

ET ITALY Einstein Telescope

Il rivelatore europeo di onde gravitazionali
di 3^a generazione

La candidatura italiana

Marco Pallavicini Giunta Esecutiva

Giornate di Studio Piano Triennale - Lecce - 13 giugno 2024

Olbia

Nuoro

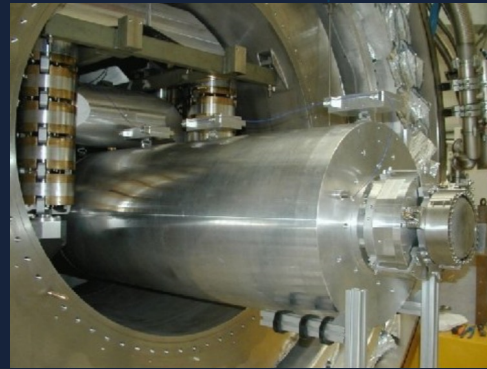
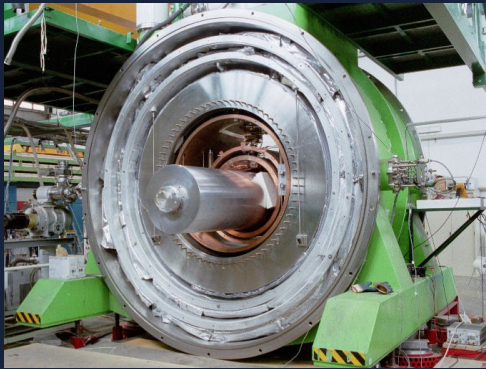
Onde gravitazionali Una lunga storia nell'INFN

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



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

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

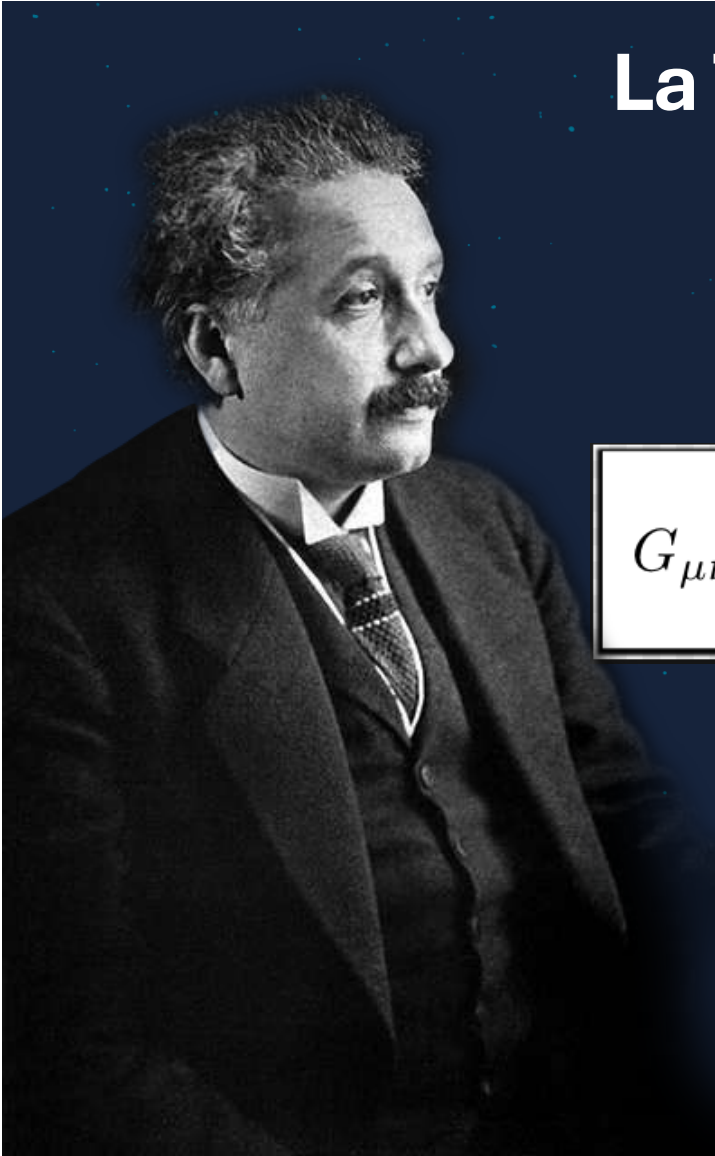
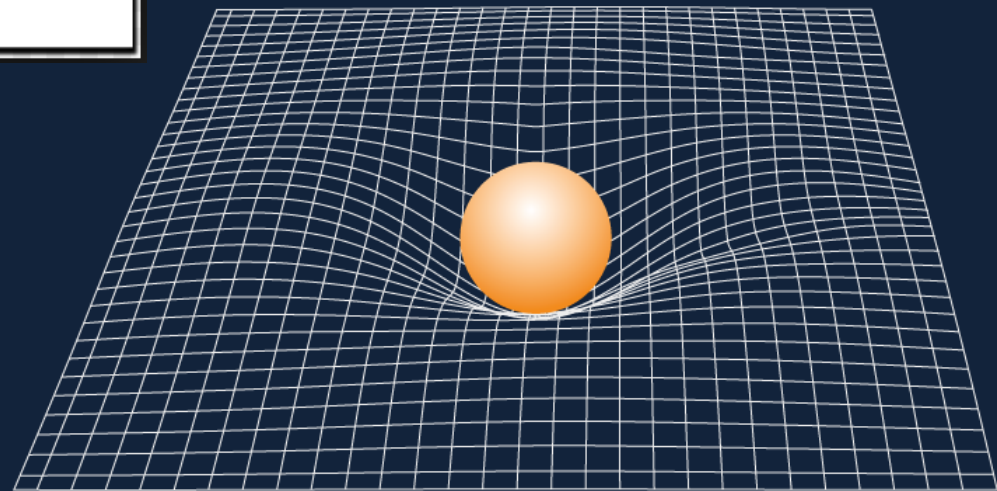
Un'esperienza che, pur senza osservare segnali, ha creato una solida comunità

