

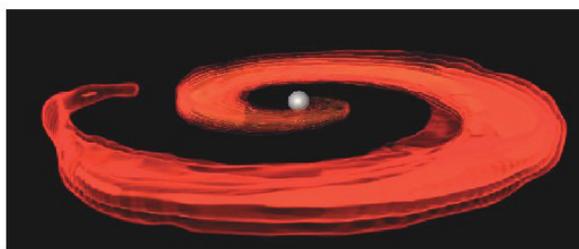
FORSE RILEVATA LA PRIMA FUSIONE FRA UN BUCO NERO E UNA STELLA DI NEUTRONI

Lo scorso mese di agosto è stato captato un segnale gravitazionale che aveva tutte le caratteristiche di un evento NSBH, cioè prodotto da una fusione fra una stella di neutroni e un buco nero. La comunità internazionale si è scatenata alla ricerca di una controparte ottica che però non è stata osservata

►PATRIZIA CARAVEO

Sembra che le onde gravitazionali “interessanti” per i cacciatori di controparti elettromagnetiche (gamma, X, ottiche e radio) abbiamo una predilezione per il mese di agosto.

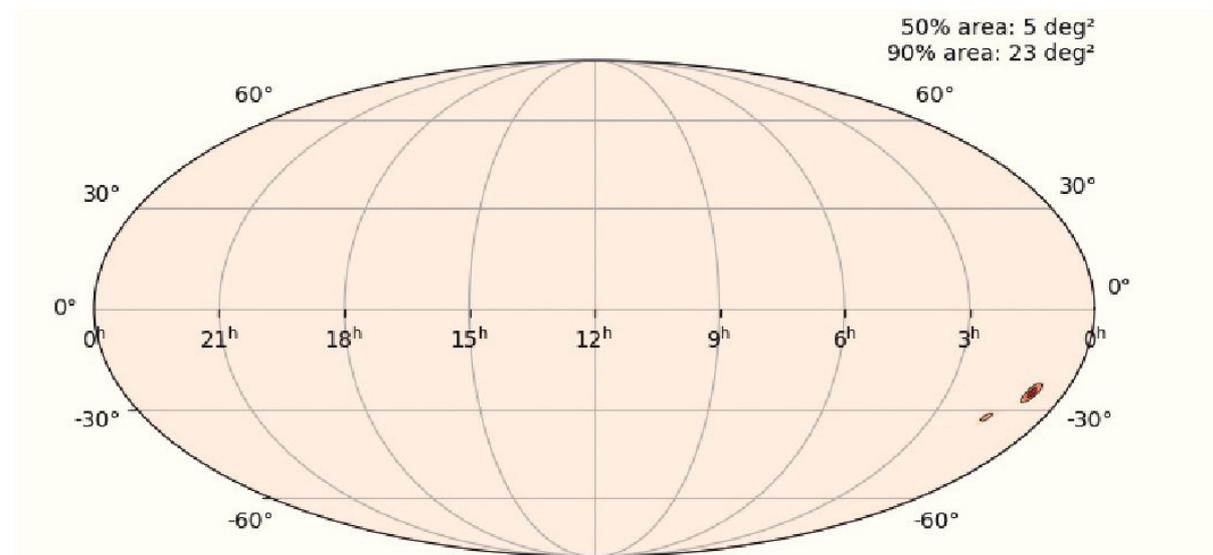
Il segnale gravitazionale, oltre a dare l'allerta, dice anche quale è la massa dei corpi celesti coinvolti e quella del risultato della loro fusione. Dalla differenza tra le masse iniziali e quella finale si risale all'energia liberata dall'incontro esplosivo che ha modificato la struttura dello spazio-tempo e ha prodotto l'onda gravitazionale. Combinando l'energia disponibile con l'intensità del segnale rivelato si ottiene la distanza dell'evento. Fino ad ora sono state colte una trentina di onde gravitazionali e per quasi tutte le masse dei corpi coinvolti è stata di decine di masse solari, un valore che punta dritto ai buchi neri. Pur restando eventi affascinanti che ci possono insegnare moltissimo sulla natura del nostro Universo, i segnali gravitazionali generati dalla fusione di due buchi neri non eccitano i cacciatori di controparti perché tutti pensano che i buchi neri non emettano nulla. Questo non significa che le ricerche non vengano fatte, ma si tratta di routine.



