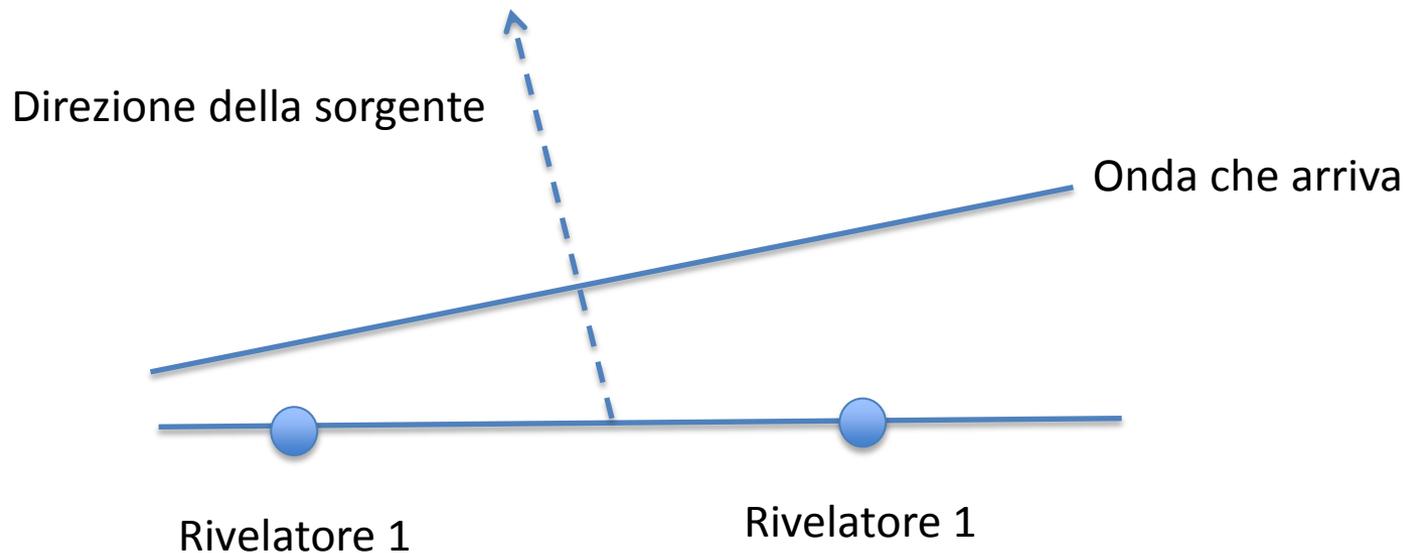
Fattore di attenuazione $> 10^{10}$



Posizione della sorgente nel cielo

I rivelatori interferometrici non sono come i telescopi che puntano una sorgente: un rivelatore da solo registra il passaggio di un'onda gravitazionale ma non sa da dove è arrivata

La posizione nel cielo può essere individuata se almeno tre rivelatori lavorano insieme e triangolano la posizione con i tempi di ritardo



La rete di detectors dal 2007



H1- Hanford – Washington state



Virgo – Cascina (Pisa) – EGO site



GEO600 – Hannover - Germany



L1- Livingston – Louisiana state

Un po' di storia recente

- *Il progetto Americano **LIGO** fu approvato nel **1992** e inaugurato nel **1999**. Con il costo di circa 300 Milioni di Dollari **LIGO** è stato il progetto più grande finanziato dalla NSF. Cominciò le operazioni nel 2002.*
- **VIRGO** fu proposto nel 1989 e approvato nel 1993. La costruzione cominciò nel 1999 e terminò nel 2003. Il primo run di dati inScience mode è stato nel 2007. L'investimento totale, fatto dall'Italia con l'INFN e dalla Francia con il CNRS fu di 80 Milioni di dollari.
- ***GEO600**, progetto Tedesco-Inglese fu proposto nel 1994. Venne accettato solo il progetto per 600 m. La costruzione iniziò nel 1995 ed il primo run scientifico fu fatto nel 2002.*
- Il primo tentativo di scambio di dati tra i rivelatori e collaborazione tra i gruppi di analisi dati risale al 2004. Il **MoU di comunione di dati e analisi comune tra GEO-LIGO-VIRGO** was signed in **2007**.

Risultati scientifici nella prima generazione

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 715:1438–1452, 2010 June 1
© 2010. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in the U.S.A.

doi:10.1088/0004-637X/715/2/1438

SEARCH FOR GRAVITATIONAL-WAVE BURSTS ASSOCIATED WITH GAMMA-RAY BURSTS USING DATA FROM LIGO SCIENCE RUN 5 AND VIRGO SCIENCE RUN 1

PHYSICAL REVIEW D **82**, 102001 (2010)

Search for gravitational waves from compact binary coalescence in LIGO and Virgo data from S5 and VSR1

PHYSICAL REVIEW D **81**, 102001 (2010)

All-sky search for gravitational-wave bursts in the first joint LIGO-GEO-Virgo run

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 715:1453–1461, 2010 June 1
© 2010. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in the U.S.A.

doi:10.1088/0004-637X/715/2/1453

SEARCH FOR GRAVITATIONAL-WAVE INSPIRAL SIGNALS ASSOCIATED WITH SHORT GAMMA-RAY BURSTS DURING LIGO'S FIFTH AND VIRGO'S FIRST SCIENCE RUN

nature

Beating the spin-down limit on gravitational wave emission from the Vela pulsar

arXiv:1104.2712v2 [astro-ph.HE] 15 Apr 2011

LETTERS

An upper limit on the stochastic gravitational-wave background of cosmological origin

