

La nascita dell'"astronomia gravitazionale"

L'11 febbraio 2016 è stata annunciata quella che sicuramente diverrà una delle più importanti scoperte della scienza: la scoperta delle **onde gravitazionali**.

Prima di entrare in dettagli, è utile capire come si sia evoluto nel tempo il concetto di "gravità".

La gravità nella storia

Il termine deriva dal latino "**gravitatem**", unione di "**gravis**" ossia "pesante" con la desinenza "**tatem**", (propria di nomi astratti derivanti da aggettivi che indicano qualità) e fu creato per indicare la tendenza dei corpi a cadere verso il suolo.

Secondo la fisica aristotelica il moto di un corpo e' determinato dalle "**forze**" alle quali è soggetto: per un corpo in caduta, esse sarebbero il suo peso e la resistenza dell'aria.

Quindi, secondo questa visione, un corpo lasciato cadere da una determinata altezza raggiungerebbe il suolo tanto più velocemente quanto maggiore e' il suo peso. Di tutto ciò non ne era convinto **Galileo Galilei**.



Fig n. 1- Galileo e la caduta dei gravi.

Egli indagò sul fenomeno non usando un approccio di tipo qualitativo e filosofico (come era consuetudine al tempo) ma unendo le "sensate esperienze" alle "dimostrazioni necessarie", ossia introducendo nella scienza il "**metodo scientifico**", basato sulla raccolta

di dati e sulla loro rigorosa analisi matematica.

Concluse che tutti i corpi nel vuoto (cioe' non soggetti alla resistenza dell'aria o di un altro mezzo materiale) cadono con accelerazione uniforme, indipendentemente dal materiale di cui sono composti, dal loro peso o dalla loro forma, e che la distanza che essi percorrono durante la caduta e' proporzionale al quadrato del tempo impiegato per percorrerla.

Una sua interessante riflessione sulla gravità la si trova nella bellissima opera "**Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo**", pubblicata nel 1632, con cui Galileo intende contestare la concezione di un Universo geocentrico (ossia con la Terra che sta al centro di tutto) a favore del sistema Eliocentrico (ossia con il Sole al centro).

Il libro è impostato come un dialogo fra tre diversi personaggi: **Salviati**, sostenitore della teoria Eliocentrica, **Simplicio**, difensore della avversa teoria geocentrica e **Sagredo**, che invece rappresenta la persona curiosa di scienza, che vuol saperne di più, e che per questo interviene nelle discussioni chiedendo delucidazioni.

In particolare, un passo del dialogo afferma, in un bellissimo italiano seicentesco:

"SALVIATI. Io non ho detto che la Terra non abbia principio né esterno né interno al moto circolare, ma dico che non so qual de' dua ella si abbia; ed il mio non lo sapere non ha forza di levarglielo. Ma se questo autore sa da che principio sieno mossi in giro altri corpi mondani, che sicuramente si muovono, dico che quello che fa muover la Terra è una cosa simile a quella per la quale si muove Marte, Giove, e che e' crede che si muova anco la sfera stellata; e se egli mi assicurerà chi sia il movente di uno di questi mobili, io mi obbligo a sapergli dire chi fa muover la Terra. Ma più, io voglio far l'istesso s'ei mi sa insegnare chi muova le parti della Terra in giù.

SIMPLICIO. La causa di quest'effetto è notissima, e ciaschedun sa che è la gravità.

SALVIATI. Voi errate, signor Simplicio; voi dovevi dire che ciaschedun sa ch'ella si chiama gravità. Ma io non vi domando del

nome, ma dell'essenza della cosa: della quale essenza voi non sapete punto più di quello che voi sappiate dell'essenza del movente le stelle in giro, eccettuatone il nome, che a questa è stato posto e fatto familiare e domestico per la frequente esperienza che mille volte il giorno ne veggiamo; ma non è che realmente noi intendiamo più, che principio o che virtù sia quella che muove la pietra in giù, di quel che noi sappiamo chi la muova in su, separata dal proiciente, o chi muova la Luna in giro, eccettoché (come ho detto) il nome, che più singulare e proprio gli abbiamo assegnato di gravità. doveché a quello con termine più generico assegnamo virtù impressa, a quello diamo intelligenza, o assistente, o informante, ed a infiniti altri moti diamo loro per cagione la natura". Appare quindi evidente che dai suoi studi Galileo non sa definire che cosa sia la gravità, non è in grado di spiegare "l'essenza della cosa".

Per avere una prima vera formulazione matematica della gravità si deve arrivare ad **Isaac Newton**.

Egli, nel 1687, pubblicò infatti una grande opera, il "*Philosophiæ naturalis principia mathematica*" opera suddivisa in tre volumi: il "*De motu corporum*" (Sul movimento dei corpi), che fu diviso in due per via della eccessiva lunghezza, e il "*De mundi sistematè*" (Sul sistema del mondo), in cui introdusse la "**Legge di gravitazione universale**".

