

Onde gravitazionali

LA RICERCA CONTINUA, MA SI SPOSTA NELLO SPAZIO

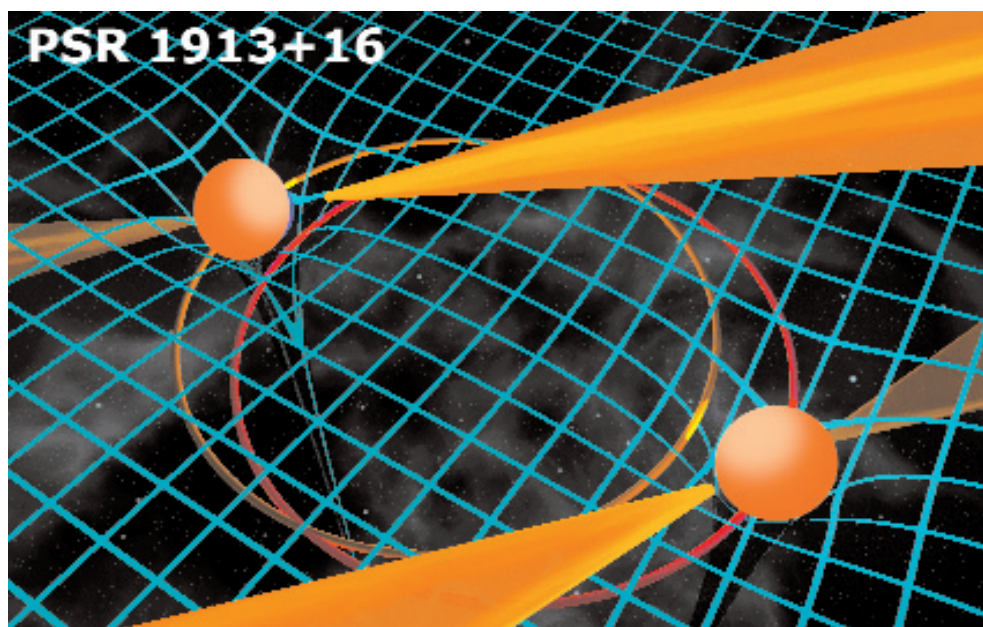
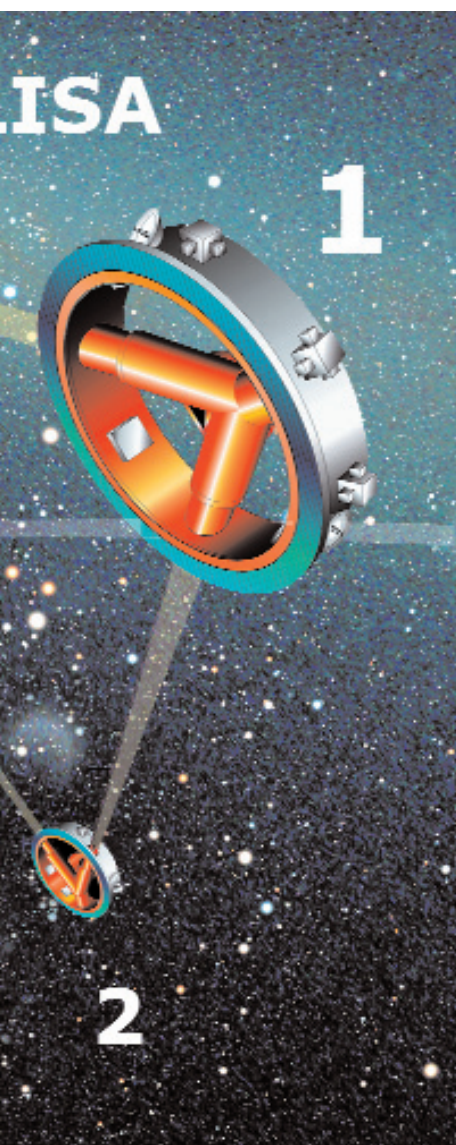
di Carlo Ferri

Tutti i grandi eventi catastrofici dell'Universo, come il Big Bang, le esplosioni di supernove o la frenetica danza finale di due buchi neri in orbita binaria prima di immergersi l'uno nell'altro, sono scenari adatti alla produzione di onde gravitazionali.

Sebbene la tecnologia attuale non sia ancora riuscita a provare la loro esistenza, gli esperti assicurano che la missione LISA (di prossimo lancio) ci metterà in condizione di farlo, fornendo una visione totalmente nuova del Cosmo. E solo grazie ai risultati di questo ambizioso progetto saremo così in grado di stabilire cosa si nasconde nelle periferie di un buco nero, cosa avviene nelle collisioni tra galassie o se è vero che lo spazio può piegarsi su se stesso.

