

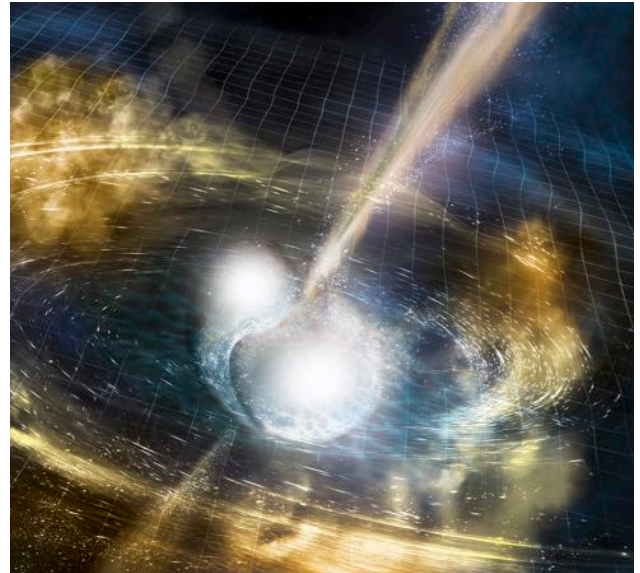


LIGO
Scientific
Collaboration



L'alba dell'astrofisica multimessenger: osservazioni della fusione di un sistema binario di stelle di neutroni

Il 17 agosto 2017 astronomi di tutto il mondo sono stati allertati della osservazione di onde gravitazionali da parte dei rivelatori [Advanced LIGO](#) e [Advanced Virgo](#). Questo evento gravitazionale, ora noto come GW170817, sembrava essere il risultato della fusione di due stelle di neutroni. Meno di due secondi dopo il segnale GW170817, il satellite Fermi della NASA ha osservato un lampo di raggi gamma, ora noto come GRB170817A. Entro pochi minuti da queste rivelazioni iniziali, telescopi di tutto il mondo hanno iniziato un'estesa campagna osservativa. Il telescopio Swope in Cile è stato il primo a riferire di una sorgente ottica brillante (SSS17a) nella galassia NGC 4993. Diversi altri gruppi hanno indipendentemente rivelato lo stesso transiente nel giro dei minuti e delle ore successivi. Per diverse settimane dopo la scoperta gli astronomi hanno osservato questa regione di cielo con strumenti sensibili in diverse parti dello spettro elettromagnetico. Queste osservazioni forniscono una visione globale su questo evento catastrofico a partire da ~100 secondi prima della fusione fino a diverse settimane dopo. Tali osservazioni supportano l'ipotesi che due stelle di neutroni si siano fuse in NGC 4993 producendo onde gravitazionali, un breve lampo di raggi gamma e una kilonova. GW170817 segna una nuova era della astronomia multimessenger, in cui lo stesso evento viene osservato sia con onde gravitazionali che con onde elettromagnetiche.



Rappresentazione artistica della fusione di due stelle di neutroni. I sottili fasci rappresentano il lampo di raggi gamma mentre la griglia ondulata dello spazio-tempo indica le onde gravitazionali isotrope che caratterizzano la fusione. Nubi vorticosi di materiale che emesso dalla fusione delle stelle sono una possibile sorgente della luce che è stata vista a più basse energie. (Image credit: Aurore Simonnet/Sonoma State University/LIGO Scientific Collaboration)

INTRODUZIONE

L'idea di una stella di neutroni (NS, dall'inglese Neutron Star) fu avanzata per la prima volta più di 80 anni fa, nel 1934. Ci vollero altri 33 anni prima che venissero osservate. Nel 1967 si determinò che l'emissione di raggi X da [Scorpius X-1](#) era dovuta ad una NS e successivamente, nel corso dello stesso anno, fu scoperta la prima [radio pulsar](#). Da allora sono stati scoperti diversi sistemi binari di stelle di neutroni (BNS, dall'inglese Binary Neutron Star), tra cui il [sistema binario di Hulse-Taylor](#), una BNS in cui una delle stelle di neutroni è una pulsar. I BNS hanno permesso di sottoporre la [Relatività Generale](#) a importanti test osservativi tra cui la prima chiara evidenza dell'esistenza delle [onde gravitazionali](#) (GW, dall'inglese Gravitational Waves). Sin dagli inizi di LIGO e Virgo, le fusioni di BNS sono state considerate un obiettivo primario delle osservazioni di onde gravitazionali.