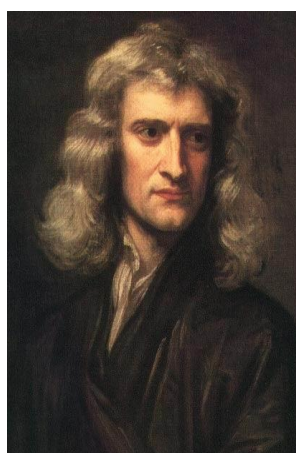
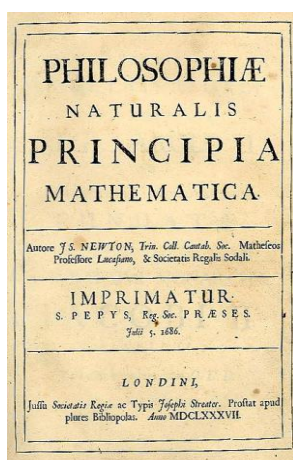


Fig n. 2 - Newton e la sua opera.

Qui egli illustra una serie di teoremi relativi al moto dei pianeti, che di fatto, combinano gli studi di **Galileo** e quelli di **Keplero** rendendo la gravità responsabile sia dei fenomeni che si osservano sulla Terra che di quelli che si studiano in tutto il resto dell'Universo!

Nella proposizione VIII Teorema VIII del terzo libro, si legge: "*Si globarum duorum in se mutuo gravitantium materia undique, in regionibus, quae à centris aequaliter distant, homogœna fit: erit pondus Globi alterutrius in alterum reciprocè ut quadratum distantiae inter centra*". la cui traduzione è: "*Se la massa di due globi gravitanti l'uno verso l'altro è omogenea a distanze uguali dai loro centri, i due globi si attraggono con una forza inversamente proporzionale al quadrato della distanza fra i loro centri*".

Va precisato che la formula della legge di gravitazione universale come la conosciamo oggi

$$F = \frac{m_1 m_2}{d^2} G$$

non viene scritta da Newton nell'opera sopra citata (cosa che verrà fatta successivamente da altri scienziati che si baseranno su quanto da lui scoperto).

Quindi, sebbene gli studi di Newton forniscano finalmente il mezzo con cui calcolare la forza di gravità, neanche lui definisce "**cos'è**" la gravità: nella seconda edizione dei Principia del 1713, nella sezione finale intitolata "Scolio Generale" giustifica le mancanze criticategli dichiarando "*In verità non sono ancora riuscito a dedurre dai fenomeni la ragione di queste proprietà della gravità, e "**Hypotheses non fingo**" (ossia non invento ipotesi). Qualunque cosa, infatti, non deducibile dai fenomeni va chiamata ipotesi; e nella filosofia sperimentale non trovano posto le ipotesi sia metafisiche, sia fisiche, sia delle qualità occulte, sia meccaniche.*"

Comunque, la Legge della Gravitazione Universale di Newton nel 1700 iniziò a mostrare dei limiti, e precisamente quando si osservarono "strani" comportamenti nell'orbita di Mercurio, il pianeta del Sistema Solare più vicino al Sole.

L'interesse per le difficilissime osservazioni di Mercurio, (a causa della sua estrema vicinanza al Sole) nascevano dal fatto che, in

alcune occasioni, la sua orbita lo porta a "transitare" davanti al disco del Sole (cosa che normalmente non avviene, essendo la sua orbita attorno alla nostra stella inclinata rispetto a quella della Terra): confrontando il movimento reale del pianeta con quello previsto dalle "effemeridi" (appositi e precisi calcoli che prevedono i movimenti della sfera celeste), si stabiliva l'accuratezza delle stesse. Qui nacquero i problemi: il transito sul Sole previsto per il 5 maggio 1707 risultò errato di un giorno, quello previsto per il 6 maggio 1753 di diverse ore; stessa sorte ebbero i transiti del 1789, 1799 e 1802.

Si tentò di spiegare la cosa con il fatto che, (come accade per tutti i corpi del Sistema Solare), l'orbita di Mercurio è una ellisse e il Sole non si trova nel centro ma un po' spostato (in uno dei "fuochi") e il punto dell'orbita più vicino al Sole, il "perielio", non è fisso nello spazio ma, molto lentamente, si muove in direzione del moto del pianeta stesso, lo "precede" da cui il termine di moto di "precessione" (Fig. n. 3).

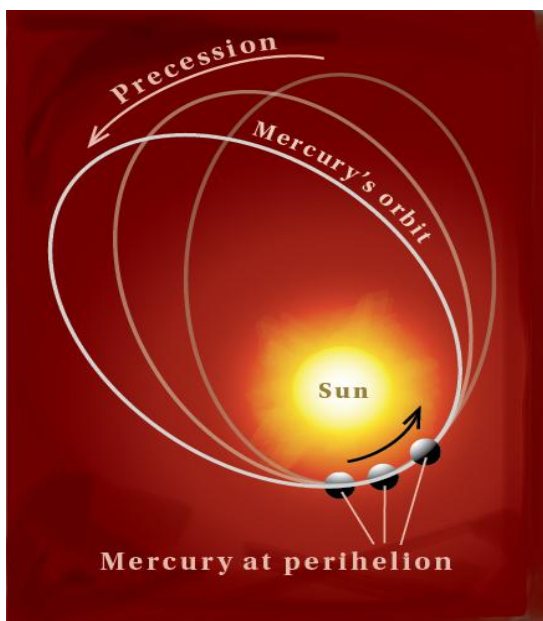


Fig n. 3 - La precessione del perielio di Mercurio mette in crisi la teoria di Newton.

