

## GW170104: OSSERVAZIONE DELLA COALESCENZA DI UN SISTEMA BINARIO DI BUCI NERI DI 50 MASSE SOLARI A REDSHIFT 0.2

### INTRODUZIONE

Nel Settembre 2015 i due rivelatori gemelli del [Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory](#) (LIGO) in configurazione “Advanced” hanno compiuto per la prima volta la prima rivelazione diretta delle onde gravitazionali, in particolare dalla fusione di due buchi neri massivi lontani più di un miliardo di anni luce. Questo evento, noto come [GW150914](#), è stato osservato cento anni dopo la previsione dell’esistenza delle onde gravitazionali da parte della [Teoria della relatività generale](#) di Albert Einstein. Nell’ottobre del 2015 è stato seguito da un altro candidato (noto come [LVT151012](#)). Successivamente, una nuova rivelazione è stata confermata (conosciuta come [GW151226](#)) nel Dicembre 2015, di nuovo dovuta alla fusione di una coppia di [buchi neri](#).

Advanced LIGO ha cominciato la sua seconda presa dati alla fine di Novembre 2016 dopo una pausa volta ad incrementare notevolmente la sensibilità dello strumento. Un terzo rivelatore europeo, Advanced Virgo, si unirà presto alla presa dati di LIGO, migliorando ulteriormente la sensibilità delle ricerche. Esattamente un mese dopo l’inizio della presa dati, una terza rivelazione di onde gravitazionali è stata confermata con il nome [GW170104](#). In questo articolo riassumiamo come è stato rivelato GW170104, cosa abbiamo imparato dai buchi neri che l’hanno prodotto, e come questa nuova scoperta di LIGO e Virgo migliori la nostra conoscenza della gravità e dello spazio-tempo.

### RIVELAZIONE DEL SEGNALE GW170104

GW170104 è stato osservato dai due rivelatori Advanced LIGO a Hanford (Washington) e Livingston (Louisiana), in seguito ad un’allerta automatica nei dati di Livingston. Lo studio dello stato dei rivelatori in quell’istante, compiuto in maniera simile a quelli fatti per le rivelazioni precedenti (vedere [qui](#) e [qui](#)), ha stabilito che entrambi i rivelatori stessero lavorando normalmente.

I primi due pannelli in Figura 1 mostrano i dati dei due interferometri LIGO nell’istante dell’evento. Il segnale GW170104 ricorda quello di GW150914: in entrambi i casi i dati di LIGO mostrano chiaramente il segnale di “chirp” aspettato per le onde gravitazionali emesse dalla fusione di due buchi neri, cioè un rapido incremento in ampiezza e frequenza nel momento in cui i due buchi neri orbitano sempre più velocemente prima della fusione.

Usando una tecnica conosciuta come [filtro adattato](#) (vedi anche [qui](#) e [qui](#)), i dati di GW170104 sono stati confrontati con una collezione di forme d’onda teoriche, in maniera tale da poter trovare la miglior corrispondenza ed estrarre alcune proprietà fisiche della sorgente come le masse dei buchi neri e la loro posizione nel cielo. Stime di queste proprietà sono state inviate rapidamente ai nostri partner astronomici in maniera tale da poter ricercare una controparte [elettromagnetica](#), ovvero emissioni luminose associate all’evento di onda gravitazionale. ([Qui](#) è possibile saperne di più sulla controparte elettromagnetica di GW150914).

### DETERMINAZIONE DELLE PROPRIETA’ DI GW170104

Un’analisi più accurata con filtro adattato è stata effettuata “offline” diverse settimane usando potenti supercomputer. Lo scopo primo dell’analisi era di stabilire la [significatività](#) della rivelazione calcolando la [probabilità di falso allarme](#) dell’evento, ovvero quanto spesso ci aspettiamo di osservare un segnale simile a GW170104 simultaneamente nei due interferometri puramente dovuto puramente a rumore coincidente nei due rivelatori più bassa è la probabilità di falso allarme, più alta è la significatività della rivelazione (potete trovare più dettagli su come è calcolata la probabilità di falso allarme nei dati di LIGO nel riassunto scientifico di GW150914 [qui](#)).

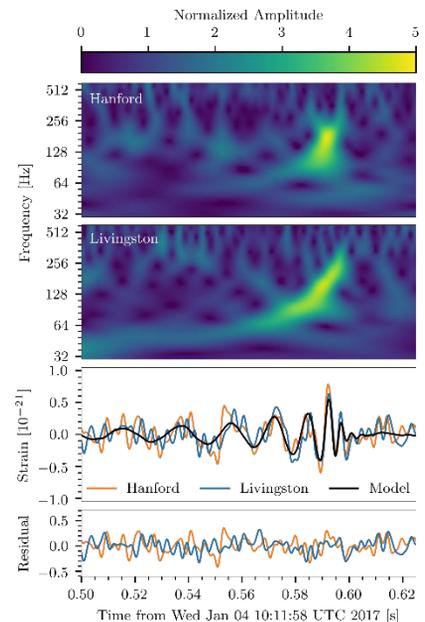
La nostra analisi ha confermato che la probabilità di falsi allarmi è inferiore ad uno ogni 70.000 anni, abbastanza raro da confermare GW170104 come rivelazione altamente significativa di un evento astrofisico!

