

GW231123: LA COPPIA DI BUCHI NERI PIÙ PESANTE FINORA OSSERVATA TRAMITE ONDE GRAVITAZIONALI

Giorno 23 novembre 2023, alle ore 13:54:30 UTC, la collaborazione LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) ha rivelato GW231123, un segnale di onde gravitazionali che è stato probabilmente generato dalla fusione di due buchi neri la cui massa complessiva è la più elevata mai osservata dalla collaborazione LVK. Si ritiene che questi buchi neri [ruotassero](#) a velocità estremamente elevate, e le loro masse individuali sembrano collocarsi in un intervallo che mette in discussione le attuali teorie sull'evoluzione e sulla fine della vita delle stelle massive.

RIVELAZIONE DEL SEGNALE

Questa onda gravitazionale è stata osservata dai due rivelatori Advanced LIGO, situati a Hanford e Livingston durante la prima parte della quarta [campagna osservativa](#) della collaborazione LVK (O4a). La coerenza tra i segnali osservati dai due rivelatori è stata essenziale per effettuare una rivelazione attendibile. Come mostrato nella **Figura 1**, il segnale è durato circa un decimo di secondo, ma si è distinto chiaramente, risultando circa **20 volte più intenso** del rumore tipico dei rivelatori. Per assicurarci che non si trattasse di un'anomalia casuale nei dati, abbiamo effettuato approfondite verifiche statistiche. Utilizzando tecniche che simulano migliaia di anni di dati fittizi, abbiamo stimato che la frequenza con cui un rumore casuale produce un segnale simile a GW231123 è inferiore a 1 su 10.000 anni! Per questo siamo quasi certi che il segnale non sia di origine terrestre e quindi che questa onda gravitazionale sia reale.

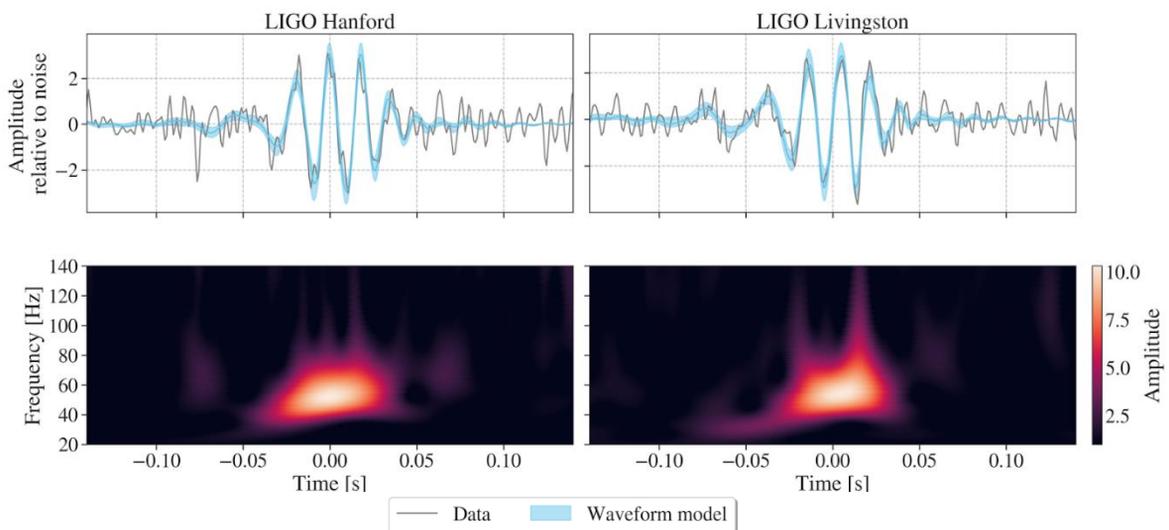


Figura 1: Segnale GW231123 nei dati dei rivelatori LIGO di Hanford (a sinistra) e Livingston (a destra). I riquadri superiori mostrano l'ampiezza dei dati nel tempo (linee grigie). La banda azzurra evidenzia la nostra stima del segnale vero (vale a dire senza rumore di fondo). I riquadri inferiori sono spettrogrammi, noti anche come mappe tempo-frequenza, che mostrano l'intensità del segnale in funzione del tempo (asse orizzontale) e della frequenza (asse verticale). I colori più brillanti indicano un segnale più intenso.

L'ORIGINE DEL SEGNALE

I dati indicano in modo convincente che il segnale proviene dalla violenta [fusione di due buchi neri](#). Per saperne di più su questi oggetti—ad esempio quanto fossero massivi e quanto velocemente ruotassero—abbiamo utilizzato diversi modelli basati sulla [teoria della relatività generale di Einstein](#) per simulare quale forma avrebbe avuto un segnale prodotto da diverse coppie di buchi neri.

Confrontando i dati reali con questi modelli, abbiamo stimato che i due buchi neri avessero una massa pari rispettivamente a circa 137 e 103 volte la [massa del Sole](#). Considerando tutte le incertezze, la loro massa totale è probabilmente compresa tra 190 e 265 masse solari, il che lo rende il sistema binario di buchi neri più massivo osservato fino ad oggi, superando anche GW190521.

