

Le onde gravitazionali descritte da Einstein

- (1) L'**universo** è composto da una trama dello **spazio - tempo**
- (2) Il **movimento** di grandi masse crea delle perturbazioni in questa trama
- (3) Le **perturbazioni** si propagano come onde in uno stagno
- (4) **Viaggiano** alla velocità della luce
- (5) **Masse molto grandi** creano onde gravitazionali sufficientemente ampie da potere essere osservate con i nostri strumenti.
- (6) La **gravità** è l'effetto della curvatura del tessuto dello **spazio - tempo** dalla materia

Come le cariche elettriche accelerate emettono onde elettromagnetiche, anche una massa accelerata deve irraggiare, secondo Einstein, onde gravitazionali che si propagano nello **spazio - tempo** con la velocità della luce.

Cosa è stato osservato dai nostri fisici

- (1) Il **segnale** di onde gravitazionali durato alcuni secondi
- (2) Dalla sua **frequenza** si è capito che si tratta della fusione di due buchi neri
- (3) I **due buchi neri** erano grandi **36** e **29** la massa del Sole
- (4) I due buchi neri **sono precipitati** uno sull'altro con una traiettoria a spirale

Perché cerchiamo le onde gravitazionali

In genere studiamo l'universo osservandone la luce che si manifesta in diversi fenomeni. Ci sono però fenomeni, come la **fusione di due buchi neri** ed il **Big Bang**, che non emettono luce.

14 miliardi di anni fa è avvenuto il **Big Bang** e vennero prodotte delle **onde gravitazionali**. Il buco nero generato dalla fusione dei suddetti due buchi neri era grande **62** la massa del Sole. Durante questa fusione una massa pari a **3Soli** si è vaporizzata in pochi decimi di secondo.

Questa energia si è trasformata in **onde gravitazionali**. Le attuali antenne gravitazionali hanno trovato le tracce delle **onde gravitazionali** generate **14** miliardi di anni fa. Non è possibile stabilire con precisione dove si trovavano questi due buchi neri. La distanza stimata è **3,2** miliardi di anni luce.

Nella relatività generale si definisce **buco nero** (**black hole**) una regione dello **spazio-tempo** con un campo gravitazionale così forte e intenso che nulla al suo interno può sfuggire all'esterno, nemmeno la luce.

I **buchi neri** sono gli oggetti più strani dell'universo. Un **buco nero** non ha una superficie, come un pianeta o una stella, ma è piuttosto una regione dello spazio nella quale la materia è sprofondata su se stessa. Questo catastrofico crollo ha causato la concentrazione di una enorme quantità di massa in uno spazio incredibilmente piccolo. Di conseguenza l'attrazione gravitazionale in questa regione è così forte da non lasciare fuoriuscire nulla, nemmeno la luce. Un buco nero può essere considerato come un aspirapolvere cosmico che ingoia tutto e che diventa invisibile perché luce e materia non riescono ad uscire da esso.

Domande e risposte sulle onde gravitazionali

(D1) Che cosa sono le onde gravitazionali?

(R1) Sono increspature dello **spazio-tempo** che percorrono l'universo alla velocità della luce e che Einstein, un secolo fa, aveva previsto come conseguenza della teoria della relatività generale. Vengono generate da qualunque massa accelerata che piega lo **spazio-tempo** come un'arancia che rotoli su una tovaglia sospesa. Solo che, essendo debolissime, quelle che siamo in grado di percepire sono solo le onde causate da fenomeni astronomici violenti dovuti a masse stellari.

(D2) Come le abbiamo viste?

(R2) Due rivelatori hanno registrato l'arrivo di **onde gravitazionali** generate nell'ultima fase del collasso di due buchi neri. Le masse dei due buchi neri si sono unite a formarne una terza, di massa minore della loro somma. La massa mancante equivale all'energia che è stata emessa sotto forma di onde gravitazionali, perché massa ed energia per la teoria della relatività ristretta sono equivalenti. Infatti risulta:

