

# LE ONDE GRAVITAZIONALI

## la nuova frontiera dell'astronomia

Le antenne LIGO (Usa) e Virgo (Europa) sono state rese più sensibili e subito si sono scatenate voci e indiscrezioni su risultati epocali che aprono la finestra delle onde gravitazionali

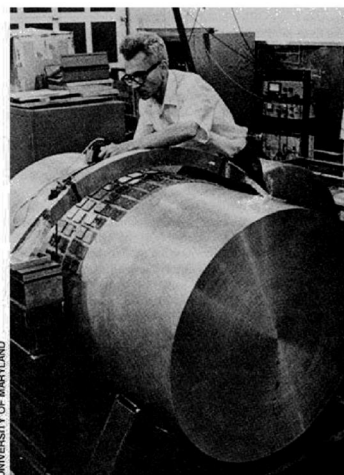


**Patrizia Caraveo**

È Direttore dell'Istituto di Astrofisica Spaziale dell'INAF a Milano. Si occupa da sempre di astrofisica X e gamma e per i contributi dati alla comprensione dell'emissione di alta energia delle stelle di neutroni nel 2009 è stata insignita del Premio Nazionale Presidente della Repubblica.

Nelle prossime pagine continueremo a parlare delle nuove finestre che si stanno aprendo per permettere agli astrofisici di capire di più, e meglio, l'universo. Dopo avere raccontato la storia affascinante dei neutrini (v. *"Le Stelle"* n. 150, pp. 32-43), oggi affrontiamo un tema non meno affascinante e altrettanto difficile: le onde gravitazionali. Un fenomeno, che ha avuto gli onori delle cronache, previsto dalla relatività generale e già rivelato, in modo indiretto, grazie allo studio dei pulsar in sistemi binari le cui orbite si restringono, proprio come previsto dalla teoria, a seguito dell'emissione di onde gravitazionali.

Sono decenni che i fisici inseguono il sogno di rivelare direttamente le onde gravitazionali attraverso la misurazione della minuscola variazione di lunghezza che il loro passaggio provocherebbe nel braccio di un rivelatore. Ha iniziato Joseph Weber, il mitico *Gravity Joe*, con un rivelatore che, non a caso, prende il nome di "barra di Weber". Rivelare un'onda che ritmicamente stira e comprime lo spazio è una misura delicatissima perché qualsiasi effetto terrestre, un motore su una lontana autostrada, un treno, persino le onde dell'oceano distante chilometri, hanno un effetto più grande di quello causato dal passaggio di un'onda gravitazionale. Isolare da ogni effetto esterno i rivelatori è una sfida estremamente difficile. Nel 1987 Weber disse di avere visto vibrare la barra di alluminio del suo esperimento in corrispondenza della rivelazione della luce proveniente dall'esplosione della supernova 1987A, nella nube di Magellano (una supernova storica, la prima sorgente di neutrini rivelata con certezza, oltre al



Fotografia del 1965 che ritrae Joseph Weber mentre traffica sul suo rivelatore di onde gravitazionali.

nostro Sole, v. *"Le Stelle"* n. 103, pp. 38-43). Un'esplosione di supernova, specialmente se ragionevolmente vicina, è un'ottima sorgente potenziale di onde gravitazionali, peccato che, per fare vibrare le barre di Weber sarebbe stato necessario un segnale gravitazionale migliaia di volte superiore a quello previsto dalla teoria. L'annuncio non venne preso sul serio, anche se ad anni di distanza, qualcuno sostenne che l'esplosione asimmetrica di una stella avrebbe potuto produrre un segnale compatibile con quello descritto. Gli sforzi di *Gravity Joe* non sono andati perduti perché hanno ispirato la nuova generazione di rivelatori di onde gravitazionali, pensati per avere dimensioni molto più grandi, quindi molto più sensibili (cioè capaci di rivelare segnali molto più deboli) ma

molto più difficili da isolare dall'ambiente circostante. La sfida si può vincere solo combinando i risultati di rivelatori in angoli diversi della terra. Mentre i disturbi saranno diversi, un eventuale segnale reale verrà registrato da tutti in coincidenza temporale. Anzi, vedendo quale è il rivelatore che registra prima il segnale, sarà possibile avere un'idea, grossolana ma sempre utile, sulla direzione di provenienza del segnale.

La comunità mondiale si sta dotando di diversi rivelatori di onde gravitazionali: due sono negli Stati Uniti (in Alabama e nello stato di Washington) e costituiscono il rivelatore LIGO mentre uno è in Italia, nella campagna intorno a Pisa. Si tratta del rivelatore Virgo, del quale ci parla Massimiliano Razzano.

Tanto Virgo che Ligo sono stati recentemente potenziati per aumentare la sensibilità alla rivelazione di onde gravitazionali. LIGO ha ripreso a funzionare a settembre per un primo periodo di prova. A gennaio è stato spento per continuare il potenziamento che richiede ancora qualche mese di lavoro. Virgo invece non ha ancora ripreso l'attività, ma lo farà presto. Quando entrambi funzioneranno, diciamo a fine 2016, avremo il primo sistema globale di rivelazione di onde gravitazionali e ci aspettiamo di essere finalmente capaci di catturare le mitiche onde. In effetti, una volta catturata con ragionevole certezza l'impercettibile increspatura dello spazio-tempo per completare l'opera, sarà necessario capire anche quale oggetto celeste sia responsabile dell'emissione. Una mostruosa supernova non troppo lontana?

