

Gli astronomi all'ascolto dell'universo

The Economist, Regno Unito

Un secolo dopo che Albert Einstein le aveva ipotizzate, sono state intercettate delle onde gravitazionali. Questa scoperta apre la strada a una nuova astronomia

Due buchi neri girano uno intorno all'altro. Hanno entrambi un diametro di circa cento chilometri. Uno ha una massa pari a 36 volte quella del Sole, l'altro 29. Distanza più o meno un chilometro tra loro. Sono incatenati in una danza orbitale sempre più rapida che sfiora la velocità della luce. Poi i loro orizzonti degli eventi, le sfere che definiscono i punti di non ritorno, si toccano e, con una violenta oscillazione, in un istante miliardi di miliardi di chili si ridistribuiscono. Torna la calma. In meno di un secondo è nato un buco nero più grande.

Ma è più piccolo della somma delle sue parti. Una parte della massa, pari a tre Soli,

Da sapere Lo spaziotempo

◆ Secondo la teoria della **relatività generale**, lo spazio e il tempo si influenzano l'un l'altro e sono così intrecciati da essere una cosa sola. Questo spaziotempo è la struttura quadrimensionale dell'universo: lunghezza, larghezza, profondità (le coordinate spaziali) più il tempo. È il "luogo e il momento" in cui si svolgono tutti i fenomeni.

◆ **Einstein** non considera la **gravità** come una forza di attrazione tra corpi, ma come la conseguenza della curvatura dello spaziotempo (nell'immagine) dovuta alla presenza di corpi dotati di massa o energia. L'onda gravitazionale è un'increspatura nello spaziotempo, generata da una massa in accelerazione, che si propaga.



MSSD (CC)

è diventata energia sotto forma di onde gravitazionali: increspature in movimento che espandono e comprimono lo spazio e tutto ciò che incontrano. Durante l'ultimo quinto di secondo della loro fusione, i due buchi neri hanno sprigionato un'energia pari a cinquanta volte quella emessa in quel momento dal resto dell'universo in forma di luce, onde radio, raggi X e gamma messi insieme. Un miliardo e trecento milioni di anni dopo, nel settembre del 2015, in una struttura nota come Osservatorio interferometro laser delle onde gravitazionali (Ligo), gli abitanti di un pianetino che orbita intorno a un Sole giallo intercettano una debolissima traccia di quelle onde.

Chiamata GW150914 e annunciata al mondo l'11 febbraio 2016, è la prima onda gravitazionale individuata in modo diretto da scienziati umani. Una conquista in gestazione da un secolo, che spalanca una nuova finestra sull'universo e fornisce ai ricercatori lo strumento per scrutare eventi finora inaccessibili, forse addirittura lontani come il big bang.

Il concetto di onde gravitazionali è emerso dalla relatività generale, la fondamentale teoria della gravità avanzata da Albert Einstein quasi cento anni prima della scoperta di GW150914. L'idea centrale è che la massa deforma lo spazio e il tempo che la circondano. Questo determina la gravità, cioè il comportamento degli oggetti che si spostano con disciplina lungo le curve dello spaziotempo distorto dalla massa. Anche se l'idea è semplice, è difficilissimo risolvere le equazioni matematiche che la dimostrano. Le soluzioni si possono trovare solo mediante approssimazioni, una delle quali portò alla strana previsione di Einstein: qualunque accelerazione impressa a una massa dovrebbe produrre increspature nello spaziotempo.

Einstein non era soddisfatto di questa idea. Sul tema lui stesso oscillava come un'onda, demolendo e ricostruendo la tesi, argomentando a favore delle onde e poi, dopo aver rifatto i calcoli, contro di esse. Intanto, mentre lui e altri espandevano e

