

14 settembre 2015: la scoperta delle onde gravitazionali

La pallina sul telo invisibile

Nel 1952 ad Albert Einstein fu offerta la presidenza dello Stato di Israele, ma egli declinò l'incarico dicendo che pensava di essere troppo ingenuo per fare politica. Per citare le sue parole: *"Per me le equazioni sono più importanti, perché la politica è per il presente ma un'equazione è per l'eternità"*.

Quasi quarant'anni prima, precisamente nel 1916, viene pubblicata la teoria fisica della Relatività Generale (*Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*) di A. Einstein nel numero 7 degli *Annalen Der Physik*. La teoria della Relatività Generale, nata come teoria unificante la Relatività Ristretta e la Teoria della Gravitazione Universale, descrive l'interazione gravitazionale non più come azione a distanza fra corpi massivi (teoria newtoniana, per saperne di più: "[La crisi della fisica classica](#)"), ma come effetto di una legge fisica che lega la geometria (più specificamente, la curvatura) dello spazio-tempo.

In Fisica con il concetto di spazio-tempo (conseguenza diretta della teoria della Relatività Ristretta, per saperne di più: "[La Teoria della Relatività](#)") si intende la struttura quadridimensionale dell'universo che risulta quindi composto da quattro dimensioni: tre per lo spazio (lunghezza, larghezza e profondità) e una per il tempo. I punti dello spazio-tempo sono detti eventi e a ciascuno di essi corrisponde un fenomeno, individuato da quattro coordinate, che si verifica in una certa posizione spaziale e in un certo momento.

Lo spazio-tempo combina le nostre classiche nozioni tradizionalmente distinte di spazio e di tempo in un unico costruito (spazio e tempo sono legati in un'unica entità). Secondo Einstein la forma dello spazio-tempo dipende dalla distribuzione della massa in esso presente: la materia, a causa della propria massa, deforma (curva) il tessuto dello spazio-tempo, come se questo fosse un telo invisibile su cui poggia una pallina, generando così la forza di gravità.

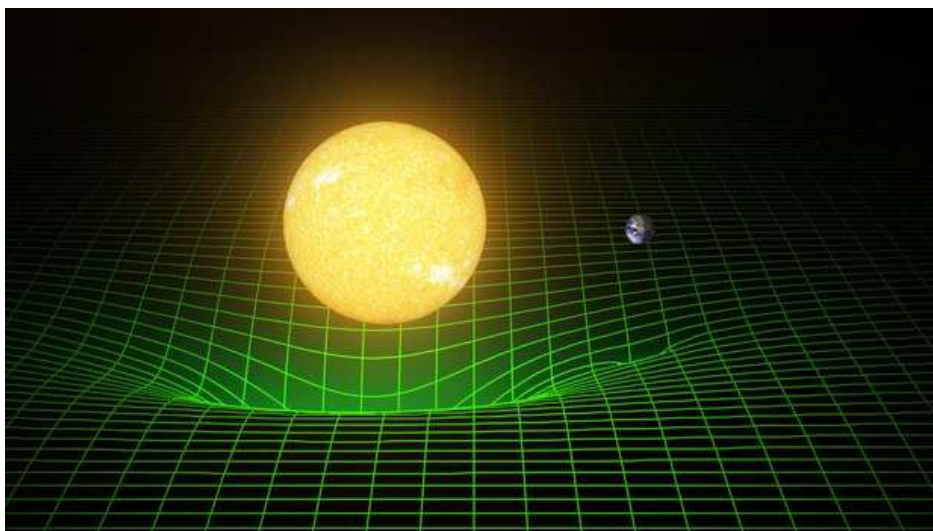


Immagine tratta da: *Massive Bodies Warp Space-Time*, Credit: [T. Pyle/Caltech/MIT/LIGO Lab](#)

Einstein aveva ragione

La Relatività Generale di A. Einstein ha predetto 100 anni fa che oggetti pesanti in movimento emettono onde gravitazionali, increspature nella curvatura dello spazio-tempo che viaggiano alla velocità della luce (alla stessa maniera di onde luminose e campo elettromagnetico). Come la luce, le onde gravitazionali trasportano via energia dagli oggetti che le emettono. Ci si attenderebbe perciò che un sistema di oggetti dotati di massa venisse infine a stabilizzarsi in uno stato stazionario, perché in ogni momento verrebbe trasportata via energia attraverso l'emissione di onde gravitazionali.

