

Ascoltando la sinfonia dell'universo

Virgo e gli interferometri per onde gravitazionali

di Massimiliano Razzano



Siete appena arrivati alla festa. Entrati nel locale, iniziate a cercare i vostri amici ma vi rendete subito conto che non è così semplice. Fra le luci e la musica fortissima fate fatica a distinguere i volti e i suoni in tutta quella confusione. Sarebbe bello poter spegnere la musica per un momento, giusto in tempo per riconoscere la voce dei vostri amici. Ma sapete che non è possibile e quindi aguzzate la vista e vi concentrate sulle voci in mezzo al frastuono.

Quando diamo la caccia alle onde gravitazionali la situazione è altrettanto “rumorosa”. Non cerchiamo la voce dei nostri amici, ma delle tenui increspature nella trama dello spaziotempo prodotte da fenomeni astrofisici catastrofici, come lo scontro fra buchi neri o stelle di neutroni. Questi eventi sono però lontanissimi, e ciò che arriva sulla Terra è poco più di un debolissimo sussurro immerso in un mare di rumori di fondo prodotti da fenomeni fisici più disparati. Grazie alla teoria della relatività generale di Einstein possiamo calcolare l'ampiezza delle onde gravitazionali e quanto possono far oscillare

lo spaziotempo quando arrivano qui da noi, sulla Terra. Calcoli alla mano, i numeri sono davvero scoraggianti. Il passaggio di un'onda attraverso una cittadina come Pisa la farebbe “stiracchiare” di un millesimo delle dimensioni di un nucleo atomico. Un effetto troppo piccolo persino per un microscopio. Così piccolo che qualsiasi altro fenomeno, come le vibrazioni del terreno o l'agitazione termica delle molecole, produce un continuo frastuono di fondo, proprio come nella nostra festa.

In una situazione così complicata e “rumorosa”, come possiamo sperare di rivelare questi segnali cosmici? La soluzione sono degli appositi rivelatori, chiamati interferometri laser. Non troppo lontano da Cascina, in provincia di Pisa, sorge l'Osservatorio Gravitazionale Europeo (Ego), dove si trova Advanced Virgo, il più grande e sensibile rivelatore di onde gravitazionali in Europa. Finanziato dall'Infn e dal Cnrs francese, Virgo ascolta il cosmo insieme ai rivelatori gemelli del Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory (Ligo), progetto

a.
L'Osservatorio Gravitazionale Europeo, situato presso Cascina in provincia di Pisa, dove sorge l'interferometro Advanced Virgo, contenuto nel lungo tubo azzurro visibile nella foto.

americano costituito da due interferometri installati nello stato di Washington e della Louisiana. Gli scienziati di Ligo e Virgo lavorano da anni in collaborazione, per combinare i dati raccolti da questa rete di interferometri e ricostruire in modo più preciso i fenomeni estremi capaci di generare le onde gravitazionali. Recentemente si è unito a questa rete anche l'interferometro giapponese Kagra, e nei prossimi anni dovrebbe entrare in funzione un terzo rivelatore Ligo in India.

Come suggerisce il nome, questi strumenti sfruttano l'interferenza fra fasci luminosi, un fenomeno legato alla natura ondulatoria della luce. Nel 1887 i fisici americani Abraham Michelson ed Edward Morley utilizzarono un interferometro per dimostrare la non esistenza dell'etere "luminifero", un ipotetico mezzo richiesto per la propagazione della luce.

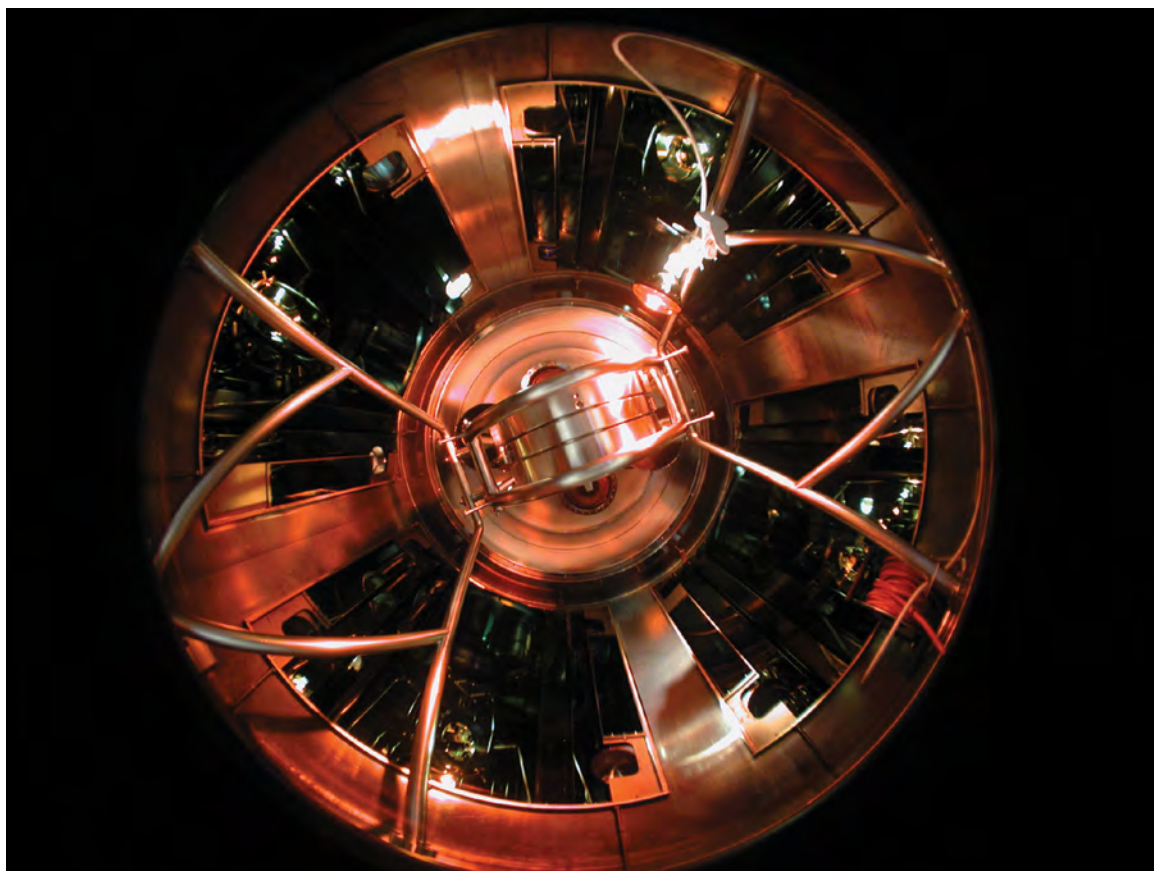
Virgo è un pronipote di quell'interferometro: è naturalmente più sofisticato ma sfrutta lo stesso principio di funzionamento. Nei rivelatori gravitazionali un fascio di luce laser viene inviato su uno specchio semiriflettente, detto "divisore di fascio" (*beam splitter*), che separa la luce in due fasci che percorrono direzioni perpendicolari. Dopo aver percorso i bracci di Virgo, lunghi 3 chilometri, la luce incontra uno specchio, detto "terminale", e viene riflessa indietro. I due fasci, che hanno

