

## MISURA ULTRA-PRECISA DELLA ROTAZIONE TERRESTRE

*I ricercatori della Technical University di Monaco sono riusciti a misurare la rotazione terrestre in modo più preciso che mai, utilizzando l'interferometro laser ad anello dell'Osservatorio geodetico Wettzell, in Germania. Le misurazioni verranno utilizzate per determinare la posizione della Terra nello spazio, a beneficio della ricerca sul clima: consentiranno infatti di ottenere modelli climatici più affidabili.*

*Da MEDIA INAF del 22 novembre 2023 riprendiamo, con autorizzazione, un articolo di Maura Sandri.*



*Il laser ad anello di Wettzell è stato continuamente migliorato sin dalla sua messa in servizio.*

*Crediti: Astrid Eckert / Tum*

Vi piacerebbe fare un salto in un seminterrato per vedere quanto velocemente gira la Terra? Ecco, se vi trovaste nei pressi dell'Osservatorio geodetico Wettzell – vicino a Bad Kötzing, su un'ampia sella nella bassa catena montuosa della Foresta Bavarese – potreste effettivamente cogliere l'occasione per andarci, in quel seminterrato, e dare una risposta a questa curiosa domanda. I ricercatori della Technical University of Munich (Tum) hanno apportato migliorie all'**interferometro laser ad anello** che si trova nel seminterrato dell'Osservatorio, e ora il sistema è in grado di fornire dati giornalieri eccezionalmente precisi, cosa che finora non era assolutamente possibile con livelli di qualità paragonabili.

Cosa misura esattamente questo interferometro? Nel suo viaggio attraverso lo spazio, la Terra ruota attorno al proprio asse a velocità leggermente variabili. Inoltre, l'asse attorno al quale gira il pianeta non è completamente statico, traballa leggermente (il termine tecnico, in inglese, è *wobbling*). Questo perché il nostro pianeta non è completamente solido, bensì è formato da varie parti, alcune solide, altre liquide. Quindi, l'interno della Terra è costantemente in movimento. Questi spostamenti di massa accelerano o frenano la rotazione del pianeta, e comportano differenze nella velocità di rotazione che possono essere rilevate utilizzando sistemi di misurazione come il laser ad anello.

«Le fluttuazioni nella rotazione non sono importanti solo per l'astronomia, ma ne abbiamo urgentemente bisogno per creare modelli climatici accurati e per comprendere meglio fenomeni meteorologici come El Niño. Più precisi sono i dati, più accurate sono le previsioni», afferma **Ulrich Schreiber**, alla guida del progetto.

Durante la revisione del sistema, il team ha dato priorità alla ricerca di un buon compromesso tra dimensioni e stabilità meccanica, poiché quanto più è grande un dispositivo di questo tipo, tanto più sensibili sono le

misurazioni che può effettuare. Tuttavia, le dimensioni hanno un impatto non trascurabile sulla stabilità, e quindi sulla precisione.

Un'altra sfida è stata la simmetria dei due raggi laser contrapposti, il cuore del sistema Wettzell. Una misurazione esatta è possibile solo se le forme d'onda dei due raggi laser che si propagano in maniera opposta sono quasi identiche. Tuttavia, il design del dispositivo implica che sia sempre presente una certa asimmetria. Negli ultimi quattro anni, coloro che si occupano di geodesia hanno utilizzato un modello teorico per le oscillazioni laser per catturare questi effetti sistematici, nella misura in cui possono essere calcolati con precisione su un lungo periodo di tempo e quindi possono essere eliminati dalle misurazioni.

Il dispositivo può utilizzare questo nuovo algoritmo correttivo per misurare la rotazione terrestre con una precisione fino a 9 cifre decimali, corrispondenti a **una frazione di millisecondo al giorno**. Per quanto riguarda i raggi laser, equivale a un'incertezza alla 20esima cifra decimale della frequenza della luce, stabile per diversi mesi. Nel complesso, le oscillazioni osservate hanno raggiunto valori fino a **6 millisecondi per periodi di circa due settimane**.

