LAG_M (Liquid Actuated Gravity)

Esperimento proposto in CSN5

Durata proposta: 3 anni

Responsabile nazionale: Rosario de Rosa

Unità partecipanti: INFN Napoli - INFN Tor Vergata

Collaborazione: Cal Poly Humboldt – USA (gruppo Prof. C.D. Hoyle)

Introduzione

- L'obiettivo è realizzare un test in laboratorio **sulla dipendenza dall'inverso della distanza dell'interazione gravitazionale** (ISL) e sul **principio di equivalenza in forma debole** (WEP) a distanze di 1-10 mm.

- Utilizzeremo nelle misure un pendolo di torsione. La novità del nostro esperimento è l'uso, come sorgente del campo gravitazionale (**Field Mass FM)** una massa liquida il cui **livello può essere cambiato in modo controllato e ripetibile** per modulare la forza su una **massa di prova (Test mass TM)**, sospesa al pendolo di torsione. Vantaggi: uniformità di densità e riduzione dei disturbi meccanici.

- La proposta di LAG_M si basa su una lunga attività di R&D
  - **LAG R&D (dal 2019 al 2022)** ha dimostrato con successo il principio di operazione di un attuatore liquid (H_2O) usando la facility di LISA PF
  - **MAG R&D (2023-2024)** stiamo sperimentando l'uso del mercurio come liquido e validando due sistemi per la misura di livello
  - **Proposta in CSN2** nel 2025, finanziata (42.5K sotto dotazioni), ma non approvata anche per aspetti formali.

Obiettivi scientifici

- Abitualmente **possibili deviazioni da ISL** sono parametrizzate usando le una espressione alla Yukawa per il potenziale prodotto da una massa puntiforme M:

$$V_{Yukawa}(r) = -G_{\infty}\frac{M}{r}\left(1 + \alpha e^{-r/\lambda}\right)$$

dove G è le costante di gravitazione, α l'ampiezza delle deviazione e λ è la scala a cui la deviazione dovrebbe manifestarsi. Andremo ad analizzare a scala intorno e sotto il cm.

- **Nel caso di violazione WEP** l'interazione gravitazionale devia dalla legge di Newton in relazione alla composizione delle masse → violazione dell'universalità della caduta libera. Anche in questo caso le deviazioni vengono parametrizzate con un'energia potenziale alla Yukawa:

$$U(r) = -\frac{Gm_1m_2}{r}\left(1 + \tilde{\alpha}\left[\frac{\tilde{q}}{\mu}\right]_1\left[\frac{\tilde{q}}{\mu}\right]_2 e^{-r/\lambda}\right)$$

$\tilde{\alpha}$ = coupling constant
q = "charge" depending on Z and N
μ = atomic mass

- Il WEP è stato testato con grande precisione su distanze da 0.1m fino alla scala planetaria, ma **non è stato ancora testato a distanze sotto il cm.**

Metodo di misura

- Per misurare la **dipendenza dell'inverso del quadrato della distanza (ISL)** si misura il valore della forza gravitazionale a due o più distanze e si costruisce la variabile γ che nel caso di masse puntiformi è:

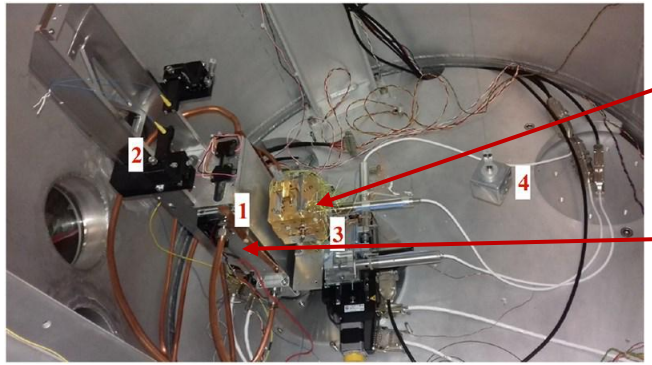
$$\gamma = \frac{F_N}{F_F}\left(\frac{r_N}{r_F}\right)^2$$

dove F_N e F_F sono le forze misurate rispettivamente alla distanza r_N e r_F.

