

35 nuovi terremoti cosmici rivelati da Virgo e LIGO

35 nuovi eventi rivelati da LIGO e Virgo nel più recente periodo di osservazioni portano a 90 le onde gravitazionali rivelate finora: veri e propri terremoti cosmici generati dalla fusione di due buchi neri o stelle di neutroni o da coppie buco nero-stella di neutroni. I dati, pubblicati oggi nel cosiddetto terzo Catalog Paper, illuminano le caratteristiche di nuove popolazioni di buchi neri, le cui masse, insieme a quelle delle stelle di neutroni osservate, forniscono nuovi indizi sulla vita e la morte delle stelle, ampliando ulteriormente gli orizzonti dell'astronomia gravitazionale.

I dati di 35 nuovi eventi di onde gravitazionali osservati tra novembre 2019 e marzo 2020, durante la seconda parte del terzo e più recente periodo di osservazione di LIGO e Virgo (O3b), portano a 90 il numero totale di segnali gravitazionali rilevati finora dalla rete globale dei tre interferometri. La maggior parte dei nuovi segnali ha origine dal vorticoso avvicinamento di due buchi neri fino alla loro fusione: veri e propri terremoti cosmici, che scuotono il tessuto dello spazio-tempo, generando una potente emissione di onde gravitazionali. Altri due eventi, di cui uno già annunciato lo scorso giugno, sono stati invece identificati come fusioni tra una stella di neutroni e un buco nero, una fonte osservata per la prima volta in quest'ultimo periodo di osservazioni di LIGO e Virgo. Un ulteriore evento, rivelato nel febbraio 2020, potrebbe provenire da una coppia di buchi neri o da una coppia mista di un buco nero con una stella di neutroni. In effetti la massa dell'oggetto più leggero cade in un intervallo, il cosiddetto mass gap, dove prima delle rivelazioni gravitazionali non ci si aspettava che si formassero né stelle di neutroni né buchi neri e rimane quindi un enigma per gli scienziati. Questi nuovi risultati sono stati pubblicati oggi dalle collaborazioni scientifiche di Virgo, LIGO e KAGRA nel terzo catalogo delle sorgenti transitorie di onde gravitazionali (GWTC-3), sull'archivio online ArXiv. Il catalogo è accompagnato da altre due pubblicazioni incentrate sulle conseguenze cosmologiche e astrofisiche dei dati.

Non appena un segnale viene riconosciuto come un potenziale evento astrofisico dal sistema di analisi dati del rivelatore, e verificato dai ricercatori, alcune informazioni preliminari sulla localizzazione nel cielo della sorgente di onde gravitazionali e la sua natura (es. coppia di buchi neri, coppia di stelle di neutroni o coppie miste) sono rese pubbliche quasi in tempo reale. Questi "alert a bassa latenza" permettono un follow-up multi-messaggero, cioè la ricerca da parte di telescopi e osservatori sulla Terra o nello Spazio di segnali di diverso tipo (ad esempio segnali elettromagnetici e neutrini) emessi dalla stessa sorgente delle onde gravitazionali.

Durante l'ultimo periodo di osservazione le collaborazioni LIGO e Virgo hanno emesso 39 avvisi in tempo reale di potenziali eventi di onde gravitazionali alla comunità scientifica: 18 di questi candidati sono stati confermati e altri 17 eventi sono stati aggiunti da ulteriori analisi offline. I risultati di queste analisi più complete e raffinate (in tutto 35 eventi) sono quelli pubblicati oggi nel catalogo GWTC-3. Di questi eventi, tuttavia, finora non sono state accertate controparti multimessaggero.

"L'analisi offline dei dati è continuata per molti mesi dopo la fine del periodo di osservazione, poiché ha richiesto un lungo e complesso lavoro da parte di diversi gruppi di ricerca, che

lavorano in parallelo e utilizzano diverse tecniche di analisi - ha dichiarato Viola Sordini, ricercatrice del CNRS/IN2P3, all'Institut de Physique des deux Infinis di Lione - Infatti in alcuni casi si cercano nei dati segnali che assomigliano il più possibile alle 'forme' previste dai modelli teorici. Altri gruppi invece considerano e analizzano in dettaglio tutti i segnali, che emergono dal rumore di fondo del rivelatore, senza alcuna forma d'onda di riferimento. È un'attività estremamente intensa, in cui si coordinano centinaia di ricercatori di tutto il mondo".

