

Trascinati dalla gravità

Grandi sfere ricoperte da specchi orbitano intorno alla Terra insegue da fasci laser.

di Ignazio Ciufolini, Simone Dell'Agnello, Antonio Paolozzi

Nella meccanica di Galileo Galilei ed Isaac Newton i sistemi di riferimento inerziali sono completamente indipendenti dai corpi celesti (mentre il concetto di spazio assoluto è dovuto a Newton).

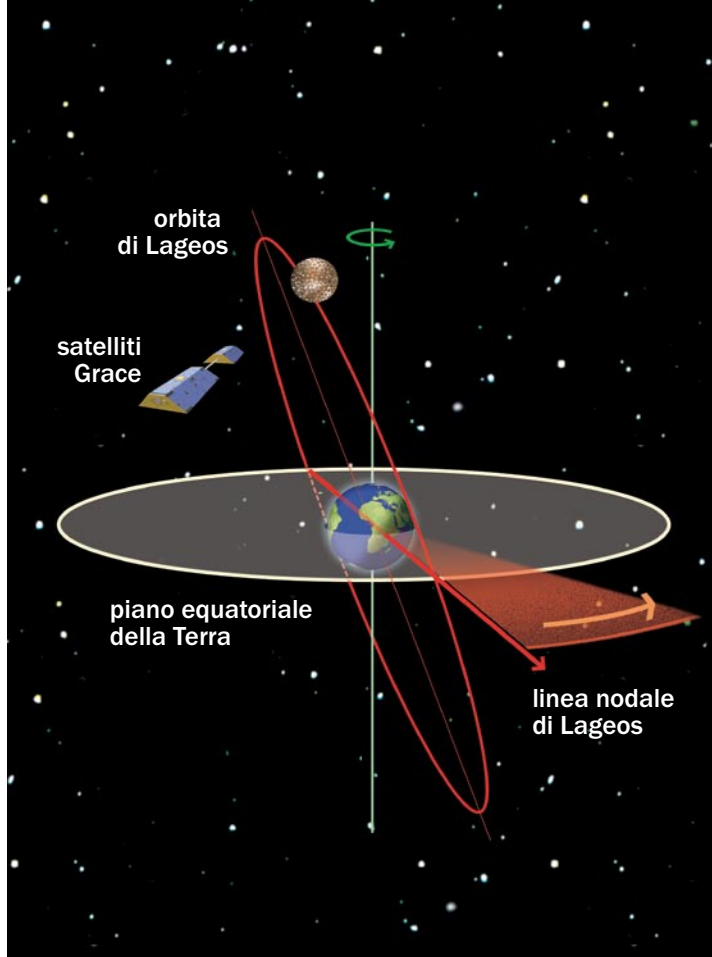
Nella teoria della relatività generale di Einstein non ha senso parlare di un sistema di *riferimento inerziale assoluto*, ma soltanto di sistemi di riferimento inerziali *locali*. Inoltre, questi sistemi di riferimento locali sono influenzati dalle masse presenti nell'Universo ed i loro assi ruotano e cambiano orientazione a causa delle masse in movimento.

La relatività generale e gli esperimenti ci insegnano che viviamo in uno spaziotempo curvo. Questa curvatura è generata dalle masse presenti nell'Universo, e quindi anche dalle masse del Sole e della Terra. La relatività generale, oltre a spiegare l'attrazione gravitazionale con la curvatura dello spaziotempo, prevede anche che un corpo ruotante come la Terra, proprio in virtù del suo momento angolare, generi una curvatura dello spaziotempo in aggiunta a quella dovuta alla sua massa. Come una carica elettrica in movimento genera un campo magnetico, che a sua volta può esercitare una coppia torcente su un momento di dipolo magnetico posto nelle vicinanze, così nella relatività generale una massa in rotazione genera un potenziale gravitazionale, che si aggiunge alla normale attrazione gravitazionale che tiene ad esempio la Luna e i satelliti artificiali in

