

ALLA RICERCA DI ONDE GRAVITAZIONALI NASCOSTE PRODOTTE DA LAMPI DI RAGGI GAMMA IN O3A

I lampi di raggi gamma (in inglese Gamma-ray bursts o GRB) sono lampi estremamente luminosi di **raggi gamma** di alta energia che vengono dallo spazio profondo e che osserviamo circa una volta al giorno. Il cono di emissione dei raggi gamma ha un piccolo angolo di apertura e l'intensità è così alta che possiamo osservare GRB emessi a distanze di miliardi di anni luce.

Ci sono almeno due diversi tipi di eventi astrofisici che possono produrre un GRB. I GRB di "lunga durata" sono i più comuni (circa il 70% di tutti i GRB) e sono stati associati alle esplosioni di supernova, a sostegno dell'idea che questa categoria di lampi venga da stelle morenti di grande massa quando i loro nuclei collassano. I GRB prodotti in questo modo tendono a durare da pochi secondi a molti minuti.

I GRB di "breve durata" possono durare da pochi millisecondi fino ad un massimo di alcuni secondi. Si pensa che la maggioranza, se non la totalità, dei GRB brevi sia causata da collisioni di coppie di stelle estremamente dense chiamate stelle di neutroni, oppure forse da un buco nero che fa a pezzi una stella di neutroni mentre la inghiotte. In entrambi gli scenari una quantità molto grande di materia può venire accelerata violentemente producendo onde gravitazionali che viaggiano verso di noi. GW170817, un'onda gravitazionale che ha accompagnato un GRB breve proveniente da una galassia vicina, è stata un esempio di questo tipo di emissione.

È molto importante che gli astronomi gravitazionali tengano d'occhio le osservazioni di GRB di [Fermi](#) e del [Neil Gehrels Swift Observatory](#), due telescopi spaziali per raggi gamma. Quando riportano una nuova osservazione noi possiamo controllare se i dati di [LIGO](#) e [Virgo](#) contengono un'onda gravitazionale proveniente dalla stessa direzione e allo stesso tempo. Seguendo questo approccio possiamo rivelare deboli onde gravitazionali che altrimenti potremmo mancare.

COME DIAMO LA CACCIA ALLE ONDE GRAVITAZIONALI

Usiamo due diverse tecniche per dare la caccia a questi segnali. La prima tecnica non si cura della forma del segnale di onda gravitazionale, solo che appare coerentemente negli osservatori LIGO e Virgo. Questo significa che potrebbe trovare onde gravitazionali prodotte da collisioni di stelle di neutroni o da collassi stellari. Chiamiamo questo metodo di ricerca "generico" e lo usiamo ogni volta che si osserva un GRB mentre i nostri osservatori gravitazionali stanno prendendo dati. La nostra seconda tecnica cerca solo segnali con una forma specifica, detta **chirp**. Questo tipo di segnale viene prodotto quando coppie di oggetti stellari densi – come una coppia di stelle di neutroni, o un buco nero e una stella di neutroni – orbitano uno attorno all'altro e alla fine collidono. Per tale ragione, noi usiamo questo tipo di ricerca basata su un "modello" solo quando pensiamo che il GRB sia "breve", vale a dire prodotto da una collisione di questo tipo. Abbiamo deciso di utilizzare questa ricerca quando un GRB dura 4 secondi o meno, per evitare di perdere erroneamente un GRB breve.

LE NOSTRE RICERCHE DI ONDE GRAVITAZIONALI

Tra aprile e settembre 2019 LIGO e Virgo hanno effettuato una presa dati chiamata O3a. Durante questo periodo abbiamo utilizzato il nostro metodo generico su un insieme di 105 GRB, e il nostro metodo basato su modello per 32 GRB più breve. Non abbiamo trovato alcuna onda gravitazionale associata ad alcuno di questi GRB (si vedano le **Figure 1** e **2** per maggiori dettagli). Questo non è del tutto inatteso per due motivi. In primo luogo, i lampi sono emessi regioni angolari molto ristrette, così che una gran parte dei raggi gamma viene emessa lontano dalla terra e viene persa. In secondo luogo, poiché la maggioranza dei GRB viene da molto lontano accade raramente che i nostri osservatori siano sensibili alle onde gravitazionali emesse.

