

**ET**  
ITALY

# Einstein Telescope

Il rivelatore europeo di onde gravitazionali  
di 3<sup>a</sup> generazione

La candidatura italiana

**Marco Pallavicini** Giunta Esecutiva

Giornate di Studio Piano Triennale - Lecce - 13 giugno 2024

Olbia

Nuoro

# Onde gravitazionali

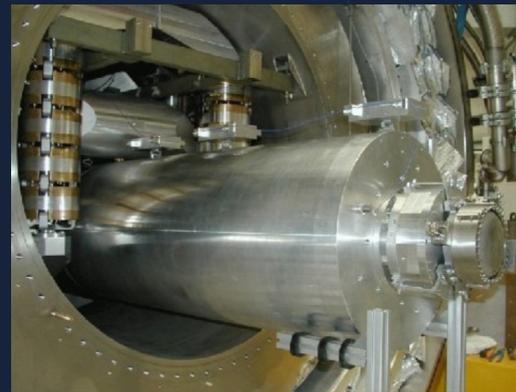
## Una lunga storia nell'INFN

## Un po' di storia



**L'Italia e l'INFN hanno un ruolo di leadership nel campo delle Onde Gravitazionali da decenni**

Edoardo Amaldi e Guido Pizzella hanno avviato nel 1970 la costruzione delle cosiddette 'antenne', i primi rivelatori di OG



*Tre antenne costruite, di cui due in Italia (LNF e LNL) e una al CERN (Explorer)*

*Un'esperienza che, pur senza osservare segnali, ha creato una solida comunità*

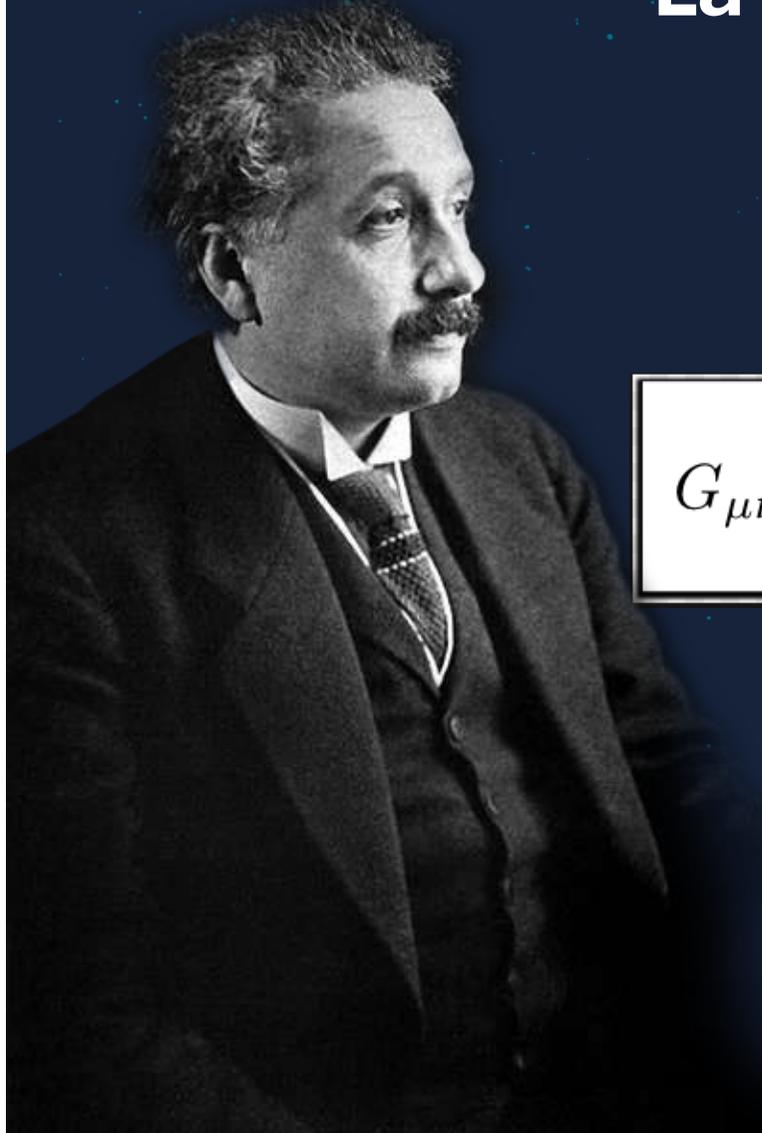
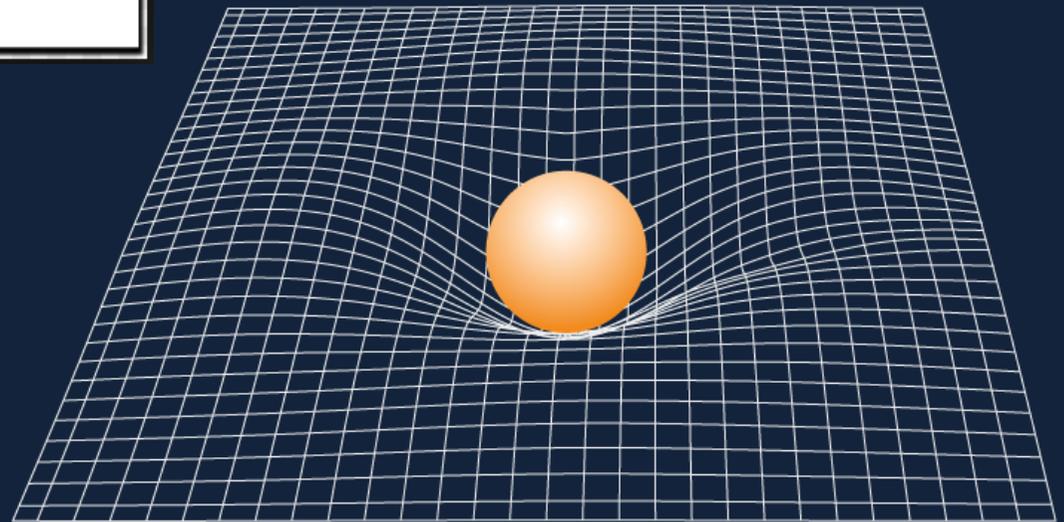
Nautilus e Auriga in funzione a Frascati e Legnaro fino al 2016

# La Teoria della Relatività Generale (1915)

La gravità è la manifestazione della curvatura dello spazio-tempo causata da massa e energia

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

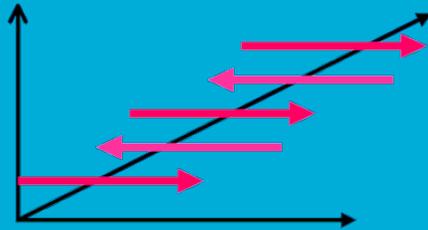
*“Spacetime tells matter how to move;  
matter tells spacetime how to curve”  
(John Archibald Wheeler)*



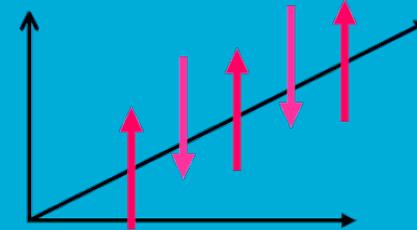
# Onde gravitazionali

Previsione: oscillazioni che si propagano nello spazio-tempo

Polarizzazione  
orizzontale

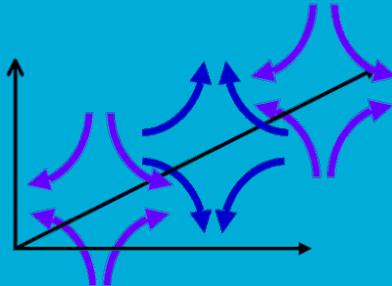


Polarizzazione  
verticale

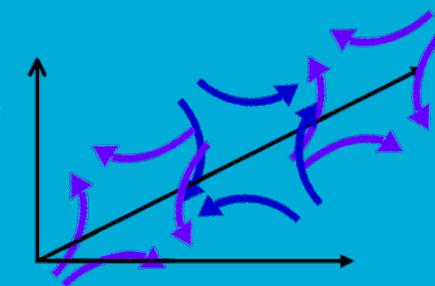


Onde EM: oscillano in una direzione (vettoriali)