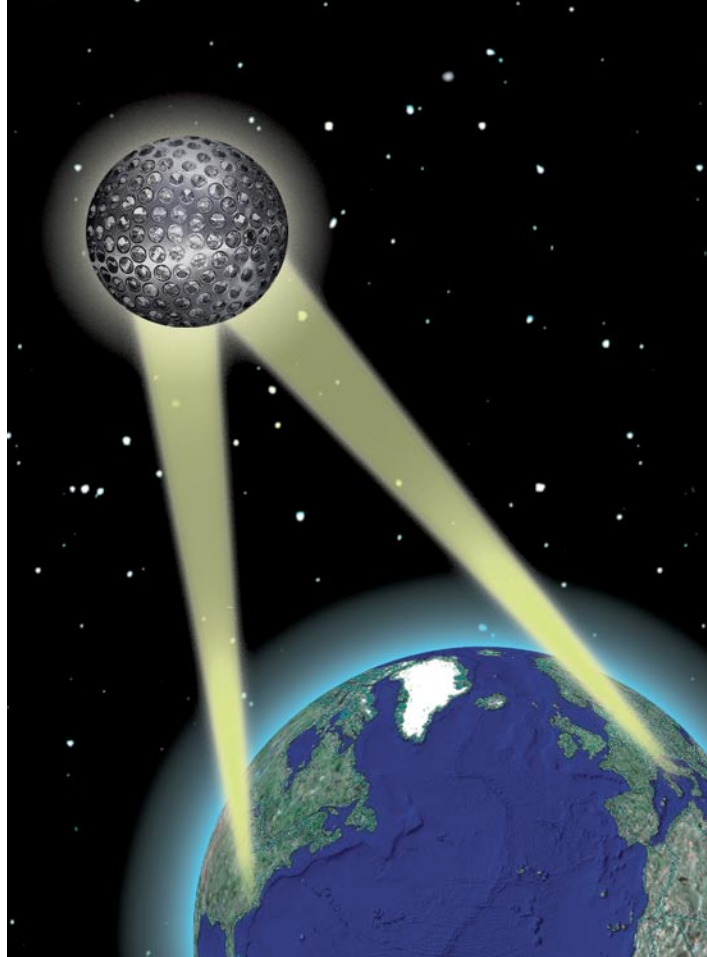
orbita intorno alla Terra. Questo ulteriore potenziale produce una forza torcente, chiamata *gravitomagnetica*. Essa può esercitarsi su una massa posta nelle vicinanze e dotata di momento angolare orbitale (che ruoti come un satellite in orbita attorno alla Terra) o di momento angolare di spin (cioè rotante attorno al proprio asse). Il gravitomagnetismo, conseguenza matematica della relatività generale di Einstein del 1915-16, è stato formalizzato in maniera completa e precisa per la prima volta dai fisici Lense e Thirring nel 1918. Si racconta che Lense, descrivendo il fenomeno ad Einstein, concludesse che questo confermava le sue idee (di Einstein) sul *trascinamento dei sistemi di riferimento inerziali* da parte delle masse in rotazione (*frame dragging*, come lo chiamava Einstein). Lense però pensava che nessuno potesse misurare questo effetto a causa della sua estrema piccolezza. Einstein, invece, osservò che, essendo l'effetto inversamente proporzionale al cubo della distanza, forse un giorno si sarebbe potuto misurarlo mediante un oggetto artificiale molto più vicino alla Terra. Ancora una volta Einstein aveva ragione: quest'oggetto è il satellite artificiale Lageos (*Laser GEodynamics Satellite*) della Nasa (lanciato nel 1976), insieme al suo gemello Lageos II costruito dall'Alenia e lanciato dall'Asi, Agenzia Spaziale Italiana, e dalla Nasa nel 1992 (fig. a). I Lageos sono delle sfere metalliche

