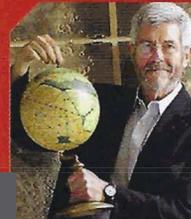


# ONDE GRAVITAZIONALI

## La caccia si sposta nello spazio



Giovanni F. Bignami  
Accademia dei Lincei

Il prossimo lancio di *LISA Pathfinder* sarà la prova generale per realizzare un'antenna interplanetaria che finalmente riveli in modo diretto un fenomeno previsto un secolo fa dalla relatività generale di Einstein

**C**ento anni fa, quel genio di Albert Einstein concepiva il suo capolavoro intellettuale, ovvero l'equazione di campo, che insieme a quanto iniziato 10 anni prima, completava quella teoria per l'epoca rivoluzionaria, per molti astrusa, ma che ha cambiato in modo profondo il nostro modo di vedere e soprattutto studiare l'universo: la Relatività, con la "erre" maiuscola. Oggi, un secolo dopo, le applicazioni pratiche della Relatività sono ben consolidate nella vita di tutti i giorni, di tutti noi. Un esempio per tutti: i sistemi di posizionamento satellitare, per capirci, i navigatori che ci guidano per terre, cieli e mari di tutto il mondo. Per essere così precisi, quei dispositivi incorporano negli algoritmi per il calcolo della loro posizione anche le correzioni legate agli effetti della Relatività. Questa teoria fa anche la felicità degli astrofisici che, ad esempio, sfruttano effetti estremi predetti dalla Relatività Generale per osservare dove neanche i più potenti telescopi che potremo costruire nei prossimi decenni riuscirebbero ad arrivare: basta un ammasso di galassie frapposto tra la Terra e un remoto oggetto per avere una efficientissima lente gravitazionale. C'è però ancora qualcosa legato agli effetti della gravitazione che la Relatività Generale ha teorizzato, ma ancora non siamo riusciti a captare. Qualcosa che sappiamo esistere, ma non siamo ancora arrivati ad "acchiappare", nonostante i grandi sforzi, intellettuali e tecnologici, finora profusi: le onde gravitazionali.

Registrare questi segnali, delle increspature nel tessuto dello spazio-tempo che si propagano alla velocità della luce, ci può aprire una nuova finestra per esplorare

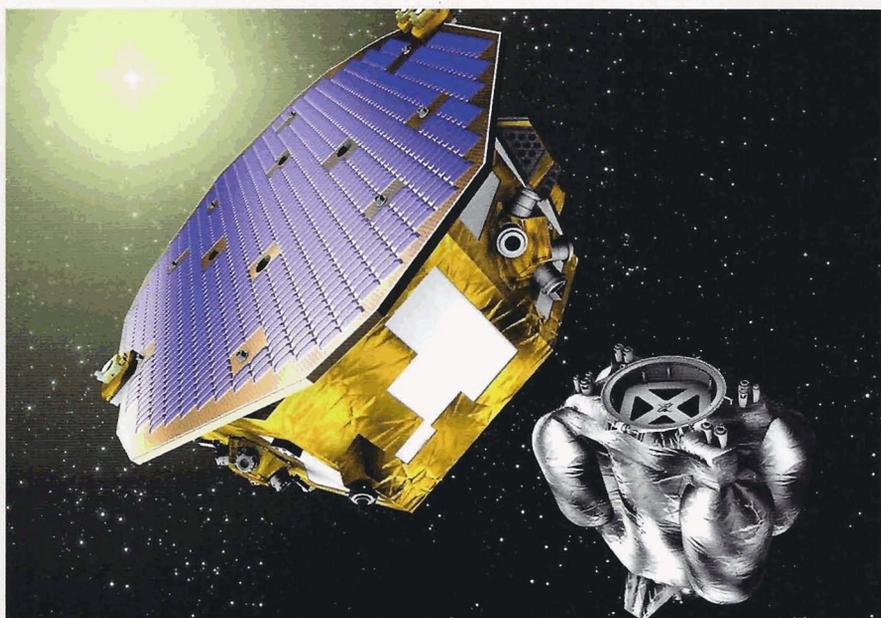


Immagine di fantasia di *LISA Pathfinder*, la missione che partirà a fine novembre e che sarà dedicata al funzionamento degli elementi cruciali di una missione ben più ambiziosa, *eLISA*, la cui partenza è invece programmata fra circa un ventennio.