L'unione di due stelle di neutroni che orbitano l'una intorno all'altra in un sistema binario dalle orbite sempre più strette? La coalescenza di due buchi neri? Si tratta di fenomeni che potrebbero produrre anche emissioni elettromagnetiche, nel radio, nell'ottico, nei raggi X e nei raggi gamma. Per questo la comunità delle onde gravitazionali sta prendendo accordi con i gestori di numerosi osservatori per preparare una rete di telescopi e di rivelatori pronti a riorientarsi all'annuncio (segreto) della possibile rivelazione di un segnale gravitazionale. Per poter giocare bisogna accettare la consegna del silen-

zio. Ti dico in anticipo da dove ho visto venire il segnale e tu (tenendo la bocca rigorosamente chiusa) usi i tuoi strumenti per andare a vedere se, in quella zona di cielo, è successo qualcosa di strano. Ovviamente, strumenti a grande campo sono avvantaggiati in questa ricerca. Poi c'è sempre il fattore "c", quella fortuna che a volte arride gli astronomi (ma più spesso guarda dall'altra parte).

Strumenti con grandissimo campo di vista, come Swift o Fermi, potrebbero, per puro caso, guardare la direzione giusta nel momento giusto e cogliere, in contemporanea con i rivelatori gravitazionali, un lampo gamma corto (quelli dovuti alla coalescenza di due stelle di neutroni che cadono una sull'altra per formare un buco nero, v. <https://ligo.caltech.edu/video/BNS-merge>). Sarebbe un risultato assolutamente fantastico. Purtroppo sappiamo che la geometria gioca contro di noi, dal momento che l'emissione gamma dei lampi è un fenomeno direzionale ed interessa solo un piccolo cono nello spazio, il resto non riceve nulla, tranne le onde gravitazionali - che si propagano uniformemente in tutte le direzioni - e qualche briciolo di emissione X e ottica. Se il "merging" delle due stelle di neutroni punta in una direzione diversa dalla nostra, è solo andando a esplorare l'emissione X e ottica delle grandissime regioni di incertezza prodotte dai rivelatori di onde gravitazionali che possiamo avere qualche speranza. Enzo Brocato ci racconta come viene programmata la ricerca del classico ago in un pagliaio e ci spiega come mai gli astronomi sono diventati straordinariamente bravi in questa "mission impossible".

Dopo decenni di tentativi infruttuosi adesso tutti pensano che gli strumenti potenziati abbiano la possibilità di ottenere lo storico risultato. L'attesa è così spasmodica che ogni sussurro, amplificato a dismisura dalla rete, diventa un colpo di cannone. Basta un *tweet* di qualche fisico che dica più o meno "ho sentito che quelli di LIGO potrebbero avere rilevato le onde gravitazionali" che tutti si elettrizzano. Tutti, tranne i diretti interessati, ovviamente, chiusi nella loro consegna del silenzio. È proprio quello che è accaduto recentemente, a seguito di un *tweet* di Lawrence Krauss, fisico e astronomo che

insegna alla *Arizona State University* noto al grande pubblico per i suoi libri di divulgazione scientifica fra cui "La fisica di Star Trek". Nessuno di LIGO ha aperto bocca tranne che per dire che non hanno ancora finito di analizzare i dati. Tuttavia, quando sono centinaia le persone coinvolte, è difficile mantenere un segreto. I frequentatori dei siti che raccolgono i *preprint* astrofisici hanno visto fiorire i lavori sulla coalescenza di buchi neri che prevedono il segnale gravitazionale fatto in un certo modo. Una premonizione collettiva?

D'altro canto, non bisogna dimenticare che negli esperimenti delle onde gravitazionali è prevista la crudele pratica della "blind injection", cioè dell'inserimento alla cieca di un segnale dalle caratteristiche simili a quelle di un segnale gravitazionale. Per mettere alla prova i rivelatori ed il software viene inserito, all'insaputa di tutti, un segnale dall'apparenza reale ma completamente fasullo che deve generare tutte le allerte astronomiche provocate da un segnale reale. I responsabili dell'analisi dei dati devono saltare sulla sedia e mandare l'informazione (da tenere segreta) a tutti quelli che si sono impegnati a collaborare, in modo che tutti i telescopi del mondo si mettano a cercare l'ago nel pagliaio. Una volta che tutti i dati siano stati raccolti e analizzati e si sia arrivati più o meno a mandare il lavoro alla rivista, arriva la doccia fredda. L'autore dello "scherzo segreto", l'unico depositario della verità, scopre le carte e quella che sembrava una scoperta diventa solo una prova del buon funzionamento della macchina.

Tuttavia, i bene informati facevano notare che il primo *tweet* di Krauss si riferiva ad un segnale visto a settembre, subito dopo l'accensione, quando ancora il sistema non era ufficialmente partito e quindi non poteva trattarsi di una "blind injection".

Poi abbiamo sentito che il segnale è stato prodotto dalla coalescenza di due buchi neri di una trentina di masse solari. In effetti sembrerebbe che madre natura stesse solo aspettando che LIGO entrasse in azione, un vero colpo di fortuna per tutti i colleghi che per anni hanno inseguito questo spettacolare risultato.

La conferenza stampa ci ha confermato che la finestra delle onde gravitazionali è aperta. ■