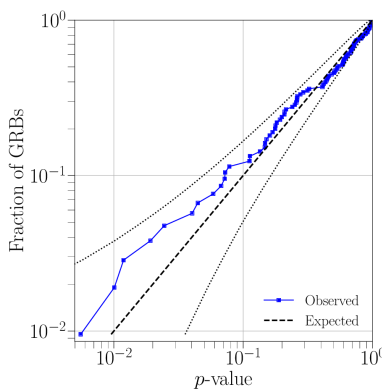


Figura 2: Il grafico in alto mostra risultati statistici simili a quelli in Figura 1 per le ricerche generiche fatte in prossimità dei 105 GRB.

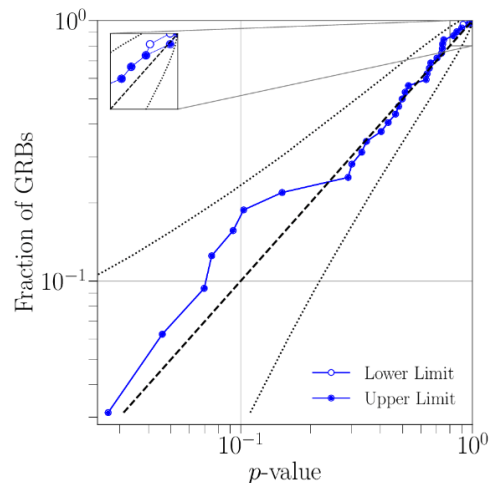


Figura 1: La ricerca basata su modello riporta il miglior evento candidato di onda gravitazionale per ogni GRB breve, insieme con una misura della sua ampiezza. Noi confrontiamo questa con i dati a tempi diversi per stimare la probabilità che il candidato sia solo un prodotto del rumore di fondo e non un'onda gravitazionale, ottenendo un **p-value**. Qui mostriamo i nostri 32 candidati (rappresentati dai punti), con l'asse orizzontale che rappresenta il **p-value** dei candidati e con l'asse verticale che mostra la frazione di candidati con **p-value** inferiore. La linea tratteggiata mostra la curva che ci si aspetterebbe dal solo rumore di fondo (senza segnali di onda gravitazionale). Un **p-value** più grande (più a destra nella figura) indica una maggiore possibilità che si tratti di un evento dovuto al rumore di fondo e non ad un'onda gravitazionale. Le linee punteggiate mostrano i limiti del comportamento statistico atteso per il rumore nelle nostre ricerche. Vediamo che tutti i candidati (mostrati dai punti connessi) si trovano all'interno delle linee punteggiate, e questo significa che sono tutti coerenti con l'ipotesi di produzione da parte del rumore di fondo.



Visitate i nostri siti web:

<http://www.ligo.org>

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



Quando non troviamo un segnale di onda gravitazionale in corrispondenza ad un GRB, allora misuriamo la distanza alla quale i nostri osservatori potrebbero affidabilmente individuare vari tipi di segnali sommando onde gravitazionali fittizie ai dati e notando quali verrebbero recuperate dai nostri metodi.

Questo ci permette di dire, per ciascun GRB, che se il GRB ha prodotto un certo tipo di onda gravitazionale, allora deve averlo fatto più lontano di una certa distanza. Se fosse stato più vicino, allora non avremmo mancato l'onda gravitazionale. I risultati di tutte le nostre ricerche producono una misura di questa quantità che chiamiamo "distanza di esclusione" (si vedano le **Figure 3 e 4**).