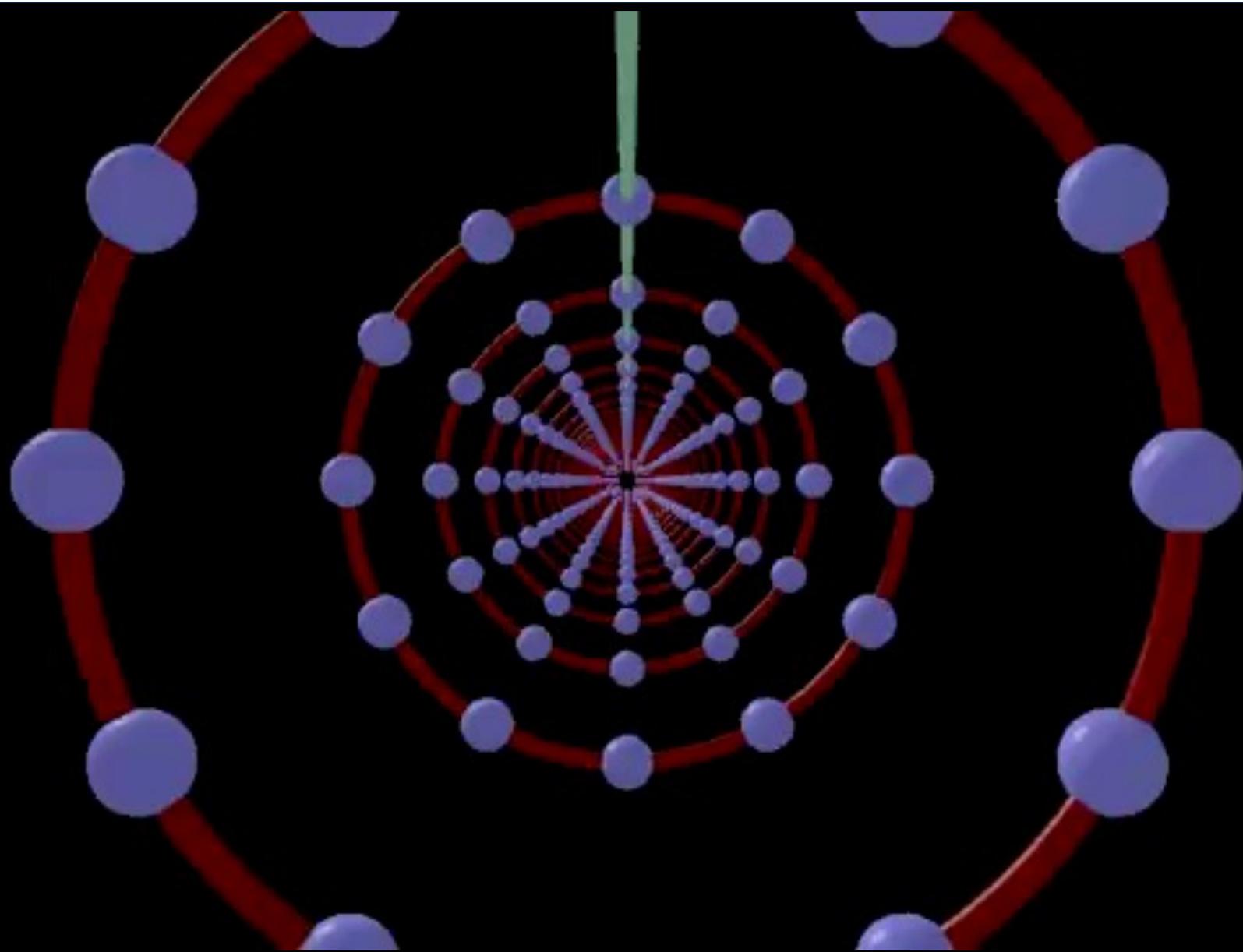
Polarizzazione  
“+”



Polarizzazione  
“x”



OG: oscillano lungo due direzioni assieme (tensoriali)



# Elementi di un interferometro



# Gli interferometri oggi



## Negli USA

Il progetto LIGO è coordinato da Caltech e MIT.

Rainer Weiss e Ronald Drever hanno concepito e progettato LIGO con due interferometri, uno in Louisiana e uno nello stato di Washington. Kip Thorne e Barry Barish hanno contribuito in modo decisivo al progetto. LIGO ha iniziato a prendere dati nel 2004



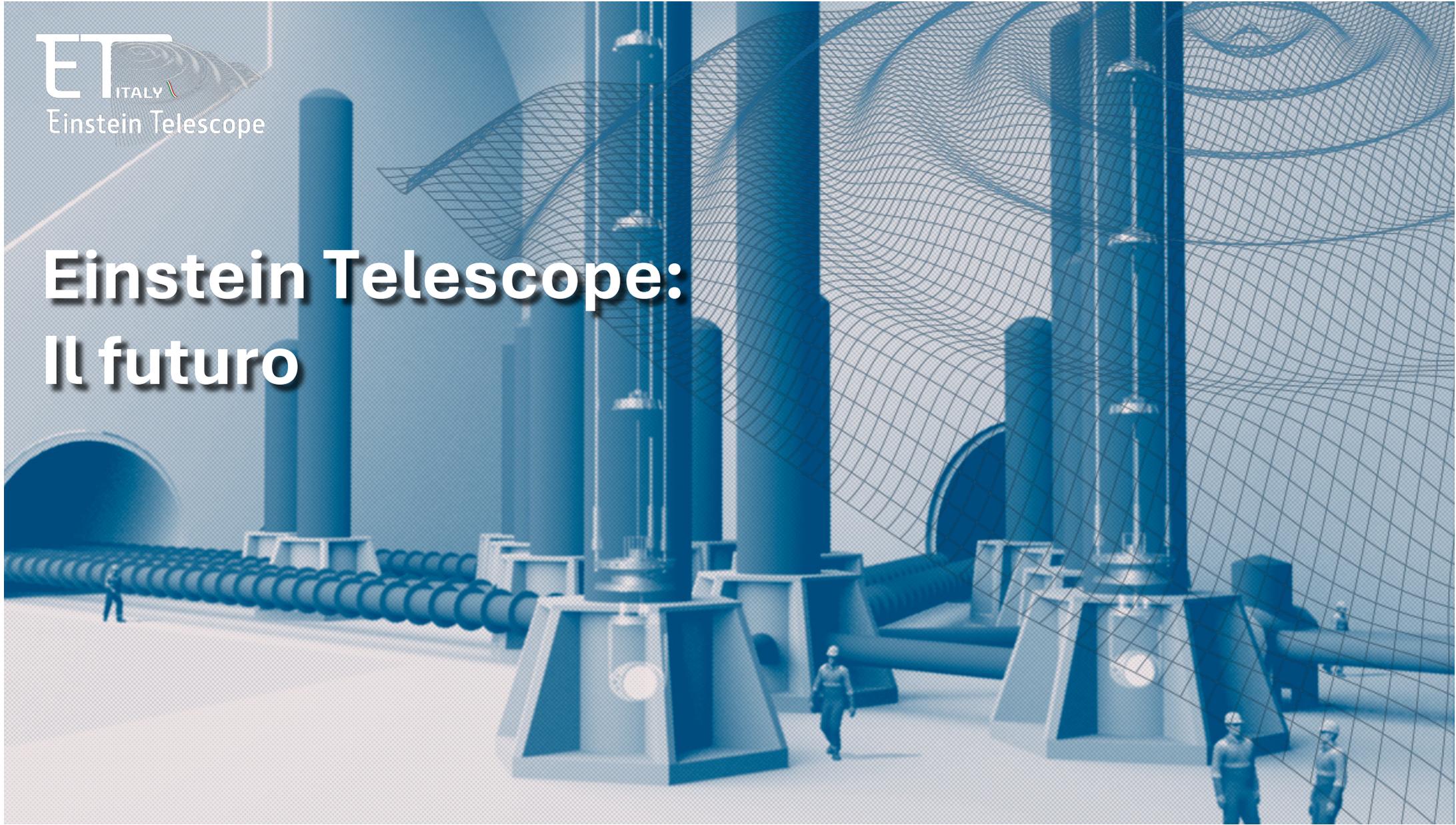
## In Europa

Negli anni '80 Adalberto Giazotto (INFN) e Alain Brillet (CNRS) hanno concepito e proposto il primo interferometro adatto a funzionare a bassa frequenza (<50 Hz)

Nel 1993 INFN e CNRS hanno approvato e finanziato VIRGO e poi creato EGO, lo European Gravitational Observatory.

