

Introduzione

Il Principio di Equivalenza (PE) è un principio di grande importanza nella fisica moderna, perché su di esso si fonda la teoria della Relatività Generale di Einstein, ancora oggi una delle migliori teorie della gravitazione. Questo principio afferma l'equivalenza tra massa inerziale e massa gravitazionale, e la verifica della sua validità è stata oggetto di molti esperimenti svolti nel corso di questo secolo con sempre maggiore precisione.

La missione spaziale Galileo Galilei (GG) si propone di verificare questa equivalenza con una precisione di ben cinque ordini di grandezza maggiore rispetto a quella ottenuta nei migliori esperimenti condotti a terra fino a questo momento. Raggiungere questo obiettivo è possibile in virtù delle caratteristiche innovative di questo progetto. L'idea di utilizzare un laboratorio sospeso all'interno di un satellite in orbita bassa attorno alla Terra, infatti, permette di realizzare, sfruttando l'assenza di peso, un accoppiamento debole delle masse che risulti sensibile anche ad accelerazioni molto piccole; inoltre, il segnale atteso per un'eventuale violazione del principio di equivalenza nello spazio è circa tre ordini di grandezza maggiore rispetto a quello che si avrebbe in un laboratorio a terra.

Tuttavia l'aspetto più innovativo di questo progetto è quello di avere l'intero apparato sperimentale, costituito da due cilindri di prova coassiali realizzati in materiali diversi all'interno di un piccolo laboratorio (PGB), in rapida rotazione attorno al proprio asse di simmetria. Questa rotazione determina una modulazione ad alta frequenza dell'eventuale segnale atteso, riducendo il rumore tipico delle basse frequenze.

Allo scopo di testare il sistema di lettura e l'apparato sperimentale che verrà utilizzato nella missione spaziale, è attualmente in fase di realizzazione un altro progetto, *Galileo Galilei on the Ground (GGG)*, costruito a Firenze presso i laboratori della Laben. Pur essendo nato dall'esigenza di collaudare gli strumenti ideati per GG, questo progetto assume anche una notevole importanza nel panorama delle verifiche a terra del PE, poiché si propone di raggiungere una precisione di un ordine di grandezza maggiore rispetto ai precedenti esperimenti.

La struttura principale dell'apparato è molto simile a quella del progetto spaziale, anche se, dovendo rispondere alle esigenze di una misura a terra, sono state fatte importanti modifiche, soprattutto sulle sospensioni che devono essere in grado di sostenere la forza peso. Anche i problemi da studiare e

risolvere in questo caso sono diversi: ad esempio non si presenta il problema del *drag* atmosferico ma abbiamo da eliminare il rumore sismico.

In tale contesto si colloca questo lavoro di tesi: l'obiettivo di questo studio è quello di indagare l'effetto della marea lunisolare sull'apparato sperimentale terrestre, analizzare il rumore che provoca e proporre eventuali strategie per eliminare o controllare tale effetto perturbativo.

Il primo capitolo è dedicato al Principio di Equivalenza, alle definizioni date nel corso del tempo da Galileo fino ad Einstein, ad una descrizione dei principali metodi usati per verificarne la validità e, infine, al progetto del satellite GG. In particolare, si è cercato di mettere in evidenza gli aspetti innovativi di questa missione spaziale, facendo un confronto con altri esperimenti scientifici attualmente in fase di realizzazione.

Nel secondo capitolo, invece, si è dato grande spazio al prototipo a terra GGG. Dopo una descrizione dell'apparato e delle sue principali caratteristiche, si è mostrato quale sia il segnale che ci aspettiamo di poter rivelare nel caso di una violazione del Principio di Equivalenza. Particolare attenzione è stata dedicata al modello matematico con il quale si schematizza il sistema GGG e alle approssimazioni necessarie per questo studio. Un'analisi approfondita, infatti, mostra come sia indispensabile valutare in maniera rigorosa tutte le approssimazioni introdotte nel modello dell'apparato e come, dunque, non sia facile trattare anche con forze di cui ben conosciamo l'andamento, come la forza gravitazionale terrestre. In questo lavoro, ad esempio, è stata proposta una piccola modifica al modello utilizzato fino a questo momento, introducendo la non perfetta sfericità della Terra.

Sono state invece omesse le motivazioni che stanno alla base della scelta del Sole come sorgente del segnale da rilevare e della scelta dell'attuale configurazione geometrica del prototipo: poiché in questo progetto sono coinvolti molti ricercatori, si è preferito dare soltanto dei riferimenti bibliografici per questioni basilari per questo lavoro ma già affrontate in altri contesti, in modo da lasciar maggior spazio ai risultati originali ottenuti.

Il terzo capitolo è dedicato all'analisi della forza mareale provocata da una massa gravitazionale perturbante quale può essere il Sole o la Luna. Per poter comprendere a fondo la natura di questa forza e la perturbazione che provoca, si è descritto prima il fenomeno nel suo insieme, ricavando il potenziale mareale, e poi si è studiato, in formulazione lagrangiana, l'effetto delle forze di marea su una massa sospesa. Alla fine di questo capitolo si è anche accennato ai motivi per cui tale forza costituisca uno dei maggiori *noise* nell'esperimento GGG.

Infine, nel quarto ed ultimo capitolo si affronta il problema della difficoltà di distinguere il segnale provocato dalla marea da quello atteso per la violazione del Principio di Equivalenza. Sviluppando un'analisi armonica del potenziale mareale, infatti, si è mostrato come questo rumore sia in diretta competizione con il segnale da rilevare: dato che entrambi sono originati dalla stessa sorgente, hanno circa lo stesso periodo, ma il segnale mareale è di vari ordini di grandezza maggiore rispetto a quello di violazione. La soluzione al problema sviluppata in questo studio è quella di utilizzare le effemeridi dei pianeti per costruire un segnale che riproduca teoricamente l'accelerazione dovuta alla marea lunisolare che agisce sull'apparato. In questo modo, il segnale ottenuto dalla simulazione teorica può essere sottratto ai dati raccolti sperimentalmente. Altre simulazioni, fatte sempre a partire dalle effemeridi, forniscono l'andamento in funzione del tempo dell'accelerazione attesa per una violazione del Principio di Equivalenza.

I dati relativi alle effemeridi dei pianeti sono stati presi dal *Serveur d'éphémérides du Bureau des Longitudes*, al quale rivolgiamo un sentito ringraziamento. Per quanto riguarda le simulazioni numeriche, invece, i programmi utilizzati per analizzare i dati e per realizzare i grafici sono *Mathematica* e *Excel*.