

# RICERCA DI TRANSIENTI GRAVITAZIONALI DI BREVE DURATA NEL TERZO PERIODO OSSERVATIVO DI LIGO-VIRGO

Il terzo periodo osservativo (O3) dei rivelatori [Advanced LIGO](#) e [Advanced Virgo](#) si è concluso alla fine di marzo 2020. Durante O3 sono state osservate parecchie decine di onde gravitazionali dovute alla fusione di sistemi binari compatti, ad esempio coppie di buchi neri e/o stelle di neutroni. Tuttavia le fusioni di sistemi binari compatti sono solo un tipo di sorgente tra le molte possibili. Qui ci concentriamo su un tipo di [onde gravitazionali transienti](#) che hanno una durata nel tempo particolarmente breve (meno di 1 secondo): le chiamiamo anche "transienti brevi". Tra i possibili esempi di sorgenti di transienti brevi (oltre alle fusioni di buchi neri) ci sono le [supernove da collasso del nucleo](#), le [cuspidi delle stringhe cosmiche](#), o i [glitch delle pulsar](#) – così come l'eccitante possibilità di sorgenti totalmente sconosciute.

## SORGENTI NON MODELLATE

Data la mancanza di modelli precisi per la maggior parte di queste possibili sorgenti, è importante analizzare i dati con algoritmi che sono capaci di rivelare quasi qualunque tipo di segnale, purché sia di breve durata: questa è la cosiddetta ricerca "non modellata" di transienti brevi. In confronto alle [ricerche di CBC](#) (dall'inglese Compact Binary Coalescence, vale a dire fusioni di binarie compatte), in cui cerchiamo in mezzo ai dati delle forme ben precise e che corrispondono a [forme d'onda](#) note, una ricerca non modellata estrae dai dati quegli eccessi di potenza che potrebbero essere compatibili con i requisiti minimi che devono essere soddisfatti dalle onde gravitazionali. Tuttavia lo svantaggio di questo approccio non modellato è che gli algoritmi di ricerca sono limitati dalla presenza di artefatti nei dati dovuti al rumore (i cosiddetti glitch del rivelatore (glitch in inglese indica una anomalia) che possono assomigliare ad un vero segnale di onda gravitazionale – e che non vanno confusi con i glitch delle pulsar. Grazie all'informazione dei canali ausiliari che misurano lo stato esterno ed interno degli interferometri la grande maggioranza di questi glitch dei rivelatori viene identificata ed eliminata. Ciò aiuta a migliorare la [significatività statistica](#) dei possibili candidati.

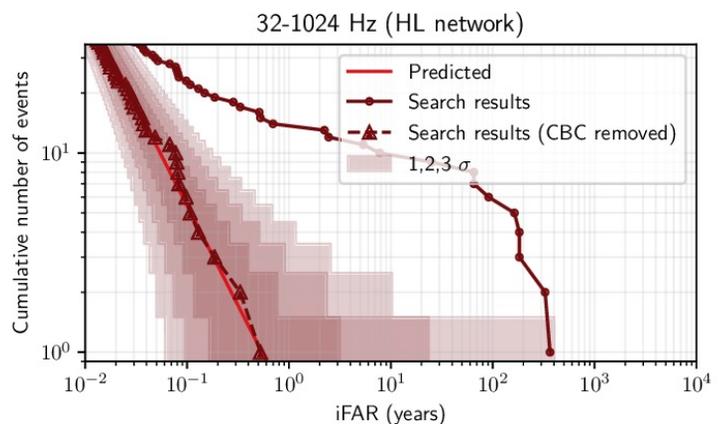
Per questo lavoro abbiamo utilizzato due algoritmi di ricerca: coherent Waveburst (cWB), che estrae dai dati una lista di segnali candidati, e BayesWave (BW) che esegue un'ulteriore analisi sulla lista prodotta da cWB. I due algoritmi sono stati messi alla prova su un insieme di forme d'onda simulate in cui dei segnali con forme generiche vengono aggiunti ai dati per determinare quale debba essere l'ampiezza di un segnale di onda gravitazionale perché possa venire rivelato dai nostri rivelatori.

## RISULTATI

La **Figura 1** mostra la lista dei candidati studiati, confrontata con la distribuzione attesa nel caso in cui essi siano dovuti ad eccessi di rumore. La distribuzione attesa è ottenuta con il metodo largamente utilizzato che consiste nel [traslare nel tempo](#) i dati dei diversi rivelatori. Non è stato trovato alcun nuovo candidato, a parte alcune delle sorgenti CBC già rivelate in precedenza (quelle che producono un transiente breve nei dati, e che corrispondono ad oggetti compatti massicci).

## FIGURE TRATTE DALLA PUBBLICAZIONE

Per ulteriori informazioni su come queste figure sono state prodotte e sul loro significato, si veda [l'articolo scientifico](#).



