Missioni Spaziali e Relatività Generale

Stefano Cesare
Thales Alenia Space Italia

22/03/2016

Seminari fisico di aggiornamento e didassi
Dipartimento di Fisica, Torino 22 marzo 2016

ThalesAlenia Space
A Thales / Finmeccanica Company

83230913-DOC-TAS-EN-002

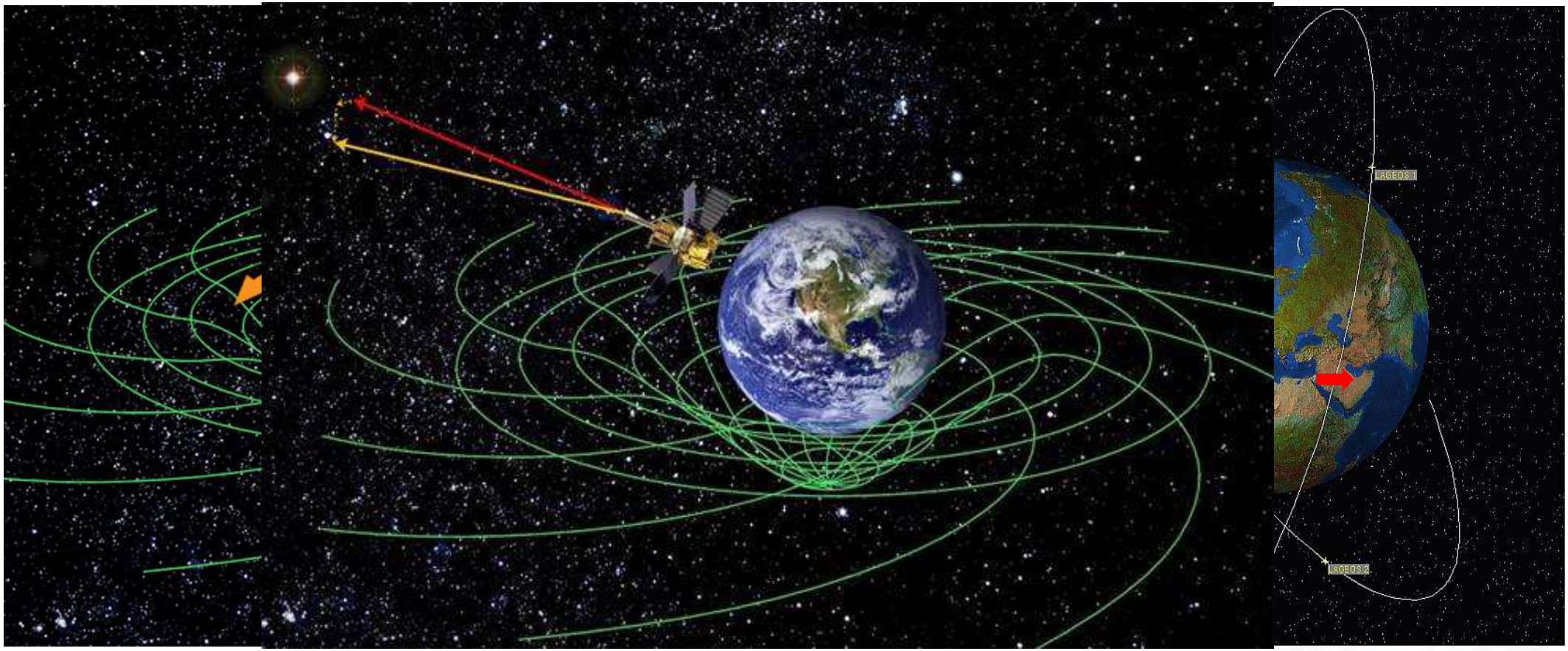
Indice della presentazione

- Missioni spaziali per verificare la teoria della relatività generale.
  - Verifica dell’effetto di trascinamento rotazionale Lense-Thirring
  - Misura dell’effetto della gravità sulle onde elettromagnetiche
  - Misura dell’effetto della gravità sulle orbite planetarie
  - Verifica del principio di equivalenza
  - Rilevazione delle onde gravitazionali

OPEN

This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

Verifica dell’effetto di trascinamento rotazionale Lense-Thirring



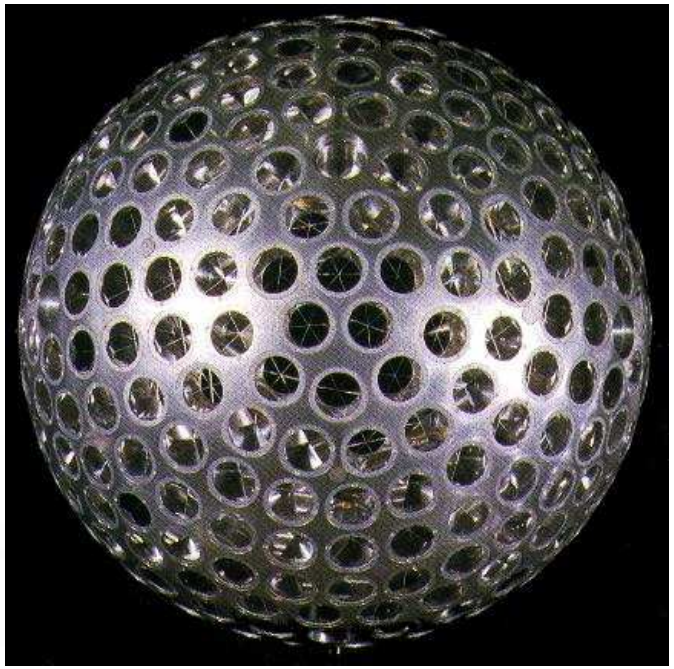
- Secondo la teoria della relatività generale un corpo rotante trascina nel suo moto di anche rotazione anche lo spazio-tempo che lo circonda (effetto di Lense-Thirring).
- Questo trascinamento rotazione produce in particolare la rotazione del piano orbitale di un satellite e la deviazione dell’asse di rotazione di un giroscopio.

OPEN

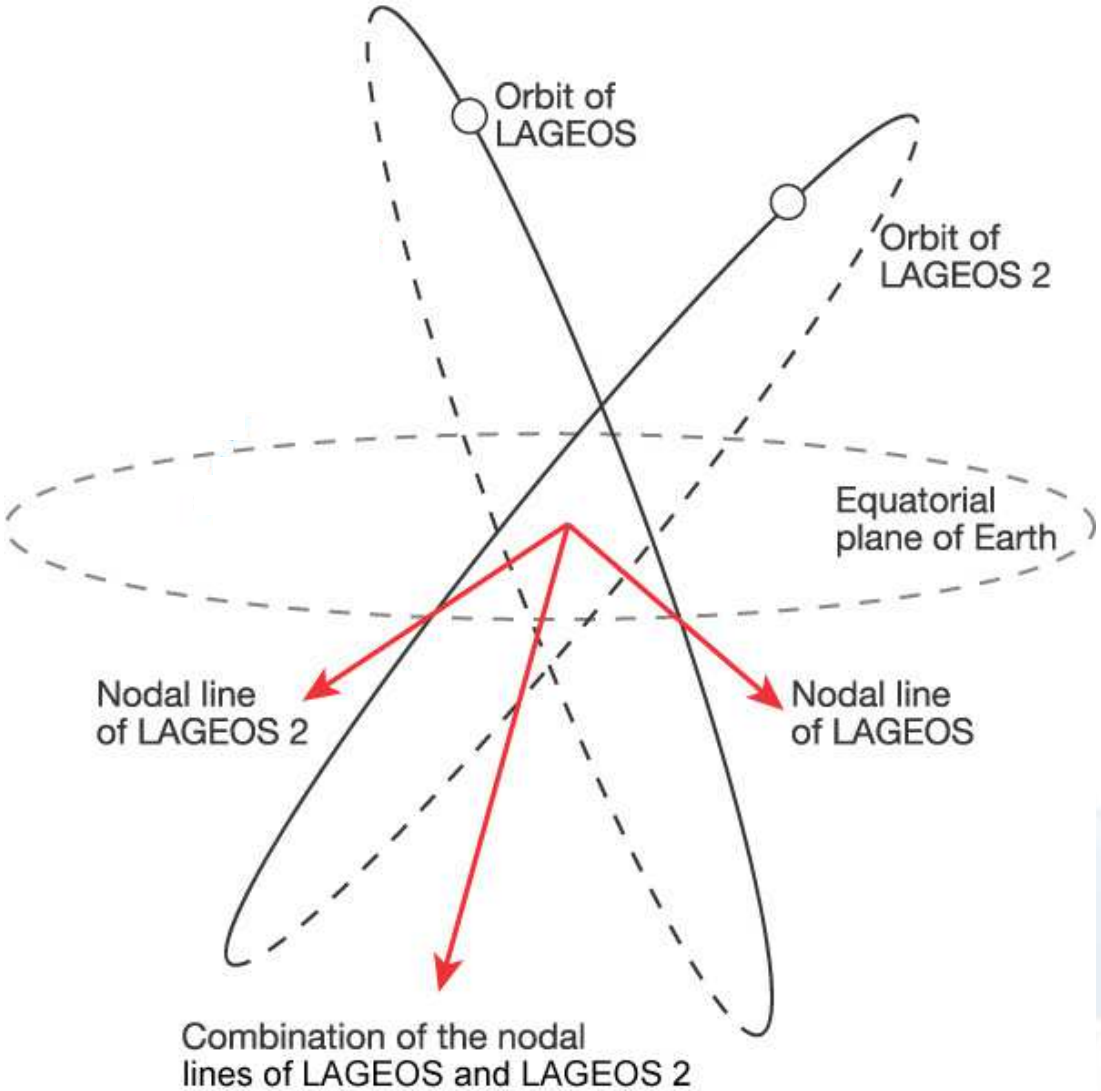
This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

Verifica dell'effetto di trascinamento rotazionale Lense-Thirring

- Satelliti utilizzati per la misura della rotazione dei piani orbitali: LAGEOS 1, LAGEOS 2
- Caratteristiche
  - Diametro: 60 cm
  - Massa: 407 kg (L1), 405 kg (L2)
  - Retro-riflettori laser: 426
  - Altezza: 5900 km (L1), 5800 km (L2)
  - Inclinazione:109.84°(L1), 52.64°(L2)



Laser Geodynamics Satellite (LAGEOS) 1



OPEN

This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

ThalesAlenia Space

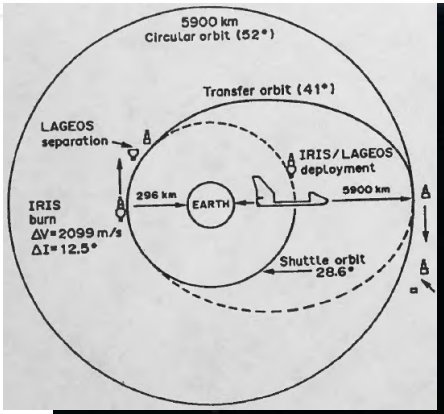
Verifica dell’effetto di trascinamento rotazionale Lense-Thirring

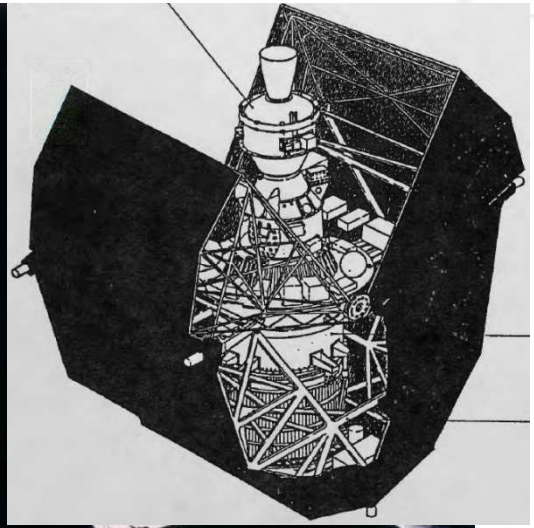
- Lancio dei satelliti:
  - LAGEOS1: 4/05/1976
  - LAGEOS 2: 22/10/1992

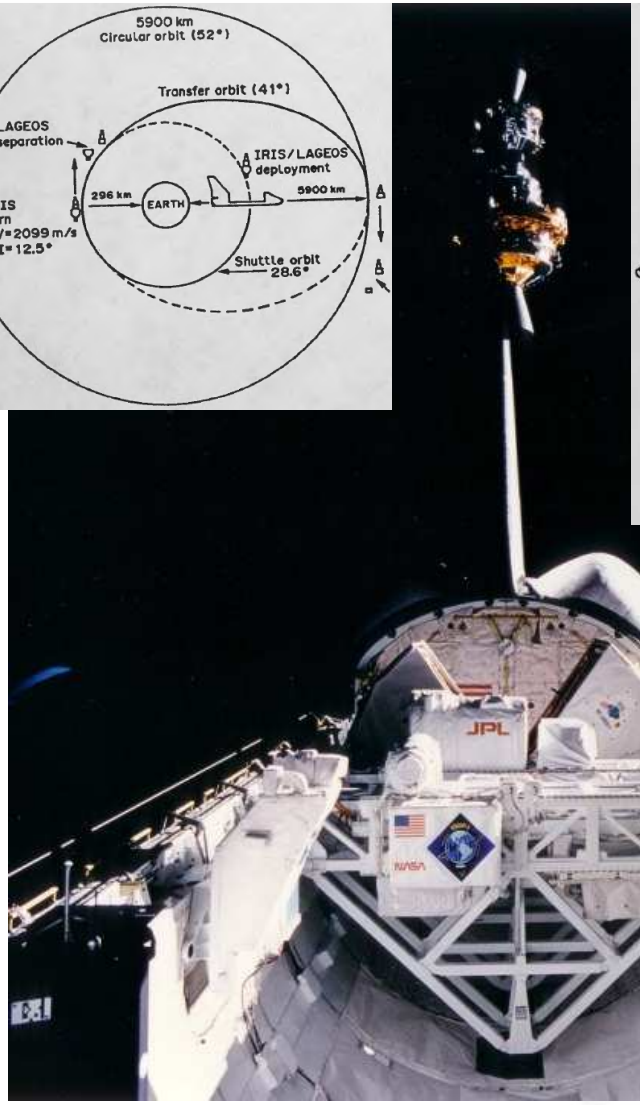
- LAGEOS 2 è stato realizzato a Torino da Alenia Spazio (ora Thales Alenia Space).

- LAGEOS 2 è stato portato in orbita bassa dallo Space Shuttle (missione STS 52) e successivamente trasferito sull’orbita operativa da un sistema di propulsione a doppio stadio (Iris, Mage).

- Il sistema di alloggiamento di LAGEOS 2 nel vano di carico dello Space Shuttle ed il sistema di rilascio in orbita sono stato realizzati sotto la responsabilità di Alenia Spazio.