Le collaborazioni scientifiche LIGO, Virgo e KAGRA hanno rilasciato oggi anche la serie completa di dati calibrati, registrati dai rivelatori LIGO e Virgo da novembre 2019 a marzo 2020. Questo permette all'intera comunità di ricerca di eseguire analisi e verifiche indipendenti, contribuendo ulteriormente alla ricchezza di risultati scientifici.

Il nuovo orizzonte dell'astronomia gravitazionale

Il Catalogo pubblicato oggi offre una visione senza precedenti di un nuovo paesaggio di eventi cosmici estremi e illuminano le caratteristiche delle popolazioni di buchi neri, stabilendo nuovi record e limiti sulle masse dei buchi neri e delle stelle di neutroni. Molti dei buchi neri formati da queste fusioni superano 100 volte la massa del nostro Sole e sono classificati come buchi neri di massa intermedia. Questo tipo di buchi neri è di grande interesse perché potrebbe giocare un ruolo chiave nella formazione dei buchi neri supermassicci al centro delle galassie. Questi sono stati a lungo teorizzati dagli astrofisici, e sono stati osservati direttamente per la prima volta con i segnali gravitazionali. Inoltre, una delle fusioni coinvolge un buco nero massiccio (circa 33 volte la massa del nostro Sole) con una stella di neutroni di massa molto bassa (circa 1,2 volte la massa del nostro Sole): questa è una delle stelle di neutroni di massa più bassa mai rilevata, sia utilizzando onde gravitazionali che osservazioni elettromagnetiche.

Infine, c'è un sistema binario per il quale gli scienziati non possono definire con certezza se la componente più leggera sia una stella di neutroni o un buco nero. La sua massa pari a 2,8 masse solari è enigmatica, poiché, secondo gli attuali modelli di evoluzione stellare, la massa delle stelle di neutroni non dovrebbe superare 2,5 volte la massa del nostro Sole. Allo stesso tempo nessun buco nero è stato mai osservato con osservazioni elettromagnetiche con massa inferiore a circa 5 masse solari. In generale, la distribuzione delle masse dei buchi neri e delle stelle di neutroni osservate mette in discussione alcuni aspetti dei modelli astrofisici che descrivono l'evoluzione e la morte delle stelle. Inoltre le proprietà fisiche delle sorgenti rilevate offrono nuovi indizi sugli ambienti astrofisici in cui è più probabile che si verifichino questi eventi cosmici estremi: ambienti stellari densi, come gli ammassi globulari, gli ammassi giovani o anche i dischi di accrescimento dei nuclei galattici attivi.

"Ricordo ancora vividamente l'entusiasmo di tutti noi scienziati mentre ascoltavamo l'annuncio pubblico della prima scoperta delle onde gravitazionali all'inizio del 2016 - ha detto Edoardo Milotti, membro della collaborazione Virgo dell'Università di Trieste e dell'INFN - Ora, meno di sei anni dopo, le scoperte riportate nel catalogo GWTC-3 aggiungono nuove preziose informazioni al nuovo, crescente campo dell'astronomia delle onde gravitazionali, e forniscono una nuova prospettiva su molti aspetti dell'Universo, come, ad esempio, le popolazioni binarie di buchi neri o stelle di neutroni."

Il futuro

I progressi realizzati in pochi anni nel campo delle onde gravitazionali sono sorprendenti, passando dalla prima rilevazione all'osservazione di alcuni eventi al mese. Questo è stato possibile grazie al programma di continui aggiornamenti tecnologici che hanno trasformato i primi pionieristici strumenti in rivelatori sempre più sensibili.

Gli osservatori LIGO e Virgo sono attualmente sottoposti a un ulteriore aggiornamento e inizieranno il prossimo quarto periodo di osservazione nella seconda metà del 2022 con una sensibilità ancora maggiore, corrispondente a un volume dell'universo quasi 10 volte più grande e quindi una probabilità molto maggiore di captare segnali gravitazionali.