Tutto ciò è previsto dalla teoria Newtoniana, ma il fatto è che il perielio di Mercurio si muove più velocemente di quanto calcolato, 43 secondi d'arco per secolo, una differenza molto piccola ma comunque misurabile che non si riusciva a giustificare: era evidente che

"qualcosa" non funzionava nella teoria di Newton.

Per metterci una pezza fu addirittura ipotizzata la presenza di un inosservato pianeta ancora più vicino al Sole, battezzato "Vulcano" che, influenzando il moto di Mercurio, ne potesse spiegare l'anomalia, ma dopo alcuni decenni di scontri fra favorevoli e contrari fu chiaro che il fantomatico pianeta rimaneva inosservabile semplicemente perché non esisteva.

Occorreva altro, quindi, per capire veramente l'essenza della gravità.

La vera svolta venne grazie ad **Albert Einstein**.

Nel 1905 sull'*Annalen der Physik* 17 (1905), pp. 891-921 egli pubblica un articolo dal titolo "*Zur Elektrodynamik bewegter Körper*" ossia "*Sull'elettrodinamica dei corpi in movimento*", (proponendo una teoria che verrà definita "**relatività**" non da Einstein ma dal fisico **Max Planck**) e, nel 1916 sempre sull'*Annalen der Physik* 354 (7), 769-822, *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*, ossia "*I fondamenti della teoria della relatività generale*".

Le nuove idee "stravolgono" le concezioni dello spazio e del tempo fino ad allora comunemente accettate. Essi non sono due cose distinte, ma si influenzano a vicenda: nasce il concetto di "**spazio-tempo**" e la gravità non è più intesa come una **forza** ma come una **deformazione dello spazio-tempo** data dalla materia che si trova nello spazio stesso.

Ecco perché Galileo osservava che il movimento dei corpi non può essere influenzato dalla loro forma o dalla loro composizione: esso viene orchestrato direttamente dallo spazio.

In pratica **le deformazioni dello spazio-tempo sono la gravità!**

Le conferme della relatività

Nel tempo si sono avute molte conferme sperimentali della validità della teoria di Einstein:

- essa è in grado di descrivere perfettamente il movimento sia di Mercurio che del suo perielio (e quindi non esiste quella "anomalia" che la teoria di Newton non riusciva a spiegare);
- durante l'eclissi totale di Sole del 1919 una spedizione scientifica guidata da **Sir Arthur Eddington** alle isole Principe eseguì delle foto che confermarono una delle previsioni della teoria di Einstein: se la curvatura dello spazio è responsabile dei percorsi dei corpi in movimento, anche le traiettorie dei raggi di luce che passano vicino a corpi di grande massa, come ad esempio il Sole, dovranno risultare curve (Fig. n. 4).

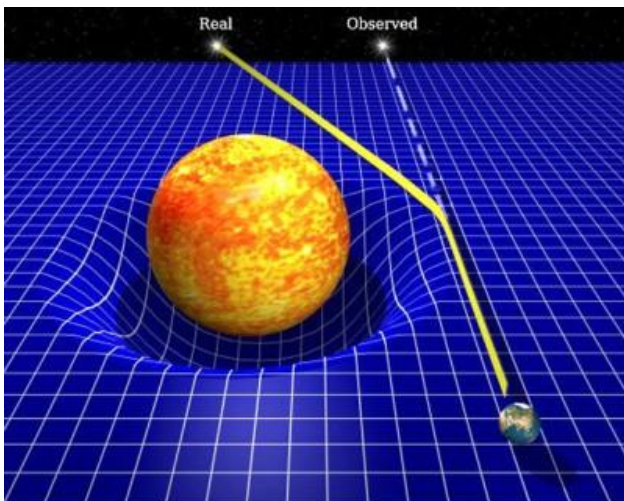


Fig n. 4 - La deviazione della posizione delle Stelle durante una eclissi di Sole conferma la teoria di Einstein.

L'idea, davvero geniale, fu quella di confrontare le posizioni di alcune stelle sulla volta celeste con quelle che le stesse stelle assumono quando il Sole passa vicino ad esse: per far ciò occorre che il disco del Sole sia oscurato, il che accade appunto durante una eclissi di Sole.

Confrontando la posizione delle stelle ritratte in prossimità del Sole durante l'eclissi con quelle che le stesse stelle hanno quando il Sole si trova da un'altra parte, parve evidente

che la deviazione c'era davvero: fu il trionfo di Einstein!