- Le **deviazioni** si manifestano con valori di **γ diversi da 1**.

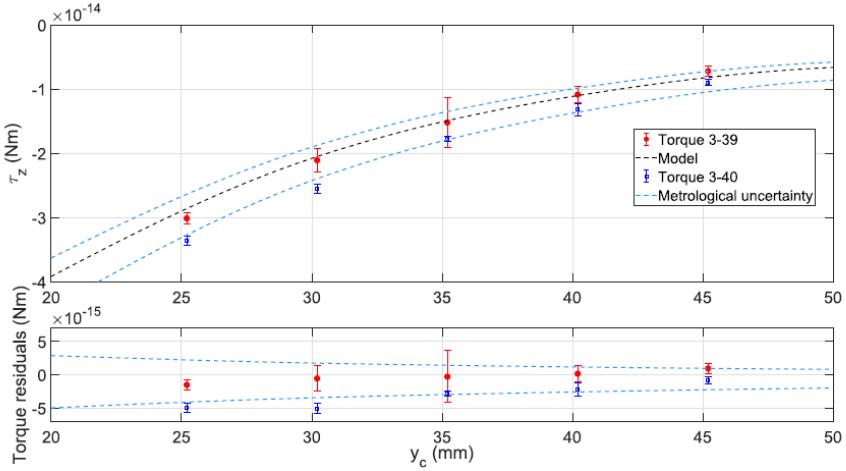
- Per misurare **violazioni del principio di equivalenza** (WEP) si realizza una massa test, i cui spostamenti sono misurati dal pendolo di torsione, composto da materiali con caratteristiche molto differenti in modo che si possa osservare una modulazione del segnale prodotto dalla massa sorgente dovuto alla differente risposta dei materiali usati

