

Note gravi

In ascolto delle onde gravitazionali

di Eugenio Coccia

a.
Simulazione di un'onda
gravitazionale.

La gravitazione è la più debole interazione fondamentale, la più antica conosciuta dall'uomo e ancora per molti versi la più misteriosa. Per studiare la sua natura, racchiusa nelle informazioni che ci possono fornire le onde gravitazionali, i cui segnali sono così deboli da non essere finora mai stati rivelati, i fisici costruiscono sofisticatissimi esperimenti, alla frontiera della scienza e della tecnologia.

La gravità è stata protagonista della prima grande sintesi nello studio della natura, quella operata nel '600 da Newton tra i fenomeni terrestri e i fenomeni celesti. Una pietra cade a terra, la Terra gira intorno al Sole e vede, a sua volta, ruotare attorno a sé la Luna. Tutti questi fenomeni sono dovuti all'azione di una stessa forza che attira i corpi fra loro e che agisce allo stesso modo dovunque nel cosmo: la forza di gravità. La legge che descrive l'azione di questa forza, da allora, si chiama giustamente *legge di gravitazione universale*. Nel '900 Einstein ha trasformato questa visione delle cose, creando un'indissolubile unione tra gravità, spazio e tempo. La presenza di materia deforma, "curva", lo spaziotempo, come se questo fosse un tappeto elastico. I corpi si attirano tra loro come conseguenza di questa curvatura. La teoria della gravitazione di Einstein, la *relatività generale*, ha avuto varie conferme sperimentali, tra cui la verifica che anche i raggi luminosi seguono questa curvatura. Manca però ancora la conferma più spettacolare e carica di significato: la rivelazione delle onde gravitazionali. Il movimento della materia è in grado di generare nel nostro tappeto elastico deformazioni e vibrazioni che, viaggiando nello spazio come onde in uno stagno, portano in tutto il cosmo informazioni sul movimento e sulla natura delle sorgenti che le hanno generate: sono queste le onde gravitazionali. Si tratta di perturbazioni dello spaziotempo che viaggiano alla velocità della luce e che possono essere rivelate misurando la variazione della distanza tra due corpi. Le onde gravitazionali cercate dai fisici sono emesse da corpi estremi, disseminati nell'universo come nere perle nel vuoto: i buchi neri e le stelle di neutroni, in cui le densità sono elevatissime e la gravità prevale sulle altre forze. Ma potrebbero essere generate anche da sorgenti ancora sconosciute: spesso, in fisica, quando si è aperta una nuova finestra sull'universo, si sono scoperte sorgenti assolutamente impensate. La rivelazione e lo studio delle onde gravitazionali permetterà non solo di trovare un'ulteriore

conferma della relatività generale di Einstein, ma segnerà anche l'inizio di una nuova astronomia.

Né i telescopi che osservano i fotoni, né i rivelatori di raggi cosmici o di neutrini (vd. p. 15) possono fornire un racconto così dettagliato del movimento della materia cosmica in condizioni estreme. Niente può dirci che cosa è accaduto nell'universo subito dopo il Big Bang meglio dell'eco delle onde gravitazionali, generata molto prima di quella dei fotoni (vd. p. 33). Sono numerose e affascinanti le domande che potrebbero avere una risposta grazie allo studio delle onde gravitazionali. Ad esempio, si potrebbe sapere se la relatività generale è la corretta teoria della gravitazione, se rimane valida anche in condizioni di forte gravità e se la velocità delle onde è quella della luce, se i buchi neri esistono veramente e se sono come la relatività generale li descrive, come si comporta la materia nucleare a densità e pressioni enormi, irrealizzabili nei nostri laboratori, e se le stelle di neutroni sono tali o non, piuttosto, *stelle di quark*. Per questo la rivelazione delle onde gravitazionali è una sfida che vale la pena di affrontare.

Ed è una sfida difficilissima per i fisici sperimentali. Queste onde attraversano la materia praticamente senza fermarsi e catturarle è quindi un compito davvero arduo. Sono ancora più elusive dei neutrini o delle particelle della materia oscura, tanto per citare altre sfide che vedono impegnati fior di cacciatori.