l'universo. Potrebbe così ripetersi, come accaduto una cinquantina di anni fa con l'avvento dell'era spaziale, che ci ha aperto alla visione dell'universo nei raggi X e gamma, un nuovo entusiasmante salto in avanti nella conoscenza umana. I messaggeri dei processi che avvengono in stelle, buchi neri, galassie, non saranno più solo le onde elettromagnetiche ma appunto, anche quelle gravitazionali. E questo è potenzialmente un grande vantaggio per gli astronomi, poiché le seconde, al contrario delle prime, sono praticamente insensibili nell'interazione con gas e polveri interstellari, o radiazione di qualsivoglia tipo, o anche campi magnetici, tutte potenziali trappole che possono incontrare sul loro cam-

mino e deviarle o attenuarle e, nel peggiore dei casi, assorbirle completamente. Come si captano queste onde gravitazionali, o meglio, come si sta provando a captarle? Attraverso delle gigantesche "antenne" lunghe diverse chilometri all'interno delle quali viaggiano dei fasci laser. Se queste antenne vengono attraversate da un'onda gravitazionale, la loro lunghezza durante il passaggio cambia leggermente. L'analisi della luce dei laser, che viene continuamente monitorata attraverso degli interferometri, potrebbe rilevare il transito dell'onda gravitazionale. Il condizionale è d'obbligo, perché le variazioni alla lunghezza delle antenne dovute alle onde gravitazionali sono ridicolmente piccole: anche miliardesimi di miliardesi-

mi di metro. Qui sulla superficie del nostro pianeta blu già da alcuni anni sono operativi dei veri e propri osservatori di onde gravitazionali. Tra quelli più estesi e avanzati, c'è LIGO con due siti, uno a Livingston, in Louisiana, e l'altro a Hanford, nello stato di Washington. Ma anche noi non scherziamo: nel comune pisano di Cascina sorge uno strumento simile, un mega interferometro che prende il nome di VIRGO, realizzato da un consorzio italo-francese guidato dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) e dal CNRS, Centre National de la Recherche Scientifique.

E dallo spazio? Si può provare a fare la stessa cosa da lì? Sì, e pure molto più in grande, per arrivare a una sensibilità delle antenne ancora migliore. La sfida l'ha raccolta l'Agenzia Spaziale Europea, ESA, che nell'ambito del suo programma a lungo termine per l'esplorazione spaziale *Cosmic Vision*, lo scorso anno ha formalizzato la terza missione "large" dedicata proprio alla ricerca delle onde gravitazionali nel cosmo con eLISA, (*evolved Laser Interferometer Space Antenna*), missione che, secondo i piani attuali, sarà operativa nel 2034.

eLISA è un interferometro spaziale che sarà costituito da tre satelliti posti ai vertici di un ideale triangolo equilatero, ciascuno alla distanza di cinque milioni di chilometri l'uno dall'altro e tutti in movimento su un'orbita eliocentrica. Un'onda gravitazionale, al suo passaggio, mette in oscillazione piccole masse presenti all'interno di ciascun satellite, variando così la loro separazione relativa. Per le sorgenti di eLISA lo spostamento atteso è straordinariamente piccolo, dell'ordine di qualche picometro, ovvero qualche milionesimo di milionesimo di metro!

È facile, quindi, intuire quanto siano ambiziose le sfide tecnologiche di questa missione.

Il progetto è importante e molto complesso (nonché costoso), e dato che coinvolge concetti e tecnologie del tutto nuovi, l'ESA, insieme alle agenzie di altri paesi europei, tra cui l'Agenzia spaziale italiana (ASI), ha deciso di farlo precedere da una missione dedicata specificamente a verificare il funzionamento dei suoi elementi più cruciali: *LISA Pathfinder*, che costituisce in pratica una versione in miniatura di uno dei bracci di eLISA e che partirà a fine novembre dalla base spaziale europea di Kourou nella Guya-