La Teoria della Relatività Generale (1915)

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

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

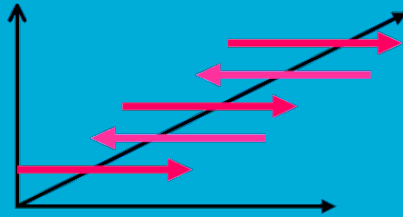
*“Spacetime tells matter how to move;
matter tells spacetime how to curve”
(John Archibald Wheeler)*



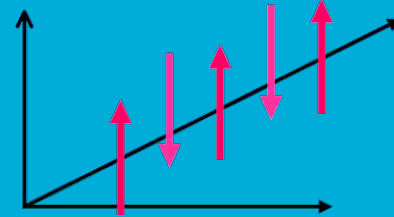
Onde gravitazionali

Previsione: oscillazioni che si propagano nello spazio-tempo

Polarizzazione
orizzontale

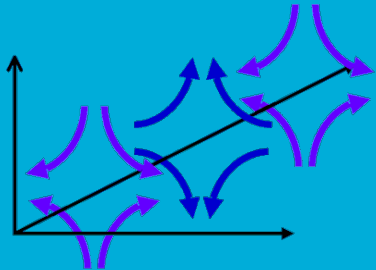


Polarizzazione
verticale

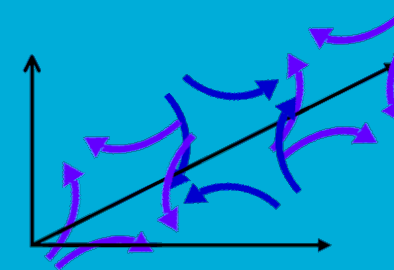


Onde EM: oscillano in una direzione (vettoriali)

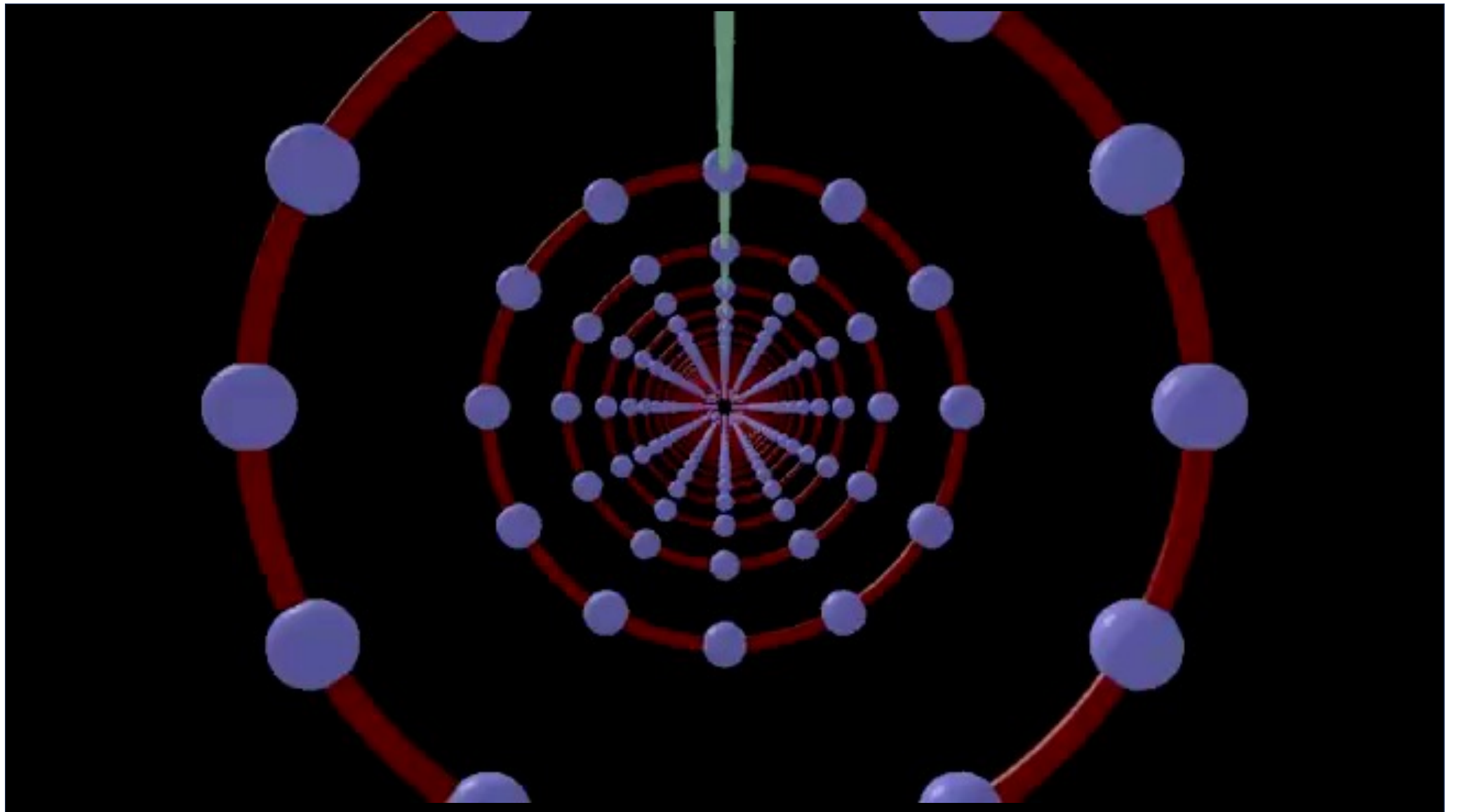
Polarizzazione
“+”



