

Il punto di vista della CSN2

O. Cremonesi

INFN - Sez. Milano Bicocca

Workshop Gravitazione Sperimentale - 12-13/11/2020

WORKSHOP ONLINE SULLA GRAVITAZIONE SPERIMENTALE

MISURE LASER, FISICA FONDAMENTALE E APPLICAZIONI IN INFN-CSN2*

<https://agenda.infn.it/event/24144/>

Il Workshop si focalizza su tre esperimenti di fisica della gravitazione che utilizzano il laser come strumento per ottenere delle misure di fisica fondamentale di notevole precisione e accuratezza: GINGER, MoonLIGHT-2 e SATOR-G.

Sarà presentato lo stato dell'arte delle attività sperimentali, tecnologiche, di modellizzazione e di misura dei tre esperimenti, evidenziandone prospettive future e rilevanza nell'ambito delle misure di fisica della gravitazione in campo debole.

Saranno evidenziate le collaborazioni scientifiche attuali fra i tre esperimenti con altre comunità nazionali e internazionali, nonché le sinergie fra i tre esperimenti e i possibili temi di collaborazione. Infine la navigazione satellitare, attraverso l'uso scientifico della costellazione europea GNSS Galileo, sarà punto di dibattito.

12-13 NOVEMBRE 2020

SOC, G. Bianco, S. Dell'Agnello, A. Di Virgilio, D. Lucchesi, L. Porcelli

GINGER: Osserva con grande accuratezza la velocità angolare della Terra attraverso un insieme di girevoli laser basati sull'effetto Sagnac. L'obiettivo è tentare le possibili violazioni di Lorentz e misurare l'effetto di Relatività Generale Lense-Thirring da una determinata latitudine e senza utilizzare una mappa del campo gravitazionale.



MOONLIGHT-2: Tramite il tracking laser l'esperimento misura la distanza fra Terra e Luna e fra altri corpi del sistema solare con conseguenti misure nel campo della fisica fondamentale, quali la misura dei vincoli sulla equazione nel tempo di G , la verifica della validità del principio di equivalenza, la misura della precisione geodetica e la verifica della legge dell'inverso del quadrato della distanza per l'interazione gravitazionale.



SATOR-G: Studia l'ingombro laser di alcuni satelliti passivi utilizzati principalmente per lo studio della Terra. L'obiettivo principale dell'esperimento è quello di evidenziare possibili effetti di fisica non-einsteiniana confrontando le predizioni della Relatività Generale con quelle di altre teorie della gravitazione.



(*1) COMMISSIONE SCIENTIFICA NAZIONALE 7 - ESPERIMENTI DI FISICA ASTROPARTICELLARE

Outline

- L'organizzazione della CSN2
- Relatività Generale e Fisica Quantistica
- Perché un workshop sulla Gravitazione Sperimentale

Astro-particle Physics

- A rich variety of primary interest scientific items
- Strong multidisciplinary
- Many ideas and a large number of proposals
- **4 main research lines**
 - Dark Universe
 - Radiation from the Universe
 - Neutrino properties
 - General Relativity and Quantum Physics
- A large number of project at different stages:
 - technological R&D (synergy with CSN5)
 - scientific developments (CDR)
 - ready for construction:
 - demonstrators
 - experiments