Rilascio di LAGEOS 2 in orbita dal vano di carico dello Space Shuttle

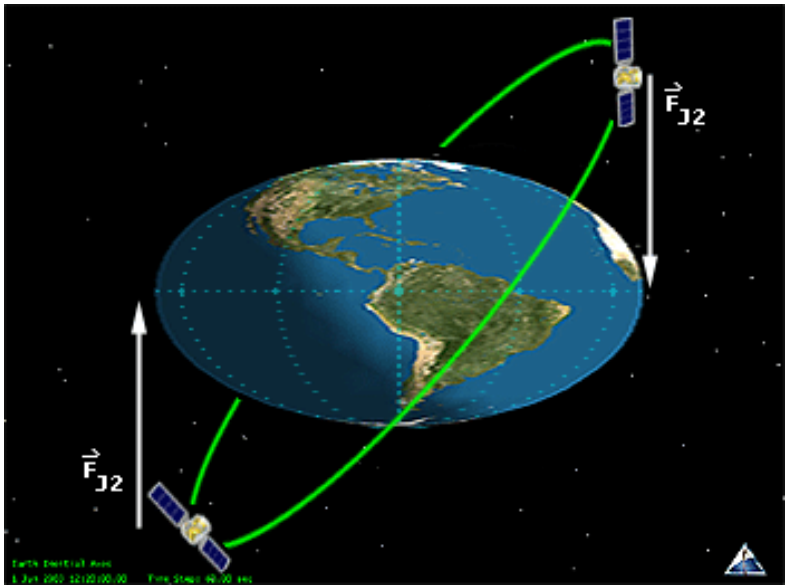
OPEN

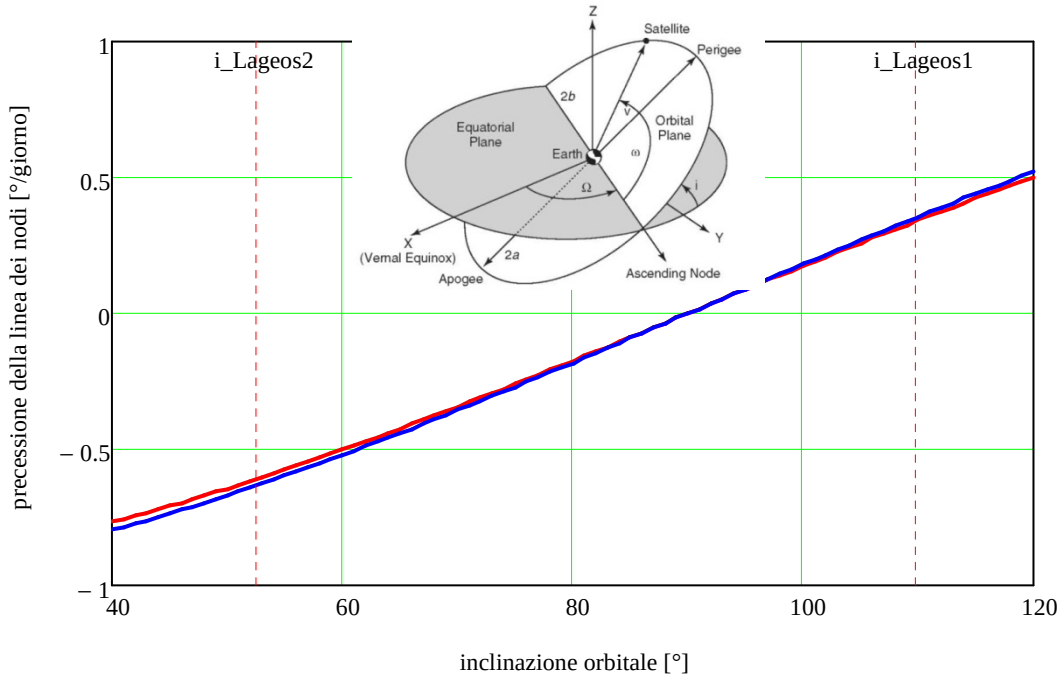
This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

ThalesAlenia Space
A Thales / Finmeccanica Company

Verifica dell'effetto di trascinamento rotazionale Lense-Thirring

- Precessione della linea dei nodi dei satelliti LAGEOS 1 e LAGEOS 2 prodotta dal rigonfiamento equatoriale della Terra (effetto "classico").





$$\left(\frac{d\Omega}{dt}\right)_{J2} = 0.34°/\text{giorno (L1)} \quad \left(\frac{d\Omega}{dt}\right)_{J2} = -0.62°/\text{giorno (L2), rapporto} = 0.545$$

- Precessione della linea dei nodi dei satelliti LAGEOS 1 e LAGEOS 2 prevista dall'effetto di Lense-Thirring.

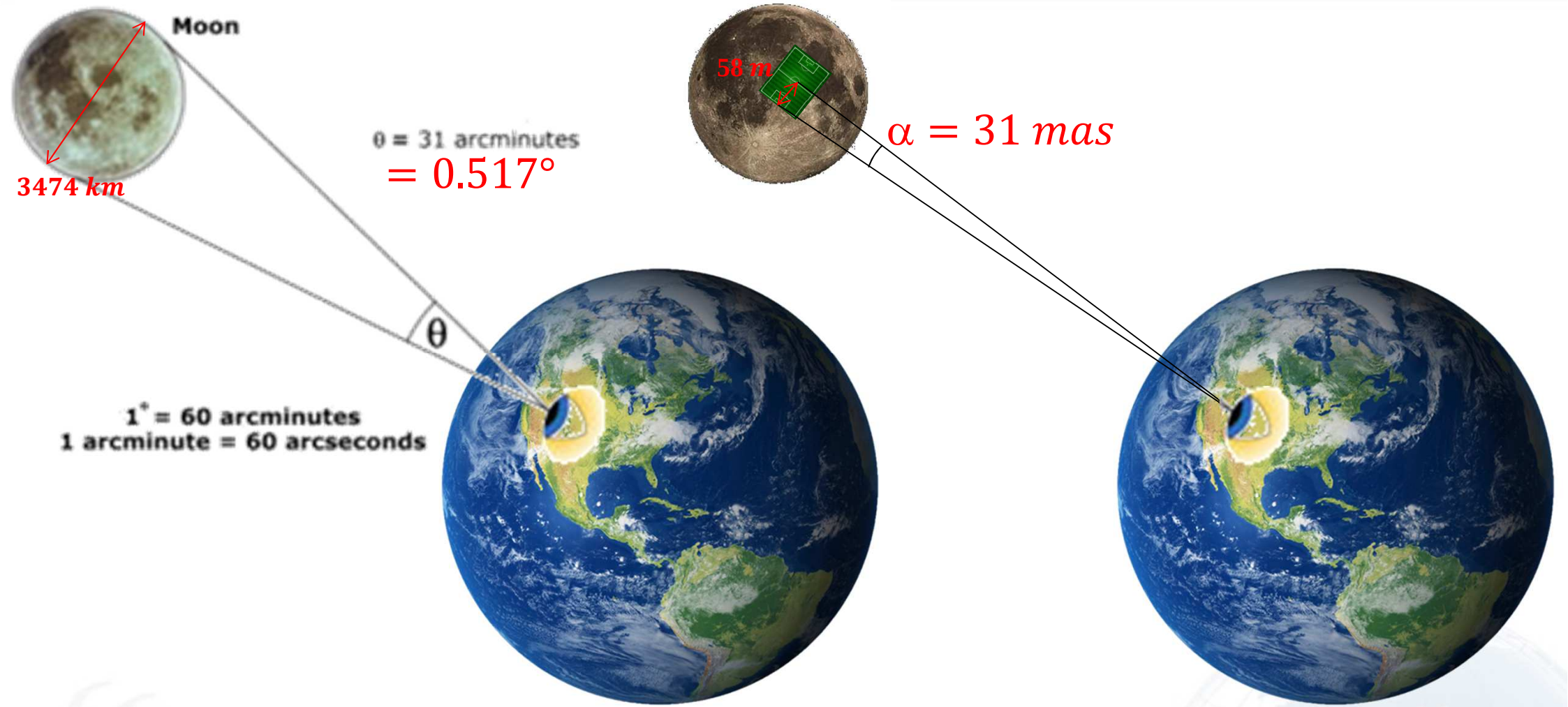
$$\left(\frac{d\Omega}{dt}\right)_{LT} = 31\ \text{mas/anno (L1)} \quad \left(\frac{d\Omega}{dt}\right)_{LT} = 31.5\ \text{mas/anno (L2)} \cong 1.9\ \text{m/anno}$$

OPEN

This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

ThalesAlenia Space
A Thales / Finmeccanica Company

Verifica dell'effetto di trascinamento rotazionale Lense-Thirring



La precessione della linea dei nodi prodotta dal rigonfiamento equatoriale della Terra è <u>venti milioni di volte maggiore</u> di quella prodotta dall'effetto di Lense-Thirring. Altre perturbazioni non gravitazionali della linea dei nodi sono inoltre superiori all'effetto di L-T.

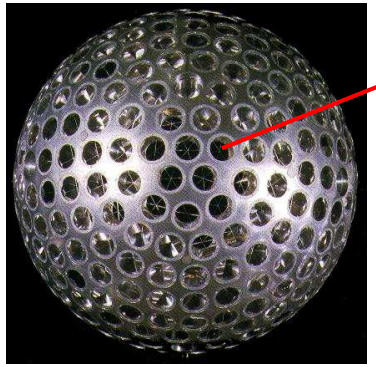
OPEN

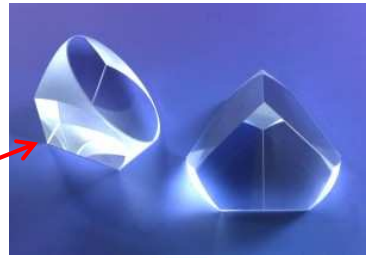
This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

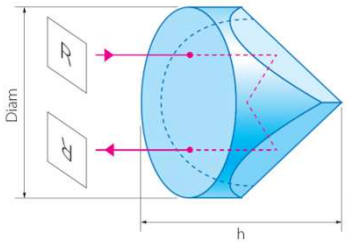
ThalesAlenia Space
A Thales / Finmeccanica Company

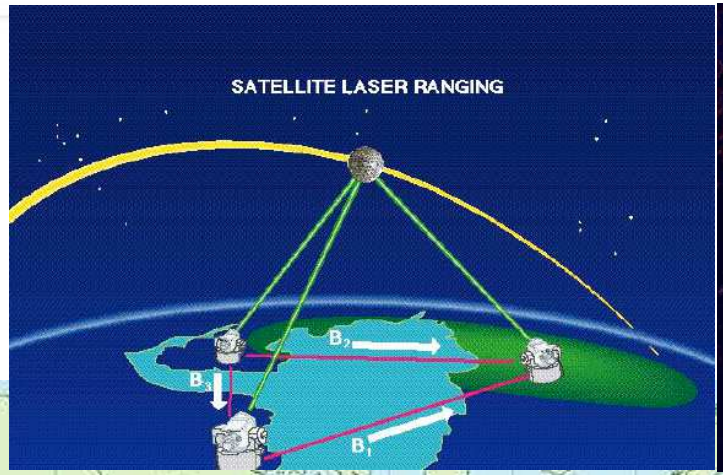
Verifica dell’effetto di trascinamento rotazionale Lense-Thirring

Determinazione dell’orbita di LAGEOS









- La tecnica del laser ranging consiste nell’inviare al satellite degli impulsi laser molto brevi (<500 ps) e misurando il tempo di andata-ritorno degli impulsi con risoluzione di pochi picosecondi.
- Con questa tecnica è possibile ottenere la distanza di LAGEOS da ogni stazione di ranging con la precisione di 1-2 mm e determinare l’orbita del satellite con l’accuratezza del centimetro.

Posizione delle stazioni dell’ International Laser Ranging Service (ILRS) che misurano la posizione dei satelliti LAGEOS (credit: NASA)

OPEN

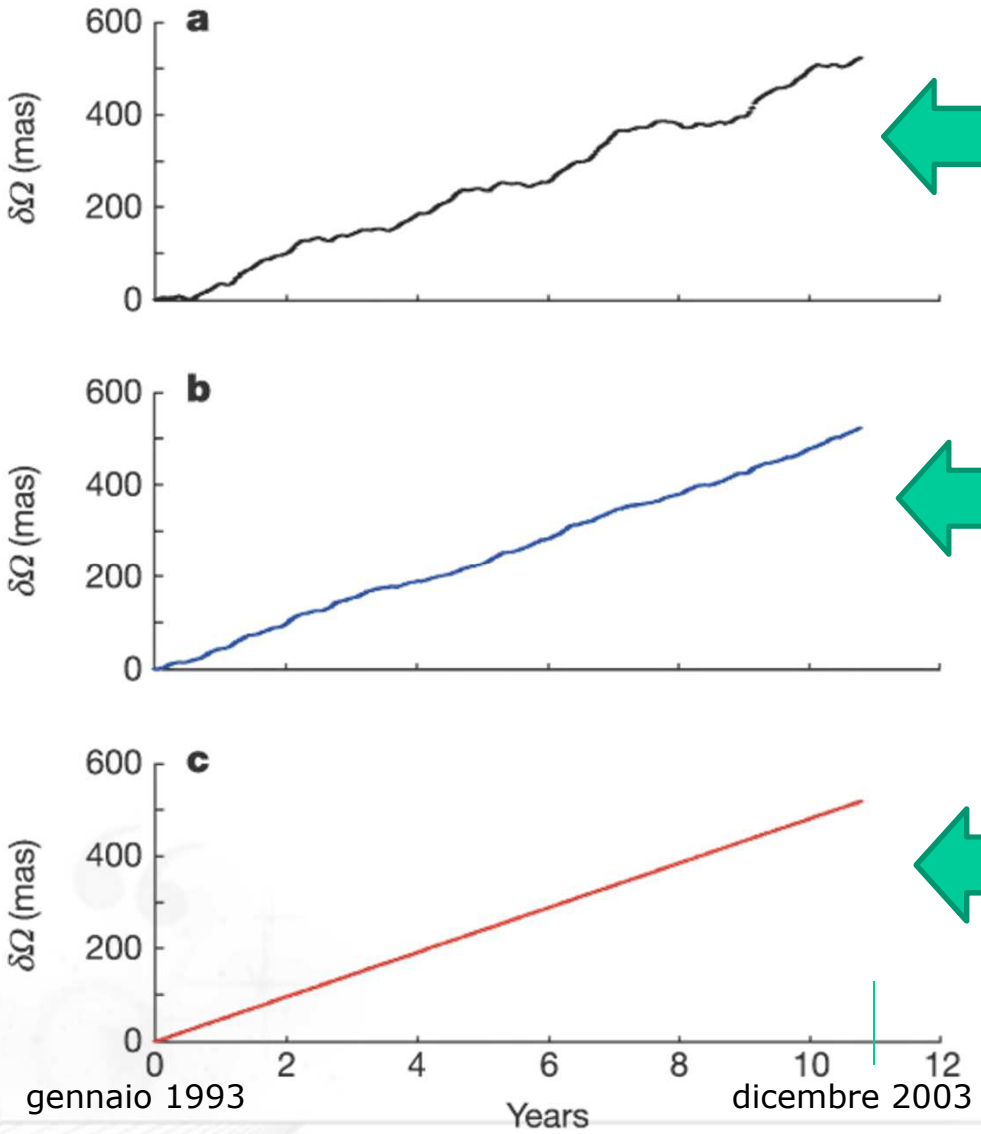
This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

ThalesAlenia Space
A Thales / Finmeccanica Company

Verifica dell'effetto di trascinamento rotazionale Lense-Thirring

Risultati sperimentali

Dall'articolo di I. Ciufolini e E. C. Pavlis, "A confirmation of the general relativistic prediction of the Lense–Thirring effect", *Nature* **431**, 958-960 (21 October 2004).



$$\delta\Omega = \left(\frac{d\Omega}{dt}\right)_{\mathrm{res,L1}} + k\left(\frac{d\Omega}{dt}\right)_{\mathrm{res,L2}}, \; k = 0.545$$

res: δΩ osservato – calcolato (effetti classici)

δΩ risultante dopo aver rimosso i segnali periodici: pendenza = **47.9** mas/anno

$$\delta\Omega = \left(\frac{d\Omega}{dt}\right)_{\mathrm{LT,L1}} + k\left(\frac{d\Omega}{dt}\right)_{\mathrm{LT,L2}}$$ predetto dall'effetto di L-T = **48.2** mas/anno