A metà degli anni 60 i [lampi di raggi gamma](#) (GRB, dall'inglese Gamma Ray Burst) sono stati scoperti dai satelliti Vela, e successivamente confermati essere di origine cosmica. Da allora scoprire le sorgenti dei GRB è stata una delle principali sfide dell'astrofisica delle alte energie. L'idea che i GRB possano essere legati a fusioni di stelle di neutroni è stata avanzata molto presto. Nel 2005 c'è stato un grande avanzamento, quando un lampo gamma di breve durata (sGRB, dall'inglese short Gamma Ray Burst) è stato localizzato nella sua galassia ospite e successivamente si sono potuti osservare bagliori (in inglese afterglow) a diverse lunghezze d'onda (raggi X, ottico, radio). Queste osservazioni fatte a diverse lunghezze d'onda hanno fornito evidenza che gli sGRB possano essere associati alle fusioni di BNS o alla fusione di una stella di neutroni con un buco nero.

Una scoperta multimessenger

Il 17 agosto 2017 il satellite [Fermi](#) della NASA e il suo strumento [Gamma-ray Burst Monitor](#) (GBM) hanno inviato un allerta automatico su GRB170817A. Nel giro di circa 6 minuti l'analisi dati automatica di LIGO ha trovato che una possibile GW transiente era stata rivelata quasi allo stesso tempo all'osservatorio LIGO-Hanford. La GW era consistente con la fusione di un sistema binario di stelle di neutroni avvenuto meno di 2 secondi prima di GRB170817A. La squadra di pronta allerta di LIGO-Virgo ha verificato manualmente i dati e rilasciato un rapporto di allerta che un candidato GW molto significativo era associato col GRB. L'analisi iniziale dei dati ha identificato l'area del cielo in cui con più probabilità si trovava la sorgente dei segnali GRB170817A e GW170817, mostrata in Figura 1.

Questo evento ha segnato la prima scoperta multimessenger di onde gravitazionali: infatti è stato osservato sia con le onde gravitazionali GW che elettromagnetiche (EM). Telescopi di tutto il mondo hanno concentrato i loro sforzi nell'area di cielo identificata dal segnale GW e gamma per fare ulteriori osservazioni legate a questa sorgente. C'è stata una abbondanza di importanti osservazioni fatte a diverse lunghezze d'onda elettromagnetiche, come pure misure di flusso di neutrini; la Figura 2 mostra una cronologia delle osservazioni. Le osservazioni a diverse lunghezze d'onda hanno contribuito in modo fondamentale alla ricchezza di questa scoperta scientifica.

