

# GW170817 e GRB 170817A: onde gravitazionali e raggi gamma dalla fusione di un sistema binario di stelle di neutroni.

L'onda gravitazionale GW170817 è stata rivelata il 17 agosto 2017 dagli osservatori Advanced [LIGO](#) e Advanced [Virgo](#). Questo è il primo segnale attribuibile alla fusione di due stelle di neutroni. Appena 1,7 secondi dopo la rilevazione del segnale gravitazionale, il [Fermi-GBM](#) (Gamma-ray Burst Monitor) e [INTEGRAL SPI-ACS](#) (Anticoincidence Shield for the Spectrometer for the INTERNATIONAL Gamma-Ray Astrophysics Laboratory) hanno rilevato un breve lampo di raggi gamma: GRB 170817A. Per decenni gli astronomi hanno supposto che i brevi lampi di raggi gamma siano prodotti dalla fusione di due stelle di neutroni, o dalla fusione di una stella di neutroni ed un buco nero. La combinazione di GW170817 e GRB 170817A fornisce la prima prova diretta che la collisione di stelle di neutroni può davvero produrre brevi lampi di raggi gamma.

## Introduzione

I lampi di raggi gamma (GRB, dall'inglese Gamma-Ray Burst) sono tra gli eventi più [energetici](#) osservati in natura. In essi viene in genere rilasciata in pochi secondi la stessa quantità di energia che il nostro sole produrrà in tutta la sua vita lunga 10 miliardi di anni. Tali eventi si verificano circa una volta al giorno e provengono da punti casuali nel cielo. I GRB possono avere una durata che va dalle frazioni di secondo alle migliaia di secondi; tuttavia vengono in genere suddivisi in due categorie, essenzialmente in base alla loro durata, con una linea di demarcazione posta a 2 secondi (in realtà la classificazione tiene conto anche di caratteristiche più complesse). I [GRB lunghi](#) (> 2 secondi) sono causati dal collasso del nucleo di stelle massicce in rapida rotazione. Adesso abbiamo la prova che i [GRB brevi](#) (<2 secondi) sono dovuti alla fusione di due [stelle di neutroni](#) e anche probabilmente (sebbene il fenomeno non sia ancora stato osservato) di una stella di neutroni e un [buco nero](#).

## L'onda gravitazionale e il breve lampo di raggi gamma

**L'osservazione di onde gravitazionali:** i due rivelatori Advanced LIGO e Advanced Virgo hanno osservato il segnale d'onda gravitazionale GW170817 con un rapporto segnale-rumore combinato di 32.4; si tratta del segnale d'onda gravitazionale più intenso registrato fino ad oggi. L'analisi dei dati ha rivelato che il segnale è compatibile con la fusione di due stelle di neutroni, con massa fra 0.86 e 2.26 volte la massa del Sole, ad una distanza di oltre cento milioni di anni luce. Questo rende GW170817 l'evento di onda gravitazionale più vicino finora osservato. La triangolazione tra i tre rivelatori ha consentito di localizzare il segnale entro una zona di cielo di 28 gradi quadrati con una confidenza del 90%; questa è la regione di localizzazione più piccola mai riportata dalla collaborazione LIGO-Virgo, ed è mostrata in Figura 1. La traccia sul piano tempo-frequenza di GW170817 è mostrata nel pannello inferiore della Figura 2.

**L'osservazione del lampo di raggi gamma:** l'emissione di raggi gamma è stata rilevata in modo indipendente da Fermi-GBM e INTEGRAL, due osservatori di raggi gamma in orbita intorno alla Terra. GRB 170817A è stato rilevato autonomamente da Fermi-GBM in 3 dei 12 rivelatori di ioduro di sodio (NaI); il segnale mostra due componenti apparentemente distinte. L'osservazione iniziale, che dura circa mezzo secondo, presenta le caratteristiche tipiche di un GRB breve, ed è mostrata nel secondo pannello di Figura 2. Questa è poi seguita da una emissione più debole ad energia inferiore che dura alcuni secondi, mostrata nel primo pannello di Figura 2. In base alle sole caratteristiche del GRB, è tre volte più probabile che GRB 170817A sia un GRB breve che un GRB lungo. Fermi-GBM ha identificato la direzione di provenienza di GRB 170817A entro 1100 gradi quadrati (con un livello di confidenza del 90%). Come mostrato nel terzo pannello di Figura 2, anche la ricerca generica di brevi transienti effettuata da INTEGRAL SPI-ACS ha identificato GRB 170817A. Fermi-GBM e INTEGRAL SPI-ACS individuano spesso GRB brevi in modo congiunto; è stato confermato con un elevato livello di confidenza che il GRB breve osservato da Fermi-GBM è lo stesso. Utilizzando la differenza tra i tempi di arrivo di GRB 170817A in INTEGRAL SPI-ACS e Fermi-GBM si può effettuare una localizzazione congiunta. Questa localizzazione è mostrata in Figura 1 insieme a quelle di Fermi-GBM e di LIGO-Virgo.