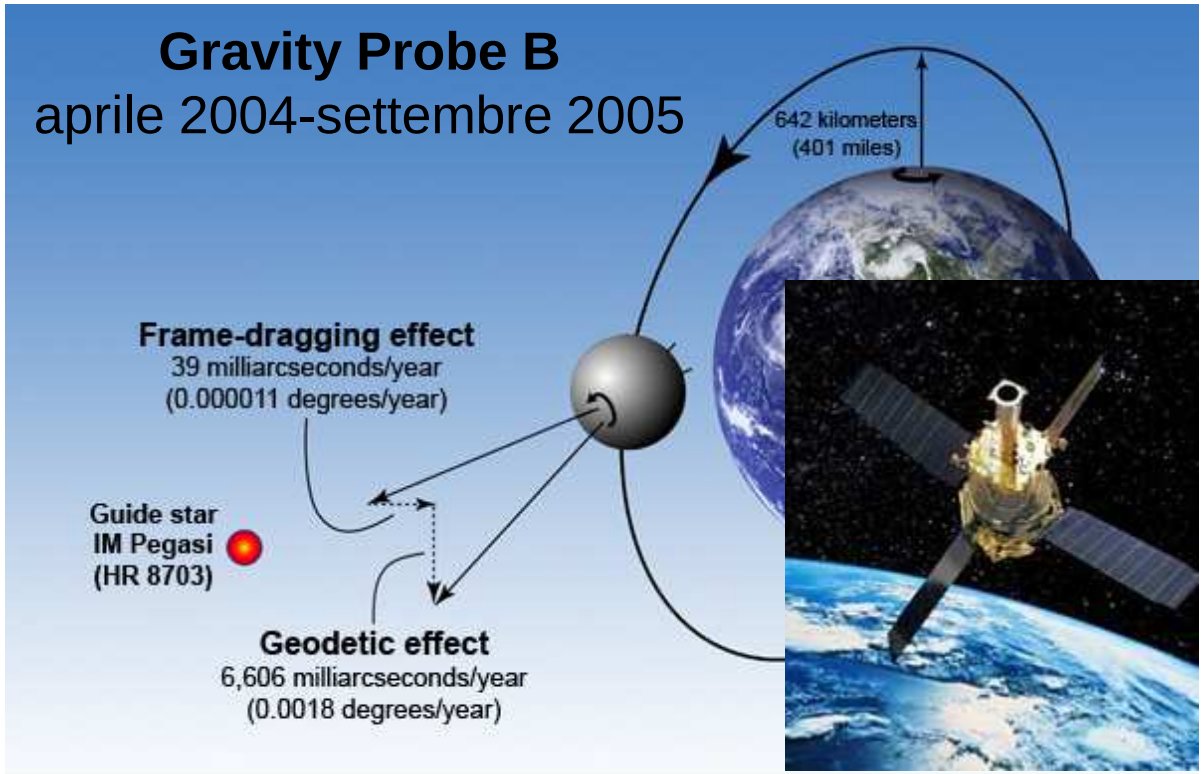
OPEN

This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

ThalesAlenia Space

Verifica dell'effetto di trascinamento rotazionale Lense-Thirring

Altre missioni spaziali dedicate alla verifica dell'effetto di Lense-Thirring



	Measured	Predicted
Geodetic precession (mas)	6602 ± 18	6606
Frame-dragging (mas)	37.2 ± 7.2	39.2

LARES (Laser Relativity Satellite)

- Diametro: 36 cm
- Massa: 386.6 kg
- Retro-riflettori laser: 92
- Altezza: 1450 km
- Inclinazione: 69.5°
- Lancio: 13 febbraio 2012

This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whc
to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales

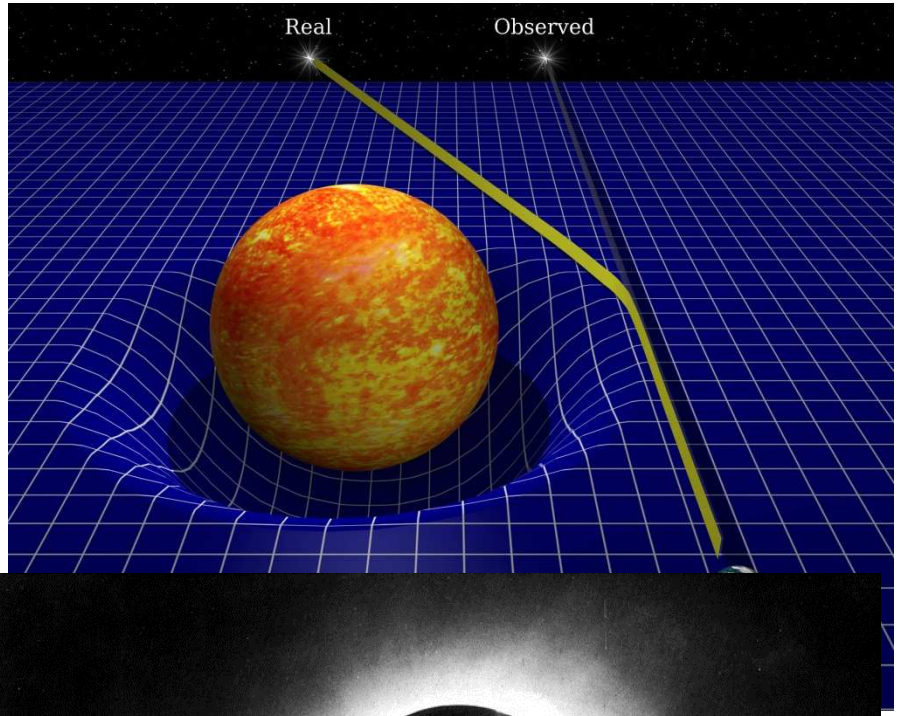
Misura dell'effetto della gravità sulle onde elettromagnetiche

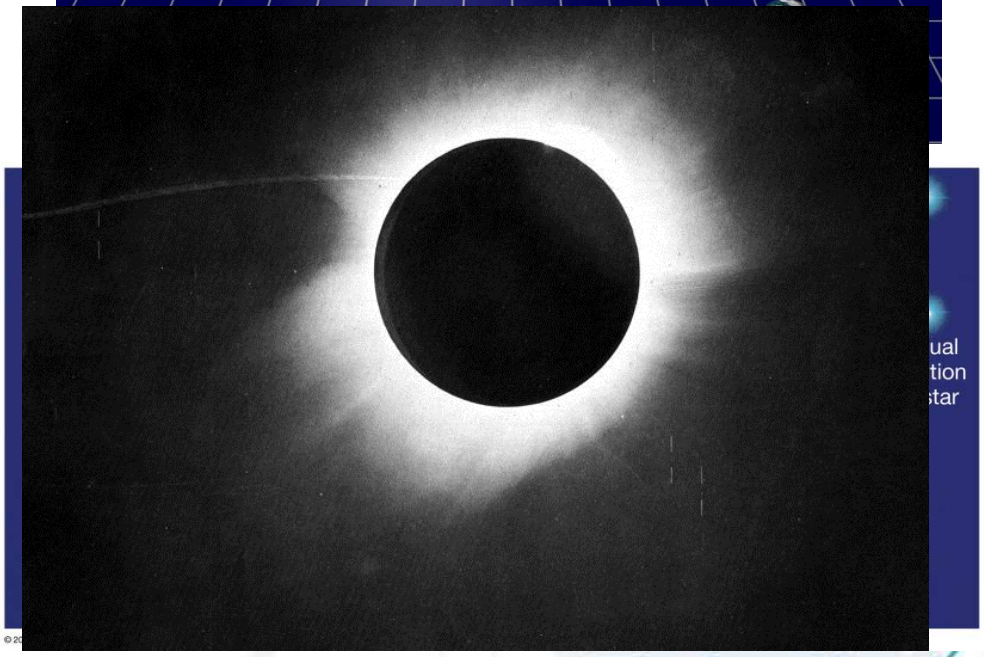
- Secondo la teoria della relatività generale la radiazione elettromagnetica viene deflessa da un campo gravitazione di un angolo che dipende dalla massa del corpo che genera il campo e dalla minima distanza tra corpo e radiazione.
- Per una stella la cui luce passa radente al Sole, l'angolo di deflessione è:

$$\alpha \cong 1.75'' \left(\frac{1+\gamma}{2}\right)$$

dove il parametro γ assume diversi valori in diverse teorie della gravitazione: $\gamma = 0$ secondo il modello Newtoniano della gravità; $\gamma = 1$ secondo la relatività generale; $\gamma \neq 1$ secondo teorie alternative della gravità.

- Questo effetto è stato verificato per la prima volta da Eddington nel 1919 misurando durante un eclissi di Sole la posizione angolare delle stelle in prossimità del bordo solare e confermando la predizione di Einstein, tuttavia con una precisione piuttosto modesta: 1.60±0.30 secondi d'arco.





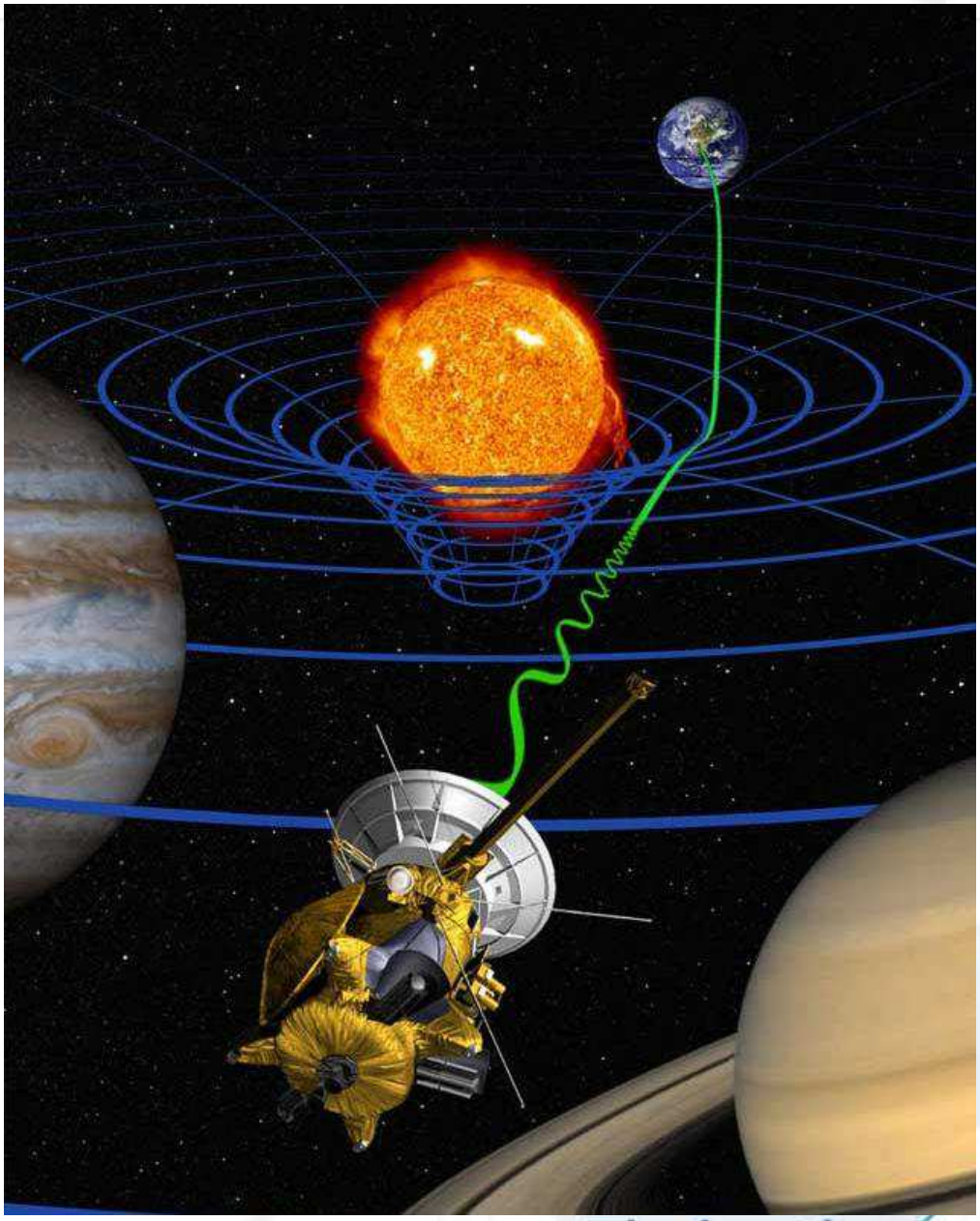
OPEN

This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

ThalesAlenia Space

Misura dell'effetto della gravità sulle onde elettromagnetiche

- La stima fino ad oggi più precisa del parametro γ (che quantifica l'effetto della massa sulla curvatura dello spazio, e di conseguenza la deflessione della luce) è stata effettuata dalla missione Cassini misurando la variazione della frequenza del segnale radio scambiato tra la Terra e il satellite in prossimità di allineamenti Terra-Sole-satellite.
- Infatti, la deflessione della radiazione elettromagnetica comporta anche un aumento del tempo che la luce impiega a percorrere la distanza sorgente-osservatore rispetto ad una propagazione in linea retta, in assenza di un campo gravitazionale.
- In presenza di un moto relativo tra Terra, Sole e satellite, in tempo di volo del segnale radio scambiato tra la Terra e il satellite varia nel tempo. Questa variazione è equivalente ad una variazione di distanza, di velocità radiale e quindi della frequenza con cui il segnale viene ricevuto a bordo o a Terra.



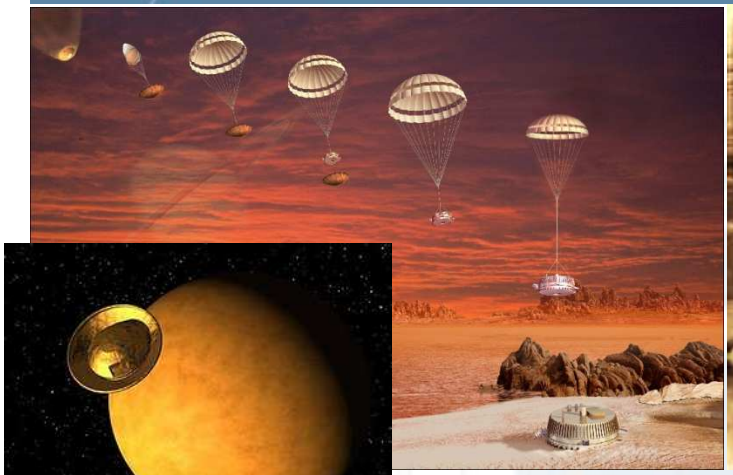
OPEN

This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

ThalesAlenia Space
A Thales / Finmeccanica Company

Misura dell'effetto della gravità sulle onde elettromagnetiche

- Missione Cassini (NASA, ESA, ASI):
  - Obiettivo: studio di Saturno e dei suoi satelliti, invio di un lander (Huygens, realizzato da TAS) su Titano, test della relatività generale.
  - Lancio: 15 ottobre 1997
  - Inserimento in orbita saturniana: 1° luglio 2004
  - Discesa di Huygens su Titano: 14 gennaio 2005
  - Strumentazione: telecamere e spettrometri per UV, visibile, IR; sensori di campo magnetico, plasma e polveri; radar e strumento per la radio-scienza (Radio Science Subsystem, RSS).
- La misura dell'effetto del campo gravitazionale del Sole sulla radiazione elettromagnetica ricevuta/ trasmessa da Cassini è stata realizzata con il RSS:
  - Antenna ad alto guadagno (diametro 4 m, realizzata da TAS-I).
  - Trasponditore in banda X (~4 cm, ~ 7-8 MHz) e Ka (~1 cm, ~34-32 MHz)
  - Traslatore di frequenza Ka-Ka (TAS-I)
  - Oscillatore ultra-stabile



This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

ThalesAlenia Space
A Thales / Finmeccanica Company

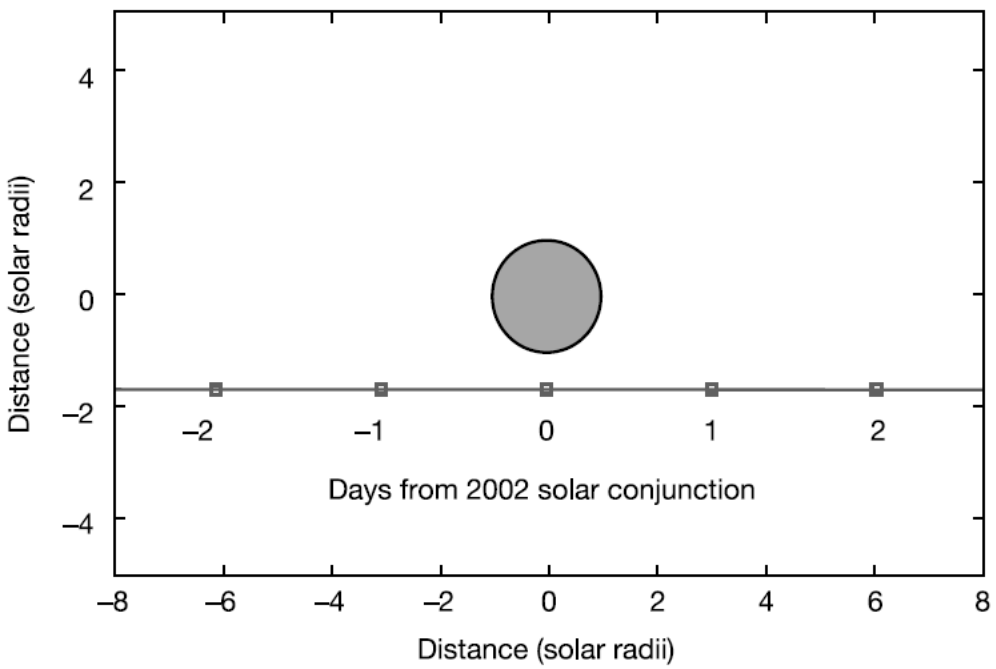
Misura dell’effetto della gravità sulle onde elettromagnetiche

