

GW170608: il sistema binario più leggero osservato?

Durante il secondo periodo osservativo (denominato O2) effettuato dai rivelatori [Advanced LIGO](#) e [Advanced Virgo](#) sono state rivelate onde gravitazionali l'8 giugno 2017 alle 02:01:16 UTC. Questo segnale, noto come GW170608, è stato originato dallo spiraleggiamento e dalla fusione di due buchi neri ed è stato rivelato sia dall'interferometro LIGO a Livingston, in Louisiana, sia dall'interferometro LIGO a Hanford, nello stato di Washington (US). Questo segnale gravitazionale proviene dalla fusione di due buchi neri a 340 [megaparsec](#) (o 1,1 miliardi di [anni luce](#)) di distanza. La massa totale di questo sistema binario di buchi neri è la più leggera tra quelle di tutti i sistemi binari di buchi neri fino ad ora rivelati.

BUCHI NERI DI MASSA STELLARE

I [buchi neri](#) sono regioni dello spazio-tempo che sono così curve da non lasciar fuggire nulla, nemmeno la luce. Si generano quando stelle massicce collassano e hanno una massa così grande che niente può superarle per superare la loro stessa gravità. Fino ad oggi (novembre 2017) LIGO ha osservato altri quattro sistemi binari di buchi neri, con masse totali dei sistemi che vanno da 20-25 volte quella del Sole (nel caso di [GW151226](#)) a 60-65 volte quella del Sole (nel caso di [GW150914](#)). L'ultimo sistema binario di buchi neri osservato, GW170814, è stato anche rilevato dall'interferometro [Virgo](#), vicino a Pisa, in Italia.

Finora sistemi binari di buchi neri sono stati visti solo con le onde gravitazionali. Tuttavia, si conoscono anche [sistemi binari costituiti da un buco nero e una stella](#). Questi sistemi emettono [raggi X](#) che sono rilevabili da telescopi spaziali come [Chandra](#) e contengono buchi neri con massa da circa 5 a 20 volte quella del Sole. [GW170608](#) è il secondo sistema binario di buchi neri osservato da LIGO, l'altro è GW151226, in cui i buchi neri hanno masse dei buchi neri simili a quelle osservate tramite raggi X.

GLI INTERFEROMETRI

Gli interferometri come LIGO e Virgo sono strumenti che possono misurare con molta precisione la variazione di lunghezza tra i due bracci, lunghi 4 km nel caso di LIGO e 3 km nel caso di Virgo, causata dal passaggio di onde gravitazionali. Un fascio laser è diviso in due raggi: ciascuno di essi viene mandato lungo uno dei due bracci dove viene riflesso avanti e indietro da degli specchi e infine i due raggi si ricombinano. I massimi di ampiezza di un raggio laser e i minimi dell'altro si combinano in modo che nella somma ci sia pochissima luce: invece, quando le lunghezze dei bracci cambiano, si può osservare della luce perché i massimi e i minimi non corrispondono perfettamente. Questo consente misure molto precise della differenza relativa di lunghezza dei due bracci.

L'8 giugno 2017 l'interferometro LIGO a Livingston stava funzionando bene e con un'elevata sensibilità. L'interferometro a Hanford aveva una sensibilità minore ed era soggetto ad un controllo di routine volto a misurare la posizione dei raggi laser sugli specchi. Era stato verificato che questo processo riduce notevolmente la sensibilità alle onde gravitazionali di frequenza inferiore a circa 30 Hertz, mentre lascia la sensibilità invariata per le frequenze più alte. La sensibilità di entrambi gli interferometri è mostrata in Figura 1, con il rumore in eccesso a Hanford visibile chiaramente sotto 30 Hertz. Nel giugno 2017 l'interferometro [Virgo](#) era ancora in uno stadio di miglioramento e messa a punto e si sarebbe unito al periodo di osservazioni O2 solo il 1° agosto. Al tempo di GW170608 la sensibilità di Virgo non era ancora sufficientemente alta da contribuire alla rivelazione.

