

# Il Premio Nobel per la Fisica 2017 e altro ancora

✍ A. Bettini 📅 30-10-2017 ↗ <http://www.primapagina.sif.it/article/674>



Rainer Weiss, Barry Barish, Kip Thorne. Credits: © The Nobel Foundation, Ill: N. Elmehed. © Nobel Media 2017

Il Premio Nobel per la Fisica 2017 è stato assegnato a Rainer Weiss, Barry Barish e Kip Thorne *“per i contributi decisivi al rivelatore LIGO e all’osservazione di onde gravitazionali”*.

La Società Italiana di Fisica è orgogliosa di aver assegnato un anno fa il suo prestigioso Premio “Enrico Fermi” a Barry Barish e Adalberto Giazotto, *“per il loro fondamentale ruolo nella prima osservazione diretta delle onde gravitazionali e per la scoperta di buchi neri binari in coalescenza”*; in particolare a Barry Barish, *“per il suo fondamentale contributo alla creazione delle collaborazioni scientifiche LIGO e LIGO-Virgo e per il suo ruolo rispetto a varie sfide tecnologiche e scientifiche la cui soluzione ha permesso la prima rivelazione delle onde gravitazionali”*, e a Adalberto Giazotto, *“per il suo contributo decisivo alla concezione e realizzazione del primo interferometro con super-attenuatori, Virgo, che ha reso possibile la ricerca di sorgenti di onde gravitazionali di bassa frequenza con una sensibilità senza precedenti”*.



Adalberto Giazotto, Luisa Cifarelli e Barry Barish alla Consegna del Premio "Enrico Fermi" 2016 a Padova. / Adalberto Giazotto, Luisa Cifarelli and Barry Barish at the awarding of the 2016 "Enrico Fermi" Prize in Padua.

Il 14 settembre 2015, LIGO registrò per la prima volta il segnale di un'onda gravitazionale, emessa da due buchi neri coalescenti. LIGO è composto da due interferometri di Michelson con bracci di 4 km, distanti tra loro circa 3 000 km negli USA. L'evento fu rivelato giusto pochi giorni dopo che LIGO aveva iniziato a prendere dati nella sua fase "advanced". Sfortunatamente, in quel momento la terza componente della rete, Advanced Virgo, non era ancora operativa. La scoperta fu pubblicata nel febbraio 2016 dalla "LIGO-Virgo Collaboration", che comprende più di 1000 autori. Tutti i vincitori del Premio hanno subito messo in evidenza che la scoperta va attribuita agli essenziali contributi dell'intera collaborazione.

Dal punto di vista teorico, le onde gravitazionali sono predette perché nessuna interazione può propagarsi a una velocità maggiore di quella della luce, come conseguenza del principio di relatività. E come tali lo furono da H. Poincaré, nella memoria sulla relatività presentata all'Académie de Sciences a Parigi il 5 giugno 1905. Le battezzò "ondes gravifique". Fu però A. Einstein nel 1918 a predirle come perturbazioni tensoriali della metrica dello spazio-tempo, nell'ambito della relatività generale, e a stabilire l'espressione che lega le loro proprietà con il momento di quadrupolo della sorgente. La scoperta conferma pienamente le predizioni di Einstein e, di conseguenza, la relatività generale in un campo gravitazionale molto intenso. Inoltre, l'osservazione apre la via all'astrofisica con un nuovo messaggero, appunto le onde gravitazionali.

Il metodo interferometrico di rivelazione fu proposto in Russia nel 1962 da M. E. Gertsenshtein e V. I. Pustvoit, che suggerirono di cercare piccoli spostamenti del sistema di frange in un interferometro di Michelson, formato di specchi appesi. Progetti di ricerca e sviluppo (R&D) furono condotti in Europa e negli USA alla fine degli anni 1960 e durante gli anni 1970. Nel decennio successivo, la tecnica era diventata in alcuni Paesi abbastanza matura per portare all'attenzione delle Agenzie finanziatrici programmi di costruzione di interferometri di Michelson con bracci di chilometri.

Negli Stati Uniti, nel 1984, il California Institute of Technology (Caltech) e il Massachusetts Institute of Technology (MIT) firmarono un accordo per un progetto congiunto e per la costruzione di LIGO, sotto la direzione di R. Drever, R. Weiss e K. Thorne, a partire dai precedenti contributi dei tre

scienziati.