IL CASO DEL GRB 190610A

Le nostre stime vincolano anche i GRB senza che si conoscano le distanze. Per una grande frazione dei GRB la distanza non è nota. Un caso interessante è quello di GRB 190610A, per il quale il nostro metodo basato su modello ci dice che se è stato prodotto da una collisione di due stelle di neutroni, allora ciò deve essere successo ad una distanza maggiore di 63 Mpc (circa 200 milioni di anni luce). Questo GRB è arrivato da una direzione molto vicina ad una galassia distante 165 Mpc (circa 600 milioni di anni luce), quindi la nostra analisi non può scartare l'ipotesi di una collisione di una coppia di stelle di neutroni in quella galassia e ha prodotto questo GRB (come mostrato in **Figura 5**).

GUARDANDO AVANTI

Benché il run O3a non abbia visto alcuna onda gravitazionale associata a GRB (diversamente da quanto è successo con [l'osservazione di GW170817](#) nell'agosto 2017) siamo al lavoro per migliorare i nostri rivelatori. Con l'aumento della sensibilità degli osservatori di onde gravitazionali le possibilità di trovare un'associazione con i GRB cresceranno. Combinando insieme l'informazione che ci danno le onde gravitazionali con quella dei GRB otterremo nuovi indizi sulla fisica e sulle proprietà di questi enigmatici lampi di raggi gamma.

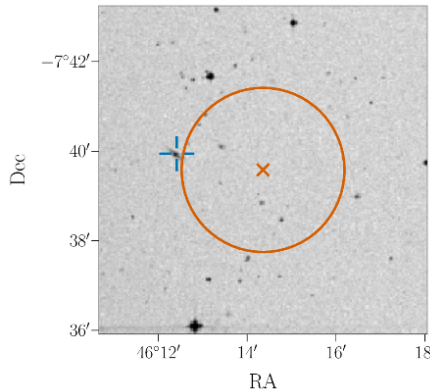


Figura 5: In questa immagine il cerchio indica la regione di errore per GRB190610A, un GRB che potrebbe avere avuto luogo in una galassia a 165 Mpc di distanza (circa 600 milioni di anni luce), indicata dalla croce centrale. Questa distanza è maggiore della nostra distanza di esclusione per questo GRB e quindi non possiamo scartare la possibilità di un'associazione.

GLOSSARIO

Anno luce: Unità di distanza equivalente alla distanza attraversata dalla luce in un anno. Un anno luce equivale a circa 9460 miliardi di km.

Buco nero: Una regione di spazio-tempo prodotta da una massa estremamente compatta dove la gravità è così intensa che impedisce ad ogni cosa di uscire, compresa la luce.

Chirp: Un chirp è il nome del segnale di onda gravitazionale che osserviamo tipicamente quando coppie di oggetti superdensi come buchi neri o stelle di neutroni orbitano uno intorno all'altro prima di fondersi. In un segnale chirp, la frequenza e l'ampiezza del segnale crescono nel tempo.

Collasso del nucleo di una stella massiccia: Stelle massicce producono ferro per mezzo della fusione nucleare. Il ferro prodotto affonda verso il centro della stella e ne forma il nucleo. Quando è abbastanza pesante, questo nucleo di ferro collassa a causa del suo stesso peso e della pressione esterna, portando al collasso dell'intera stella.

Lampi gamma: Brevi lampi di fotoni molto energetici chiamati raggi gamma. I lampi gamma (GRB) di solito durano fino ad alcune decine di secondi.

LIGO: Il Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory consiste di due rivelatori interferometrici con bracci di 4-km, separati da circa 3000 km e collocati a Livingston (Louisiana) e Hanford (Washington) negli Stati Uniti.

Megaparsec (Mpc): Unità di distanza astronomica, uguale a circa 3.26 milioni di anni luce.

p-value: Misura di significatività statistica di una certa osservazione. Il p-value risponde approssimativamente alla domanda "quant'è probabile che ciò sia un risultato del rumore di fondo?". Segnali con p-valori bassi hanno una maggiore probabilità di essere dovuti a vere onde gravitazionali.

Radiazione elettromagnetica (EM): Radiazione comunemente nota come luce, benché solo una piccola parte possa venire vista dall'occhio umano. In ordine crescente di energia, i tipi di radiazione elettromagnetica includono: radio, visibile, ultravioletto, raggi X, raggi gamma.