IL SEGNALE GRAVITAZIONALE GW170608

Attorno alle 2 del mattino dell'8 giugno in Italia, cioè durante la sera del giorno precedente in Nord America, è stato automaticamente rivelato nei dati dell'interferometro LIGO a Livingston un caratteristico segnale a 'chirp', con un'oscillazione che aumenta nel tempo sia in frequenza che in ampiezza. Questo si può vedere nella Figura 2, che mostra l'energia nei dati dei due interferometri LIGO in funzione del tempo e della frequenza. I dati dell'interferometro a Hanford al momento non venivano controllati automaticamente a causa

FIGURE DALLA NOSTRA PUBBLICAZIONE SCIENTIFICA

Maggiori informazioni sull' [articolo scientifico](#)

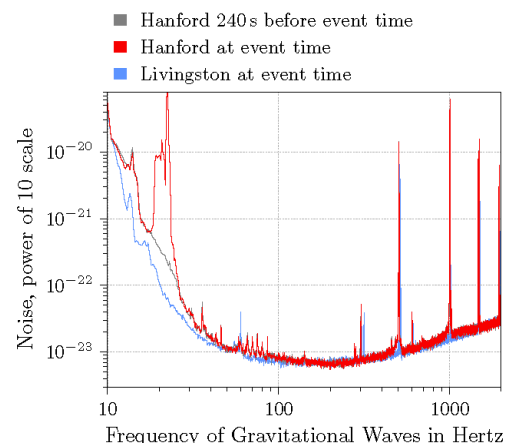


Figura 1. (Adattamento dalla Figura 4 del nostro [articolo scientifico](#)) La sensibilità degli interferometri LIGO a Hanford e Livingston, mostrata come rumore sull'asse Y e frequenza delle onde gravitazionali sull'asse X. Il grafico di Hanford mostra il rumore 4 minuti prima dell'evento (in grigio) e cioè prima dell'inizio delle attività di messa a punto del rivelatore, e il rumore durante l'evento (in rosso): da notare il rumore molto maggiore tra 20 Hertz e 30 Hertz durante l'evento. Il rumore al rivelatore di Livingston è mostrato in blu.

della misura di routine in corso, ma si è trovato che lo stesso segnale era presente nei dati di Hanford a frequenze superiori a 30 Hertz. Un segnale a chirp è caratteristico di due corpi molto grandi che spiraleggiano uno attorno all'altro avvicinandosi e infine si fondono.

Dalla velocità con cui la frequenza aumentava in funzione del tempo è stato dedotto che le masse dei due corpi erano rispettivamente pari a circa 12 e 7 volte la [massa del Sole](#). Dati questi valori di massa si pensa che entrambi i corpi fossero buchi neri: le masse sono confrontabili sia con quelle dei buchi neri del segnale gravitazionale GW151226 sia con quelle dei buchi neri nelle binarie a raggi X. La Figura 3 mostra l'intervallo di massa più probabile per i due corpi di GW170608 così come di GW151226. Questo mostra che è probabile che GW170608 abbia la massa totale più piccola di qualsiasi altro sistema binario di buchi neri [individuati sinora dagli interferometri LIGO/VIRGO](#) [novembre 2017]. Il più piccolo dei due buchi neri, con una massa pari a 7 volte quella del Sole, è uno dei buchi neri più leggeri mai osservati attraverso le onde gravitazionali.

Le masse dei singoli buchi neri di GW170608 forniscono agli scienziati degli indizi sull'ambiente in cui i buchi neri si sono formati. Quando stelle massicce raggiungono la fine della loro vita perdono una grande parte della loro massa a causa dei [venti stellari](#) - flussi di gas messi in movimento dalla pressione della radiazione emessa della stella. Più elementi massicci come carbonio e azoto sono contenuti nella stella, più massa sarà persa prima di collassare e diventare un buco nero. Pertanto, le stelle che hanno originato i buchi neri di GW170608 potrebbero aver contenuto quantità relativamente grandi di questi elementi pesanti rispetto alle stelle progenitrici di buchi neri più massicci come quelli osservati nella fusione di GW150914.

La differenza nei tempi di arrivo del segnale (circa 7 millisecondi) a Hanford ed a Livingston ha permesso di localizzare GW170608 nel cielo entro un'area di diverse centinaia di gradi quadrati. Un'allerta con questa informazione è stata mandata agli astronomi che hanno puntato i loro telescopi in quella direzione per rivelare eventuali onde elettromagnetiche (luce).