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

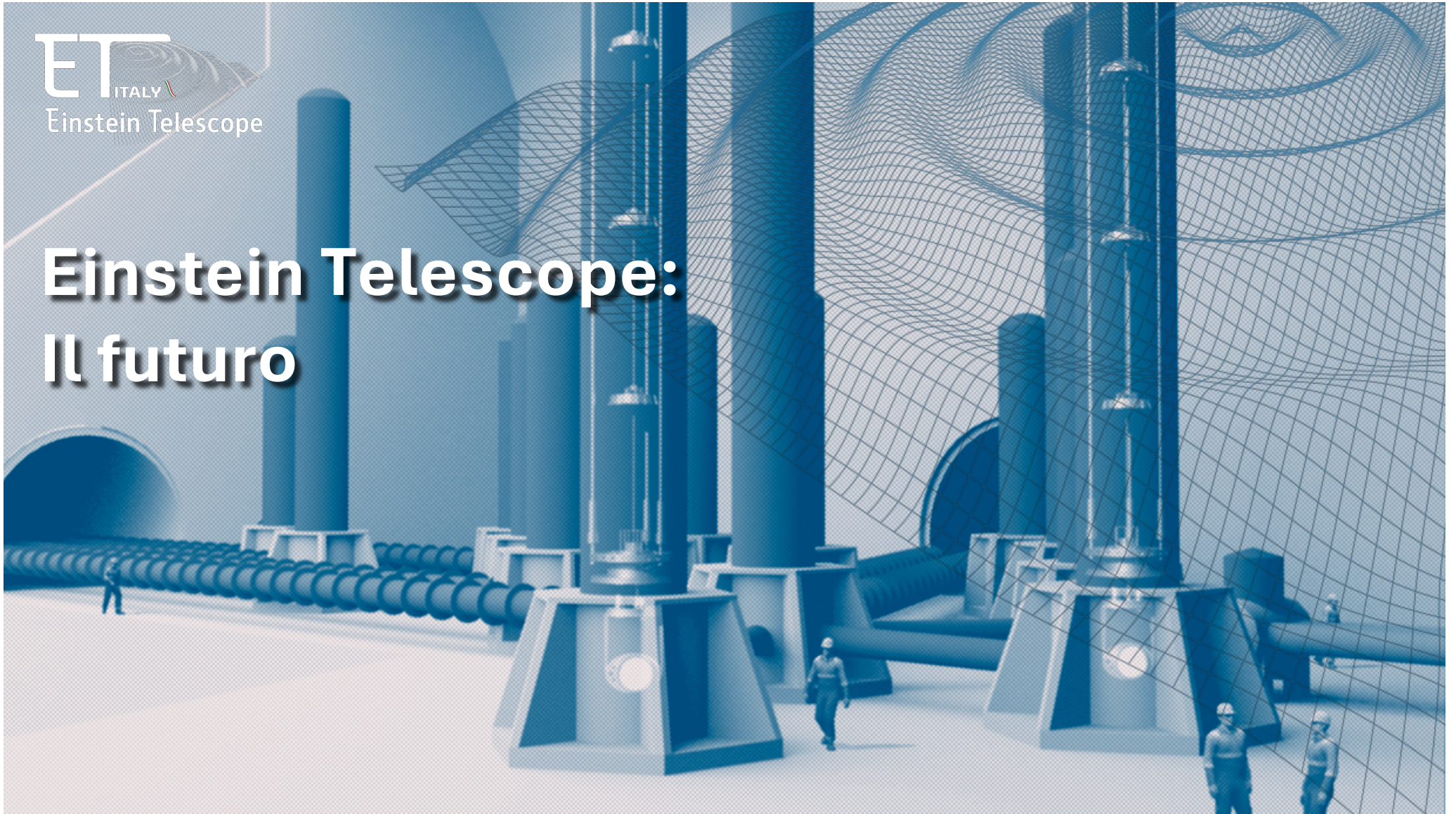
Negli anni '80 Adalberto Giazotto (INFN) e Alain Brillet (CNRS) hanno concepito e proposto il primo interferometro adatto a funzionare a bassa frequenza (<50 Hz)