"Tra gli altri aggiornamenti a Virgo, abbiamo realizzato un'ulteriore cavità ottica (la cosiddetta cavità di riciclo del segnale), che permette di migliorare la banda di sensibilità del rivelatore alle alte frequenze" - ha detto Sebastian Steinlechner, assistente professore all'Università di Maastricht e Nikhef. - "Questo corrisponde a una maggiore capacità del rivelatore di 'ascoltare' le fasi finali delle coppie coalescenti, quando due buchi neri o stelle si fondono in uno".

Il rivelatore KAGRA in Giappone è in fase di collaudo e prevede di partecipare al prossimo periodo di osservazione. L'espansione della rete di rivelatori in grado di prendere dati congiuntamente aumenterà ulteriormente la precisione della localizzazione delle sorgenti, una caratteristica chiave per i futuri sviluppi dell'Astronomia Multimessaggera.

"Questo nuovo catalogo dimostra come Virgo, LIGO e KAGRA stiano muovendo velocemente in una nuova fase - dice Giovanni Losurdo, spokesperson di Virgo e ricercatore INFN - dalla scoperta e osservazione di eventi isolati agli studi di popolazione, un modo potente per indagare la natura dell'universo oscuro. Questo cambiamento apparirà ancora più rilevante nei prossimi cicli di osservazione quando, grazie ai recenti aggiornamenti, ci aspettiamo di rivelare fino a un evento al giorno".

Immagini e Multimedia

<https://tinyurl.com/gwtc3>

Osservatori di onde gravitazionali

La Collaborazione Virgo è attualmente composta da circa 700 membri di 129 istituzioni in 16 diversi paesi (principalmente europei). L'Osservatorio Gravitazionale Europeo (EGO) ospita il rivelatore Virgo vicino a Pisa in Italia, ed è finanziato dal Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) in Francia, l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) in Italia, e l'Istituto Nazionale di Fisica Subatomica (Nikhef) nei Paesi Bassi. Una lista dei gruppi della collaborazione Virgo può essere trovata su <http://public.virgo-gw.eu/the-virgo-collaboration/>. Ulteriori informazioni sono disponibili sul sito web di Virgo all'indirizzo <http://www.virgo-gw.eu>

LIGO è finanziato dalla National Science Foundation (NSF) e gestito da Caltech e MIT, che hanno concepito LIGO e guidato il progetto. Il supporto finanziario per il progetto Advanced LIGO è stato guidato dalla NSF, con la Germania (Max Planck Society), il Regno Unito (Science and Technology Facilities Council) e l'Australia (Australian Research Council-OzGrav) che hanno preso impegni e apportato contributi significativi al progetto. Circa 1.300 scienziati di tutto il mondo partecipano allo



sforzo attraverso la LIGO Scientific Collaboration, che include la GEO Collaboration. Una lista di altri partner è disponibile su <https://my.ligo.org/census.php>.

L'interferometro laser KAGRA, con bracci lunghi 3 chilometri, si trova a Kamioka, Gifu, Giappone. L'istituto ospitante è l'Institute of Cosmic Ray Researches (ICRR) dell'Università di Tokyo, e il progetto è co-ospitato dal National Astronomical Observatory in Japan (NAOJ) e dalla High Energy Accelerator Research Organization (KEK). KAGRA ha completato la sua costruzione nel 2019, e successivamente si è unito alla rete internazionale di onde gravitazionali di LIGO e Virgo. L'effettiva presa dei dati è stata avviata nel febbraio 2020 durante la fase finale della corsa chiamata "O3b". Il congresso scientifico di KAGRA è composto da oltre 470 membri provenienti da 115 istituti in 14 paesi/regioni. L'elenco dei ricercatori è disponibile su <http://gwwiki.icrr.u-tokyo.ac.jp/JGWwiki/KAGRA/KSC/Researchers>. Le informazioni di KAGRA sono al sito web <https://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/>

Contatti per la stampa

EGO

Vincenzo Napolano

Mob. +393472994985

tw:@ego_virgo

fb:@EgoVirgoCollaboration

Virgo

Livia Conti

livia.conti@pd.infn.it