

» INTERVISTA



LA NUOVA ERA DELL'ASTRONOMIA MULTIMESSAGGERO

Intervista a Marica Branchesi astrofisica, ricercatrice del Gran Sasso Science Institute, associata all'INFN - Laboratori Nazionali del Gran Sasso, che coordina il gruppo LIGO/Virgo che allerta i telescopi in caso di segnale di onde gravitazionali

Il 16 ottobre 2017 è stata una giornata storica, perché l'annuncio congiunto della prima rivelazione di onde gravitazionali, del 17 agosto, con osservazione della controparte elettromagnetica della loro sorgente ha segnato un cambiamento epocale nel nostro modo di studiare l'universo, dando inizio all'era dell'astronomia multimessaggero. Ci siamo fatti raccontare quello che è accaduto e qual è il suo significato scientifico da una delle protagoniste di questo risultato: Marica Branchesi, astrofisica, ricercatrice del Gran Sasso Science Institute (GSSI), associata all'INFN-Laboratori Nazionali del Gran Sasso. Branchesi è stata anche tra gli scienziati che hanno presentato il risultato nel corso della conferenza di LIGO e Virgo, tenutasi a Washington nella sede della National Science Foundation (NSF), in contemporanea con molte altre conferenze nel mondo, tra cui quella congiunta dell'INFN, dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) e dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), in collaborazione con il Ministero dell'Istruzione Università e Ricerca (MIUR) in Italia.

Partiamo dai fatti: che cosa è successo il 17 agosto?

Intorno alle 14:40 squilla il telefono: messaggio di allerta onde gravitazionali. Come coordinatrice del team della collaborazione LIGO e Virgo che invia l'allerta ai telescopi, mi collego subito al computer in teleconferenza con esperti di analisi dati e scienziati ai tre siti, Cascina, Livingston e Hanford. Un segnale nei dati raccolti da LIGO e Virgo proveniente dalla coalescenza di due stelle di neutroni, un lampo gamma visto dal satellite Fermi due secondi dopo il segnale di onde gravitazionali. Dopo quattro ore siamo in grado di inviare una posizione precisa, la sorgente si trova nell'emisfero sud, ideale per i telescopi cileni che cominciano a osservare al crepuscolo. L'interferometro Virgo, a Cascina, finanziato principalmente da INFN e CNRS, gioca un ruolo chiave nella scoperta, permettendo la localizzazione del segnale. Da centinaia, migliaia di gradi quadrati dei

» INTERVISTA

primi segnali da sistemi di buchi neri di massa stellare rivelati dai soli rivelatori LIGO, la triangolazione della rete LIGO e Virgo e la localizzazione della sorgente nella zona “cieca” di Virgo forniscono una posizione di soli 30 gradi quadrati. La distanza della sorgente astrofisica risulta piuttosto vicina, 40 Mpc, 130 milioni di anni luce da noi. La regione di universo dove cercare la controparte è relativamente piccola e vicina, una regione dove conosciamo distribuzione e proprietà delle galassie. In una di queste galassie, NGC4993, dopo 11 ore viene rivelata la prima luce nella banda visibile come un oggetto molto brillante (centinaia di milioni di volte la luminosità del Sole) non presente in immagini precedenti alla coalescenza. NGC4993 si trova alla stessa distanza del segnale di onde gravitazionali. Da quel momento 70 osservatori, coinvolgendo 100 strumenti, telescopi a terra e satelliti, hanno osservato NGC4993 per settimane. L'emissione ottica ha mostrato un oggetto in rapidissimo raffreddamento, inizialmente un'emissione blu in rapida diminuzione, e un'evoluzione verso il rosso e l'infrarosso in una settimana. Dalla stessa posizione in cielo nove giorni dopo è stato rivelato un segnale nella banda X e sedici giorni dopo un segnale radio.

Come hai vissuto tu quel giorno?

