

Satellites Tests of Relativistic-Gravity SaToR-G

Proposta di apertura di una nuova sigla per la CSN2

David Lucchesi

IAPS/INAF – INFN

Tor Vergata

david.lucchesi@inaf.it

Chiusura di LARASE (2013-2019)

- **LARASE** (**LA**ser **RA**nged **S**atellites **E**xperiment) ha raggiunto l'obiettivo di una misura precisa e accurata della precessione di **Lense-Thirring** prodotta dal Campo **Gravitomagnetico** terrestre
- riducendo sensibilmente, rispetto alle misure precedenti, gli errori sistematici legati alla non perfetta conoscenza del campo gravitazionale terrestre
- contribuendo significativamente allo sviluppo di nuovi modelli per le perturbazioni non-gravitazionali agenti sui satelliti
 - **LAGEOS (NASA,1976)**
 - **LAGEOS II (ASI/NASA, 1992)**
 - **LARES (ASI, 2012)**



LARASE website

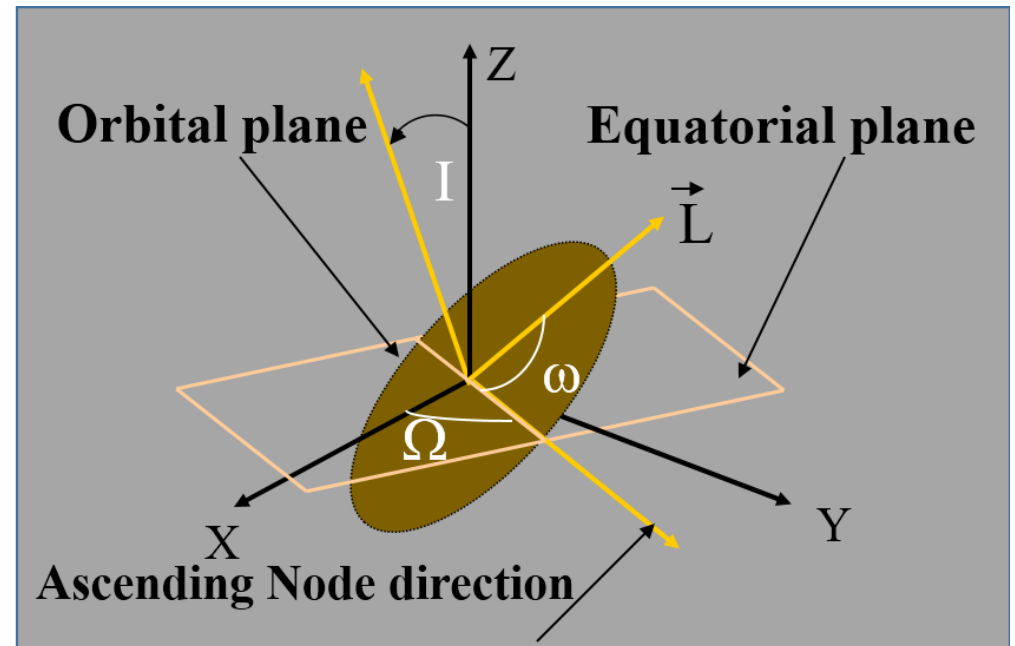
<http://larase.roma2.infn.it>

La precessione di Lense-Thirring

- L'effetto **Lense-Thirring** consiste in una precessione dell'orbita di un satellite attorno a un corpo centrale prodotta dalla sua rotazione, ovvero dal suo momento angolare
- Tale precessione produce un effetto secolare su due elementi orbitali:
 - **l'ascensione retta del nodo ascendente**
 - **l'argomento del pericentro**

