



Suonando e risuonando

Grandi diapason per catturare
la musica del cosmo.

di Eugenio Coccia

La ricerca sperimentale delle onde gravitazionali è iniziata negli Stati Uniti nei primi anni '60, quando Jo Weber, fisico originale e testardo, si mise in testa di rivelare queste deboli perturbazioni dello spaziotempo per aprire una nuova finestra sul cosmo. Weber sviluppò così il primo rivelatore risonante: un oscillatore meccanico costituito da un cilindro di alluminio di un paio di tonnellate, che gli impulsi di onde gravitazionali avrebbero dovuto far vibrare. Un gigantesco diapason, insomma, equipaggiato con ceramiche piezoelettriche per convertire le sue vibrazioni meccaniche in segnali elettrici che venivano opportunamente registrati.

Egli ne mise in funzione due a 1.000 km di distanza e ne analizzò i dati in cerca di segnali in coincidenza. Infatti un'onda gravitazionale avrebbe messo in vibrazione contemporaneamente i due oscillatori (entro 3 millesimi di secondo, dato che la velocità delle onde gravitazionali è uguale a quella della luce) permettendo di distinguere il segnale dalle possibili cause di disturbo locale. Occorreva grande fede per iniziare questa ricerca: a quel tempo pochissimo era noto sulle possibili sorgenti cosmiche, mentre si sapeva dai calcoli di Einstein che queste onde interagiscono in modo trascurabile con la materia che incontrano. È cioè quasi impossibile assorbirle. Questo, se da un lato vuol dire ottenere messaggi non corrotti o attenuati provenienti dalle sorgenti che le hanno emesse, dall'altro rende difficilissima la loro rivelazione.

Il premio era però notevole: le onde gravitazionali portano informazioni uniche sulla natura delle sorgenti cosmiche che le hanno emesse. Né i tradizionali telescopi che osservano fotoni, né i rivelatori di raggi cosmici o di neutrini possono fornire un racconto così dettagliato del movimento della materia cosmica dove la densità è elevata e i campi gravitazionali molto forti.

Alla fine degli anni '60, Weber trovò delle coincidenze nei suoi rivelatori e credette di avere rivelato onde gravitazionali provenienti dal centro della nostra galassia. Anche se i suoi risultati non furono confermati, e sono oggi considerati un abbaglio, essi stimolarono la nascita di nuovi gruppi e nuove generazioni di rivelatori. Ormai infatti la passione scientifica era esplosa, la corsa era iniziata e, grazie ai progressi nelle osservazioni astronomiche e nelle previsioni teoriche, la posta in palio appariva sempre più ricca: poter studiare le stelle di neutroni e di quark, i buchi neri, il rumore di fondo proveniente direttamente dal Big Bang e altri oggetti misteriosi del nostro Universo.

Da molti anni, sperimentatori in quattro continenti sono impegnati nella ricerca delle onde gravitazionali, alcuni usando raffinate versioni dei rivelatori risonanti di Weber, altri costruendo grandi rivelatori basati sull'interferometria laser.

L'Italia e l'Infn occupano da molto tempo un posto privilegiato in questa ricerca. Nel 1970 a Roma Guido Pizzella, con il pieno appoggio di Edoardo Amaldi, prese le redini di un gruppo dedicato allo studio delle onde gravitazionali. Fu deciso di realizzare un rivelatore risonante criogenico (cioè che opera a bassissima temperatura) di sensibilità senza precedenti. L'Italia entrò così subito e in prima fila in questa ricerca, insieme ai gruppi di Stanford e della Louisiana. I primi rivelatori risonanti criogenici entrarono in funzione negli anni '80. L'Infn ha tre rivelatori di questo tipo: Auriga nei



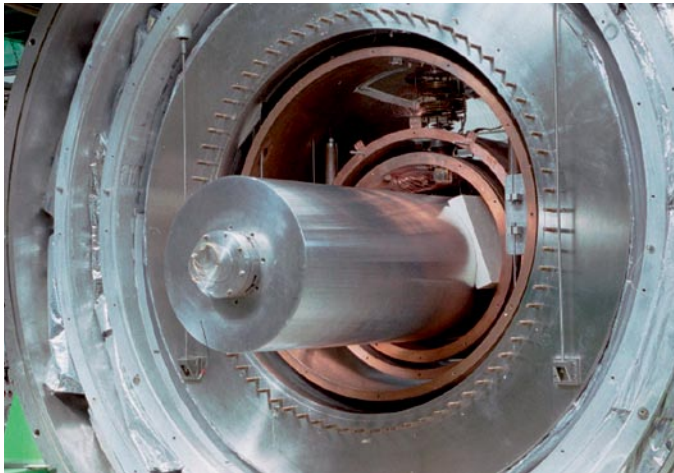
Laboratori di Legnaro, Nautilus nei Laboratori di Frascati ed Explorer al Cern. Sono dei cilindri in lega di alluminio e funzionano effettivamente come dei diapason, messi in vibrazione dall'onda gravitazionale. Per essere più precisi, all'arrivo di un'impulso di onde gravitazionali la barra entra in vibrazione longitudinalmente alla sua frequenza di risonanza, che vale circa 1 kHz. È una frequenza dell'intervallo acustico: questa "nota" può essere "suonata" da varie sorgenti di onde gravitazionali, a cominciare dai collassi stellari tipo supernova.