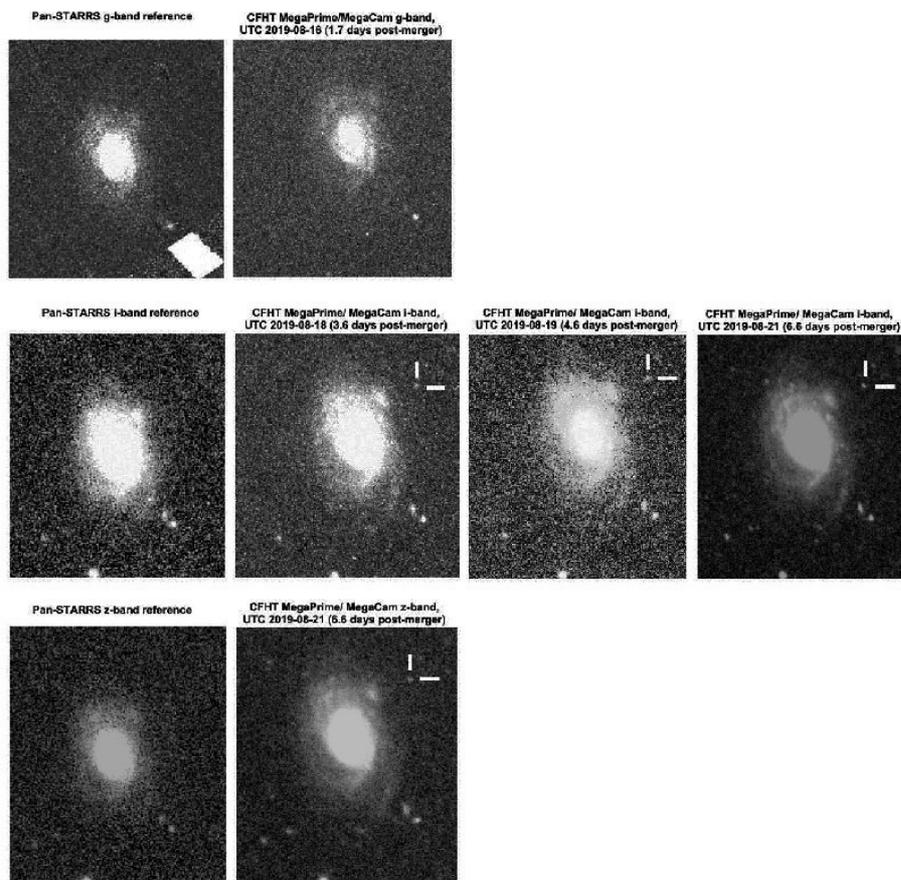
▲ Simulazione della distruzione della stella di neutroni da parte del compagno buco nero.

La storia è ben diversa quando l'allerta gravitazionale dice che gli oggetti coinvolti sono più leggeri, diciamo meno di 3 masse solari. In questo caso si parla di stelle di neutroni, nocciolini di stelle che hanno finito la loro vita con una spettacolare esplosione. Sono oggetti superdensi e supermagnetici che rappresentano l'ultima fermata astrofisica prima del buco nero, ma sono ancora oggetti “visibili”, cioè capaci di emettere radiazione gamma, X, ottica e radio.

Due anni fa, il 17 agosto 2017, è stata rivelata GW170817,



▲ La mappa evidenzia la zona di cielo, circoscritta a 23 gradi quadrati attorno alla declinazione -26° , in cui deve essere accaduta la fusione fra un buco nero e una stella di neutroni.