Ronald Drever aveva costruito piccoli prototipi a Glasgow e poi a Caltech. Nel 1983, egli sviluppò il concetto di ricircolazione della luce che risultò fondamentale per aumentare la lunghezza efficace dei bracci di più di un ordine di grandezza, con corrispondente aumento di sensibilità (senza del quale la rivelazione non sarebbe stata possibile). È triste che Drever abbia potuto gioire per aver visto i primi segnali solo per poco, avendoci lasciato il 7 marzo 2017.

Rainer Weiss elaborò in profondità una fondamentale analisi, completata nel 1972, di tutte le principali sorgenti di rumore che un interferometro avrebbe incontrato e sviluppò il disegno di un rivelatore di onde gravitazionali capace di superare quelle sorgenti di rumore. Saranno queste le linee guida nelle seguenti due decadi per il programma di R&D che poi condurrà a LIGO.

Kip Thorne fu importante nello stimolare la creazione di un gruppo sperimentale di gravitazione a Caltech. Sul piano scientifico, egli contribuì col suo gruppo al calcolo, a partire dalla teoria di Einstein, dell'intensità ed evoluzione temporale dei segnali aspettati da alcune sorgenti astrofisiche. Nel 1990 la National Science Foundation (NSF) approvò la costruzione di LIGO e nel 1991 il Congresso USA assegnò il primo finanziamento. Tuttavia il progetto non avanzò significativamente. Di conseguenza, nel 1994, la NSF decise di cambiare la leadership, incaricando come nuovo Direttore B. Barish.

Barry Barish riorganizzò completamente la struttura manageriale di LIGO, dopo un'analisi approfondita dei problemi tecnici, scientifici e organizzativi, e sviluppò un piano di lavoro prevedendo le risorse necessarie per il lungo periodo della costruzione. Egli inoltre cambiò alcune delle scelte scientifiche precedenti là dove era necessario. Il programma di Barish fu di costruire LIGO in due fasi: la prima, "Initial LIGO" sarebbe servita per comprendere e controllare completamente la tecnologia; la seconda, "Advanced LIGO" avrebbe dovuto raggiungere la sensibilità necessaria alla rivelazione delle onde gravitazionali. La costruzione di Initial LIGO fu completata nel 1999. Completato il rodaggio, seguì un periodo di presa dati dal 2002 al 2005. Il progetto per Advanced LIGO fu sviluppato dal 1999 al 2003, il corrispondente programma di R&D fu definito e approvato dalla NSF nel 2003. Le operazioni di Initial LIGO si conclusero nel 2010 e nello stesso anno iniziò l'installazione di Advanced LIGO. Le due antenne furono completate nel 2014, rivelando il primo segnale, l'ormai famoso GW150914, nel 2015.

In Italia, iniziando negli anni 1980s, Adalberto Giazotto insisteva sull'estrema importanza di spingere la sensibilità a basse frequenze, giù sino a 10 Hz. Infatti, mentre i segnali da collassi di supernova sono nell'ordine del kHz, dove erano in funzione le antenne acustiche, molti altri fenomeni astrofisici hanno luogo a frequenze più basse. Giazotto iniziò a sviluppare i suoi superattenuatori a cui sospendere gli specchi in una piccola baracca della Sezione INFN di Pisa a San Piero a Grado. Da questi studi nascerà Virgo.



L'interferometro Virgo, vicino a Cascina (Pisa). / Virgo interferometer near Cascina (Pisa).

Nel 1972, fu stabilita una collaborazione franco-italiana per la costruzione di un interferometro con bracci di 3 km. Seguì l'approvazione del CNRS in Francia e dell'INFN in Italia. Come LIGO, Virgo fu concepito con un programma in due fasi. La costruzione dell'“Initial Virgo” iniziò nel 1996 e finì nel 2004. Nel 2006, dopo il rodaggio, iniziò la presa dati. Un accordo formale di collaborazione tra LIGO e Virgo, stimolato in particolare da Giazotto, fu firmato nel 2007, e si organizzarono periodi di presa dati contemporanei. L'“Advanced Virgo” fu finanziato a dicembre 2009 e la costruzione iniziò nell'autunno 2011. Dopo aver ultimato la costruzione e il rodaggio, il rivelatore si agganciò a LIGO il 1° agosto 2017 nella raccolta dati. Due straordinarie rivelazioni di onde gravitazionali subito seguirono, immediatamente una dopo l'altra.

