

La sfida di Lisa nello Spazio

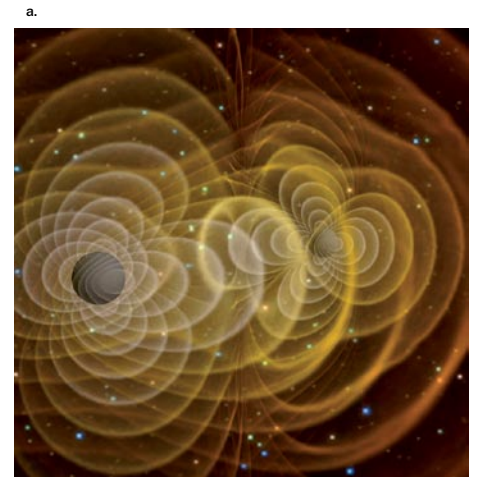
Tre satelliti in orbita intorno al Sole
a 5 milioni di chilometri l'uno dall'altro.

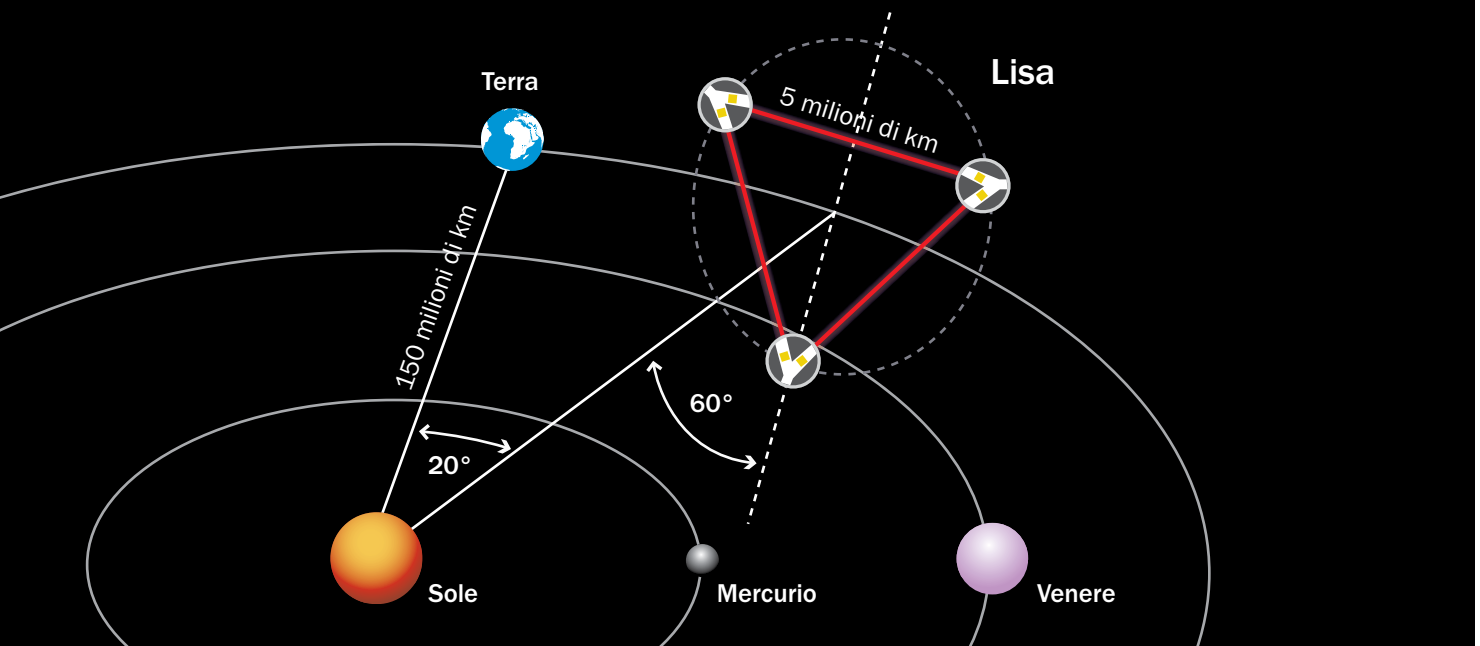
di Stefano Vitale

Se ci vogliamo spingere nel regno dei segnali emessi dalle grandi sorgenti cosmologiche di onde gravitazionali, a frequenze molto più basse di quelle emesse ad esempio dalle esplosioni di supernova, la superficie terrestre non è un buon posto. Le onde gravitazionali impiegano da molti minuti a molte ore per completare un'intera oscillazione e la loro osservazione è perturbata anche dal moto degli alberi mossi dal vento, dal moto dei veicoli o da quello della crosta terrestre. Per studiare le onde gravitazionali di bassa frequenza il luogo ideale è lo Spazio. Lisa (*Large Interferometry Space Antenna*), il futuro osservatorio spaziale di onde gravitazionali, orbiterà intorno al Sole alla stessa distanza a cui si trova la Terra, ma spostato rispetto a essa di alcune decine di milioni di chilometri. 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 prova dovuto al passaggio di un'onda gravitazionale. A differenza degli interferometri terrestri, però, Lisa è dotato di tre bracci interferometrici, e non due: ognuno è costituito da due masse di prova (due cubi di oro-platino di 2 kg), poste su satelliti diversi, 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 di prova sono in caduta libera, come lo sono la Luna e tutti i satelliti che orbitano intorno alla Terra, o come lo è un uomo all'interno di un ascensore senza cavi. La differenza, nello Spazio, è che la caduta libera non è solo un'approssimazione: qui i cubi di oro-platino galleggiano davvero liberamente all'interno di un satellite, come un astronauta nello Space-Shuttle, senza essere toccati da nulla. Attraverso un misuratore di posizione elettrico, infatti, il satellite può controllare la collocazione relativa delle masse e degli oggetti circostanti, all'interno del satellite stesso, e prevenire il contatto correggendo la sua posizione con dei micropropulsori. 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. Del segnale emesso da una stella binaria, ad esempio, sappiamo prevedere quasi tutto. L'emissione da uno di questi sistemi è quella osservata dalla pulsar binaria PSR1916+13 che ha dato il premio Nobel a Hulse e Taylor per la scoperta delle onde gravitazionali (vd. p. 10, ndr). Di alcune di queste sorgenti sappiamo già tutto perché le osserviamo con i telescopi ordinari. Per una decina di queste, però, ci si aspetta che Lisa possa rivelare il segnale emesso, per misurarne l'ampiezza con grande

a.
Simulazione numerica del segnale gravitazionale dovuto ad una coppia di buchi neri giganti che spiraleggiano fino a collapsare in un unico buco nero.





b.