▲ Alcune immagini, riprese, con vari filtri, del potenziale candidato DG19wxnjc/AT2019npv, poi rivelatosi già presente in immagini di archivio a seguito di un'analisi più approfondita.

un'onda gravitazionale generata dalla fusione di due stelle di neutroni che ha prodotto anche un segnale gamma, ottico e, infine, radio. Una festa per la comunità astronomica che ha dimenticato le vacanze per contribuire alla nascita della cosiddetta "astronomia multi-messaggero", cioè l'astronomia che coniuga i segnali gravitazionali con quelli elettromagnetici (la luce nelle sue varie accezioni).

Poco prima del secondo anniversario dello storico evento, il 14 agosto di quest'anno, è stato rivelato S190814bv, un segnale gravitazionale molto intenso che sembrerebbe generato dalla fusione di un buco nero (con una massa di 5 masse solari) con una stella di neutroni (di meno di 3 masse solari). Dopo tanti eventi dovuti alla fusione di buchi neri e qualcuno prodotto da stelle di neutroni (ma solo GW170817 è certificato), adesso la famiglia delle coppie gravitazionali potrebbe essersi arricchita con una coppia mista formata da un buco nero non troppo pesante e da una stella di neutroni. Un mix che offre grandi spazi di scoperta agli astrofisici che, seguendo l'evento distruttivo dove il buco nero fa letteralmente a brandelli la compagna, sperano di poter capire a fondo la struttura interna della stella di neutroni.

Forse una coppia simile era stata rivelata già il 26 aprile, ma allora il segnale (la cui distanza calcolata era di 1,2 miliardi di anni luce) non era così chiaro e non era stato possibile restringere l'area di provenienza.

L'evento del 14 agosto non lascia spazio ai dubbi: la stra-

na coppia si trovava a 276 +/- 56 Mpc, circa 900 +/-150 milioni di anni luce da noi (corrispondente ad un intervallo di *redshift* da $z=0,052$ a $z=0,08$) ed era stata localizzata in una regione di cielo abbastanza circoscritta. Unendo i dati dei due rivelatori americani LIGO e di quello europeo Virgo, la zona di provenienza è stata ristretta ad appena 23 gradi quadrati centrati intorno alla declinazione -26° , come mostrato dalla mappa della pagina precedente (in coordinate celesti).

Una regione visibile dal Cile, dalle isole Hawaii e dalle Canarie e tutti i telescopi si sono messi al lavoro anche se l'annuncio degli interferometri gravitazionali non lasciava grandi spazi alle speranze di trovare una controparte elettromagnetica. Si è trattato di scandagliare tutte le galassie presenti nella zona (scegliendo quelle con distanza compatibile con l'evento gravitazionale) alla ricerca di qualcosa che prima non c'era. In effetti, quello che si cercava è una sorgente

che aumenti la sua luminosità (come ci si aspetta che faccia una *kilonova* appena esplosa) e che sia alla giusta distanza. Il gruppo che gestisce la *Dark Energy Camera* (DECam) montata sul telescopio Victor M. Blanco al Cerro Tololo nelle Ande cilene ha selezionato 524 galassie che ha monitorato per diverse notti consecutive. I dati sono stati analizzati con il software ad hoc e alla prima scrematura è stata prodotta una lista di 150 candidati. Un'analisi più dettagliata li ha ristretti a una decina (poi se ne sono aggiunti altri). Ogni oggetto potenzialmente interessante deve essere studiato passando dalle immagini agli spettri perché è così che si riconoscono e si classificano gli oggetti celesti. Purtroppo i falsi allarmi sono all'ordine del giorno perché il cielo è sempre ricco di fenomeni transienti, bisogna riconoscerne e scartare le stelle variabili, gli AGN e le supernovae (oltre agli asteroidi, naturalmente). Per apprezzare il numero di oggetti considerati in questa ricerca basta scorrere i nomi che vengono dati agli oggetti giudicati interessanti: DG19wgmjc/AT2019npw, DG19wxnjc/AT2019npv, DG19rzhoc/AT2019num, ecc. Per avere idea del lavoro che viene fatto, bisogna leggere il susseguirsi delle notizie che gli scienziati si scambiano con il sistema GCN. Nel sito <https://gcn.gsfc.nasa.gov/other/S190814bv.gcn3> c'è tutta la cronistoria, iniziando dalla notizia della scoperta.

