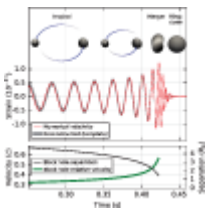


La scoperta delle onde gravitazionali

Il mattino del 14 settembre 2015 i sensibilissimi strumenti dell'esperimento americano Ligo registrano due significativi segnali in coincidenza (entro 6 millisecondi) nei due apparati distanti 3000 miglia, situati rispettivamente a sud presso la costa atlantica (in Luisiana) e a nord presso la costa pacifica (nello stato di Washington).

Scatta immediatamente nell'ambito della grande collaborazione internazionale (varie centinaia di fisici, ingegneri, informatici) dedicata alla ricerca delle onde gravitazionali (comprende anche l'esperimento italo-francese Virgo situato a Cascina vicino a Pisa) una febbrile e serrata analisi dei dati nonché una minuziosa verifica del corretto funzionamento di tutte le componenti dell'apparato. La probabilità che si tratti di un falso segnale viene stimata pari a 1 su 5 milioni. Dopo opportuni filtri di frequenza e dopo la sottrazione del rumore di fondo il segnale si presenta come in figura (ampiezza del segnale rispetto al tempo):



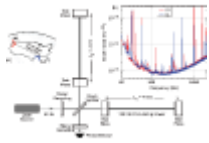
La durata del segnale è di circa 2 decimi di secondo, la frequenza varia da 35 Hz a 250 Hz. La forma d'onda mostrata in figura è stata confrontata con le tante possibili previste dalla Relatività Generale per i vari fenomeni cosmici che possono dar luogo a onde gravitazionali: esplosioni stellari oppure sistemi binari composti da due oggetti celesti in veloce rotazione rispettiva con possibile fusione finale.

Secondo il risultato di tale analisi il fenomeno che meglio riproduce la osservazione consiste in due buchi neri in rotazione l'uno rispetto all'altro (parte iniziale del segnale a frequenza più bassa, inspiral) che poi si fondono (picco del segnale, merger) dando luogo a un unico buco nero le cui oscillazioni si smorzano rapidamente (parte finale del segnale, ring down).

Il buco nero (black hole) è il corpo celeste formatosi a seguito del collasso gravitazionale di una stella in cui si ha una densità di materia talmente elevata che la stessa luce per l'effetto della gravità non può più sfuggire dallo stesso. Quindi i buchi neri non possono essere osservati direttamente; ma la loro esistenza è stata inferita dagli effetti gravitazionali esercitati sui corpi vicini.

L'analisi fornisce vari parametri dell'evento: si tratta di due buchi neri di

massa pari a circa 29 e 36 masse solari, il buco nero risultante ha circa 62 masse solari e il resto, 3 masse solari, è stato speso nell'energia delle onde gravitazionali. L'evento si è prodotto a grandissima distanza da noi: circa un miliardo di anni luce.



Le onde gravitazionali sono previste dalla teoria della Relatività Generale. Come le onde elettromagnetiche vengono emesse da oscillazioni/accelerazioni di cariche elettriche, così le onde gravitazionali vengono emesse in violenti eventi cosmici che comportano l'accelerazione di enormi masse. Se nelle onde elettromagnetiche oscillano i vettori del campo elettrico e magnetico nelle onde gravitazionali oscilla il tensore metrico dello spazio-tempo: sono "increspature" dello spazio-tempo che si propagano alla velocità della luce.

Il loro effetto, qui sulla nostra Terra, è di produrre delle debolissime forze gravitazionali fra i corpi su cui incidono.

Pertanto i rivelatori di Ligo (e parimenti per Virgo) consistono in degli interferometri di Fabry-Perot (vedi figura) dove su due bracci perpendicolari, lunghi ciascuno 4 Km, viaggiano dei fasci laser riflessi da specchi che costituiscono le masse di test. L'onda gravitazionale provoca un infinitesimo (circa un millesimo delle dimensioni del protone!!) allontanamento o avvicinamento dei due specchi di un braccio. Ciò provoca uno spostamento delle frange di interferenza rivelabile da un fotosensore (photodetector).

Sono apparati estremamente complessi e sofisticati: i raggi laser viaggiano in tubi di circa un metro di diametro sotto vuoto spinto, gli specchi pesano decine di chili ed hanno raffinatissimi sistemi di sospensione per isolarli in maniera quasi assoluta da rumori sismici e perturbazioni esterne.

Gli esperimenti Ligo e Virgo hanno costituito una unica collaborazione internazionale mettendo in comune le competenze sia strumentali che teoriche. L'apparato Virgo non ha potuto rivelare il segnale del 14 settembre perché allora era in una fase di sviluppo e miglioramento della strumentazione. Quando Virgo sarà operativo le misure congiunte di tre interferometri consentiranno anche di misurare con precisione la direzione di arrivo delle onde gravitazionali.

Questa scoperta costituisce il coronamento di ricerche che risalgono ai primi anni 60, sviluppatasi anche in Italia per l'impulso di Edoardo Amaldi. Essa costituisce una ulteriore fondamentale prova della validità della Relatività Generale e anche la prima evidenza sperimentale della fusione di due buchi

neri. Apre anche una nuova via per l'esplorazione profonda del cosmo e dell'universo primordiale: la cosiddetta gravitational-wave-astronomy, affiancandosi all'indagine condotta con radiazione elettromagnetica (telescopi, radiotelescopi, rivelazione di raggi X e gamma) e anche a quella più recente basata sulla rivelazione di neutrini cosmici.

Per approfondire:

B.P. Abbott et al., [Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger, Phys. Rev. Lett. 116, 061102 – Published 11 February 2016, dal quale sono riprese le figure.](#)

Giorgio Capon