Nonostante le regioni di localizzazione nel cielo determinate dai rivelatori di onde gravitazionali e dai satelliti per raggi gamma si sovrappongano, e nonostante la stretta vicinanza temporale tra i due segnali, resta da capire se GW170817 e GRB 170817A provengono effettivamente dalla stessa sorgente. Si può dimostrare che la probabilità che due segnali non correlati si sovrappongano in modo così strettamente nello spazio e nel tempo è di appena una su 20 milioni. Pertanto, è estremamente probabile che i due segnali siano dovuti alla stessa fusione di stelle di neutroni.

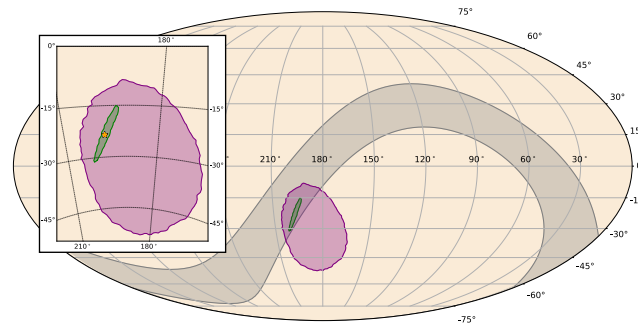


Figura 1: Localizzazione finale della sorgente che ha prodotto GW170817 e GRB 170817A. Tutti i contorni rappresentano intervalli di confidenza del 90%. Il contorno della mappa di cielo prodotta da LIGO-Virgo è mostrato in verde. La localizzazione della ricerca mirata Fermi-GBM è sovrapposta in viola. L'anello determinato dall'informazione temporale di Fermi e INTEGRAL è rappresentato dall'area grigia. L'insero ingrandito mostra anche la posizione del transiente ottico, indicato con una stella gialla. Gli assi sono l'ascensione retta e la declinazione nel sistema di coordinate equatoriali.



Visitate i nostri siti web:

<http://www.ligo.org>

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



## Cosa può dirci questa osservazione?

L'osservazione congiunta di onde gravitazionali e GRB costituisce un'opportunità senza precedenti per studiare i meccanismi alla base dei GRB brevi, e ci permette di verificare una serie di concetti di fisica fondamentale, nonché le proprietà delle due stelle neutroni che si sono fuse. Tutto questo si ottiene prendendo in considerazione (1) la differenza di 1.7 secondi tra GW170817 e GRB 170817A, (2) la distanza di cento milioni di anni luce che entrambi i segnali hanno attraversato e (3) i tempi in cui ci aspettiamo che ciascun segnale venga emesso durante la fusione di stelle di neutroni.

La nostra migliore teoria della gravità, la [Relatività Generale](#) di Einstein, prevede che la velocità delle onde gravitazionali e dei raggi gamma o della luce siano identiche. Il semplice ritardo temporale tra i due segnali ci permette di verificare la differenza tra le velocità della gravità e della luce. La differenza relativa tra le velocità della gravità e della luce è molto vicina a zero, tra  $-0.0000000000000003$  e  $0.0000000000000007$ ! Abbiamo anche potuto effettuare una ulteriore verifica del [principio di equivalenza](#) e della [invarianza di Lorentz](#), due dei principi fondamentali su cui si basa la teoria di Einstein.

## Come si confronta GRB 170817A con altri GRB?

GRB 170817A è 100 volte più vicino dei GRB tipici osservati da Fermi-GBM. È anche meno luminoso rispetto alla popolazione di altri GRB lunghi/brevi. Questo significa che GRB 170817A contiene minore energia. In effetti è tra 100 e 1000000 volte meno energetico rispetto ad altri GRB brevi. Poiché si pensa che le emissioni di raggi gamma dai GRB si propagano in forma di fascio, una possibile spiegazione per la debolezza di questo GRB è che la Terra si trovasse sul bordo del fascio. Un'altra possibilità è che la luminosità del fascio non fosse uniforme. Tuttavia la debolezza osservata di GRB 170817A, data la relativa vicinanza della sorgente, solleva la seguente questione: esiste una popolazione di GRB altrettanto deboli e vicini, e finora inosservati (a causa della sensibilità limitata degli strumenti per raggi gamma) o interpretati erroneamente come più distanti di quanto siano in realtà (a causa di errori nel determinare la galassia di provenienza), o semplicemente perché le loro distanze sono ignote (come avviene per la maggior parte dei GRB brevi)? Tali questioni verranno direttamente affrontate dalle prossime osservazioni congiunte di raggi gamma e onde gravitazionali.

## GLOSSARIO

**Raggi gamma:** Radiazione elettromagnetica nella regione di più alta energia dello spettro elettromagnetico.

**Stella di neutroni:** Oggetto estremamente denso risultante dal collasso di una stella massiccia. Una tipica stella di neutroni ha una massa di mezzo milione di volte quella della Terra, ma è grande appena 30 km.