CSN2 projects

COSINUS
CRESST
CYGNO
DAMA
DARKSIDE
EUCLID
MOSCAB
NEWS
SABRE
XENON

Dark Universe

ARCHIMEDES
ET
FISH
G-GRANSASSO
HUMOR
LISA
MEGANTE
MOONLIGHT2
QUAX
SATOR_G
SUPREMO
VIRGO
VMBCERN

General Relativity Quantum Physics

AMS2
AUGER
CTA
EUCLID
FERMI
GAPS
HERD_DMP
IXPE
LIMADOU
LITEBIRD
LSPE
QUBIC
SPB2

Cosmic Radiation

BOREX
CUORE
CUPID
GERDA
HOLMES_2
ICARUS
JUNO
KM3
LVD
NUCLEUS
NU_AT_FNAL
PTOLEMY
T2K
TRISTAN

Neutrino Properties

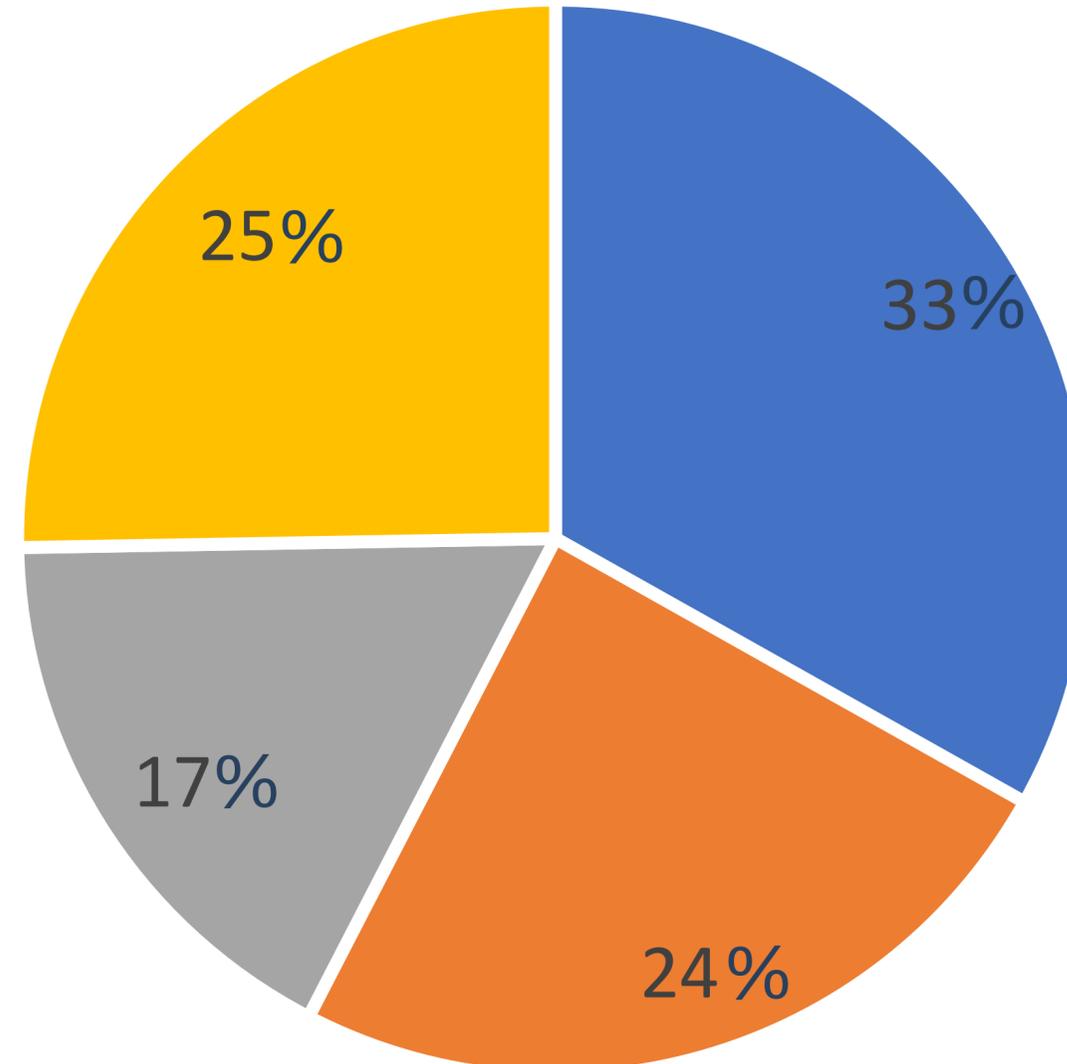
FTE

General Relativity and Quantum Physics

	Personne	FTE
GR	85%	85%

Dark
Universe

Researchers 2020
922 FTE



Cosmic