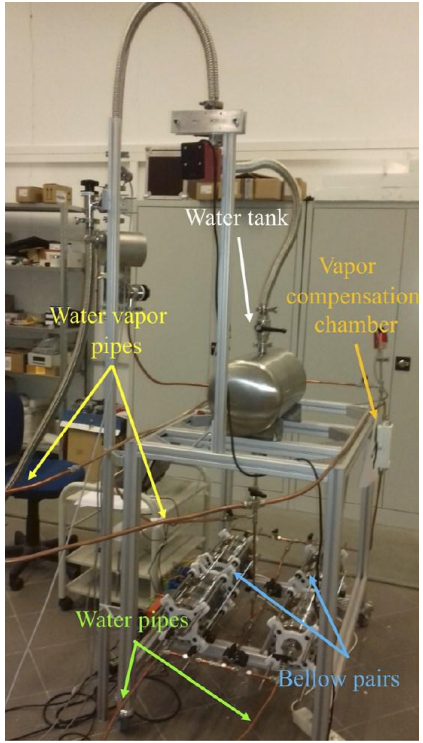
MAG e LAG R&D



Test Mass

Contenitore della Field Mass





Sistema di controllo del flusso di liquido

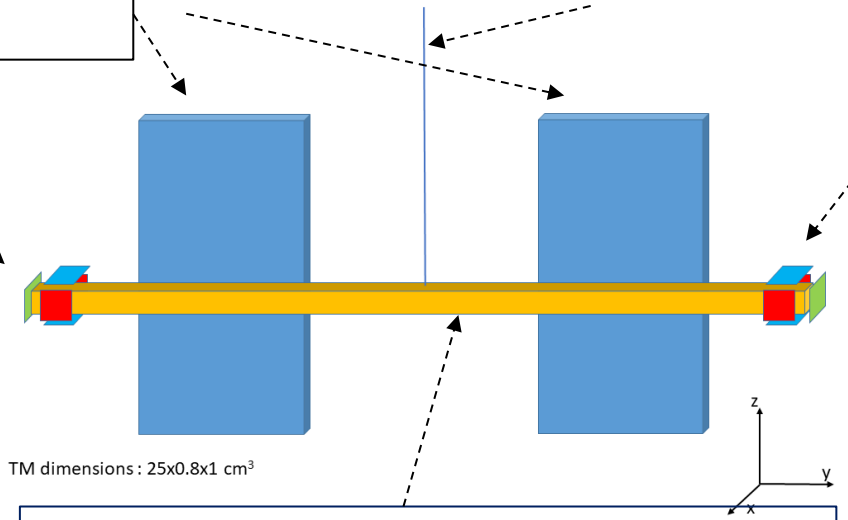
Modello concettuale ISL

Fibra del pendolo di torsione
Tungsteno ϕ 40μm L= 1.5 m f<1 mHz

Field Masses
Mercurio

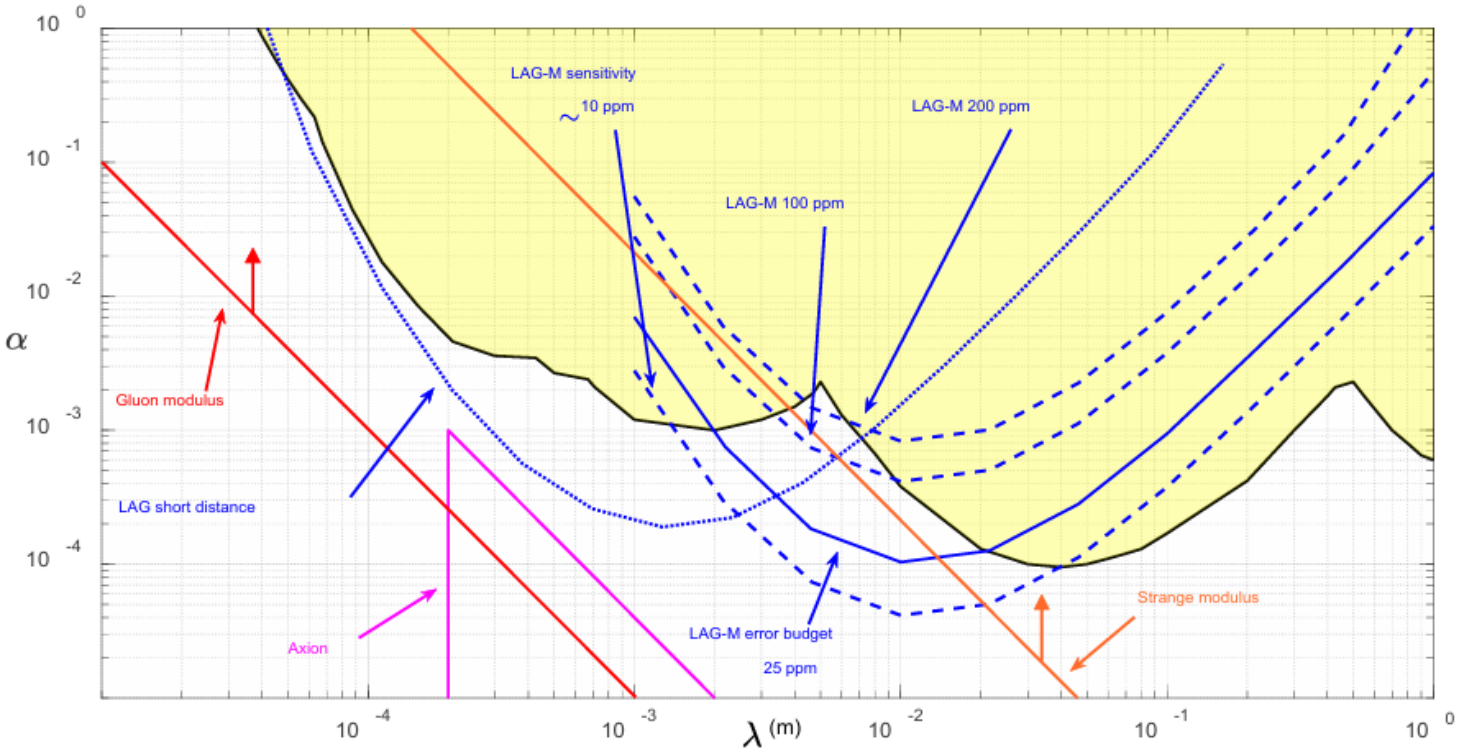
Elettrodi per read-out capacitivo

Elettrodi per read-out capacitivo

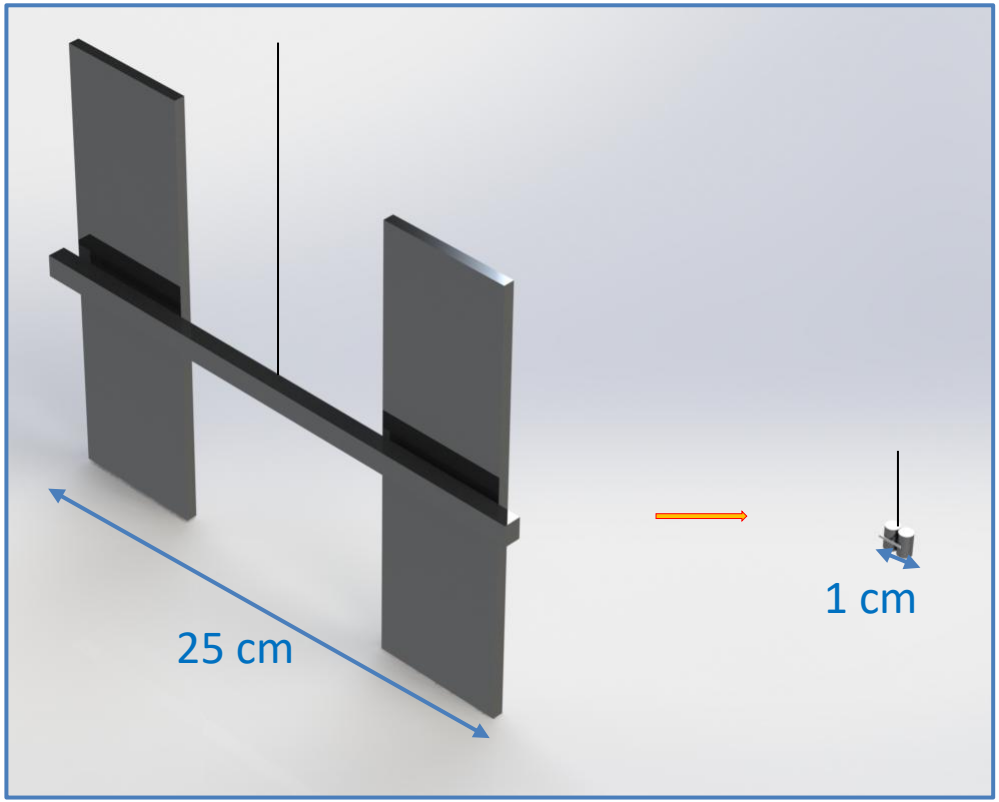


TEST MASS
Molibdeno 25x0.8x1 cm^3

Risultati attesi ISL e limiti attuali

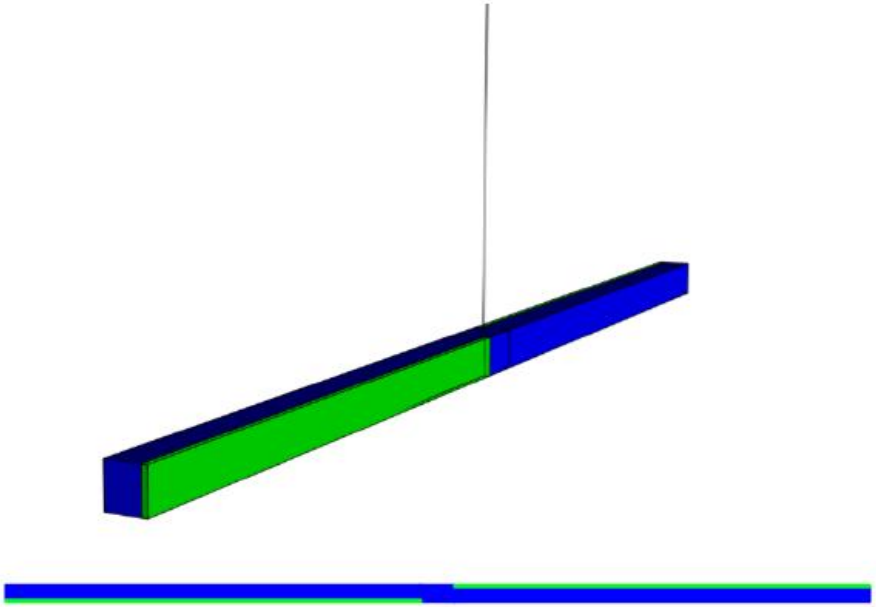


Dai centimetri ai millimetri



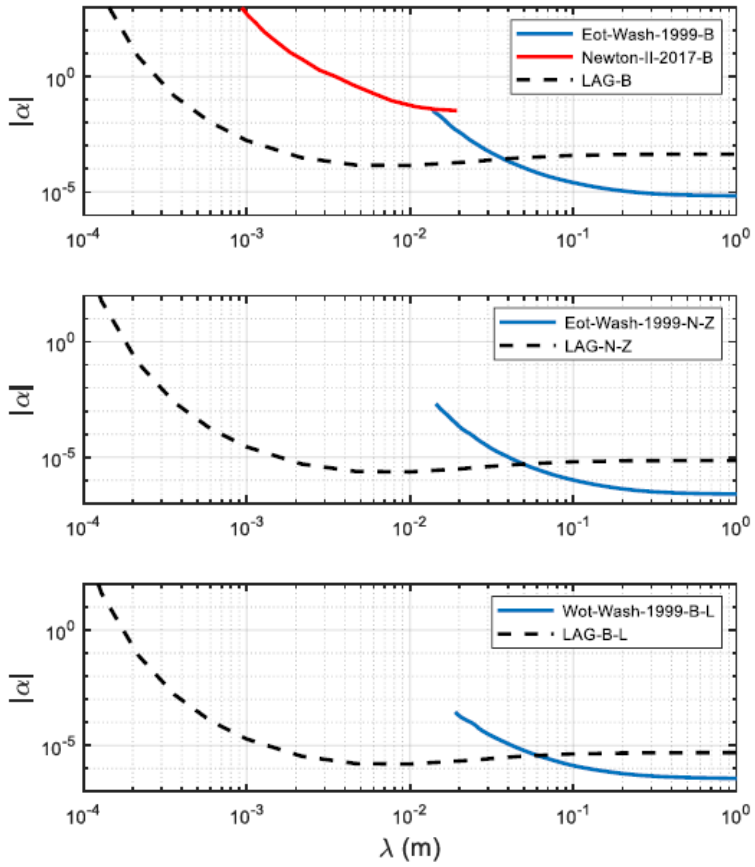