The LIGO Scientific Collaboration* & The Virgo Collaboration*

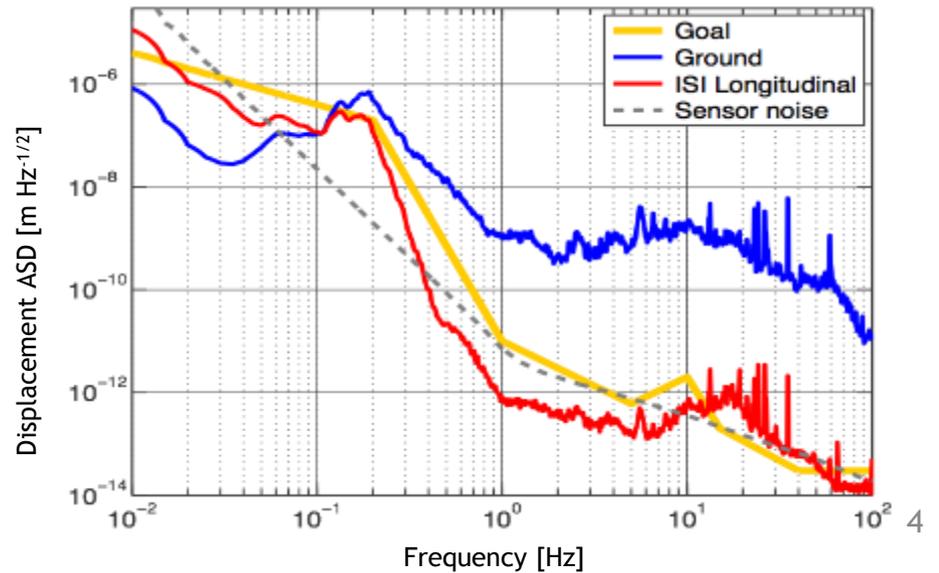
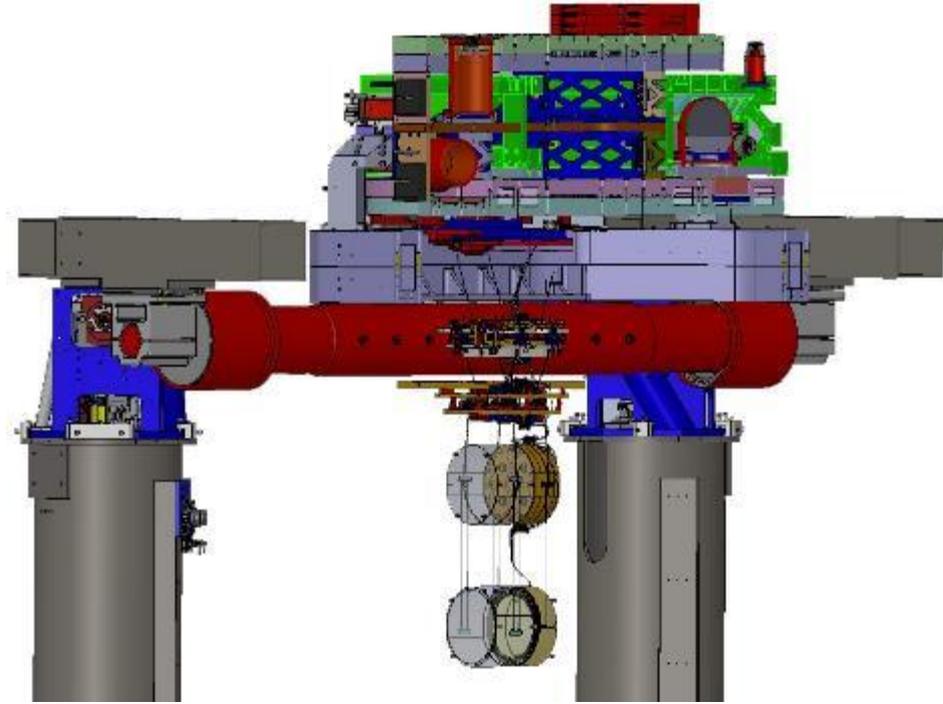
La rete dei rivelatori avanzati



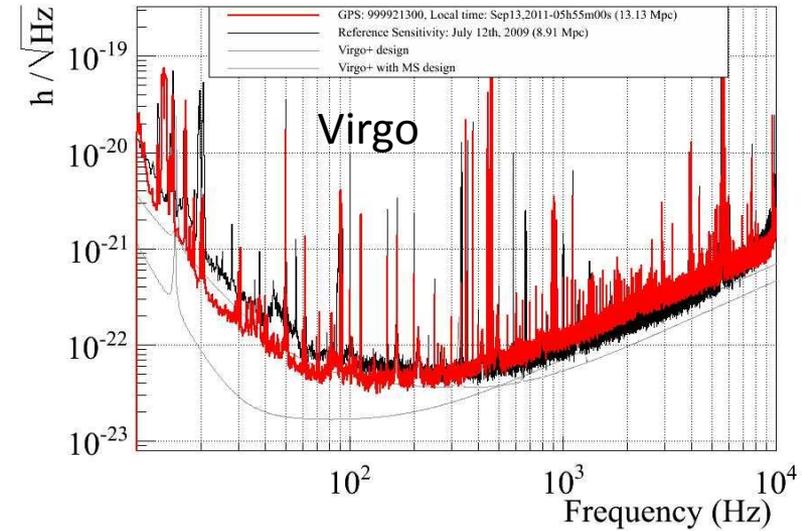
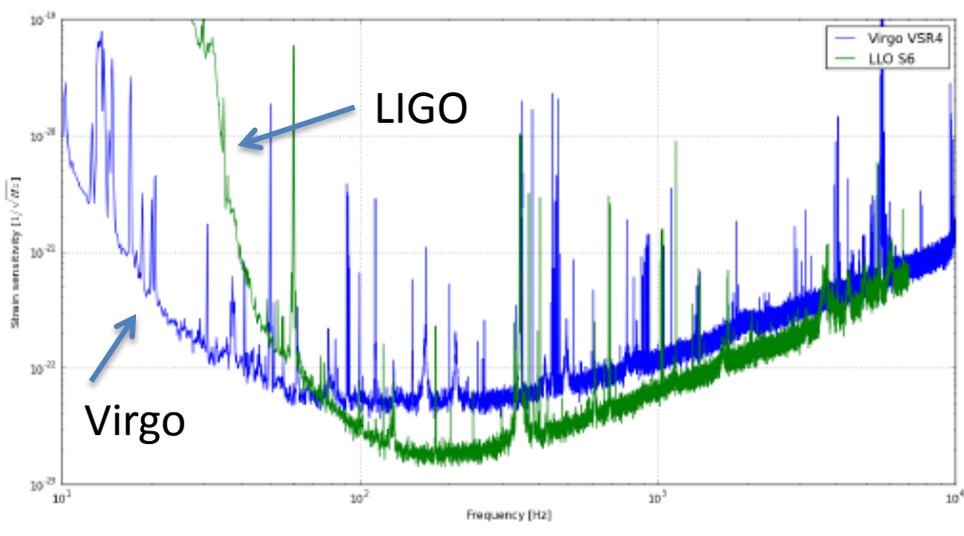
Active Seismic Isolation for in-vacuum Optical Tables



