

LE ONDE GRAVITAZIONALI

Martinelli Luca

4ALA - I.S.I.S.S. "CARLO ANTI" - Villafranca di Verona (VR)

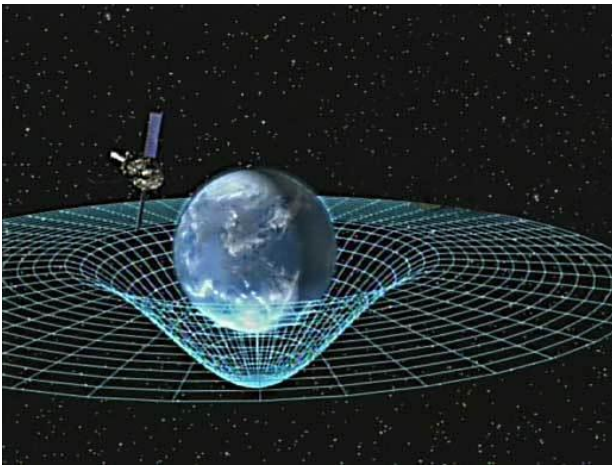
WHAT ARE GRAVITATIONAL WAVES?

Gravitational waves are 'ripples' in the fabric of space-time caused by some of the most violent and energetic processes in the Universe. Albert Einstein predicted the existence of gravitational waves in 1916 in his general theory of relativity. These ripples would travel at the speed of light through the Universe, carrying with them information about their cataclysmic origins.

The strongest gravitational waves are produced by catastrophic events such as colliding black holes, the collapse of stellar cores (supernovae) and the remnants of gravitational radiation created by the birth of the Universe itself.

COSA SONO LE ONDE GRAVITAZIONALI

Non c'è nulla in grado di farci immaginare che cosa siano realmente le onde gravitazionali perché coinvolgono lo spazio-tempo, che è una nozione impossibile da rappresentare.



Per conoscerle a fondo è necessario avere nozioni approfondite di relatività generale e di altri complessi concetti di fisica. Ma se proprio si vuole provare a immaginarle si possono pensare come "vibrazioni". Così come l'onda elettromagnetica permette di osservare le vibrazioni del campo elettromagnetico, quindi il movimento delle cariche elettriche, l'onda gravitazionale permette di osservare la vibrazione dello spazio-tempo, che nel caso della scoperta odierna è stata indotta da due buchi

neri che si sono fusi tra loro a diventare un buco nero più grande. Il fenomeno, che è un evento cosmico, cambia molto velocemente la curvatura dello spazio-tempo e questo produce onde gravitazionali di una certa intensità. Le onde gravitazionali si producono ogni volta che due oggetti, che ruotano uno attorno all'altro, accelerano la loro rotazione avvicinandosi, fino a scontrarsi. Anche due persone che dovessero mettersi a girare velocemente una attorno all'altra provocherebbero delle increspature nel tessuto spazio-tempo. Queste, però, sarebbe talmente piccole da essere impercettibili. Dal momento che la gravità è una forza molto debole, occorrono oggetti molto massicci, come stelle a neutroni o buchi neri, che ruotino molto velocemente l'uno attorno all'altro, per produrre increspature grandi a sufficienza da essere rilevate.

Possiamo immaginare, quindi, lo spazio-tempo come un grande tappeto di gomma sul quale sono presenti tutti i pianeti, le stelle e i corpi che popolano l'Universo. Questi, quindi, proprio come su un tappeto, curvano lo spazio-tempo, provocando, tra gli altri eventi, il moto dei corpi (come i pianeti) attorno a masse molto più grandi (come il Sole o le stelle). Quando, però, due corpi con una massa molto importante iniziano a ruotare uno attorno all'altro, si generano delle onde (e questo su un tappeto di gomma o anche in acqua è facilmente visibile) che si propagano per tutto l'Universo, diminuendo mano a mano di intensità.

Poiché fenomeni violenti nella nostra galassia e nell'Universo sono frequenti, i fisici ipotizzano che siamo sempre immersi in un mare di onde gravitazionali. Il problema del loro rilevamento sta

nell'aver a disposizione strumenti molto precisi. Un'onda gravitazionale che dovesse passare attraverso il nostro corpo lo allungherebbe o lo accorcerebbe di una distanza inferiore al diametro di un protone che corrisponde a 1×10^{-16} metri. E come le increspature di un sasso che cade in un stagno si indeboliscono con la distanza questo succede anche alle onde gravitazionali.

Il concetto è spiegato molto bene in questa infografica.



L'OSSERVAZIONE

I ricercatori del Caltech, del MIT e del LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory), sono riusciti a rilevare la presenza delle onde gravitazionali di un evento cosmico utilizzando il LIGO, un doppio osservatorio costruito negli Stati Uniti, ad Hanford Site (Washington) e a Livingston (Louisiana).

Le onde gravitazionali sono state rivelate il 14 settembre 2015, alle 10:50:45 ora italiana da entrambi gli strumenti gemelli entro una finestra temporale di coincidenza di 10 millisecondi.