**Buco nero:** Una regione di spazio-tempo, intorno ad una massa estremamente compatta, nella quale la gravità è talmente intensa da impedire a tutto, inclusa la luce, di allontanarsi.

**Rapporto segnale-rumore:** Il rapporto tra la potenza del segnale e la potenza del rumore, utilizzato per confrontare il livello del segnale con il livello del rumore. Misura l'intensità del segnale in confronto con le sorgenti di rumore che possono contaminarlo.

**Fase di osservazione:** Un periodo di osservazione nel quale i rivelatori di onde gravitazionali acquisiscono dati.

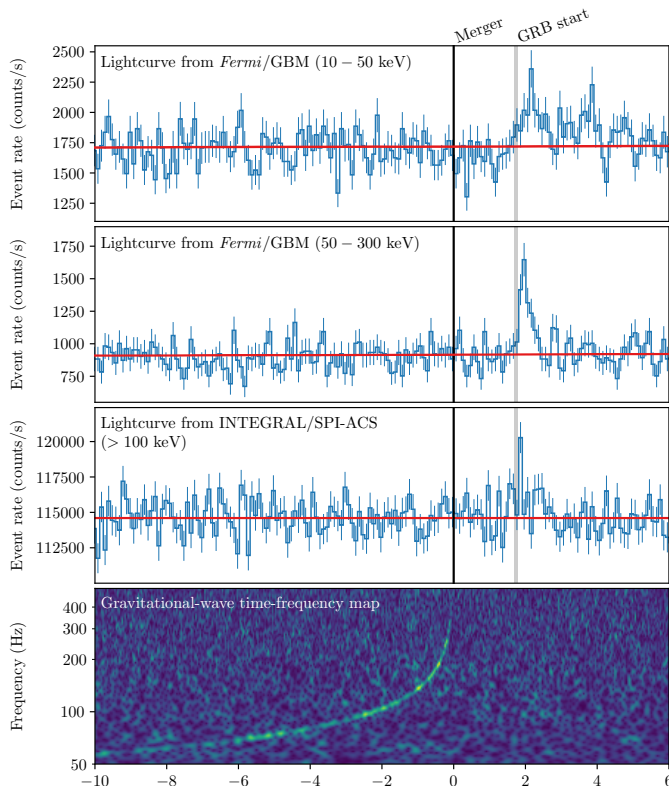


Figura 2: La rivelazione combinata di GW170817 e GRB 170817A. Primo pannello: le curve di luce di Fermi-GBM sommate per i rivelatori 1, 2, e 5 a ioduro di sodio (NaI) per GRB 170817A tra 10 e 50 keV, in coincidenza con gli intervalli di tempo da 100 ms dei dati di INTEGRAL SPI-ACS. Il fondo stimato è sovrapposto in rosso. Secondo pannello: come il primo pannello, ma nell'intervallo di energie 50 - 300 keV. Terzo pannello: la curva di luce di INTEGRAL SPI-ACS con l'intervallo di energie a partire da circa 100 keV e con un limite ad alta energia di almeno 80 MeV. Quarto pannello: la mappa tempo-frequenza di GW170817 ottenuta dalla combinazione coerente dei dati di LIGO-Hanford e LIGO-Livingston.

## Quante osservazioni congiunte possiamo aspettarci nei prossimi anni?

GRB 170817A rappresenta solo l'inizio di una nuova era di osservazioni di raggi gamma e di onde gravitazionali, che aiuteranno a svelare l'affascinante fisica delle stelle di neutroni e dei lampi di raggi gamma. LIGO e Virgo sono ora in fase di aggiornamento per migliorare ulteriormente le loro prestazioni. Considerando la sensibilità attesa di questi rivelatori nella prossima fase di osservazione (prevista per la fine del 2018), ci si aspetta tra 1 e 50 segnali di onda gravitazionale da fusione di sistemi binari di stelle di neutroni ogni anno. In combinazione con Fermi-GBM, si prevedono tra 0.1 e 1.4 osservazioni congiunte di onde gravitazionali e GRB ogni anno. Quando i rivelatori di onde gravitazionali raggiungeranno la loro sensibilità di progetto (intorno al 2020), il numero di segnali di onde gravitazionali rilevabili salirà a tra 6 e 120 all'anno, e il numero di osservazioni congiunte con Fermi-GBM salirà a tra 0.3 e 1.7 all'anno.

La rete globale di rivelatori di onde gravitazionali ed osservatori di raggi gamma ad ampio campo, come Fermi-GBM e INTEGRAL SPI-ACS, sarà essenziale per il futuro dell'astronomia GW-GRB.

## Per saperne di più

Puoi leggere l'articolo completo, accettato per la pubblicazione su The Astrophysical Journal, [qui](#).