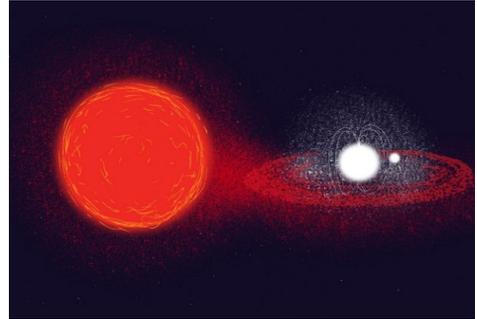


## LE PULSAR AL MILLISECONDO SONO PRIVE DI MONTI

[Le onde gravitazionali](#) generate da sistemi binari di buchi neri e da [coppie di stelle di neutroni](#) sono stati i protagonisti delle [recenti scoperte](#) effettuate dai rivelatori di onde gravitazionali. I sistemi binari non sono l'unico modo per generare delle onde gravitazionali: tra le sorgenti pi promettenti troviamo anche [le stelle di neutroni](#) rotanti. La loro frequenza di rotazione è molto rapida, ma rallenta con il passare del tempo a causa, in parte, dell'emissione di onde gravitazionali. Tale effetto di rallentamento, conosciuto anche con il nome inglese di "spin-down", è estremamente piccolo, tanto che la frequenza di rotazione della stella è quasi costante. Per tale motivo, le onde gravitazionali sono emesse con continuità e con una frequenza quasi costante, e si parla di "onde continue"

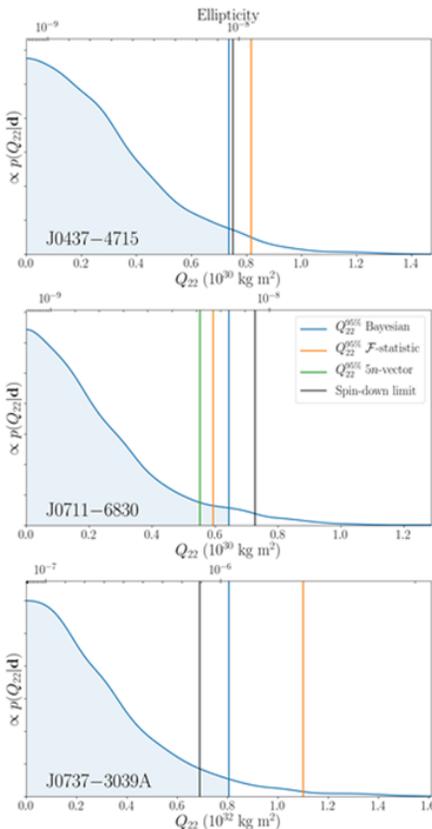
Durante i precedenti periodi osservativi sono già stati posti dei [limiti stringenti](#) sull'ampiezza delle onde gravitazionali provenienti da stelle di neutroni in rapida rotazione. La figura 1 mostra una rappresentazione artistica di una stella di neutroni.



**Figura 1:** Rappresentazione artistica della pulsar PSR J1023+0038 (l'oggetto bianco sulla destra accompagnato dalle linee del campo magnetico), nell'atto di estrarre materia dalla stella che fa da controparte del sistema binario (rappresentata in rosso sulla sinistra) tramite un disco di accrescimento (anche questo in rosso). Credit: European Space Agency (ESA)

Le pulsar sono delle stelle di neutroni in rotazione su se stesse, e sono inoltre degli eccellenti orologi: gli impulsi che emettono nello spettro delle onde radio e dei raggi X arrivano con stupefacente regolarità, siamo in grado di misurare il tempo di arrivo di questi impulsi con alta precisione, e quindi possiamo tracciare in modo preciso la loro rotazione.

Tuttavia, quello non riusciamo a comprendere esattamente sono in meccanismi fisici responsabili dei cambiamenti della frequenza di rotazione della stella e del suo spin-down che provocano delle piccole alterazioni nella regolarità del tempo di arrivo degli impulsi. L'emissione di onde gravitazionali può aiutare a spiegare queste variazioni.



Per generare onde gravitazionali una pulsar deve assumere una forma asimmetrica intorno al suo asse di rotazione. L'asimmetria potrebbe prendere la forma semplice di una "montagna" che sporge dalla superficie verso l'esterno. Ci sono diversi fenomeni che possono causare deformazioni di questo genere: potrebbero essere distorsioni "congelate" all'interno della crosta solida o nel nucleo centrale della stella appena dopo la sua nascita a seguito di un una supernova; potrebbero formarsi a causa di materiale che si riversa sulla stella, oppure potrebbero venire prodotte e conservate dall'azione di [campi magnetici](#) interni estremamente intensi. In base al meccanismo di emissione, le onde gravitazionali possono venire generate ad una frequenza uguale o doppia rispetto alla frequenza di rotazione della stella. Il primo caso si presenta se l'asse di rotazione della stella di neutroni non è stabile oppure se il nucleo della stella ha un nucleo [superfluido](#) che non è completamente saldato alla crosta interna della stella, causando il disallineamento della corrispondente densità interna; il secondo caso avviene in presenza di qualsiasi distorsione asimmetrica.