VIRGO è entrato in funzione nel 2007

# Einstein Telescope: Il futuro



# ET, idea originale: interferometri multipli in un unico sito

## Doppi interferometri ("xilofoni")

Uno ottimizzato per le "alte"  
frequenze (>100 Hz)

Uno ottimizzato per quelle  
"basse" (5-100 Hz)





## Tecnologie per ET

### ET non è la “continuazione analitica” di Virgo

- Avrà il più grande volume **vuoto** mai realizzato
- Ha bisogno di specchi che oggi non esistono
- Due lasers per due interferometri indipendenti per braccio
- La parte a bassa frequenza userà specchi criogenici
- I sistemi di controlli vanno riprogettati (un elemento di difficoltà in Virgo)
- Il rumore a bassa frequenza (5-50 Hz) va ridotto di un fattore > 1000 (molto di più a 5 Hz)

### ET - Low Frequency

- Sotterraneo
- Criogenia sugli specchi
- Specchi di silicio o zaffiro
- Specchi più grandi e pesanti
- Nuovi trattamenti superficiali
- Lunghezze d'onda diverse
- Sospensioni migliorate
- Squeezing dipendente dalla frequenza

### ET - High Frequency

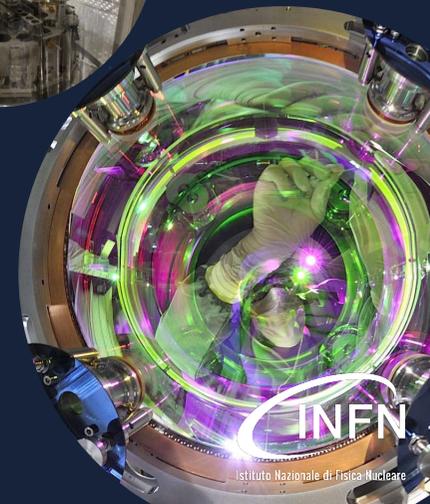
- Laser di alta potenza
- Specchi più grandi e pesanti
- Nuovi trattamenti superficiali
- Compensazioni termiche
- Squeezing dipendente dalla frequenza

## ET: costi (2018 parametric estimates)

- ingegneria civile: **1 G€**
- vuoto: **500 M€**
- criogenia: **100 M€**
- sospensioni: **100 M€**
- ottica e laser: **200 M€**

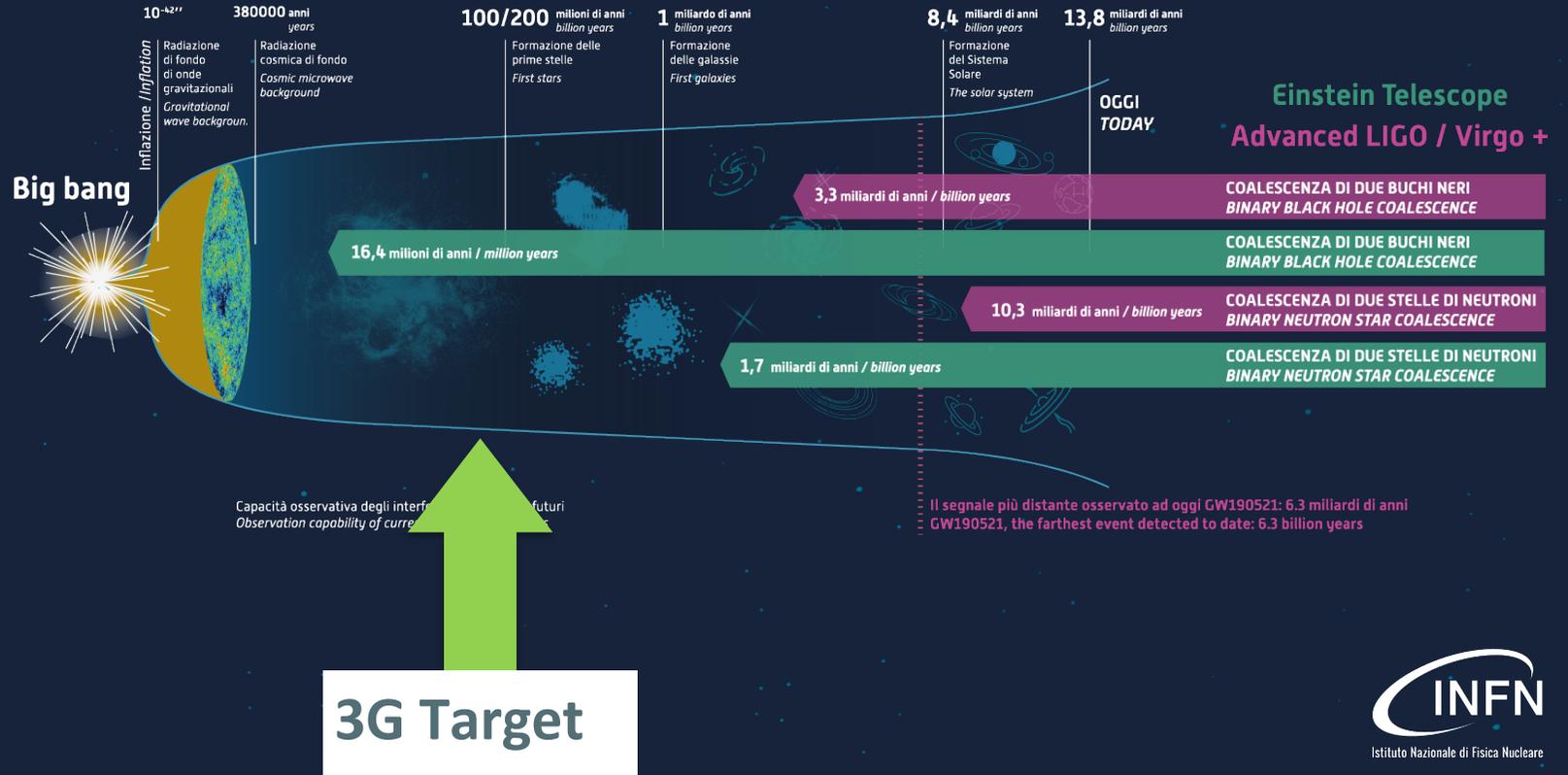
**Total : ~ 2 G€**

Una stima più precisa delle voci principali sarà disponibile nel 2025



# Motivazioni di ET: Osservare l'intero universo con OG

- Primordial black holes
- Dark matter
- Effect on GW emission around compact objects
- Exotic objects
- Cosmology
- High precision tests of General Relativity, e.g super-radiance, physics near BH horizon
- Stochastic background
- Black holes origin and evolution