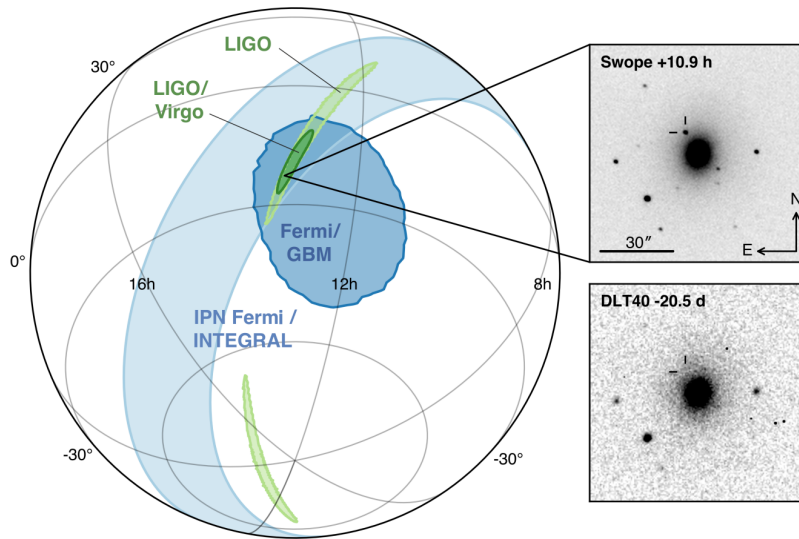


Figura 1: Localizzazione dei segnali di onde gravitazionali, raggi gamma e ottici. Il pannello a sinistra mostra la proiezione delle regioni al 90% di confidenza da LIGO (verde chiaro), LIGO-Virgo (verde scuro), triangolazione dal ritardo temporale tra Fermi e INTEGRAL (celeste), e Fermi GBM (blu scuro). L'inserto mostra la localizzazione della presunta galassia ospite NGC 4993 nell'immagine della scoperta ottica di Swope 10.9 ore dopo la fusione (in alto a destra) e l'immagine di DLT40 precedente alla scoperta e risalente a 20.5 giorni prima della fusione (in basso a destra).

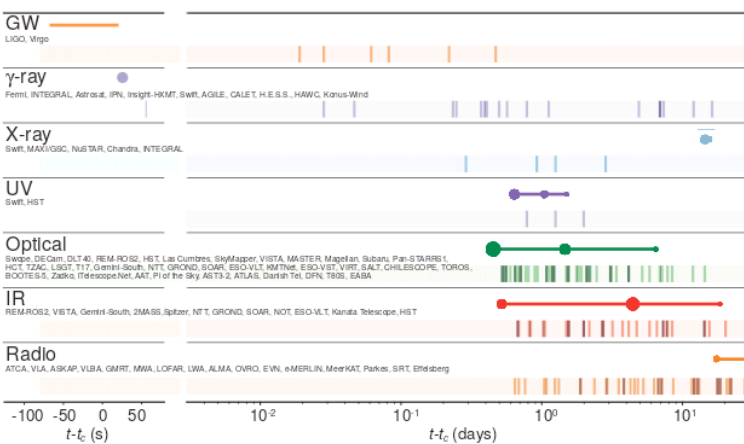


Figura 2: La cronologia della scoperta di GW170817, GRB170817A, SSS17a/AT2017gto e le successive osservazioni è mostrata nella Figura 2 dall'articolo. Alcuni elementi di quella figura sono riportati qui e descritti in maggiore dettaglio. **Figura 2a:** cronologia della scoperta e successive osservazioni del sistema. Due tipi di informazioni sono mostrati per ciascuna banda/messaggero. Il primo: i tratti ombreggiati rappresentano i tempi in cui l'informazione è stata riportata in una circolare GCN. I nomi collettivi degli autori sono mostrati tutti all'inizio della riga. Il secondo: le linee continue con i cerchi indicano quanto la sorgente era rivelabile da almeno un telescopio nella particolare banda. Le dimensioni dei cerchi scalano approssimativamente per magnitudine

Al momento dell'allerta per GW170817 la sorgente era localizzata nel cielo australiano, ma era ancora ben posta per osservazioni da parte di telescopi in Sud Africa e in Cile. Nelle primissime ore della notte cilena, il telescopio [Swope](#) ha identificato un transiente ottico (SSS17a) nella galassia NGC 4993. Nel corso delle 2 settimane successive, una rete di telescopi terrestri e osservatori nello spazio ha seguito le rivelazioni iniziali, coprendo lo spettro dall'ultravioletto (UV), all'ottico (O) al vicino infrarosso (IR). Queste osservazioni hanno monitorato attentamente la distribuzione spettrale energetica, scoprendo che questa eccezionale controparte elettromagnetica era una [kilonova](#). Questa osservazione associa chiaramente le kilonovae alla fusione di un sistema BNS, dando evidenza a favore dell'idea che le kilonovae risultino dal decadimento radioattivo degli elementi pesanti formati per cattura neutronica durante la fusione di un sistema BNS.