La prima fu l'osservazione, il 14 agosto 2017, del segnale dell'onda gravitazionale transiente dalla coalescenza di due buchi neri di masse stellari. La rete di tre rivelatori migliorò la localizzazione nel cielo della sorgente, riducendone l'area da 1160 gradi al quadrato, usando i due rivelatori LIGO, a 60 gradi al quadrato usando i tre rivelatori. Ciò permise le successive ricerche di 25 osservatori per la rivelazione di neutrini, raggi gamma, raggi X, nell'ottico e nel vicino ultravioletto. Non fu osservata alcuna controparte, come del resto aspettato dalla formazione di un buco nero, ma l'astrofisica multi-messaggero era nata. Inoltre, grazie all'essere l'orientazione di Virgo diversa da quella delle due antenne di LIGO, per la prima volta divenne possibile testare la polarizzazione delle onde gravitazionali, aprendo una nuova classe di test fenomenologici della gravità.

Ancora più spettacolare fu l'osservazione da parte dei tre rivelatori, solo tre giorni dopo, del segnale gravitazionale dallo spiraleggiare di una binaria di neutroni, resa pubblica in una conferenza stampa lo scorso 16 ottobre. La sorgente, localizzata in una regione di cielo di 28 gradi al quadrato, aveva una distanza di luminosità di 40 Mpc. 1.7 s dopo la coalescenza, il Gamma-ray Burst Monitor

del Gamma-ray Space Telescope Fermi rivelò il lampo gamma (questa volta atteso), confermato da Integral, seguito dall'identificazione delle componenti transienti attraverso lo spettro elettromagnetico. I rivelatori di neutrini cercarono un segnale, ma, come atteso data la distanza, non lo trovarono. L'osservazione congiunta gravitazionale ed elettromagnetica ora iniziata aprirà nuove prospettive all'astrofisica, alla cosmologia e alla fisica della gravitazione.

Scopri di più

## The Nobel Prize in Physics 2017 and even more

The Nobel Prize in Physics 2017 was awarded to Rainer Weiss, Barry Barish and Kip Thorne *“for decisive contributions to the LIGO detector and the observation of gravitational waves”*.

The Italian Physical Society (SIF) is proud to have awarded more than one year in advance its prestigious “Enrico Fermi” Prize to Barry Barish and Adalberto Giazotto *“for their fundamental role in the first direct detection of gravitational waves and the discovery of binary black hole mergers”*; in particular to Barry Barish, *“for his fundamental contributions to the formation of the scientific collaborations LIGO and LIGO-Virgo and for his role in addressing various technological and scientific challenges whose solution led to the first detection of gravitational waves”*, and to Adalberto Giazotto, *“for his decisive contributions in conceiving and realizing the first interferometer with super-attenuators, Virgo, which made possible the quest for gravitational wave sources with an unprecedented sensitivity at low frequency”*.

On 14 September 2015, LIGO registered for the first time the signal of a gravitational wave, emitted by two coalescing black holes. LIGO is composed of two Michelson interferometers, with 4 km long arms, at about 3 000 km distance in the USA. The event was detected only a few days after LIGO had started data taking in its Advanced phase. Unfortunately, at that date, the third component of the array, Advanced Virgo in Italy, was not yet operational. The discovery was published in February 2016 by the LIGO-Virgo Collaboration, which is composed by more than 1000 authors. All the Nobel Prize awardees have immediately stressed that the discovery must be credited to the outstanding contributions of the whole collaboration.

From the theoretical point of view, the existence of gravitational waves is expected, because no interaction can propagate with a speed larger than light, as a consequence of the relativity principle. As such, they were predicted by H. Poincaré in his “mémoire” on relativity presented to the Académie de Sciences in Paris on the 5<sup>th</sup> of June 1905. He named them “ondes gravifique”. However, it was A. Einstein to predict those waves as tensor perturbations of the space-time metric, in the framework of general relativity, and to establish the correct formula linking their properties to the quadrupole moment of the source, in 1918. The discovery completely validates Einstein’s predictions and, consequently, general relativity in a very strong gravitational field. In addition, it is a breakthrough opening the way to astrophysical observations based on a novel messenger, gravitational waves.

The interferometric detection method was proposed in Russia in 1962 by M. E. Gertsenshtein and V.

I. Pustvoit, who suggested to look for small shifts in the fringe pattern in a Michelson interferometer, formed between freely hung mirrors. R&D projects were developed in the USA and in Europe in the late 1960s and in the 1970s. In the subsequent decennium, the technique became mature enough in a number of Countries for raising strong cases to the Funding Agencies for the construction of Michelson interferometers of kilometre long arms.

In the USA, in 1984, the California Institute of Technology (Caltech) and the Massachusetts Institute of Technology (MIT) signed an agreement for the joint design and construction of LIGO, under the leadership of R. Drever, R. Weiss and K. Thorne, building on previous achievements of the three scientists.