Pensiamo a quando si lascia cadere in acqua un turacciolo: dapprima esso oscilla su e giù per un po' di tempo, ma poiché le onde trasportano via la sua energia, esso si fermerà infine in uno stato stazionario (in Fisica col termine *infine* si indica il *tempo finale*, cioè l'istante esatto in cui si concludono le sperimentazioni oggetto di studio).

Anche il movimento di rivoluzione della Terra nella sua orbita attorno al Sole, per esempio, produce onde gravitazionali. La continua perdita di energia avrà l'effetto di modificare l'orbita della Terra così che gradualmente essa si avvicinerà sempre più al Sole, seguendo un movimento a spirale, fino a entrare in collisione con esso e stabilizzarsi in uno stato stazionario. Il ritmo della perdita di energia nel caso della Terra e del Sole è molto basso: la Terra impiegherà circa mille milioni di milioni di milioni di milioni di anni per precipitare nel Sole.

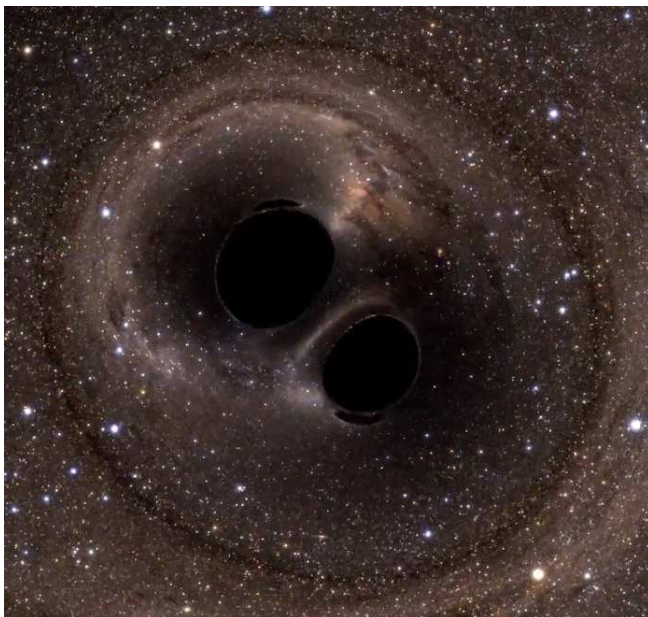
Il mutamento nell'orbita della Terra, in conseguenza di questa perdita di energia gravitazionale, è troppo piccolo per essere osservabile a causa delle energie e delle dimensioni fisiche relativamente piccole in gioco. Se invece il collasso gravitazionale riguarda una stella avviata a formare un buco nero, la cui massa è di molto superiore a quella del Sole, allora comprendiamo bene come i movimenti sarebbero molto più rapidi e il ritmo di perdita di energia sarebbe molto maggiore. La stella impiegherebbe perciò un tempo non molto lungo prima di stabilizzarsi in uno stato stazionario (tratto da "A brief history of time", 1988 by Stephen W. Hawking).

36+29=62?

Nel 1974 questo effetto fu osservato nel sistema pulsar binario chiamato PSR 1913+16 dagli astrofisici Russel Hulse e Joseph Taylor (premi Nobel per la Fisica nel 1993). Questo sistema contiene due stelle di neutroni che orbitano l'una attorno all'altra, e l'energia che esse perdono per mezzo dell'emissione di onde gravitazionali determina il movimento a spirale di avvicinamento l'una all'altra che esse presentano (per saperne di più: "[Alla ricerca delle onde gravitazionali](#)").