Scorrendo le circolari vedrete che tutti gli strumenti in grado di osservare la zona di cielo coinvolta, in orbita e al suolo,

hanno preso parte alla caccia.

Per fissare le idee su un esempio concreto, esaminiamo DG19wxnjc/AT2019npv, un possibile candidato scovato da DECam e poi studiato dal telescopio franco canadese CFHT alle Hawaii. L'oggetto si trova nelle vicinanze di una delle galassie classificate come le più promettenti all'interno della regione di provenienza dell'evento gravitazionale. Il dato alla base della classificazione è la misura del *redshift* della galassia che risulta essere $z=0,056$ corrispondente a 730 milioni di anni luce, una distanza compatibile con quella calcolata per l'evento gravitazionale.

Le immagini ottenute in diversi filtri nelle notti successive all'evento vengono paragonate a immagini di riferimento.

Il potenziale candidato non è stato rivelato nell'immagine con il filtro "g" presa 1,7 giorni dopo l'evento ma appare nel filtro "i" nelle immagini successive, prese 3,6, 4,6 e 6,6 giorni dopo S190814bv, quando è stata presa anche un'immagine nel filtro "z".

Il candidato sembra essere interessante ma osservazioni dal Cile con il VLT dell'ESO gettano acqua sul fuoco. La magnitudine dell'oggetto è stabile (ci si aspetterebbe un aumento) e andando a scartabellare nell'archivio del telescopio a largo campo VISTA si scopre che la sorgente era già stata rivelata con magnitudine leggermente inferiore a quella misurata. Non si tratterebbe di un oggetto nuovo, ma piuttosto di qualcosa di già esistente e debolmente variabile. Anche il gruppo DECam conferma che, dopo un'analisi più accurata dei loro dati di archivio, l'oggetto era già presente.

Non sempre i risultati delle osservazioni sono in accordo. Secondo alcuni osservatori il candidato è costante intorno a magnitudini 21,40 (quindi non interessante) secondo altri la sua emissione diminuisce di circa 0,1 magnitudini al giorno. Nel frattempo al telescopio Keck (alle Hawaii) hanno fatto lo spettro trovando un continuo senza righe evidenti. Niente di facilmente classificabile. Altri gruppi ottengono spettri e riescono a vedere righe che fanno pensare ad una supernova di tipo II colta due settimane dopo il massimo. Comunque il *redshift* è diverso da quello dell'evento gravitazionale. Scartato un candidato (sul quale si era molto lavorato) si passa ad esaminarne altri, ma gli spettri evidenziano supernovae di tipo I e II senza connessione con l'onda gravitazionale sia perché sono a *redshift* diversi sia perché sono esplose prima dell'evento. La firma sicura della *kilonova* non si trova.

Non si lascia nulla di intentato. Il satellite Swift ha coper-

to l'80% dell'*error box* gravitazionale senza trovare nessuna emissione X interessante (né dalle galassie né dalle potenziali controparti), ma è sempre all'erta nella speranza che l'emissione si presenti in ritardo. Lo stesso vale per le osservazioni radio, che sono cominciate anche se, in generale, le emissioni in radio sono le ultime ad essere rivelate.