This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

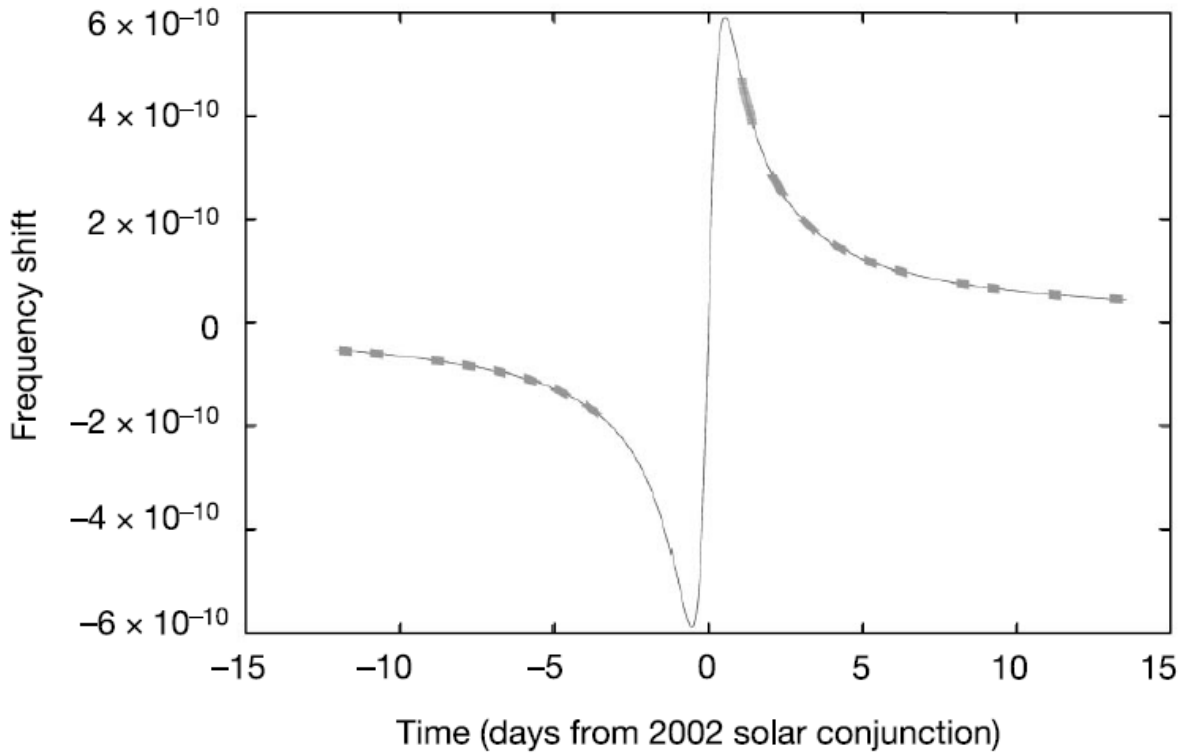
Misura dell'effetto della gravità sulle onde elettromagnetiche

Risultati sperimentali

Dall'articolo di B. Bertotti e E, L. Iess e P. Tortora, "A test of general relativity using links with the Cassini spacecraft ", *Nature* **425**, 374-376 (25 September 2003).



Geometria della congiunzione Cassini-Sole-Terra del 21 giugno 2002 . Distanza min. 1.6 $R_\odot$



Variazione della frequenza del segnale radio scambiato tra Terra il satellite predetto e misurato.

Grazie alla trasmissione del segnale radio su due frequenze (X e Ka) e alla stabilità del sistema di ricezione e trasmissione di bordo, è stato determinato il parametro γ con una precisione senza precedenti: $\gamma = 1 + (2.1 \pm 2.3)\times10^{-5}$: nessuna violazione della relatività generale è stata evidenziata.

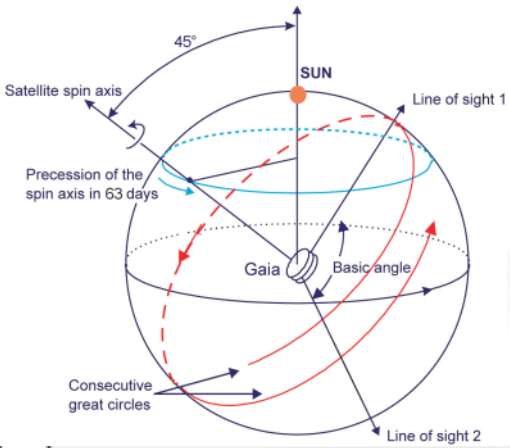
OPEN

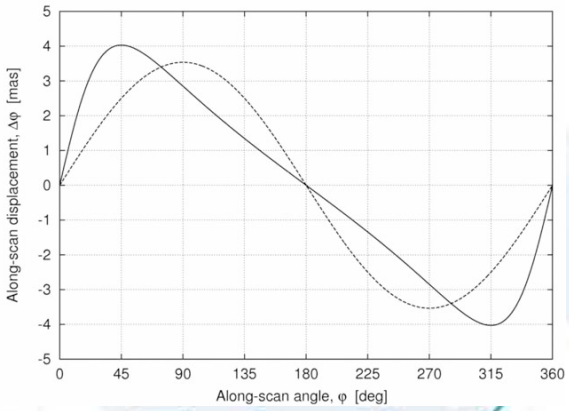
This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

ThalesAlenia Space
A Thales / Finmeccanica Company

Misura dell'effetto della gravità sulle onde elettromagnetiche

- Missione Gaia (ESA):
  - Obiettivo: misura della posizione di 1 miliardo di stelle (1% della popolazione galattica) con precisione di 20-25 μas a V = 15.
  - Lancio: 19 dicembre 2013.
  - Durata della missione: 5 anni.
  - Telescopio astrometrico a due aperture (1.45m×0.5m ciascuna) con immagini combinate su un singolo piano focale composto da 106 CCD (62 per l'astrometria).
  - Uno dei centri di elaborazione dei dati scientifici di Gaia si trova presso ALTEC a Torino.
  - Dalle misure ripetute della posizione di circa 10 milioni di stelle di magnitudine V≤13 poste a distanze angolari dal Sole ≥45° con una precisione di 10 μas, Gaia permetterà di ottenere il valore del parametro γ con una precisione di circa 10^{-6}.





This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

OPEN

ThalesAlenia Space
A Thales / Finmeccanica Company

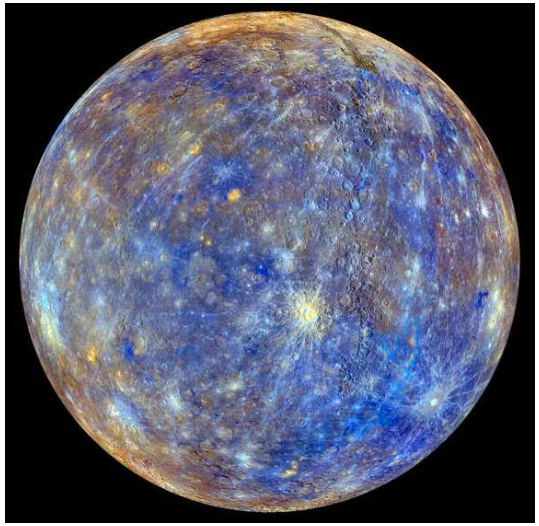
Misura dell'effetto della gravità sulle orbite planetarie

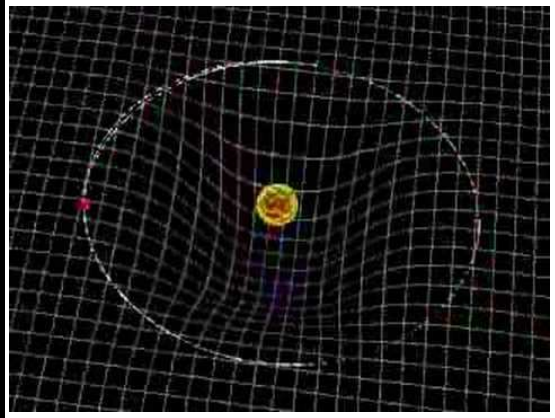
- Calcolata secondo la teoria della relatività generale, la traiettoria che segue un pianeta sotto l'effetto del campo gravitazionale del Sole (e di quello degli altri pianeti) è leggermente diversa da quella Newtoniana.
- L'effetto è più evidente sull'orbita del pianeta Mercurio, il più vicino al Sole, il cui perielio subisce una precessione in eccesso di 43"/secolo rispetto a quella di 532"/secolo prodotta dalla gravità degli altri pianeti. Questa "anomalia" era già stata notata dall'astronomo Urbain Le Verrier nel 1859.
- L'espressione della precessione "anomala" di Mercurio mediante i parametri del formalismo parametrizzato post Newtoniano (PPN) è:

$$\dot{\omega} \cong 43'' \left(\frac{2 + 2\gamma - \beta}{3} \right)$$

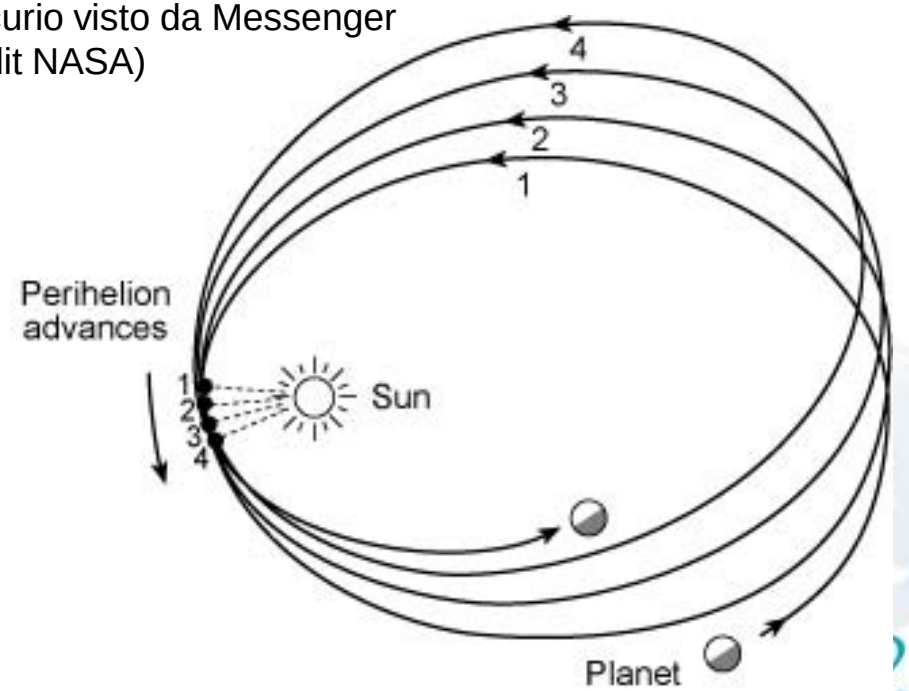
dove il parametri γ, β assumono diversi valori in diverse teorie della gravitazione: γ, $\beta = 1$ secondo la relatività generale; γ, $\beta \neq 1$ secondo teorie alternative della gravità.

- Oggi il valore più preciso di β è $1 \pm 8 \times 10^{-5}$.





Mercurio visto da Messenger (credit NASA)



OPEN

This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

ThalesAlenia Space
A Thales / Finmeccanica Company

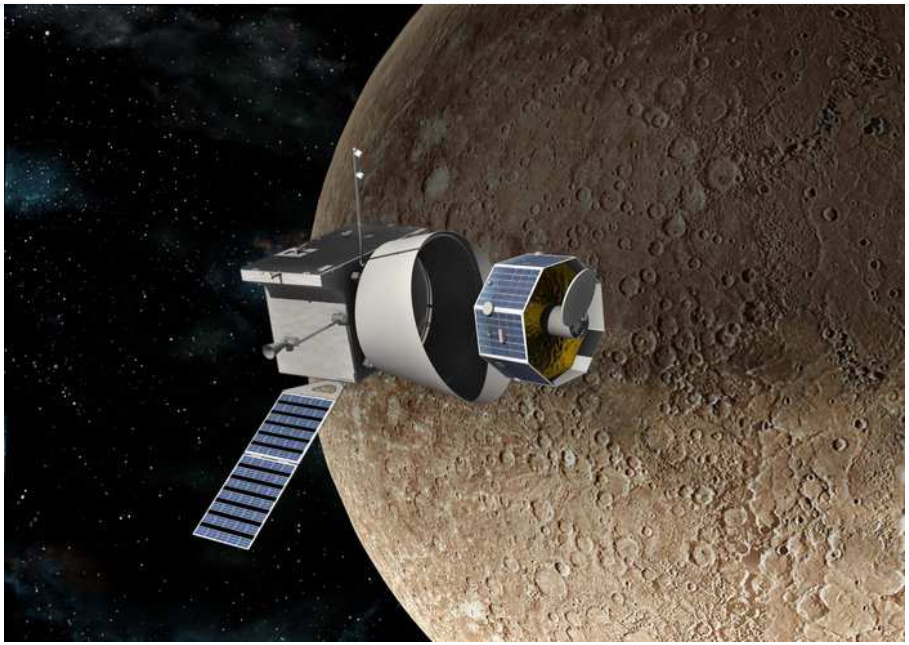
Misura dell'effetto della gravità sulle orbite planetarie

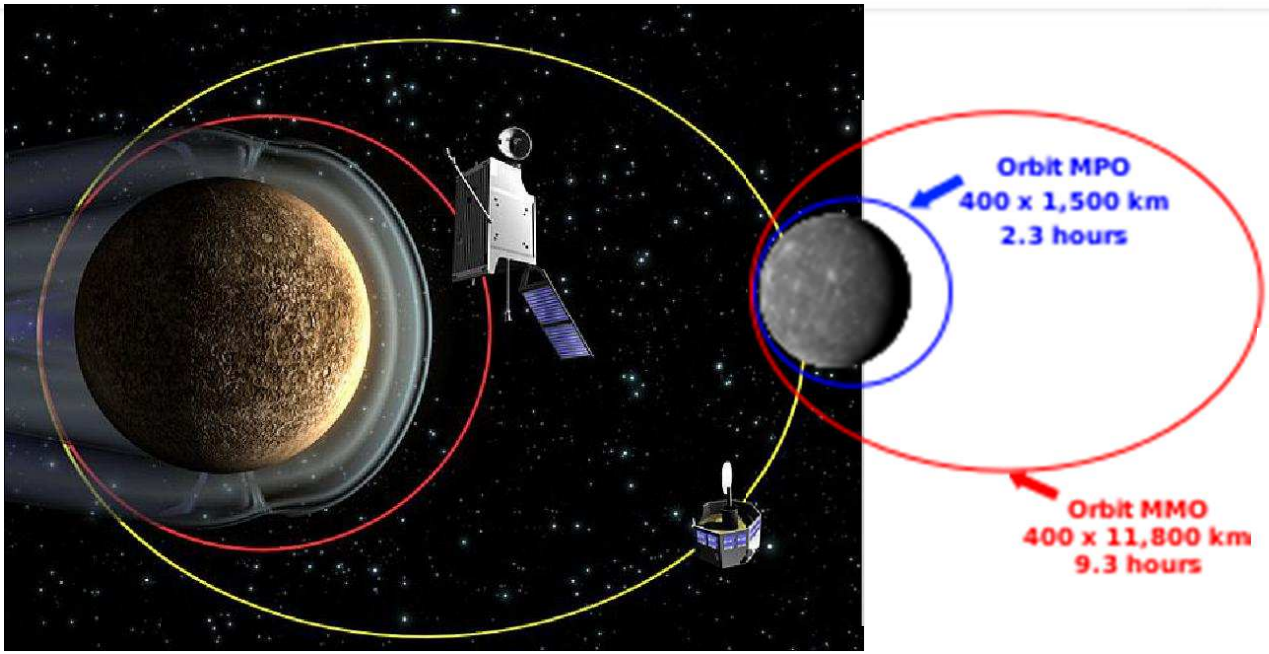
- Missione BepiColombo (ESA, JAXA):
  - Obiettivo: studio di Mercurio, del suo campo gravitazionale e della sua magnetosfera, test della relatività generale.
  - Lancio: previsto nel 2017
  - Arrivo a Mercurio: gennaio 2024
  - Durata missione in orbita attorno a Mercurio: 1 anno terrestre (4 anni mercuriani).
  - Orbiters: Mercury Planetary Orbiter (MPO, ESA), Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO, JAXA)
  - Strumentazione MPO: telecamere e spettrometri per IR, UV, raggi X,γ; radiometro, magnetometro, analizzatore di ; laser altimetro, strumento per la radio-scienza (RSS), accelerometro (ISA).
- La precessione del perielio di Mercurio verrà ottenuta partendo dalla determinazione estremamente precisa della traiettoria del MPO attorno al pianeta, da cui si ricaverà il movimento del centro di massa di Mercurio attorno al Sole con una accuratezza molto migliore di quella ottenibile da terra con tecniche radar.