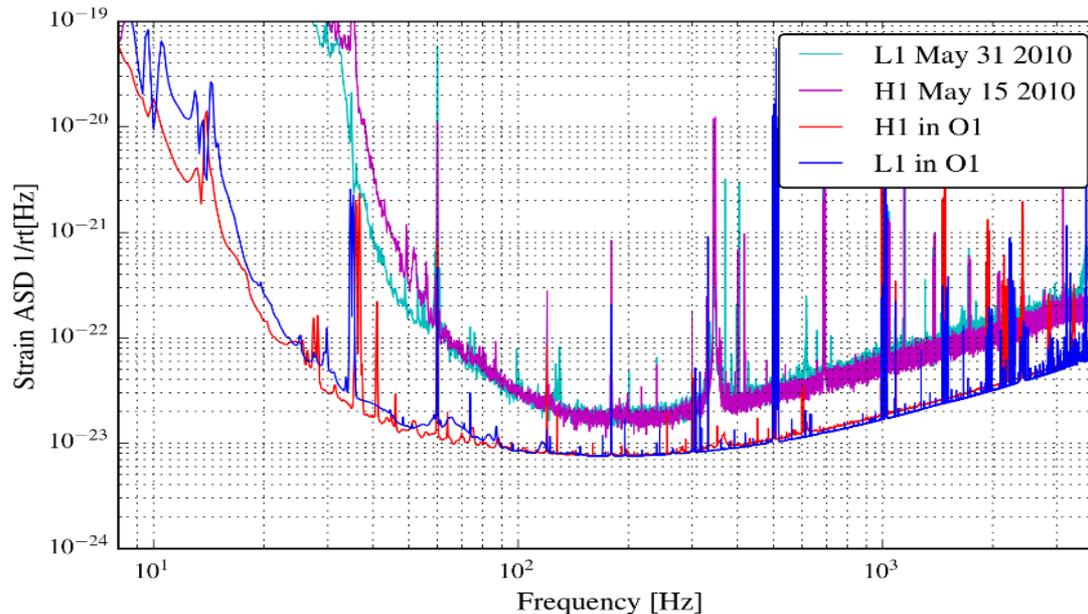
Credits to D. Hoak



LIGO e Virgo nel recente passato

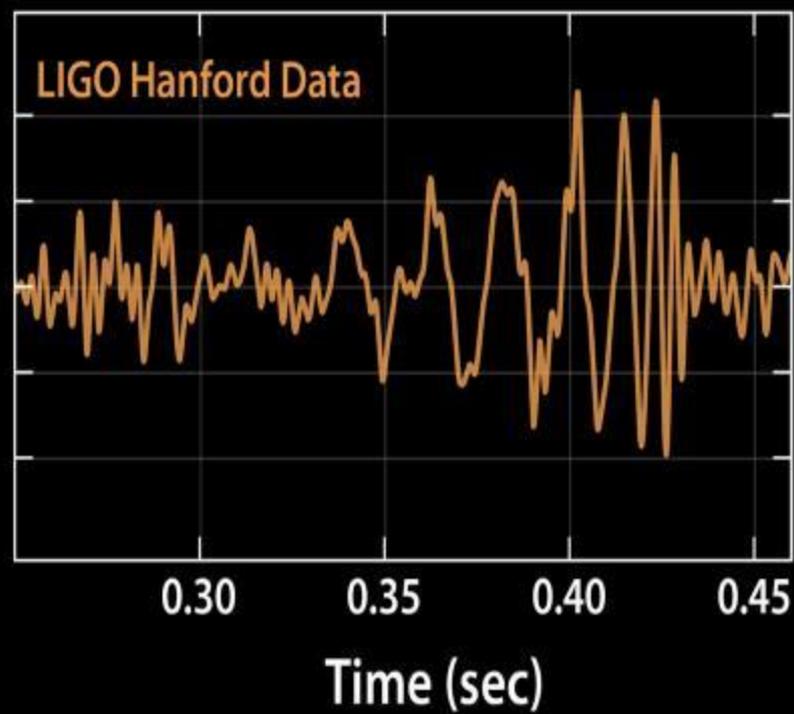
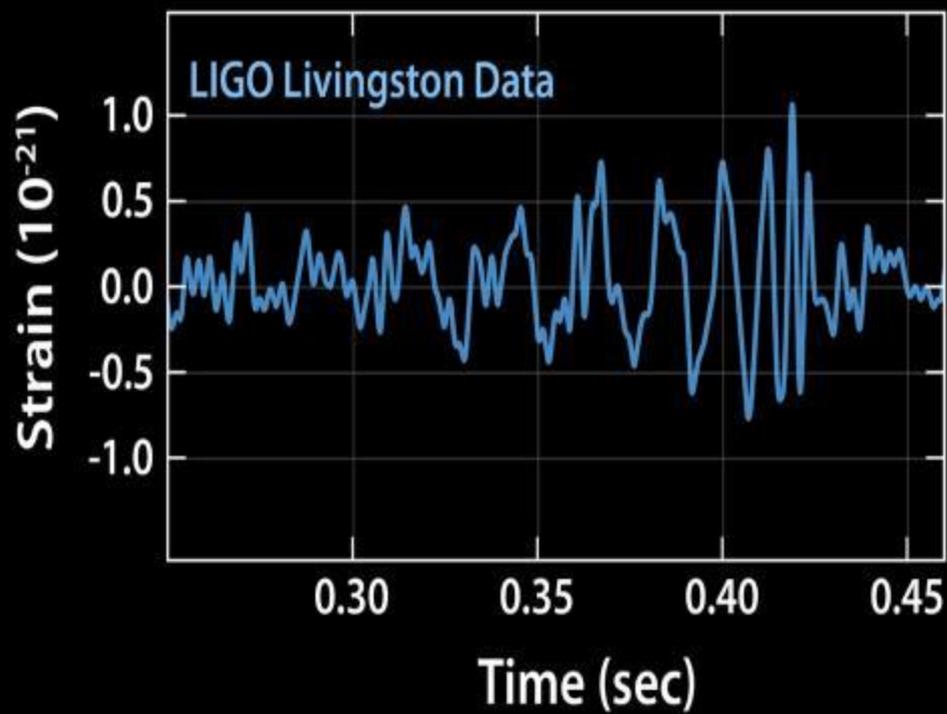