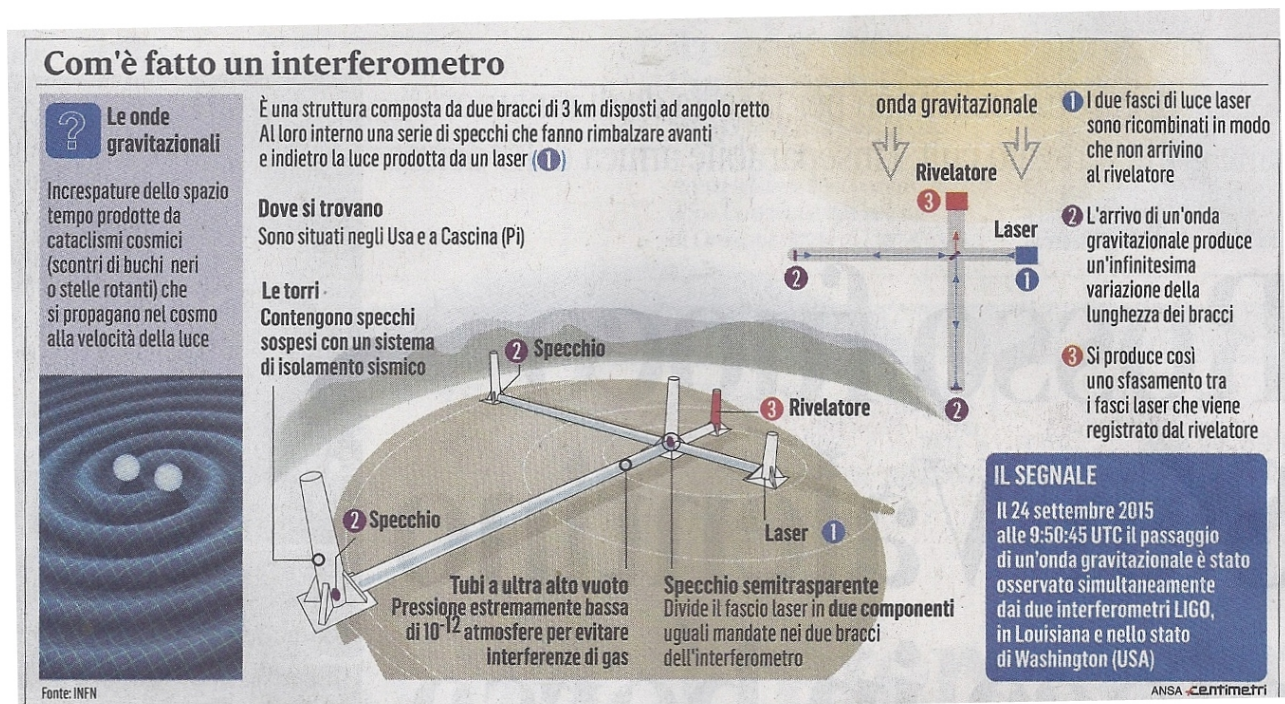
$E=mc^2$ dove **E** indica l'energia, **m** la massa che si è trasformata in energia, **c** la velocità della luce nel vuoto.

(D3) Perché le stavamo cercando?

(R3) In primo luogo perché si tratta di una conferma della teoria della relatività generale di Einstein e poi perché le onde gravitazionali ci permettono di capire meglio l'universo.

(D4) Perché si dice che da adesso si apre una nuova era per la scienza?

(R4) Perché si può cominciare a parlare di astronomia gravitazionale: le onde gravitazionali raccontano fenomeni astrofisici finora inaccessibili. Lo dimostra il fatto che la prima osservazione delle **onde gravitazionali** sia corrisposta alla prima scoperta del collasso di un sistema binario di buchi neri.



Le **onde gravitazionali** rilevate dallo strumento **LIGO** (acronimo dell'osservatorio interferometro laser delle onde gravitazionali) sono generate dalla collisione di due buchi neri, uno con massa **29** volte quella del Sole e il secondo con massa **36** volte quella del Sole. I due buchi neri compiono un percorso a spirale finché collasano uno sull'altro formando un unico buco nero avente massa **62** volte quella del Sole ma con un diametro complessivo non superiore a **320km**. L'unione dei due buchi neri dovrebbe dare vita ad un buco nero con una massa pari a **65** volte quella del Sole, la massa mancante pari alla massa di "tre Soli" viene trasformata, attraverso le **onde gravitazionali**, in energia.

I due buchi neri si trovavano inizialmente ad una distanza di **30mila km**, si muovevano uno intorno all'altro su orbite a spirale. I due buchi neri erano circondati da campi gravitazionali intensi. Alla fine i due buchi neri si sono fusi dando luogo ad un nuovo unico buco nero con la contemporanea generazione di **onde gravitazionali** osservate dallo strumento **LIGO**.

Sintesi finale

Con Galileo l'astronomia ha aperto gli occhi; con la prima registrazione di un'onda gravitazionale ha aperto anche le orecchie. Quello che è accaduto a **1,3 miliardi anni luce** da noi è che due buchi neri grandi come **36** e **29** Soli si sono incontrati, hanno cominciato a ruotare furiosamente e si sono tuffati l'uno nell'altro ad una velocità pari alla metà di quella della luce. La fusione dei due buchi neri ne ha ridotto la massa totale con la conseguente formazione di energia che si è trasformata in **onde gravitazionali**. Tali onde si sono propagate alla velocità della luce sotto forma di vibrazioni della trama dello spazio-tempo, hanno raggiunto la Terra ed il **14 settembre 2015** sono state captate dagli osservatori di Livingston e Hanford (USA), che fanno parte della collaborazione **LIGO** e lavorano insieme agli italiani dell'osservatorio Virgo a Cascina, in provincia di Pisa. Poiché la frequenza di queste onde ricade nella banda dell'udibilità, il segnale è stato tradotto in un "cinguettio". Con gli occhi non avremmo mai potuto vedere un buco nero. Per la prima volta, grazie alle **onde gravitazionali**, abbiamo avuto la prova diretta dell'esistenza di questi corpi celesti.