Raggi gamma: Radiazione elettromagnetica alla più alta energia dello spettro elettromagnetico.

Stella di neutroni: Oggetto estremamente denso che resta dopo il collasso di una stella massiccia. Una stella di neutroni tipica ha una massa mezzo milione di volte quella della Terra, ma un diametro di soli 30 km.

Supernova: Una violenta esplosione, spesso osservata come un oggetto che appare improvvisamente nel cielo e che poi sparisce lentamente. Una supernova può essere più brillante della galassia che la ospita. Ci sono diversi tipi di supernovae, alcune vengono dal collasso di stelle massicce, altre possono venire dalla collisione di due stelle nane bianche.

Virgo: Il rivelatore Virgo detector è un interferometro che si trova presso Cascina, vicino a Pisa.

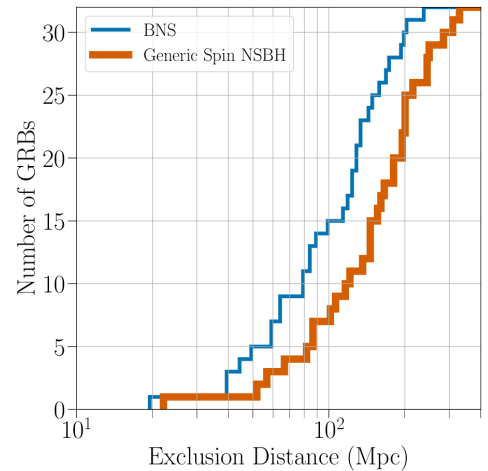


Figura 3: In questo grafico mostriamo il numero di GRB con distanze di esclusione minori od uguali ad un certo valore, che calcoliamo nella nostra ricerca con modello. La distanza di esclusione per ogni ricerca ci dice qual è la minima distanza alla quale si può trovare la sorgente del GRB senza che venga rivelata un'onda gravitazionale (assumendo un particolare modello). Calcoliamo queste distanze aggiungendo un segnale gravitazionale simulato di ampiezza variabile nei dati, in prossimità del tempo in cui è stato osservato un particolare GRB. La distanza più prossima per cui si recupera meno del 90% dei segnali simulati è la distanza di esclusione e ci dice che assumendo un particolare tipo di sorgente gravitazionale, vale a dire la fusione di una stella di neutroni binaria (BNS, linea sottile) oppure quella di una coppia buco nero-stella di neutroni (NSBH, linea spessa), il GRB deve aver avuto origine al di là di questa distanza. L'asse della distanza è in unità di **Megaparsec (Mpc)**.

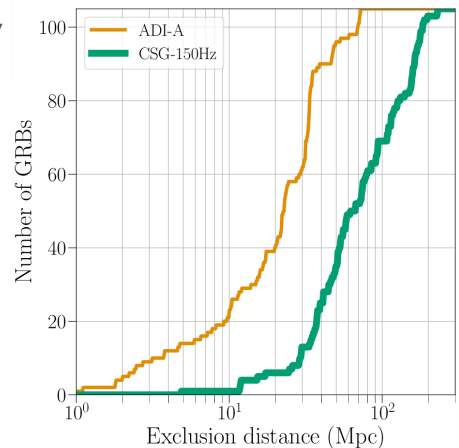


Figura 4: Lo stesso tipo di grafico della Figura 3, ma per il metodo generico che non assume segnali di tipo chirp. I segnali gravitazionali simulati usati in questo caso sono basati su due diversi tipi di emissione di GRB. Il primo modello è chiamato ADI-A, e descrive la radiazione gravitazionale entro il disco di materia che circonda un buco nero. Il secondo, CSG, rappresenta un segnale sinusoidale con modulazione Gaussiana, una semplice approssimazione di un lampo di onde gravitazionali. L'asse della distanza è in unità di **Megaparsec (Mpc)**.

PER SAPERNE DI PIÙ:

Visitate i nostri siti web:

<http://www.ligo.org>, <http://www.virgo-gw.eu>

Leggete l'articolo completo gratis online [qui](#).

[Link](#) per tornare all'originale inglese.