na francese, a bordo di un razzo vettore Vega. Grande "appena" 2,7 metri di altezza per 2,1 di diametro, *LISA Pathfinder* porta al suo interno due delle stesse masse che saranno usate in eLISA, che però invece di essere distanti 5 milioni di chilometri, stavolta sono vicine un po' meno di un metro. I due piccoli cubi di 46 mm in oro e platino, saranno isolati da ogni possibile perturbazione esterna e verrà misurata la loro posizione rispetto al veicolo spaziale. I cubi in oro e platino fungono da specchi e da masse test in caduta libera nel campo gravitazionale del Sistema solare. Piccoli razzi, i cosiddetti *Micro-Newton thrusters*, agiscono con estrema dolcezza sul veicolo per mantenerlo in perfetta caduta libera, annullando così gli effetti della gravità locale. *LISA Pathfinder* non rivelerà le onde ma eseguirà i test tecnologici di grande precisione affinché la futura costellazione di tre satelliti di eLISA operi con masse in caduta perfettamente libera così da permettere di rivelare lo spostamento dovuto effettivamente al passaggio dell'onda gravitazionale.

La realizzazione di *LISA Pathfinder* non sarebbe stata possibile senza il contributo decisivo dell'Italia. Sono italiani infatti i sensori inerziali - il cuore della metrologia di altissima precisione essenziale per il funzionamento dell'osservatorio - che sono stati costruiti da industrie nazionali con il finanziamento dell'ASI e su progetto dei ricercatori dell'Università di Trento e dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN). Così come è italiano Stefano Vitale, fisico sperimentale dell'Università di Trento e *principal investigator* della missione, un po' il padre del concetto alla base di eLISA, di cui segue il progetto fin dai suoi inizi, oltre 15 anni fa.

Intanto, la comunità astronomica sta organizzandosi per fare sinergia e riuscire a identificare nel cielo la sorgente astrofisica di un segnale gravitazionale, quando finalmente verrà osservato, da Terra o dallo spazio. Fino a qualche anno fa questo connubio, indispensabile per caratterizzare la sorgente che ha originato il segnale gravitazionale, era stato definito dagli stessi addetti ai lavori una missione impossibile. I motivi sono vari: la complessità dei processi fisici coinvolti, le difficoltà operative e tecnologiche sono una sfida ai limiti delle attuali strumentazioni per le osservazioni

astronomiche. I primi segnali che indicheranno il passaggio di un'onda gravitazionale saranno comunicati con una incertezza sulla posizione dell'ordine di circa 100 gradi quadrati. Ciò significa dover cercare oggetti variabili in una regione di cielo equivalente a un quadrato virtuale con un lato circa 20 volte il diametro apparente della Luna!

In più, l'indagine va fatta con il cronometro alla mano: alcune delle controparti considerate tra le più probabili, come i Lampi Gamma corti, i *GRB short*, si indeboliscono in modo decisivo nell'arco di poche ore, al massimo qualche giorno. In più, statistiche alla mano, sono molte centinaia le sorgenti variabili che ci possiamo attendere da una ricerca in un'area così vasta. Il compito determinante sarà quello di riuscire a riconoscere quella giusta perché ancora non sappiamo quali siano le sorgenti che emettono onde gravitazionali. Alcune sono state previste dagli studi teorici, ma quali e quante altre sono ancora da scoprire?

Una domanda che ci fa venire davvero l'acquolina in bocca. In queste indagini si tratta di usare per la prima volta dei messaggeri eccezionali, le onde gravitazionali appunto, capaci di portare fino a noi, dai punti più remoti dell'universo, informazioni uniche che i messaggeri tradizionali, le onde elettromagnetiche, non possono trasportare. Si aprirà una nuova frontiera della fisica per studiare i processi esplosivi e i collassi gravitazionali più potenti: quelli sprigionati dall'incontro-scontro di stelle di neutroni binarie, tra stelle di neutroni e buchi neri, possibili progenitori di GRB. Questi messaggeri ci permetteranno di studiare la materia in condizioni di densità estrema (maggiore addirittura di quella dei nuclei atomici) e i processi fisici nei regimi dominati dalle leggi della relatività generale.

Siamo tutti in fermento, perché ormai lo sappiamo: siamo davvero vicini a un grande passo per la conoscenza della fisica degli oggetti compatti e delle più violente esplosioni che avvengono nel cosmo. Iniziamo ad acchiappare queste onde gravitazionali, facciamoci raccontare da esse la loro storia e scopriamo quale è stato l'evento nel quale sono state prodotte. E prepariamoci a guardare l'universo con un nuovo, strepitoso paio d'occhiali.

Gentilmente offerti, già cento anni fa, da quel genio di Albert Einstein. ■