I miglioramenti apportati al laser hanno ora reso possibili periodi di misurazione notevolmente più brevi. I programmi correttivi di nuova concezione consentono al team di acquisire i dati ogni tre ore. «Nelle geoscienze, livelli di risoluzione temporale così elevati sono assolutamente nuovi per i laser ad anello autonomi», afferma **Urs Hugentobler**, professore di geodesia satellitare alla Tum. «A differenza di altri sistemi, il laser funziona in modo completamente indipendente e non richiede punti di riferimento nello spazio. Con i sistemi convenzionali, questi punti di riferimento vengono creati osservando le stelle o utilizzando i dati satellitari. Ma noi siamo indipendenti da questo genere di cose e anche estremamente precisi».

I dati raccolti indipendentemente da osservazioni astronomiche possono aiutare a identificare e compensare errori sistematici in altri metodi di misurazione. L'utilizzo di una varietà di metodi aiuta a rendere il lavoro particolarmente meticoloso, soprattutto quando i requisiti di precisione sono elevati, come nel caso del laser ad anello. In futuro è previsto un ulteriore miglioramento del sistema che consentirà periodi di misurazione ancora più brevi.

Ma come funzionano questi dispositivi? I laser ad anello sono costituiti da un percorso quadrato per il raggio, con quattro specchi completamente racchiusi in un corpo di ceramica, denominato **risonatore**. Ciò impedisce che la lunghezza del percorso cambi a causa di fluttuazioni di temperatura. Una miscela di gas elio/neon all'interno del risonatore consente l'eccitazione del raggio laser, uno in senso orario e uno in senso antiorario. Se non ci fosse il movimento della Terra, la luce percorrerebbe la stessa distanza in entrambe le direzioni. Ma poiché l'apparecchio si muove insieme alla Terra, la distanza di uno dei raggi laser risulta essere più breve, poiché la rotazione terrestre ha l'effetto di avvicinare gli specchi al raggio. Nella direzione opposta, la luce percorre una distanza corrispondentemente più lunga. Questo effetto crea una differenza nelle frequenze delle due onde luminose la cui sovrapposizione genera una nota di battimento che può essere misurata in modo molto esatto. Maggiore è la velocità con cui gira la Terra, maggiore è la differenza tra le due frequenze ottiche. All'equatore la Terra ruota di 15 gradi verso est ogni ora. Ciò genera un segnale di 348,5 Hz nel dispositivo Tum. Le fluttuazioni della durata del giorno si manifestano con valori **da 1 a 3 milionesimi di Hz** (1 – 3 microhertz).

Ciascun lato del laser ad anello nel seminterrato dell'Osservatorio di Wettzell misura **quattro metri**. Questa costruzione è ancorata a una solida colonna di cemento che poggia sul solido substrato roccioso della crosta terrestre, a una profondità di circa sei metri. Ciò garantisce che la rotazione terrestre sia l'unico fattore che influenza i raggi laser ed esclude altri fattori ambientali. La struttura è protetta da una camera pressurizzata che compensa automaticamente le variazioni della pressione dell'aria o della temperatura desiderata di 12 gradi Celsius. Per ridurre al minimo tali fattori, il laboratorio si trova a una profondità di cinque metri sotto una collina artificiale. Sono stati necessari quasi 20 anni di lavoro di ricerca per sviluppare questo sistema di misurazione e ora si raccolgono i frutti: la misurazione della rotazione terrestre più precisa di sempre.

**Maura Sandri**

<https://www.media.inaf.it/2023/11/22/misura-rotazione-terrestre/>

K. Ulrich Schreiber, Jan Kodet, Urs Hugentobler, Thomas Klügel & Jon-Paul R. Wells, "Variations in the Earth's rotation rate measured with a ring laser interferometer", *Nature Photonics*, Published 18 September 2023