L'ampiezza totale del segnale ci permette di stimare in 340 megaparsec o di 1.1 miliardi di anni luce la distanza tra la Terra e i buchi neri osservati. Questo segnale gravitazionale è stato messo a confronto con delle simulazioni numeriche basate sulle equazioni di Einstein della Relatività Generale. Non è stata trovata alcuna differenza, nei limiti della precisione permessa dal rumore presente negli interferometri. Quindi questo segnale non offre nessuna ragione per dubitare che la teoria della [Relatività Generale](#) di Einstein descriva correttamente la gravità nel nostro universo.

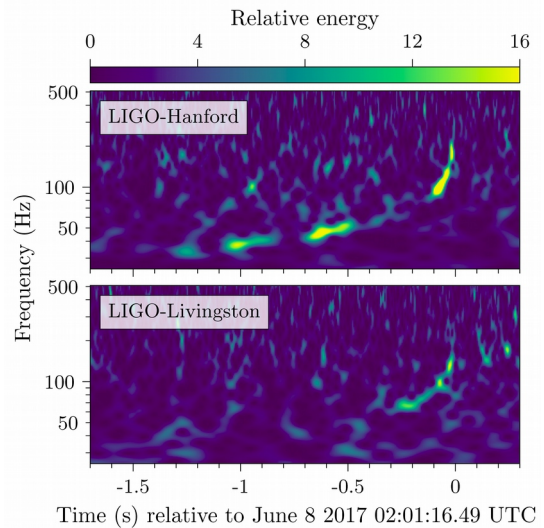
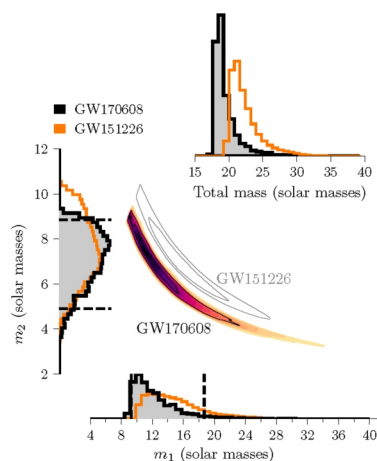


Figura 2. (Adattato dalla Figura 1 del nostro [articolo scientifico](#)) L'energia nei dati di LIGO mostrata in funzione del tempo (in secondi) sull'asse X e frequenza (in Hertz) sull'asse Y. I colori indicano la quantità di energia in un dato momento e ad una data frequenza: la scala va dal blu (bassa energia) al giallo (alta energia). La curva che va da in-basso-a-sinistra a in-alto-a-destra, visibile chiaramente nei dati di Hanford e accennata nei dati di Livingston, è l'onda gravitazionale prodotta dallo spiraleggiamento dei buchi neri.

Figura 3. Grafico principale: Distribuzione di probabilità per le masse m_1 e m_2 dei buchi neri nel sistema binario, in unità della massa del Sole. La distribuzione della massa del buco nero di massa superiore (m_1) è mostrata sull'asse orizzontale, mentre la distribuzione per il buco nero di massa inferiore (m_2) si trova sull'asse verticale. Viene anche mostrata la distribuzione di probabilità per le masse del sistema binario di buchi neri a bassa massa GW151226. In alto a destra: la distribuzione di probabilità per la massa totale ($m_1 + m_2$) nel sistema binario di buchi neri, confronto tra GW170608 e GW151226. (Adattamento dalla figura 2 del nostro [articolo scientifico](#)).



www.ligo.org/ sito di LIGO.
www.virgo-gw.eu/ sito di Virgo.



Leggi di più nei nostri articoli sui buchi neri e sulle onde gravitazionali:

- [GW150914: La prima misura della fusione di buchi neri e cosa essa significa](#)
- [GW151226: osservazione di onde gravitazionali dalla coalescenza di un sistema binario di buchi neri di 22 masse solari](#)
- [GW170814: osservazione delle onde gravitazionali dalla coalescenza di due buchi neri con tre rivelatori](#)
- [GW170817: Osservazione di onde gravitazionali dallo spiraleggiamento di un sistema binario di stelle di neutroni](#)
- [GWTC-1: il nuovo catalogo delle rivelazioni di onde gravitazionali](#)