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

ET
ITALY
Einstein Telescope

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

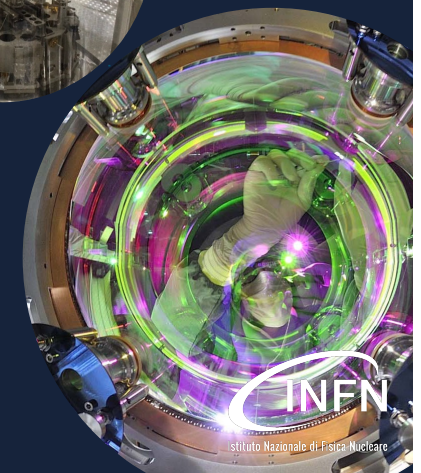
- Laser di alta potenza
- Specchi più grandi e pesanti
- Nuovi trattamenti superficiali
- Compensazioni termiche
- Squeezing dipendente dalla frequenza

ET: costi (2018 parametric estimates)

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

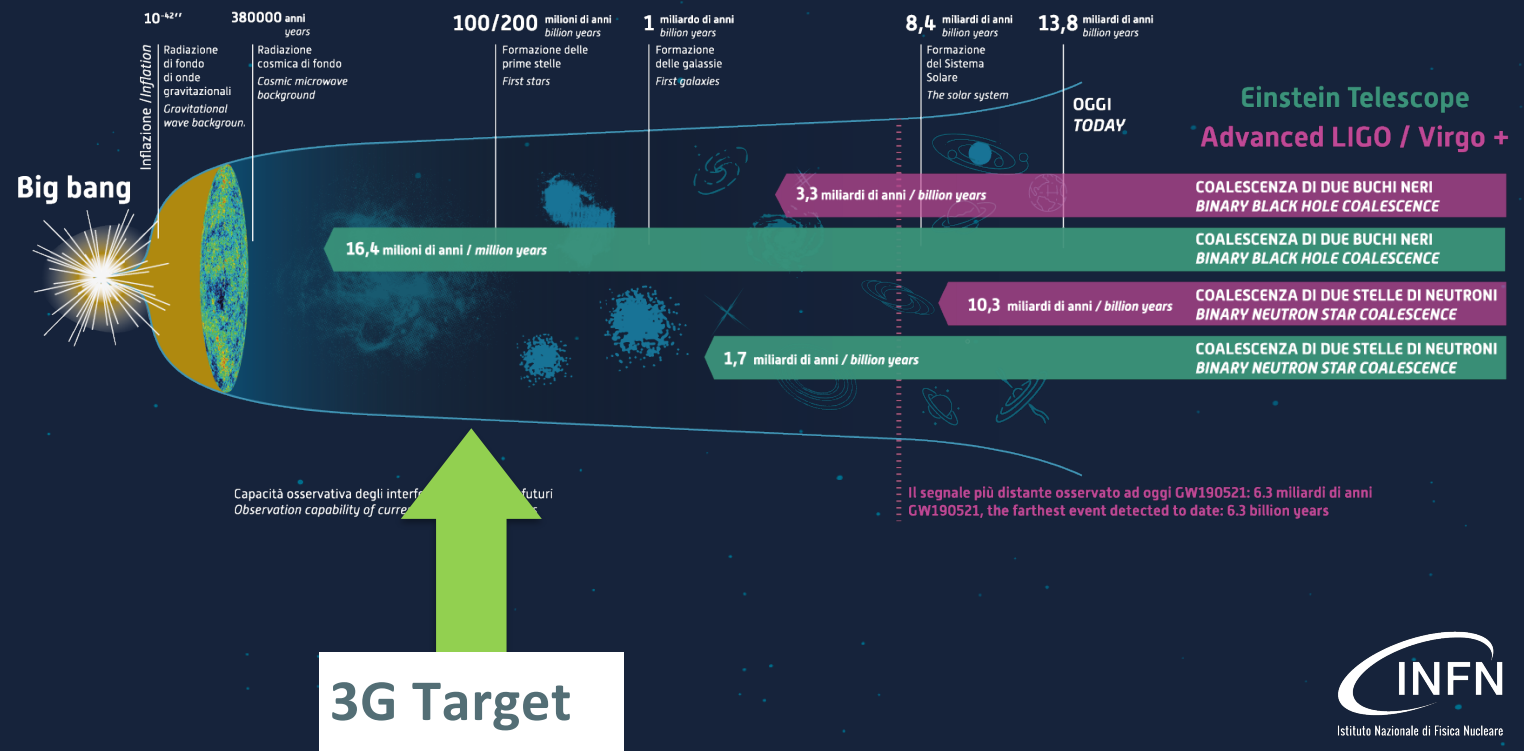
Total : ~ 2 G€

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

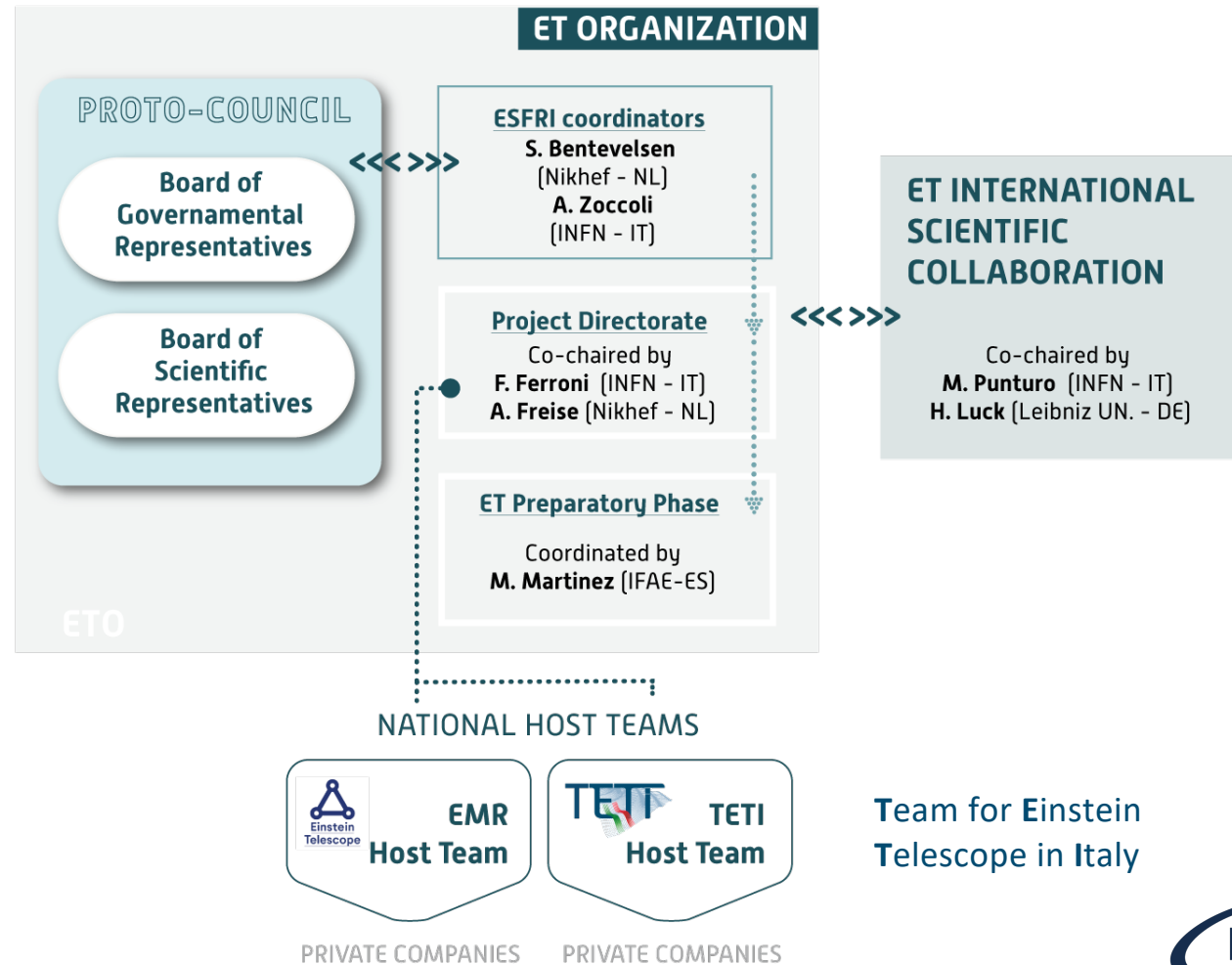
- ILIAS N5-WP3 (H. Lück e M. Punturo)
- ESF funded Exploratory Workshop, Perugia, 2005
- Design study funded by FP7 (2008-2011)
 - 3G idea: obiettivo **x 10 sensibilità rispetto a 2G**
 - All'inizio, un rivelatore singolo nel mondo
- IRSES-FP7 project ELITES (2012-2017) in collaborazione con KAGRA
- 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:

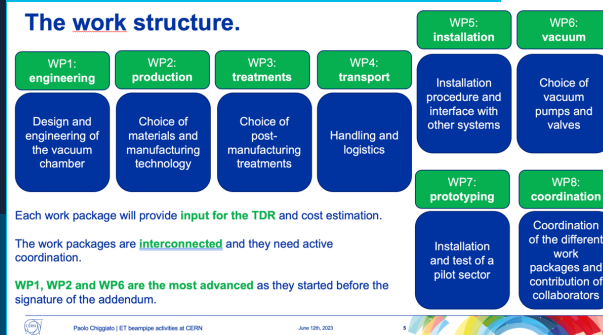
- BE, ES, IT, NL, PO
- + AU, CH, DE, FR, UK,
Work in progress with Serbia



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

Paolo Chiggiato, Barcelona, June 2023



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")