radiation

Neutrino
Properties

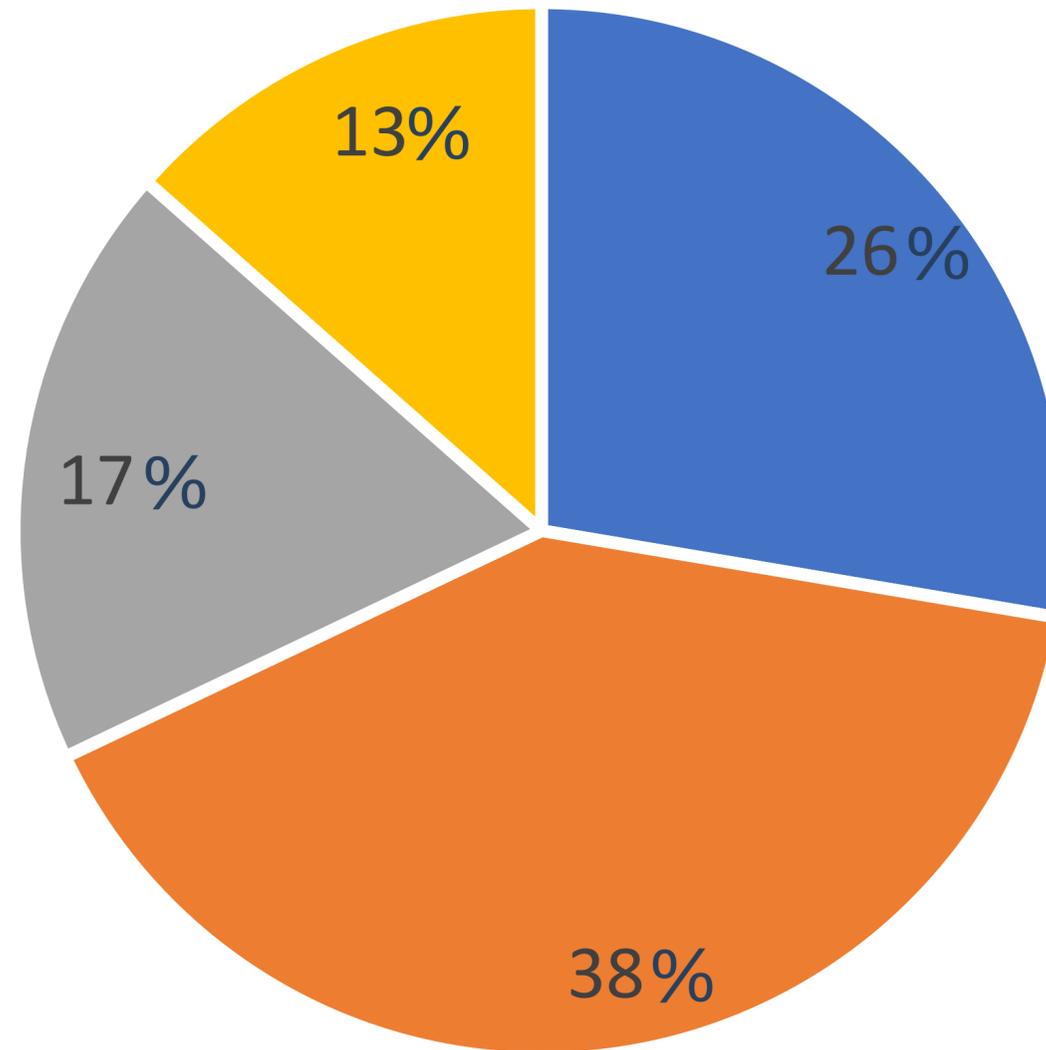
Budget share

General Relativity and Quantum Physics

	Total	Travel
GR	80%	92%

Dark
Universe

Budget 2020
by research line



Cosmic
radiation

Neutrino
Properties

General relativity and Quantum Physics

ET
LISA
VIRGO

Gravitational Waves

FISH
HUMOR
QUAX
SUPREMO
VMBCERN

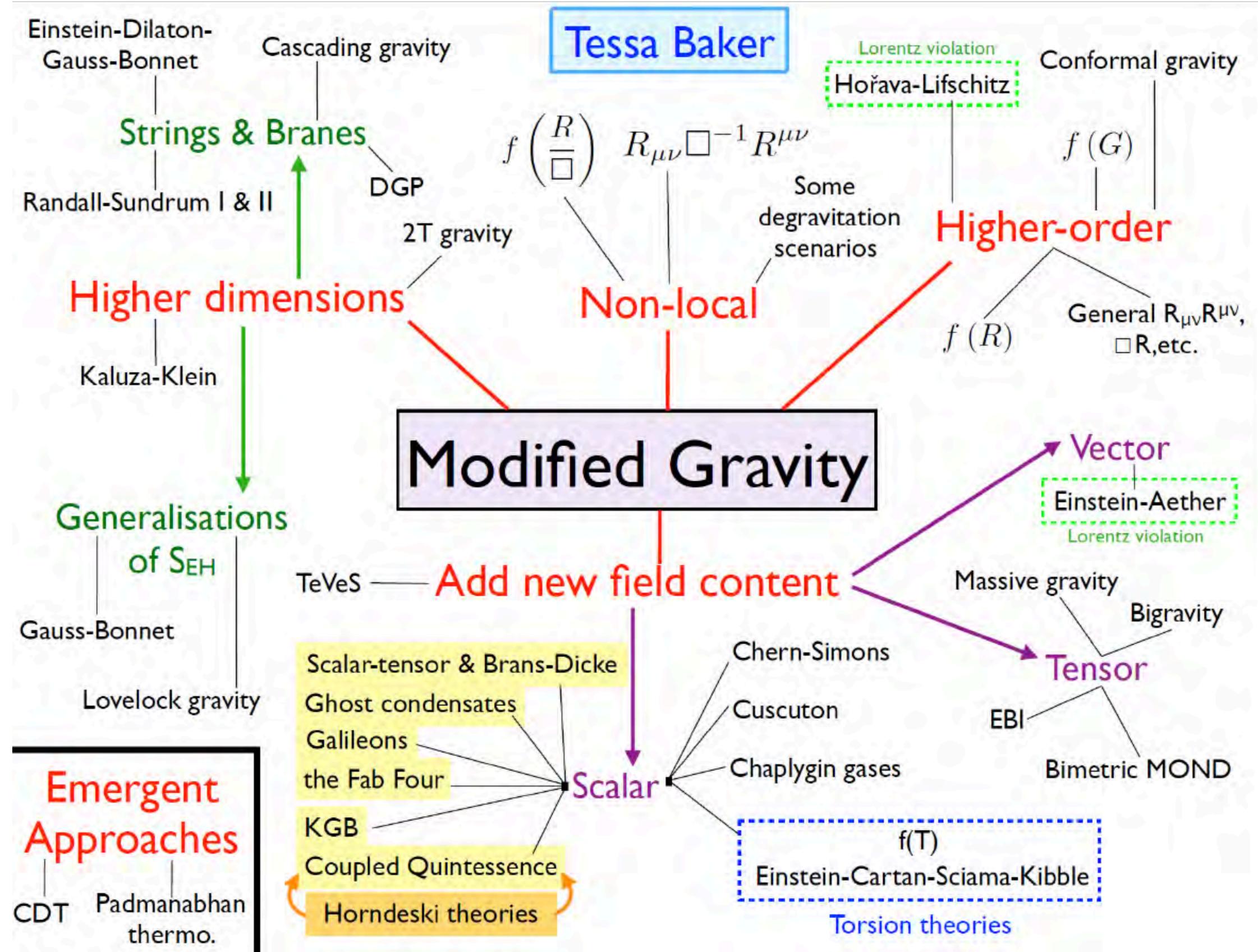
Quantum Physics

G-GRANSASSO
MOONLIGHT-2
SATOR_G
ARCHIMEDES_2
MEGANTE

Gravitation

Un'intricata foresta

- Relatività Generale (GR):
 - teoria standard della gravitazione
- Problemi:
 - non è rinormalizzabile
 - non spiega l'esistenza di materia ed energia oscura
- (Molte) possibili estensioni
 - devono modificare GR (ad alte e/o basse energie) mantenendo la consistenza ad energie intermedie
- Come districarsi?
 - servono strategie ...
 - e un pò di chiarezza



Principio di equivalenza di Einstein (EEP)

- Principio di equivalenza debole (WEP)
- Invarianza di Lorentz locale (LLI)
- Principio di invariata di Lorentz (LPI)

Il risultato di qualsiasi esperimento non gravitazionale in un laboratorio in caduta libera è indipendente dalla velocità del laboratorio e dalla sua posizione nello spazio-tempo.