- La teoria prevede che un effetto simile, ma molto più accentuato, possa accedere in presenza di concentrazioni di massa imponenti, come ad esempio una grossa galassia, o di un ammasso di galassie. Lo spazio-tempo subirebbe una deformazione tale da renderlo capace di far apparire al suo intorno immagini multiple di oggetti posti molto più lontani della concentrazione di materia responsabile della deformazione, una sorta di "lente gravitazionale", rendendo di fatto possibile vedere immagini di oggetti altrimenti inosservabili.

Ebbene, fin dagli anni '80 gli astronomi hanno osservato sempre più frequentemente immagini di lontanissimi oggetti molto brillanti (come i quasar) che si presentano a coppie, terzetti, quartetti ecc. dello stesso oggetto (anche se un po' "storpiate" data la non perfetta "lavorazione" della lente): è un po' come disporre di un "zoom cosmico"! Mancava però all'appello l'osservazione di un altro fenomeno ipotizzato dalla teoria della relatività: le "onde gravitazionali".

Secondo un classico della divulgazione, riferendosi alla figura n. 5, pensiamo allo spazio-tempo come alla superficie di un tappeto elastico, con i corpi celesti che sono sfere di peso diverso che lo deformano in base al loro stesso peso (l'esempio è comunque un po' fuorviante, perchè la deformazione dello spazio-tempo non avviene su di un piano, ma tutto attorno alla massa che la genera).

Finchè le sfere rimangono nelle stesse posizioni si ha una curvatura "stabile" del tappeto, ma se, ad esempio, due grosse sfere iniziano a ruotare l'una attorno all'altra a forte velocità generano delle onde che si ripercuotono attraverso tutta la superficie del tappeto (Fig. n. 6).

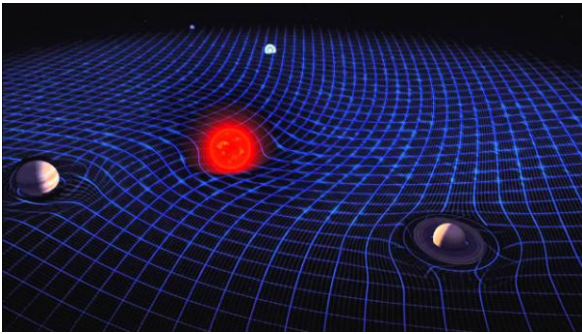


Fig n. 5 - Lo spazio-tempo che si deforma come una sorta di tappeto elastico.

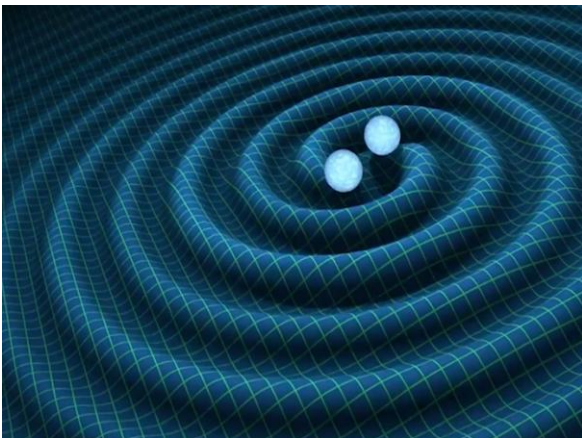


Fig n. 6 - Due corpi di grande massa che ruotano attorno l'uno all'altro generano onde gravitazionali.

Se conosciamo le leggi fisiche che descrivono quelle onde, rilevandole e misurandone le proprietà, possiamo risalire alle caratteristiche dei corpi in movimento che le hanno generate. Ma non è così semplice perchè l'intensità delle onde gravitazionali, così come accade per un moto ondoso, tende a diminuire all'aumentare della distanza della sorgente, tanto che le onde stesse diverranno così deboli da confondersi con un intenso "rumore di fondo": date le distanze degli oggetti astronomici, bisogna che ad emettere onde gravitazionali abbastanza forti da essere rilevate siano oggetti molto massicci che si muovono a forte velocità.

La cosa è resa ancora più difficile dal fatto che essendo "immersi" nello spazio stesso ci è impossibile notare direttamente le dilatazioni e i restringimenti provocati dal fenomeno, tanto che qualsiasi "metro" usassimo per misurare diverrebbe inutile, perché anche'esso

subirebbe le stesse deformazioni prodotte dall'onda.

La tecnica di rilevazione delle onde gravitazionali

Ma i fisici hanno escogitato un metodo geniale per rilevarle, usando una sorta di metro che non subisce quelle deformazioni, ma che al contrario rimane sempre costante: **la velocità della luce.**

Dato che la sua velocità è sempre uguale, possiamo calcolare quanto tempo impiega a percorrere una determinata distanza da noi predefinita: se il tempo di viaggio aumenta, vuol dire che l'onda gravitazionale ha "allungato" quella parte di spazio-tempo, mentre se diminuisce vuol dire che lo ha "accorciato", e che quindi la luce ha dovuto percorrere una distanza rispettivamente superiore o inferiore a quella "normale" per arrivare a destinazione.

