

IN EVIDENZA/HIGHLIGHTS

Giovanni Losurdo

Advanced Virgo. Studiare la gravità e l'universo nella terra di Galileo

Advanced Virgo.

Investigating gravity and the universe in the land of Galileo

INFN Firenze & European Gravitational Observatory

Riassunto. Advanced Virgo, rivelatore interferometrico di onde gravitazionali di seconda generazione, è in fase avanzata di costruzione e comincerà a prendere dati nel 2016. Insieme ad Advanced LIGO realizzerà un network mondiale che ha l'ambizione di aprire una nuova finestra osservativa sull'universo.

Parole chiave. Gravità, universo, onde gravitazionali, rivelatori interferometrici.

La ricerca delle onde gravitazionali è certamente una delle sfide scientifiche più entusiasmanti e complesse dei nostri giorni. E così come un cannocchiale imperfetto consentì ad una mente geniale e anticonformista di scoprire i satelliti di Giove, 500 anni dopo una enorme antenna interferometrica osserva l'universo dalla terra di Galileo, cercando di captare l'elusiva radiazione prevista da Einstein quasi un secolo fa.

Abstract. Advanced Virgo, a second-generation interferometric gravitational wave detector, is at an advanced stage of construction and will start taking data in 2016. Together with Advanced LIGO it will constitute a worldwide network, with the ambition of opening a new observation window on the universe.

Keywords. Gravity, universe, gravitational waves, interferometric detectors.

The search for gravitational waves is certainly one of the most exciting and complex scientific challenges of our times. And, just as an imperfect telescope once allowed a brilliant and unconventional mind to discover the satellites of Jupiter, now, 500 years later, a huge interferometric antenna is observing the universe from Galileo's homeland and trying to capture the elusive radiation predicted by Einstein nearly a century ago.



L'esperimento Virgo (Accadia et al 2012), finanziato dall'INFN e dal CNRS, ha già effettuato, tra il 2007 e il 2011, diversi *run* di presa dati. Virgo, LIGO (2 facility negli USA) e GEO600 (in Germania) funzionano come un unico rivelatore: i dati raccolti sono messi in comune e analizzati insieme. E insieme si pubblicano i risultati scientifici. Si tratta di un'operazione di straordinaria rilevanza culturale e scientifica, basata su una consapevolezza duplice: le osservazioni simultanee possono aumentare notevolmente la credibilità di un candidato evento; la rivelazione di un evento con 3 interferometri permette di localizzare la sorgente sulla "volta celeste", aprendo così la strada ad un'osservazione complementare con "telescopi ottici", dalle onde radio fino ai gamma di alta energia.

Le osservazioni effettuate hanno già prodotto qualche decina di pubblicazioni nelle quali sono stati stabiliti dei limiti superiori sulle emissioni da sorgenti di natura diversa (si vedano ad esempio Abbott et al, 2009 o Abadie et al 2011). Tuttavia, nonostante questi strumenti abbiano raggiunto le sensibilità di progetto, non c'è ancora stata la *prima rivelazione*.

Dal 2011 sono in corso lavori importanti per rendere LIGO e Virgo interferometri di "2^a generazione", capaci di guardare 10 volte più lontano, aumentando così di 1000 volte il volume di universo osservabile e la probabilità di rivelare un evento. Un miglioramento reso possibile da anni di intensa ricerca tecnologica, che ha consentito di aumentare la potenza dei laser, di migliorare la qualità delle ottiche e imparare a ridurre le aberrazioni con metodi di compensazione termica, di introdurre configurazioni ottiche più complesse per migliorare il rapporto segnale/rumore e di migliorare le tecniche di mitigazione dei vari rumori

The Virgo experiment (Accadia et al 2012), funded by the INFN and the CNRS, has already completed several runs of data taking between 2007 and 2011. Virgo, LIGO (two facilities in the U.S.) and GEO600 (Germany) operate as a single detector: the collected data are shared and analyzed together, and together they publish the scientific results. It is an extraordinary cultural and scientific achievement, based on a dual awareness: the simultaneous observations can greatly increase the credibility of a candidate event; the detection of an event with three interferometers makes it possible to locate the source in the "celestial vault", thus paving the way for a complementary observation with "optical telescopes", from radio waves up to high-energy gamma.

The observations performed so far have already produced several dozen papers, in which upper limits on the emissions from sources of differing natures have been set (see, for instance, Abbott et al 2009 or Abadie et al 2011). However, despite the detectors having reached their design sensitivities, the first detection has not yet been made.

Since 2011, important works have been underway to upgrade LIGO and Virgo into "2nd generation interferometers", able to look ten times farther, and thus increasing 1,000 times the volume of the observable universe and the probability of detecting an event. This is an improvement made on the strength of years of intensive R&D, which has made it possible to increase the power of the lasers, to improve the quality of the optics and learn how to reduce aberrations using methods of thermal compensation, to introduce more complex optical configurations in order to improve the signal-to-noise ratio, and to improve techniques for the

antropici che affliggono l'apparato sperimentale. Nascono così Advanced LIGO e Advanced Virgo.