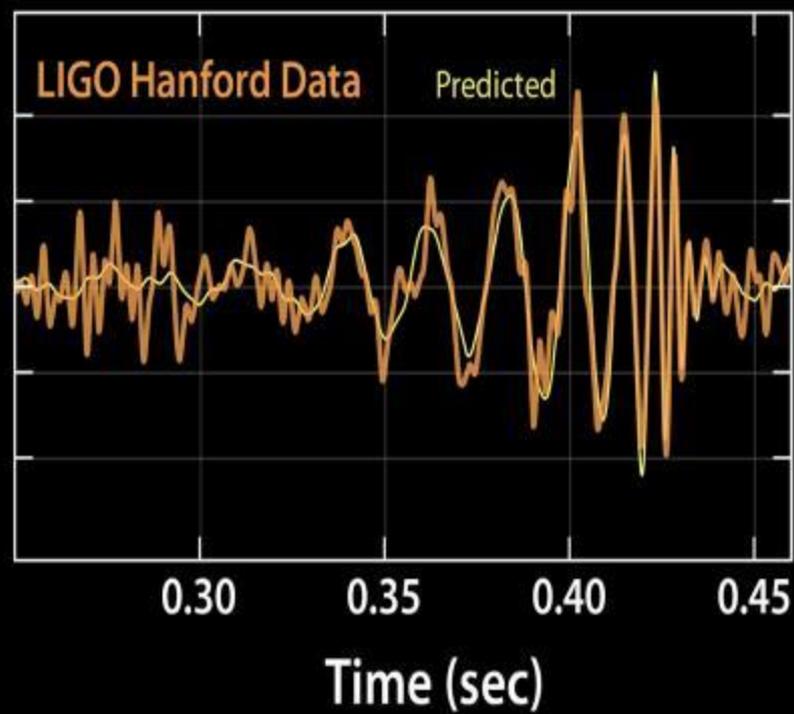
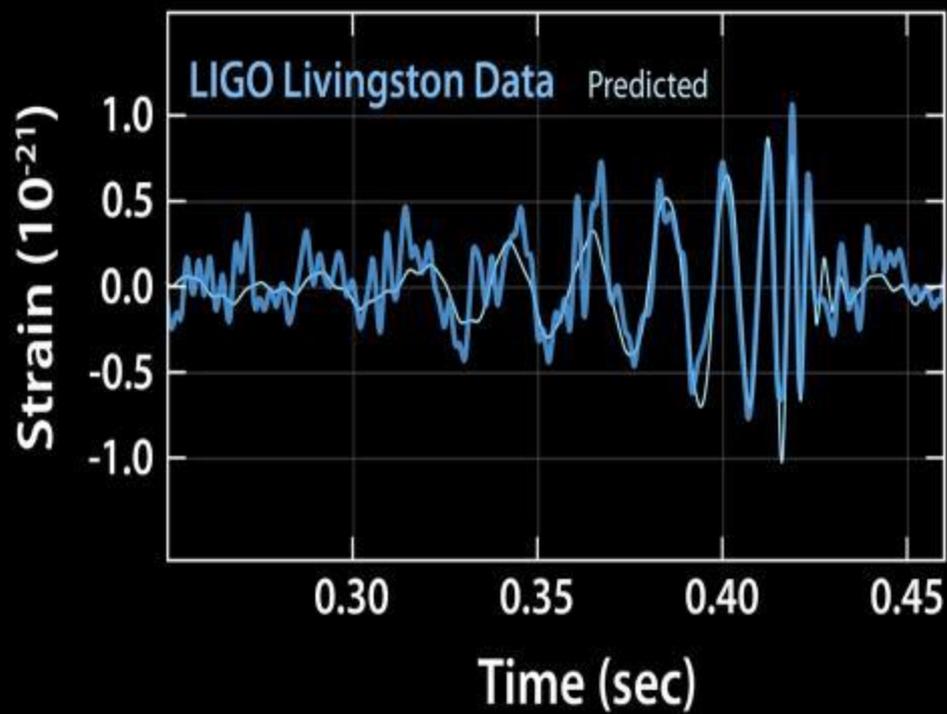
Da LIGO ad aLIGO: miglioramenti della sensibilità