Contrariamente a quanto descritto dalla meccanica newtoniana, Albert Einstein non concepiva la gravità come una **forza**, bensì come manifestazione della deformazione dello **spazio-tempo** generata dalla presenza di una massa: quanto maggiore è la sua densità tanto più gran-

de sarà la distorsione dello spazio-tempo. Citando la famosa frase del fisico teorico John Wheeler potremmo riassumere questi concetti dicendo che **“la materia dice allo spazio-tempo come curvarsi mentre lo spazio-tempo dice alla materia come deve muoversi”**.



A sinistra. Una rappresentazione artistica della missione **LISA** (Large Interferometry Space Antenna), operativa a partire dal 2018. Il futuro osservatorio spaziale di onde gravitazionali orbiterà intorno al Sole seguendo l'orbita terrestre ad una distanza di 5 milioni di chilometri dal nostro pianeta. Saranno messi in orbita, in realtà, tre satelliti in configurazione triangolare, a una distanza di 5 milioni di chilometri l'uno dall'altro. Concettualmente, LISA è identico ai grandi interferometri laser terrestri, come **VIRGO**, e sarà in grado di misurare lo spostamento tra due masse di riferimento dovuto al passaggio di un'onda gravitazionale. A differenza degli interferometri terrestri,

però, LISA è dotato di tre bracci e non due, ognuno costituito da due masse (due cubi di oro-platino di 2 kg) e da un interferometro che grazie all'interferenza dei fasci laser riflessi dalle masse permetterà di misurarne lo spostamento relativo. Come per gli interferometri terrestri, le masse sono in caduta libera all'interno dei satelliti, senza essere toccati da nulla. LISA osserverà migliaia di segnali emessi dalle coppie di stelle compatte presenti nella nostra galassia e sarà un osservatorio astrofisico, cosmologico e di relatività generale di enorme ricchezza.

In alto a destra. Una conseguenza della **Relatività generale** è che ogni cambiamento nella distribuzione delle masse in un sistema deve produrre una perturbazione, e più precisamente un'increspatura concentrica che si diffonde dalla fonte alla velocità della luce con modalità analoghe a quelle che si producono sulla superficie di uno stagno allorché vi tiriamo un sasso.

Sebbene sino ad oggi non sia stato possibile acquisire alcuna prova certa a riguardo, disponiamo però di un indizio piuttosto importante da quando **Joseph Taylor** e **Russell Hulse** sono riusciti a misurare gli effetti indiretti delle onde gravitazionali su di un sistema binario (**PSR 1913+16**), formato probabilmente da due stelle a neutroni che ruotano l'una intorno l'altra. Secondo la Relatività generale, infatti, l'emissione di onde si traduce in una perdita di energia per il sistema, il quale, per questo motivo tenderà a chiudersi gradualmente e nello stesso tempo, avvicinandosi tra loro le masse – per la terza legge di Keplero – dovrà ovviamente decrescere anche il periodo orbitale.

Una teoria confermata dalle osservazioni di Taylor e Hulse, che misurarono il ritmo di riduzione del periodo orbitale e quindi, indirettamente, il ritmo di emissione di onde gravitazionali.

Per semplificare e dare un'idea di come Einstein “vedeva” la gravità potremmo ricorrere all'usurato ma efficace esempio che descrive lo spazio-tempo come una tela elastica o un lenzuolo infinito. Se collochiamo su di essa un oggetto con una certa massa, osserveremo un avvallamento o curvatura del tessuto. Analogamente, se supponiamo che l'oggetto si muova con un moto regolare (vibratorio, rotazionale, ecc.), allora il suo movimento provocherà deboli increspature che si propagheranno lungo tutto il lenzuolo: le cosiddette **onde gravitazionali**. Tali oscillazioni, descritte anche come “rughe dello spazio-tempo”, vengono emesse sotto forma di **radiazione gravitazionale**, che esattamente come quella elettromagnetica viaggia alla velocità della luce.

Dato che molti degli scenari astrofisici vengono considerati come perfetti laboratori per verificare le teorie che abbracciano le diverse aree della fisica (reazioni termonucleari, dinamica dei fluidi, teoria quantica, ecc.), l'Universo è considerato come un banco di prova ottimale per accertare anche l'esistenza della radiazione gravitazionale.

I buchi neri supermassicci (con masse di milioni di masse solari), ad esempio, sono considerati potenziali candidati da cui potrebbe arrivare questa informazione. Poiché non emettono direttamente radiazione elettromagnetica, poter riuscire a individuare la loro emissione gravitazionale sarebbe l'unico modo per studiarli direttamente. A livello galattico, invece, sappiamo che la Via Lattea contiene centinaia di miliardi di stelle, la metà delle quali legate da un punto di vista gravitazionale almeno a un altro corpo celeste. Tra queste, le coppie di stelle formate da nane bianche, stelle di neutroni o buchi neri – gli abitanti più vecchi del cosmo – sono ritenute sorgenti importanti di onde gravitazionali.