Ronald Drever had built small prototypes at Glasgow and then at Caltech. In 1983, he developed the concept of light recycling that turned out to be fundamental in increasing the effective lengths of the interferometer by more than one order of magnitude, with a consequent gain in sensitivity, without which the detection would not have been possible. Sadly, Drever could not joy long of having seen the first signals and passed away on March 7, 2017.

Rainer Weiss performed a fundamental in-depth analysis, completed in 1972, of the major sources of noise that an interferometer would encounter and developed a detailed design for a gravitational wave detector that would surmount those noises. This became a blueprint for two decades of R&D leading to LIGO.

Kip Thorne was instrumental in triggering the creation of an experimental gravitational wave group at Caltech. Scientifically, he contributed with his group to the calculations, starting from the Einstein theory, of the intensity and time evolution of the expected signals from some astrophysical sources.

In 1990, the NSF approved the LIGO construction, and in 1991 the USA Congress appropriated the first funding. However, the project did not advance significantly. Consequently, in 1994, the NSF decided to change the leadership appointing B. Barish as the new director.

Barry Barish completely reorganized the LIGO governance, after an in-depth analysis of the scientific, technical and managerial problems, and developed a detailed work plan including the resources needed over the long construction period. Moreover, he changed, where deemed necessary, the ongoing scientific choices. Barish's programme was to build LIGO in two stages: the first one, "Initial LIGO", would provide the complete verification of the technology; the second one, "Advanced LIGO", would reach the sensitivity necessary for gravitational waves detection. The construction of Initial LIGO was completed in 1999, its commissioning in 2002. The data taking followed from 2002 to 2005. The Advanced LIGO design was developed from 1999 to 2003, the corresponding R&D programme defined and approved by the NSF in 2003. Initial LIGO operations were completed in 2010 and in the same year Advanced LIGO installation started. The two detectors were completed in 2014, getting the first signal, the now famous GW150914, in 2015.

In Italy, starting in the 1980s, Adalberto Giazotto was pioneering the idea of the extreme importance to push the sensitivity at low frequency, down to 10 Hz. Indeed, while the signals of supernova collapses are in the kHz range, in which the acoustic antennas were working, much more astrophysical phenomena develop at lower frequencies. Giazotto started to develop his superattenuators to suspend the mirrors in the small barrack of the INFN Unit of Pisa at San Piero a Grado, from which Virgo will be born. A French-Italian collaboration to build it with 3 km long arms was established in 1992, followed by the approval of the project by the CNRS in France and the INFN in Italy. As LIGO, Virgo was conceived as a two-stage programme. The "Initial Virgo" construction started in 1996. In 2004, the construction was finished and, after commissioning, in 2006 physics runs started. A formal collaborative agreement between LIGO and Virgo, pushed in particular by Giazotto, was established in 2007, and periods of simultaneous data taking were organised. "Advanced Virgo" was funded in December 2009, starting construction in Autumn 2011

and, after completion and commissioning, joined LIGO in the physics run on August 1<sup>st</sup> 2017. Two breakthrough detections of gravitational waves, one soon after the other, quickly followed.

First came on August 14, a transient gravitational wave signal produced by the coalescence of two stellar mass black holes. The network of three detectors improved the sky localization of the source, reducing its area from 1160 squared degrees using only the two LIGO detectors to 60 squared degrees using all three detectors. This allowed follow-up observations conducted by 25 facilities in neutrinos, gamma rays, X rays, and in optical and near infrared. No counterpart was reported, as expected from the formation of a black hole, but multimessengers astrophysics was born. In addition, for the first time, having Virgo a different orientation compared to those of LIGO, it became possible to test the gravitational-wave polarizations, thus enabling a new class of phenomenological tests of gravity.

Even more spectacularly, only three days afterwards, was the observation, made public in a press conference on October 16, of the gravitational signal from a binary neutron star inspiral was observed by the three detectors. The source was localized within a sky region of 28 squared degrees and had a luminosity distance of 40 Mpc. 1.7 s after the coalescence, the Gamma-ray Burst Monitor of the Gamma-ray Space Telescope Fermi detected the (this time expected) gamma-ray burst, confirmed by Integral, followed by identification of transient counterparts across the electromagnetic spectrum. Neutrino detectors searched for a signal, but, as expected given the distance, did not observe any. The joint gravitational and electromagnetic observation that is starting now will open new insight in astrophysics, cosmology and the physics of gravity.

Learn more about