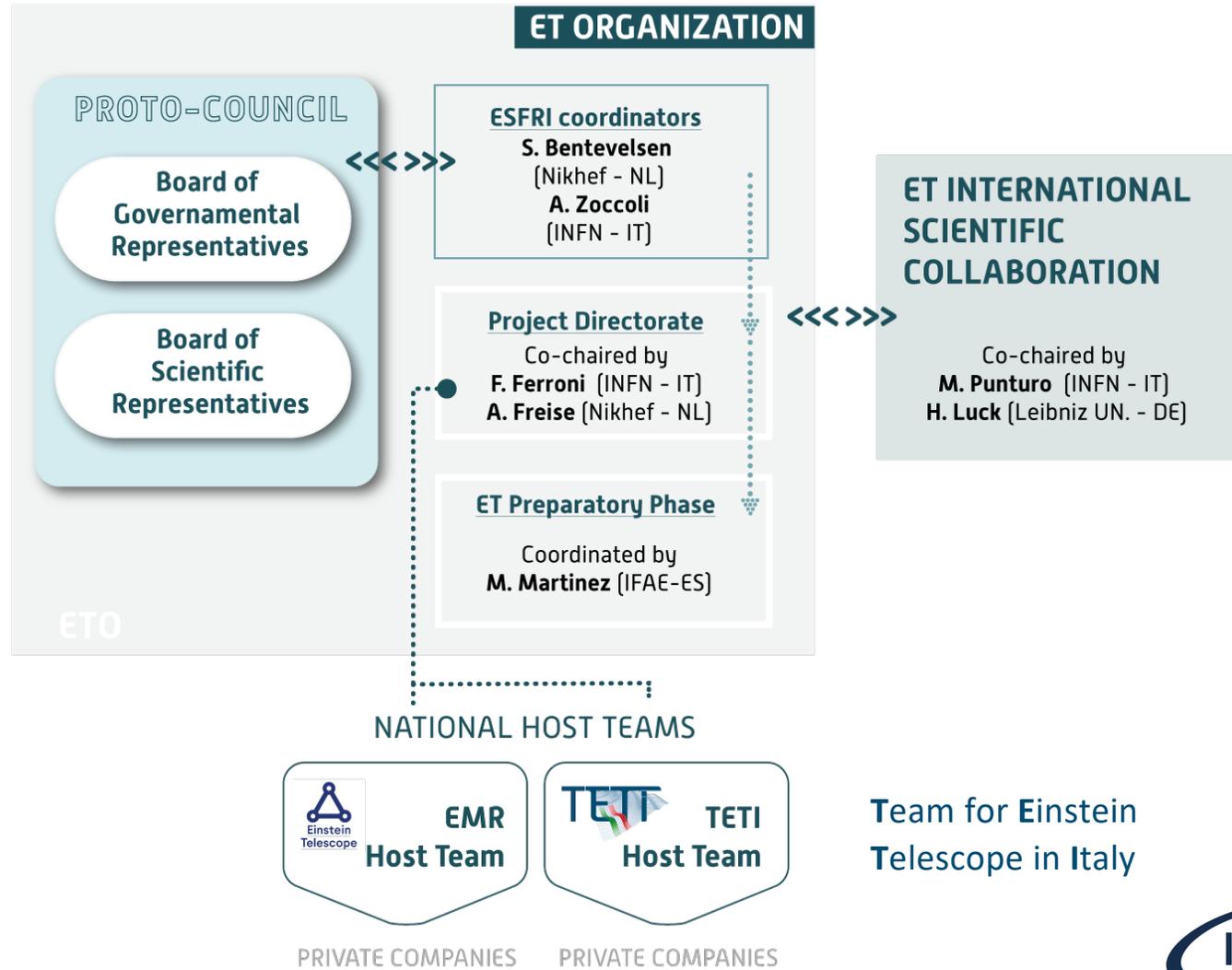
## ET è nato nel 2004

### Radici

- ILIAS N5-WP3 (H. Lück e M. Punturo)
- ESF funded Exploratory Workshop, Perugia, 2005
- Design study funded by FP7 (2008-2011)
  - 3G idea: obiettivo **x 10 sensibilità rispetto a 2G**
  - All'inizio, un rivelatore singolo nel mondo
- IRSES-FP7 project ELITES (2012-2017) in collaborazione con KAGRA
- SAR-GRAV a Sos-Enattos, Sardegna, dal 2017
- **ESFRI** 4 Feb 2020
  - Leaders: INFN e Nikhef, con Belgio, Polonia e Spagna
  - Approvato nel 2021
- **INFRA-DEV** approvato nel 2021



# ET Organisation (ETO)



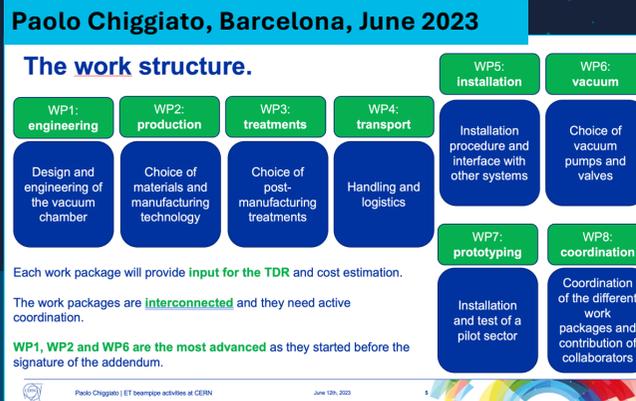
## Vari paesi si sono aggiunti dopo l'approvazione ESFRI:

- BE, ES, IT, NL, PO
  - + AU, CH, DE, FR, UK, ....
- Work in progress with Serbia

Team for Einstein Telescope in Italy

# Coinvolgimento del CERN

- ET avrà il più grande volume di vuoto mai costruito [30 km lunghezza, 1 m diametro, x4]
- Con le tecnologie esistenti, un costo enorme
- Serve un forte programma di R&D per il quale le competenze CERN sono preziose



Signed in spring 2023  
CERN, IFAE, INFN, NIKHEF

**Collaboration Agreement KN5637/TE/Einstein Telescope**  
(Replacing KN4657/DG/Einstein Telescope)

Between

The European Organization for Nuclear Research  
("CERN")

And

the Lead Institutes of the Einstein Telescope Collaboration:

The Italian National Institute for Nuclear Physics  
("INFN")

And

The Dutch National Institute for Subatomic Physics  
("Nikhef"),

And

The Institut de Fisica d'Altes Energies  
("IFAE"),

(hereinafter "Party" and collectively "Parties")

Concerning

**Collaboration on the design of future gravitational wave detection experiments**

2023





# 2L vs $\Delta$



# 2L vs $\Delta$

## Il project directorate ha il compito di studiare:

- L'alternativa a 2L in termini scientifici, rischio e costo

JCAP07(2023)068

*J*ournal of **C**osmology and **A**stroparticle **P**hysics  
An IOP and SISSA journal

**Science with the Einstein Telescope: a comparison of different designs**

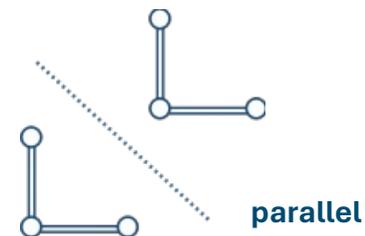
186 pages, a complete and professional study signed by top scientists of the field, including dutch ones.

**Lo studio scientifico è stato fatto.**

## La risposta è chiara:

- 1 L non serve a niente!
- 2L distanti ~1000 km sono superiori in quasi ogni aspetto

**Work in progress sugli altri due aspetti.**



# Einstein Telescope: I siti (oggi)





Olbia

Olbia

Nuoro

# Proposta italiana: SOS ENATTOS, Sardegna



Olbia

Nuoro

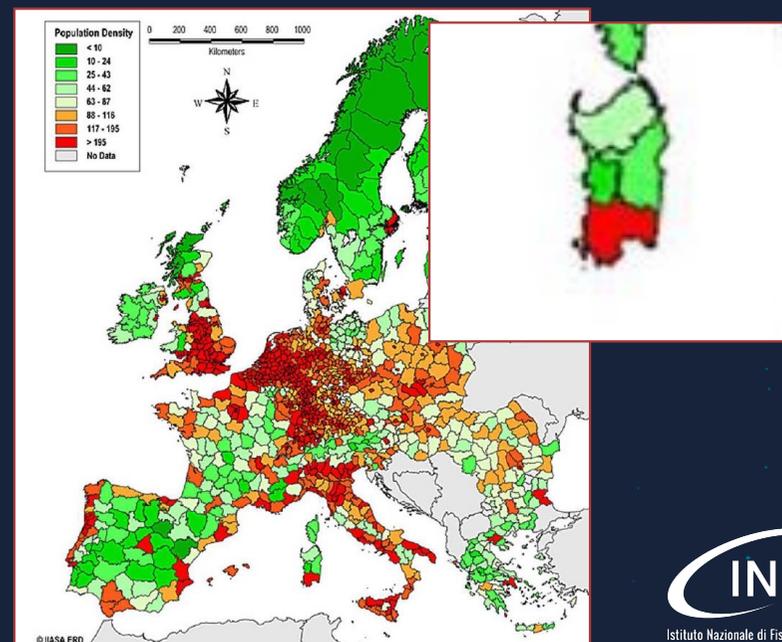
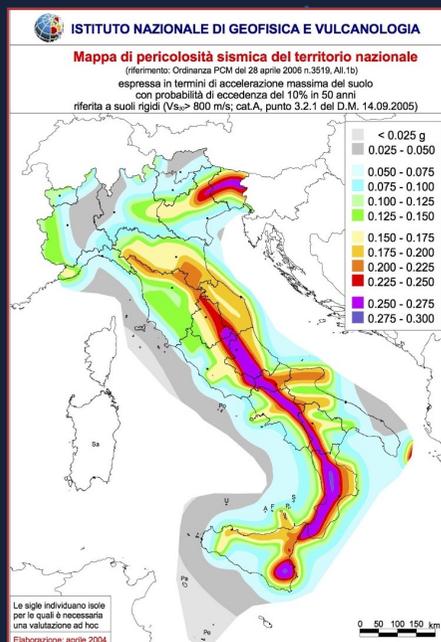
Perché in Sardegna?