Anche se al giorno d'oggi tale radiazione non è ancora stata identificata, proprio lo studio di un sistema con queste caratteristiche ha fatto registrare la prima evidenza **indiretta** della sua esistenza. Nel 1993, infatti, Joseph Taylor e Russell Hulse ottennero il Nobel per la Fisica proprio per i lavori realizzati su **PSR 1913+16**, un sistema binario formato da due stelle di neutroni di cui una è in rapida rotazione attorno al proprio asse (una pulsar). La variazione periodica osservata nel ritmo di pulsazione di quest'ultima farebbe pensare a una precessione della sua orbita di 4 gradi l'anno, conseguenza della perdita di energia per emissione di onde gravitazionali.

D'altra parte, anche l'analisi dei fenomeni violenti ed esplosivi dell'Universo potrebbe aiutare la ricerca di questa radiazione. Le **supernove**, ad esempio, benché complicate da un punto di vista della descrizione teorica in termini di leggi

conosciute della fisica, possono emettere (per un tempo molto breve) onde di questo tipo durante un'esplosione.

Eppure, se c'è uno scenario privilegiato dagli esperti per la produzione di onde gravitazionali questo è sicuramente il Big Bang. Sappiamo che, dopo più di 13 miliardi di anni dalla "grande esplosione", una parte della radiazione globale emessa è ancora diffusa nello spazio intergalattico sotto forma di un fondo cosmico di microonde (Cosmic Microwave Background, o CMB nella sua sigla in inglese). Tuttavia, se il suo studio ci permette di "andare indietro nel tempo" soltanto fino ai suoi primi 300 000 anni di vita, il fondo di onde gravitazionali primordiali (Relic Gravitational Waves o RGW) potrebbe rivelare cosa successe fino a 10^{-24} secondi dalla nascita dell'Universo.

ENTUSIASMI E PRIME DELUSIONI

Nonostante nel tempo gli esperti si siano avvalsi di strumenti sempre più sofisticati e di una tecnologia sempre più avanzata, è bene ricordare che al giorno d'oggi non c'è ancora stata nessuna chiara evidenza dell'esistenza di onde gravitazionali, ma in passato non sono mancate rivendicazioni di scoperte poi non confermate.

Lo stesso **Joseph Weber** (foto in basso), ad esempio, fu tra i protagonisti di un'accesa disputa in cui egli, con certa testardaggine, sostenne che i suoi giganteschi "diapason" (oscillatori meccanici costituiti da un cilindro di alluminio di un paio di tonnellate) erano riusciti a captare delle oscillazioni. Secondo la sua spiegazione, questi impulsi, facendo vibrare lo strumento alla sua frequenza di risonanza, avrebbero "suonato una nota" proveniente dal Cosmo. I suoi risultati però non furono mai confermati, e se oggi sono considerati dalla maggior parte della comunità scientifica un semplice abbaglio, c'è da dire che ebbero il merito di stimolare la nascita di nuovi gruppi e nuove generazioni di rilevatori. La corsa alle onde gravitazionali era, quindi, iniziata e la posta in palio appariva sempre più ricca: poter studiare scenari astrofisici che fino a quel momento appartenevano solamente alle previsioni teoriche e all'immaginazione umana.