**Figura 1 (figura 2 nell'articolo):** Numero cumulativo di eventi (asse verticale) rispetto la probabilità che siano invece generati casualmente da fluttuazioni del rumore (espressa per mezzo dell'inverso della frequenza di falso allarme in anni, sull'asse orizzontale). I due insiemi di simboli connessi da linee mostrano il numero totale trovato da questa ricerca prima (cerchi) e dopo (triangoli) avere scartato dai dati tutte le sorgenti CBC note. La linea continua rappresenta il fondo atteso in caso di solo rumore e le regioni ombreggiate indicano la sua incertezza statistica.

Visitate i nostri siti web:

[www.ligo.org](http://www.ligo.org)

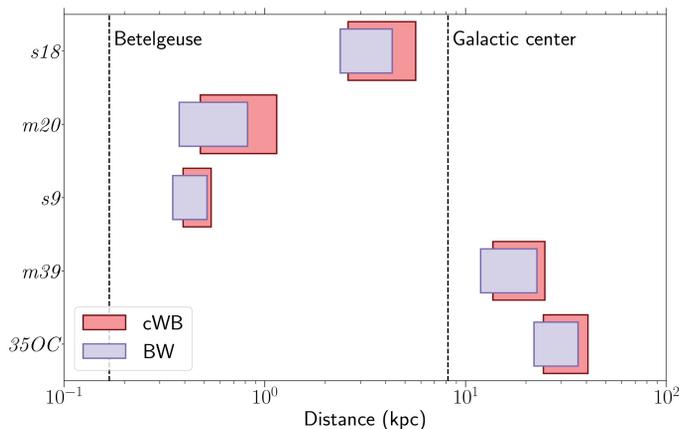
[www.virgo-gw.eu](http://www.virgo-gw.eu)

[gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/](http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/)



[Nei periodi osservativi precedenti](#) avevamo caratterizzato la [sensibilità](#) di ricerche di questo tipo considerando forme d'onda generiche sviluppate ad hoc. Per contro, in questo lavoro studiamo anche la nostra capacità di rivelare due sorgenti astrofisiche specifiche: le supernove a collasso del nucleo (CCSN, dall'inglese Core Collapse Supernovae) e stelle di neutroni isolate (NS, dall'inglese Neutron Star).

La Figura 2 mostra gli intervalli di distanza dalla Terra entro cui le nostre ricerche potrebbero rilevare una CCSN con efficienza compresa tra il 10% e il 50%, a seconda del tipo di modello di emissione di onde gravitazionali. Noi vogliamo anche sapere quanto dovrebbe essere grande un glitch di una pulsar per poterlo rivelare nei nostri dati. La Figura 3 mostra la variazione di frequenza dovuta ad un glitch di una pulsar che potrebbe venire rivelata con efficienza del 50%, assumendo vari modelli di emissione descritti da diverse [equazioni di stato](#) e prendendo come riferimento la distanza e la frequenza di rotazione della [pulsar della Vela](#).



**Figura 2 (figura 7 nell'articolo):** Distanze massime dalla Terra a cui i nostri algoritmi possono rivelare diverse [forme d'onda CCSN](#). Il bordo sinistro di ciascun rettangolo indica la distanza in migliaia di [parsec](#) (kpc) a cui riveliamo il 50% dei segnali, mentre il bordo destro indica la distanza che corrisponde al 10% di efficienza. L'asse verticale si riferisce a differenti forme d'onda CCSN; si consulti l'articolo per ulteriori dettagli su modelli considerati. Colori diversi rappresentano risultati ottenuti con i due diversi algoritmi utilizzati.

## GLOSSARIO

**Transiente:** Fenomeno astronomico che si sviluppa in un tempo breve, diversamente da altri eventi astrofisici tipici che possono durare da migliaia a miliardi di anni. C'è una notevole varietà di transienti associati alle onde gravitazionali. In questa ricerca ci concentriamo sui transienti gravitazionali di durata più breve.

**Canali ausiliari:** Usati per osservare il comportamento dell'ambiente intorno al rivelatore, registrano qualunque cosa possa contribuire ad identificare i disturbi. Esempi di canali ausiliari sono i magnetometri e i sismometri, oppure i sensori che registrano le attività umane o le condizioni meteorologiche.

**Supernova da collasso del nucleo:** Il collasso del nucleo può essere causato da diversi meccanismi, come ad esempio il collasso di un nucleo di ferro in una protostella di neutroni. Invecchiando, una stella massiccia brucia il suo combustibile nucleare creando elementi sempre più pesanti, fino al ferro. Il ferro affonda verso il centro della stella creando un nucleo di ferro. Quando il nucleo di ferro ha una massa superiore a 1.5 masse solari esso collassa su se stesso creando una protostella di neutroni (PNS). La materia che circonda il nucleo inizia a cadere verso di esso e così facendo si riscalda e rimbalza creando un'onda d'urto che si propaga verso l'esterno e produce un'esplosione di supernova.