Dopo la kilonova, osservatori ai raggi X e onde radio hanno studiato la sorgente, registrando un segnale di controparte dell'evento. Queste osservazioni hanno fornito importanti informazioni sul contenuto energetico dell'esplosione, sul materiale emesso e l'ambiente in cui è avvenuta la fusione. Osservatori di **neutrini** hanno cercato neutrini di alta energia emessi in coincidenza di GW170817 dalla sua zona di provenienza. Nessun neutrino è stato identificato dalla direzione di GW170817 e nessun segnale impulsivo di neutrini da supernova è stato osservato in coincidenza con la fusione. A seguito dell'identificazione della galassia ospite dell'evento, è stata condotta una estesa ricerca di neutrini nella direzione di NGC 4993 per due settimane dopo la fusione, senza che o nessuna significativa emissione di neutrini sia stata trovata. Rivelare onde gravitazionali, radiazione elettromagnetica e neutrini dallo stesso evento cosmico resta un obiettivo della astronomia multimessenger (cioè con messaggeri diversi).

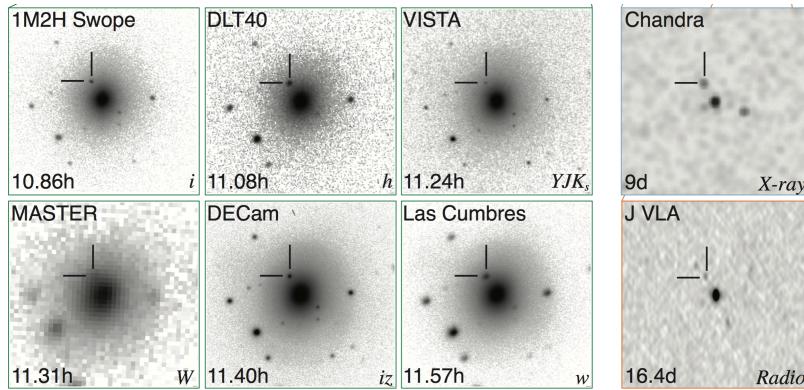


Figura 2c: la figura mostra 8 immagini dei postumi della fusione del sistema binario di NS (chiamato SSS17a/AT2017gfo). A sinistra sono mostrate sei immagini ottiche prese da diversi telescopi tra 10 e 12 ore dopo la fusione, a destra sono mostrate due immagini realizzate in base alle osservazioni ai raggi X e radio. L'immagine ai raggi X è stata presa 9 giorni dopo la fusione dal Chandra X-ray Observatory della NASA. 16 giorni dopo la fusione il Jansky Very Large Array (VLA) di NRAO ha catturato l'immagine radio. In tutte le 8 immagini la galassia NGC 4993 è al centro e SSS17a/AT2017gfo è indicato da due linee.

Conclusioni

Per la prima volta sia onde gravitazionali che elettromagnetiche sono state osservate provenire da una singola sorgente astrofisica. Questa osservazione congiunta supporta l'ipotesi che la sorgente sia la fusione di due stelle di neutroni e ha anche permesso di identificare la galassia ospite. Le osservazioni elettromagnetiche comprendono tre componenti principali a diverse lunghezze d'onda: (1) un subitaneo, breve lampo di raggi gamma che dimostra l'associazione di almeno parte di questi fenomeni con la fusione di due stelle di neutroni, (ii) un transiente ultravioletto, ottico e infrarosso (noto come kilonova) dovuto al decadimento radioattivo di elementi pesanti formati per cattura neutronica, osservato in modo chiaro per la prima volta, seguito da (iii) una controparte ritardata nei raggi X e radio. Tutte queste osservazioni forniscono la prima visione globale dei processi in gioco in seguito alla fusione di stelle compatte, incluso un getto di particelle di alta energia e l'interazione di questo getto con il mezzo interstellare circostante. Questo evento dimostra anche l'importanza di osservazioni fatte in collaborazione e congiunte di onde gravitazionali, elettromagnetiche e di neutrini, e segna una nuova era nella astronomia multimessenger nel dominio del tempo.

