

## LA MISURAZIONE PIÙ ACCURATA DEL PRINCIPIO DI EQUIVALENZA

*Il principio di equivalenza debole, alla base della teoria della relatività generale di Einstein, sopravvive a un altro test, il più rigoroso mai realizzato, basato sui dati raccolti dal satellite francese Microscope tra il 2016 e il 2018. I risultati, presentati in una serie di articoli sulle riviste Physical Review Letters e Classical and Quantum Gravity, escludono qualsiasi deviazione dall'attuale comprensione della relatività generale a meno di una parte su mille milioni di milioni. Da MEDIA INAF del 15 settembre 2022 riprendiamo, con autorizzazione, un articolo di Claudia Mignone.*



A sinistra, illustrazione del satellite Microscope. Crediti: Cnes 2015

A destra, i cilindri dell'esperimento a bordo del satellite Microscope. Crediti: Onera 2014

È uno dei capisaldi della fisica: tutti i corpi in un campo gravitazionale, se nessun'altra forza agisce su di essi, cadono allo stesso modo, indipendente dalla loro massa o composizione. Un'idea sviluppata originariamente da Galileo alla fine del Cinquecento, questo concetto ha trovato la sua formulazione moderna nel **principio di equivalenza debole** di Albert Einstein, aspetto chiave della sua teoria della **relatività generale**, pubblicata nel 1915.

Testare questo principio sulla terra, però, ha una serie di limitazioni legate all'attività sismica e altre perturbazioni, ed è solo possibile fino a una parte su  $10^{13}$  (ovvero una parte su dieci milioni di milioni). Così, nel 2016, il Centre national d'études spatiales (Cnes) francese ha lanciato, nel 2016, il satellite Microscope, per misurare, con precisione elevatissima, l'accelerazione di due corpi diversi in caduta libera nello spazio.

I primi risultati della missione, pubblicati a un anno dal lancio, avevano già migliorato i vincoli raggiunti con esperimenti a terra di un fattore dieci. Adesso, grazie all'analisi completa dell'intero set di dati raccolti da Microscope fino a fine missione, nel 2018, è stato possibile un ulteriore miglioramento, dimostrando che **le accelerazioni dei diversi corpi a bordo non differiscono più di una parte su  $10^{15}$**  (ovvero una parte su mille milioni di milioni). I risultati sono stati pubblicati ieri in un articolo su *Physical Review Letters* e in un numero speciale della rivista *Classical and Quantum Gravity*.

Verificare il principio di equivalenza debole è cruciale nella ricerca di possibili estensioni alla teoria della relatività generale. In quest'ottica, i nuovi risultati escludono qualsiasi violazione del principio di equivalenza debole e dunque deviazioni dall'attuale comprensione della relatività generale entro i vincoli, molto severi, dell'esperimento. «Abbiamo vincoli nuovi e molto migliori per qualsiasi teoria futura, perché queste teorie non devono violare il principio di equivalenza a questo livello», afferma **Gilles Métris**, ricercatore all'Osservatorio della Costa Azzurra e membro del team Microscope.

Per testare questo principio fondamentale, Microscope misura il **rapporto di Eötvös**, che mette in relazione le accelerazioni di due oggetti in caduta libera con una precisione elevatissima – per l'appunto, una parte su  $10^{15}$ . Il rapporto prende il nome dal fisico ungherese Loránd Eötvös, noto per aver costruito un pendolo, che porta anch'esso il suo nome, con cui mettere alla prova il principio di equivalenza ai primi del Novecento.

Il team di Microscope lo ha misurato monitorando l'accelerazione di **due coppie di cilindri concentrici** in orbita attorno alla Terra. In una delle coppie, entrambi i cilindri sono fatti dello stesso materiale, una lega dei **metalli pesanti platino e rodio**; nell'altra coppia, invece, il cilindro interno è sempre di platino-rodio, mentre quello esterno è fatto di una lega di **metalli leggeri: titanio, alluminio e vanadio**. L'esperimento utilizzava forze elettrostatiche per mantenere le coppie di cilindri nella stessa posizione l'una rispetto all'altra, cercando possibili differenze tra queste forze, indice di una differenza tra le accelerazioni delle due masse di prova.

Se la differenza fosse stata superiore alla precisione dell'esperimento, Microscope sarebbe stato in grado di rilevare una violazione del principio di equivalenza debole: ma non si è riscontrata alcuna differenza, stabilendo così i vincoli più rigidi mai ottenuti sul principio.

I risultati finali della missione aprono la strada a nuovi test, ancora più precisi, del principio di equivalenza debole da realizzare nello spazio, migliorando la configurazione sperimentale – ad esempio, riducendo gli scricchiolii nel rivestimento dei satelliti che hanno influenzato le misurazioni dell'accelerazione oppure sostituendo i cavi con dispositivi senza contatto. Con questi aggiornamenti, affermano i ricercatori, un esperimento satellitare dovrebbe essere in grado di misurare potenziali violazioni del principio di equivalenza debole fino a una parte su  $10^{17}$  (ovvero una parte su centomila milioni di milioni). Ma Microscope deterrà il record ancora per qualche tempo: «per almeno un decennio o forse due, non vedremo alcun miglioramento con un esperimento a bordo di satellite», commenta **Manuel Rodrigues**, scienziato del laboratorio aerospaziale francese Onera e membro del team Microscope.

Claudia Mignone

<https://www.media.inaf.it/2022/09/15/il-test-piu-preciso-del-principio-di-equivalenza/>

<https://www.youtube.com/watch?v=XBIaNQm1trl> (video di MediaInaf TV: "La misurazione più accurata del principio di equivalenza")

Pierre Touboul et al., "Microscope Mission: Final Results of the Test of the Equivalence Principle", *Physical Review Letters*, Vol. 129, Iss. 12, 16 September 2022

Articoli del numero speciale di *Classical and Quantum Gravity*, Volume 39, Number 20, 20 October 2022

V. anche: [https://www.youtube.com/watch?v=73-6EE9hY\\_4](https://www.youtube.com/watch?v=73-6EE9hY_4) (Gabriele Ghisellini, "Il principio di equivalenza")