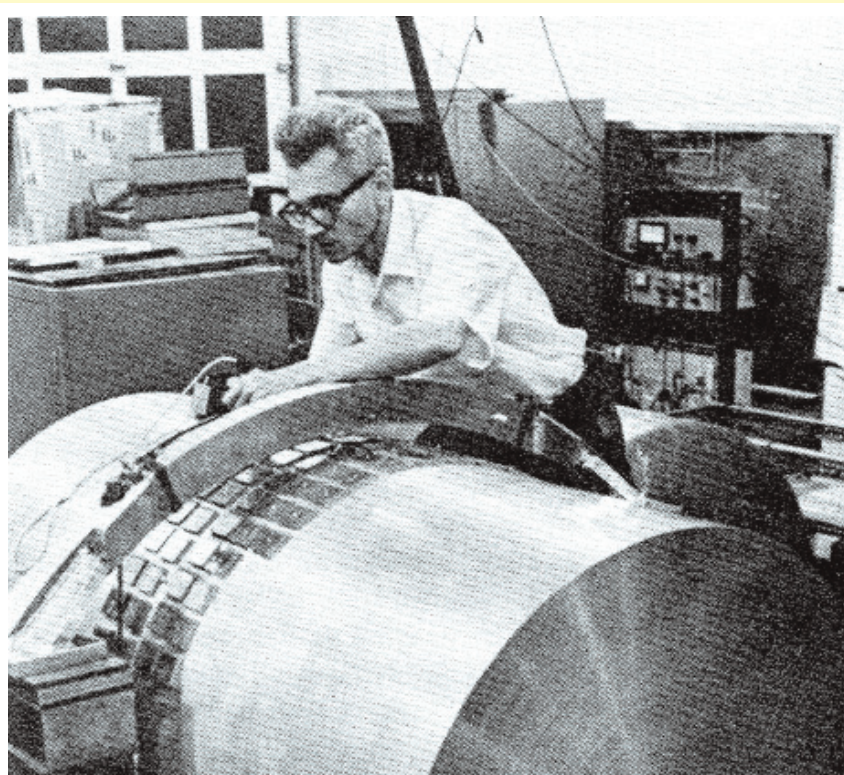
Un altro episodio riguarda il nostro paese, che ha da sempre interpretato un ruolo da personaggio principale nel campo delle onde gravitazionali. Già negli anni ottanta lo storico gruppo ROG (Ricerca Onde Gravitazionali) dell'INFN di Roma – fondato più di trent'anni fa da Edoardo Amaldi e Guido Pizzella – annunciò il possibile rilevamento di tali onde provenienti dall'esplosione della famosa supernova SN 1987A.

Il risultato non venne, tuttavia, mai confermato come d'altronde accadde nel 2002, quando un nuovo evento sembrava essere destinato a rivelarci il suono della Via Lattea. La notizia arrivava di nuovo dal nostro paese e veniva annunciata da ricercatori capitanati dal Eugenio Cocchia,

professor dell'Università di Tor Vergata e appartenente anch'egli al ROG. Utilizzando contemporaneamente il NAUTILUS e l'EXPLORER, si era constatato con grande sorpresa di avere fatto preda di otto segnali oltre il rumore di fondo: un indizio sulla possibile esistenza delle onde gravitazionali.

Questi interessanti risultati vennero, tuttavia, prudentemente interpretati come possibili segnali provenienti dalla nostra galassia e apparvero sulla rivista scientifica internazionale «Classical and quantum gravity» e ripresi successivamente dal «New Scientist».

La notizia scatenò un intenso dibattito tra i gruppi di ricerca concorrenti che culminò in un botta e risposta sulle pagine della stessa rivista. I risultati, infatti, non solo non sono mai stati confermati, ma addirittura non vennero ritenuti sufficientemente significativi da un punto di vista statistico, rimandando così l'appuntamento con le onde gravitazionali. ★

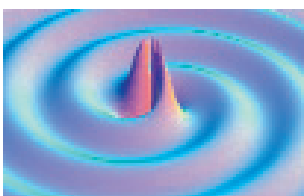




In alto. Una ripresa aerea dell'interferometro **VIRGO**, che si presenta come una grande "L" distesa sulla pianura nelle vicinanze di Pisa. I due bracci, che sono fisicamente lunghi 3 km (ma l'uso di una cavità Fabry-Perot, dove ogni fotone dei due fasci subisce in media 50 riflessioni prima di uscire, porta la lunghezza ottica dei bracci a 120 km), si incontrano in un fabbricato dove sono posti il laser, il photodetector e gli strumenti di calcolo.

È facile intendere quindi che, se l'ultima predizione della teoria di Einstein venisse verificata, ovvero l'esistenza delle onde gravitazionali, ciò fornirebbe una visione inedita del cosmo e, allo stesso tempo, getterebbe le basi per la nascita di una nuova disciplina scientifica: la **cosmologia gravitazionale**.

RILEVATORI TERRESTRI



Dato che viaggiano indisturbate, le onde gravitazionali sono ritenute portatrici d'informazioni di ciò che avviene (e avvenne) nell'universo. Tuttavia, il problema principale che finora ne ha impedito l'indagine diretta è che la perturbazione provocata dal passaggio di un'onda gravitazionale è **estremamente debole** e, pertanto, difficile da misurare.

Attualmente, diversi osservatori sparsi su tutta la superficie terrestre si dedicano esclusivamente alla ricerca di possibili radiazioni gravitazionali, ma il loro studio presuppone un altissimo livello di precisione e sensibilità che non è ancora stato raggiunto dalle tecnologie moderne.