Per studiare le onde gravitazionali sono stati costruiti i più sensibili strumenti oggi concepibili.

Si è iniziato negli anni '60 con la progettazione delle *antenne risonanti* (vd. *Asimmetrie* n. 5 p. 23, ndr), formate da grandi cilindri metallici sospesi e poi raffreddati, a partire dagli anni '90, a temperature vicine allo zero assoluto grazie all'uso di tecnologie quantistiche. Come sensibilissimi diapason, queste antenne sono state progettate per "risuonare" al passaggio di un'onda gravitazionale. Ma la loro sensibilità non è stata sufficiente.

Gli anni 2000 hanno visto l'affermarsi dei sensibilissimi interferometri laser, come Virgo, costruito dall'Infn assieme al Cnrs (il centro della ricerca scientifica francese) nei pressi di Pisa. Sono straordinari strumenti, progettati per rivelare le onde gravitazionali emesse da sorgenti lontane anche centinaia di milioni di anni luce, che devono la loro stupefacente sensibilità all'uso estremo delle tecnologie laser, ottiche, elettroniche e meccaniche.



b.
Uno dei due bracci dell'interferometro Virgo, nell'osservatorio Ego (European Gravitational Observatory) dell'Infn e del Cnr a Cascina, Pisa.

Virgo è formato da due tunnel perpendicolari (detti "bracci") lunghi 3 chilometri, in cui vengono iniettati fasci laser, continuamente riflessi da sofisticati specchi posti alle estremità dei bracci. Il passaggio di un'onda gravitazionale deforma alternativamente lo spazio nelle due direzioni perpendicolari e quindi modifica la lunghezza dei due bracci. Di conseguenza, varia la fase relativa dei due fasci laser, che può essere misurata osservando la loro interferenza al termine del percorso (vd. Asimmetrie n. 5 p. 17, ndr). Virgo è in grado di misurare una variazione di lunghezza dei bracci a livello del milionesimo di milionesimo di metro, che è come se si volesse cercare una variazione più piccola dello spessore di un capello nel misurare la distanza tra la Terra e Giove.

Negli Usa è stato contemporaneamente costruito il "fratello" di Virgo, l'interferometro Ligo (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory). La sensibilità di entrambi i rivelatori verrà presto migliorata grazie ai progetti *Advanced Virgo* e *Advanced Ligo*: con grande probabilità si potranno identificare i primi segnali di onde gravitazionali entro pochi anni, forse già a partire dal 2016, a cento anni esatti dalla predizione teorica di Einstein. Nella prossima decade si prevede di realizzare un nuovo interferometro di 10 chilometri di lunghezza, situato sotto terra per ridurre l'effetto del rumore sismico e delle variazioni del campo gravitazionale, e costruito con specchi raffreddati a bassa temperatura per ridurre il rumore termico: si tratta di un ambizioso progetto chiamato Einstein Telescope (Et). Un altro progetto per il futuro,

di grande fascino, è l'interferometro spaziale Lisa. Sarà costituito da tre satelliti artificiali dotati di laser, disposti in modo da formare un triangolo equilatero di 5 milioni di chilometri di lato, che orbiteranno attorno al Sole a una distanza di circa 150 milioni di chilometri. Potrà studiare in dettaglio sorgenti "lente", che emettono onde di frequenza minore rispetto a quelle misurabili dagli interferometri a terra, quali i buchi neri supermassicci che si trovano al centro delle galassie, e forse potrà captare l'eco gravitazionale del Big Bang. Rivelatori estremi in siti estremi: una rete di strumenti sofisticatissimi è pronta a catturare le "note" della gravità.

Biografia

Eugenio Coccia è professore di fisica all'Università di Roma Tor Vergata, è stato direttore dei Laboratori del Gran Sasso e oggi è direttore del Gran Sasso Science Institute (Gssi), scuola internazionale di dottorato e centro di studi avanzati dell'Infn. Dirige l'esperimento di onde gravitazionali Nautilus e partecipa all'esperimento Virgo. È presidente del comitato internazionale delle onde gravitazionali e consigliere della Società Europea di Fisica.

Link sul web

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

<http://www.ligo.caltech.edu/>

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

<http://lisa.nasa.gov/>