È stato estremamente emozionante: il sogno per cui abbiamo lavorato per anni era di fronte a noi. Sentirsi parte della storia, di una scoperta epocale... l'inizio di un'avventura che i prossimi anni ci porterà a tante altre scoperte. Nello stesso tempo la necessità di essere operativi, efficienti, lucidi: coordinare le operazioni di LIGO e Virgo per inviare informazioni utili agli astronomi ed essere pronti a rispondere agli astronomi che puntavano satelliti e telescopi. Sono una astronoma e ho partecipato anche alle osservazioni INAF con i telescopi dell'*European Southern Observatory* (ESO): ogni giorno si apriva con nuovi dati per comprendere la fisica delle stelle di neutroni e i meccanismi di emissione del suono e della luce. La campagna osservativa più grande mai effettuata su tutte le bande spettrali. I dati più belli che abbia mai visto, gravitazionali ed elettromagnetici. Avevamo di fronte quasi 100 secondi di segnale di onde gravitazionali e tutti i colori delle coalescenza di due stelle di neutroni, gli ultimi istanti della danza delle due stelle, la fusione in un oggetto ultra-denso, probabilmente un buco nero, e la luce di uno fenomeni più energetici dell'universo. Insomma, era il migliore dei nostri sogni...

Come si è lavorato in questi mesi, per arrivare all'annuncio del 16 ottobre?

La collaborazione LIGO e Virgo ha lavorato per analizzare e verificare con attenzione tutti i risultati e scrivere gli articoli. Gli astronomi hanno continuato a osservare la sorgente di onde gravitazionali, l'ambiente circostante e la galassia per settimane e continueranno a farlo per anni. Sono già stati pubblicati circa 90 articoli di cui 8 della collaborazione LIGO e Virgo. Io, in particolare, mi sono occupata dell'interazione con i gruppi di astronomi e ho lavorato nel *writing team* (10 scienziati di LIGO e Virgo) che ha scritto l'articolo con tutti i

» INTERVISTA

gruppi di astronomi. Articolo firmato da circa 3500 autori, che sigla la collaborazione di migliaia di scienziate e scienziati provenienti da 6 continenti, l'inizio dell'astronomia multimessaggero e del lavoro di un *network* globale di osservatori. Nella storia dell'astronomia ci sono pochi articoli scritti da comunità diverse, questo ha unito il lavoro di fisici, astrofisici, astronomi e teorici. Per due mesi ho dormito poco e lavorato tanto ... ma che grande soddisfazione!

Quali sono i risultati scientifici più rilevanti presentati il 16 ottobre?

Davvero tanti risultati scientifici, impossibile definirne un ordine di importanza. Tante conferme di modelli teorici decennali in grado di spiegare l'insieme dei dati raccolti. Nello stesso tempo abbiamo di fronte una ricchezza di dati i cui dettagli richiederanno nei prossimi anni un grande sforzo teorico e altre osservazioni per essere interpretati.

È stata la prima osservazione di onde gravitazionali dalla coalescenza di due stelle di neutroni, con la rivelazione della controparte elettromagnetica in tutte le bande spettrali e l'identificazione della galassia ospite.

L'evento gravitazionale chiamato GW170117 segna la nascita dell'astronomia multimessaggero che utilizza onde gravitazionali ed emissione elettromagnetica.

Questa osservazione segna anche l'inizio della cosmologia con le onde gravitazionali. È stata misurata la costante di Hubble, ossia la velocità di espansione dell'universo, combinando la misura della velocità di recessione della galassia dovuta all'espansione dell'universo e la distanza della sorgente misurata dalle onde gravitazionali. Inoltre, è stata la prima evidenza osservativa e conferma definitiva che i progenitori dei lampi di raggi gamma corti (la cui durata è inferiore a 2 secondi) sono rappresentati dalla coalescenza delle stelle di neutroni, dopo quasi cinquant'anni dalla loro scoperta da parte di satelliti militari che monitoravano i test nucleari sulla Terra.