la cui superficie è coperta da specchi *retro-riflettori*. Essi sono seguiti da Terra da stazioni laser (fig. b a p. 40), come quella del Centro di Geodesia Spaziale dell'Asi a Matera, che ne calcolano la posizione misurando il tempo di andata e ritorno di impulsi laser (*laser ranging*), con un errore di circa 1 cm. Le loro orbite hanno un'altezza da Terra di circa 6.000 km ed è come se fossero effettivamente trascinate dalla rotazione della Terra lungo il piano equatoriale terrestre, con un effetto però di appena 2 metri l'anno. L'effetto Lense-Thirring è stato misurato coi Lageos nel 2004 con una precisione del 10% (risultato pubblicato su *Nature*). Un altro esperimento sofisticatissimo della Nasa, costato in tutto 760 milioni di dollari e concluso nel 2006, Graviy Probe B (GP-B), sta cercando di compiere la stessa misura utilizzando un giroscopio, ovvero una massa ruotante attorno al proprio asse, su un satellite artificiale.

L'Asi, l'Infn e la Scuola d'Ingegneria Aerospaziale dell'Università La Sapienza di Roma (Sia) hanno in preparazione un nuovo esperimento a basso costo, Lares (*LAser RElativity Satellite*), complementare ai Lageos, che misurerà il gravitomagnetismo con un errore relativo dell'1%. I contributi dell'Infn e della Sia sono la progettazione del satellite Lares e la completa caratterizzazione delle sue prestazioni ottiche e termiche in ambiente spaziale presso la "Space Climatic Facility"



a.



b.

dei Laboratori Nazionali di Frascati dell'Infn. Lares effettuerà anche altri importanti test della gravità, come la rivelazione di ipotetiche nuove forze di debole intensità e a lungo raggio, diverse dalla gravitazione newtoniana, seppure questa sia valida con grande precisione per i satelliti artificiali, la Luna ed i pianeti del sistema solare.

Infine, due applicazioni tecnologiche importantissime dei Lageos sono la *definizione* della posizione del centro di massa della Terra (il geocentro) e di una scala delle lunghezze assoluta per le distanze planetarie, costituita dal raggio dell'orbita dei due satelliti. Il ruolo dei Lageos (e presto anche di Lares) in questo campo è quindi insostituibile.

Biografie

Ignazio Ciufolini professore dell'Università di Lecce è attualmente il Principal Investigator della missione spaziale Lares e ha misurato l'effetto Lense-Thirring con i satelliti Lageos. Assieme al fisico americano J. A. Wheeler ha scritto il libro "Gravitation and Inertia" (Princeton University Press, 1995).

Antonio Paolozzi è professore associato presso la Scuola di Ingegneria Aerospaziale dell'Università di Roma La Sapienza. Si occupa di sensori in fibra ottica, progettazione di satelliti e analisi delle vibrazioni delle strutture spaziali. Attualmente è associato all'Infn-Lnf dove lavora all'esperimento Lares e all'esperimento Cms.

Link sul web

Sito web dell'International Laser Ranging Service (Ilrs)

<http://ilrs.gsfc.nasa.gov/>

Sito web Nasa sulla misura del gravitomagnetismo con i Lageos

www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/earth_drag.html

Sito web dell'esperimento della Nasa Gravity Probe B

<http://einstein.stanford.edu/>

a.
Rappresentazione idealizzata dell'effetto Lense-Thirring, come trascinamento della linea nodale dell'orbita di un satellite. L'effetto viene misurato usando i satelliti Lageos ed i precisissimi modelli del potenziale gravitazionale della Terra forniti dalla coppia di satelliti gemelli Grace.

b.
Rappresentazione grafica dell'inseguimento laser del satellite Lageos II, lanciato dall'Asi e dalla Nasa nel 1992 con il volo Sts-52 dello Space Shuttle Columbia.