

# GW190521: LA PIÙ IMPONENTE COLLISIONE TRA BUCHI NERI MAI OSSERVATA

## COSA ABBIAMO OSSERVATO?

Il 21 maggio 2019, i rivelatori [Advanced LIGO](#) e [Advanced Virgo](#) hanno osservato un'onda gravitazionale proveniente dalla fusione di una coppia straordinaria di [buchi neri](#). Il segnale, chiamato GW190521, ha avuto una durata più breve e una [frequenza](#) di picco più bassa di ogni altra fusione tra buchi neri osservata finora.

L'intervallo di tempo in cui il segnale di una fusione tra buchi neri si trova nella banda sensibile di Advanced Virgo e Advanced LIGO ha una durata inversamente proporzionale alla massa totale del sistema binario. Nel caso di GW190521 si è trattato di solo 0.1 secondi, che è molto meno, ad esempio, di quella di [GW150914](#) – la prima fusione di buchi neri mai osservata. Analogamente, la frequenza alla quale il segnale della fusione tra buchi neri raggiunge il suo massimo è anch'essa inversamente proporzionale alla massa totale del sistema binario. Per GW190521 questa frequenza di picco è stata di soli 60 Hz circa, ancora una volta molto più bassa di quella di GW150914 che aveva una frequenza di picco di 150 Hz. E così è stato chiaro fin dall'inizio che si trattava di una coppia di buchi neri molto grandi (si veda la figura 1).

La figura 2 mostra la misura delle masse dei buchi neri che hanno prodotto GW190521. Il più grande tra i due aveva circa 85 volte la [massa del Sole](#) (indicata con il simbolo  $M_{\odot}$ ) mentre quello più piccolo aveva una massa vicina a  $66 M_{\odot}$ . Entrambi gli oggetti sono molto più massicci di *qualunque* altro buco nero [rivelato finora da Virgo e LIGO](#) – e il buco nero più piccolo è addirittura più grande della maggioranza dei buchi neri residuali che si formano in questi eventi di fusione (si veda la figura 3).

Nel caso di GW190521, il buco nero finale "pesa" circa  $142 M_{\odot}$ , ed è quindi in cima alla lista dei più grandi buchi neri di LIGO-Virgo. Questa massa residuale è inferiore di circa  $8M_{\odot}$  rispetto la massa combinata dei due buchi neri iniziali; questa differenza di massa è stata convertita in energia dell'onda gravitazionale.

## PERCHÉ GW190521 È COSÌ INTERESSANTE?

Le masse straordinariamente grandi dei buchi neri che hanno prodotto GW190521 non sono semplicemente da record; esse sfidano la nostra comprensione dei meccanismi di formazione dei buchi neri e sono uno speciale laboratorio per la comprensione del funzionamento della forza di gravità.



Visitate i nostri siti web:

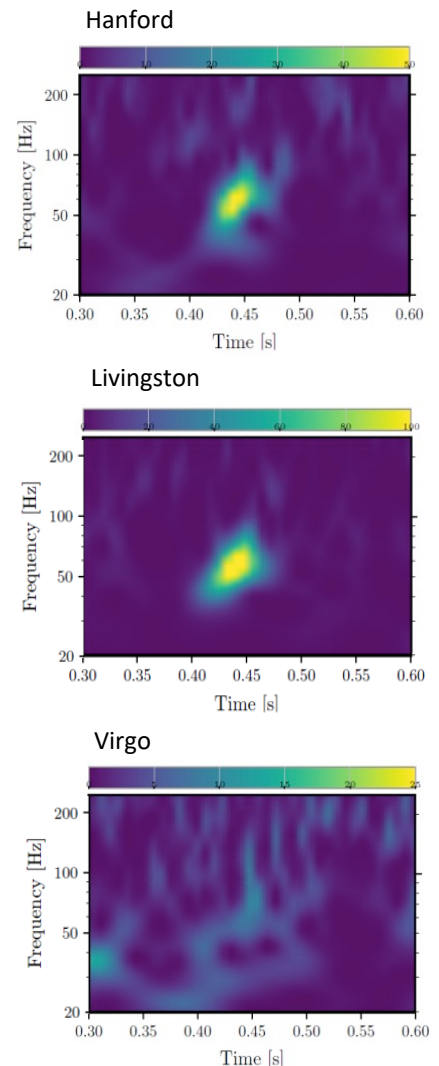
<http://www.ligo.org>

<http://www.virgo-gw.eu>

### Come fabbricare buchi neri enormi

Gli astronomi classificano i buchi neri secondo la loro massa. È una scelta sensata perché buchi neri che si trovano ad estremi opposti dello spettro di massa si formano in modi assai diversi.