ny material form in whole or in part nor disclosed
pace - © 2012, Thales Alenia Space

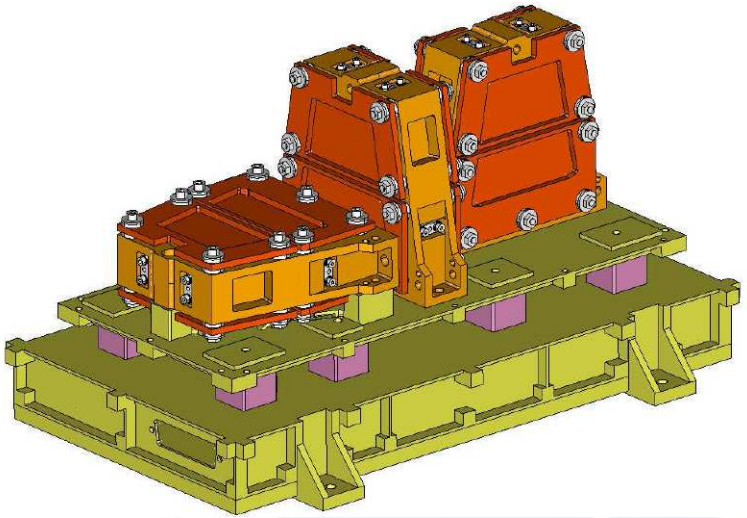
ThalesAlenia Space
A Thales / Finmeccanica Company

Misura dell'effetto della gravità sulle orbite planetarie





- La determinazione precisa della traiettoria seguita dal MPO per effetto dell'attrazione gravitazionale di Mercurio verrà ottenuta con gli strumenti RSS ed ISA realizzati da TAS-I.
- Con il Radio Science Subsystem (RSS) si misurerà distanza e velocità del MPO rispetto alle stazioni di Terra con accuratezza di ~15 cm e ~1.5 micrometri/s.
- Lo strumento ISA (Italian Spring Accelerometer) misurerà l'accelerazione del MPO dovuta alle forze non gravitazionali con risoluzione di ~10^{-9} m/s^2.



Italian Spring Accelerometer

- Dalla missione BepiColombo si prevede di ricavare β con una precisione di 2×10^{-6}.

This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

esAlenia Space
A Thales / Finmeccanica Company

Verifica del principio di equivalenza

- Fondamento della relatività generale è il "principio di equivalenza" che postula l'uguaglianza tra la massa inerziale (m_i) e la massa gravitazionale (m_g) di un corpo.

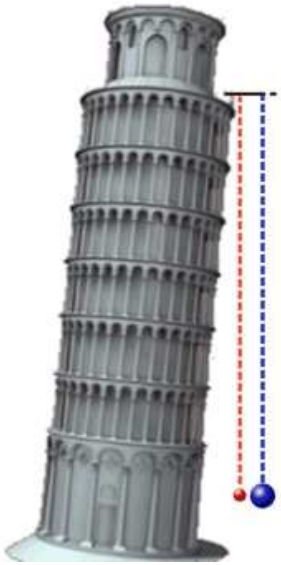
$$F = m_i a, \qquad F = G\frac{M_g m_g}{r^2}$$

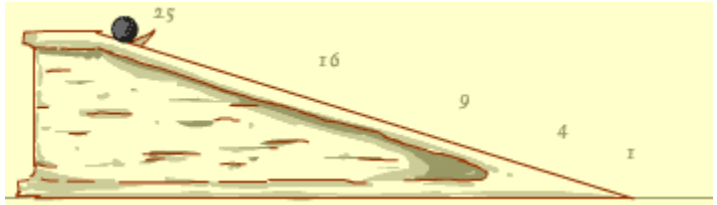
- Se $m_i = m_g$ tutti i corpi subiscono la stessa accelerazione sotto l'effetto di un campo gravitazionale indipendentemente dalla loro massa:

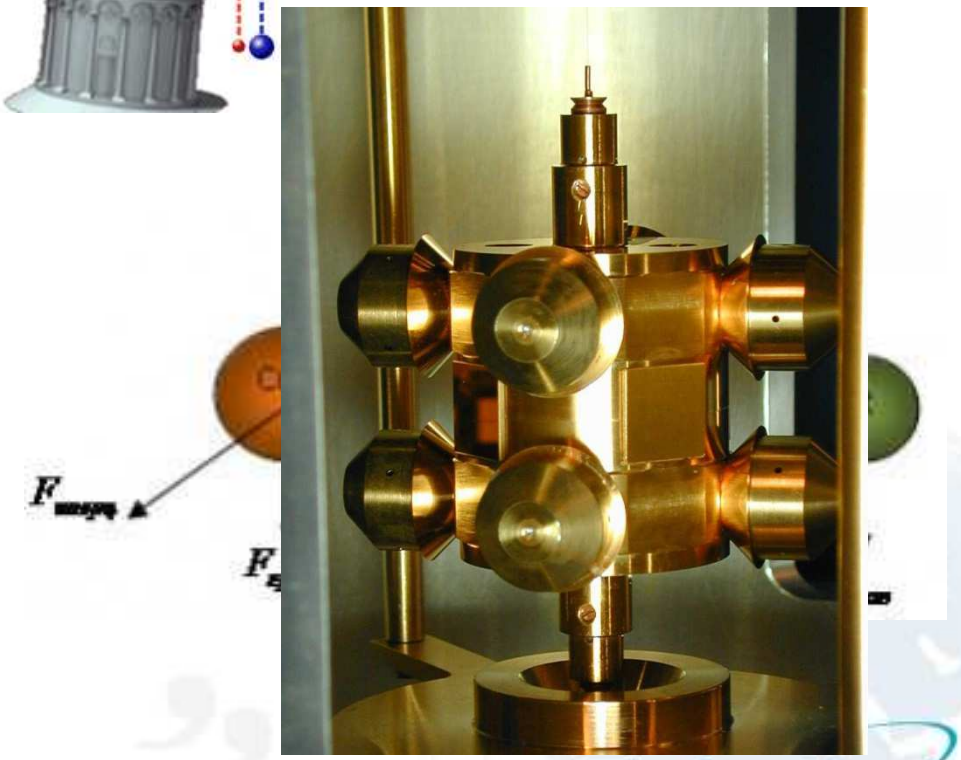
$$m_i = m_g \rightarrow m_g a = G\frac{M_g m_g}{r^2} \rightarrow a = G\frac{M_g}{r^2} \cong 9.81\frac{m}{s^2}$$

sulla superficie terrestre

- La verifica del principio di equivalenza è stata oggetto di parecchi test condotti principalmente mediante bilance torsionali i cui migliori risultati hanno confermato l'uguaglianza di m_i e m_g entro ~1/10^{13}.







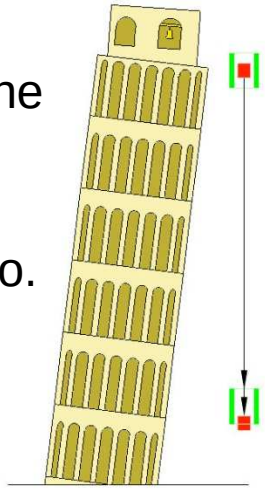
OPEN

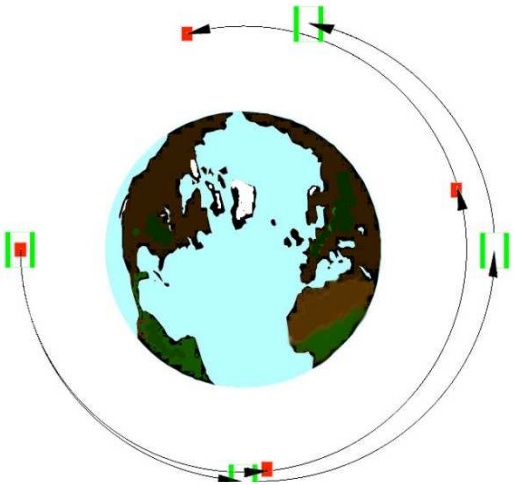
This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

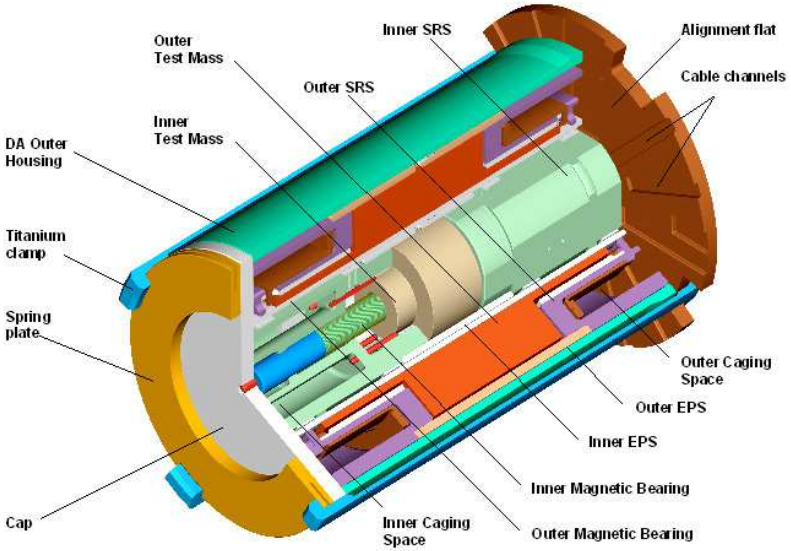
ThalesAlenia Space
A Thales / Finmeccanica Company

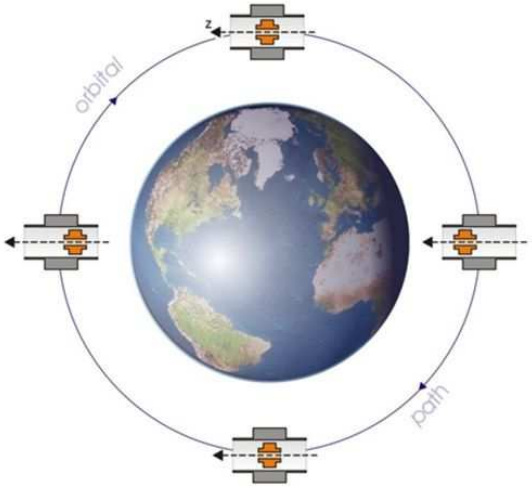
Verifica del principio di equivalenza

- Vantaggi di effettuare l'esperimento in orbita:
  - Maggior tempo di osservazione dell'accelerazione dei corpi sotto l'effetto del campo gravitazionale.
  - Campo terrestre come fonte di accelerazione.
  - Ambiente meno perturbato da sorgenti di disturbo.









- La missione STEP era stata concepita negli anni 90' per verificare l'uguaglianza di m_i e m_g entro ~$1/10^{18}$.

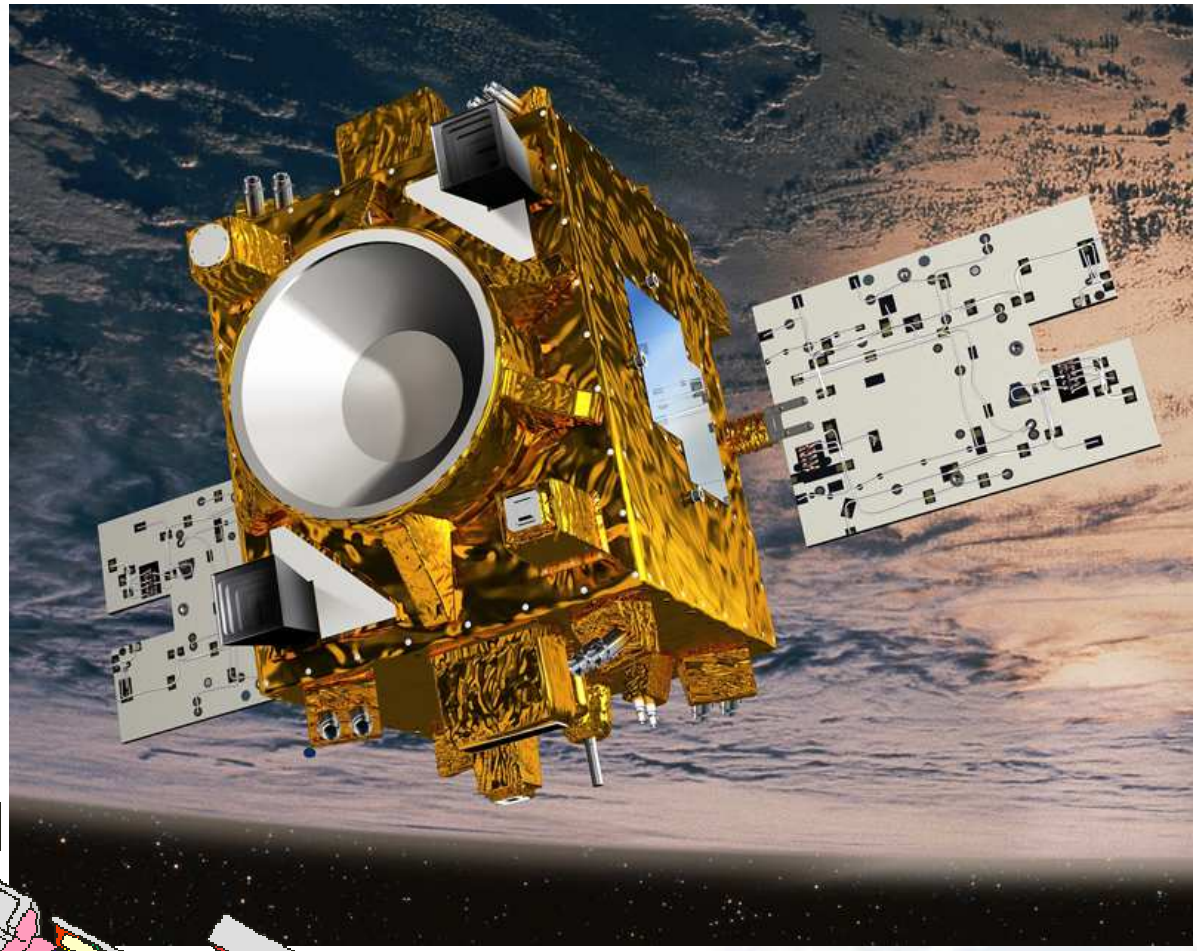
OPEN

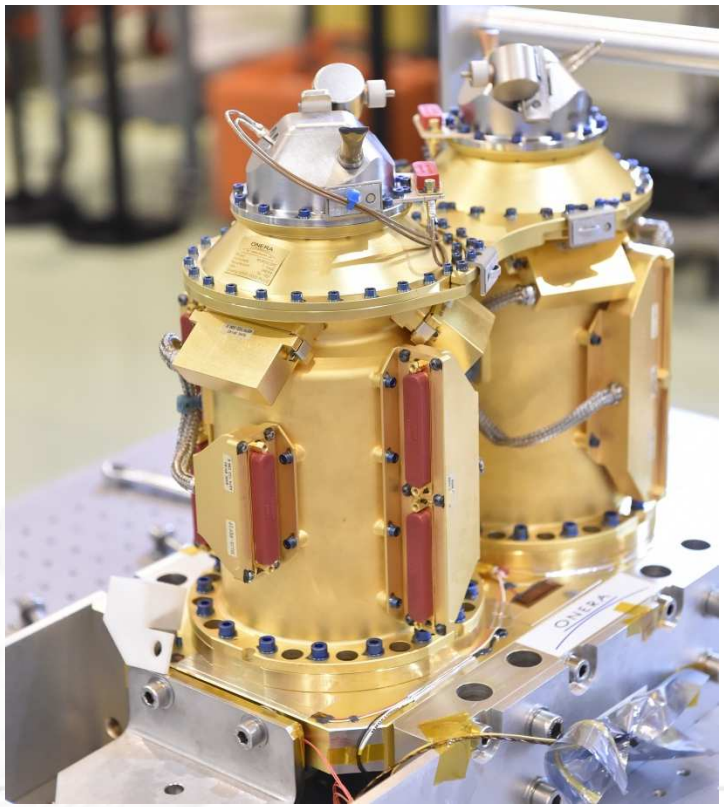
This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