## Einstein Telescope è nato in Italia

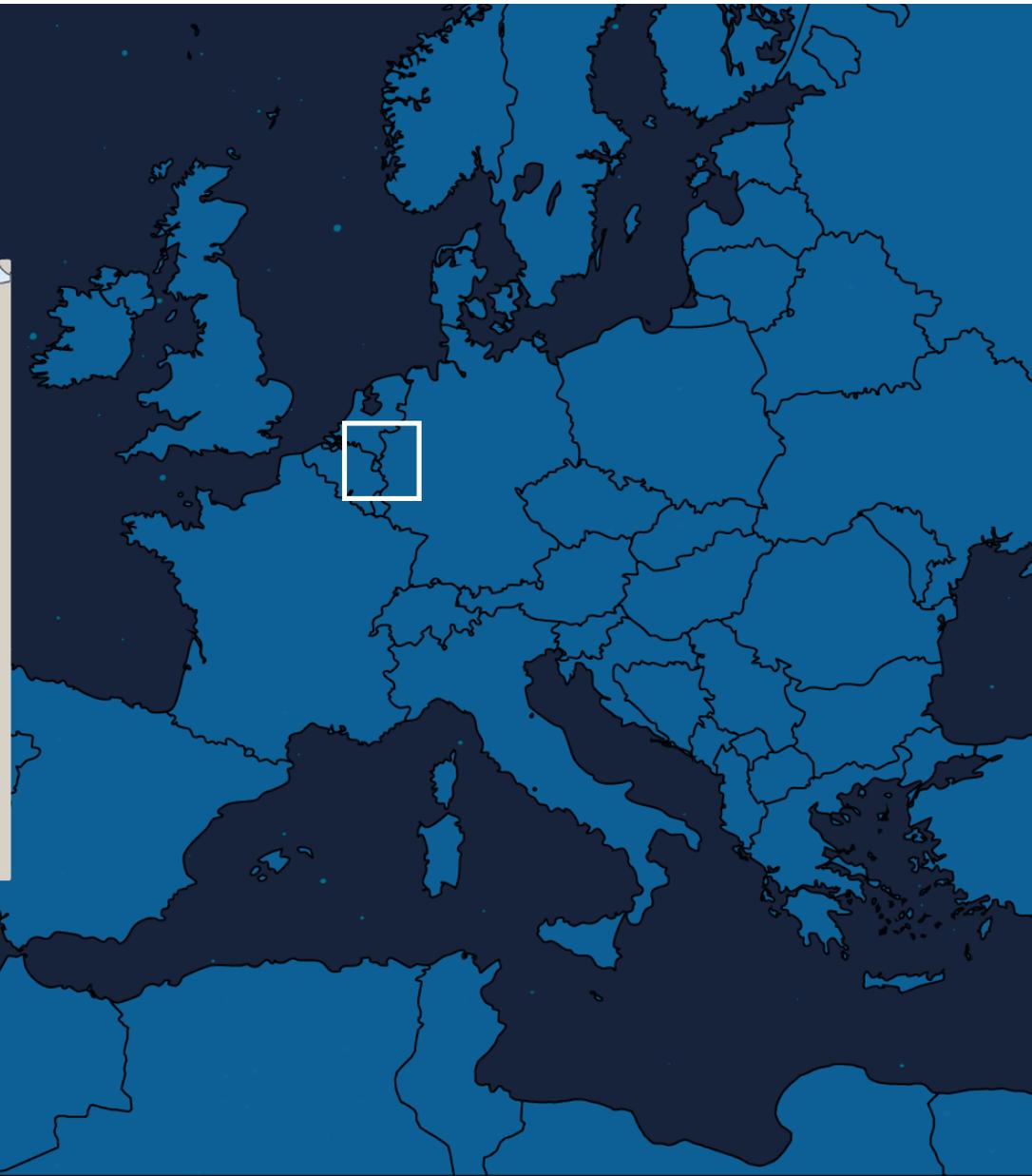
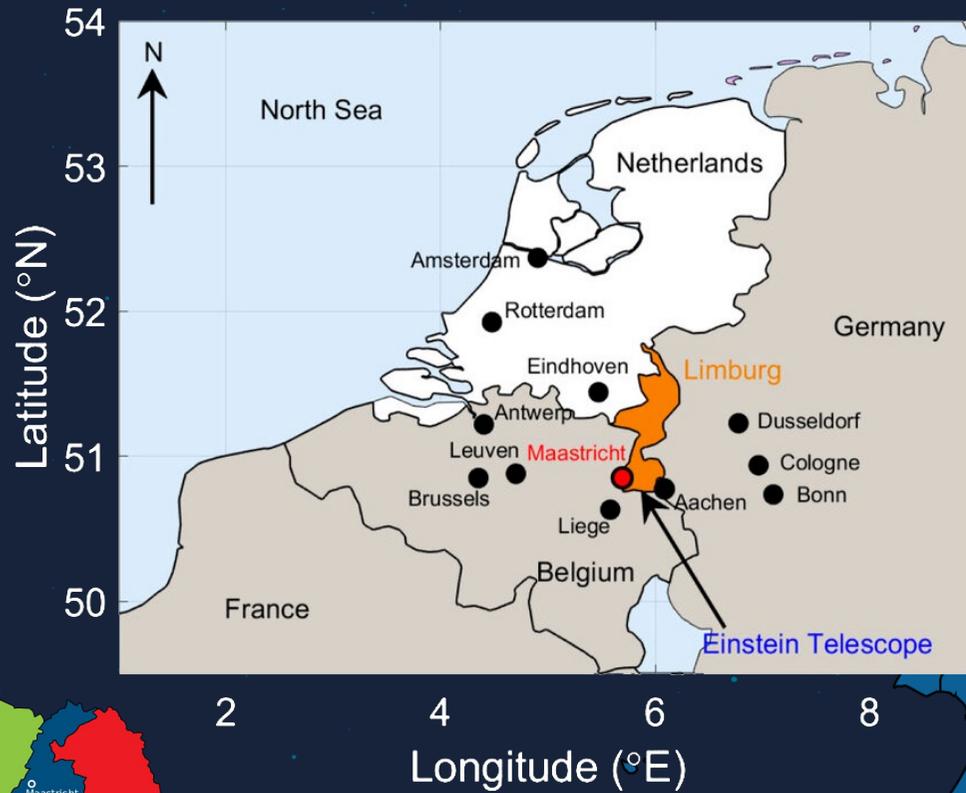
- La comunità ha le competenze, la tradizione e il sito
- INFN, INAF e INGV possono contribuire a quasi ogni aspetto