GLOSSARIO

- **Buco nero:** una regione dello spazio-tempo causata da una massa estremamente compatta dove la gravità è così intensa che nulla, nemmeno la luce, può uscirne.
- **Neutrino:** particella elementare priva di carica elettrica
- **Raggi gamma:** radiazione elettromagnetica alle più alte energie dello spettro elettromagnetico.
- **Stella di neutroni:** Oggetto estremamente denso che rimane dopo il collasso di una stella massiccia.

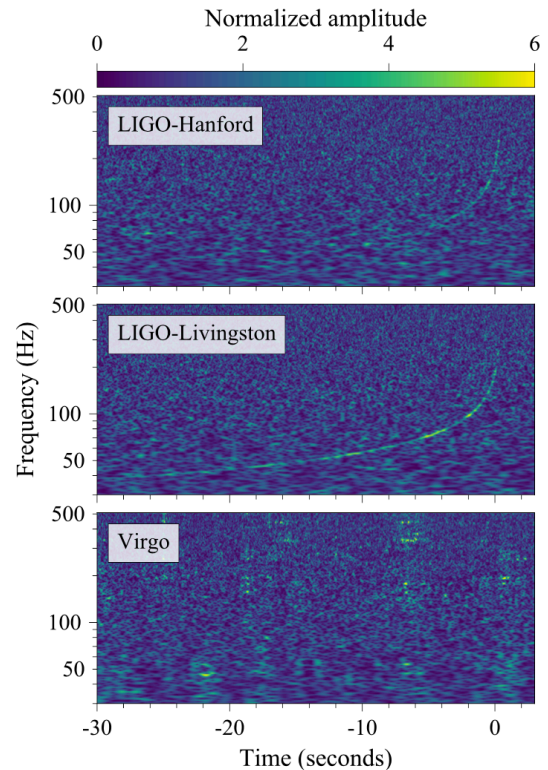


Figura 2b: Viene qui mostrato lo spettrogramma delle onde gravitazionali viste nel rivelatore LIGO-Livingston. Qui mostriamo gli spettrogrammi relativi a tutti e tre i rivelatori LIGO-Virgo. Si può osservare il caratteristico segnale a 'chirp' della fusione del sistema binario, con la frequenza che aumenta nel tempo.



Visitate i nostri siti web:

<http://www.ligo.org>

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



Per Approfondire

Visita i nostri siti web: <http://www.ligo.org>, <http://www.virgo-gw.eu>. E' possibile leggere l'articolo completo, pubblicato su Astrophysical Journal Letters, [qui](#).

Visita il LIGO Open Science Center, con accesso ai dati di GW170817: <https://losc.ligo.org>

Per leggere altri nostri articoli scientifici sulla scoperta di GW170817:

- [GW170817: Observation of gravitational waves from a binary neutron star inspiral](#)
- [A standard siren measurement of the Hubble constant with GW170817](#)
- [Estimating the Contribution of Dynamical Ejecta in the Kilonova Associated with GW170817](#)
- [On the Progenitor of Binary Neutron Star Merger GW170817](#)
- [GW170817: Implications for the Stochastic Gravitational-Wave Background from Compact Binary Mergers](#)
- [Search for High-energy Neutrinos from Binary Neutron Star Merger GW170817 with ANTARES, IceCube, and the Pierre Auger Observatory](#)