La variazione dello spazio percorso dalla luce (che, ripetiamolo, rimane sempre costante in velocità) è provocata, appunto, dal passaggio di un'onda gravitazionale, che dilata e restringe quella parte di spazio-tempo da noi predefinita!

Uno di questi incredibili rilevatori è l'americano **LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory)**, che è in realtà composto da due installazioni, una a **Hanford**, nello stato di **Washington**, e l'altra a **Livingstone**, in **Luisiana**, a circa 3000 chilometri di distanza (Fig. n.7).

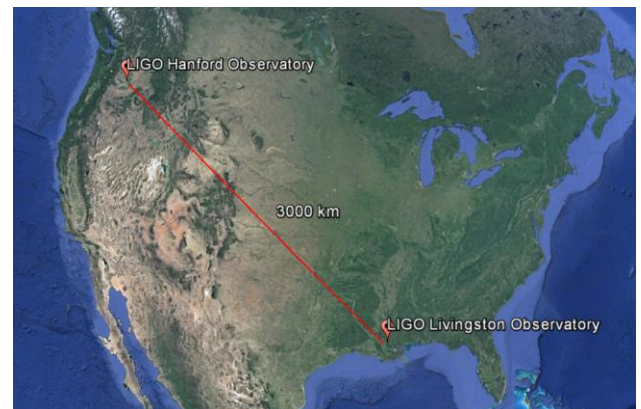


Fig n. 7 - Le due installazioni di LIGO.

La ragione della doppia installazione è che la sensibilità di questi strumenti è elevatissima, e qualsiasi rumore di fondo può rovinare la delicata misurazione: LIGO può sentire le onde dell'oceano abbattersi su coste lontane, gli aerei volare nel cielo e addirittura il ronzio "sismico" prodotto dalle lavatrici nelle vicinanze.

Ecco il perché di due impianti posti a grande distanza fra loro: solo se il segnale viene rilevato in entrambi i ricevitori merita di essere analizzato, perché la distanza che c'è fra di essi permette di escludere che tale segnale sia dovuto a qualche evento locale (che ovviamente non può verificarsi contemporaneamente a 3000 km di distanza!).

Ognuno dei due interferometri è formato da due tunnel disposti a 90° l'uno dall'altro e lunghi 4 chilometri (Fig. n. 8).

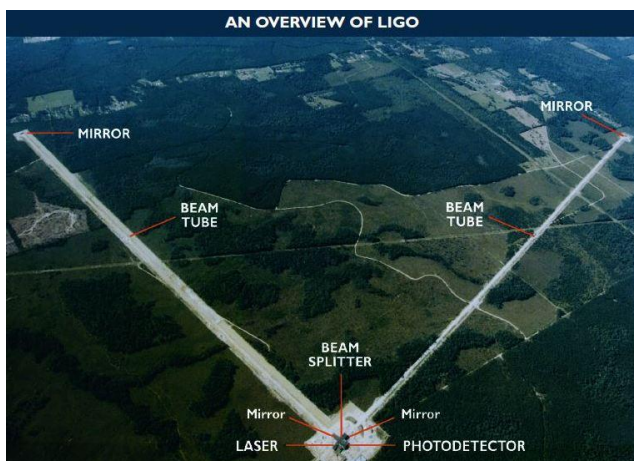


Fig n. 8 - L'installazione di LIGO a Livingston. Si notano i due bracci lunghi 4 Km e la struttura principale con gli strumenti.

Dalla base di partenza viene emesso un fascio laser che, grazie ad un apposito specchio, si divide nei due tunnel, nei quali "rimbalza" più volte per poi tornare allo specchio divisore. In condizioni normali, i fasci laser tornano dai due tunnel allo specchio divisore in modo che tendono a sottrarsi e quindi ad annullarsi, e nulla viene rilevato dal fotorilevatore. Nel caso del passaggio di un'onda gravitazionale il loro ritorno è sfasato: uno dei bracci diventa più corto o più lungo dell'altro solo pochi millesimi di volte il del raggio di un protone, (che è 0,0000000000000001m,

ossia 10^{-15} , metri!) modificando quindi il tempo di viaggio della luce rispetto alle condizioni normali: lo sfasamento fa sì che al rilevatore arrivi un segnale che rappresenta proprio le caratteristiche dell'onda gravitazionale (Fig. n. 9).