PER SAPERNE DI PIÙ:

Visitate i www.ligo.org
 nostri siti www.virgo-gw.eu
 web: gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/



Come se ciò non fosse già abbastanza straordinario, è probabile che entrambi i buchi neri ruotassero quasi alla massima velocità teoricamente possibile, **rendendo GW231123 non solo il sistema binario di buchi neri più massivo, ma anche quello con la rotazione più rapida mai rivelato per mezzo delle onde gravitazionali.**

La fusione ha dato origine a un buco nero con una massa probabilmente compresa tra 182 e 251 masse solari. Questo lo colloca in una categoria rara di buchi neri, detti [buchi neri di massa intermedia](#): più pesanti di quelli che si formano dal collasso di stelle, ma molto più leggeri dei buchi neri supermassivi che si trovano al centro delle galassie. I resti della fusione di GW231123 e GW190521 rappresentano le più chiare rivelazioni, tramite onde gravitazionali, di questi sfuggenti buchi neri di dimensioni intermedie.

PERCHÉ QUESTE PROPRIETÀ SONO COSÌ INTERESSANTI?

Le attuali teorie sull'evoluzione delle stelle prevedono che i buchi neri con masse comprese tra circa 60 e 130 masse solari siano rari o addirittura inesistenti. Si pensa che questo intervallo di massa "proibito", noto come [gap di massa dei buchi neri](#), derivi da particolari tipi di esplosioni stellari che distruggono completamente le stelle massicce (le [supernovae a instabilità di coppia](#)), oppure da esplosioni in cui gran parte della massa stellare viene espulsa prima del collasso, impedendo così la formazione di un buco nero molto massivo (le [supernove pulsazionali a instabilità di coppia](#)).

Tuttavia, GW231123 mette in discussione questa previsione. Il buco nero più leggero rientra quasi certamente nel mass gap, con una probabilità dell'83%, mentre quello più massivo ha una probabilità del 26%. Questo suggerisce che l'evoluzione stellare tradizionale non basti a spiegare la loro origine.

Una possibilità affascinante è che uno o entrambi questi buchi neri si siano formati in seguito a precedenti fusioni tra buchi neri. Questo spiegherebbe sia le loro masse elevate sia l'elevata velocità di rotazione, e indicherebbe che si siano formati in ambienti astrofisici estremamente densi, come un [ammasso stellare nucleare](#) o un [nucleo galattico attivo](#), dove le collisioni tra buchi neri sono più probabili. Questi ambienti densi possono anche favorire orbite più allungate o [eccentriche](#) dei buchi neri. Tuttavia, per semplificare i calcoli, i nostri modelli attuali assumono che i buchi neri spiraleggino uno verso l'altro lungo orbite quasi circolari, che si restringono gradualmente mentre emettono onde gravitazionali. Se invece le orbite fossero altamente eccentriche, soprattutto nelle fasi finali prima della fusione, potrebbero modificare la forma delle onde emesse in modi che i modelli attuali non riescono a descrivere. Per GW231123, questa possibilità rimane aperta e sarà necessario sviluppare modelli più avanzati per poterla verificare.

Scenari alternativi capaci di generare un segnale simile, come il [lensing gravitazionale](#), i [buchi neri primordiali](#), le [supernovae da collasso del nucleo](#), le fusioni di [stelle di bosoni](#) o le [stringhe cosmiche](#), risultano, dal punto di vista astrofisico, meno probabili rispetto alle ipotesi sopra descritte.

GLI ISTANTI FINALI DELLA FUSIONE

Nella maggior parte delle fusioni di buchi neri osservate dalla collaborazione LVK, quasi 300 quando questa sintesi scientifica è stata redatta, i rivelatori risultano più sensibili alle fasi iniziali del segnale, quando i due buchi neri spiraleggiano l'uno verso l'altro fino alla fusione. Tuttavia, grazie alla sua elevata massa, GW231123 ci ha offerto una visione particolarmente chiara del suo gran finale: la fusione vera e propria e la fase successiva, detta [ringdown](#), durante la quale il buco nero appena formato emette energia sotto forma di onde gravitazionali, vibrando e infine stabilizzandosi, in modo simile a una campana che smette gradualmente di suonare.

Abbiamo confrontato questa parte finale del segnale con le previsioni della relatività generale su come un buco nero dovrebbe comportarsi durante il ringdown, riscontrando un'elevata concordanza tra teoria e osservazioni. Tuttavia, le proprietà estreme di GW231123 mettono a dura prova i nostri modelli, lasciando alcuni dettagli complessi ancora senza spiegazione e indicando possibili margini di miglioramento nelle forme d'onda utilizzate.

CONCLUSIONE

Qualche anno fa, nella nostra [sintesi su GW190521](#), affermavamo che i record sono fatti per essere superati, e GW231123 lo ha fatto. Con caratteristiche che includono buchi neri che si trovano probabilmente nel gap di massa e velocità di rotazione vicina al limite teorico, questo evento è decisamente straordinario ma anche difficile da interpretare. Ci spinge a considerare percorsi alternativi per la formazione dei buchi neri, al di là della sola evoluzione stellare tradizionale, e mette in evidenza i limiti dei modelli attuali delle forme d'onda. Mentre che continuiamo ad "ascoltare" l'universo attraverso le onde gravitazionali, GW231123 ci ricorda con forza che il cosmo ha ancora molti segreti da svelare, e che siamo solo all'inizio della nostra esplorazione.

PER SAPERNE DI PIÙ:

Visitate i nostri siti web:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/

Leggete un preprint gratuito dell'articolo scientifico completo [qui](#)

I dati relativi a GW231123 sono rilasciati tramite il Gravitational-Wave Open Science Centre [qui](#)