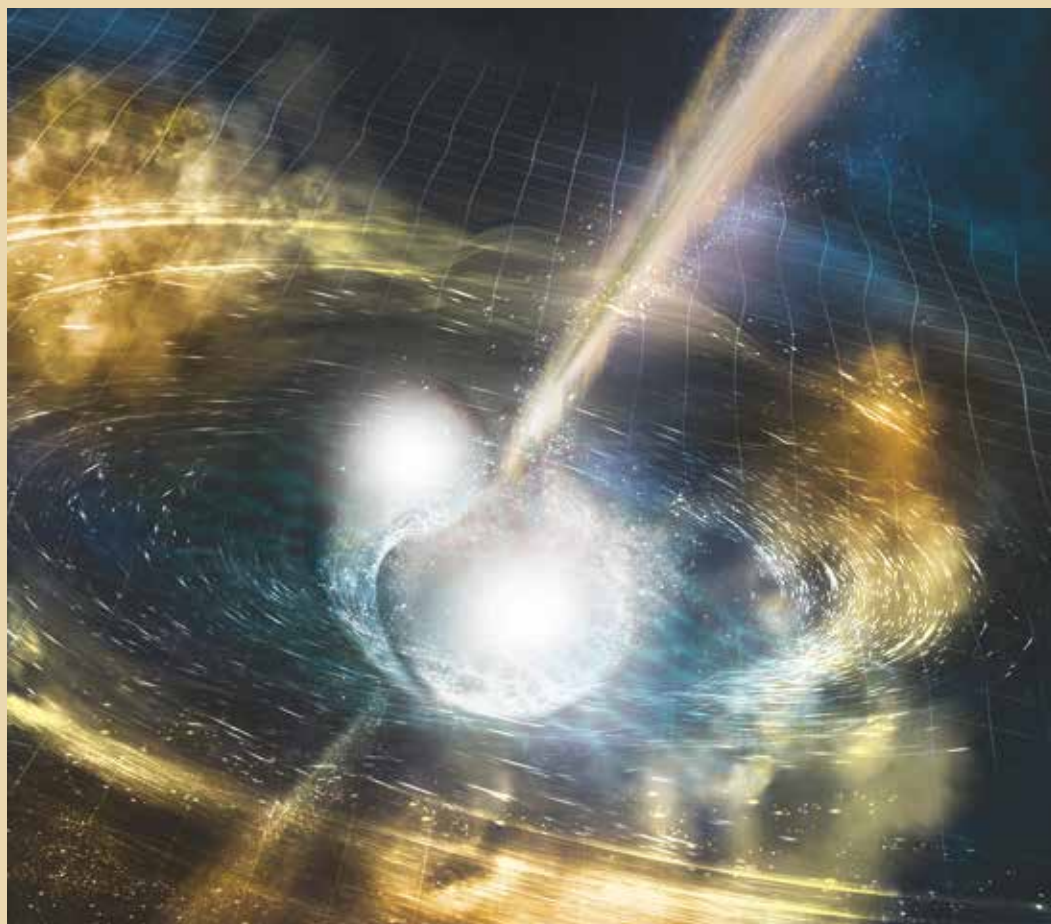


Con gli occhi puntati

L'esordio dell'astronomia multimessaggera

di Albino Perego

a.
Visualizzazione artistica della fusione di due stelle di neutroni.



In una notte d'estate del 1609 Galileo Galilei puntò per la prima volta il suo cannocchiale al cielo. Non sappiamo con precisione che cosa vide, ma possiamo immaginarne lo stupore: un nuovo modo di guardare l'universo era nato. 408 anni dopo, il 17 agosto 2017, i due interferometri gemelli dell'esperimento Ligo negli Stati Uniti e quello dell'esperimento Virgo a Cascina (Pisa) rivelavano, per la prima volta, il passaggio di onde gravitazionali prodotte dalla collisione di due stelle di neutroni. Il passaggio dell'onda aveva modificato la lunghezza dei bracci degli interferometri, lunghi qualche chilometro, di una parte su centinaia di miliardi di miliardi, in pratica di una frazione delle dimensioni di un nucleo atomico. Il segnale, denominato GW170817, proveniva da una regione di cielo, grande 140 volte il disco lunare, posta nell'emisfero australe nella costellazione dell'Idra (vd. fig. c

a p. 22, ndr). Meno di due secondi dopo, i satelliti Integral e Fermi rivelavano un lampo di fotoni gamma della durata di poco più di un secondo (un *gamma-ray burst* corto) proveniente dalla stessa regione di cielo. Undici ore dopo, telescopi dislocati in tutto il mondo e nello spazio cominciarono a osservare il brillare di una nuova sorgente nella galassia NGC 4993. Luce in tutte le bande dello spettro elettromagnetico, dai raggi X fino alle onde radio, passando per l'ultravioletto, il visibile e l'infrarosso, aveva viaggiato per 130 milioni di anni in scia alle onde gravitazionali, fino al nostro pianeta. Lo stupore delle centinaia di fisici e astronomi coinvolti in questa catena di scoperte deve essere stato simile a quello di Galileo quella notte d'estate. L'astronomia multimessaggera era nata e con essa il nostro modo di guardare l'universo si era ancora una volta rinnovato.