I primi esperimenti risalgono agli anni '60 con i rivelatori a barra risonante, inventati dal fisico americano Joseph Weber (1919-2000) e costituiti da barre cilindriche di alluminio sospese nel vuoto e mantenute a bassissima temperatura. Il principio fisico sul quale si basano prevede che un'onda che incide su queste barre ne farebbe variare la distanza tra le due estremità assorbendone l'energia trasportata, ma solo se la frequenza di risonanza dello strumento e dell'onda coincido-

no. Tra i più noti rivelatori con queste caratteristiche troviamo gli italiani AURIGA (nei pressi di Legnaro) e NAUTILUS (Frascati) che operano congiuntamente, ma anche ALEGRO ed EXPLORER, localizzati rispettivamente in Louisiana (USA) e al CERN (Svizzera).

Malgrado la loro notevole semplicità, le barre risonanti raggiungono una sensibilità limitata a una banda molto stretta di frequenze, di una decina di hertz nel migliore dei casi. Basti pensare che se esplodesse una supernova nella nostra galassia, una barra di quelle dimensioni sarebbe messa in vibrazione alla sua frequenza di risonanza con un'ampiezza dell'ordine di un milionesimo di milionesimo di metro (!). Occorre perciò ridurre con eccezionale precisione tutte le sorgenti di fluttuazione sia nel rivelatore sia nel trasduttore, che converte la vibrazione meccanica in un segnale elettrico usando dispositivi superconduttori a bassissimo rumore elettronico.

Per questo motivo, negli anni ottanta, venne inaugurato lo studio di una nuova classe di strumenti: le **antenne interferometriche**, ideate da Rainer Weiss e Ron Driver, che sfruttano lo stesso principio utilizzato dal famoso **interferometro di Michelson-Morley**, ma a scala più grande.

L'idea è quella di mantenere due masse sospese nel vuoto a una certa distanza misurata da un fascio di luce che vada da un corpo all'altro. Siccome per definizione un'onda gravitazionale increspa lo spazio-tempo compreso tra le due masse, un suo passaggio determinerebbe una deformazione del fascio e quindi una variazione nella loro distanza, a riprova dell'esistenza di questo tipo di radiazione.

Il vantaggio di usare questa tecnica risiede nel fatto che questi rivelatori sono più sensibili e in grado di operare in una

banda di frequenze più ampio che quelli a barra risonante.

Presso Pisa è situato uno dei più importanti interferometri laser del mondo, VIRGO, risultato di una collaborazione italo-francese (vedi l'articolo su Coelum n. 66). Inaugurato cinque anni fa, quest'osservatorio funziona giorno e notte ascoltando tutti i segnali che arrivano in qualsiasi momento da qualunque parte dell'universo. I dati, acquisiti con due "bracci" tra loro ortogonali di 3 km di lunghezza, vengono sottoposti ad un'analisi preliminare per la rilevazione veloce di segnali anomali potenzialmente interessanti, per poi essere messi a disposizione della collaborazione scientifica per un'analisi più approfondita.

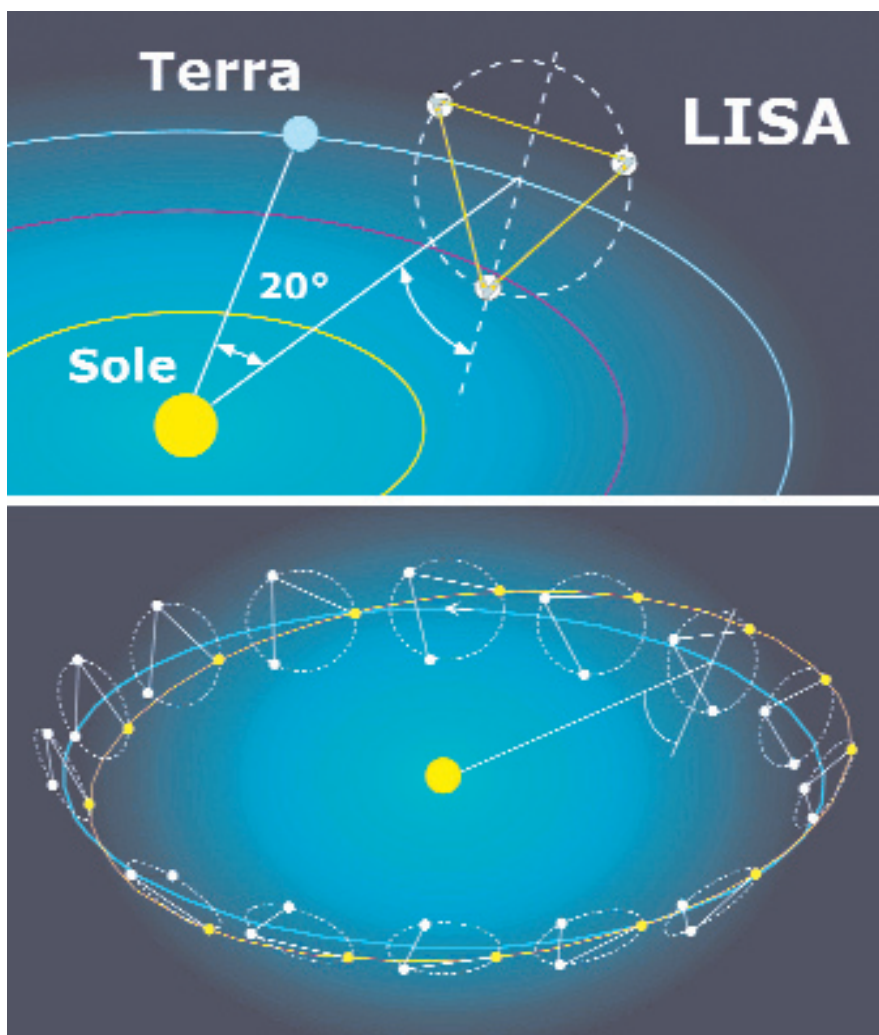
A fronte di tanto impegno scientifico e tecnologico, bisogna però ammettere che fino ad oggi, VIRGO – come d'altronde anche LIGO, GEO o TAMA (altri importanti interferometri situati rispettivamente in USA, Germania e Giappone) – non sono ancora riusciti a rilevare segnali di chiara origine gravitazionale.

