

Gravitational-Wave Polarizations: a Fundamental Test of Gravity

Tesi di Laurea Magistrale in Fisica - Classe LM 17
Sapienza Università di Roma

Studente: Samuel Patrone¹,
Relatore: Francesco Pannarale^{1,2}, and
Co-Relatore: Alan J. Weinstein³

¹INFN, Sezione di Roma I, 00185 Roma, Italy

²Sapienza Università di Roma, 00185 Roma, Italy

³California Institute of Technology, 91125 Pasadena (CA), USA

Sintesi

La recente rivelazione sperimentale delle Onde Gravitazionali (GW) mediante gli interferometri della collaborazione scientifica internazionale LIGO-VIRGO ha aperto la strada a nuove ed inedite possibilità per testare la teoria della Relatività Generale (GR). Ad oggi, sono state elaborate numerose teorie metriche di gravità perfettamente compatibili con le verifiche sperimentali in regime di campo debole (ad esempio, test di gravità locali nel sistema solare). Tuttavia, queste ultime tendono a fare previsioni differenti in regime di campo forte: in particolar modo, le deviazioni maggiori dalla GR vengono osservate nelle caratteristiche peculiari delle GW prodotte da eventi estremi, come la coalescenza di sistemi binari supermassivi.

La prima parte della tesi è dedicata ad un'illustrazione teorica del fenomeno della radiazione gravitazionale in una generica teoria metrica di gravità. In particolare, si è mostrato come ogni teoria metrica alternativa preveda fino a quattro gradi di polarizzazione aggiuntivi nelle GW, proibite nel contesto della GR dalle equazioni di Einstein: questo risultato teorico rende la misura delle polarizzazioni uno dei più forti test fondamentali di gravità a nostra disposizione.

Nella parte centrale della dissertazione, sono stati analizzati in dettaglio i principi di funzionamento degli interferometri gravitazionali e le moderne tecniche di analisi dati utilizzate nell'ambito della rivelazione sperimentale delle GW. Si è mostrato come la risposta in ampiezza di un singolo interferometro ad ogni grado di polarizzazione dell'onda sia determinato esclusivamente dalla geometria del sistema sorgente-rivelatore, prescindendo dalle altre caratteristiche dell'onda (come l'evoluzione di fase), dipendenti dalla specifica teoria metrica in cui la GW è stata prodotta. La non-degenerazione della risposta degli interferometri ai diversi gradi di polarizzazione è un risultato cruciale in quanto si riflette in una possibilità di misura diretta delle polarizzazioni, sfruttando l'analisi combinata dei segnali rivelati da una rete di interferometri.

L'ultima parte della tesi è dedicata all'analisi dei risultati di uno studio fenomenologico originale e indipendente condotto dall'autore, il quale mostra come sia possibile inferire, in un contesto di analisi bayesiana, il contenuto completo di polarizzazione di una GW transiente, sfruttando la risposta combinata del futuro network di cinque interferometri. Si è analizzata la risposta della rete di interferometri a dei segnali simulati, con contenuto di polarizzazione variabile, dimostrando come sia possibile disaccoppiare con accuratezza le ampiezze dei diversi gradi di polarizzazione. La precisione nell'estrazione del contenuto di polarizzazione dell'onda è limitata dal rapporto segnale-rumore (signal-to-noise ratio o SNR) della risposta e migliora con l'aumento del SNR totale nel network. Vi sono alcune eccezioni, dovute essenzialmente a distribuzioni di SNR non uniformi nella rete di interferometri o a fluttuazioni statistiche del sampler bayesiano.

Il codice che ha reso possibile le simulazioni è stato scritto quasi interamente *ab ovo* dall'autore ed è molto flessibile, permettendo l'aggiunta di interferometri terrestri a due o tre braccia in qualsivoglia posizione. Studi preliminari sulla sensibilità del network sono di cruciale importanza in quanto possono determinare evidenze in favore di particolari configurazioni piuttosto che altre per i futuri strumenti. Infine, la metodologia sviluppata su dati simulati permette, utilizzando le curve di rumore reali degli strumenti, di porre dei limiti inferiori alle ampiezze rivelabili dal network di interferometri, le quali possono essere direttamente confrontate con le ampiezze teoriche previste in teorie metriche non-GR.

Ribadiamo che la rivelazione dei gradi di polarizzazione aggiuntivi nelle Onde Gravitazionali costituisce uno dei più potenti test di Relatività Generale a nostra disposizione ed è di fondamentale importanza tanto nella fisica fondamentale, quanto nell'astrofisica delle sorgenti gravitazionali. Una nota tecnica con i risultati di questo studio fenomenologico è stata pubblicata sul LIGO Document Control Center, disponibile al seguente [link](#).