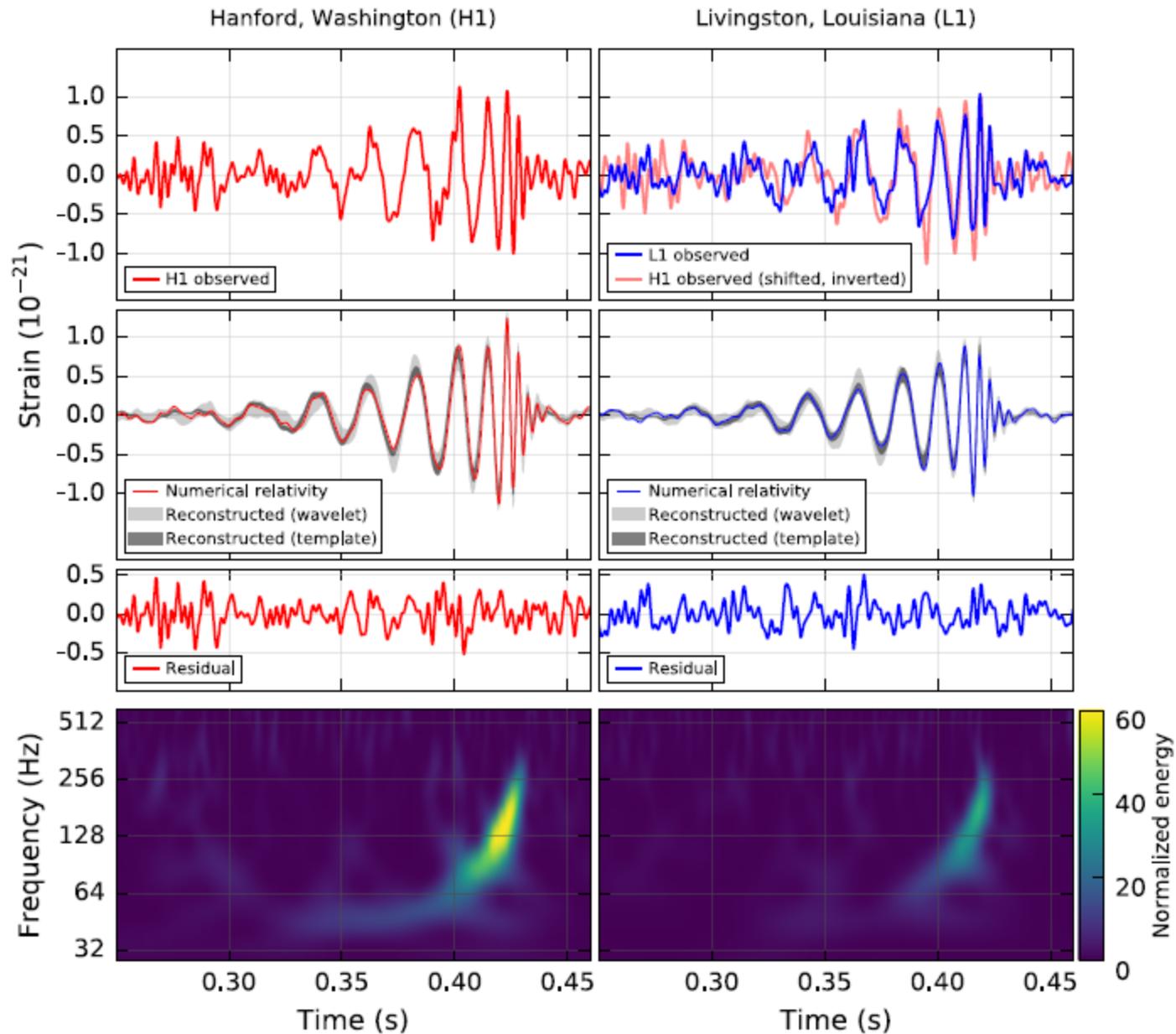


L'evento

- *Il 14 Settembre, 2015 at 09:50:45 ora di Greenwich* gli osservatori LIGO di Hanford e Livingston hanno rivelato un segnale in coincidenza
- L'evento è stato chiamato GW150914
- Esaustive investigazioni strumentali o di possibili disturbi esterni hanno confermato la **non-evidenza** che GW150914 sia un artefatto strumentale





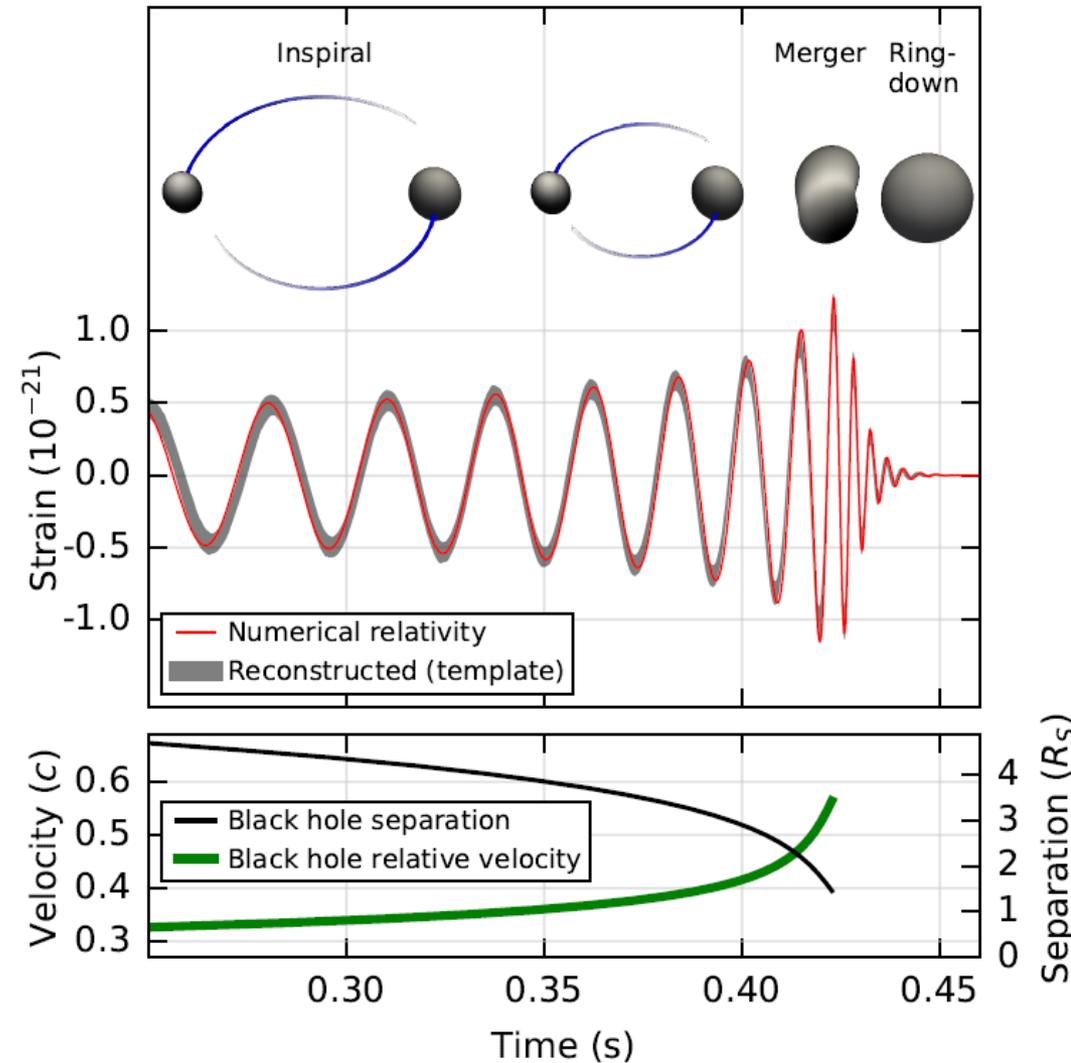


Da quando è stato visto l'evento a quando lo si è reso pubblico sono trascorsi circa 4 mesi di verifiche!

Stima dell'ampiezza di GW150914

Tutto il segnale compatibile con il segnale atteso per la coalescenza di due buchi neri

Verso la fine della coalescenza i due buchi neri ruotano uno intorno all'altro con velocità circa metà della velocità della luce!