Le nostre tecniche di ricerca di segnali di onda gravitazionale non assumono a priori nessun particolare meccanismo di formazione. Al contrario, cercano di misurare qualsiasi tipo di segnale continuo e solo in un secondo momento la misura viene associata ad un processo specifico.

**Figura 2** (Fig. 2 dell' articolo): Limiti sul quadrupolo di massa  $Q_{22}$  e sull'ellitticità (il livello di deformazione) di tre pulsar riciclate, sulla base delle nuove osservazioni. Le curve mostrano la distribuzione di probabilità a posteriori ottenuta tramite teorema di Bayes: l'area al di sotto della curva delimitata da due valori del momento di quadrupolo di mass è la probabilità che il valore reale cada entro quei limiti, per la collezione di dati usata e le assunzione fatte sul modello. Le linee verticali nere rappresentano il limite di spin-down per ogni pulsar, mentre le linee verticali colorate corrispondono al limite superiore dell'intervallo di credibilità per cui il momento di quadrupolo o l'ellitticità si trovano al di sotto di un certo valore. Quando il limite superiore della misura (linee verticali colorate) del momento di quadrupolo (o ellitticità) si trovano a sinistra delle linee bianche, si dice che il limite di spin down è stato superato

Grazie alle osservazioni astronomiche di [onde radio](#), [raggi X](#) e [raggi gamma](#), conosciamo la posizione in cielo, la frequenza, lo spin-down e la velocità con cui varia lo spin-down di molte pulsar, informazioni che sono di grande aiuto per la ricerca di un segnale con le onde gravitazionali. Per queste pulsar che osserviamo nello spettro elettromagnetico, è importante superare il loro limite di spin-down; vale a dire di essere capaci di misurare un'ampiezza dell'onda gravitazionale che sia più piccola di quella predetta se si assume che il rallentamento della velocità di rotazione della stella venga interamente convertito in onde gravitazionali. Quando la ricerca nei dati raggiunge un livello di sensibilità così elevato allora siamo in grado di verificare la plausibilità di un particolare meccanismo di emissione e abbiamo la possibilità di rilevare l'onda gravitazionale continua associata. La nostra nuova pubblicazione fa uso dei dati raccolti durante il primo, secondo e terzo periodo di osservazione dai rivelatori Advanced LIGO e Virgo per porre limiti all'emissione di onde gravitazionali da cinque pulsar, ipotizzando che le onde emesse abbiano una frequenza pari o doppia rispetto alla frequenza di rotazione della stella. Sebbene non si sia rilevato alcun segnale, per la prima volta abbiamo raggiunto la sensibilità che ci permette di cercare al di sotto del limite di spin-down per due pulsar tra quelle prese in esame.

È importante notare che si tratta di pulsar al millisecondo, vale a dire che siamo in presenza di pulsar in rapida rotazione, con periodi dell'ordine di qualche millisecondo. Inoltre, dal momento che l'emissione gravitazionale diventa più efficiente a frequenze maggiori, queste stelle di neutroni che ruotano ad alta frequenza non richiedono grandi deformazioni nella loro struttura per produrre onde gravitazionali rilevabili. A tale proposito, i risultati ci mostrano che l'equatore della pulsar J0711-6830, che si trova a circa 358 anni luce di distanza, devia dall'essere un cerchio perfetto per non più di 70 micrometri: non ci sono monti più alti dello spessore di un capello umano! In figura 2 e 3 mostriamo limiti provenienti dalle misure sperimentali in termini di momento di quadrupolo della stella e dell'ampiezza dell'onda gravitazionale. Per pulsar più lente, come nel caso della pulsar del Granchio e quella delle Vele, sono necessarie deformazioni più accentuate per ottenere dei segnali rilevabili. Le piccole deformazioni hanno una probabilità maggiore di formarsi e di sopravvivere alla gravità estrema della stella di neutroni, rispetto a formazioni più grandi; da questo punto di vista l'aver sorpassato il limite di spin-down nell'osservazione delle pulsar al millisecondo è un importante traguardo per l'astrofisica.

## MAGGIORI INFORMAZIONI :

Visita i nostri siti web: [www.ligo.org](http://www.ligo.org), [www.virgo-gw.eu](http://www.virgo-gw.eu)

Leggi gratuitamente l'anteprima dell'articolo questo [link](#)

Una [panoramica](#) sulle pulsar ben scritta da Michael Kramer (PDF file, 1.2 MB)

["Imagine the Universe!"](#) una pagina web della NASA dedicata alle pulsar.

