

Un nuovo satellite dell'ASI metterà Einstein alla prova

✍ I. Ciufolini 📅 02-05-2022 🔗 <http://www.primapagina.sif.it/article/1498>

La teoria gravitazionale di Einstein, la relatività generale (RG), che rappresenta la gravitazione come curvatura dello spaziotempo, ha avuto eclatanti trionfi sperimentali e teorici. La RG è invero una componente fondamentale per la comprensione di numerose e fondamentali osservazioni astrofisiche e cosmologiche. Descrive l'evoluzione dell'Universo e dei buchi neri e numerose, fondamentali previsioni teoriche della RG sono state confermate sperimentalmente con grande accuratezza; dagli effetti di campo debole e basse velocità nel Sistema Solare alla dinamica delle pulsar binarie e dalle onde gravitazionali ai buchi neri. Inoltre, la RG ha oggi applicazioni pratiche nella ricerca spaziale, nella navigazione nel Sistema Solare, nella geodesia e nell'astronomia; dal sistema satellitare di posizionamento globale (GNSS) alle tecniche di interferometria a lunghissima base (VLBI) e all'inseguimento laser di satelliti (SLR).

Nonostante i grandi trionfi sperimentali della RG, le osservazioni di supernove lontane hanno portato nel 1998 alla sorprendente scoperta della loro accelerazione rispetto a noi. Questa espansione accelerata dell'Universo è stata spiegata mediante "energia oscura" la cui vera natura è oggi uno dei più profondi misteri della fisica. I dati osservativi supportano la sua interpretazione come la costante cosmologica introdotta da Einstein ma il suo valore dovrebbe concordare con le previsioni della teoria quantistica dei campi. Per spiegare l'accelerazione dell'Universo senza energia oscura, sono quindi state proposte modifiche della RG su scala cosmologica, ad esempio le cosiddette teorie $f(R)$. Inoltre, la RG è una teoria classica che non comprende la meccanica quantistica. L'unificazione della RG con la teoria quantistica potrebbe rivelare la natura dell'energia oscura, risolvere il mistero del suo valore e se sia legata alla materia oscura, forma invisibile di materia dedotta dai suoi effetti gravitazionali. La RG prevede poi il verificarsi di singolarità spaziotemporali, eventi in cui ogni teoria fisica conosciuta perde validità, dove la curvatura dello spaziotempo diverge e il tempo perde ogni significato. Per queste ragioni è fondamentale ottenere nuove prove sperimentali della RG.

LARES (LAsER RELativity Satellite) è quindi stato lanciato con successo il 13 febbraio 2012 e ha dato una serie di prove sperimentali della RG e in particolare la prima misura del misterioso fenomeno del "trascinamento dei sistemi inerziali", o "frame-dragging", con un'accuratezza vicina all'uno per cento, ha dato inoltre una prova del principio di equivalenza in forma debole alla base delle teorie della gravitazione cosiddette "viabili".

Nella RG il campo gravitazionale esterno di un corpo sferico rotante e privo di carica è dato dalla sua massa e dal suo momento angolare, mentre nella meccanica di Galilei e Newton il campo esterno di un tale corpo è dato solo dalla sua massa. In effetti, nella RG una corrente di massa-energia genera curvatura dello spaziotempo e quindi influenza il movimento di particelle, luce, l'orientamento dei giroscopi e persino lo scorrere del tempo. Dato che nella RG gli assi dei sistemi di riferimento inerziali locali sono determinati da giroscopi e i giroscopi sono "trascinati" dalle correnti di massa-energia, questo fenomeno è stato appunto chiamato "trascinamento dei sistemi di riferimento inerziali". In campo debole e basse velocità, a causa dell'analogia formale del campo magnetico generato da una corrente elettrica e del relativo comportamento di un dipolo magnetico, questo fenomeno della RG è anche chiamato gravitomagnetismo. Il frame-dragging ha effetti spettacolari e misteriosi vicino ai buchi neri rotanti ed è una componente fondamentale nell'emissione di onde gravitazionali dovute alla collisione di buchi neri rotanti.

LARES 2 è un satellite di nuova generazione, inseguito via laser, dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI). Il lancio è previsto a giugno 2022 con il VEGA C, il nuovo lanciatore di ESA, ASI e AVIO. Grazie alla sua orbita speciale (proposta da Ignazio Ciufolini) e al suo particolare progetto (di Antonio Paolozzi e suo gruppo), insieme ai dati di LARES, LAGEOS (LAsER Geodynamics Satellite, lanciato dalla NASA nel 1976) e LAGEOS 2 (lanciato da ASI e NASA nel 1992),

il nuovo satellite ha lo scopo di fornire il "Santo Graal" di una verifica molto accurata del fenomeno del frame-dragging con un errore vicino a una parte su mille soltanto; inoltre produrrà prove più accurate del principio di equivalenza in forma debole e altre misure di fisica gravitazionale, geodesia spaziale e geodinamica. LARES 2 è costituito da una lega di Inconel 718 con una massa totale di 297,5 kg, un raggio di 212 millimetri e un rapporto superficie/massa molto piccolo, di soli $0,0019 \text{ m}^2/\text{kg}$, per minimizzarne le sue perturbazioni orbitali non gravitazionali. Avrà un semiasse maggiore di 12270 km, un'inclinazione di 70,16 gradi e un'orbita quasi circolare. LARES 2 è ricoperto da 303 piccoli retroriflettori, che riflettono verso la Terra gli impulsi laser, in modo tale da consentire una precisione di posizionamento senza

precedenti al di sotto di 1 millimetro sui suoi 5900 km di altitudine.