Stima dei Parametri

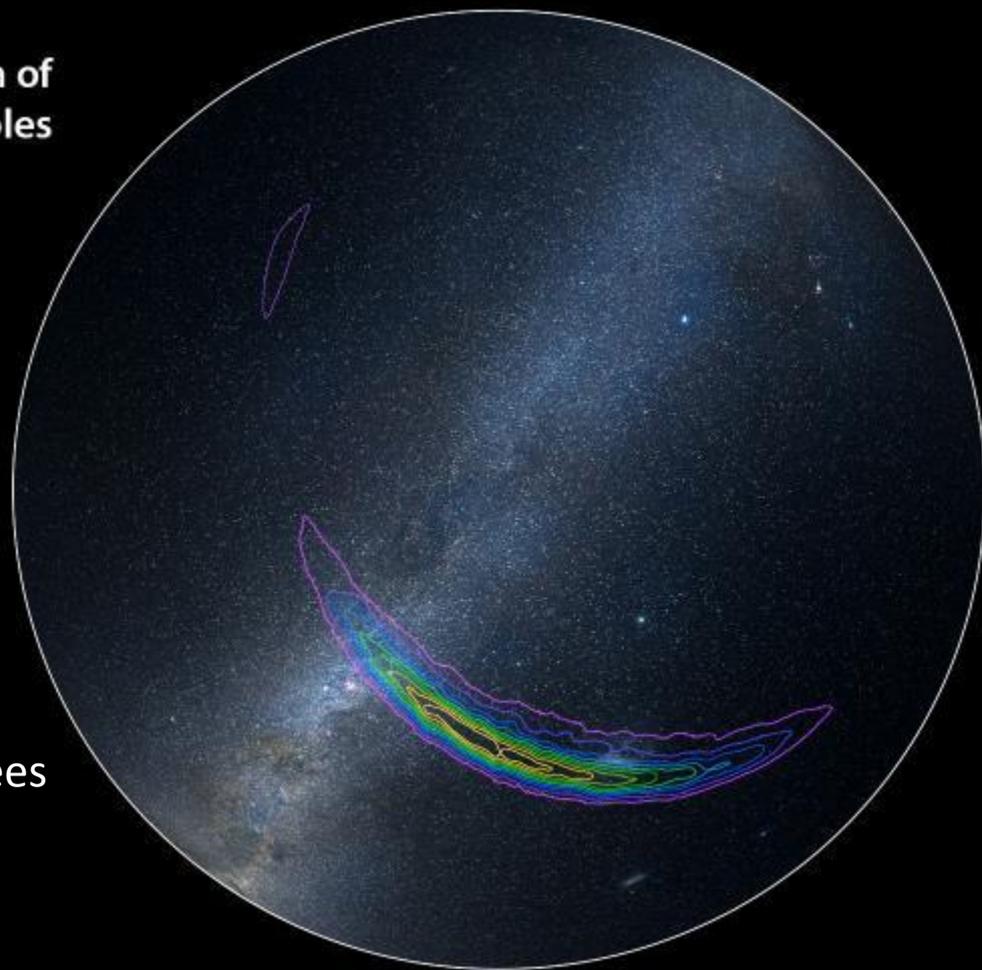
Parametri alla sorgente di GW150914

Primary black hole mass	$36^{+5}_{-4} M_{\odot}$
Secondary black hole mass	$29^{+4}_{-4} M_{\odot}$
Final black hole mass	$62^{+4}_{-4} M_{\odot}$
Final black hole spin	$0.67^{+0.05}_{-0.07}$
Luminosity distance	$410^{+160}_{-180} \text{ Mpc}$
Source redshift, z	$0.09^{+0.03}_{-0.04}$

La distanza è circa 1.3 miliardi di anni luce da noi – l'evento è accaduto circa 1.3 Miliardi di anni fa

La ricerca delle controparti con gli altri
strumenti a disposizione: telescopi e
rivelatori di particelle elementari

Probable location of
merging black holes



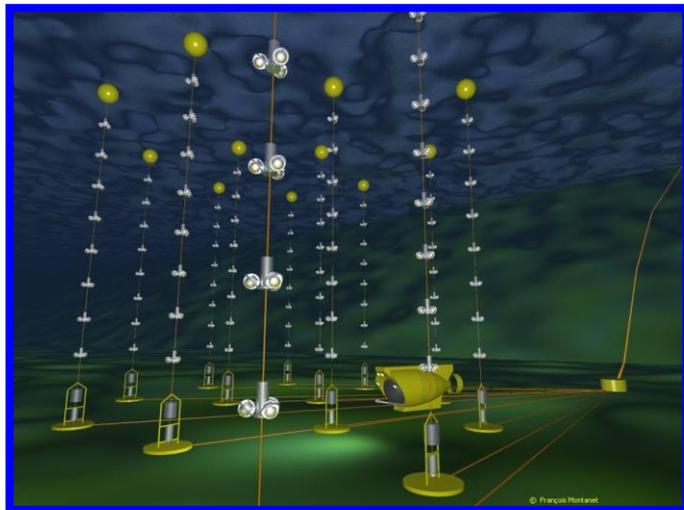
560 Square degrees

Alla ricerca delle **Controparti**

*Circa 74
Accordi di
collaborazione:
19 nazioni,
150 strumenti,*



Nello spazio per i segnali
dei raggi gamma



Sotto il mare per i segnali dei neutrini



Sulla terra
con i
telescopi

Le analisi sono ancora in corso

Uno sguardo al futuro

February 17.th 2016

Indian Government approval of Ligo-India Proposal

विज्ञप्तियां जर्दू विज्ञप्तियां फोटो निमंत्रण लेख प्रत्यायन फीडबैक विज्ञप्तियां मंगारं उन्नत खोज
Releases Urdu Releases Photos Invitations Features Accreditation Feedback Subscribe Releases Advance Search RSS Quick Search Home

पत्र सूचना कार्यालय, भारत सरकार
Press Information Bureau, Government of India

21-February 2016

A- A+

All Ministries

English Release 21-February 2016

Date 21 Month February Year 2016

[President's Secretariat](#)

2. Prime Minister of Nepal Calls on President
3. President's Greetings on the eve of Birthday of Guru Ravidasji
4. President of India's Message on the eve of Independence Day of St. Lucia

[Prime Minister's Office](#)

6. PM inaugurates Centenary Celebrations of Gaudiya Mission and Math
7. Excerpts of PM's Address at the launch of Shyama Prasad Mukherji Rurban Mission
8. Text of PM's speech at the Foundation Stone laying ceremony of Pradhan Mantri Awas Yojana in Chhattisgarh
9. PM launches National Rurban Mission
10. PM in Naya Raipur

Printer friendly Page

Email this page

Cabinet

17-February, 2016 14:55 IST

Cabinet grants 'in-principle' approval to the LIGO-India mega science proposal

The Union Cabinet chaired by the Prime Minister Shri Narendra Modi has given its 'in principle' approval to the LIGO-India mega science proposal for research on gravitational waves. The proposal, known as LIGO-India project (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory in India) is piloted by Department of Atomic Energy and Department of Science and Technology (DST). The approval coincides with the historic detection of gravitational waves a few days ago that opened up of a new window on the universe to unravel some of its greatest mysteries.