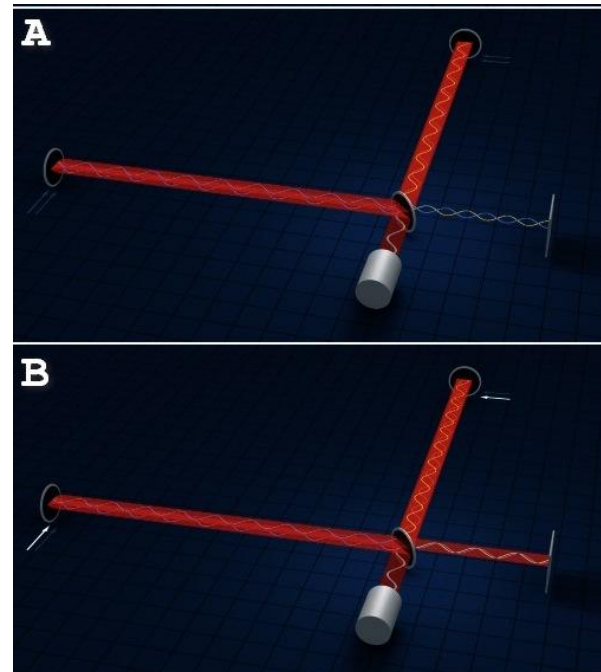


Fig n. 9 - A) In condizioni normali i due fasci laser si annullano a vicenda. B) Nel caso del passaggio di un'onda gravitazionale lo sfasamento fa arrivare al sensore un segnale che riproduce l'onda stessa.

La sensibilità richiesta è incredibile: onde gravitazionali originatesi a decine di milioni di anni luce dalla Terra farebbero variare la distanza fra gli specchi di circa 10^{-18} m, ossia meno di un millesimo del diametro di un protone!

Un sistema computerizzato automatico esamina tutti i segnali che vengono rilevati nell'interferometro: solo se un segnale viene ritenuto essere una potenziale onda gravitazionale viene evidenziato e quindi studiato ed analizzato da un apposito team di scienziati fino ad avere la certezza o meno della sua natura.

La prima rilevazione!

Ebbene, il **14 settembre 2015** entrambi i rilevatori del LIGO (con una differenza di appena sette millesimi di secondo dovuta alla loro distanza) hanno rilevato un'onda gravitazionale emessa dalla fusione (**coalescenza**) di buchi neri massicci (36 e 29 volte la massa del Sole, che ricordiamo è 300.000 volte maggiore di quella del nostro pianeta): il segnale è stato classificato come **GW150914** (Fig. n. 10).

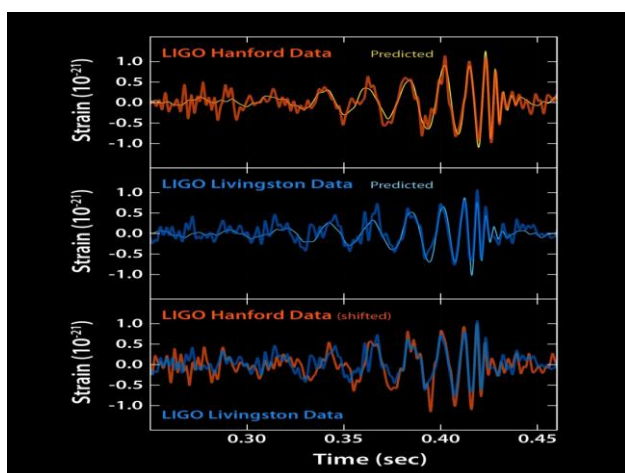


Fig n. 10 - Il segnale GW150916.

In alto la rilevazione fatta da LIGO Hanford e nel mezzo quella fatta da LIGO Livingstone. In basso si vede chiaramente che i due segnali si sovrappongono, a prova che non si è trattato di un disturbo ma di una vera onda gravitazionale.

Dopo aver danzato per milioni di anni in un sistema binario spiraleggiando in orbite sempre più strette si sono avvicinati, subendo fortissime accelerazioni, per poi scontrarsi a una velocità di circa 150.000 km/s (la metà della velocità della luce), fino a compenetrarsi a formare un unico buco nero con massa pari a 62 volte quella del Sole, mentre ciò che è rimasto (circa 3 masse solari) è stato emesso sotto forma di onde gravitazionali. Si tratta di una potenza enorme: nella fase finale della fusione (durata circa 20 millisecondi) la potenza delle onde gravitazionali irradiate è stata dell'ordine di **10⁴⁹ watt**, ossia decine di volte più grande del totale della potenza irradiata da tutte le stelle dell'Universo osservabile.

Per fare un paragone, la potenza di un'onda gravitazionale generata dal movimento della Terra attorno al Sole è di appena 200 Watt, come due piccole lampadine, ossia **10⁴⁷ volte** (100 miliardi di miliardi di miliardi di miliardi di miliardi di volte) più debole: questo risponde domanda *"ma perché non rileviamo le onde gravitazionali prodotte dal moto della Terra attorno al Sole?"*. L'evento è durato solo pochi decimi di secondi (breve ma intenso quindi) attraversando le fasi di avvicinamento, fusione e successiva "quiete" a completa coalescenza avvenuta (Fig. n. 11)

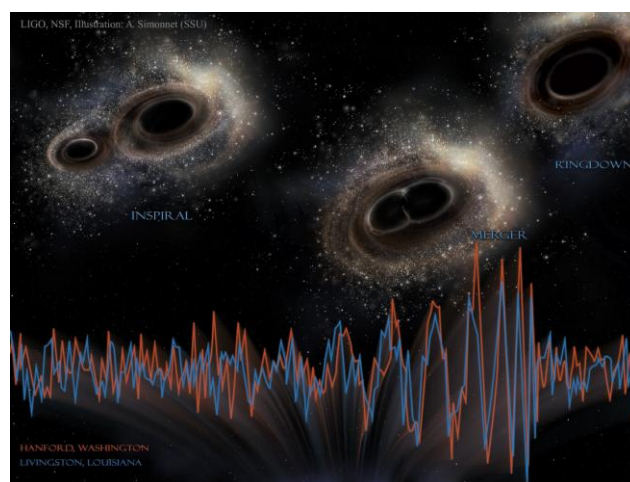


Fig n. 11 - L'andamento del segnale rilevato che evidenzia varie fasi di avvicinamento, coalescenza, e cessazione di emissione alla fine dell'evento.