GW170817

Coalescenza di un sistema binario di stelle di neutroni

Rivelazione di un'onda gravitazionale da parte di Ligo e Virgo, con associati eventi elettromagnetici rivelati da oltre 70 osservatori



12:41:04 UCT

Il 17 agosto 2017 viene rivelata un'onda gravitazionale dalla coalescenza di un sistema binario di stelle di neutroni avvenuto a 130 mln di anni luce, in un'area di 28 gradi quadrati nel cielo australe.

+2 secondi

Osservazione di un lampo di raggi gamma.

Un lampo gamma (gamma ray burst) è un'intensa emissione di radiazione gamma prodotto immediatamente dopo la coalescenza.

+10 ore e 52 minuti

Una nuova e brillante sorgente di luce visibile viene osservata sempre nell'emisfero australe, in una galassia nota come NGC 4993 nella costellazione dell'Idra.

Il decadimento di materia ricca di neutroni genera un'emissione elettromagnetica di grande luminosità (detta kilonova) producendo metalli pesanti come oro e platino.

+11 ore e 36 minuti

Osservazione di radiazione infrarossa.

+15 ore

Osservazione di intensa radiazione ultravioletta.

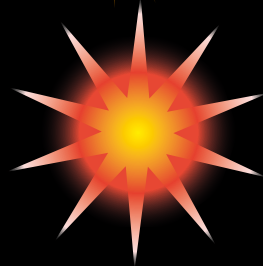
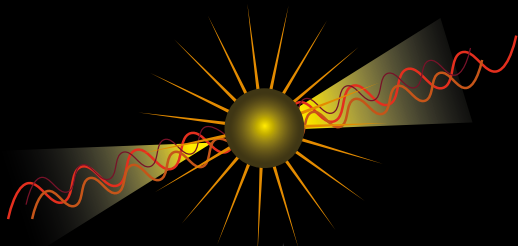
+9 giorni

Osservazione di raggi X.

+16 giorni

Osservazione di onde radio.

Allontanandosi dalla coalescenza, i residui producono un'onda d'urto nel mezzo interstellare, cioè la materia rarefatta tra le stelle. Questo produce emissioni che possono durare per anni.



Osservare contemporaneamente onde gravitazionali ed elettromagnetiche generate dallo stesso evento è una prova molto convincente che le onde gravitazionali viaggiano alla velocità della luce.



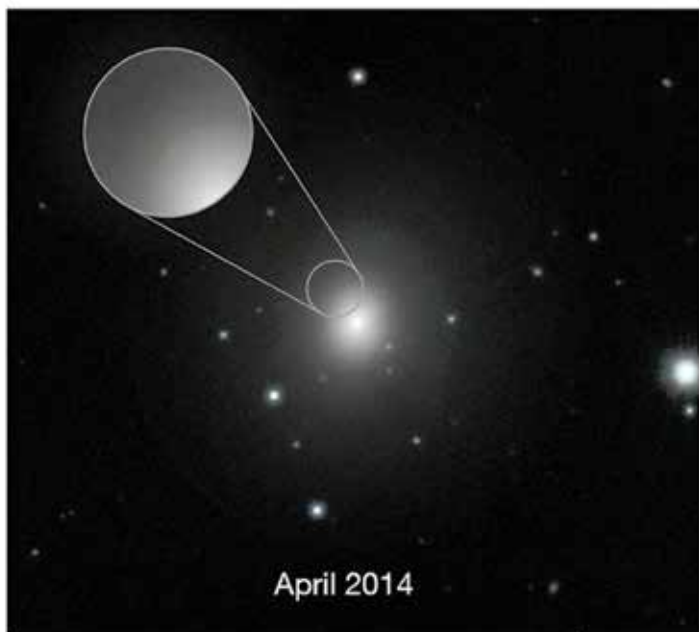
La cronaca di quei giorni assomiglia a un avvincente film d'azione. Dopo l'implementazione di importanti migliorie e alcune vicissitudini sperimentali, i primi di agosto 2017 l'interferometro Virgo era stato riaccessato e affiancato ai due interferometri americani. I tre interferometri sarebbero stati finalmente operativi allo stesso tempo, ma solo per alcune settimane. Un intervallo esiguo, ma sufficiente a Virgo per rivelare una coalescenza di buchi neri, prima, e, pochi giorni dopo, la prima coppia di stelle di neutroni. Per quanto l'onda gravitazionale fosse giunta sulla terra prima del lampo gamma, la prima allerta globale dell'evento fu lanciata dal satellite Fermi. Come mai? Il segnale in Virgo (il primo rivelatore a essere stato attraversato dalle onde) fu molto debole: un interferometro assomiglia più a un microfono che a un telescopio e,