## La Sardegna è geologicamente stabile, non sismica, e con bassa densità di popolazione

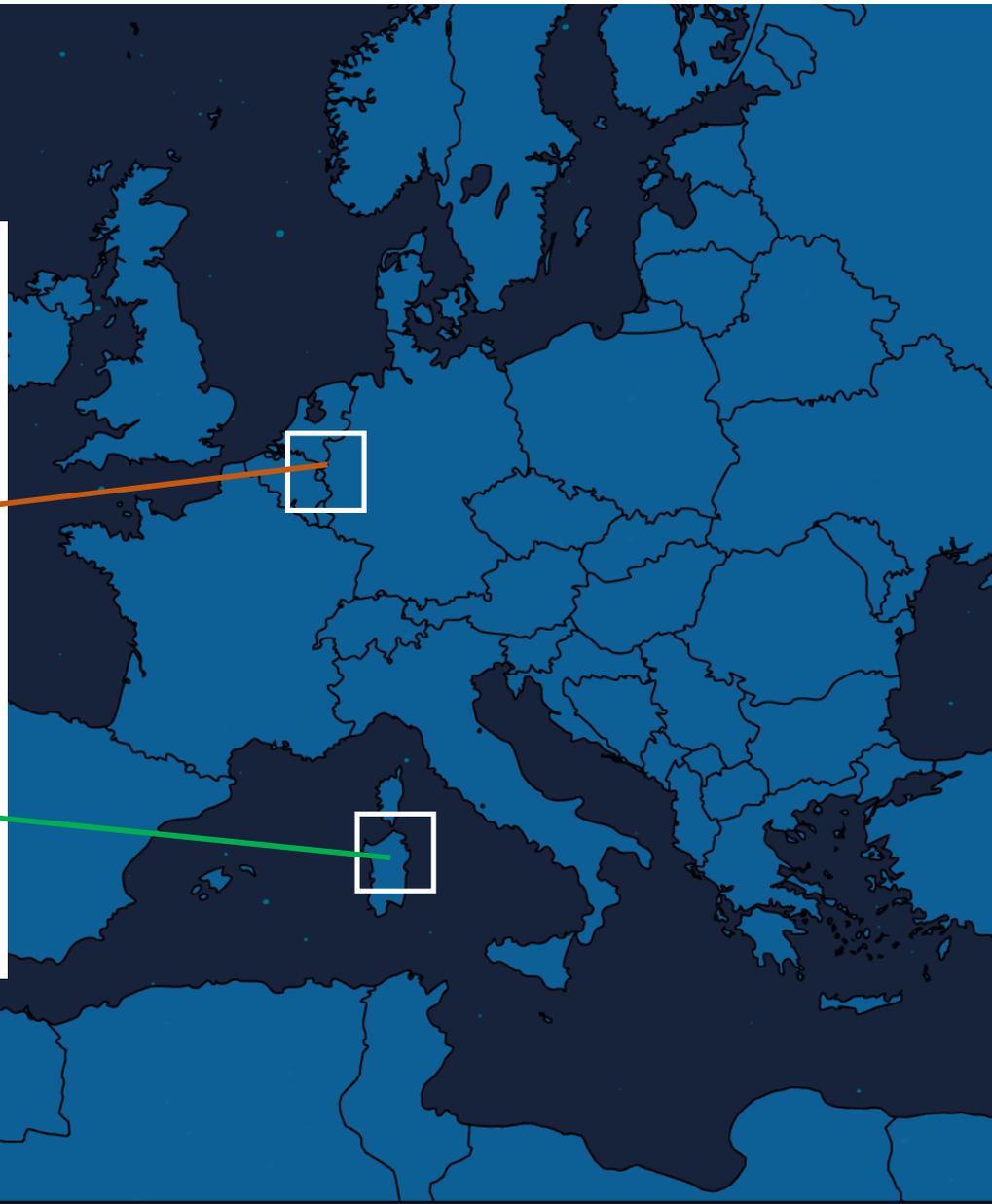
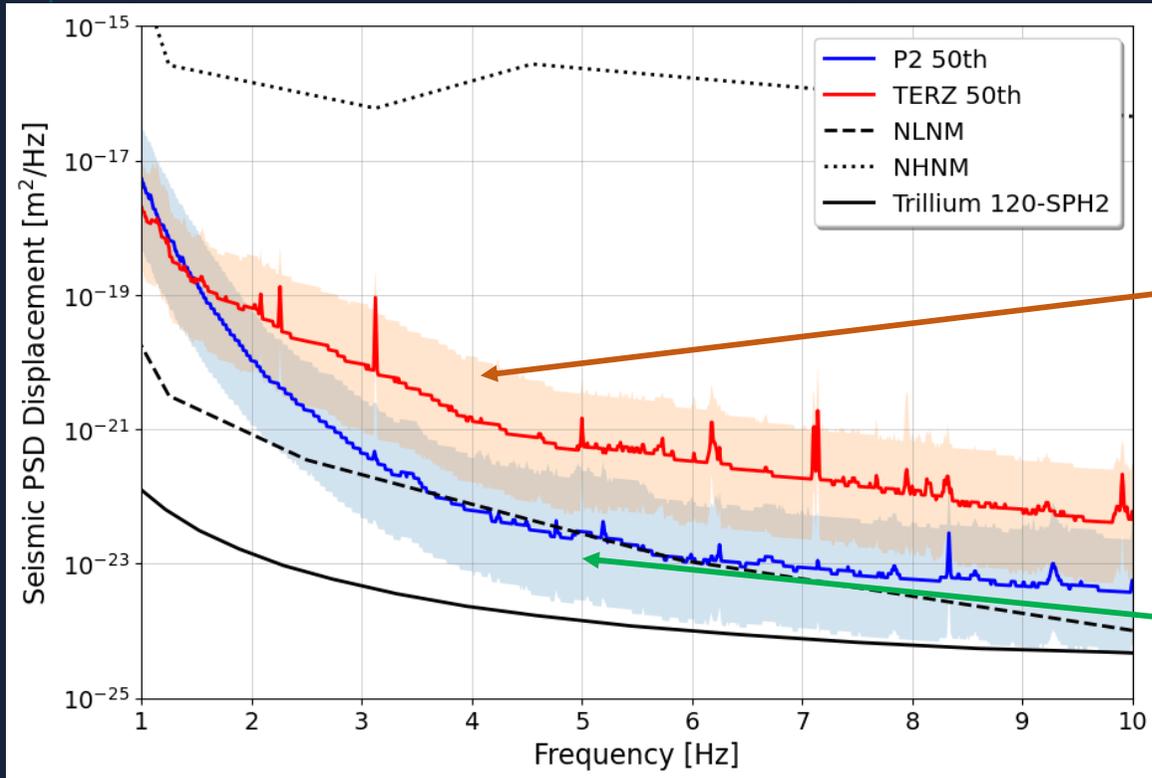
- È il sito migliore in Europa per un rivelatore sotterraneo
- Può ospitare sia un triangolo sia una “L”



# Sito "EMR" (Euroregio Mose-Rhine)

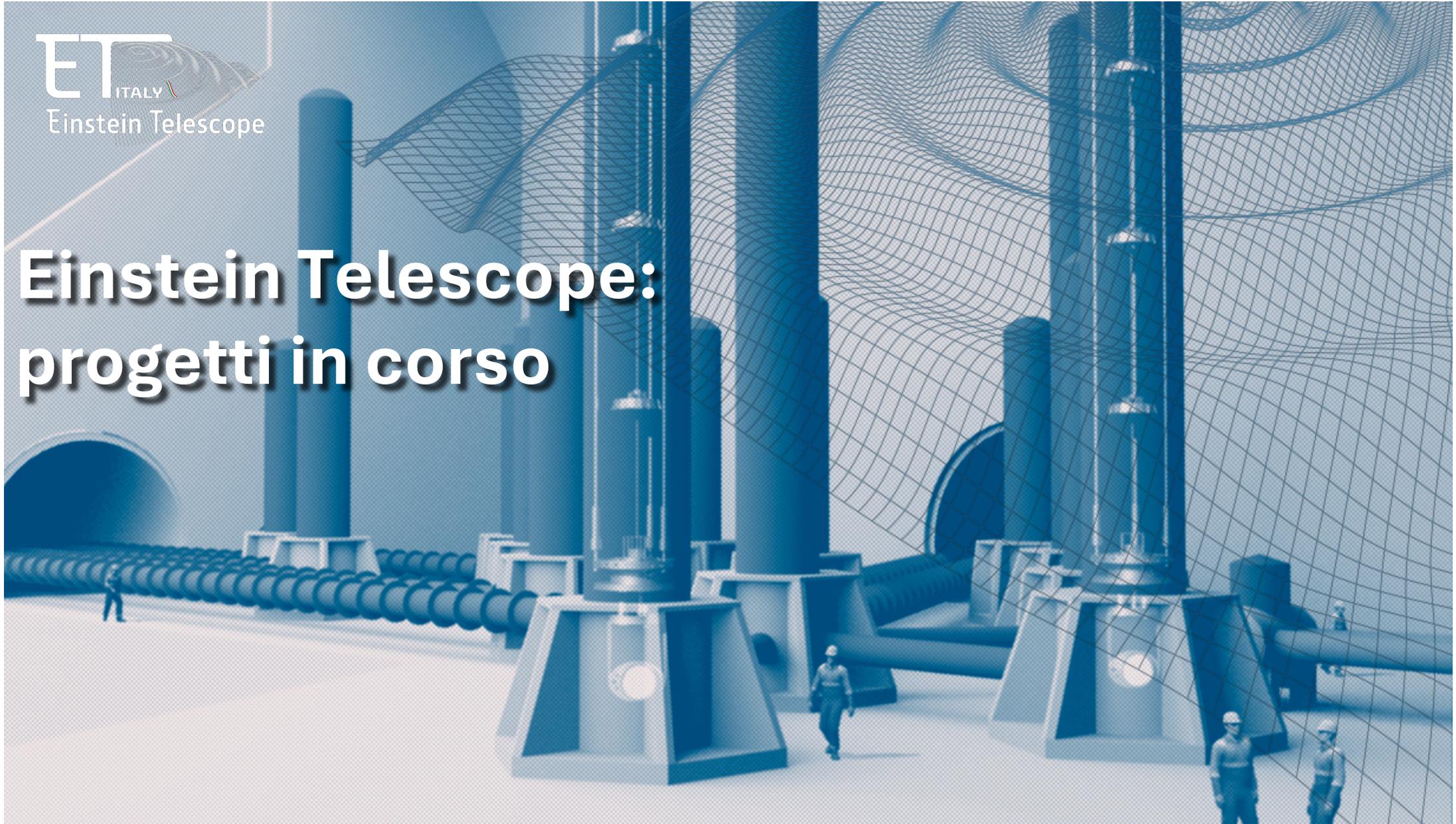


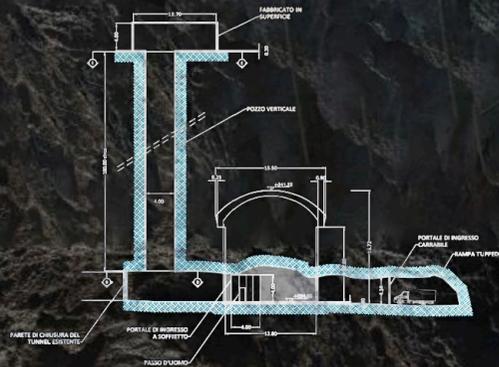
# ITA vs EMR



**Seismic noise / frequency**

# Einstein Telescope: progetti in corso





## Laboratorio SAR-GRAV: Un seme per ET

### Laboratorio con:

- 200 m<sup>2</sup> in superficie
- 120 m<sup>2</sup> sotterranei, in costruzione