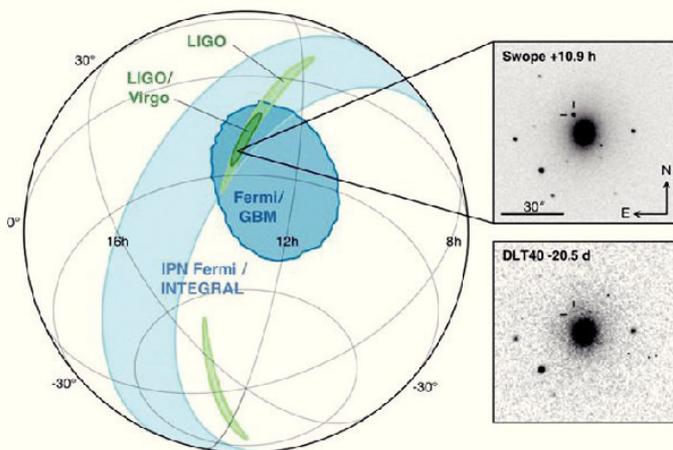
È proprio dal radio che viene la speranza: il 27 agosto il telescopio ASKAP (uno dei precursori di SKA) rivela, nella zona di interesse, una sorgente transiente che sta aumentando il flusso. La sorgente si trova ad 1 arcosecondo dalla galassia 2dFGRS TGS211Z177, il cui *redshift* è $z=0,0738$, consistente con quello di S190814bv. Ovviamente nessuno può assicurare che l'emissione radio sia stata prodotta dalla controparte. Potrebbe essere l'ennesimo falso allarme. Anche il cielo radio è pieno di transienti. Infatti, pochi giorni dopo, il VLA misura lo spettro radio della sorgente e trova un indice spettrale tipico delle galassie attive e tutti sappiamo che le galassie attive (AGN) hanno emissione radio variabile. Ovviamente nessuno può mettere la mano sul fuoco per negare ogni possibile connessione tra la sorgente radio e l'evento gravitazionale ma...

Quelli di DECam scandagliano i loro dati e trovano una controparte ottica alla sorgente radio. Non è esattamente un faro, visto che la magnitudine "i" è 22,3. Peccato che un ulteriore controllo, usando gli stessi dati, non confermi l'esistenza della sorgente.

Per chi ama i confronti, ricordiamo che la strategia di identificazione è la stessa di quella seguita nel fatidico agosto di due anni fa quando la zona di provenienza del segnale gravitazionale era di circa 28 gradi quadrati. In quel caso, però, Fermi GBM (*Gamma-ray Burst Monitor*) e INTEGRAL avevano visto un debole lampo gamma breve circa 2 secondi dopo l'evento gravitazionale e la controparte ottica era stata trovata dopo appena 10,9 ore.

GW170817, però, era più vicino: 130 milioni di anni luce contro 900. A parità di luminosità intrinseca, un oggetto 7 volte più distante di un altro viene rivelato con un flusso 49 volte più basso e trovarlo diventa più difficile, ma certamente non impossibile. Per esempio, una *kilonova* simile a quella di GW170817 avrebbe dovuto avere una magnitudine "i" tra 20,5 e 22 (tenendo conto dell'errore nella distanza) un giorno dopo l'evento e questo sicuramente non è stato visto. Tuttavia, nel caso la *kilonova* fosse diversa, per esempio con meno materia disponibile dal momento che la stella di neutroni è una sola e non due come nell'evento dell'agosto 2017, la controparte ottica avrebbe tutto il diritto di essere più debole, sotto ai limiti raggiunti dalle osservazioni che hanno dovuto fare i conti con la Luna Piena di Ferragosto, oltre che con condizioni meteo non sempre perfette.

Al momento in cui scriviamo, dopo più di due settimane dall'evento, si comincia a perdere la speranza. Forse avevano ragione i pessimisti oppure forse la controparte era troppo debole e S190814bv è stato la prova generale che ci farà trovare pronti la prossima volta, sperando in una nuova strana coppia un po' più vicina. ●



◀ Localizzazione di GW170817 (che, oltre al segnale gravitazionale, ha prodotto anche un segnale gamma rivelato da Fermi e Integral) e scoperta della controparte ottica (immagine in alto a destra) che si è accesa dove le immagini d'archivio non mostravano niente (immagine in basso a destra).