[Scopri di più 1, 2, 3, 4, 5](#)

A new ASI satellite will put Einstein to the test

Einstein's gravitational theory of General Relativity (GR), which represents gravitation as spacetime curvature, had an experimental and theoretical triumph. GR is indeed a basic component for understanding a number of fundamental astrophysical and cosmological observations. The evolution of the universe and black holes are described by GR, and a number of fundamental predictions of GR have been experimentally confirmed with impressive accuracy, from weak-field and slow-motion effects in the Solar System to binary pulsars dynamics, and from gravitational waves to black holes. Furthermore, GR has today practical applications in space research, navigation in the Solar System, geodesy and astronomy, from the global positioning satellite system (GNSS) to the techniques of very long baseline interferometry (VLBI) and satellite laser ranging (SLR).

In spite of the experimental triumphs of GR, the observations of distant supernovae led to a discovery in 1998 that they accelerate away from us. This accelerated expansion of the universe is explained by "dark energy", but its nature is today one of the most profound mysteries in physics. Observational data support its interpretation as the cosmological constant introduced by Einstein. However, its current value needs to agree with the expectations of quantum field theory and modifications of GR on cosmological scales, for example the so-called f(R) theories, have been proposed to explain the acceleration of the universe without dark energy. Furthermore, GR is a classical theory that does not encompass Quantum Mechanics. Combining GR with quantum theory might reveal the nature of dark energy and resolve the mystery of its value, and whether it might be related to dark matter, an invisible form of matter inferred from its gravitational effects. Furthermore, GR predicts the occurrence of spacetime singularities, events in which every known physical theory ceases to be valid, the spacetime curvature diverges and time ends. For all these reasons, it is fundamental to further test GR.

LARES (LAsER Relativity Satellite) was successfully launched on February 13, 2012 and it has provided a number of tests of GR and in particular the first test of the intriguing phenomenon of "dragging of inertial frames", or "frame-dragging", with an accuracy near one percent, and a test of the weak equivalence principle, which is at the foundations of most viable theories of gravitation.

In GR the external field of a rotating, uncharged spherical body is given by its mass and by its angular momentum, whereas in the mechanics of Galilei and Newton, the external field of such a body is only given by its mass. Indeed, in GR any current of mass-energy generates spacetime curvature and thus affects motion of particles, light, orientation of gyroscopes and even clocks. Therefore, since in GR the axes of the local inertial frames are determined by gyroscopes and the gyroscopes are dragged by mass-energy currents, such phenomenon is called "dragging of inertial frames". In weak-field and slow-motion, due to its formal analogy of a magnetic field generated by an electric current and the relative behavior of a magnetic dipole, such GR phenomenon is sometimes called gravitomagnetism. Frame-dragging has spectacular and mysterious effects near rotating black holes and is a basic component in the emission of gravitational waves due to the collision of rotating black holes.

LARES 2 is a new generation laser-ranged satellite of the Italian Space Agency (ASI). It is scheduled for launch in June 2022 with VEGA C, the new launching vehicle of ESA, ASI and AVIO. Thanks to its special orbit (proposed by Ignazio Ciufolini) and its special design (by Antonio Paolozzi and his team), coupled with the data of the LARES, LAGEOS (Laser Geodynamics Satellite, launched by NASA in 1976) and LAGEOS 2 (launched by ASI and NASA in 1992), it is aimed to provide the "Holy Grail" of a very accurate test of frame-dragging with an error near one part in a thousand only; furthermore, it will give improved tests of the weak equivalence principle and other measurements of gravitational physics, space geodesy and geodynamics. LARES 2 is made of an Inconel 718 alloy with a total mass of 297.5 kg, a radius of 212 millimeters and a very small surface to mass ratio of only 0.0019 m²/kg to minimize its non-gravitational orbital perturbations. It will have a semimajor axis of 12270 km, an inclination of 70.16 degrees and an almost circular orbit. LARES 2 was designed to be covered with 303 small retroreflectors, which reflect the laser pulses back to Earth, in such a way to allow an unprecedented ranging precision below 1 millimeter over its 5900 km of altitude.

[Learn more about 1, 2, 3, 4, 5](#)



Ignazio Ciufolini - Associato di ricerca al Centro Fermi e già professore di fisica all'Università del Salento, ha pubblicato con i maggiori esperti di relatività come J.A. Wheeler e R. Penrose. Tra i suoi premi internazionali: USA PROSE 1996 (Association of American Publishers) per il miglior testo professionale in fisica e astronomia (con Wheeler); Occhialini 2010 (IOP e SIF); Tomassoni-Chisesi 2001 (Sapienza Università di Roma).

Research associate at Centro Fermi and former professor of physics at the University of Salento, he has published works with the leading experts of relativity such as J.A. Wheeler and R. Penrose. Among his international awards: USA PROSE 1996 (Association of American Publishers) for the best professional book in physics and astronomy (with Wheeler); Occhialini 2010 (IOP and SIF); Tomassoni-Chisesi 2001 (Sapienza Università di Roma).