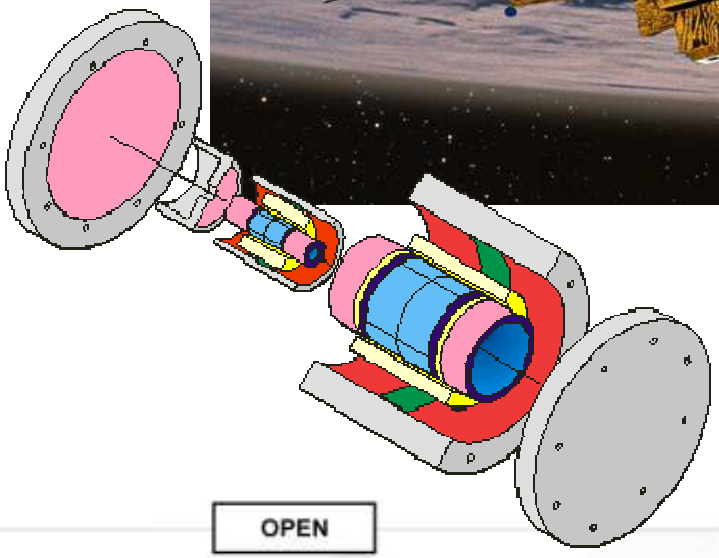
ThalesAlenia Space
A Thales / Finmeccanica Company

Verifica del principio di equivalenza

- Missione MICROSCOPE (CNES)
  - Lancio: 2016
  - Sistema di compensazione delle forze non gravitazionali con micro-propulsori realizzati in Italia.
  - Obiettivo: verificare l'uguaglianza di m_i e m_g entro ~1/10^{15}. (100 volte meglio dei migliori test a terra)







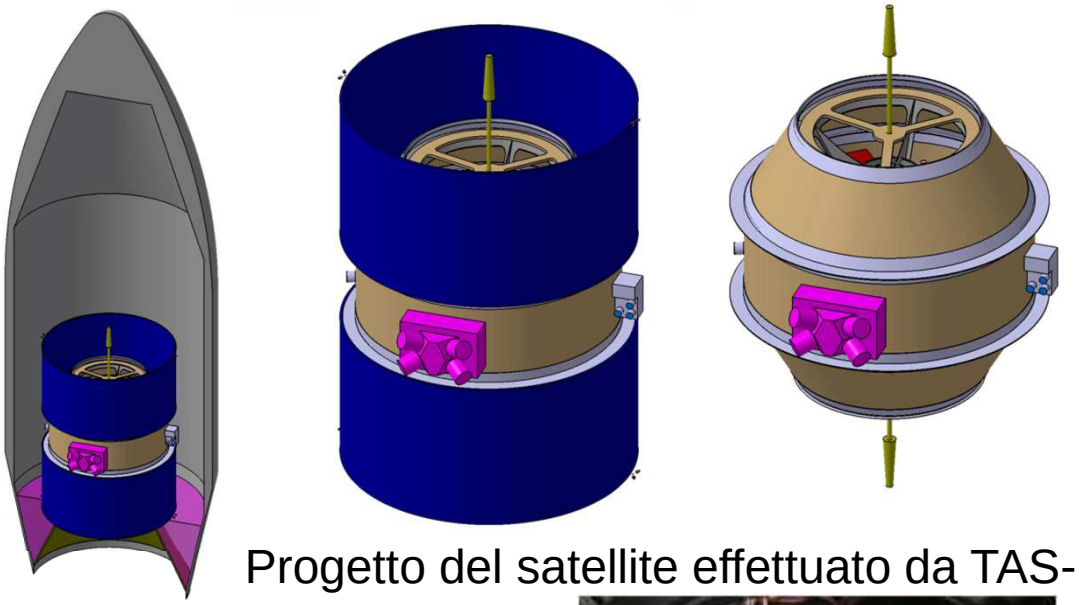
Gli accelerometri differenziali di MICROSOPE contengono una massa di titanio e una in lega di platino-rodio.

This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

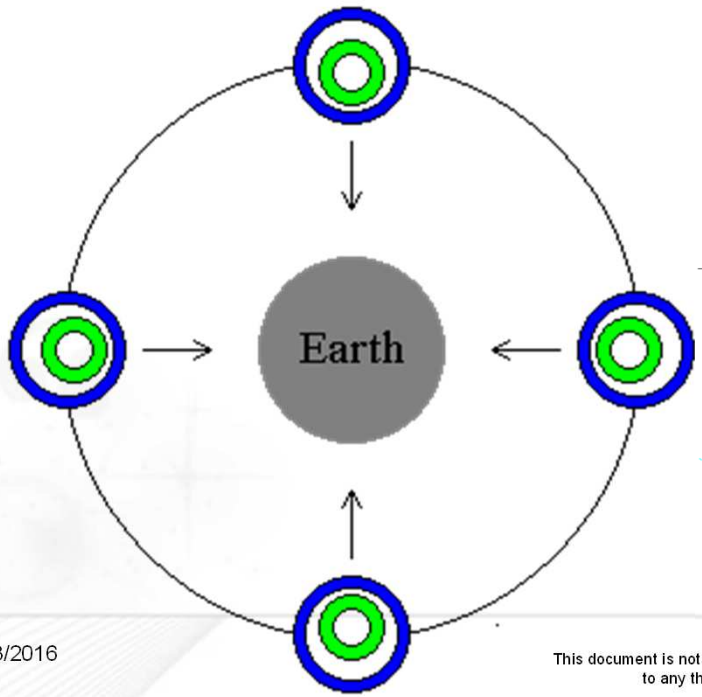
ThalesAlenia Space
A Thales / Finmeccanica Company

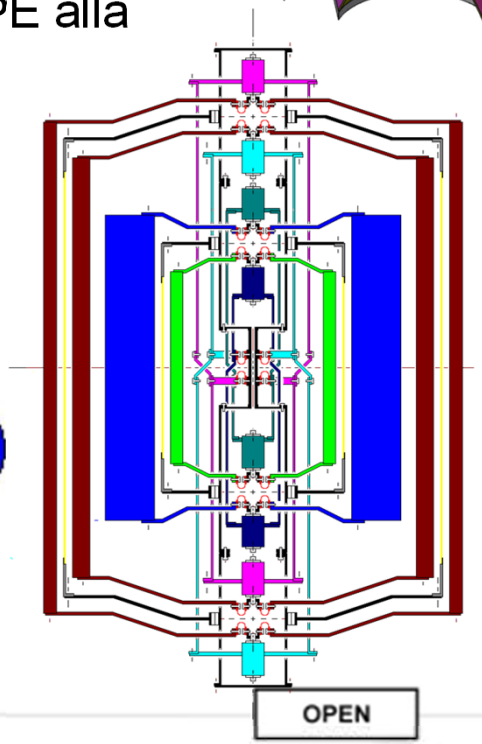
Verifica del principio di equivalenza

- Missione Galileo Galilei "GG"
  - Concepita dalla Prof. Anna Nobili verrà proposta ad ESA per la sua realizzazione nell'ambito del programma Cosmic Vision.
  - Obiettivo: verificare l'uguaglianza di m_i e m_g entro ~1/10^{17}.
  - Principio: utilizzo di un satellite rotante (1 giro al secondo) per ottenere un segnale di violazione del PE alla stessa frequenza.

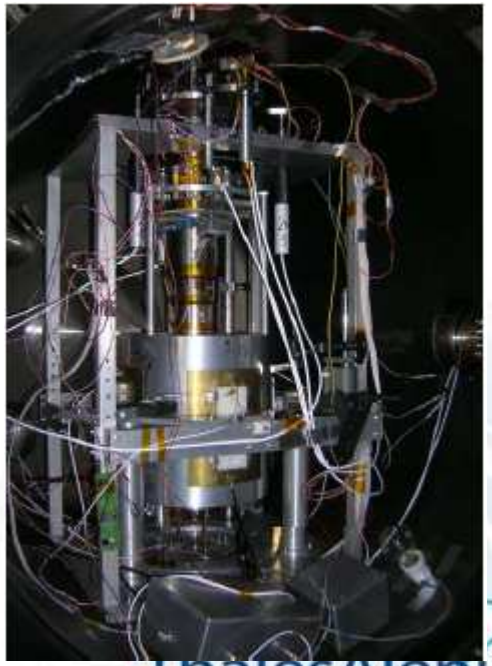


Progetto del satellite effettuato da TAS-I





Schema dell'accelero metro differenziale.



Esperimento di laboratorio (GGG) in preparazione della missione

This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

ThalesAlenia Space
A Thales / Finmeccanica Company

Rivelazione delle onde gravitazionali

- **11 febbraio 2016**: viene annunciata la prima osservazione diretta del segnale prodotto dal passaggio di un onda gravitazionale da parte degli interferometri laser LIGO I e LIGO II.

Selected for a Viewpoint in *Physics*

PRL **116,** 061102 (2016) PHYSICAL REVIEW LETTERS week ending 12 FEBRUARY 2016

Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger

B. P. Abbott *et al.*[*]

(LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration)

(Received 21 January 2016; published 11 February 2016)

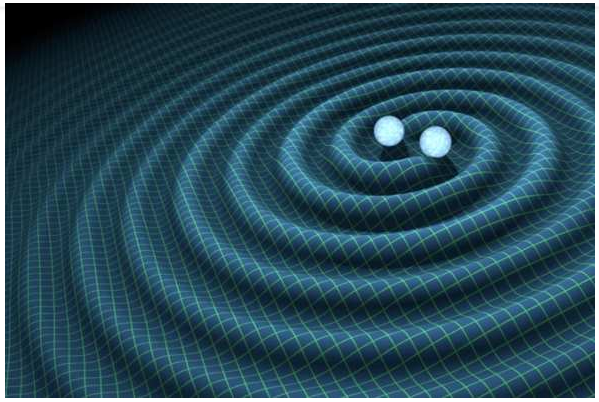
On September 14, 2015 at 09:50:45 UTC the two detectors of the Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory simultaneously observed a transient gravitational-wave signal. The signal sweeps upwards in frequency from 35 to 250 Hz with a peak gravitational-wave strain of 1.0×10^{-21}. It matches the waveform predicted by general relativity for the inspiral and merger of a pair of black holes and the ringdown of the resulting single black hole. The signal was observed with a matched-filter signal-to-noise ratio of 24 and a false alarm rate estimated to be less than 1 event per 203 000 years, equivalent to a significance greater than 5.1σ. The source lies at a luminosity distance of 410^{+160}_{-180} Mpc corresponding to a redshift $z = 0.09^{+0.03}_{-0.04}$. In the source frame, the initial black hole masses are $36^{+5}_{-4} M_\odot$ and $29^{+4}_{-4} M_\odot$, and the final black hole mass is $62^{+4}_{-4} M_\odot$, with $3.0^{+0.5}_{-0.5} M_\odot c^2$ radiated in gravitational waves. All uncertainties define 90% credible intervals. These observations demonstrate the existence of binary stellar-mass black hole systems. This is the first direct detection of gravitational waves and the first observation of a binary black hole merger.

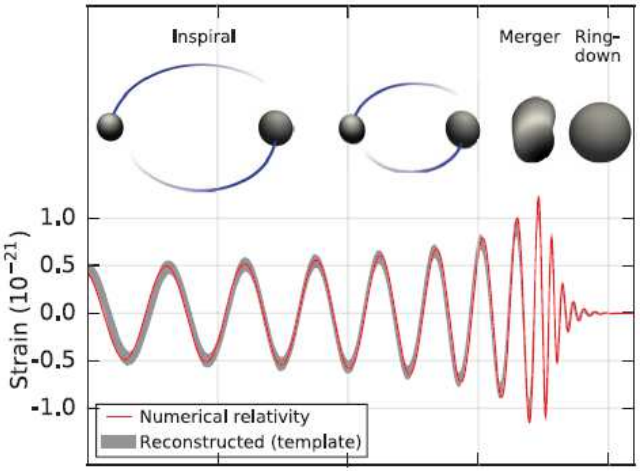
OPEN

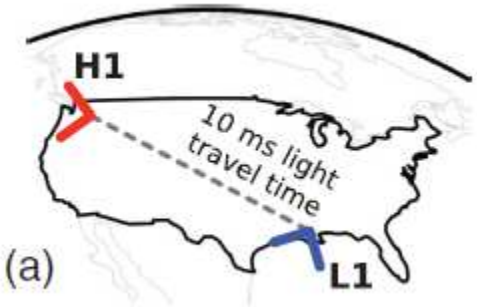
This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