Al centro della maggior parte delle galassie ci sono i buchi neri "supermassicci" con masse che vanno da centinaia di migliaia fino a miliardi di masse solari.



**Figura 1.** Rappresentazioni tempo-frequenza dei dati che contengono il segnale di GW190521, così come sono stati osservati da LIGO Hanford (in alto), LIGO Livingston (in mezzo), e da Virgo (in basso). I tempi sono mostrati relativamente alle ore 03:02:29 UTC del 21 maggio 2019. L'energia in una certa posizione del grafico tempo frequenza è rappresentata dal colore. Si noti la brevissima durata del segnale e la frequenza di picco di circa 60 Hz. (Immagini adattate dalla figura 1 del nostro [articolo sulla scoperta di GW190512](#))

La nostra stessa galassia, la Via Lattea, ha un [buco nero nel suo centro](#) con una massa di circa 4 milioni di masse solari. Il meccanismo di formazione di questi buchi neri mostruosi è tuttora misterioso. Però è probabile che il processo di formazione sia iniziato quando l'Universo era assai più giovane, dando così tempo ai buchi neri di raggiungere queste dimensioni enormi.

All'altro estremo dello spettro di massa ci sono i [buchi neri di "massa stellare"](#), che si pensa si siano formati in seguito al [collasso del nucleo](#) di stelle di massa elevata durante le esplosioni di supernova. I buchi neri di massa stellare hanno masse che arrivano fino a qualche decina di masse solari, e coppie di questi oggetti costituiscono la totalità delle fusioni di buchi neri osservate finora da Virgo e LIGO.

Tra i buchi neri di massa stellare e quelli supermassicci si trova il misterioso reame dei [buchi neri di "massa intermedia"](#), con masse che vanno da 100 a circa 100000 masse solari. Ad oggi non ci sono osservazioni decisive di buchi neri di massa intermedia, ma esistono parecchi scenari teorici della loro formazione. Recentemente la caccia ai buchi neri di massa intermedia è partita alla grande, parallelamente al miglioramento delle capacità osservative di telescopi e osservatori gravitazionali.

Sulla base della nostra comprensione teorica di come funzionino le stelle massicce e di come si formino i buchi neri, si pensa che buchi neri con masse comprese tra 65 e 120 masse solari *non possano* essere il risultato del collasso di una stella. E così GW190521 è un guastafeste perché la massa del buco nero più grande tra i due che si sono fusi (il buco nero "primario") si trova proprio in mezzo all'intervallo dove il collasso stellare non dovrebbe poter produrre direttamente buchi neri – e con un buco nero residuo che è classificabile come buco nero di massa intermedia.

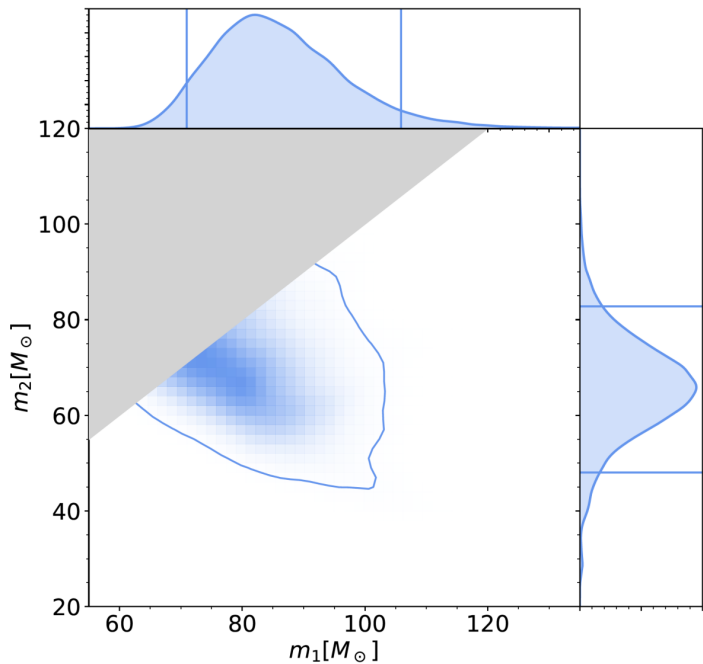
L'osservazione di GW190521 fatta da LIGO-Virgo suggerisce o che le stelle *possano* produrre buchi neri di alta massa, oppure che *qualcuno* dei buchi neri di LIGO-Virgo si possa formare in altro modo – forse come risultato di una precedente fusione tra coppie di buchi neri più piccoli, una possibilità che apre la strada alla formazione di buchi neri ancora più grandi con *successive* fusioni di buchi neri. Questo scenario con fusioni multiple richiede che i buchi neri si formino in ambienti speciali con un numero sufficiente di buchi neri vicini, così che possano avvenire molteplici eventi di fusione. Gli astronomi hanno proposto gli [ammassi stellari](#) densi e i dischi dei [nuclei galattici attivi](#) come esempi di questi ambienti speciali.