Giorni nostri, 14 settembre 2015: gli scienziati del team dei rivelatori americani LIGO (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory), guidati dai fisici Rainer Weiss, Kip Thorne e Ronald Drever, riportano la rivelazione di onde gravitazionali associate a uno degli eventi più violenti dell'Universo: la fusione di due buchi neri. LIGO è un osservatorio, operativo negli Stati Uniti dal 2002, concepito proprio per catturare le onde gravitazionali; è costituito da due strutture identiche, ognuna delle quali è un interferometro laser, poste a 3000 km di distanza, una a Hanford (Stato di Washington) e l'altra a Livingston (Louisiana, per saperne di più: "[Alla ricerca delle onde gravitazionali](#)").

Distanti da noi circa un miliardo di anni luce, i due buchi neri (con masse pari a 36 e 29 volte quella del Sole), legati in un



sistema binario sempre più stretto (guarda il video YouTube: "[Black Hole Merger Simulation](#)"), si sono scontrati a una velocità di circa 150.000 km/s (la metà della velocità della luce) e fusi per formare un unico enorme corpo con una massa di 62 masse solari. Le onde gravitazionali sono state emesse negli istanti precedenti alla fusione e ricevute il 14 settembre 2015 alle ore 09:51 (Tempo Universale, UTC) da entrambi i rivelatori di LIGO.

Immagine tratta da: <http://www.ligo.org/>

Poco prima di fondersi, quindi, i buchi neri hanno emesso, sotto forma di onde gravitazionali, una grande quantità di energia, calcolabile notando che il buco nero risultante ha una massa inferiore di 3 masse solari rispetto la somma dei singoli buchi neri che l'hanno formato. Secondo la nota equazione di Einstein $E = mc^2$ (vedere primo capoverso dell'articolo), la massa mancante si è allora trasformata in energia, ovvero in pochi istanti è stata convertita in onde gravitazionali la massa equivalente di tre Soli.

La notizia è annunciata ufficialmente e resa pubblica circa 5 mesi dopo, l'11 febbraio 2016. Nel corso della conferenza stampa tenutasi a Washington, la portavoce di LIGO ha presentato la scoperta sensazionale mostrando al mondo intero i grafici (riportati di seguito) che rivelano per la prima volta la forma delle onde gravitazionali. È evidente sia l'ottima confidenza di rivelazione rispetto al rumore di fondo sia la perfetta sovrapposizione dei dati provenienti da entrambi gli interferometri LIGO. Nel momento in cui i due buchi neri sono sul punto di fondersi iniziano a emettere onde gravitazionali di frequenza sempre maggiore, in un crescendo che si conclude con la loro fusione.