**Stella di neutroni (NS, dall'inglese Neutron Star):** Il nucleo collassato di una stella morta, con una massa tipica circa 1.4 volte quella del Sole e con un raggio di circa 10 km.

**Equazione di Stato (EOS, dall'inglese Equation of State):** La struttura interna di una NS può venire descritta da un'Equazione di Stato, che descrive la relazione tra pressione e densità all'interno della NS. Dal momento che non conosciamo ancora con precisione la struttura interna di questi oggetti, usiamo differenti modelli dell'equazione di stato per tenere conto di diverse possibilità.

**Glitch da una pulsar:** Una pulsar è una NS che viene osservata grazie agli impulsi di radiazione elettromagnetica che emette con grande regolarità (di solito nella banda radio). Non tutte le NS possono venire osservate come pulsar, perché non emettono radiazione elettromagnetica in direzione della Terra, oppure perché non ne emettono affatto. Si sa che una frazione della popolazione di NS è soggetta a glitch – che sono brevi interruzioni della regolarità degli impulsi – misurati per mezzo delle osservazioni elettromagnetiche delle pulsar. I glitch vengono spiegati ipotizzando terremoti stellari e interazioni superfluido-crosta.

**Traslazione in tempo:** Metodo frequentemente usato nella scienza delle onde gravitazionali per stabilire la significatività statistica di un candidato. Consiste nello spostare ripetutamente in tempo i flussi di dati di due o più rivelatori uno rispetto l'altro. Eventi candidati che vengono trovati nei dati traslati sono generati da coincidenze casuali e vengono usati per riprodurre la distribuzione statistica dei candidati nei dati originali. Producendo un enorme numero di queste traslazioni possiamo determinare sempre meglio la significatività statistica dei candidati.

**Stringa cosmica:** Ipotetico oggetto unidimensionale che potrebbe essersi formato nel primo universo, mentre si stava raffreddando ed espandendo.

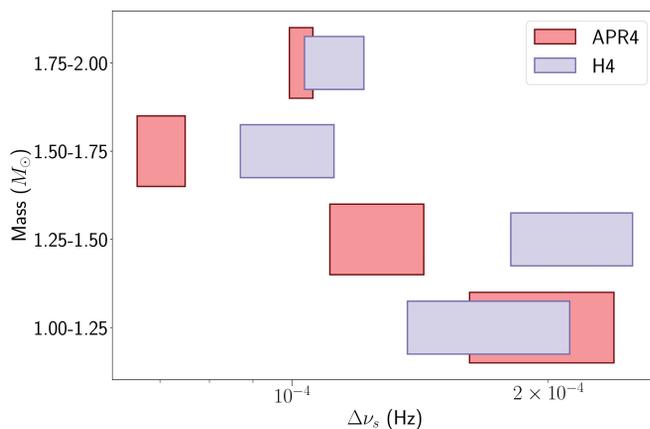
**Cuspide:** Un punto fisso su una curva in cui un punto che la traccia invertirebbe esattamente il suo movimento.

**Forma d'onda:** Rappresentazione di come un segnale di onda gravitazionale cambia nel tempo.

**Sensibilità:** Un modo per descrivere la capacità di uno strumento di rivelare un segnale. Strumenti con più basso rumore possono rivelare segnali più deboli e perciò si dice che hanno una sensibilità più alta (o più grande).

**Pulsar della Vela:** Una pulsar che si trova nella costellazione della Vela, e che è ciò che resta di un'esplosione di supernova.

**Parsec (pc):** Un'unità di distanza molto usata in astronomia. Corrisponde a circa 31 mila miliardi di km.



**Figura 3 (figura 8 nell'articolo):** Questa figura mostra la variazione di frequenza associata ad un [glitch da una pulsar](#) che potrebbe venire rilevata con un'efficienza del 50% dalla nostra analisi. Questo calcolo viene fatto facendo riferimento a una pulsar come quella della Vela – cioè considerando una distanza fissa di 287 parsec e una frequenza di rotazione intorno all'asse della pulsar di circa 11 Hz. La larghezza orizzontale dei rettangoli rappresenta la variazione di frequenza del glitch tenendo conto delle diverse masse possibili della pulsar, come indicato dall'asse verticale. Vengono considerati due casi estremi per l'equazione di stato: "soffice" (APR4) e "dura" (H4). Ulteriori dettagli su queste due diverse equazioni di stato sono riportati nella pubblicazione scientifica..

## PER SAPERNE DI PIÙ:

Visitate i nostri siti web:

- [www.ligo.org](http://www.ligo.org)
- [www.virgo-gw.eu](http://www.virgo-gw.eu)
- [gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/](http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/)

Leggete gratuitamente l'articolo completo [qui](#) oppure [su arxiv.org](#).