I segnali gamma, X e radio misurati si interpretano come *Gamma Ray Burst* (GRB, cioè lampi di raggi gamma) osservati ad angoli più grandi del cono di emissione. Siamo di fronte alla prima osservazione di un GRB fuori asse, emissione teorizzata da circa due decenni ma mai osservati prima.

Il piccolissimo ritardo di 1,7 secondi tra il segnale di onde gravitazionali e quello nei raggi gamma conferma, ancora una volta, che Albert Einstein aveva ragione: le onde gravitazionali viaggiano alla velocità della luce, come i fotoni.

I colori osservati dall'ultravioletto all'infrarosso dimostrano (come previsto dalla teoria) che durante la coalescenza di due stelle di neutroni la massa eiettata ad altissima velocità nel mezzo interstellare è il sito ideale per la formazione degli elementi pesanti per cattura rapida dei neutroni. Mentre il decadimento radioattivo di tali elementi determina l'emissione visibile osservata (chiamata kilonova): l'universo si arricchisce degli elementi più pesanti del ferro, compreso l'oro. Le coalescenze di due stelle di neutroni

» INTERVISTA

sono eventi rarissimi, nella nostra galassia possono accadere una decina di volte ogni milione di anni, ma la quantità di elementi pesanti che si possono formare è enorme, per l'oro si valuta una quantità pari a circa 10 Terre. I nostri gioielli provengono con un'alta probabilità dalla coalescenza di due stelle di neutroni avvenuta miliardi di anni fa nella nostra galassia che ha disperso elementi pesanti nel mezzo interstellare da cui si sono formati stelle e sistemi planetari.

Che cosa significa quando si dice che si è aperta una nuova era per l'astronomia? Che cos'è l'astronomia multimessaggero?

I rivelatori di onde gravitazionali sono oggi in grado di osservare milioni di galassie, questo ci dà la possibilità di osservare eventi rarissimi ma cruciali nell'evoluzione dell'universo. Abbiamo ora una rete di osservatori in grado di dare una posizione più precisa che permette a satelliti e telescopi tradizionali di catturare il possibile segnale elettromagnetico emesso dalla sorgente astrofisica delle onde gravitazionali. Ora possiamo osservare l'universo con più messaggeri, onde gravitazionali e fotoni. Avere una fotografia completa di buchi neri e stelle di neutroni e la loro interazione con l'ambiente. L'astronomia multimessaggero utilizza onde e particelle, inclusi i neutrini per osservare l'universo. Per GW170817 non sono stati osservati neutrini, ma speriamo di aggiungere presto questo ulteriore messaggero alle nostre osservazioni.

LIGO e Virgo, terminato il RUN 02, sono entrati in una nuova fase di upgrade. Che cosa sarà potenziato e con quali obiettivi scientifici?

Verrà aumentata la sensibilità dei rivelatori in modo da osservare un volume maggiore di universo, arrivando a sensibilità maggiori di almeno un fattore 3 rispetto a quella dell'attuale rete, un fattore 30 in volume. Questo permetterà di osservare più segnali di coalescenze di stelle di neutroni e buchi neri, e possibilmente osservare nuovi segnali come la coalescenza di sistemi stella di neutroni-buco nero, il collasso gravitazionale di stelle massive nella nostra galassia o nei dintorni, l'emissione continua da pulsar e il segnale stocastico. E come ogni volta che si è aperta una nuova finestra osservativa, mi aspetto anche oggetti/segnali esotici. I goal più vicini sono avere una distribuzione di massa e frequenza dei buchi neri che ci permetta di capire come si formano ed evolvono. Avere più osservazioni che permettano di capire la struttura delle stelle di neutroni e fare test di relatività generale.

Che cosa significa quando si dice che grazie alle onde gravitazionali potremmo "avvicinarci" ancora di più al momento del big bang?