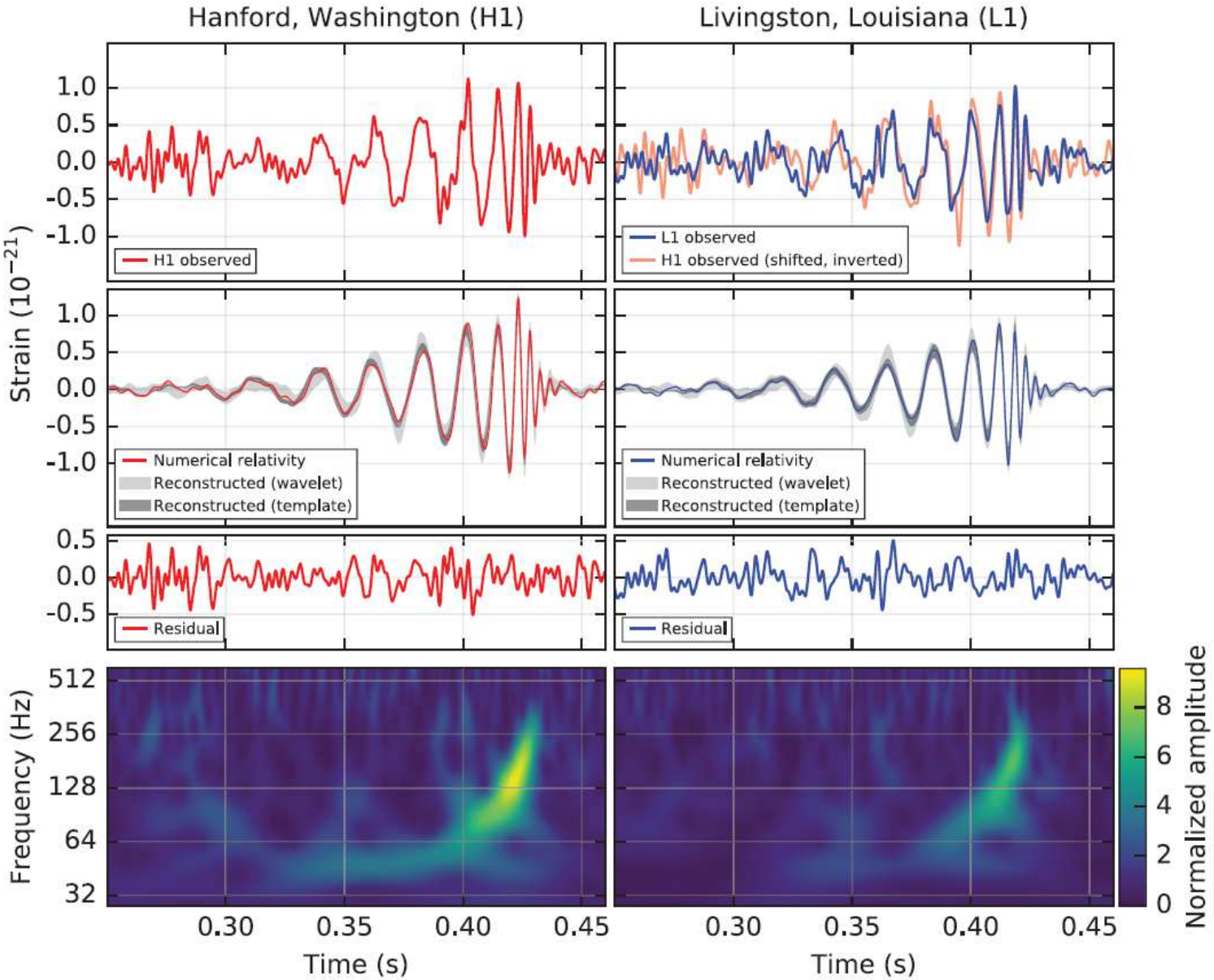
ThalesAlenia Space

Rivelazione delle onde gravitazionali







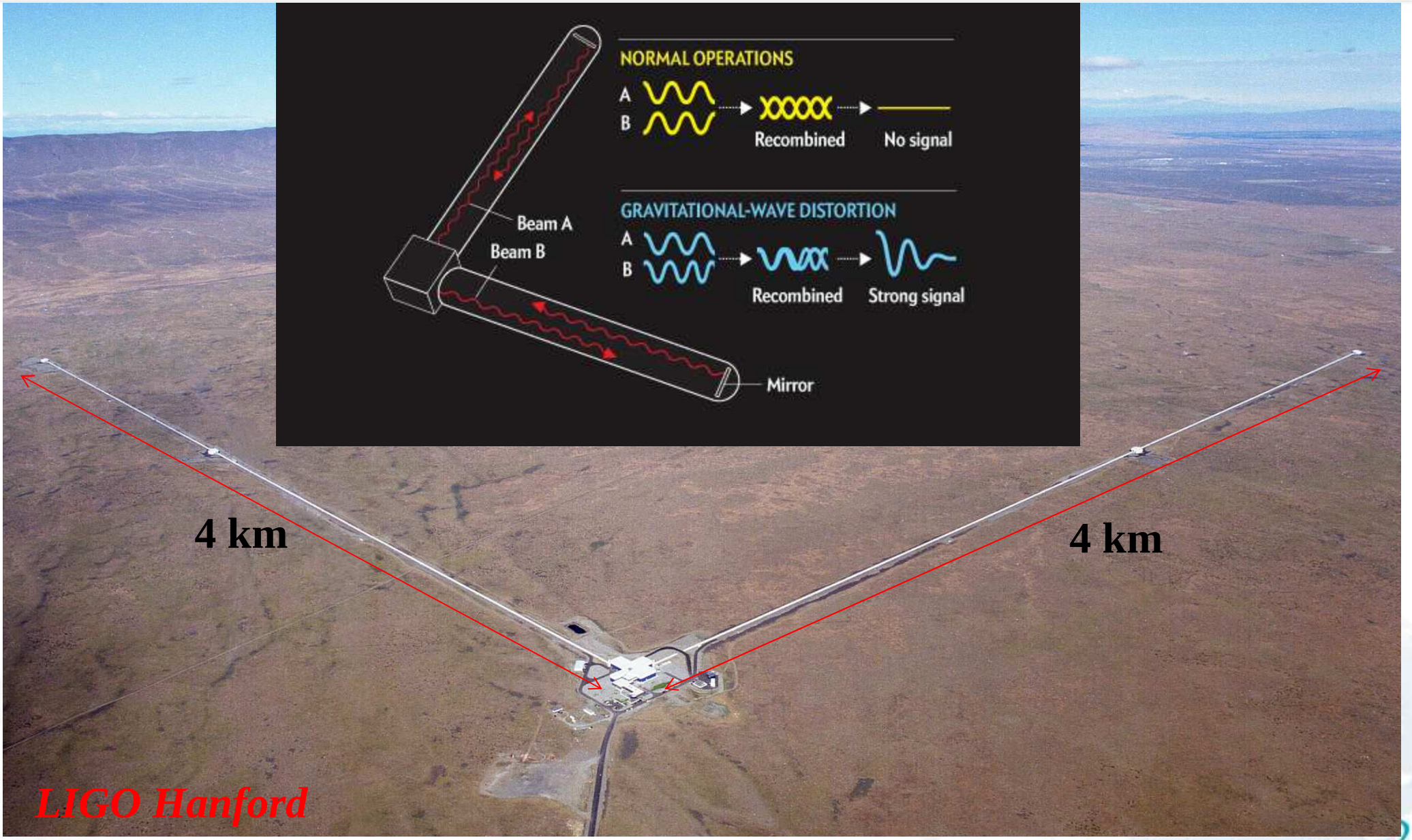


OPEN

This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

ThalesAlenia Space

Rivelazione delle onde gravitazionali



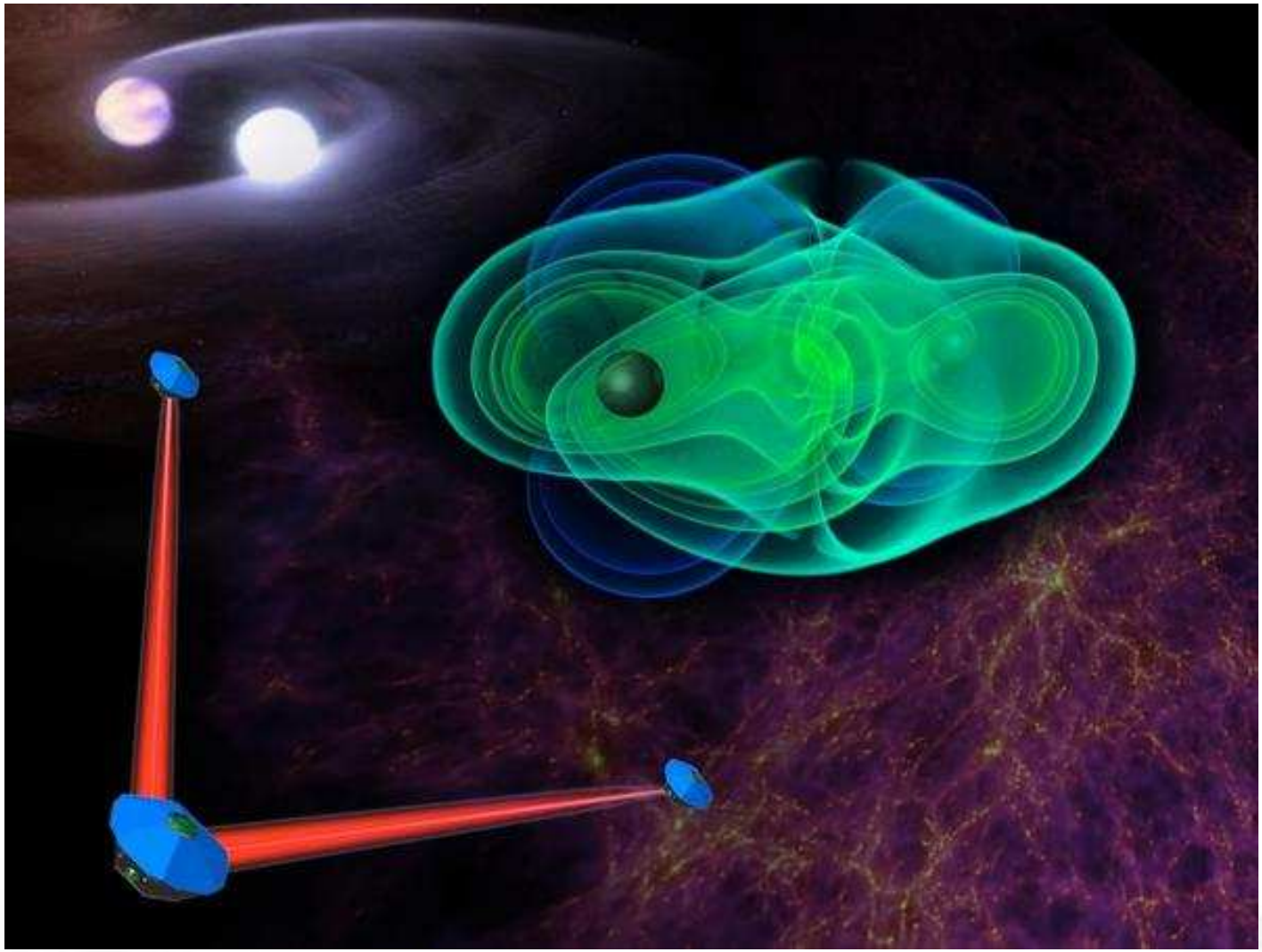
OPEN

This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

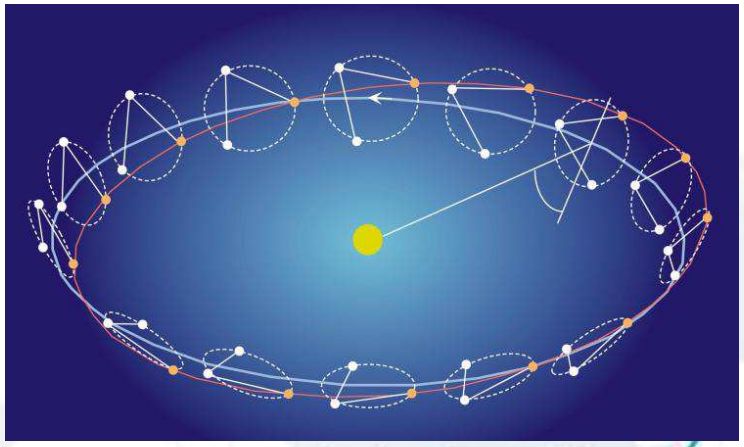
ThalesAlenia Space

Rivelazione delle onde gravitazionali

La terza missione di classe “large” del programma Cosmic Vision dell’ESA, denominata eLISA, porterà nello spazio nel 2034 un osservatorio per onde gravitazionali.



La tecnica di rivelazione delle onde gravitazionali è simile a quella di LIGO e consiste nel misurare con un interferometro laser la variazione di distanza tra masse inerziali poste all’interno di satelliti orbitanti attorno al sole ad una distanza relativa di 10^6 km.

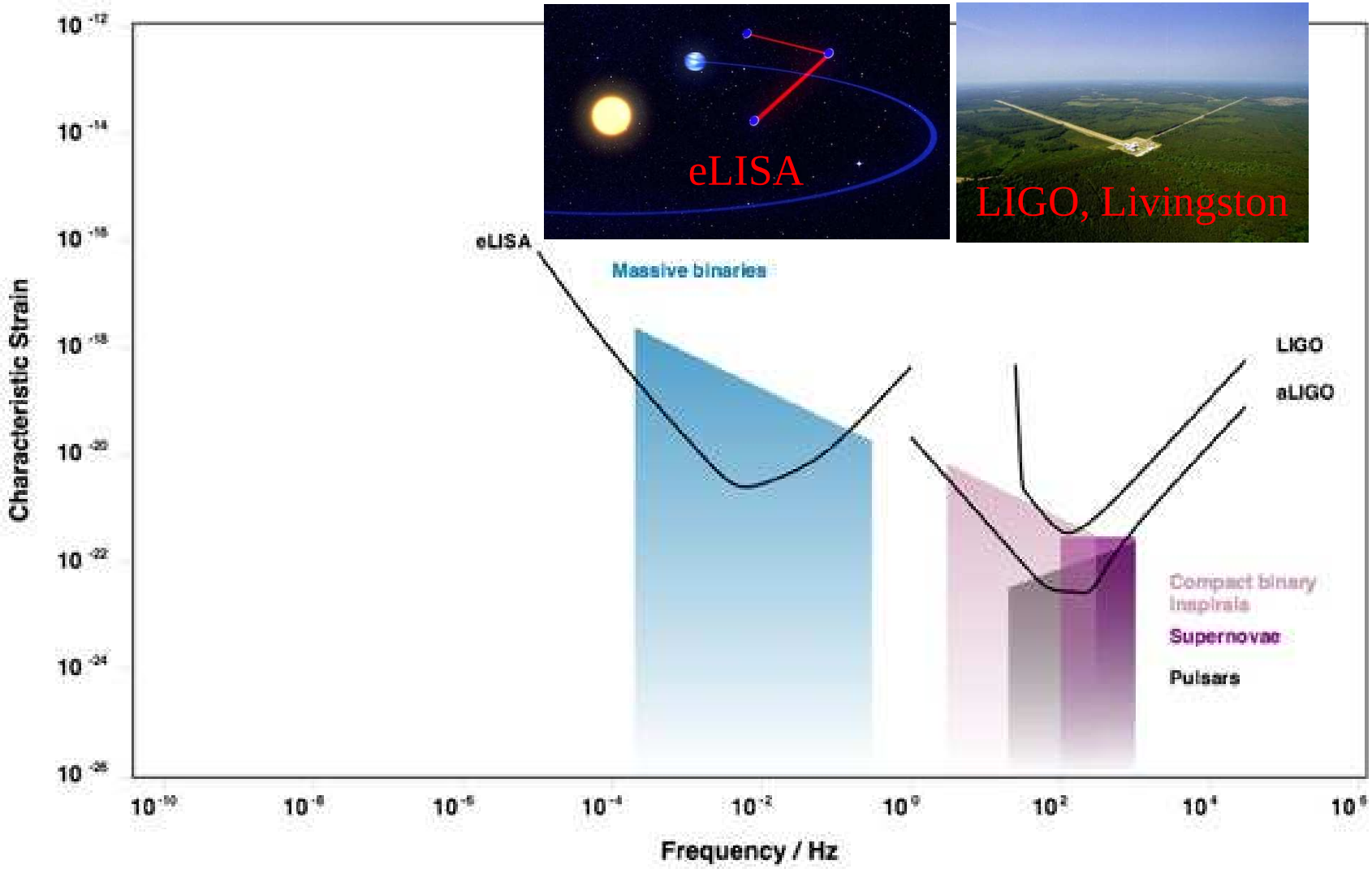


OPEN

This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

ThalesAlenia Space

Rivelazione delle onde gravitazionali



La sensibilità alle basse frequenze (0.1 – 100 mHz), consentita dall'uso di bracci dell'interferometro di 10^6 km e dalla pressoché totale assenza di disturbi ambientali, da accesso ad un numero di sorgenti molto maggiore di quelle rivelabili da analoghi osservatori terrestri, dove la lunghezza dei bracci è dell'ordine del km.

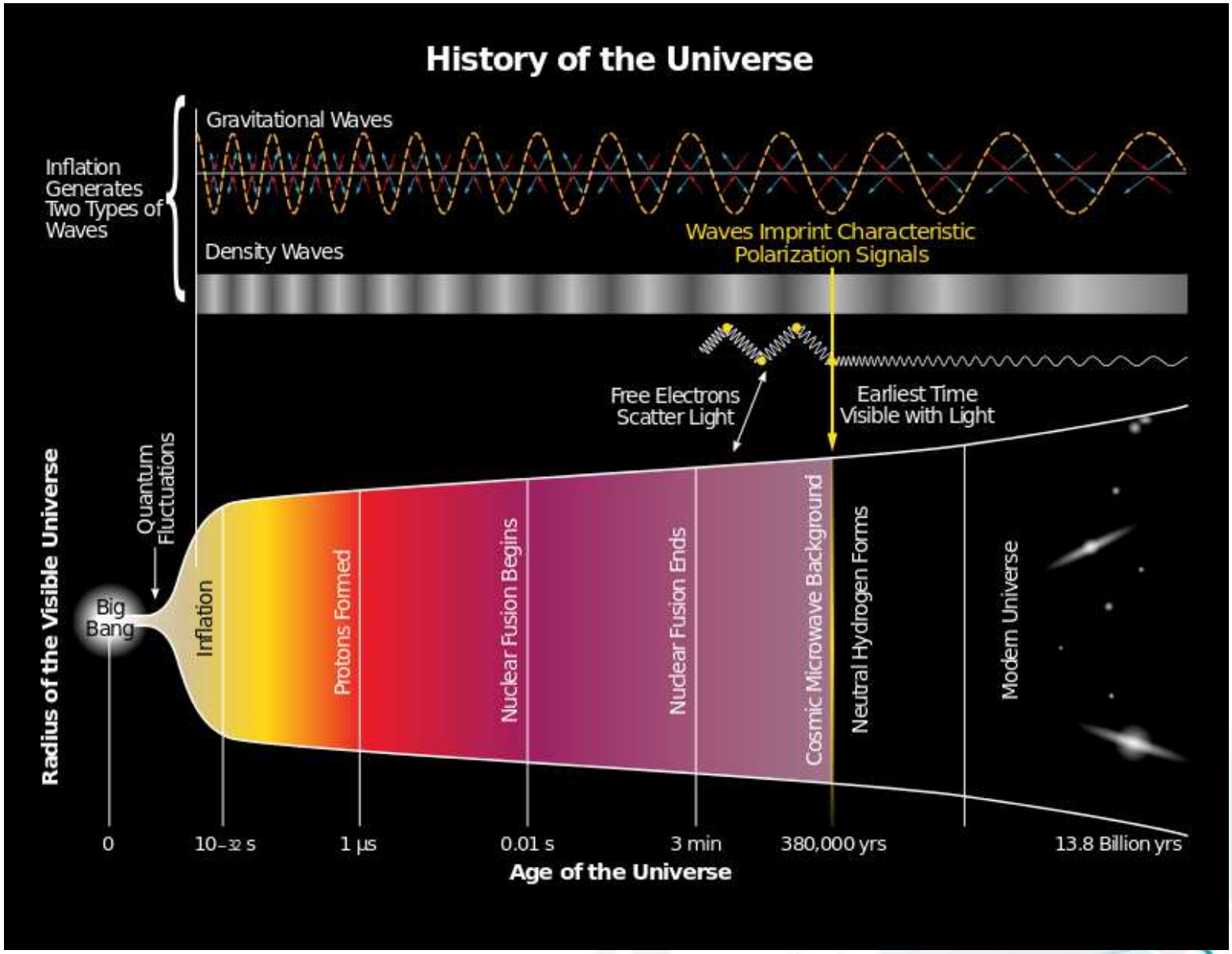
OPEN

This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

ThalesAlenia Space
A Thales / Finmeccanica Company

Rivelazione delle onde gravitazionali

"Osservare" le onde gravitazionali permetterebbe di accedere ad informazioni che non possiamo ricevere attraverso le onde elettromagnetiche.
Le onde gravitazionali interagiscono debolmente con la materia e viaggiano indisturbate su distanze cosmiche, manifestandosi come deformazioni dello spazio-tempo nelle direzioni ortogonali a quella di propagazione.
Le onde gravitazionali possono fornirci l' "immagine" dell'universo primordiale, prima dell'epoca da cui proviene la prima "luce" osservabile