### Scopo attuale:

Esperimenti a basso rumore sismico  
(esempio: Archimedes)  
Monitoraggio rumore di ET

Nel gennaio 2024 si è deciso un  
upgrade: **ET SunLab**

## ET-SunLab

Sardinia Underground Laboratory for Einstein Telescope

## ET-SunLab

Laboratorio multidisciplinare creato in collaborazione con INAF, INGV e Università di Cagliari e Sassari

Obiettivo primario: promuovere la candidatura italiana

- Laboratori scientifici
- Attività di R&D per ET
- Lo Earth Telescope, laboratorio INGV collegato a Meet (Monitoring Earth's Evolution and Tectonics) - PNRR Faber
- Un planetario
- Un telescopio ottico prototipo (proposto da R. Ragazzoni)
- Sale per didattica, training e outreach
- Un visitor center per ET

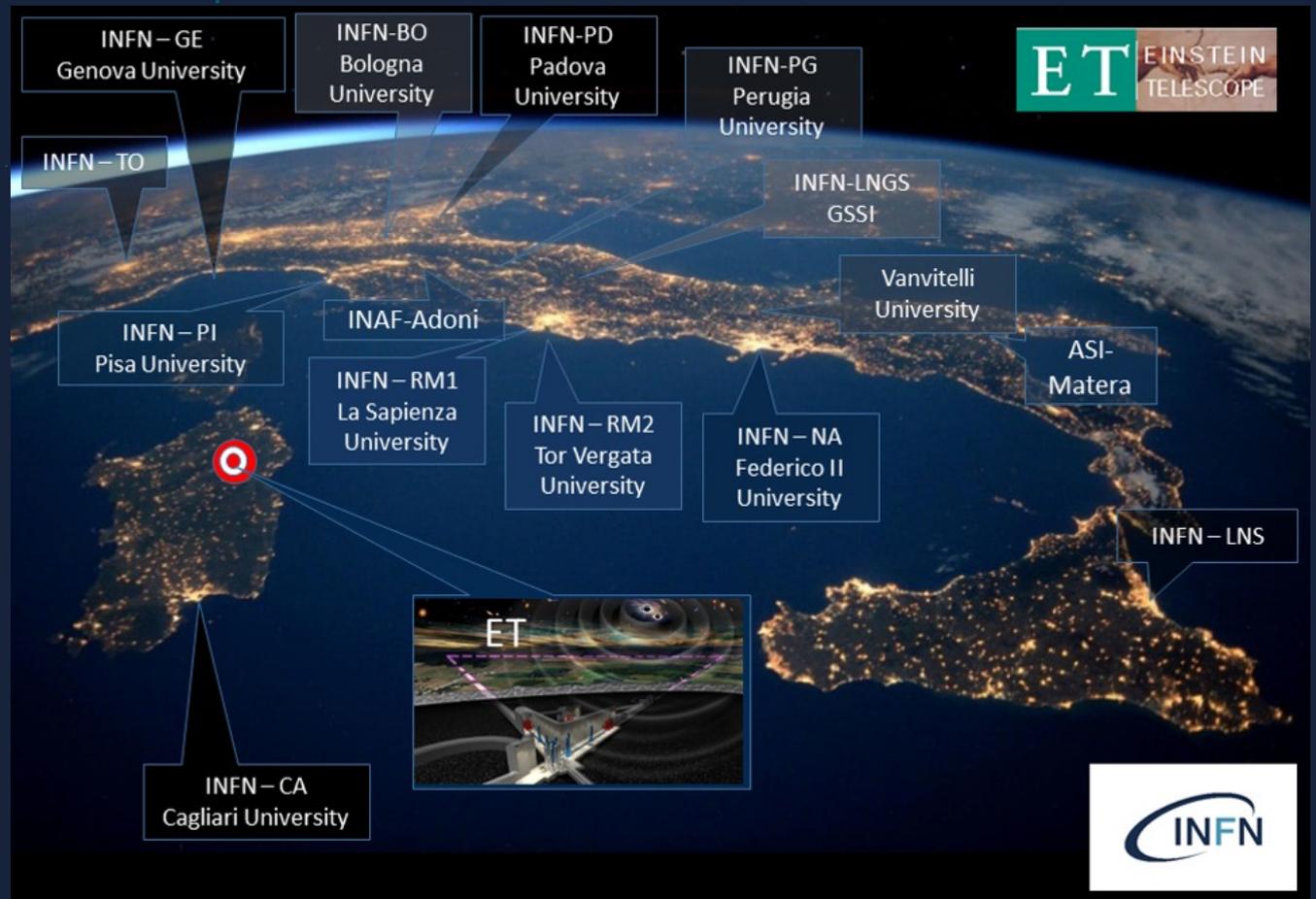


# INFRADEV (2022-2025)

Coordinatore:  
Mario Martinez (IFAE)

- WP1** **Coordination and Management** [M. Martinez, N. Ferroni, A. Freise]
- WP2** **Organisation, Governance and Legal Aspects** [M. Roelofs]
- WP3** **Financial Architecture** [C. Arina, M. Bossi, T. Berghöfer]
- WP4** **Site Selection** [W. Walk, D. D'Urso]
- WP5** **Project Office** [R. Flaminio, A. Freise, R. Saban]
- WP6** **Technical Design** [M. Punturo, H. Lück]
- WP7** **Transfer of Technology** [M. Morandin]
- WP8** **Computing and Data Access** [S. Bagnasco, P. Verdier, N. Tonello, A. Stahl]
- WP9** **Sustainable Development Strategy** [N. Arnaud, R. Galler, M. Marsella]
- WP10** **Education, Outreach and Citizen Engagement** [D. Rosinska, V. Napolano]

**ETIC:  
50 M€ dal PNRR**



**ET è una SFIDA enorme, che richiederà risorse umane, finanziarie e materiali e il supporto locale e nazionale dell'intero paese**

**Una prima risposta INFN:**

- ETIC, “Infrastrutture di Ricerca” PNRR
  - **70% del budget** su una rete di laboratori di R&D:
    - Specchi, sospensioni, tecnologie di vuoto, criogenia, controlli elettronici, calcolo
    - Formazione (ric., ing., e tec.) in 11 università, INFN e INAF
    - Dottorandi/e
  - **30% budget** per la **caratterizzazione del sito**

**ETIC: obiettivi**

## ETIC “garona”

### Studi preliminari orientati a:

- **Identificare la posizione esatta ottima per L e  $\Delta$** 
  - Prospezioni geologiche e studi meccanici
  - Soluzioni preliminari per tecniche di scavo, accessi e strutture esterne
- **Impatto ambientale**
  - Dove mettere la roccia, possibilmente valorizzandola?
- **Budget energetico**
  - Obiettivo: neutralità CO<sub>2</sub>, sostenibilità totale da fonti rinnovabili
- **Paesaggio**
  - Si vuole una struttura moderna, bella e perfettamente integrata nel paesaggio locale
- **Valutazione professionale dei costi (~30%)**

**Consegna: Giugno 2025**

## FABER / MEET [Geofisica]

**FABER** è parte del progetto MEET a guida INGV (43 M€ PNRR)

L'obiettivo di MEET è lo sviluppo, upgrade e implementazione di una rete per il monitoraggio e l'osservazione della Terra

Il bassissimo rumore sismico della zona è essenziale  
Earth Telescope guarda il pianeta come ET guarda il cielo

## TeRABIT [Networking]

**TeRABIT** è un progetto PNRR da 41 M€

Implementazione di una rete nazionale ad altissime prestazioni (Tb/s) integrata con ICSC

Il progetto include la Sardegna e l'area di Sos Enattos, un passo funzionale a fornire a ET adeguata connettività



# Einstein Telescope: Organizzazione in Italia



## Annuncio del 6 giugno 2023



### Press conference in Roma for official governmental support

Prime Minister Giorgia Meloni, Minister of Foreign Affairs Antonio Tajani, Minister of University and Research Anna Maria Bernini, Minister of Labour and Social Policies Marina Elvira Calderone, President of Sardinia Region Christian Solinas