La distanza della sorgente stimata in circa 1,3 miliardi di anni luce (ossia l'evento è accaduto circa un miliardo e trecento milioni di anni fa, quando sulla Terra apparivano i primi organismi multicellulari).

Tuttavia non si conosce il punto esatto del cielo in cui si è verificato il fenomeno, perché per conoscerlo occorrerebbe rilevare il segnale da tre punti della Terra: fatto questo i telescopi tradizionali che lavorano su tutte le bande (radio, infrarosso, ottico, ultravioletto, X, gamma) si "scatenerebbero" alla caccia dell'oggetto responsabile dell'emissione dell'onda gravitazionale rilevata.

Il fatto è che il terzo punto di rilevazione esiste, ma purtroppo non era in funzione al momento buono: si trova a Cascina, in Provincia di Pisa (Fig. n. 12).



Fig n. 12 - L'interferometro Virgo a Cascina, in Provincia di Pisa.

“**Virgo**” (realizzato per osservare gli effetti di supernova e sistemi binari siti nell'ammasso della Vergine, da cui prende il nome) è un rivelatore interferometrico di onde gravitazionali che funziona come il LIGO, ma con bracci lunghi 3 chilometri e che, grazie all'accordo di collaborazione firmato nel 2007 ed esteso nel 2014, lavora in “team” con l'americano LIGO, tanto che i dati sono messi in comune e analizzati insieme, e insieme vengono pubblicati i risultati scientifici. Come sopra anticipato, Virgo al momento della rilevazione del segnale da parte del LIGO non era purtroppo in funzione, perché è tuttora in fase di “upgrade”, ossia di miglioramenti che lo porteranno ad avere un sensibilità 10 volte superiore a quella attuale. A dirla tutta, la rilevazione da parte del LIGO è stata abbastanza fortunata: al momento della rilevazione stava funzionando in “engineering mode”, ossia più in fase di test strumentale che come ricerca pura, (che avrebbe avuto il suo inizio dal 18 settembre in poi), tanto che gli scienziati hanno inizialmente pensato al segnale come a qualche test (o addirittura scherzo) da parte dei tecnici. Conseguentemente alla scoperta è quindi ufficialmente nata l'astronomia gravitazionale.

I rilevatori nel mondo

Sono previsti nuovi e più potenti strumenti, tanto che fra non molto la rilevazione di onde gravitazionali diverrà una specie di routine.

In Europa oltre ad **Advanced Virgo** (ossia Virgo dopo l'upgrade), è già operativo **GEO600**, in Germania, mentre nel resto del mondo è al progetto **IndIGO (Indian Initiative in Gravitational-wave Observations)** un interferometro che verrà realizzato in India e che lavorerà insieme a VIRGO e LIGO, mentre il Giappone (in cui è già in funzione **TAMA300**) sta progettando la realizzazione del **Kamioka Gravitational Wave Detector (KAGRA)** che verrà realizzato nelle profondità della miniera di Kamioka (Fig. n. 13).

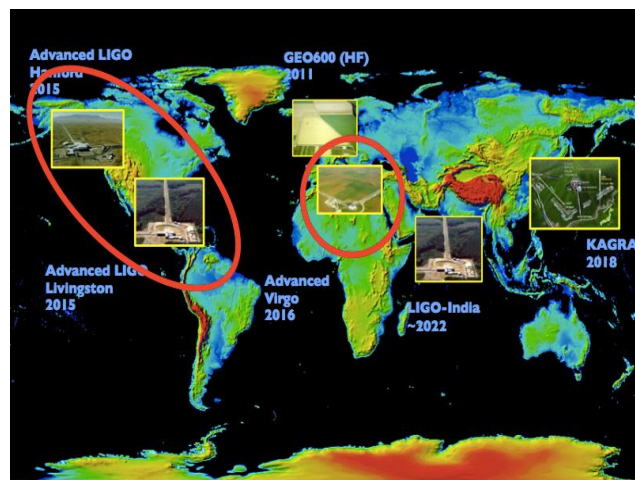


Fig n. 13 - Interferometri esistenti ed in progetto nel mondo.

In Europa è allo studio anche **l'Einstein Telescope**, un rivelatore di onde gravitazionali da costruire nel sottosuolo, come appunto il KAGRA, grazie ad un consorzio di otto nazioni Europee, tra cui l'Italia, che prevedono di realizzarlo nei prossimi decenni.