Il terzo pannello in Figura 1 mostra un confronto fra il miglior modello di forma d’onda (in nero) e i segnali rivelati (in rosso e blu), (espressi come “strain” dovuto all’onda gravitazionale, o equivalentemente la variazione di distanza che cambia al passaggio di un’onda gravitazionale) osservati dai rivelatori LIGO al momento in cui l’evento GW170104 è accaduto. Il pannello più in basso mostra i residui della differenza tra i dati ed il miglior modello; possiamo concludere che il miglior modello ci fornisce un’ottima descrizione dei dati.

Altre analisi su supercomputer hanno permesso successivamente di estrarre informazioni più precise sui [parametri](#) di GW170104, ovvero le caratteristiche fisiche dell’evento, come la massa degli oggetti compatti, la loro distanza dalla Terra e posizione nel cielo, l’orientamento del loro piano orbitale, limiti sulla loro velocità di rotazione e sulla [precessione](#) orbitale. La stima dei parametri consiste nel controllare milioni di combinazioni dei parametri e testare quanto bene la forma d’onda gravitazionale predetta per ogni set di parametri coincida con il segnale misurato. (Vedere anche [qui](#) e [qui](#) per maggiori informazioni su come la stima dei parametri è eseguita).

### FIGURE DALLA PUBBLICAZIONE

Per maggiori informazioni sul significato delle figure consulta la pubblicazione completa disponibile [qui](#)



**Figura 1:** I due pannelli superiori mostrano un grafico dell’evoluzione della frequenza del segnale misurata dai due rivelatori Advanced LIGO in circa un intervallo di 0,1 secondi nel momento della rivelazione di GW170104. La forza, o ampiezza, del segnale è rappresentata dalla barra a colori. Il terzo pannello confronta la miglior forma d’onda gravitazionale (in nero) per la fusione di due buchi neri nei dati misurati dai due rivelatori LIGO. I dati sono stati aggiustati per la differenza di 3 millisecondi sul tempo di arrivo del segnale ai rivelatori di Hanford e Livingston, e per il differente orientamento dei bracci degli interferometri. Il pannello più in basso mostra i residui della differenza fra i dati e il miglior modello di forma d’onda; possiamo notare che i residui sembrano non mostrare nessuno schema ovvio.



Visita il nostro sito  
<http://www.ligo.org/>

E' possibile stimare l'incertezza sui parametri di GW170104 sia individualmente che in combinazione. Per esempio, la Figura 2 mostra che possiamo dedurre le masse dei due oggetti compatti, che abbiamo trovato essere rispettivamente 30 e 20 masse solar (indizio del fatto che siano due buchi neri). Dalla stima della massa del buco nero finale, abbiamo scoperto che l'equivalente di due masse solari è stato emesso sotto forma di energia in onde gravitazionali durante la fusione dei buchi neri. Questo corrisponde ad un picco di luminosità gravitazionale più grande di tutta la luminosità dell'intero universo osservabile in luce!

Abbiamo anche stimato la distanza di GW170104 trovando che probabilmente l'evento è avvenuto molto più lontano di GW150914, ad una distanza circa di 3 miliardi di anni luce. In realtà GW170104 è così lontano da essere stato "stirato" dall'espansione dell'universo, fenomeno noto come [redshift cosmologico](#), osservato anche per la luce di galassie lontane.

Una tabella con la stima dei parametri di GW170104 può essere trovata nell'articolo [pubblicato](#) e in questa scheda informativa.

## Cosa possiamo capire da GW170104?

### Una popolazione di buchi neri stellari

GW170104 è la terza rivelazione di onde gravitazionali, ed il quarto membro (incluso l'evento LVT151012) del nostro gruppo crescent di buchi neri di massa stellare osservati direttamente. La Figura 2 mostra come la massa di GW170104 possa essere confrontata con quella degli altri tre eventi; abbiamo visto che GW170104 si localizza nell'intervallo di masse di GW150914 e LVT151012. Inoltre, la sua rivelazione ha migliorato la nostra stima del tasso a cui le fusioni di buchi neri accadono. Sebbene questo tasso sia ancora incerto, sembra essere compatibile con le stime astrofisiche di formazione e fusione di binarie di buchi neri.

Un'altra informazione dal modello che può essere misurata è lo [spin dei buchi neri](#), infatti esistono differenti predizioni sul valore e orientazione dello spin. Sebbene ci siano ancora incertezze sul parametro di spin, le nostre osservazioni sembrano suggerire che essi siano disallineati nelle coppie di buchi neri.