Si tratta di una importantissima conferma sperimentale di un'ipotesi teorica, e alla scoperta hanno collaborato anche i ricercatori italiani e francesi del VIRGO, un rilevatore che si trova nel comune di Cascina (Pisa) del tutto simile a quelli americani. Il rilevatore italiano non ha rilevato le onde solo perché in questi mesi era in fase di ristrutturazione.

Le onde gravitazionali rivelate sono state prodotte nell'ultima frazione di secondo del processo di fusione di due buchi neri, di massa equivalente a circa 29 e 36 masse solari, in un unico buco nero ruotante più massiccio di circa 62 masse solari. Le 3 masse solari mancanti al totale della somma equivalgono all'energia emessa durante il processo di fusione dei due buchi neri, sotto forma di onde gravitazionali.

I due buchi neri, prima di fondersi, hanno spiraleggiato, per poi scontrarsi a una velocità di circa 150.000 km/s, la metà della velocità della luce.

La probabilità che vi sia un errore è di una su 3 milioni e mezzo. Questo vuol dire che la probabilità di essere certi della scoperta è superiore al 99,9 per cento.

La scoperta delle onde gravitazionali

LE ONDE GRAVITAZIONALI
Secondo la Relatività Generale di Einstein calcoli cosmici come scontri di buchi neri o stelle rotanti producono increspature dello spazio tempo che si propagano nel cosmo alla velocità della luce

IL SEGNALE
24 settembre 2015
Ore 09:50:45 UTC
Prodotto dal passaggio di un'onda gravitazionale, è stato osservato simultaneamente dai due interferometri gravitazionali LIGO, distanti migliaia di km, in Louisiana e nello stato di Washington (USA)
Ha una durata di qualche frazione di secondo e una frequenza variabile: da 30 a 250 Hz

UNO SCONTRO DI BUCHI NERI
L'onda è stata prodotta da un gigantesco scontro di due buchi neri distanti da noi 1,3 miliardi di anni luce e quindi avvenuto più di un miliardo di anni fa
I due buchi neri di massa circa uguale (36 e 29 masse solari) si sono scontrati a una velocità di 150.000 km/s (la metà della velocità della luce)
È la prima osservazione diretta mai realizzata di un fenomeno di questo tipo

IL SEGNALE
DEFORMAZIONE
TEMPO [s]
0,00 0,20
SPIRALEGGIAMENTO FUSIONE SMORZAMENTO

NUOVE FRONTIERE DELLA GRAVITÀ
Lo studio dei dati raccolti aiuterà a descrivere meglio come agisce la forza gravitazionale in condizioni estreme mai esplorate prima, in cui le leggi della gravitazione e quelle della meccanica quantistica devono essere unificate

LA SCOPERTA
I dati sono stati analizzati e studiati dalle collaborazioni di LIGO e VIRGO che è il terzo interferometro della rete internazionale. VIRGO è stato costruito presso l'European Gravitational Observatory (EGO) a Cascina (Pi), dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) e dal Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS). L'analisi dei dati ha confermato la prima rivelazione diretta di onde gravitazionali, che è stata annunciata l'11 Febbraio 2016 in modo congiunto a Washington e Cascina

IL FUTURO
Si inaugura una nuova stagione di esplorazione del Cosmo, in cui potremo ascoltare i fenomeni più remoti e violenti dell'universo e i sussurri dell'universo primordiale

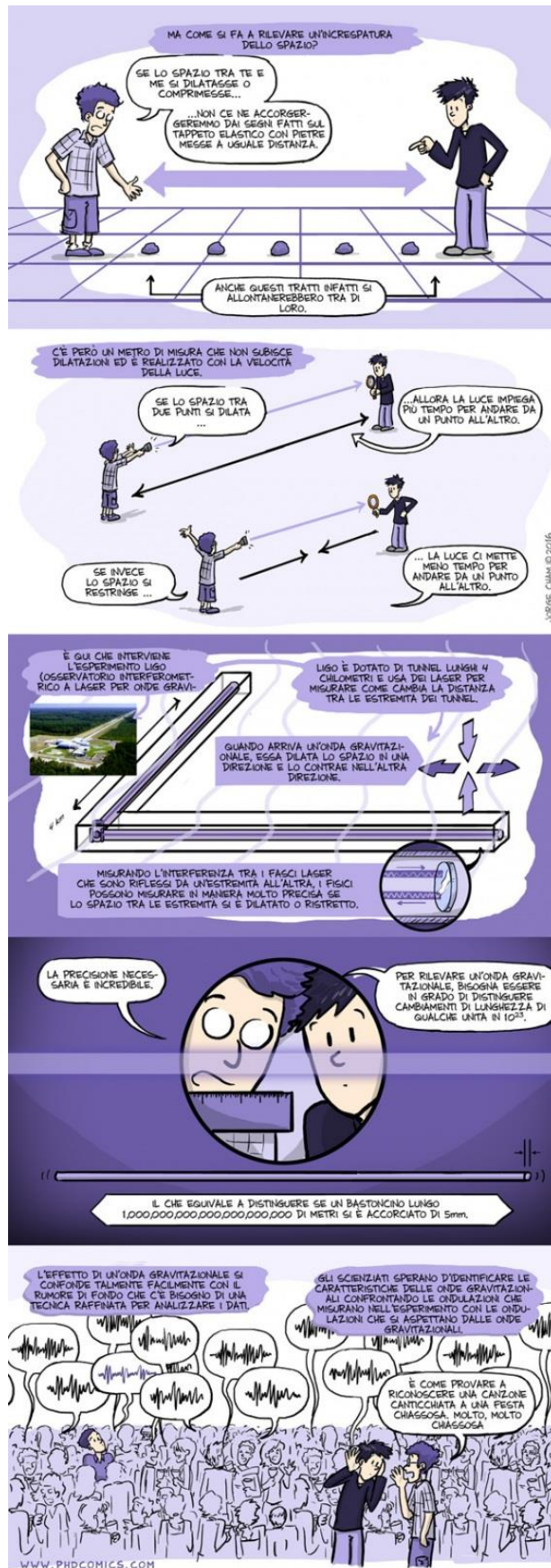
Hanford (Washington) LIGO
Livingston (Louisiana) LIGO
Cascina (Pisa, Italia) VIRGO

