

PERCHÉ LA PULSAR A RAGGI X J0537-6910 RALLENTA COSÌ RAPIDAMENTE?

Le pulsar sono **stelle di neutroni** – nuclei collassati di stelle di grande massa – in rapida rotazione. Sono stelle fuori dal comune, più massicce del Sole e tuttavia non più grandi di una grande città. La loro densità è così elevata che il materiale di una stella di neutroni in un cucchiaino da te avrebbe una massa di circa 10 milioni di tonnellate (all'incirca la massa di una montagna sulla Terra), e i loro campi magnetici sono da centomila miliardi fino a un miliardo di miliardi di volte maggiori del campo magnetico terrestre.

Noi osserviamo le pulsar grazie ai fasci di radiazione elettromagnetica emessi continuamente dai loro poli magnetici. Benché questa radiazione sia continua, noi la osserviamo ad impulsi, e da questo viene il nome "**pulsar**". Ciò accade perché il campo magnetico non è allineato con l'asse di rotazione della pulsar e quindi, come se fosse un faro, noi vediamo la radiazione una volta per rotazione (o, per qualche pulsar, due volte per rotazione) quando il fascio punta verso la Terra. Attualmente conosciamo circa 3000 pulsar nella nostra Galassia e in quelle vicine. La maggioranza delle pulsar viene osservata con radio telescopi, però alcune delle pulsar più energetiche producono anche intensa radiazione di alta energia sotto forma di **raggi X** e **raggi gamma**. In generale, la luminosità di un oggetto è definita dalla potenza della **luce** emessa. Ma possiamo anche considerare la luminosità come la potenza emessa, o persa, sotto qualunque forma. Quando un oggetto che ruota rallenta, la sua energia cinetica rotazionale diminuisce. Poiché l'energia totale si conserva, questa energia cinetica deve venire dissipata o irraggiata in qualche altra forma. L'energia rotazionale persa nell'unità di tempo è quindi pari alla potenza irraggiata, o in altre parole alla sua "luminosità di spin-down" (lo "spin-down" è il rallentamento della rotazione). L'energia cinetica immagazzinata nella veloce rotazione di una pulsar è enorme: se una pulsar che ruota su se stessa 60 volte al secondo perdesse energia alla stessa velocità con cui il Sole emette radiazione elettromagnetica, ci vorrebbero 600 milioni di anni per fermarla. Dato l'attuale consumo di energia dell'umanità sulla Terra, una sorgente del genere potrebbe alimentare le nostre necessità per circa 10 sestilioni (10^{22}) di anni! D'altra parte osservando come cambia la velocità di rotazione delle pulsar sappiamo che molte di loro perdono energia molto più velocemente del Sole, e che ne viene emessa molto poca come luce visibile. Ma allora, in che forma viene irraggiata l'energia? Ci piacerebbe sapere se una frazione significativa di questa energia viene emessa come radiazione gravitazionale.

La pulsar nota come PSR J0537-6910 è uno degli esemplari più insoliti nella popolazione delle pulsar conosciute. Il suo nome proviene dalla posizione nel cielo misurata nelle **coordinate equatoriali** utilizzate dagli astronomi, con un'ascensione retta di 5h 37m e una declinazione di $-69^{\circ} 10'$, e si trova nella Grande Nube di Magellano – una piccola galassia satellite in orbita intorno alla Via Lattea. PSR J0537-6910 è speciale perché perde energia più velocemente di qualunque altra pulsar conosciuta, con la sua luminosità di spin-down di circa 5×10^{31} W, o approssimativamente 100000 volte la luminosità del Sole. In aggiunta alla sua prodigiosa luminosità, PSR J0537-6910 produce anche molti **glitch**; un glitch di una pulsar è un fenomeno in cui la velocità di rotazione di una pulsar mostra un piccolo, improvviso aumento.

Diversamente dalla maggioranza delle pulsar, PSR J0537-6910 non si osserva con impulsi radio ma soltanto per mezzo dei raggi X. I raggi X non penetrano l'atmosfera terrestre, e possono essere rivelati solo da telescopi nello spazio.