### Test di relatività generale

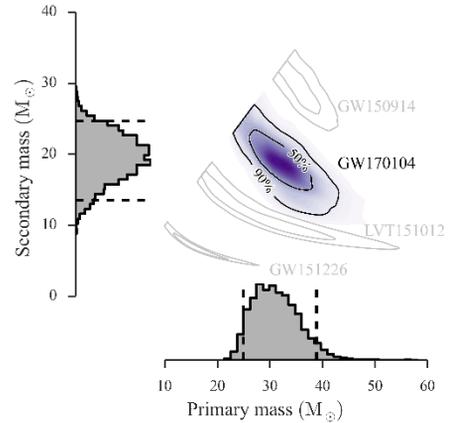
L'aggiunta di una terza rivelazione di onde gravitazionale ha anche migliorato la nostra capacità di testare alcuni degli aspetti fondamentali della teoria della relatività generale. (GR). Abbiamo confrontato alcune predizioni specifiche della GR sulle forme d'onda e cercato eventuali deviazioni da essa combinando la nuova osservazione con GW150914 e GW151226. I risultati ottenuti sono compatibili con quanto abbiamo trovato in precedenza (vedere [qui](#) e [qui](#)). La teoria della relatività di Einstein, dopo aver passato tutti i nostri test, risulta essere sempre corretta.

La grande distanza di GW170104 ha inoltre permesso di testare le predizioni della GR: cioè che le onde gravitazionali viaggiano alla velocità della luce e non subiscono il fenomeno di *dispersione*. In alcuni casi, un'onda non monocromatica può essere *dispersa* nel suo viaggio attraverso un mezzo il che significa che differenti componenti in frequenza dell'onda viaggiano a velocità differenti. (Un fenomeno dispersivo di tutti i giorni è la creazione dell'[arcobaleno](#), o la dispersione [delle onde sonore nell'acqua](#) di una piscina. D'altro canto, con buona approssimazione le onde sonore non sono disperse nel momento in cui viaggiano nell'aria; se lo fossero sentiremmo differenti tonalità di note arrivare a tempi differenti durante un concerto).

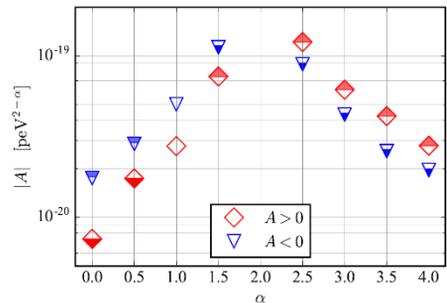
In accordo alla GR le onde gravitazionali da GW170104 non dovrebbero essere disperse nel loro viaggio di milioni di anni luce per raggiungerci. Per testare questo effetto si considera un semplice modello di dispersione motivato da alcune teorie alternative alla GR, nelle quali ci si aspetta di osservare questo fenomeno, e si confronta con le nostre osservazioni di GW170104, combinandole poi con quelle di GW150914 e GW151226.

La Figura 3 mostra i nostri limiti sulla entità della possibile dispersione per differenti valori del parametro,  $\alpha$  del modello. Notiamo che solo un piccolissimo valore di dispersione è permesso in consistenza con le nostre osservazioni, significando che le predizioni della RG (nelle quali non ci dovrebbe essere dispersione) passando di nuovo i nostri test. Sebbene limiti più stringenti siano stati messi sulla [dispersione delle onde elettromagnetiche nel vuoto](#) la nostra analisi rappresenta il primo test di dispersione sulle onde gravitazionali.

La seconda presa dati di Advanced LIGO continuerà fino a metà 2017, con [Advanced Virgo](#) che si unirà al più presto. Man mano che più rivelazioni saranno aggiunte in futuro, possiamo aspettarci di capire maggiormente gli eventi di formazione di buchi neri di massa stellare, e mettere limiti più vincolanti ai test di relatività generale.



**Figura 2:** Questa immagine mostra le masse dei buchi neri in unità di masse solari dedotte per il segnale GW170104. Le curve di livello nella parte superiore destra della figura mostrano quale combinazione di masse sia più probabile per la coppia di buchi neri. Gli istogrammi delimitati dall'area grigia mostrano la quale massa sia più probabile se consideriamo separatamente i due buchi neri, il picco è intorno a 30 e 20 masse solari rispettivamente. I contorni di probabilità per le masse dei buchi neri degli altri 3 eventi sono mostrati in grigio chiaro. (Adattati per Fig 2 nella pubblicazione).



**Figura 3:** Limiti superiori sulla grandezza del parametro di dispersione,  $A$ , permessi dai dati di GW170104, per differenti valori assunti del parametro,  $\alpha$ . Il modello permette sia valori positive che negative di  $A$ , abbiamo visto che limiti simili sono previsti in tutti e due i casi. La relatività generale predice  $A$  essere esattamente zero.

## SCOPRI DI PIU':

GW170104 [articolo della rivelazione](#) pubblicato su *Physical Review Letters*

LIGO Scientific Collaboration [homepage](#)

Advanced LIGO [homepage](#)

Alcune informazioni sulla tecnologia di Advanced LIGO [upgrades](#)

Advanced Virgo [homepage](#)

[LIGO Open Science Center](#) (con accesso diretto ai dati di GW170104)