- Se vale EEP, allora la gravità è descritta da una teoria metrica (GR)

- Test GR \Leftrightarrow Test EEP \Leftrightarrow Test WEP, LLI, LPI

Principio di equivalenza forte (SEP)

- Estende le ipotesi di EEP anche a esperimenti di tipo gravitazionale

Il risultato di qualsiasi esperimento locale (gravitazionale o meno) in un laboratorio in caduta libera è indipendente dalla velocità del laboratorio e dalla sua posizione nello spaziotempo.

- Se vale SEP, allora la gravitazione è espressa dalla sola metrica g
- GR sembra essere l'unica teoria che incarna completamente SEP

Verifiche di SEP

- Teorie scalari-tensoriali (Cassini)
- Precessione del perielio di Mercurio (Mercury MESSENGER)
- Effetto Nordtvedt, che consiste nella polarizzazione dell'orbita di un binario sistema in presenza di un terzo corpo (LLR)
- Distorsione di corpi massicci
- Variazione di G (o $m_{\text{particelle}}$) su tempi scala T_{Universo}

- Effetti gravitazionali post-Newtoniani
 - effetti relativistici in presenza di corpi rotanti
 - precessione di de Sitter
 - leggi di conservazione nella gravità post-newtoniana

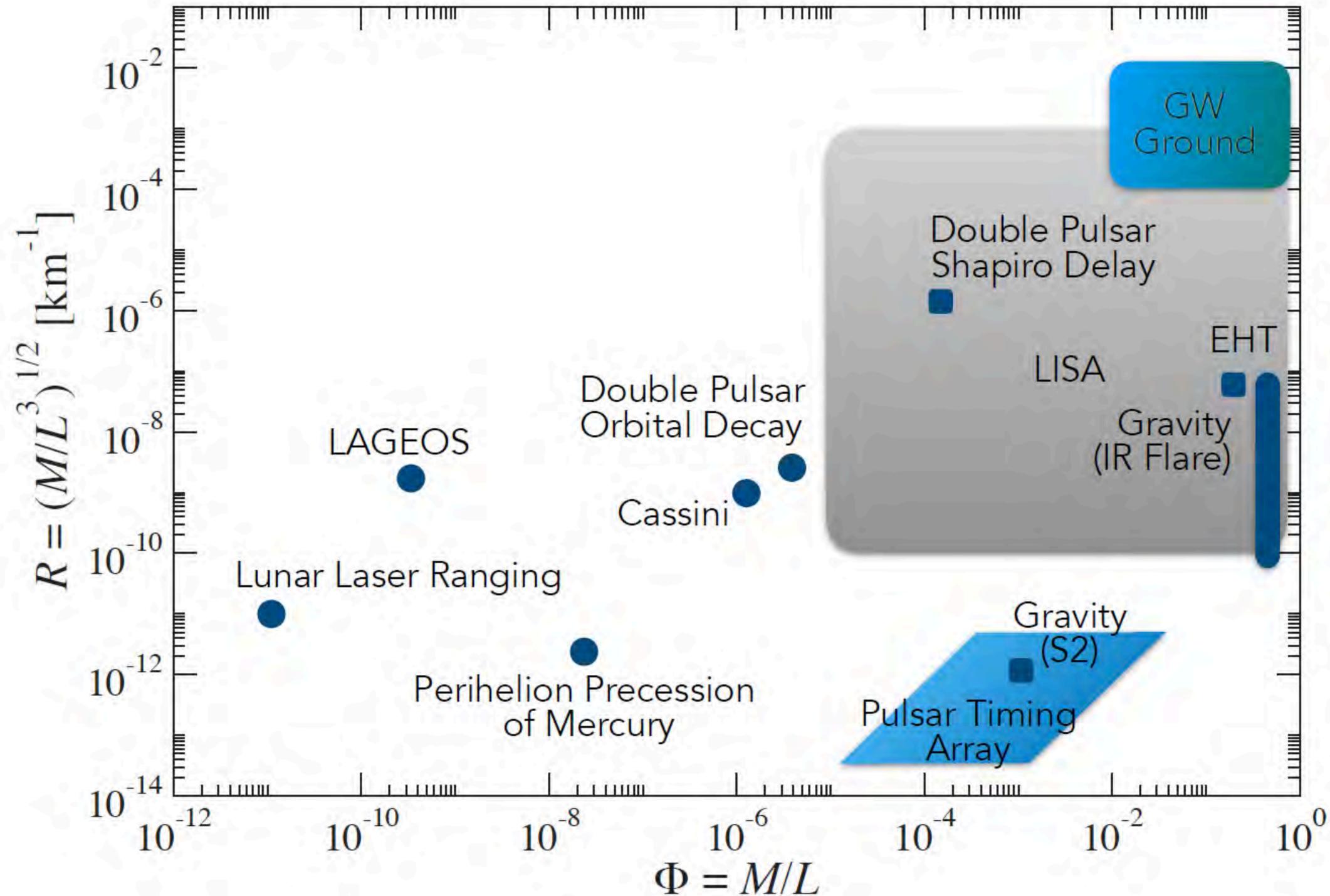
Campi forti

Sistema solare: esperimenti sondano regime di campo debole e velocità ridotte

"Campo forte": Sistemi con oggetti fortemente relativistici (NS, BH)

- Dinamica influenzata da emissione di GWs