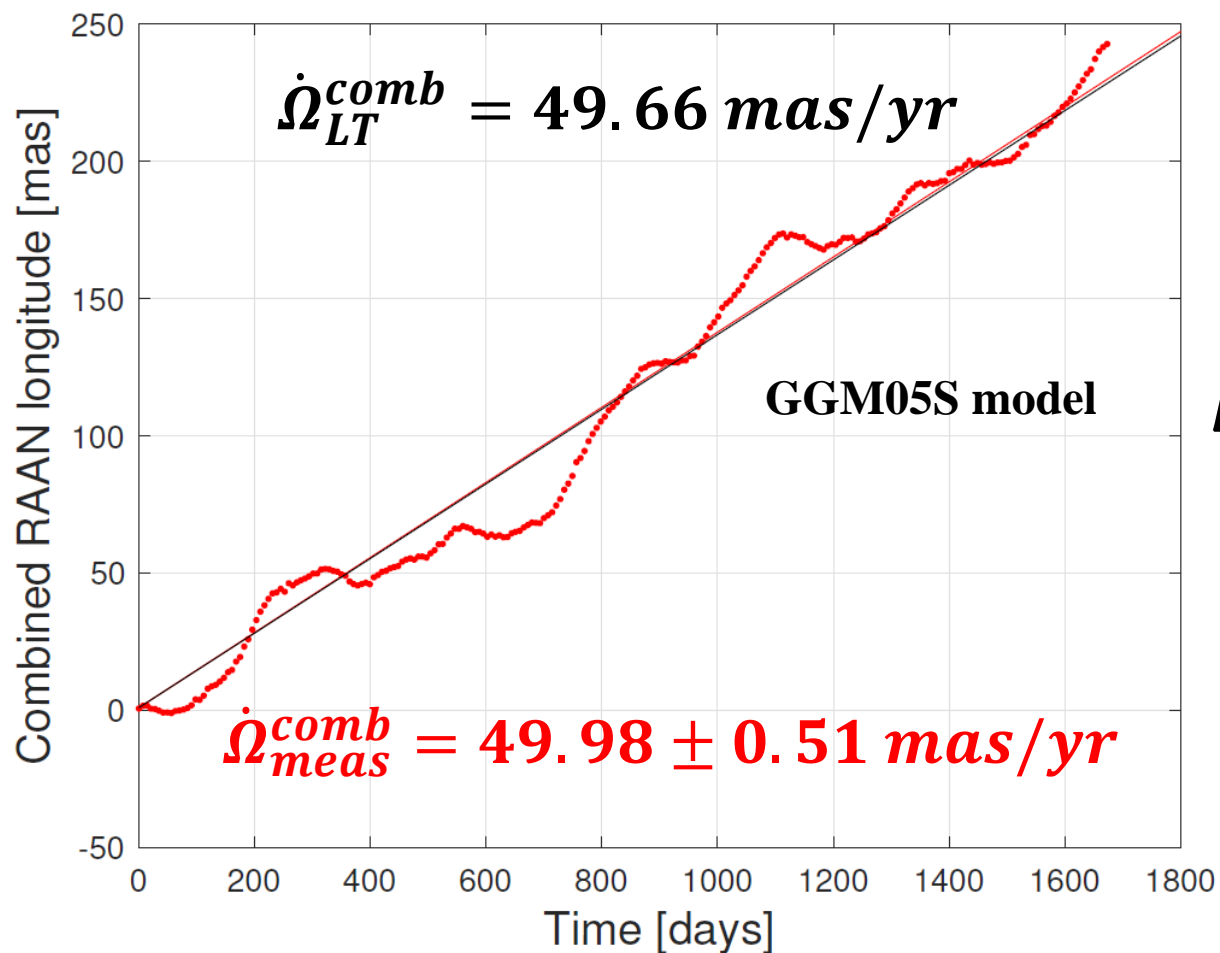
$$\left\langle \frac{d\Omega}{dt} \right\rangle_{sec} = \frac{2G}{c^2 a^3} \frac{J_{\oplus}}{(1 - e^2)^{3/2}}$$

$$\left\langle \frac{d\omega}{dt} \right\rangle_{sec} = -\frac{6G}{c^2 a^3} \frac{J_{\oplus}}{(1 - e^2)^{3/2}} \cos i$$



Risultato

$$\dot{\Omega}^{comb} = \delta\dot{\Omega}_{res}^{L1} + k_1\delta\dot{\Omega}_{res}^{L2} + k_2\delta\dot{\Omega}_{res}^{LR}$$



$$\langle \dot{\Omega}_{LT} \rangle_{sec} = \frac{2G}{c^2 a^3} \frac{J_{\oplus}}{(1 - e^2)^{3/2}} \mu$$

Rate (mas/yr)	LAGEOS	LAGEOS II	LARES
$\langle \dot{\Omega}_{LT} \rangle_{sec}$	30.67	31.50	118.48

30 mas \cong 1.8 m in 1-year

$\mu = 1$ if General Relativity is correct

$\mu = 0$ in Newtonian physics

$$\mu_{meas} - 1 = +6.0 \times 10^{-3} \pm 5.0 \times 10^{-3} \pm 16 \times 10^{-3}$$

	$\delta\mu_{sys}$ [%]
Perturbations	int. res.
Gravitational field	1.00
Tides	0.6
Periodic effects	0.3 (1.00)
de Sitter effect	0.32
RSS	1.2 (1.6)

Risultato

$$\mu_{meas} - 1 = +6.0 \times 10^{-3} \pm 5.0 \times 10^{-3} \pm 16 \times 10^{-3}$$



Article

General Relativity Measurements in the Field of Earth with Laser-Ranged Satellites: State of the Art and Perspectives

David M. Lucchesi ^{1,2,3,*}, Luciano Anselmo ², Massimo Bassan ^{3,4}, Carmelo Magnafico ^{1,3}, Carmen Pardini ², Roberto Peron ^{1,3}, Giuseppe Pucacco ^{3,4} and Massimo Visco ^{1,3}

¹ Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali (IAPS)-Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), 00133 Roma, Italy; carmel.magnafico@inaf.it (C.M.); roberto.peron@inaf.it (R.P.); massimo.visco@inaf.it (M.V.)

² Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione (ISTI)-Consiglio Nazionale delle Ricerche, 56124 Pisa, Italy; luciano.anselmo@isti.cnr.it (L.A.); carmen.pardini@isti.cnr.it (C.P.)

³ Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Roma Tor Vergata, 00133 Roma, Italy; massimo.bassan@roma2.infn.it (M.B.); giuseppe.pucacco@roma2.infn.it (G.P.)

⁴ Dipartimento di Fisica, Università di Roma Tor Vergata, Via della Ricerca Scientifica 1, 00133 Roma, Italy

* Correspondence: david.lucchesi@inaf.it

Received: 18 February 2019; Accepted: 6 June 2019; Published: 7 June 2019



SaToR-G

Proposta di lavoro per la CSN2

- **SaToR-G** si propone di estendere le attività di **LARASE** nell'ambito delle verifiche della interazione gravitazionale in campo debole per mezzo di satelliti passivi inseguiti via laser
- In particolare, **SaToR-G** si focalizzerà nelle verifiche della interazione gravitazionale al di là delle previsioni della Relatività Generale (**RG**) di Einstein, in cerca di effetti legati, possibilmente, a *nuova fisica*, e previsti da diverse *teorie alternative* (alla **RG**) della gravitazione
- Lo scopo è testare le predizioni di *teorie metriche* della gravitazione diverse dalla **RG**

SaToR-G

Il contesto teorico

- In questo ambito, rivestono una notevole importanza le cosiddette teorie scalar-tensoriali della gravitazione, così come quelle vettoriali
- A tale scopo le principali misure riguarderanno le possibili deviazioni della interazione gravitazionale dall'inverso del quadrato della distanza e la misura precisa e accurata di alcuni parametri *post-newtoniani* in campo terrestre secondo il formalismo **PPN** (Parametrized Post-Newtonian)
- Questi sono in effetti gli strumenti più potenti per testare le predizioni delle diverse teorie al di là delle predizioni della stessa **RG**
- Guardare agli effetti sulle orbite di satelliti artificiali ci consente di testare la **RG** vs. altre teorie *metriche*, nei loro aspetti più profondi, legati alla curvatura dello *spaziotempo* e al moto su *geodetica*, così come rispetto alle stesse **equazioni di Einstein** e alle loro conseguenze
- Le diverse teorie *metriche* della gravitazione condividono il Principio di Equivalenza di Einstein (**EEP**), la struttura Lorentziana dello *spaziotempo* e le equazioni del moto
- In altri termini, in tutte le teorie *metriche* della gravitazione la struttura dello *spaziotempo* è la medesima, così come il modo con cui la *geometria* di questo, ordini, alla *massa-energia*, di muoversi
- Ciò che invece distingue profondamente la **RG** dalle altre teorie *metriche* della gravitazione sono le equazioni del campo gravitazionale, ovvero come la *massa-energia* del campo ordini alla *geometria* dello *spaziotempo* di incurvarsi

SaToR-G

Principali obiettivi scientifici

Dalle analisi delle orbite dei satelliti si possono ricavare tutta una serie di misure gravitazionali con conseguenti vincoli su diverse teorie della gravitazione. Fra le misure principali si possono considerare:

- Vincoli su interazioni a lungo-raggio (5-forza, ...)
- Parametri **PPN** e loro combinazioni: β , γ , α_1 , α_2
- Precessioni relativistiche e non linearità della interazione gravitazionale
- **EEP** e sua formulazione forte (**SEP** ed effetto Nordtvedt: $\eta_n = 4\beta - \gamma - 3$)
- ...

Valori secondo la RG

$$\begin{aligned}\beta &= 1 \\ \gamma &= 1 \\ \alpha_1 &= \alpha_2 = 0 \\ \eta_n &= 0\end{aligned}$$

L'obiettivo è quello di fornire misure precise e accurate, nel senso di una valutazione robusta e affidabile dei sistematici, in modo da ottenere vincoli significativi per le diverse teorie

SaToR-G

Richieste 2020

Anagrafica 2020: 3.4 FTE

David Lucchesi	90%
Giuseppe Pucacco	70%
Roberto Peron	60%
Massimo Visco	50%
Carmelo Magnafico	50%
Marco Lucente	20%

Missioni:

- **Congressi Internazionali (§)** 4.0 k€
- **Workshop ILRS (*)** 4.0 k€
- **Riunioni Interne (#)** 3.5 k€

Consumo:

- **Dischi per archiviazione** 1.0 k€

Inventario:

- **RAM** 0.5 k€

Totale 13.0 k€

(§) Per la partecipazione di due ricercatori ad uno/due Congressi Internazionali

(*) Per la partecipazione di due/tre ricercatori al Workshop Internazionale dell'ILRS

(#) Per tre riunioni interne alla collaborazione SaToR-G