La difficoltà di queste misure è dovuta al piccolissimo effetto previsto. Se esplodesse una supernova nella nostra galassia, il cilindro sarebbe messo in vibrazione con un'ampiezza dell'ordine di un milionesimo di milionesimo di metro. Il livello di isolamento da tutte le vibrazioni sismiche e acustiche deve perciò essere elevatissimo. Inoltre occorre ridurre straordinariamente tutte le sorgenti di rumore di fondo, sia nel rivelatore, abbassando la sua temperatura, sia nel sistema di trasduzione che converte la vibrazione meccanica in un segnale elettrico, usando materiali e dispositivi a bassissima dissipazione.

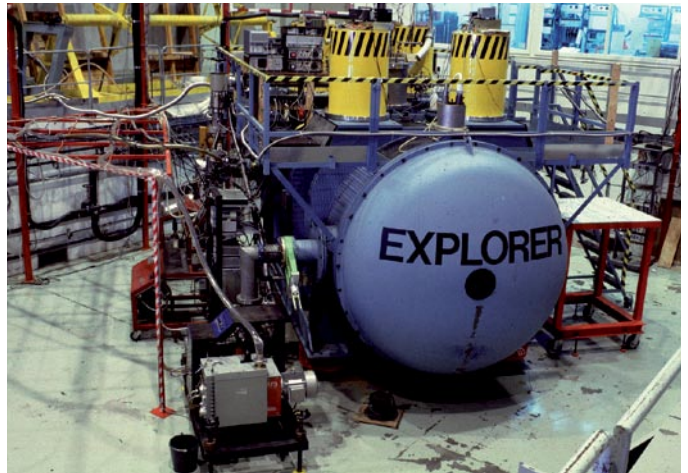
I rivelatori risonanti criogenici hanno permesso un miglioramento della sensibilità di almeno un fattore 10.000, cioè di quattro ordini di grandezza rispetto agli originali rivelatori a temperatura ambiente di Weber. Questi miglioramenti sono dovuti in gran parte alla

riduzione della temperatura dei rivelatori vicino allo zero assoluto. La temperatura è una misura dell'energia del movimento disordinato di un sistema: più è bassa più gli atomi si muovono lentamente, fin quasi a fermarsi quando ci si avvicina allo zero assoluto. È grazie a questa riduzione del movimento disordinato all'interno del rivelatore che è possibile apprezzare in teoria anche le piccolissime vibrazioni indotte dalle onde gravitazionali. Inoltre ci si è giovati dell'impiego di nuovi trasduttori meccanici risonanti, molto più efficienti dei vecchi piezoelettrici, e di amplificatori superconduttori (cioè gli Squid, vd. p. 28, ndr) che hanno un rumore elettronico vicino al limite quantistico imposto dal principio di indeterminazione di Heisenberg.

Questi sensibilissimi diapason criogenici si sono avventurati da anni in regioni inesplorate della fisica sperimentale. Grazie alla presa dati continua essi possono dare evidenza di fenomeni astrofisici rari o che si ripresentano a intervalli di molti mesi o di alcuni anni. La caccia agli impulsi prodotti da eventi cosmici catastrofici è l'obiettivo tradizionale dei rivelatori risonanti. Questa ricerca è stata raffinata, non soltanto usando algoritmi di analisi dati sempre più elaborati, ma soprattutto grazie a tecniche di coincidenza fra i dati raccolti contemporaneamente. Il metodo delle coincidenze è potentissimo ma richiede la presenza di almeno tre rivelatori, per eliminare



b.



c.

quelle coincidenze spurie che a causa di disturbi locali possono presentarsi tra due rivelatori. Auriga, Explorer e Nautilus costituiscono oggi un network che assolve il ruolo di sentinella galattica gravitazionale.

Negli ultimi anni la sensibilità dei grandi interferometri, come Virgo, ha sorpassato quella dei rivelatori risonanti e certamente questi straordinari strumenti entrando in presa dati continua potranno studiare molte sorgenti provenienti anche da galassie lontane.

Vale la pena di menzionare alcuni risultati che fanno parte del curriculum dei rivelatori risonanti dell'Infn (e dei loro sperimentatori): il raffreddamento di Nautilus e Auriga a temperature ultracriogeniche (le 2,5 tonnellate di massa sono state raffreddate a 0,1 K e 0,2 K, rispettivamente); lo sviluppo di trasduttori e amplificatori in grado di apprezzare eccitazioni di pochi quanti di energia; l'allargamento della banda passante (cioè l'intervallo in frequenza nel quale il rivelatore è sensibile) da pochi Hz agli attuali 100 Hz di Auriga; la rivelazione acustica di raggi cosmici con Nautilus ed Explorer; la rivelazione del campo gravitazionale dinamico generato da una sorgente artificiale con Explorer.

L'attività e i progressi nella ricerca delle onde gravitazionali vanno valutati alla luce della estrema difficoltà della loro rivelazione, cioè della estrema piccolezza degli effetti da misurare. Non per niente la gravitazione è la più debole delle interazioni fondamentali. Famosa è la frase di Kip Thorne, guru teorico americano del settore: "Gravitazione: Paradiso per i teorici, Inferno per gli sperimentali". Sarà pure un inferno, ma è soprattutto una sfida affascinante.

- a. Particolare del rivelatore Auriga ai Laboratori Nazionali di Legnaro.
- b. Il rivelatore Nautilus ai Laboratori Nazionali di Frascati.
- c. Explorer è stato il primo rivelatore risonante criogenico a entrare in funzione con continuità.

Biografia

Eugenio Coccia, professore di Astrofisica all'Università di Roma Tor Vergata, è direttore dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'Infn. È responsabile nazionale degli esperimenti Nautilus

ed Explorer e membro della Collaborazione Virgo. Ha fondato la "Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves", conferenza mondiale di riferimento del settore.

Link sul web

www.auriga.lnl.infn.it

www.lnf.infn.it/esperimenti/rog