- Moto orbitale altamente relativistico
- Gli esperimenti sondano meccanismi di generazione e di propagazione

Phys. Rev. D 94, 084002



Onde gravitazionali

- Difficile costruire modelli GW sufficientemente accurati per l'analisi dei dati
- In particolare manca una valida alternativa a GR
- ➔ Test generici di GR con i dati disponibili
 - GR come ipotesi nulla e si ricercano deviazioni generiche
 - Verifica struttura PN della fase dell'onda
 - Parametrizzazione GR dell'onda ed inferenza bayesiana per trovare i parametri PN
 - mappatura dei parametri nell'ambito di teorie specifiche (se disponibili)
- due classi: generazione e propagazione

Situazione CSN2

▶ Onde Gravitazionali

- VIRGO:

- O3 completato
- preparazione di O4 e O5 in corso con continui miglioramenti della sensibilità

- Sostegno ai futuri programmi di osservazione delle GW

- ET:

- Caratterizzazione e promozione del sito Sardo (ARCHIMEDES)
- ESFRI application

- LISA: attualmente in Fase A verso l'adoption nel 2023-2024

▶ Sistema solare

- G-GRANSASSO-RD propone di continuare il cammino scientifico di Gingerino

- risultato tecnologico significativo
- possibilità di misurare l'effetto Lense-Thirring "da terra"

- Laser ranging

- SATOR_G, MOONLIGHT_2:

- verifiche accurate in campo debole
- Lense-Thirring misurato con errore sistematico dell'ordine del per cento