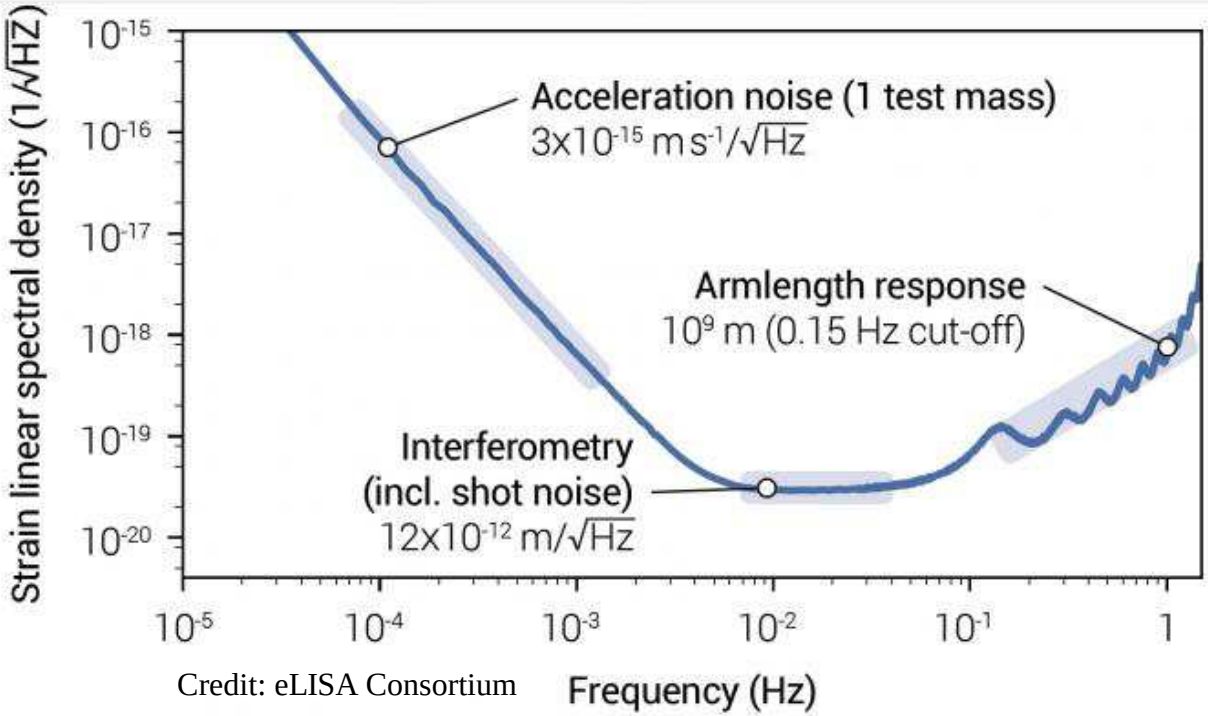


OPEN

This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

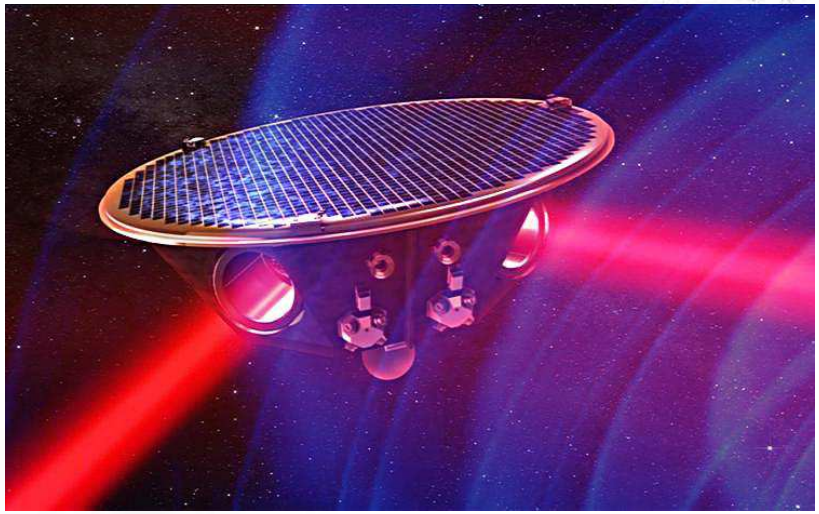
ThalesAlenia Space

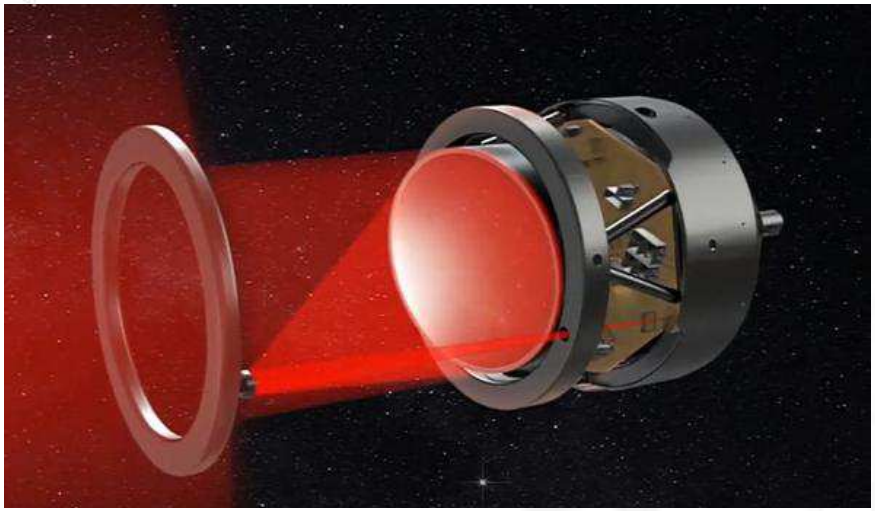
Rivelare le onde gravitazionali con il laser



Credit: eLISA Consortium

La risoluzione di misura dell'interferometro laser deve essere di ~10 pm.
La grande distanza tra i satelliti richiede l'utilizzo di una tecnica di "rigenerazione" del fascio laser: il fascio che arriva sul secondo satellite non è semplicemente retro-riflesso, ma viene agganciato in fase ad una sorgente locale che ritrasmette il fascio al primo satellite.





Credit: AEI/MM/exozet

Il fascio laser viene trasmesso e ricevuto da telescopi di 20 cm. La potenza ottica trasmessa è di circa 2 W; quella ricevuta a 10^6 km, prima dell' amplificazione è di circa 500 pW.

OPEN

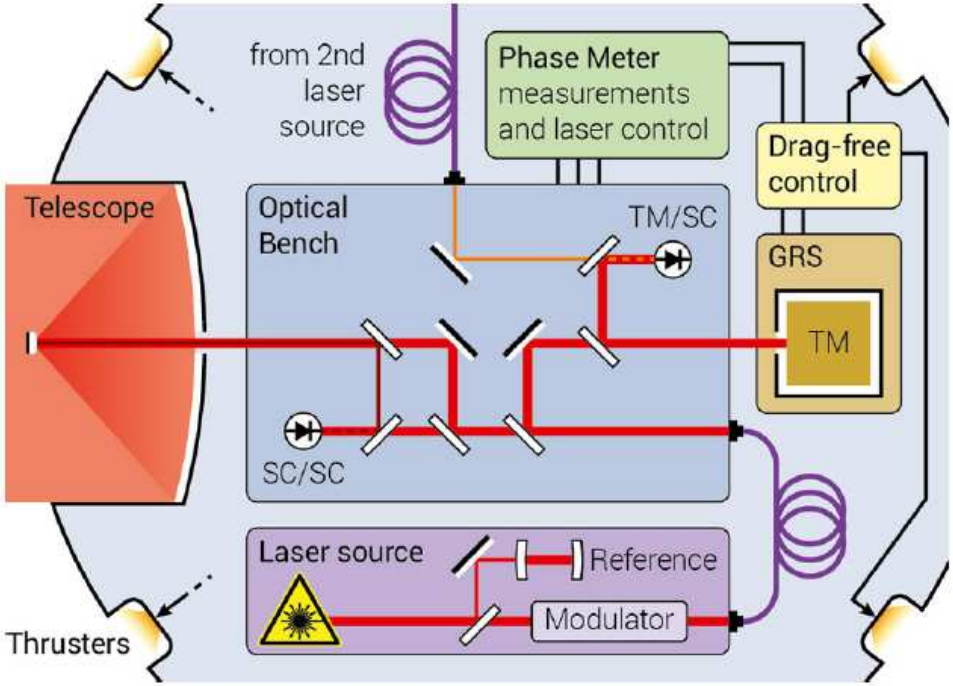
This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

ThalesAlenia Space
A Thales / Finmeccanica Company

Rivelazione delle onde gravitazionali

Le misure di distanza sono riferite alle masse dei Gravitational Reference Sensor (GRS) installati sui satelliti.

Queste masse sono mantenute isolate dalle perturbazioni esterne mediante un sistema di micro-propulsori in modo che seguano una traiettoria puramente gravitazionale.



OPEN

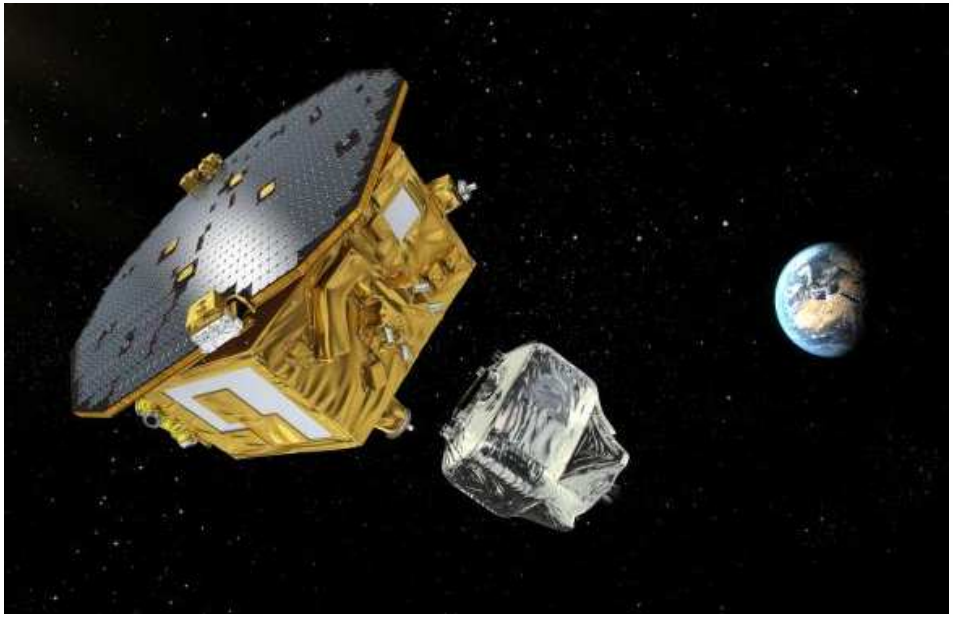
This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

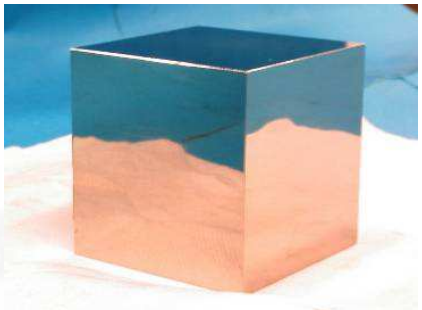
ThalesAlenia Space
A Thales / Finmeccanica Company

Rivelazione delle onde gravitazionali

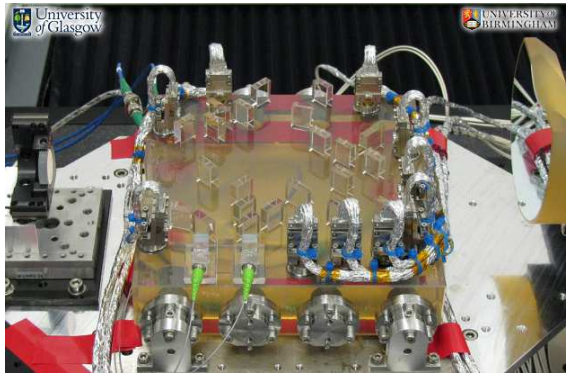
Preparando eLISA: LISA Pathfinder.

- Lancio: 3 dicembre 2015
- Arrivo al punto Lagrangiano L1: 22 gennaio 2016
- Inizio fase scientifica: 8 marzo 2016; durata: 6 mesi.
- Strumentazione: due Gravitational Reference Sensor (GRS), un interferometro Laser, sistema di micro-propulsori ad azoto per la compensazione della pressione di radiazione solare.
- Obiettivo: dimostrare la possibilità di isolare le masse di riferimento dalle perturbazioni non gravitazionali; verificare il funzionamento e la prestazione dell'interferometro laser nello spazio.

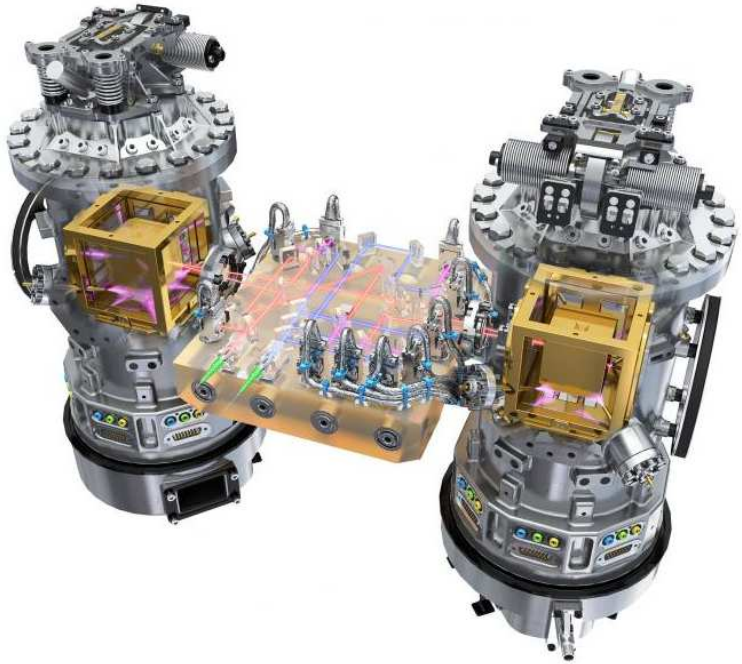




Massa in lega oro-platino (46 mm^3, 1.96 kg) realizzata da TAS-I per il GRS di LISA Pathfinder.



Banco ottico di LISA Pathfinder



OPEN

This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space