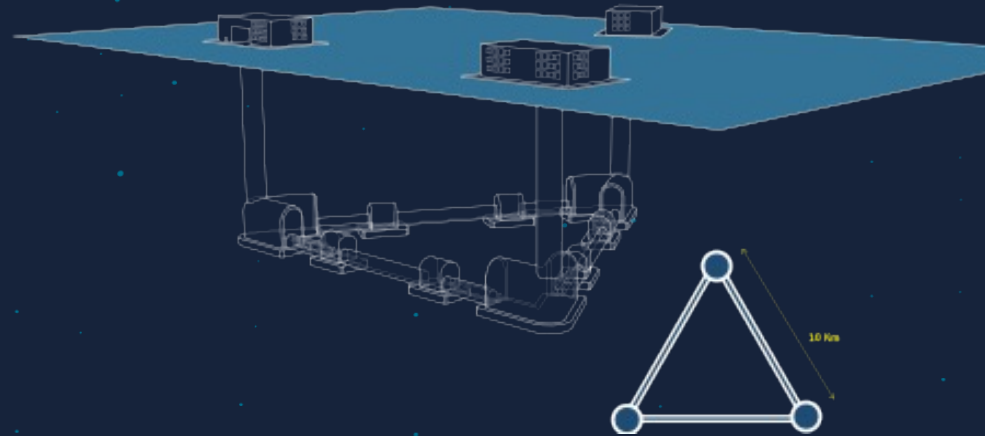
Concerning

Collaboration on the design of future gravitational wave detection experiments

2023

BEAMPIPES FOR GRAVITATIONAL WAVE TELESCOPES 2023
Beampipe know-how for GW observatories

The direct detection of gravitational waves opens a new window to the universe, allowing researchers to study the cosmos by merging data from multiple sources. There are currently four gravitational wave detectors (GWs) in operation: LIGO at two sites in the US, Virgo in Italy, KAGRA in Japan and CEOS in Germany. Discussions are ongoing to establish an additional site in India. The detection of GWs is based on Michelson laser interferometry with Fabry-Pérot cavities, which reveals the expansion and contraction of space at the level of one-thousandth of the size of an atomic nucleus, i.e. in "m. Despite the extremely low strain that needs to be detected, an average of one GW is measured per week of measurement by studying and minimizing all possible noise sources, including seismic vibration and residual gas scattering. The latter is reduced by ultra-high vacuum systems. The participants of the workshop dedicated time to discuss the state-of-the-art in vacuum technology for non-generation gravitational wave detectors. Solutions were adopted, then the vacuum pipe system would amount to half the estimated cost of the CERN and almost one-third of the EIC, with underground civil engineering the dominant amount. Reducing the cost of vacuum systems requires the development of different technical approaches with respect to previous-generation facilities. Developing cheaper technologies is also key to the vacuum systems provided a starting point for the presentations of ongoing developments. To evaluate an effective cost analysis and reduction, the entire process must be taken into account - including raw material production and treatment, manufacturing, surface treatment, logistics, installation and commissioning in the tunnel. Additionally, the interfaces with the experimental areas and the services



2L vs Δ



2L vs Δ

Il project directorate ha il compito di studiare:

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

JCAP07(2023)068

Journal 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

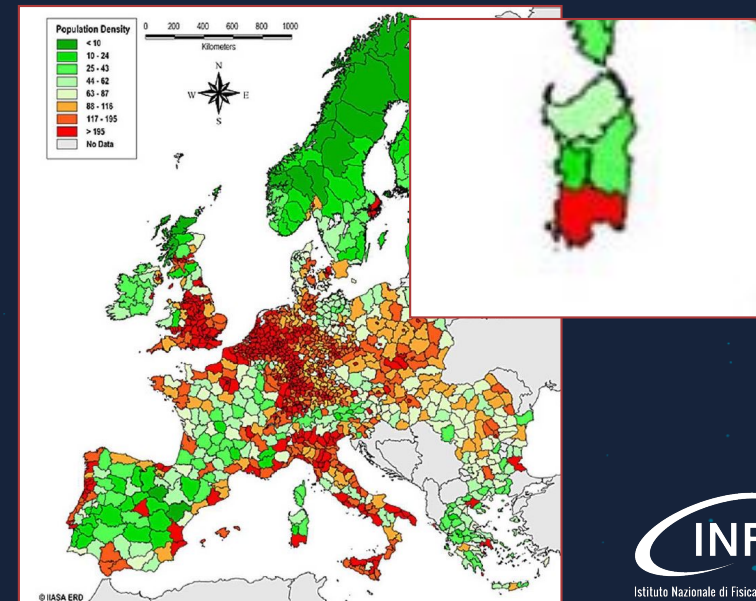
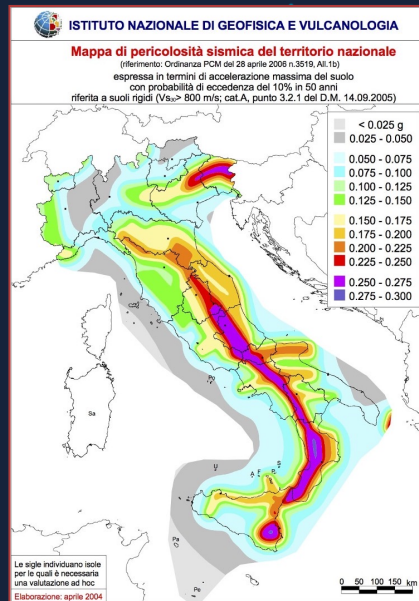
**Perché in
Sardegna?**