viaggiato in direzioni perpendicolari, si ricombinano nel *beam splitter* ed è così possibile osservare l'interferenza associata alla loro sovrapposizione.

Al passaggio di un'onda gravitazionale lo spaziotempo si deforma e i bracci si allungano e si accorciano di pochissimo, ma abbastanza da alterare il cammino dei raggi luminosi e la relativa interferenza. In altre parole, la luce è il nostro "metro" per misurare deformazioni così piccole. Più lunghi sono i bracci e maggiore è la differenza di cammino luminoso, e questo spiega le dimensioni gigantesche di Virgo. Per aumentare ulteriormente il cammino del laser, in ciascun braccio si trova uno specchio di ingresso, che insieme allo specchio terminale costituisce una cavità ottica di Fabry-Perot, dove la luce rimbalza centinaia di volte prima di tornare al *beam splitter*.

Ma tutto ciò non basta ancora. Dobbiamo infatti ridurre le fonti di rumore, che possono originarsi nel rivelatore o nell'ambiente esterno. Ad esempio, per combattere il rumore legato ai movimenti del terreno, detto "rumore sismico", gli specchi di Virgo sono sospesi a un complesso meccanismo, detto "superattenuatore", formato da una catena di pendoli in cascata. Questo sofisticato sistema fu proposto da Adalberto Giazotto, uno dei due "papà" di Virgo, scomparso nel 2017. Per ridurre

b.
Immagine del *beam splitter* di Virgo.



invece l'effetto del rumore legato all'agitazione termica, gli specchi sono sospesi tramite sottilissimi fili di silice di 0,4 mm di diametro e saldati a livello molecolare sugli specchi stessi. La qualità degli specchi è poi altissima in termini di purezza e di forma, in modo da garantire con grandissima precisione le caratteristiche di riflessione richieste. Questi sono solo alcuni esempi delle tecnologie di frontiera di Virgo. Esistono sistemi ancora più sofisticati per combattere le sorgenti di rumore associate alla natura quantistica della luce e che permettono di migliorare la sensibilità soprattutto nel dominio delle alte frequenze.

Dopo Ligo e Virgo, quali saranno le future antenne gravitazionali?

Un progetto molto ambizioso, di cui l'Infn è capofila, è l'Einstein Telescope, un interferometro europeo con bracci di 10 km che potrebbe sorgere in una miniera dismessa in Sardegna (vd. in *Asimmetrie* n. 30 p. 31, ndr). Esiste poi il progetto per il Laser Interferometer Space Antenna (Lisa), missione dell'Agenzia Spaziale Europea dedicata alla rivelazione delle onde gravitazionali dallo spazio e prevista per il lancio intorno alla metà degli anni 2030 (vd. in *Asimmetrie* n. 30 p. 34, ndr).

Grazie a Ligo e Virgo la fisica delle onde gravitazionali è passata in pochi anni da un'era pionieristica a una fase più matura. Ma siamo appena agli inizi. La stupenda sinfonia gravitazionale dell'universo è ancora tutta da scoprire.



c. Il modulo Lisa Pathfinder nei laboratori di test a Ottobrunn, in Germania. Il successo della missione Lisa Pathfinder ha dimostrato la fattibilità delle tecnologie alla base dell'ambizioso progetto spaziale Lisa.

Biografia

Massimiliano Razzano è professore al Dipartimento di Fisica dell'Università di Pisa. Membro delle collaborazioni Virgo e Fermi-Lat, si occupa di onde gravitazionali e fisica multimessaggera. Giornalista scientifico, scrive da anni di fisica e spazio.

Link sul web:

<http://public.virgo-gw.eu/>

<https://www.ego-gw.it/>

<http://www.et-gw.eu/>

DOI: 10.23801/asimmetrie.2021.31.9