I rilevatori nello spazio

Tuttavia, il futuro dell'astronomia gravitazionale si realizzerà nello spazio: le onde gravitazionali (così come le radiazioni elettromagnetiche), coprono una vasta gamma di lunghezze d'onda, e non è possibile osservarle tutte con un unico impianto dalla Terra.

I bracci degli interferometri laser non potrebbero superare i 50 chilometri di lunghezza, oltre i quali rumore sismico, curvatura della Terra, imperfezione delle ottiche ed enorme costo dello scavo di gallerie

profonde renderebbero la realizzazione improponibile.

La NASA e l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) hanno da anni iniziato una collaborazione per la progettazione e realizzazione del **Laser Interferometer Space Antenna (LISA)**, un insieme di tre satelliti disposti a triangolo che formerebbero nello spazio un interferometro con bracci di 5 milioni di chilometri (Fig. n. 14).

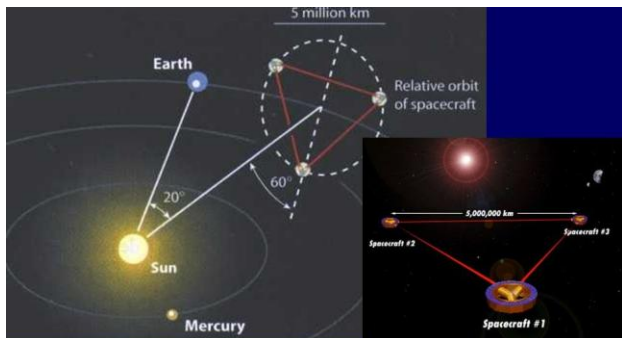


Fig n. 14 - L'interferometro spaziale LISA nel progetto originario.

Sarebbe grande abbastanza per rilevare onde gravitazionali emesse da buchi neri supermassicci in fase di fusione, che possono essere esistiti grossomodo quando hanno iniziato a brillare le prime stelle dell'universo, circa cento milioni di anni dopo il big bang. Ma nel 2011 la NASA ha abbandonato il progetto a causa del suo costo elevato e della riduzione dei finanziamenti assegnati. L'ESA ha allora ristrutturato e ridimensionato il progetto, ribattezzandolo "**eLISA**", una **evoluzione** del progetto sempre con tre satelliti a formare una sorta di "costellazione" posti alla stessa distanza della Terra dal Sole ma situati in un punto a circa 50 milioni di chilometri dal nostro pianeta e con il piano del triangolo inclinato di circa 60 gradi rispetto all'eclittica, con bracci lunghi "solo" un milione di chilometri, che potrebbe essere realizzato verso la metà degli anni trenta. Il 3 dicembre 2015 è stato lanciato in orbita il **LISA Pathfinder**, un satellite che testerà le tecnologie che verranno utilizzate per dare vita al progetto. Finora l'Universo è stato studiato solo osservandolo nelle onde radio, nell'infrarosso, nella luce visibile, nell'ultravioletto, nei raggi X, nei raggi

gamma, di modo che ogni osservazione fosse complementare con le altre.

Un futuro tutto da scoprire!

Le informazioni ricavate da ogni singola "finestra" di osservazione, una volta messe assieme, hanno fornito un quadro generale molto più ampio e profondo di ciò che si poteva ottenere studiando l'Universo in una sola lunghezza d'onda, ed ogni volta che una nuova finestra veniva "aggiunta" si sono avute eccitanti ed inaspettate scoperte.

Le onde gravitazionali non appartengono alla radiazione elettromagnetica: sono un fenomeno completamente differente.

Difatti mentre le onde elettromagnetiche sono increspature del campo elettromagnetico causate dall'accelerazione di cariche elettriche, e agiscono sulle cariche elettriche, le onde gravitazionali sono increspature dello spazio-tempo generate dall'accelerazione di masse che invece agiscono sulla geometria dello spazio-tempo, inoltre le onde gravitazionali non interagiscono con la materia, (come invece fa la radiazione elettromagnetica), e quindi portano fino a noi informazioni sui fenomeni che le hanno generate che sono libere da alterazioni o distorsioni, anche provenendo da distanze elevatissime.

Conseguenza di ciò, per esempio, è che con l'analisi della radiazione elettromagnetica non possiamo studiare direttamente l'interno del Sole o di una supernova ma solo gli strati più esterni, mentre le onde gravitazionali potrebbero fornire informazioni dirette su quel che succede all'interno di tali oggetti. Quindi, la rilevazione delle onde gravitazionali oltre ad essere una ulteriore e potente conferma della validità della teoria di Einstein, è anche un modo completamente nuovo di indagare l'Universo, che renderà di fatto possibile studiare oggetti e fenomeni che erano fino ad oggi poco o per nulla osservabili, come appunto buchi neri in collisione, stelle che esplodono, e perfino la nascita dell'Universo stesso, e che fornirà un grande contributo alla nostra comprensione dello spazio-tempo stesso.

Andrea Caselli