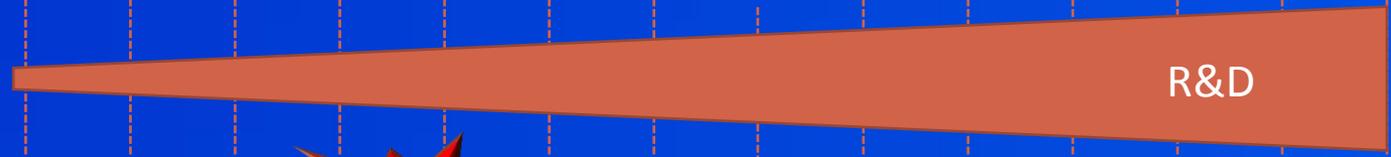
The LIGO-India project will establish a state-of-the-art gravitational wave observatory in India in collaboration with the LIGO Laboratory in the U.S. run by Caltech and MIT.

The project will bring unprecedented opportunities for scientists and engineers to dig deeper into the realm of gravitational wave and take global leadership in this new astronomical frontier.

LIGO-India will also bring considerable opportunities in cutting edge technology for the Indian industry which will be engaged in the construction of eight kilometre long beam tube at ultra-high vacuum on a levelled terrain.

The project will motivate Indian students and young scientists to explore newer frontiers of knowledge, and will add further impetus to scientific research in the country.

ET Conceptual design



R&D



First detection on advanced interferometers



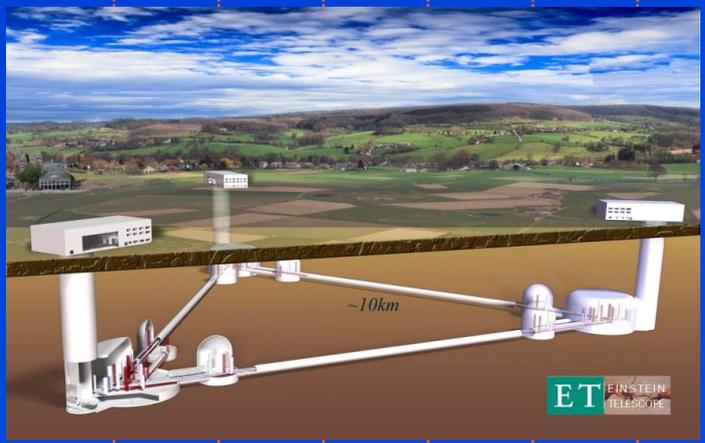
Technical design



ESFRI Roadmap



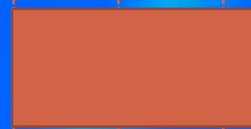
ET Observatory Funding



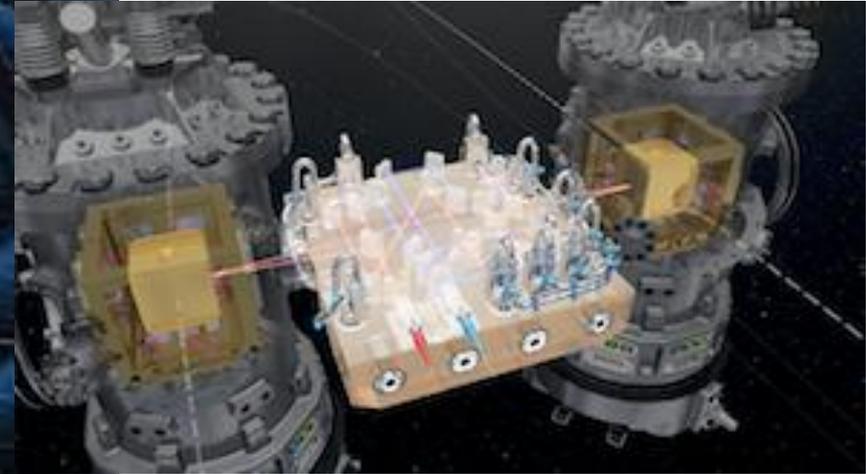
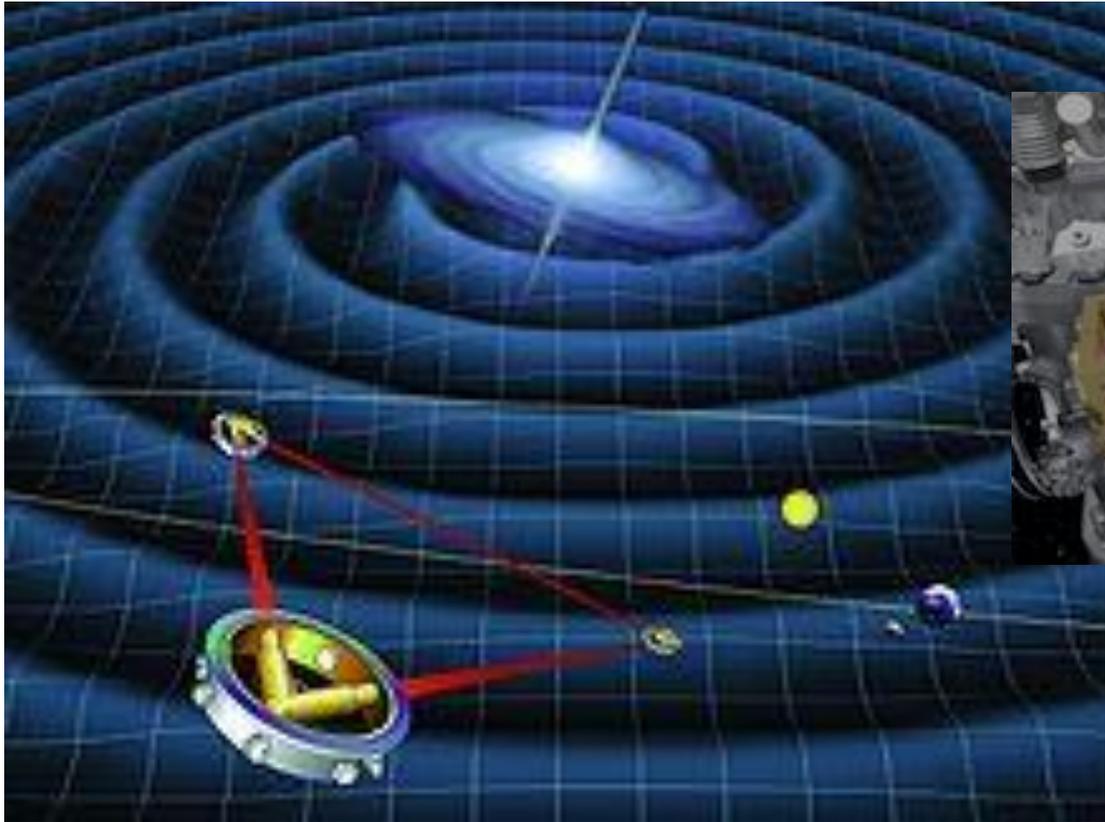
Site and infrastructure