precisione. Delle più brillanti, sarà possibile vedere anche i dettagli più minuti, come il trasferimento di materia dall'una all'altra, la deformazione dovuta all'attrazione reciproca, e così via. Lisa farà dunque di queste sorgenti il più grande catalogo mai visto, osservando i segnali di quelle visibili con i telescopi tradizionali, ma anche di quelle invisibili: un catalogo essenziale per la comprensione della formazione delle galassie.

Tra gli obiettivi di Lisa ci sono anche le onde gravitazionali emesse da sistemi binari di buchi neri: dalla caduta di un piccolo buco nero in un gigantesco buco nero al centro di una galassia, al lento orbitare di due buchi neri galattici l'uno intorno all'altro. Il primo dei due sistemi è il laboratorio di Einstein ideale.

Le onde emesse dal piccolo buco nero durante i suoi ultimi 10.000 giri intorno al buco nero centrale ci permetteranno di ricostruire la mappa dell'"orizzonte degli eventi", la superficie in corrispondenza della quale la gravità è così intensa che la stessa luce entra in orbita chiusa e il tempo si ferma: un vero strappo nello spaziotempo. Questa osservazione consentirà la prima dimostrazione sperimentale di un famoso teorema secondo il quale i buchi neri "non hanno capelli", il che significa che non è possibile distinguere un buco nero da un altro se non per la sua massa, la sua carica e la velocità con cui ruota (più precisamente il suo momento angolare). Sempre che il buco nero sia quello che tutti pensiamo e non sia invece un oggetto stravagante di cui non sospettiamo neanche l'esistenza! Ancora più affascinante

è la prospettiva di osservare il sistema binario formato da due buchi neri giganti. Di alcuni di questi potremo osservare tutta l'evoluzione, fino alla coalescenza in un unico buco nero più grande. Di nuovo un incredibile laboratorio gravitazionale. Seguendo tutto l'evolversi del segnale i fisici pensano di poter dimostrare anche un altro teorema: qualunque cosa succeda, l'area dell'orizzonte del buco nero finale è più grande dell'area dei due costituenti. Questo teorema è considerato l'estensione del secondo principio della termodinamica all'Universo: quando un buco nero ingloba dell'informazione fisica la sua superficie cresce sempre, comportandosi come l'entropia della termodinamica classica.

Il segnale gravitazionale di un sistema binario fornisce anche una misura della distanza fra l'osservatore e la sorgente. Quello prodotto da una coppia di buchi neri giganti è visibile a Lisa anche quando questi sono ai confini dell'Universo osservabile: ecco inaugurata la cosmologia gravitazionale, una mappa dell'Universo le cui distanze sono misurate per la prima volta in modo diretto.

Quanti segnali di questo tipo potrà osservare Lisa nei suoi 5-10 anni di operazioni?

La previsione fa girare la testa: in una visione pessimistica saranno centinaia. Ma con una simile capacità di osservazione, chissà quali altre scoperte ci potremo aspettare.