### LA VOLONTÀ

«Volevo offrire con la mia presenza l'attenzione, la volontà, la dedizione che il governo intende mettere sulla candidatura dell'Italia a ospitare l'Einstein Telescope, simbolo dell'Italia che vuole guardare verso l'alto. C'è un'Italia che è sempre stata capace di guardare in grande, ma spesso quello che ci è mancato è la consapevolezza»

**Giorgia Meloni,**  
presidente del Consiglio

## La candidatura italiana

- Il MUR ha definito un **comitato scientifico** consigliere del Ministro  
Meeting regolari al Ministero  
Attività diplomatica condotta dall'Ambasciatore Ettore Sequi  
Sito ufficiale: [www.einstein-telescope.it](http://www.einstein-telescope.it)  
Germania: 19/6. Polonia e Austria in preparazione
- Attività Recenti
  - Incontro con Ambasciatori Belga e Olandese: Marzo 2024
  - Incontro a Madrid: Maggio 2024
  - Incontri diretti della Ministra Bernini con controparti in Belgio, Paesi Bassi, Francia
- Luigi Guiso (Istituto Einaudi) è stato incaricato di aggiornare gli studi di impatto economico
- Evento Internazionale dedicato alle Infrastrutture di Ricerca collaterale al G7
  - **29/30 ottobre 2024**, Su Cologone (Sardegna) con visita a Sos Enattos
  - Verra presentato un rapporto Ambrosetti sull'impatto delle IR



Premio Nobel Giorgio Parisi



Prof.ssa Marica Branchesi



Prof. Fernando Ferroni



Prof. Antonio Zoccoli



Amb. Ettore Francesco Sequi



# Investments and timing

## INVESTMENTS FOR SITE DEVELOPMENT (ALREADY ALLOCATED)

total **109 million**

**€3.5 million**

SAR-GRAV laboratory  
by Autonomous Region of Sardinia

**€17 million**

ET Project  
by MUR

**€4 million**

PRIN ET Technologies  
by MUR

**€50 million**

NRRP ETIC project  
by MUR

**€2.5 + 12 million**

NRRP MEET and TERABIT  
by MUR

**€10 + 10 million**

multidisciplinary  
laboratory Sos Enattos  
by Autonomous Region of Sardinia  
and INFN, INAF, INGV

## INVESTMENTS FOR THE CONSTRUCTION OF THE LABORATORY IN SARDINIA

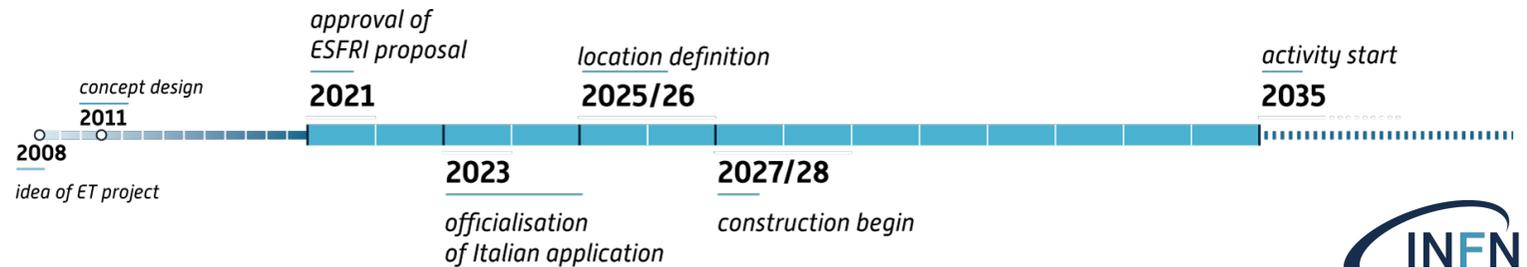
total **1.3 billion**

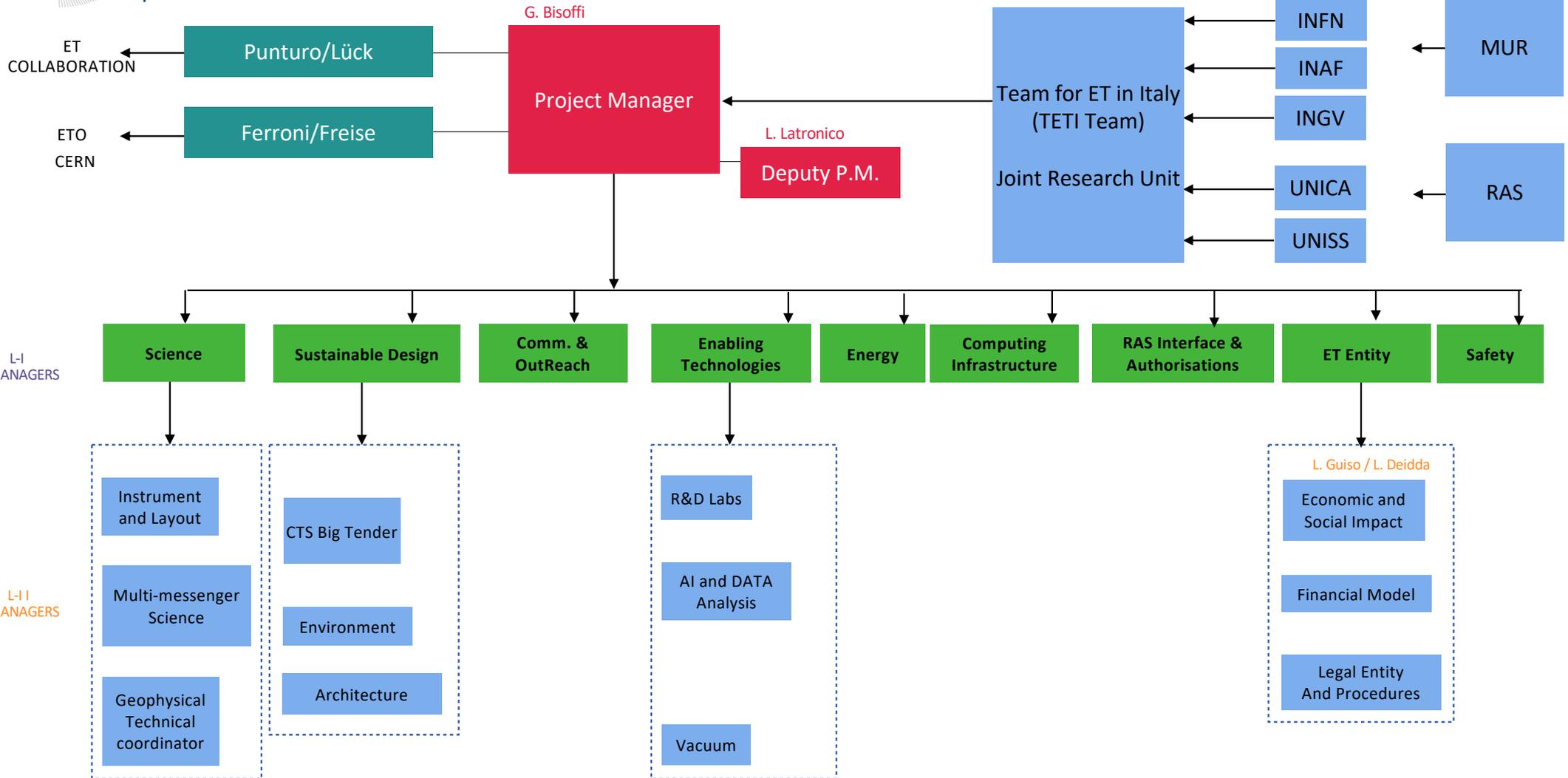
**€350 million**

by Autonomous Region of Sardinia

**€950 million**

by Italian Government





PT Lecce - 13 giugno 2024

M. Pallavicini



# La comunità italiana



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA  
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

nei progetti Etic, ETpp/Infra-Dev, Sar-Grav, Terabit



nel progetto Etic



nel progetto Terabit



nel progetto ETpp/Infra-Dev



nel progetto Terabit



nel progetto Etic



nel progetto Etic



nei progetti Meet/Faber, Sar-Grav



nel progetto Terabit



nel progetto Etic



nei progetti Etic, Sar-Grav



nel progetto Etic



nel progetto Etic



nel progetto Etic



nel progetto Etic



nel progetto Etic



nel progetto Etic



nel progetto Etic



nel progetto Etic



nel progetto Sar-Grav

# ET ITALY

## Einstein Telescope



- Una grande sfida
- Potremmo pure vincerla
- Richiederà approcci innovativi,  
e una struttura INFN dedicata