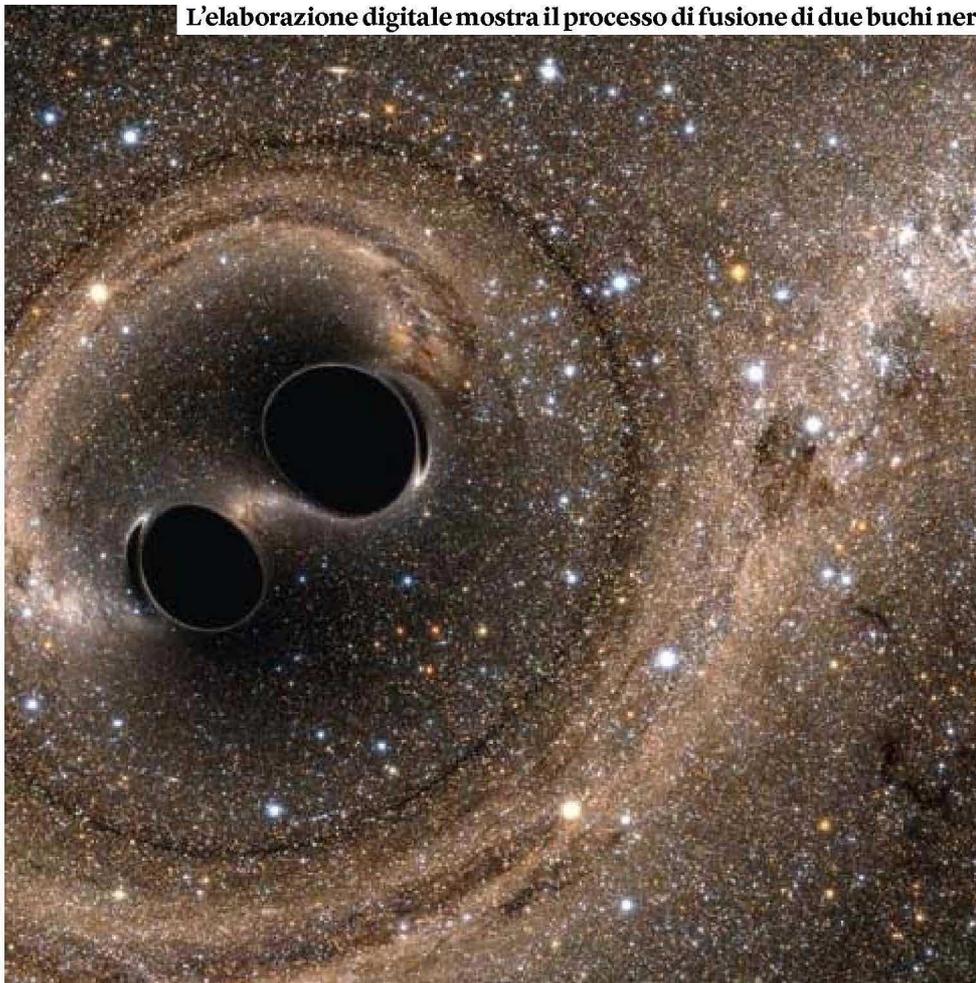


comprimevano le loro equazioni, i fisici sperimentali si preparavano a catturare le presunte onde nell'atto di espandere e comprimere la materia.

Il problema consisteva nel fatto che l'effetto atteso era un cambiamento temporaneo, di dimensioni forse pari a un millesimo di un protone, in un sistema grande svariati chilometri. Negli anni è stata trovata la prova indiretta dell'esistenza delle onde gravitazionali, soprattutto misurando le emissioni delle radiazioni di coppie di stelle morte chiamate pulsar che orbitano l'una intorno all'altra e deducendo quanto si riduce la distanza tra di loro mentre diffondono le onde gravitazionali nel cosmo. Fino alla costruzione di Ligo, però, anche quelle si sono rivelate sfuggenti.

Ligo è un interferometro che opera scomponendo in due un raggio laser. Invia le due metà avanti e indietro lungo percorsi di lunghezza identica, disposti tra loro ad angolo retto, e cerca i segnali di un'interferenza quando si riuniscono. In assenza di interferenze lungo i percorsi, le onde arri-

L'elaborazione digitale mostra il processo di fusione di due buchi neri



vano al rivelatore in perfetta sincronia. Il passaggio di un'onda gravitazionale, invece, espande e comprime i percorsi, per cui i raggi, non più sincronizzati, interferiscono l'uno con l'altro nel rivelatore. Il tipo d'interferenza contiene tutte le informazioni sull'origine dell'onda, sulle masse coinvolte e sulla distanza.