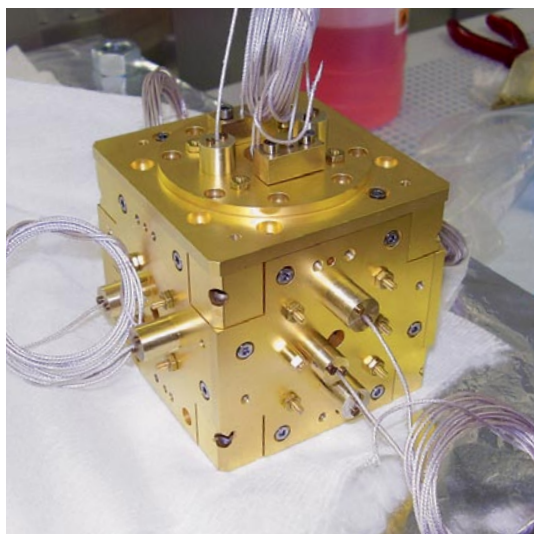
Non vorrei ora raffreddare l'entusiasmo di chi legge, ma a questo punto è lecito domandarsi se Lisa sia tecnicamente fattibile. Se lo sono chiesto anche l'Esa (Agenzia Spaziale Europea) e

b.

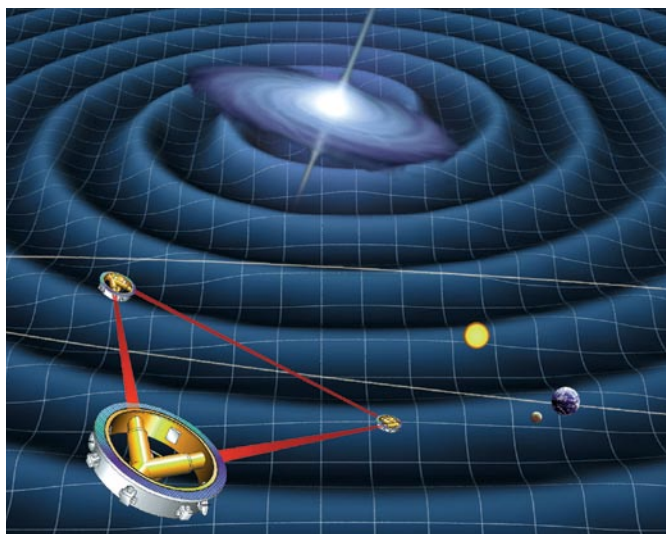
Il principio di funzionamento di Lisa. Tre interferometri laser misurano continuamente le distanze fra tre coppie di masse di prova che galleggiano liberamente all'interno di tre satelliti. Il sistema orbita intorno al Sole alla stessa distanza a cui si trova la Terra, ma spostato di 20° rispetto a questa.

c.

Ognuna delle sei masse in oro-platino è alloggiata all'interno di un sensore di posizione come quello mostrato in figura.



c.



d.

la Nasa (*National American Space Agency*) che prevedono di realizzare Lisa in stretta collaborazione. In realtà, la domanda corretta da porsi è: “sarà possibile mettere due masse in effettiva caduta libera e misurarne la distanza relativa con la precisione necessaria?”

Proviamo a farci un’idea delle quantità in gioco: il peso di un microbo sulla superficie terrestre supera di mille volte il massimo disturbo tollerabile su uno dei cubi di oro-platino, e i 5 milioni di chilometri che li separano devono essere misurati con precisioni del miliardesimo di millimetro! Nulla del genere è stato mai tentato prima, e in laboratorio, a causa dei disturbi a cui è soggetto, i ricercatori sono riusciti a riprodurre solo una situazione da cento a mille volte peggiore del necessario. Per questo, l’Esa, con un contributo della Nasa, ha deciso di dedicare un’intera missione alla dimostrazione della fattibilità di Lisa. Lisa Pathfinder, di cui l’Infn, con il sostegno dell’Asi (*Agenzia Spaziale Italiana*), ha la responsabilità scientifica, porterà in orbita interplanetaria una versione in miniatura di uno dei bracci di Lisa: due cubi di oro-platino in caduta libera all’interno di un satellite e posti a una distanza, inizialmente di 40 centimetri, continuamente misurata da un interferometro laser con la precisione richiesta. Lisa Pathfinder volerà nel 2010 e se tutto va bene, Lisa inaugurerà la fisica gravitazionale dell’Universo profondo.

d.
Visione di artista di Lisa: la formazione triangolare dei satelliti è in primo piano. Sullo sfondo: le onde gravitazionali create da un buco nero al centro di una galassia.

Biografia

Stefano Vitale è professore di fisica sperimentale alla facoltà di ingegneria dell’Università di Trento. È il Principal Investigator di Lisa Pathfinder ed è membro del Lisa International Science Team.

È membro dell’Advisory Committee for Human Flight and Exploration dell’Esa e del S&T Advisory Committee di Virgo. È stato membro fondatore dell’Esperimento Auriga.

Link sul web

<http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=27>

<http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=40>

<http://lisa.nasa.gov/>

http://math.ucr.edu/home/baez/LISA_orbit.gif

www.physics.montana.edu/LISA/wave_animate.gif