Seguendo una precisa richiesta dei referee che avevano analizzato la proposta in CSN2 abbiamo iniziato simulazioni per trovare configurazioni atte ad esplorare distanze sub-millimetriche.

Modello concettuale WEP



Materiale	Z	N
Tantalio	73	107
Alluminio	13	14
Mercurio	80	116

Le dimensioni totali della Test mass per la verifica del WEP sono identiche a quelle della massa da usare per le misure ISL in modo da poter passare con poche modifiche da un tipo di misura all'altra



Sensibilità ad eventuali violazioni di WEP in relazione ad accoppiamenti dipendenti da:

- Numero atomico **Z**
- Numero dei neutroni **N**
- Numero leptonico **L**
- Numero Barionico **B=Z+N**

Richieste economiche

Le richieste di finanziamento previste per il 2026 della sezione di Tor Vergata sono:

- Missioni per le attività presso la sezione di Napoli **2.5 k**
- Materiale per lavorazioni meccaniche **2 k**

- Costo presunto **totale dell'esperimento su 3 anni 74.5 k (la maggior parte a Napoli)**

Composizione del gruppo a Tor Vergata

- Massimo Visco 40%
- Massimo Bassan -
- Anna Sgarlata 20%
- Manuela Scarselli 20 %
- David Lucchesi 20%
- Yury Minenkov -

1.0 FTE

- **3.6 FTE** a Napoli

Compiti della sezione nel 2025

- **Simulazione e analisi dati (**WP1)
- Definizione dell'apparato di misura
- Simulazioni per misure submillimetriche