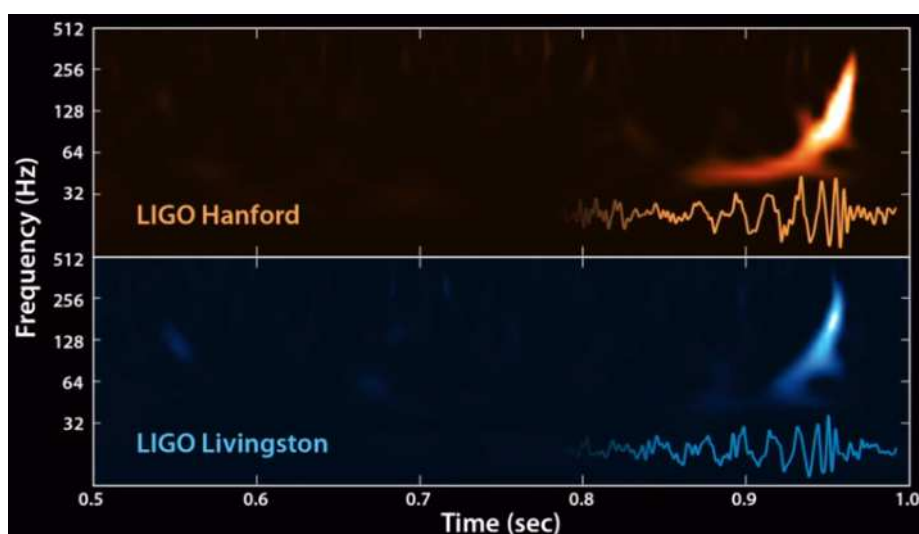


Immagine tratta da: [LIGO detects gravitational waves - announcement at press conference](#)

Occhio all'onda gravitazionale

Il 14 settembre 2015 ha dato il via a un momento epocale. Con la rivelazione delle onde gravitazionali si apre un vaso di Pandora che ci permetterà di osservare la realtà da un nuovo punto di vista del tutto differente rispetto a prima: d'ora in poi saremo in grado di vedere ciò che fino a ieri ci era invisibile. Non solo si è data conferma alla teoria della Relatività Generale, quindi ai principi base su cui interpretiamo i fenomeni dell'Universo, ma potremo fare luce sui fenomeni più violenti dell'Universo, che fino a oggi abbiamo solo iniziato a comprendere con il limitato aiuto delle onde elettromagnetiche. Riusciremo a decifrare meglio gli scontri tra buchi neri, la formazione di galassie, la nascita e le proprietà dell'Universo stesso, l'esistenza di materia ed energia oscura. Magari in breve tempo si riuscirà anche a sciogliere un rompicapo che attanaglia le menti degli scienziati di tutto il mondo, ovvero che cosa ci sia all'interno delle stelle di neutroni caratterizzate da densità elevatissime (in appena 10 km di diametro risultano concentrate molte masse solari).

In aggiunta si potrà capire come si comporta la forza di gravità in condizioni e ambienti non riproducibili artificialmente in laboratorio e avere conferma delle attuali conoscenze fisiche sulla forza che domina tutto l'Universo. È come se finora avessimo guardato il mondo limitatamente da un piccolo oblò e ora avessimo a disposizione una visione a campo aperto, a trecentosessanta gradi.



Immagine tratta da: <http://www.ligo.org/> - Journey of a Gravitational Wave - Created by LIGO/SXS/R. Hurt/T. Pyle

Concludiamo rilevando con orgoglio che in Italia, e precisamente nel comune di Cascina, in provincia di Pisa, l'osservatorio VIRGO (per saperne di più: "[Alla ricerca delle onde gravitazionali](#)") lavora in tandem con l'americano LIGO dal 2007, avendo instaurato una rete di relazioni volte alla condivisione delle informazioni e all'elaborazione congiunta dei dati rilevati. Proprio grazie a ciò si è arrivati alla fondazione di un unico network internazionale per il rilevamento delle onde gravitazionali e alla prima osservazione diretta delle onde gravitazionali, annunciata ufficialmente l'11 febbraio 2016.

A cura di Enzo Scasciamacchia

Bibliografia, sitografia e per approfondire

- Stephen W. Hawking (1988), "A brief history of time".
- [Osservatorio LIGO \(Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory\)](#)
- [Black Hole Merger Simulation](#)
- [Warped Spacetime and Horizons of GW150914](#)
Simulating eXtreme Spacetimes Collaboration/Canadian Institute for Theoretical Astrophysics/SciNet. Warped Space and Time Around Colliding Black Holes (Courtesy Caltech-MIT-LIGO Laboratory, produced by SXS project)
- [Stephen Hawking, Teoria dello Spazio-Tempo](#)
- [Journey of a Gravitational Wave](#) - Created by LIGO/SXS/R. Hurt/T. Pyle