Potential

**General Relativity and
Quantum Physics**

**Cosmic
radiation**

All research lines are
characterized by a high
potential for discovery

with leading experiments

**Dark
Universe**

**Neutrino
Properties**

Potential

**General Relativity and
Quantum Physics**

**Cosmic
radiation**

Balance in terms of potential and
relevance

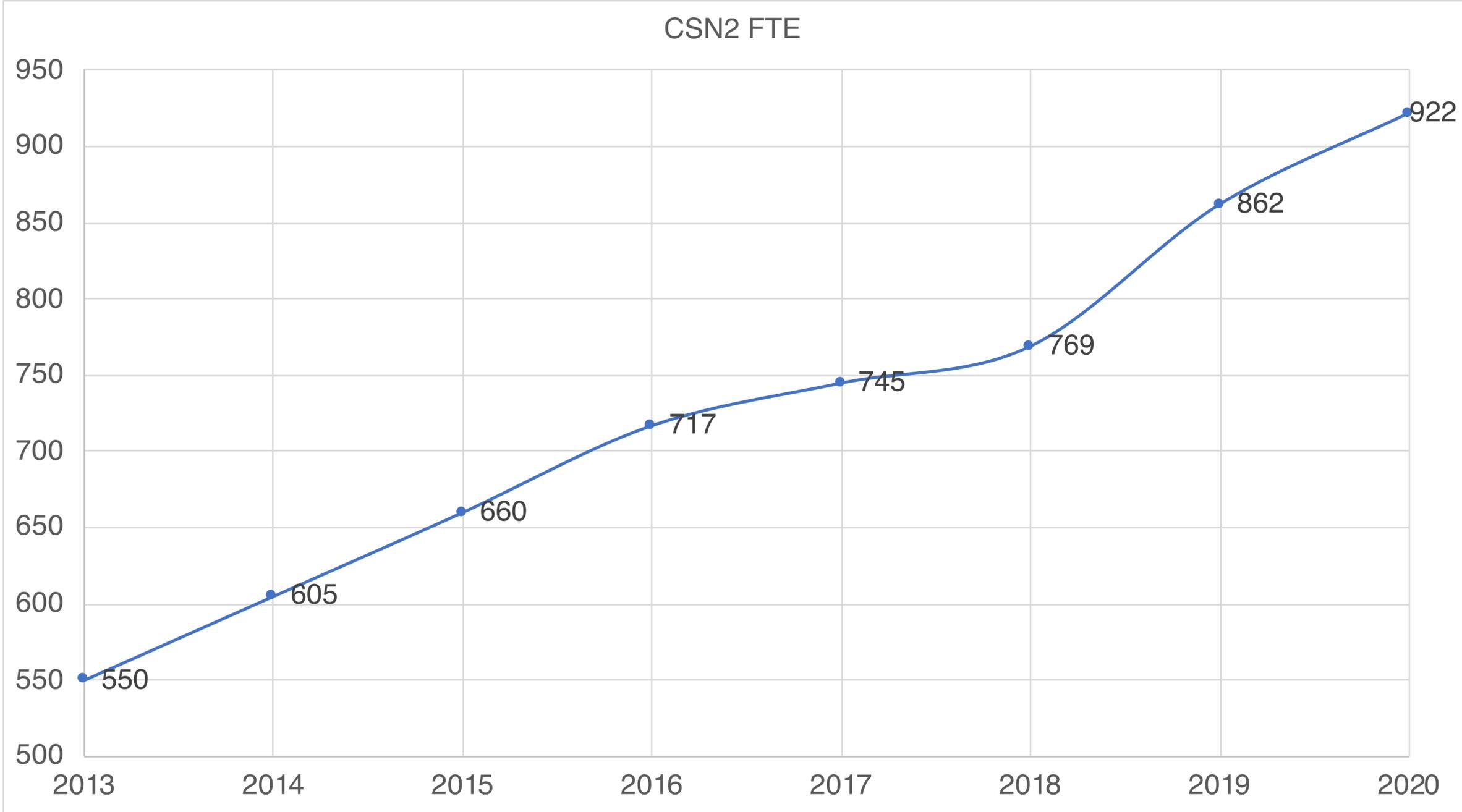
None of the lines are expendable

Each is of great interest and has
a large community supporting it

**Dark
Universe**

**Neutrino
Properties**

CSN2: a growing community



Conclusioni ...

Cosa ci aspettiamo da questo workshop ...

- Risposte ad un certo numero di domande
 - Regimi diversi:
 - **Come si confrontano?** Cosa sondano? Quali le potenzialità?
 - Tecniche sperimentali:
 - **Come si confrontano?** Cosa sondano? Quali le potenzialità?
 - Competitività
 - Sinergie
 - Costi/Prospettive/Interesse

... e aspettative

- ▶ Molte parametrizzazioni adatte a testare la natura della gravità in situazioni abbastanza diverse.
- ▶ Tuttavia la teoria della gravità deve essere la stessa nelle diverse condizioni (il nostro sistema solare come nei sistemi di pulsar e/o buchi neri in collisione).
- Serve sforzo per capire come le diverse parametrizzazioni parlino tra di loro.
 - **Se le teorie lavorano in ambiti che non si parlano, abbiamo perso!**
- Oltre ad un linguaggio (parametrizzazione) comune, servono quindi anche risposte a domande come:
 - quali sono gli effetti delle teorie alternative sulle parametrizzazioni piu' comuni?
 - come si confrontano i limiti sulle deviazioni da GR ottenuti dalle GW con quelli dedotti da misure nel sistema solare