nella fattispecie, il segnale era giunto da una delle zone di cielo per le quali il rivelatore ha minore sensibilità. In aggiunta, pochi secondi prima che il segnale gravitazionale raggiungesse il suo picco, il rivelatore Ligo di Livingston registrò un intenso *glitch*, un rumore caratteristico, ma casuale, che rese il rivelatore cieco per alcuni istanti e disattivò l'invio automatico dell'allerta. Tuttavia, una volta ricevuta l'allerta del satellite Fermi, una prima, rapida analisi dei dati raccolti dai tre interferometri rivelò il passaggio dell'onda e cominciò a far luce sulla natura della sorgente. La successiva allerta congiunta dei satelliti gamma e degli interferometri fu quindi diramata a centinaia di astronomi, insieme a una mappa del cielo con la localizzazione della sorgente. A dispetto del debole segnale registrato, la presenza dell'interferometro Virgo è stata fondamentale. Solo così, infatti,

la localizzazione per triangolazione è diventata dieci volte più precisa e i telescopi hanno potuto ispezionare una regione relativamente piccola di cielo alla caccia di emissioni di luce associate alla coalescenza: qualche decina di galassie dalle quali è presto emersa la prima osservazione estesa e dettagliata di una nuova classe di fenomeni astrofisici, le "kilonovae" (anche dette "macronovae"), brillante per più di venti giorni, e la tipica emissione in raggi X e onde radio (chiamata "afterglow") che accompagna, a qualche giorno di distanza, l'emissione dei lampi gamma. Al di là del fascino rappresentato dall'osservazione così complessa e variegata di un fenomeno mai visto prima, questo evento ha un immenso valore scientifico, le cui conseguenze sono ancora in gran parte da comprendere. Il segnale gravitazionale ha fornito informazioni preziose non



b.
Vista aerea dell'interferometro Ligo di Livingston, in Louisiana (Stati Uniti).



c.
La galassia NCG nell'aprile 2014 (a sinistra) e nell'agosto 2017, dopo la comparsa della kilonova, evidenziata nello zoom in alto a sinistra.

solo sulle proprietà delle stelle coinvolte nella fusione (per esempio, la loro massa), ma anche su problemi di fisica fondamentale, tra cui il limite superiore della massa del gravitone, la misura dell'accuratezza della teoria della relatività generale e il comportamento della materia nucleare. Secondo i modelli più accreditati, la fusione ha infatti originato una stella troppo massiccia per essere stabile, la quale è collassata in un buco nero entro un secondo. L'osservazione congiunta delle onde gravitazionali e del lampo gamma ha confermato la relazione, congetturata già da qualche tempo, ma mai direttamente provata, tra la collisione di stelle di neutroni e i *gamma-ray burst* corti. Una conferma che stimolerà ulteriormente lo studio di uno dei problemi più affascinanti dell'astrofisica contemporanea, vale a dire come queste emissioni energetiche vengano generate. L'osservazione della kilonova, invece, è una conferma diretta che una piccola parte della materia coinvolta nella collisione (qualche centesimo della massa del Sole) è espulsa e diventa una fucina nucleare, dove gli elementi più pesanti, tra cui l'oro, il piombo e l'uranio, sono prodotti e dispersi nell'universo. Infatti, è proprio il decadimento nucleare degli isotopi radioattivi di questi elementi a fornire energia alla materia riscaldandola e facendola brillare così intensamente. La ricchezza nel segnale di kilonova rivela una variegata produzione di nuclei pesanti, probabilmente influenzata dall'interazione tra la materia espulsa e i neutrini, le elusive particelle elementari così abbondantemente prodotte durante queste collisioni.

GW170817 rappresenta il primo esempio di astronomia multimessaggera guidata dall'emissione di onde gravitazionali e,

primo nel suo genere, un riuscito esperimento di collaborazione internazionale tra gruppi scientifici ed esperimenti tra loro molto eterogenei. Già a partire dall'anno prossimo, la riaccensione degli interferometri, ulteriormente migliorati, promette di rivelare un numero crescente di fusioni di buchi neri e stelle di neutroni, in un volume di universo quattro volte più esteso che in passato. Gli astronomi e i cacciatori di neutrini sono già pronti a raccogliere le allerte e a cercare tra le miriadi di galassie ogni ulteriore segnale proveniente dalla scontro. Le informazioni raccolte in questi laboratori cosmici di fisica fondamentale permetteranno di affrontare alcuni dei quesiti più attuali ed elusivi della fisica contemporanea.

Biografia

Albino Perego è assegnista di ricerca presso la sezione Infn di Milano Bicocca e Parma e membro delle collaborazioni Virgo e Grawita. Ha conseguito il dottorato presso l'Università di Basilea e ha lavorato all'Istituto di Fisica Nucleare Teorica di Darmstadt. Si occupa principalmente di astrofisica multimessaggera e di interazioni deboli in collisioni di stelle di neutroni ed esplosioni di supernovae.

Link sul web

http://public.virgo-gw.eu/gw170817_it/

<https://www.ligo.caltech.edu/page/press-release-gw170817>

<http://www.media.inaf.it/tag/gw-170817/>

DOI: 10.23801/asimmetrie.2018.25.8