

NUOVI VINCOLI SULLE STRINGHE COSMICHE OTTENUTI CON I DATI DEL TERZO PERIODO OSSERVATIVO DI ADVANCED LIGO-VIRGO

INTRODUZIONE

L'espansione dell'Universo è accompagnata da un suo graduale raffreddamento. Questo processo può portare alla creazione di [stringhe cosmiche](#): si tratta di [difetti topologici](#) unidimensionali la cui energia è concentrata lungo una linea. Le stringhe cosmiche sono analoghe alle crepe che possono comparire nel ghiaccio quando l'acqua gela. Nell'Universo le stringhe cosmiche hanno in generale una certa curvatura, evolvono, e possono formare curve chiuse a causa delle loro interazioni.

Le stringhe cosmiche esistono in molte [teorie quantistiche dei campi](#) motivate dalla fisica delle particelle e sono oggetto di parecchie predizioni osservative. Questo significa che le stringhe cosmiche potrebbero essere un mezzo per andare alla caccia di fisica oltre il [Modello Standard](#), a scale di energia molto più alte di quelle raggiunte da acceleratori come il [Large Hadron Collider](#) al CERN. In particolare la produzione di segnali di onda gravitazionale da parte di stringhe cosmiche è uno degli identificatori osservativi che possiamo ricercare con rivelatori come [LIGO](#), [Virgo](#) and [KAGRA](#).



Figura 1: Illustrazione delle cuspidi, dei kink e delle collisioni kink-kink. [Credito dell'immagine: [Long, Hyde and Vachaspati](#)]

ONDE GRAVITAZIONALI EMESSE DA STRINGHE COSMICHE CHIUSE

Le stringhe cosmiche chiuse oscillano e irradiano energia, principalmente sotto forma di onde gravitazionali, e conseguentemente si rimpiccioliscono e alla fine spariscono. Lo spettro di onde gravitazionali di una stringa cosmica chiusa è dominato dalle loro cuspidi e kink. Le cuspidi sono punti sulla stringa che per breve tempo viaggiano alla velocità della luce, mentre i kink sono discontinuità che compaiono a coppie quando le stringhe collidono e si scambiano frammenti di stringa. Molti di questi transienti gravitazionali si possono sommare tra loro e contribuire al fondo gravitazionale stocastico (vale a dire casuale). Occasionalmente segnali transienti possono avere un'ampiezza superiore al fondo stocastico – come una voce solitaria che si sente al di sopra del chiacchiericcio di una folla – e potrebbero così venire rivelati individualmente.

Abbiamo cercato segnali di onde gravitazionali prodotte da cuspidi, kink e collisioni kink-kink (si veda la **Figura 1**) nei dati che abbiamo raccolto con i rivelatori Advanced LIGO e Advanced Virgo durante il loro terzo periodo osservativo, indicato con l'acronimo O3. Abbiamo considerato due modelli analitici (chiamati A e B) che descrivono la distribuzione delle stringhe cosmiche chiuse, basati sui risultati di due diverse simulazioni al computer. Inoltre abbiamo sviluppato un terzo modello (chiamato C) che è stato pensato per essere più "agnostico", e che interpola tra i modelli A e B; nella nostra ricerca abbiamo considerato due varianti (C-1 e C-2) di questo modello.

ANALISI E RISULTATI

Abbiamo usato i dati dei rivelatori LIGO e Virgo per cercare possibili segnali provenienti da singole stringhe cosmiche e da un fondo stocastico dovuto a stringhe cosmiche utilizzando ciascuno di questi modelli. Per la ricerca di transienti abbiamo anzitutto identificato candidati con una forma d'onda gravitazionale corrispondente a quella predetta e quindi abbiamo fatto uso di ulteriori metodi di analisi per calcolare la probabilità che ogni candidato fosse dovuto ad una stringa cosmica piuttosto che al rumore dei rivelatori. La ricerca del fondo stocastico è stata realizzata calcolando la [densità di energia](#) dei segnali di onda gravitazionale dovuti alle stringhe cosmiche che è predetta da ciascuno dei modelli che abbiamo considerato; queste predizioni sono state quindi confrontate con i risultati osservativi dei rivelatori utilizzando l'assenza di segnale per mettere dei limiti superiori sulla densità di energia. Benché non siano stati osservati segnali da stringhe cosmiche, la nostra analisi ci ha permesso di vincolare due parametri dei modelli di stringhe cosmiche, la tensione di stringa e il numero di kinks per stringa chiusa, per ciascuno dei modelli di distribuzione delle stringhe chiuse – in modo da rendere questi parametri coerenti con l'assenza di osservazioni.

Visitate i nostri siti web:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

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



PER SCOPRIRE DI PIÙ

Visitate i nostri siti web:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

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

Leggete un preprint gratuito dell'articolo scientifico completo [qui](#).

Troverete altre informazioni sul concetto generale di onde gravitazionali [qui](#).

Questi vincoli sono mostrati nelle **Figure 2 e 3**. In particolare, abbiamo trovato che la nostra analisi del fondo stocastico di onde gravitazionale fornisce i vincoli più stringenti sulla tensione di stringa.

Abbiamo inoltre confrontato i nostri risultati con i limiti ottenuti per mezzo delle misure con il [pulsar timing array](#), e con i limiti indiretti ottenuti con l'analisi della [nucleosintesi primordiale](#) e con le osservazioni della [radiazione cosmica di fondo](#).