Un pizzico di delusione c'è, ma comunque stemperata dalla consapevolezza del fatto che la cosa non sarebbe stata né semplice né immediata. Questi "telescopi", infatti, devono far fronte ad almeno altre due limitazioni principali che rendono estremamente difficoltosa la rilevazione tanto attesa: le dimensioni degli strumenti utilizzati e il rumore sismico terrestre.

La prima è dovuta al fatto che idealmente gli strumenti dovrebbero avere la stessa estensione della lunghezza d'onda in questione. Poiché stiamo parlando di oscillazioni con frequenze molto basse la corrispondente lunghezza d'onda è molto grande e, in certi casi, può arrivare a essere più di quaranta volte il diametro terrestre. Ma anche le oscillazioni sismiche costanti dovute ai movimenti tellurici della crosta del nostro pianeta, d'altra parte, danno vita a un rumore di fondo che impedisce agli strumenti di indagare a basse frequenze.

In definitiva, entrambi gli effetti rappresentano un problema critico per le installazioni terrestri che si vedono così costrette a esplorare solamente le frequenze comprese tra 1 Hz e 10 kHz. Ciò riduce sensibilmente le osservazioni alle fonti meno intense come gli oggetti compatti in orbita binaria nel loro stato finale (minuti o secondi) prima di fondersi in un unico astro – processo conosciuto come coalescenza – o alle esplosioni di supernove.

Nonostante tutti questi ostacoli, la "caccia" alle onde gravitazionali continua a rappresentare l'obiet-



In alto. Le due illustrazioni descrivono in dettaglio la geometria della missione LISA, con i tre satelliti che seguiranno la Terra separati di un angolo eliocentrico di circa 20° e con il loro piano inclinato di circa 60° sull'eclittica.

L'OTTIMISMO DI HOUGH

Per gli esperti britannici manca poco alla scoperta delle onde previste dalla teoria della relatività generale di Einstein. E uno di loro è così sicuro che verranno individuate prima del 2010 da aver puntato nel 2006 25 sterline.

A fare la scommessa è stato **James Hough** (nella foto a destra), uno dei leader della ricerca internazionale in questo campo, che nel corso di una conferenza tenuta all'Istituto di fisica inglese ha confessato di ritenere "pazzi i bookmaker che danno le probabilità di una scoperta del genere all'altissima quota di 100 a 1". Certo che da qui alla fine del 2010 ormai mancano solo 2 anni...



tivo primario di una comunità relativamente numerosa di ricercatori consapevoli del fatto che anche un piccolo indizio della loro esistenza significherebbe un passo enorme per la scienza.

UNA GRANDE ANTENNA NELLO SPAZIO

Fatte queste considerazioni viene quasi naturale chiedersi: perchè non cercare di osservare questa radiazione dallo spazio dove non esisterebbero tutte le difficoltà che si incontrano sulla Terra?

Ed infatti, dopo studi approfonditi sulla reale possibilità di realizzare un progetto di tali mastodontiche dimensioni, ESA e NASA hanno programmato per il 2018 il lancio del **Laser Interferometer Space Antenna (LISA)**, la prima missione spaziale capace di svelare questo affascinante mistero.

Il progetto prevede l'utilizzo di tre satelliti indipendenti che formeranno un triangolo equilatero nello spazio interplanetario, al fine di rilevare direttamente la radiazione gravitazionale. Ciascuna navicella spaziale occuperà la posizione di un vertice del triangolo e verrà posizionata a una distanza di 5 milioni di chilometri dalle altre due. Ognuna conterrà due masse di riferimento identiche a forma di cubo (con lato di 4 cm), prodotto di una lega metallica di oro e platino. Mantenate a una distanza fissa, potranno "galleggiare" nel vuoto dello spazio per effetto di campi elettrostatici controllati con altissima precisione.