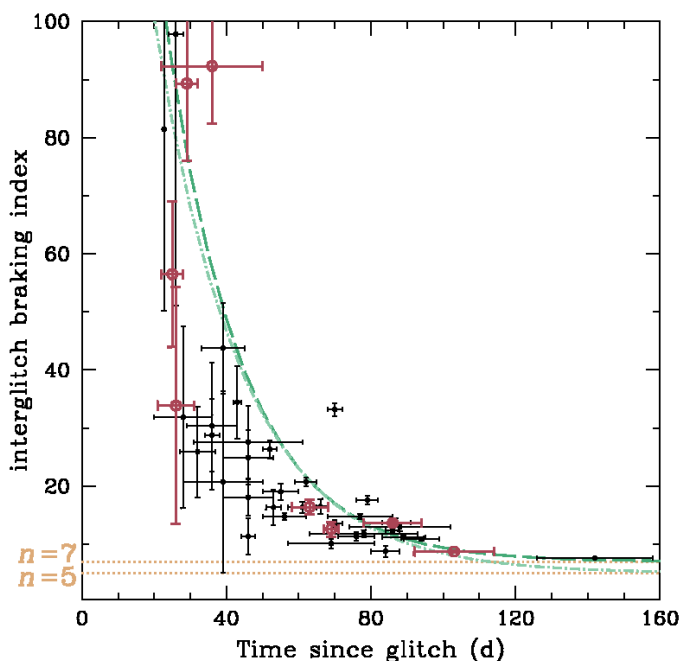


Figure 1: L'indice di frenamento (braking index) di PSR J0537-6910 misurato per mezzo dei dati di raggi X durante gli intervalli di tempo tra i glitch della pulsar. I punti rossi e quelli neri corrispondono rispettivamente alle osservazioni di NICER e RTXE. All'aumentare dell'intervallo di tempo tra due glitch (mostrato sull'asse orizzontale), l'indice di frenamento tende a valori vicini a 5 o 7.

Visitate i nostri siti web:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/



La pulsar fu scoperta e successivamente monitorata dal telescopio per raggi X su satellite chiamato *Ross X-ray Timing Explorer (RXTE)* tra il 1996 e il 2012 (quando RTXE venne posto fuori servizio). Nel 2017 un telescopio per raggi X chiamato *Neutron star Interior Composition Explorer (NICER)*, è stato installato sulla [Stazione Spaziale Internazionale](#). Grazie alle sue interessanti caratteristiche, PSR J0537-6910 è uno degli obiettivi principali della campagna osservativa di NICER. Le osservazioni di RXTE e NICER hanno non solo rivelato la frequenza insolitamente alta dei glitch, ma hanno anche fornito delle intriganti indicazioni su come la stella perda energia tra gli eventi di glitch. Un parametro noto come *indice di frenamento* ci dà informazioni sul rallentamento della rotazione di una pulsar: i diversi meccanismi di perdita di energia associati al rallentamento corrispondono a valori differenti dell'indice di frenamento. Ci si aspetta che i valori di 5 e 7 corrispondano a due diversi modi di emissione di onde gravitazionali. Nella **Figura 1**, le osservazioni di NICER e RXTE suggeriscono che l'indice di frenamento possa tendere verso uno di questi due valori quando c'è un lungo intervallo tra i glitch, indicando così che l'emissione di onde gravitazionali sia una spiegazione plausibile per il rallentamento della frequenza di rotazione.

Data la natura eccezionale di questo oggetto, la LIGO Scientific Collaboration, le collaborazioni Virgo e KAGRA, insieme alla collaborazione NICER, hanno cercato un segnale di onda gravitazionale continua dalla pulsar. Abbiamo utilizzato i dati più recenti degli osservatori LIGO e Virgo (associati ai periodi osservativi O2 e O3) che si sovrappongono alle osservazioni di PSR J0537-6910 eseguite da NICER a partire dal 2017. I dati di NICER seguono con precisione la rotazione della pulsar tra i glitch. Questo ci permette di integrare coerentemente i dati di onda gravitazionale e di ottenere la massima sensibilità nella ricerca di qualunque segnale debole. Nella ricerca abbiamo utilizzato due diversi modelli per l'emissione di onde gravitazionali: uno nel quale la pulsar ha un'asimmetria sul suo equatore (per esempio una "montagna"), che produrrebbe un'emissione ad una frequenza doppia di quella di rotazione della stella (questo è il meccanismo che produrrebbe un indice di frenamento di 5); un altro in cui potrebbe essere emissione sia alla frequenza di rotazione della stella che a quella doppia. Insieme alle osservazioni di onde gravitazionali abbiamo presentato anche le misure più recenti dei glitch della pulsar nei raggi X. Non abbiamo trovato alcuna indicazione di segnali gravitazionali dalla pulsar, ma anche questo risultato negativo ci permette di inferire informazioni interessanti su PSR J0537-6910.