ROMA

INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

centimetri

Anche in questo caso il concetto è spiegato molto bene nella seguente immagine:



L'ITALIA E LE ONDE GRAVITAZIONALI

«La ricerca delle onde gravitazionali ha una lunga storia legata all'Italia», spiega Marco Giammarchi, dell'INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare).

«Nasce con Edoardo Amaldi, il quale fu tra i primi al mondo a proporre la ricerca delle onde gravitazionali con la tecnologia “barre criogeniche”. Si utilizzavano barre di metallo di altissima qualità a temperature bassissime che le rendevano sensibili alle vibrazioni delle onde gravitazionali. La metodologia fu sostituita dall'uso del laser con la quale sono stati costruiti gli attuali rilevatori». Infatti se si potesse prendere un metro per misurare tali deformazioni, anche il metro subirebbe la deformazione. Esiste però un “metro” che non subisce dilatazioni ed è la velocità della luce. Se lo spazio tra due punti si dilata o si accorcia, la luce impiega più o meno tempo per andare da un punto all'altro. Ed è su questo concetto che lavorano i laboratori come LIGO o VIRGO. Di fatto sono tunnel lunghi anche 4 chilometri al cui interno vengono sparati fasci laser per misurare i cambiamenti infinitesimali della distanza tra le estremità dei tunnel. Quando arriva un'onda gravitazionale si ha una dilatazione dello spazio in una direzione del tunnel. Misurando le interferenze tra i fasci laser che sono riflessi da un'estremità all'altra è possibile misurare in modo molto preciso se lo spazio tra le estremità si è dilatato o compresso. La precisione richiesta è straordinaria. Per rilevare la presenza di un'onda gravitazionale si deve essere in grado di riconoscere modifiche di lunghezze dell'ordine di 10^{-23} metri. È come se un bastoncino lungo mille miliardi di miliardi di metri si accorciasse o si allungasse di 5 millimetri.

QUALI SONO LE CONSEGUENZE DI QUESTA SCOPERTA?

Il loro utilizzo apre una nuova finestra sull'Universo. Fino ad oggi lo abbiamo studiato all'infrarosso, nella luce visibile, nella luce ultravioletta e alle alte energie, come raggi x e raggi gamma. Lo abbiamo studiato anche attraverso le onde radio. Ora potrebbe iniziare l'era delle onde gravitazionali. Con esse si potrebbero studiare fenomeni non visibili con altri strumenti. La massima aspirazione potrebbe essere lo studio del Big Bang. La luce e altre radiazioni iniziarono ad emergere solo 300.000 anni dopo il Big Bang, ma con le onde gravitazionali si potrebbe andare a ridosso della “grande esplosione” scoprendo cose che oggi neppure ci immaginiamo.

Quindi, la conferma sperimentale dell'esistenza delle onde gravitazionali, come ha raccontato l'astrofisico Amedeo Balbi, “ci spalanca un nuovo mondo. È in corso una grandissima rivoluzione nella fisica”. “Finora abbiamo avuto modo di studiare la natura quasi esclusivamente osservando i fotoni, cioè la luce. Dallo scorso anno abbiamo iniziato a osservare anche i neutrini cosmologici. Da oggi, abbiamo la possibilità di analizzare anche le onde gravitazionali. Sono due ‘strumenti’ con cui, auspicabilmente, potremo osservare fenomeni del tutto nuovi. È una tappa importantissima nell'osservazione dell'Universo, pari solo all'invenzione del telescopio. Come se finora avessimo visto il mondo in bianco e nero e ora, improvvisamente, avessimo la possibilità di vederlo a colori”.

SITOGRAFIA

<http://www.focus.it/scienza/scienze/onde-gravitazionali-scoperta>

<http://www.focus.it/scienza/spazio/onde-gravitazionali-che-cosa-sono>

<http://www.wired.it/scienza/energia/2016/02/12/fisica-dopo-onde-gravitazionali/>

<https://www.ligo.caltech.edu/page/what-are-gw>