Impiegando proprio l'interferometria laser, ogni massa funge da specchio per riflettere il fascio di luce laser (infrarosso) proveniente dalle altre due navicelle posizionate alle estremità del braccio dell'interferometro, misurandone le più piccole variazioni in distanza.

Il processo di misura si svilupperà seguendo tre tappe: in un primo momento il sistema registrerà la distanza tra una massa e il rivelatore – o banco ottico – a bordo del proprio veicolo (misura locale), quindi quella esistente tra due veicoli e, infine, la distanza tra l'altra massa e il proprio banco ottico. Inoltre ogni massa verrà dotata di un proprio telescopio di tipo Cassegrain per focalizzare il laser proveniente dagli altri due veicoli e ridurre al minimo la sua dispersione angolare.

In pratica, i tre satelliti costituiscono tre interferometri di Michelson indipendenti, capaci però di controllare le fluttuazioni degli altri due e misurarne la distanza relativa con una precisione prossima a quaranta picometri ($1 \text{ pm} = 10^{-12}$ metri)! In questo modo se un'onda gravitazionale dovesse transitare tra di essi produrrà una distorsione del fascio laser che, a sua volta, farà registrare una variazione della distanza tra due satelliti, dimostrando così l'ultima previsione di Einstein.

Riuscire a valutare correzioni così piccole tra oggetti a una distanza così elevata è senz'ombra di dubbio un lavoro assai complesso (per non dire apparentemente impossibile), soprattutto in un ambiente inospitale come quello spaziale

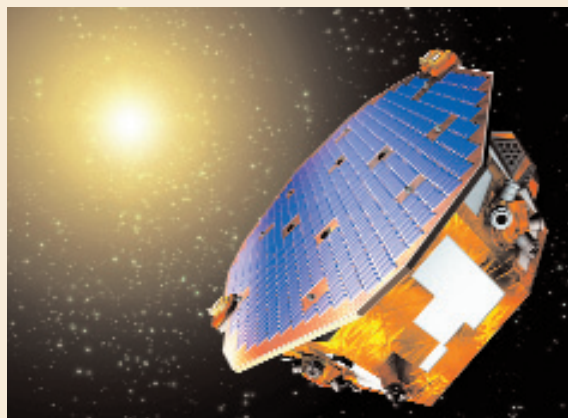
Ma nel 2010 partirà **LISA Pathfinder**

Considerato che il progetto LISA rappresenta una sfida enorme non solo in termini tecnologici ma anche economici, ESA e NASA hanno deciso di lanciare nello spazio un progetto pilota, il **LISA Pathfinder**.

L'idea è quella di montare a bordo di un unico veicolo spaziale due masse di riferimento identiche a quelle previste per LISA che possano lievitare in assenza di gravità nello spazio. L'intera tecnologia applicata a questa missione getterà quindi le basi non solo per LISA, ma anche per qualsiasi altra missione progettata per verificare le teorie della Relatività Generale nell'ambiente spaziale.

Il payload di LISA Pathfinder è costituito sostanzialmente da due strumenti: il Disturbance Reduction System (DRS) e il LISA Technology Package (LTP). Il primo, che costituisce il contributo americano alla missione, ha come obiettivo il controllo del satellite. LTP, invece, contiene le due masse di riferimento le cui proprietà impediscono a campi magnetici interni ed esterni al veicolo di poterle muovere. Fondamentalmente LTP simulerà in parte lo schema della missione LISA, riducendo la distanza di cinque milioni di chilometri prevista per ognuno dei tre bracci a soli 35 centimetri all'interno di un unico satellite.

Anche in questa linea sperimentale la fisica italiana occupa una posizione di rilievo, dal momento che **Stefano Vitale** dell'Università di Trento è stato designato come responsabile ("principal investigator") dell'intera missione. Inoltre nella costruzione dello strumento sono anche coinvolti l'industria, l'università e una serie di istituti di ricerca italiani attraverso una stretta collaborazione che fa del nostro paese un vero e proprio protagonista nel panorama scientifico internazionale. ★



In alto. La sonda **LISA Pathfinder** sarà lanciata con tutta probabilità nel 2010. In una prima fase raggiungerà un'orbita leggermente ellissoidale per poi andare a posizionarsi (utilizzando un modulo di propulsione) su un'orbita finale attorno al primo punto di Lagrange (L1), situato a circa 1,5 milioni di chilometri dal nostro pianeta, dove l'equilibrio gravitazionale tra il Sole e la Terra permetterà alla sonda di mantenere una posizione stabile per un lungo periodo di tempo.