Einstein Telescope è nato in Italia

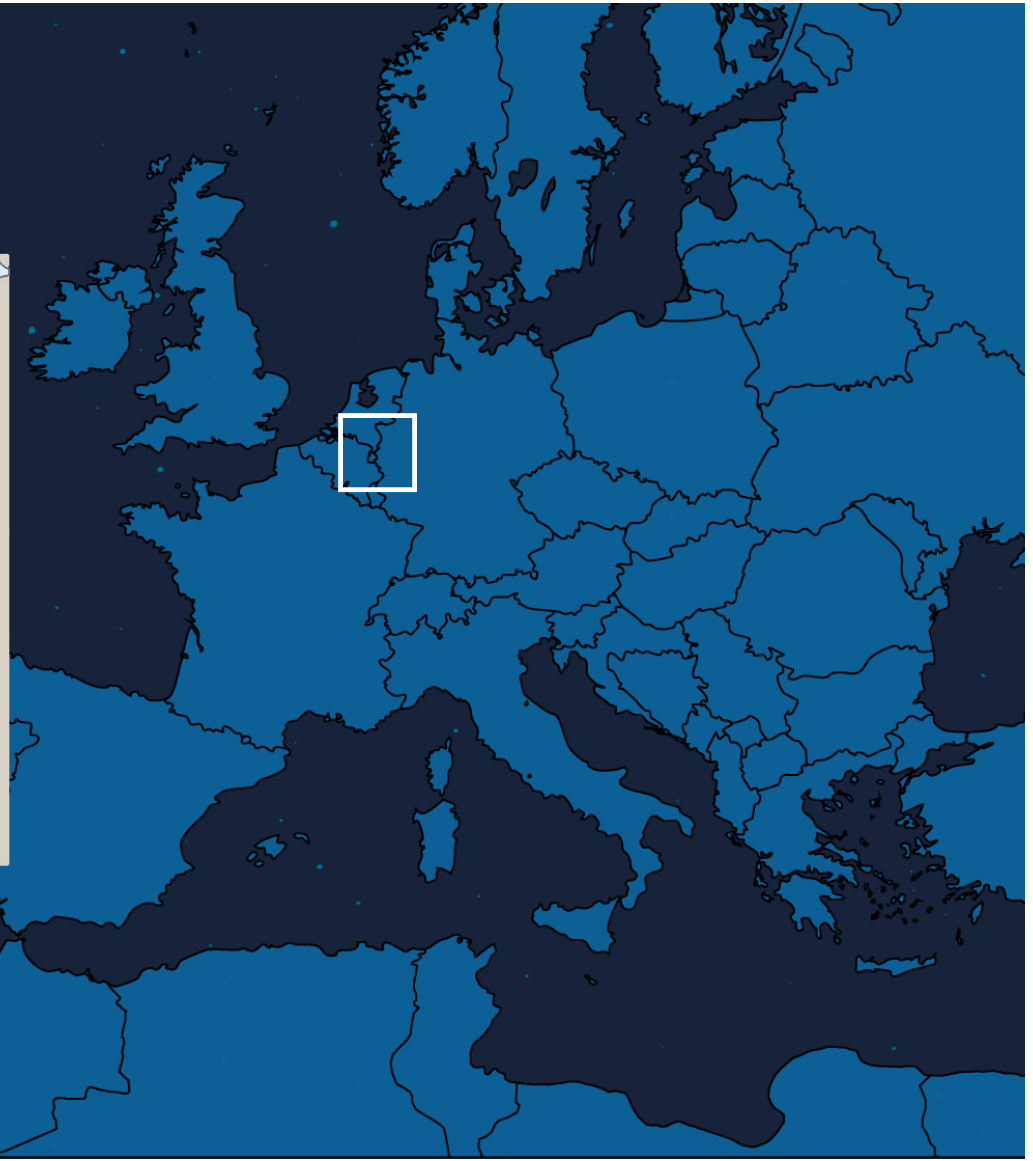
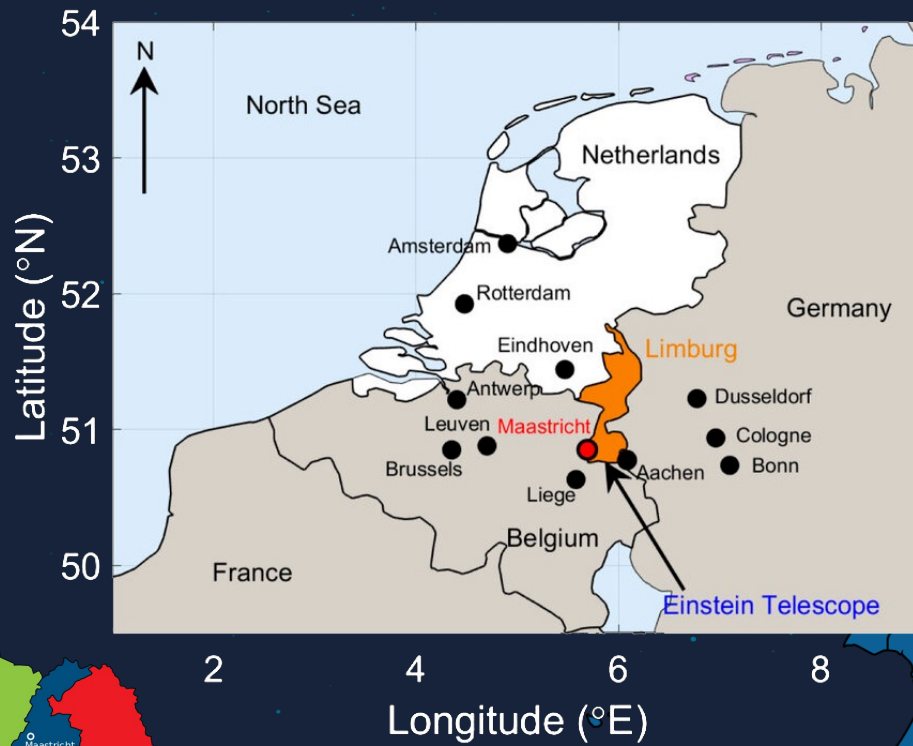
- La comunità ha le competenze, la tradizione e il sito
- **INFN, INAF e INGV** possono contribuire a quasi ogni aspetto