Per essere certi di intercettare davvero un'onda gravitazionale occorre molta attenzione. Tanto per cominciare Ligo è costituito da due strutture, che si trovano una in Louisiana e l'altra nello stato di Washington: solo un fenomeno osservato da entrambe, quasi ma non esattamente in simultanea, può essere un'onda gravitazionale. Inoltre i bracci dell'interferometro sono quasi interamente sospesi in modo da isolarlo il più possibile da segnali sismici e vibrazioni del traffico.

Ogni braccio degli interferometri è lungo quattro chilometri, per avere la necessaria sensibilità, e il mezzo raggio laser che lo percorre viene fatto rimbalzare cento volte tra gli specchi alle due estremità così da

amplificare qualunque discrepanza quando i raggi si riuniscono. Eppure tra il 2002, quando Ligo è stato inaugurato, e il 2010, quando è stato chiuso per essere potenziato, non è mai stata intercettata un'onda.

Alcuni perfezionamenti, tra cui il raddoppiamento della superficie degli specchi, la maggiore sospensione e la moltiplicazione di 75 volte della forza del laser, hanno reso l'Advanced Ligo, come si chiama ora il macchinario, quattro volte più sensibile del precedente. I risultati non si sono fatti attendere. Gli operatori stavano verificando i dettagli e dovevano ancora cominciare il primo esperimento ufficiale quando è spuntata GW150914, prima in Louisiana e circa un centesimo di secondo dopo a Washington, una discrepanza che colloca l'esplosione nel cielo dell'emisfero meridionale. Da allora l'équipe di ricerca non fa che controllare e ricontrollare i calcoli e contare le sue buone stelle. Come ha scritto sulla rivista *Physical Review Letters*, le probabilità che il segnale sia solo una coincidenza sono infinitesimali.

Quando un risultato arriva così in fretta è quasi certo che ne seguiranno altri, soprattutto perché bisogna ancora finire di analizzare i dati raccolti nei quattro mesi del primo esperimento ufficiale. Secondo una stima approssimativa potrebbero contenere altri due segnali sensazionali quanto GW150914.

La disfatta di Einstein?

Per l'astronomia gravitazionale è solo l'inizio. Tra non molto Ligo non sarà più solo. Entro la fine dell'anno, infatti, dovrebbe aggiungersi Virgo, un osservatorio di onde gravitazionali con sede in Italia, nel comune di Cascina, vicino Pisa (l'équipe di Virgo ha collaborato all'analisi dei dati raccolti da Ligo). Un altro è in costruzione in Giappone e si pensa di crearne un quarto in India. E c'è anche il progetto più ambizioso di tutti, che prevede un osservatorio orbitante chiamato Evolved laser interferometer space antenna (e-Lisa). I primi pezzi progettati per testarlo sono già nello spazio.

Questi apparecchi insieme formeranno un telescopio che potrebbe permettere agli astronomi di individuare la provenienza delle onde e fornire una nuova prospettiva sull'universo. Via via che la tecnologia avanza si potranno individuare onde di frequenza inferiore, che corrispondono a eventi di masse più grandi. Finalmente gli astronomi potranno osservare i primi 380 mila anni successivi al big bang, un'epoca inaccessibile a ogni altro telescopio mai creato.

Il vero trionfo, però, sarà la dimostrazione che Einstein aveva torto. Anche se prevede l'esistenza delle onde gravitazionali, la teoria della relatività è incompleta perché incompatibile con l'altra grande teoria fisica del novecento, la meccanica quantistica. Molti fisici sospettano che le prime crepe della teoria della relatività spunteranno proprio nei luoghi caratterizzati dalle condizioni più estreme: quelli da cui hanno origine le onde gravitazionali. Da quelle crepe si scorderà il profilo di una teoria più onnicomprensiva. Le onde gravitazionali, che lasciavano Einstein tanto perplesso, hanno fornito la prova diretta dei buchi neri di cui dubitava, e potrebbero consentirci di intravedere il big bang, evento che la sua teoria non era in grado di descrivere. Oggi, però, le onde gravitazionali potrebbero spodestarla. Se succederà, si potrà dire che nel prevederle aveva previsto anche la propria disfatta. ♦ *sdf*