Questa fase preliminare verrà sviluppata durante il primo semestre del 2010, mentre il periodo di vita utile per la missione sarà approssimativamente di 180 giorni, con la possibilità di estensione fino a un anno di attività.

dove sarà necessario considerare anche gli effetti del vento solare o dei raggi cosmici. Per questo motivo la tecnologia impiegata dovrà essere capace di "sentire" tali perturbazioni e neutralizzarle con propulsori sensibilissimi, applicando così correzioni ai cambi orbitali introdotti ma senza compromettere le misure.

Durante almeno cinque anni – questa la durata iniziale della missione – la grande antenna seguirà ad una distanza di cinque milioni di chilometri la Terra nella sua orbita della attorno al Sole, descrivendo un piano inclinato di sessanta gradi con l'eclittica. Tutto il sistema è stato pensato per individuare onde con frequenze molto basse, tra 0,1 mHz e 1 Hz, un rango differente ma comunque complementare a quello coperto dai rivelatori terrestri.

Quindi, se da un lato questi ultimi si stanno dedicando al rilevamento di onde rilasciate da oggetti compatti in orbita binaria nel momento della loro fusione, LISA osserverà sistemi simili migliaia di anni prima che le due componenti vengano in contatto, misurando molte delle proprietà tipiche delle onde gravitazionali come l'ampiezza e la polarizzazione. A partire da questi dati si potrà ricavare l'inclinazione dell'orbita binaria, un parametro critico assente in molte osservazioni ma comunque necessario per dedurre la massa delle due stelle.

Entrambi i tipi di osservazione (terrestre e spaziale) sono perciò da considerarsi indispensabili per arrivare a conoscere l'ampio spettro di deformazioni sperimentate dallo spazio-tempo di questi sistemi.

Dallo spazio, infine, sarà anche possibile studiare le fluttuazioni prodotte alle origini dei tempi e ancora diffuse come "fossili" del Big Bang, le onde gravitazionali primordiali di cui abbiamo parlato prima. E poter "ascoltare" l'eco della Grande Esplosione che creò il Cosmo, oltre a rappresentare un'occasione unica per capire meglio l'Universo, è sicuramente il desiderio più grande per i responsabili di LISA.

A parte ciò, l'esame più grande per LISA sarà quello di poter confermare, o magari modificare, le teorie di Einstein e aprire una finestra completamente nuova sull'Universo, studiando "semplicemente" il tremolio dello spazio. ★

Carlo Ferri è originario di Pianella, in provincia di Pescara. Nato nel 1979, si è laureato in Astronomia presso l'Università degli Studi di Bologna, con una tesi di laurea realizzata nell'Istituto de Astrofísica de Canarias (IAC) di Tenerife. Risiede attualmente in Catalogna ed è iscritto al Programma di Dottorato in Astronomia dell'Universitat de Barcelona, dove sta per terminare una tesi dottorale presso l'Institut de Ciències de l'Espai (CSIC-IEEC) sullo studio di nove e variabili cataclismiche nella banda dei raggi X.



SUON IMMAGINE

Un Nuovo Centro per gli Astrofili a Roma!

OFFERTA € 279,00
Skywatcher 130 Mars montatura eq2
• tripode alluminio reg.
• motore inseguimento

Skyscout: un eccezionale planetario portatile, atteso da mesi ora è finalmente disponibile! Sintesi vocale in italiano

€ 449,00
spedizione inclusa!!

€ 1099,00
~~€ 1.400,00~~
Novità Skywatcher. Montatura ED6 Skyscan con treppiede in acciaio e computer GO-TO

Celestron celebra i suoi **30 anni di storia** con una nuova serie di strumenti computerizzati:
4SE € 599 5SE € 990 6SE € 1150 8SE € 1599 ...
... spedizione inclusa!!

Celestron nuova serie SLT computerizzato ad un prezzo eccezionale: 114 slit € 399,00 spedizione inclusa!!

€ 1599,00
~~€ 2150,00~~
Celestron C8-SGT XLT con pulsantiera Nexstar 40.000 oggetti in memoria con Tripode

Novità Skywatcher semi apocromatico (solo tubo)
80 ED € 449,00
100 ED € 949,00

€ 2299,00
~~€ 2800,00~~
Celestron CPC 800 XLT GPS. Novità con Sky Align e 40.000 oggetti in memoria.

Via Francesco Marconi, 6/a • 00168 Roma
Tel. 06.3050047 • 06.3057909 • Fax 06.3050047
www.suonimmagine.com • e-mail: info@suonimmagine.com

PAGAMENTI RATEALI IN SEDE
SPEDIZIONI
GRATUITE
IN TUTTA ITALIA