Il [prossimo periodo osservativo, O4](#), ci darà nuove opportunità per cercare segnali di onde gravitazionali provenienti da stringhe cosmiche, dopo gli aggiornamenti che avranno reso i rivelatori LIGO e Virgo ancora più sensibili e dopo che il rivelatore KAGRA si sarà aggiunto alla rete globale.

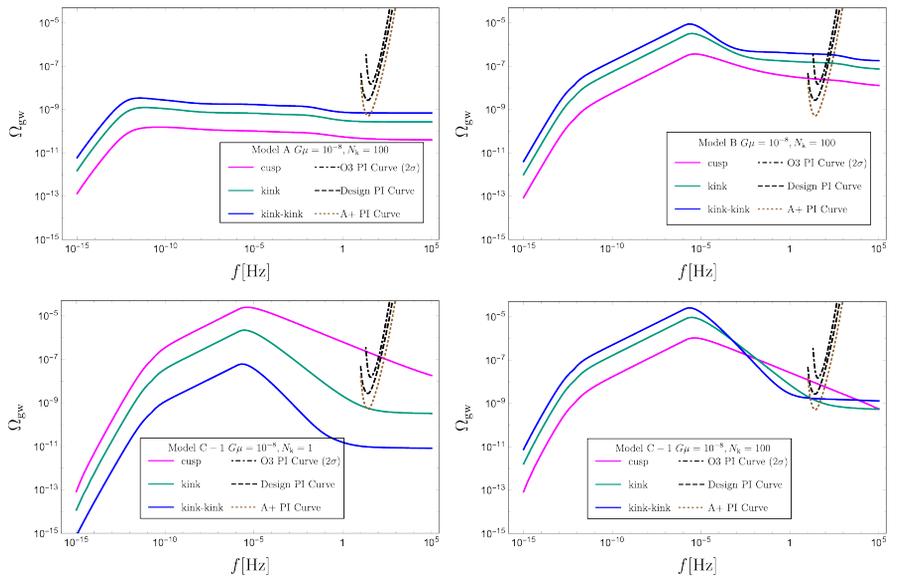


Figura 2: Spettri della densità di energia predetti dai diversi modelli (chiamati A, B, C-1) per la funzione di distribuzione delle stringhe chiuse, con un numero variabile N_k di kinks per oscillazione. La tensione di stringa $G\mu$ è fissa a 10^{-8} . Si noti che G indica la costante di Newton e che μ indica la densità di massa lineare della stringa. In alto a sinistra: modello A, $N_k = 100$. In alto a destra: modello B, $N_k = 100$. In basso a sinistra: modello C-1, $N_k = 1$. In basso a destra: modello C-1, $N_k = 100$. Vengono mostrati anche gli spettri di densità di energia delle tre diverse componenti e le curve di sensibilità a 2- σ per la ricerca stocastica e le proiezioni alla sensibilità di progetto per la rete di rivelatori LIGO Hanford, LIGO Livingston e Virgo, e per i rivelatori [Advanced LIGO+](#).

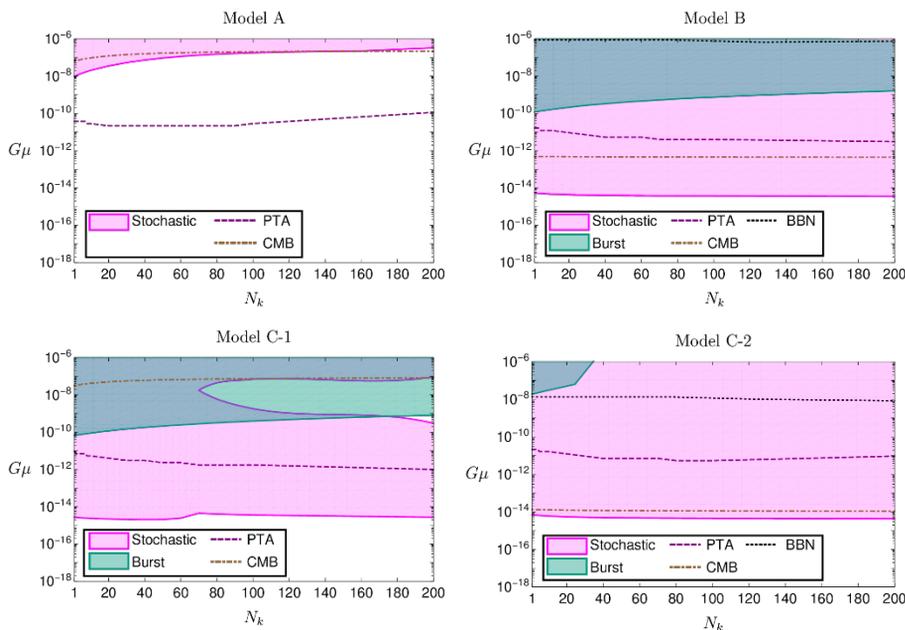


Figura 3: I contorni di esclusione di Advanced LIGO-Virgo, al livello di confidenza del 95%, nello spazio dei parametri delle stringhe cosmiche (N_k ; $G\mu$), derivati dalla ricerca stocastica (rosa), dalla ricerca dei transienti (verde chiaro) e da entrambe le ricerche (verde scuro). I contorni indicano le regioni dello spazio dei parametri che siamo sicuri al 95% di poter escludere. Vengono considerati quattro modelli che descrivono la distribuzione delle stringhe cosmiche chiuse: il modello A (in alto a sinistra), il modello B (in alto a destra), il modello C-1 (in basso a sinistra) e il modello C-2 (in basso a destra). Si noti che i risultati della ricerca stocastica combinano i dati dei periodi osservativi O1, O2 e O3 mentre la ricerca dei transienti include solo i dati di O3.