La difficoltà di rivelarle è quello che le rende estremamente speciali, interagiscono debolmente con la

» INTERVISTA

materia. A differenza dei fotoni non vengono assorbite, possono quindi arrivare da lontane regioni dell'universo e da regioni da cui i fotoni non possono fuggire. Ci aspettiamo che i futuri rivelatori possano ascoltare le onde gravitazionali prodotte direttamente dal big bang, fornendoci informazioni dirette sulla nascita dell'universo.

Quali sono le prospettive per l'astronomia gravitazionale?

La rete LIGO e Virgo ha aperto una finestra sull'universo, ma frequenze e universo osservato sono relativamente piccoli. Il progetto *Einstein Telescope* permetterà di aumentare di un fattore 10 la sensibilità rispetto agli *Advanced detector* come LIGO e Virgo, raggiungendo tutto l'universo. Questo permetterà di osservare molti più eventi e osservarli meglio. Si potrà studiare l'evoluzione cosmologica delle sorgenti gravitazionali lungo la storia cosmologica dell'universo, studiare le popolazioni di sorgenti astrofisiche e la loro evoluzione, fare cosmologia di precisione. Gli eventi visti da LIGO e Virgo potranno essere studiati con un più alto rapporto segnale rumore che permetterà una miglior localizzazione per cercare la controparte elettromagnetica, studi dettagliati per comprendere la struttura delle stelle di neutroni e possibili deviazioni dalla relatività generale. Ci sarà una più alta probabilità di osservare segnali dal collasso gravitazionale di stelle massive, segnali da instabilità di stelle di neutroni, segnali continui da pulsar e segnali stocastici. Scendendo a frequenze un po' più basse si può pensare di rivelare i segnali prima della coalescenza e puntare i telescopi nella fase di fusione, con informazioni cruciali per comprendere da dove e come abbia origine la prima emissione elettromagnetica multi-banda. Osservatori nello spazio come LISA apriranno la banda a basse frequenze dai milliHertz a 0,1 Hertz, con la possibilità di osservare grandi sorgenti cosmologiche, la coalescenza di buchi neri più massivi che risiedono al centro delle galassie e di osservarli fino all'epoca della loro formazione. Si potrà comprendere come si siano formate le galassie nell'universo e come si siano evolute. Permetterà di seguire i buchi neri di massa stellare nel loro lento orbitare l'uno intorno all'altro o di osservare la loro caduta nei buchi neri massivi. Il *network* multimessaggero che ha preso vita con GW170817 è una pietra miliare anche per il futuro, in cui campagne osservative analoghe dovranno seguire i segnali di onde gravitazionali. Dovremo pensare da qui a vent'anni a progetti di osservatori che ci permettano osservazioni combinate per massimizzare il ritorno scientifico di ogni osservazione di onde gravitazionali.

Il 16 ottobre, alla conferenza di Washington, su 11 relatori, eravate in quattro ad essere italiane e tutte donne. E anche nelle altre conferenze che si sono tenute in contemporanea, per esempio quella dell'ESO in Europa, c'era la presenza dell'Italia e delle donne. Una soddisfazione, e un fatto

» INTERVISTA

significativo e di incoraggiamento per tante giovani ragazze...

Una grande soddisfazione e onore avere accanto altre donne che hanno avuto dei ruoli fondamentali in questa scoperta. Nonostante le difficoltà, gli stereotipi di genere, la scienza, e in particolare l'(astro)fisica è anche donna. E si può essere donne, mamme e scienziate... io ad esempio sono mamma di due bimbi stupendi che sono nati con le onde gravitazionali, uno di due anni e uno di dieci mesi. Prima di iniziare questo lavoro non avrei mai pensato di poter parlare in pubblico davanti a centinaia di persone, di andare in mondovisione per una scoperta meravigliosa... ma tutto questo è successo! Alle giovani ricercatrici vorrei passare il messaggio che bisogna crederci, lavorare con passione, umiltà e in modo onesto, senza porsi limiti ma perseguendo grandi obiettivi... perché ogni vostro sogno può diventare realtà. ■