First detector installation



La rivelazione delle onde gravitazionali rafforza fortemente i progetti spaziali come LISA



Gli specchi del dimostratore di LISA, detto LISA-Pathfinder, stanno ora volando in orbita

Schema Artistico del Rivelatore LISA

Cosa ci si aspetta dalle astronomia gravitazionale

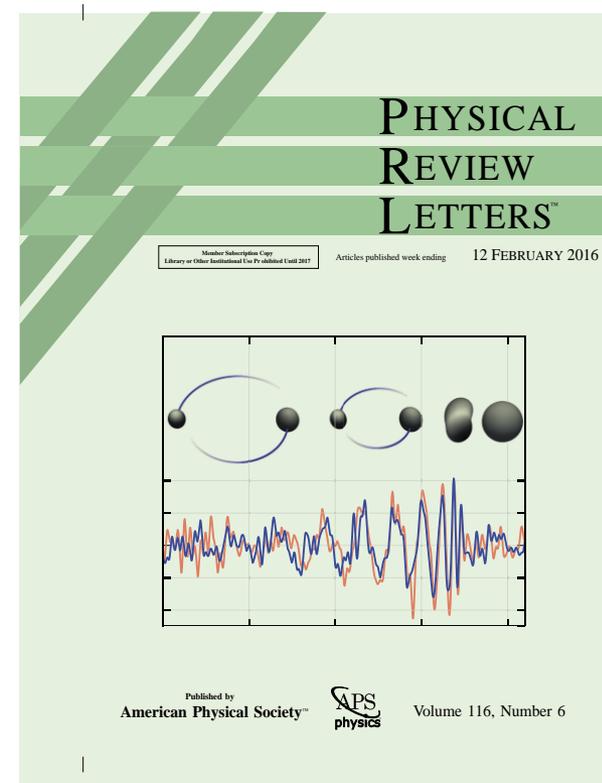
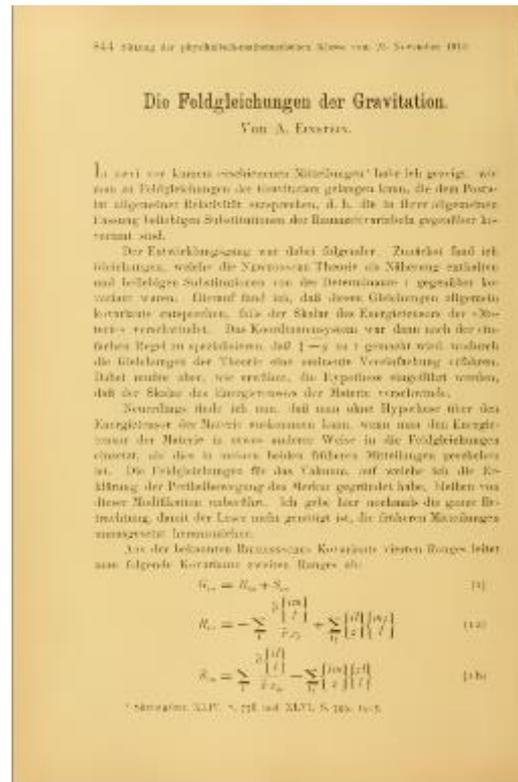
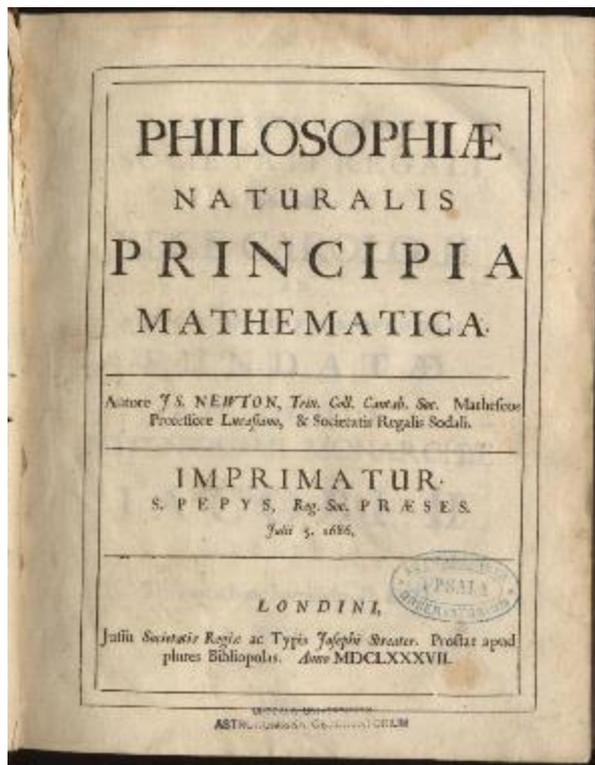
- 1) Studio della popolazione e della dinamica di buchi neri, stelle di neutroni e stelle dense
- 2) Primi studi di gravità in campo forte e primi studi di gravità quantistica
- 3)quello che ancora non si conosce



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Conclusioni



Abbiamo rivelato le onde gravitazionali
e veramente aperto una nuova
finestra sull'universo