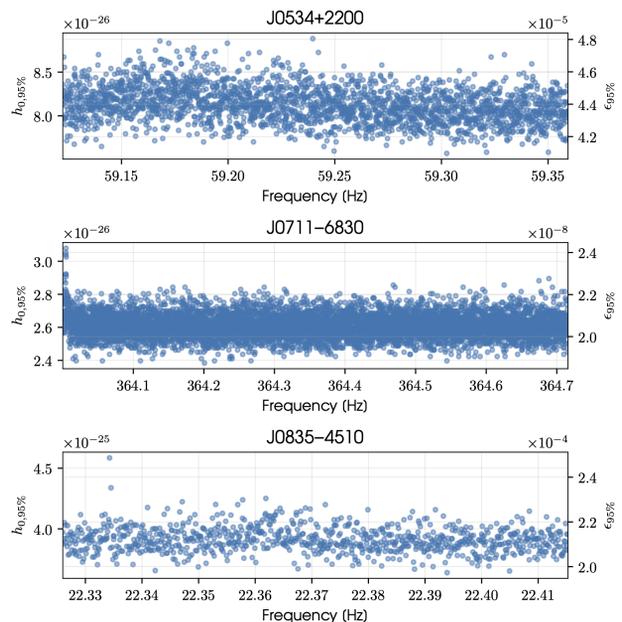


Figura 3 (Fig. 6 dell'articolo): Il limite superiore del livello di confidenza del 95% per l'ampiezza dell'onda gravitazionale  $h_0$  e per ellitticità  $\epsilon$  delle tre pulsar analizzate nell'analisi a banda ristretta. Dall'alto verso il basso, i limiti superiori ven- gono mostrati in ordine per la pulsar del Granchio, la pulsar al millisecondo per cui il limite di spin-down è stato superato, e la pulsar della Vela. Il contributo del rumore è chiaramente visibile per il limite superiore della pulsar della Vela

## GLOSSARIO

**Deformazione (in inglese "strain"):** la variazione relativa della distanza tra due punti su cui si effettua una misura della deformazione dello spazio-tempo dovuta al passaggio di un'onda gravitazionale. La deformazione tipica delle onde gravitazionali più intense che raggiungono la terra è comunque piccolissima: di solito meno di  $10^{-21}$ .

**LIGO:** La rete di rivelatori di onde gravitazionali Laser Interferometric Gravitational-Wave Observatory (LIGO) si trova in USA ed è composta da una coppia di laboratori. Uno si trova in Louisiana, nei pressi di Livingston mentre l'altro nelle vicinanze di Hanford, nello stato di Washington. Si tratta di interferometri laser di grandi dimensioni, composti da due bracci perpendicolari lunghi 4 km, costruiti per misurare ogni cambiamento delle lunghezze relative dei due bracci causata dal passaggio di un'onda gravitazionale.

**Limite di spin-down:** È il valore tipico dell'ampiezza delle onde gravitazionali emesse da una pulsar che si basa sull'assunzione per cui l'energia cinetica rotazionale dissipata dalla stella durante la fase di rallentamento della frequenza viene convertita interamente in radiazione gravitazionale. Questa stima richiede la conoscenza esatta della distanza della pulsar, mentre in realtà le misure delle distanze possono avere un'incertezza di un fattore 2. Ad ogni modo esistono altri meccanismi attraverso i quali una pulsar dissipa energia, in particolare tramite l'emissione di radiazione elettromagnetica di dipolo, perciò il limite di spin-down rappresenta un limite superiore all'ampiezza del segnale d'onda gravitazionale prodotto dalla stella.

**Limite superiore:** massimo valore consentito dai dati e dalla teoria per una certa quantità fisica. Nel nostro caso la quantità di interesse è il massimo valore del momento di quadrupolo della stella che possiamo misurare (il quale ha una relazione diretta con l'ampiezza dell'onda gravitazionale di un segnale continuo che raggiunge la Terra). Nella stima utilizziamo un intervallo di credibilità del 95%, ciò significa che - utilizzando i dati raccolti - stimiamo che la quantità considerata abbia il 95% di probabilità di trovarsi al di sotto del limite.

**Periodo di osservazione:** Il periodo durante il quale i rivelatori di onde gravitazionali acquisiscono dati.

**Pulsar al millisecondo:** una pulsar rotante ad alta frequenza con un periodo di rotazione al di sotto di circa 30 millisecondi, il cui rallentamento avviene comunque su scale di tempo maggiori.

**Pulsar riciclata:** una pulsar che non presenta necessariamente una rotazione abbastanza rapida da essere classificata come pulsar al millisecondo, ma che si pensa che abbia raggiunto la sua alta velocità di rotazione tramite la materia che cade su di essa provenendo da una stella compagna.

**Sensibilità:** Descrive e quantifica la capacità di un rivelatore di misurare un segnale. Rivelatori con livelli di rumore più bassi sono in grado di rilevare segnali più deboli, per cui in gergo si dice che hanno una sensibilità più alta (o maggiore).

**Spin-down:** Le pulsar sono stelle di neutroni che ruotano su se stesse. La frequenza di rotazione diminuisce con il tempo, mentre il corrispondente periodo di rotazione aumenta.

**Virgo:** Il rivelatore di onde gravitazionali situato in Italia nei pressi di Pisa. Anche Virgo, come LIGO, è un interferometro laser con una lunghezza di 3 km per ognuno dei due bracci.

Visit our websites:

<http://www.ligo.org>

<http://www.virgo-gw.eu>