Advanced Virgo è ormai in fase avanzata di costruzione. Il rivelatore sarà ultimato nell'autunno del 2015, ma già nei prossimi mesi comincerà il *commissioning* di alcune sue parti rilevanti. La collaborazione Virgo, che porta avanti il progetto insieme al European Gravitational Observatory, è oggi costituita da oltre 200 fisici e ingegneri provenienti da 19 laboratori di 5 paesi europei: Italia, Francia, Olanda, Polonia e Ungheria.

Da queste nuove macchine ci aspettiamo moltissimo. Non si tratta solo di ottenere un'ulteriore conferma della relatività generale, ma di aprire una nuova finestra osservativa su un universo di cui conosciamo ancora molto poco. Ogni volta che, da Galileo in poi, l'uomo ha puntato verso il cielo un nuovo tipo di cannocchiale ha fatto scoperte straordinarie oppure ha dovuto porsi nuove domande, spesso ancora senza risposta. Si pensi a com'è cambiata l'immagine dell'universo da quando abbiamo cominciato a osservarlo mediante luce al di fuori dello spettro visibile.

L'osservazione diretta delle onde gravitazionali aprirà nuovi scenari. Si potrà guardar dentro oggetti opachi alla radiazione elettromagnetica o avere un'immagine dell'universo più remota di quella fornita dalla radiazione cosmica di fondo. E si potrà dare una risposta sperimentale ad alcune grandi domande della fisica contemporanea, finora oggetto solo di speculazioni teoriche: come si forma un buco nero? Come si comporta la materia nelle condizioni di pressione e temperatura estreme di una stella di neutroni o di una supernova? La relatività generale descrive correttamente la gravità?

mitigation of various anthropogenic noises that plague the experimental apparatus. This is how Advanced LIGO and Advanced Virgo have come to birth.

Advanced Virgo is now in an advanced stage of construction. The detector will be completed in the fall of 2015, but in the next few months the commissioning of some of its most relevant parts will start. The Virgo Collaboration, which carries out the project in liaison with the European Gravitational Observatory, is composed of more than two hundred physicists and engineers from nineteen laboratories in five European countries: Italy, France, Holland, Poland and Hungary.

We expect to get a lot out of these new machines. This is not only to obtain a further confirmation of general relativity, but also to open a new observational window on the universe, of which we still know very little. Each time, from Galileo onwards, that humankind has pointed a new type of telescope at the sky, it has made extraordinary discoveries or had to ask itself new questions, which often remained unanswered. Think of how the image of the universe has changed since we began to observe by using light from outside the visible spectrum.

The direct observation of gravitational waves will open new scenarios. We will be able to look inside objects that are opaque to electromagnetic radiation or have an image of the universe more remote than that provided by cosmic microwave background radiation. And we will be able to give an answer to some of the big experimental questions of contemporary physics, which have so far been the subject only of theoretical speculation: how is a black hole created? How does matter behave in extreme conditions of pres-

Quanti eventi ci aspettiamo? Le previsioni basate sulla popolazione stimata di binarie compatte indicano che, alla sensibilità di progetto, i rivelatori di seconda generazione potranno osservare ogni anno decine di coalescenze di stelle di neutroni o buchi neri (Abadie et al., 2010). L'esperienza fatta sui rivelatori di prima generazione certamente aiuterà a migliorare velocemente la performance delle macchine. Un *run* di 6 mesi è previsto nel 2016, nel centenario dello studio in cui Einstein mostrava per la prima volta che le sue equazioni ammettevano delle soluzioni d'onda. E speriamo di celebrarlo con una grande scoperta.

Bibliografia

Accadia T et al., *Journal of Instrumentation*, 7 (2012) P03012
 Abbot BP et al., *Nature*, 460 (2009) 990
 Abadie J et al., *Astrophysical Journal*, 737 (2011) 93
 Abadie J et al., *Class. Quantum Grav.*, 27 (2010) 173001

Giovanni Losurdo ha conseguito il PhD alla Scuola Normale di Pisa ed è Primo Ricercatore INFN presso la Sezione di Firenze. È Project Leader dell'esperimento Advanced Virgo.

sure and temperature, such as in a neutron star or a supernova? Does general relativity describe gravity correctly?

How many events do we expect? The predictions based on the estimated population of compact binaries indicate that, at design sensitivity, the second-generation detectors will observe dozens of events of coalescing neutron stars or black holes per year (Abadie et al., 2010). The experience acquired through the first-generation detectors will certainly help to quickly improve the performance of the machines. A six-month run is expected in 2016, on the centenary of the paper in which Einstein showed, for the first time, that his equations admitted wave solutions. And we hope to celebrate this anniversary with a great discovery.

References

Accadia T et al., *Journal of Instrumentation*, 7 (2012) P03012
 Abbot BP et al., *Nature*, 460 (2009) 990
 Abadie J et al., *Astrophysical Journal*, 737 (2011) 93
 Abadie J et al., *Class. Quantum Grav.*, 27 (2010) 173001

Giovanni Losurdo received his PhD in Physics from Scuola Normale Superiore. He is a Senior Researcher at the INFN Florence. He is the Project Leader of Advanced Virgo.