L'osservazione di GW190521 suggerisce anche che il reame dei buchi neri di massa intermedia potrebbe essere popolato almeno in parte dai resti di fusioni di buchi neri di massa stellare. Analogamente, anche i buchi neri supermassicci potrebbero formarsi in questo modo.

## Quanto è buona la nostra comprensione della Gravità?

La nostra comprensione teorica del funzionamento della gravità è ben descritta dalla [Teoria della Relatività Generale](#) di Einstein, o "GR" (General Relativity). I fisici usano la GR per predire i segnali delle onde gravitazionali che provengono da fusioni di buchi neri. A loro volta, queste predizioni vengono usate per l'analisi dei dati di Virgo e di LIGO. D'altro canto, le osservazioni delle onde gravitazionali possono venire usate per mettere alla prova le predizioni fatte dalla teoria stessa, e per cercare segni di violazione della GR che potrebbero favorire [teorie alternative della gravità](#).

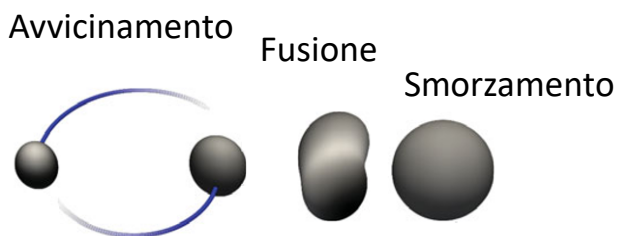
L'uso delle onde gravitazionali come laboratori di fisica non è affatto nuovo: osservazioni precedenti di fusioni di buchi neri fatte da LIGO-Virgo sono state usate per [mettere alla prova la nostra comprensione della GR](#). E dunque, cosa rende diverso GW190521?



**Figura 3.** Masse misurate dei buchi neri che hanno prodotto l'onda gravitazionale GW190521 rappresentate come distribuzioni di probabilità. Secondo l'analisi di LIGO-Virgo, i valori veri delle masse dei buchi neri hanno una probabilità del 90% di trovarsi all'interno del contorno blu nel grafico centrale (che mostra la probabilità congiunta per entrambe le masse). Lo stesso vale per le linee blu verticali e orizzontali relative alle curve a campana in alto e a destra, che mostrano le misure di massa per ciascun buco nero. La regione coperta di grigio nel grafico centrale viene dalla convenzione adottata da LIGO-Virgo per cui la massa "primaria"  $m_1$  è sempre maggiore o uguale alla massa "secondaria"  $m_2$ .

L'onda gravitazionale che proviene dalla collisione di due buchi neri passa attraverso [tre diversi regimi](#) (si veda la figura 4): all'inizio c'è l'avvicinamento, quando i buchi neri sono ben separati e orbitano l'uno attorno all'altro; in seguito c'è la fusione, quando i buchi neri si fondono assieme; alla fine le oscillazioni si smorzano come quando una campana smette di suonare e raggiunge uno stato di quiete.

Come si è già visto, i segnali dei buchi neri si possono osservare nei dati di LIGO-Virgo per tempi differenti, e con diverse frequenze di picco, in funzione delle masse dei buchi neri. Il risultato è che per sistemi binari di massa diversa i rivelatori sono sensibili a parti diverse del segnale gravitazionale. Segnali di buchi neri di massa inferiore si osservano meglio durante l'avvicinamento e la fusione. Al contrario, i buchi neri di massa molto più grande che hanno prodotto GW190521 ci forniscono la migliore opportunità di osservare lo smorzamento dell'onda gravitazionale.