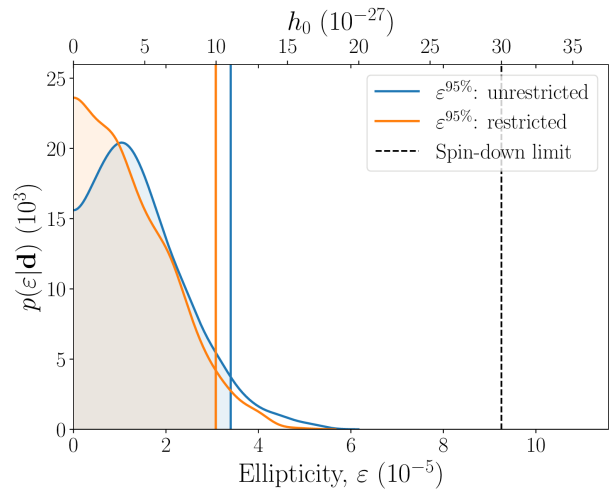


Figura 2: La distribuzione di probabilità dell'ellitticità di PSR J0537-6910 sulla base dei dati di LIGO e Virgo nei periodi osservativi O2 e O3. I due insiemi di curve rappresentano le distribuzioni ottenute facendo assunzioni differenti sull'orientazione della pulsar rispetto la Terra, basandosi su osservazioni a raggi X di una nebulosa che circonda la pulsar. Entrambe le ipotesi danno risultati molto simili.

La **Figura 2** mostra la probabilità dei diversi valori dell'*ellitticità* della stella sulla base dei nostri dati, dove l'ellitticità descrive l'entità di qualunque deformazione all'equatore rispetto al raggio medio della stella (in soldoni, l'altezza della montagna). Questa distribuzione di probabilità è compatibile con un'ellitticità nulla, ma anche con piccoli valori non nulli, e ci permette di stabilire un "limite superiore" sul suo valore. Il limite al 95% che otteniamo è di poco superiore a 0.00003, in altre parole sappiamo che con una probabilità del 95% l'ellitticità è al di sotto di questo valore. Ciò corrisponde ad un'altezza della montagna inferiore a qualche decina di cm, un risultato impressionante tenuto conto che l'oggetto si trova ad oltre 160000 anni luce di distanza (1.5 miliardi di miliardi di km). Questo limite superiore è al di sotto di quello che ci si aspetterebbe se tutta la luminosità di spin-down della stella fosse emessa per mezzo di onde gravitazionali (conosciuto come limite di spin-down). Lo si può convertire in una potenza equivalente irraggiata per mezzo di onde gravitazionali, e questo ci permette di dire che meno del 14% della luminosità di spin-down va nella produzione di onde gravitazionali. Ciò significa che più dell'86% dell'energia di spin-down viene perso per mezzo di altri meccanismi; il prodigioso campo magnetico della pulsar implica che un'importante sorgente di emissione avviene attraverso un meccanismo noto come radiazione di dipolo magnetico e attraverso l'accelerazione di particelle cariche per creare un [plerione](#) (nebulosa creata dal vento della pulsar). Però potrebbe entrare in gioco anche un diverso meccanismo per l'emissione di onde gravitazionali: onde di materia che viaggiano intorno alla superficie della stella potrebbero produrre onde gravitazionali con una frequenza uguale a 4/3 di quella di rotazione. Queste onde di materia non sono oggetto dell'attuale ricerca, ma produrrebbero un indice di frenamento di 7.

SCOPRITE DI PIÙ:

Visitate i nostri siti web:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/

www.nasa.gov/nicer

Leggete un preprint gratuito dell'articolo scientifico completo a [questo link](#).

La versione originale inglese di questo sommario scientifico è [qui](#).

GLOSSARIO

Coordinate equatoriali: gli astronomi definiscono la posizione degli oggetti nel cielo usando un sistema di coordinate equatoriali. In questo sistema la posizione di un oggetto è definita dalla sua ascensione retta e declinazione, che sono equivalenti a una longitudine e latitudine nel cielo basate sulla proiezione dell'equatore terrestre sulla sfera celeste.

Onda gravitazionale continua: si tratta di un segnale di onda gravitazionale che è sempre presente ad una frequenza quasi fissa, questo a differenza dei sistemi di buchi neri che si fondono, il cui segnale di onda gravitazionale è visibile in un rivelatore soltanto per breve tempo e ha una frequenza che aumenta velocemente. Per altri dettagli [si veda qui](#).

Grande Nube di Magellano: Una galassia nana, compagna della Via Lattea e distante circa 50000 [parsec](#). Sia la Grande, sia la Piccola Nube di Magellano sono visibili ad occhio nudo nell'emisfero sud.

Stella di neutroni: ciò che resta dell'esplosione di supernova di una stella con massa compresa tra 10 e 25 volte quella del nostro Sole. Le stelle di neutroni tipiche hanno massa di circa 1-2 masse Solari e raggio di 10-15 chilometri, e sono tra gli oggetti più compatti mai scoperti.