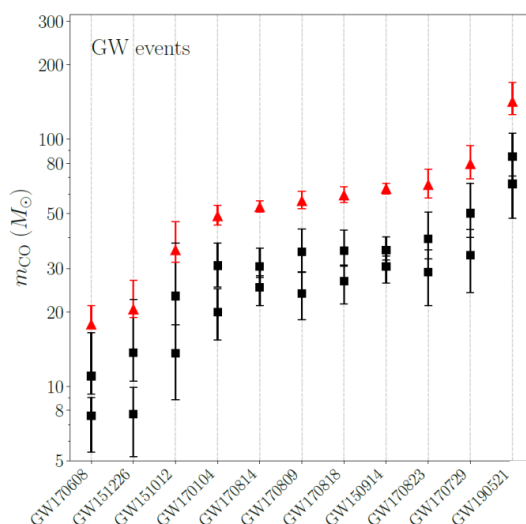
**Figura 4.** Questo schizzo rappresenta i tre diversi regimi del segnale di un'onda gravitazionale proveniente dalla collisione di due buchi neri. La nomenclatura originale inglese è *Inspiral* (Avvicinamento secondo un'orbita a spirale), *Merger* (Fusione) e *Ringdown* (Smorzamento, come quello di una campana che smette di suonare).

Proprio come tutti gli altri segnali prodotti da buchi neri e osservati fino ad ora, la GR ha passato tutti i test proposti da GW190521. Uno di questi consisteva nell'analisi della parte di smorzamento separatamente da quella di avvicinamento e fusione, e nel controllare se le due parti erano coerenti tra loro. Altri test sono stati fatti per ricercare caratteristiche anomale che sono previste dalle teorie alternative della gravità, e di provare a spiegare il segnale con ipotesi diverse dalla fusione di due buchi neri. Nessuno di questi test è riuscito a contraddire l'interpretazione di GW190521 come proveniente dalla fusione di due buchi neri che rispettano la fisica descritta dalla GR.

## SOMMARIO

GW190521 rappresenta un'osservazione da record perché ci porta ai limiti della nostre conoscenze sulla formazione di buchi neri, e ci dà modo di studiare la gravità in condizioni estreme. Suggestisce anche l'esistenza di una popolazione di fusioni di buchi neri di grande massa che potrebbe venire scoperta durante le [prossime campagne osservative](#) di LIGO (compreso anche [LIGO India](#)), Virgo, e [Kagra](#) in Giappone.

La mappa della popolazione di buchi neri stellari di alta massa ci consentirà di ottenere un'immagine più chiara dei processi che producono buchi neri e degli ambienti in cui risiedono. GW190521 può godersi per ora la sua posizione di testa nella classifica di massa dei buchi neri osservati, ma non dovrebbe sentirsi tranquillo. LIGO, Virgo e Kagra continueranno con accresciuta sensibilità a setacciare i cieli alla ricerca di onde gravitazionali, e i futuri rivelatori saranno molto più potenti, specialmente alle basse frequenze dove si nascondono i buchi neri più pesanti. I progetti di nuovi rivelatori includono il [Telescopio Einstein](#) e [Cosmic Explorer](#) a terra, e su nello spazio [LISA](#). Altri record verranno infranti!



**Figura 3.** Grafico che mostra le masse componenti (indicate da quadrati neri) dei buchi neri di GW190521 in confronto con le masse di altre fusioni di buchi neri rivelate durante il [primo e secondo periodo osservativo di LIGO e Virgo](#). Per ogni evento la massa del buco nero residuale è indicata da un triangolo rosso. In tutti i casi la lunghezza della barra verticale indica l'intervallo di incertezza della massa stimata. Il grafico mostra con chiarezza le masse da record di GW190521. (Adattato dalla figura 10 del nostro articolo sulle [implicazioni astrofisiche di GW190521](#))

### PER SAPERNE DI PIÙ:

Visitate i nostri siti web: [www.ligo.org](http://www.ligo.org), [www.virgo-gw.eu](http://www.virgo-gw.eu)

Leggete i comunicati stampa di LIGO e Virgo riguardo la scoperta di GW190521:

[www.ligo.org/detections/GW190521/pr-english.pdf](http://www.ligo.org/detections/GW190521/pr-english.pdf)

<http://www.virgo-gw.eu/GW190521>

Leggete l'articolo scientifico – liberamente disponibile – che descrive la scoperta di GW190521:

<https://dcc.ligo.org/P2000020/public>

Leggete l'articolo scientifico che accompagna il precedente e che descrive le implicazioni astrofisiche di GW190521:

<https://dcc.ligo.org/P2000021/public>

I dati che accompagnano gli articoli sul Gravitational-Wave Open Science Centre sono disponibili [qui](#).