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

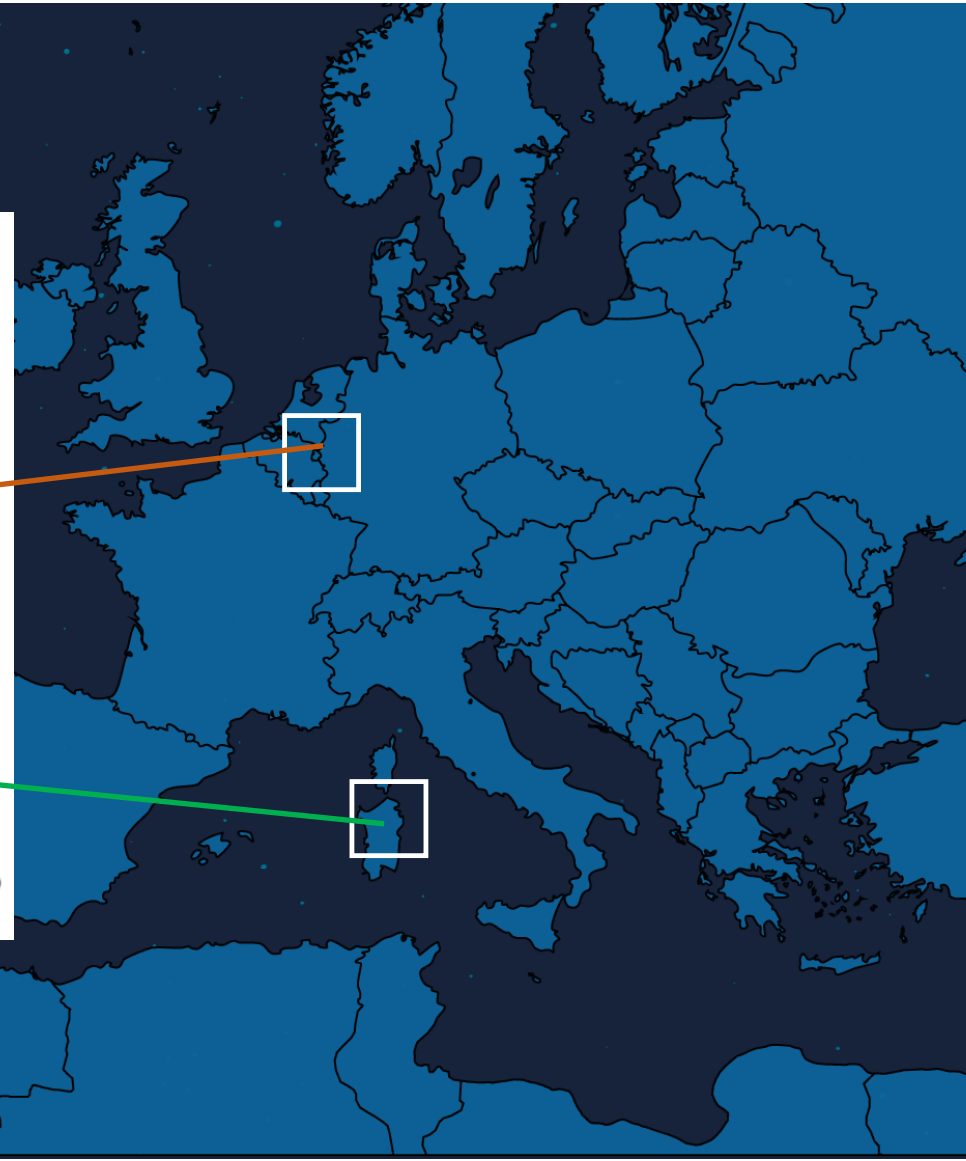
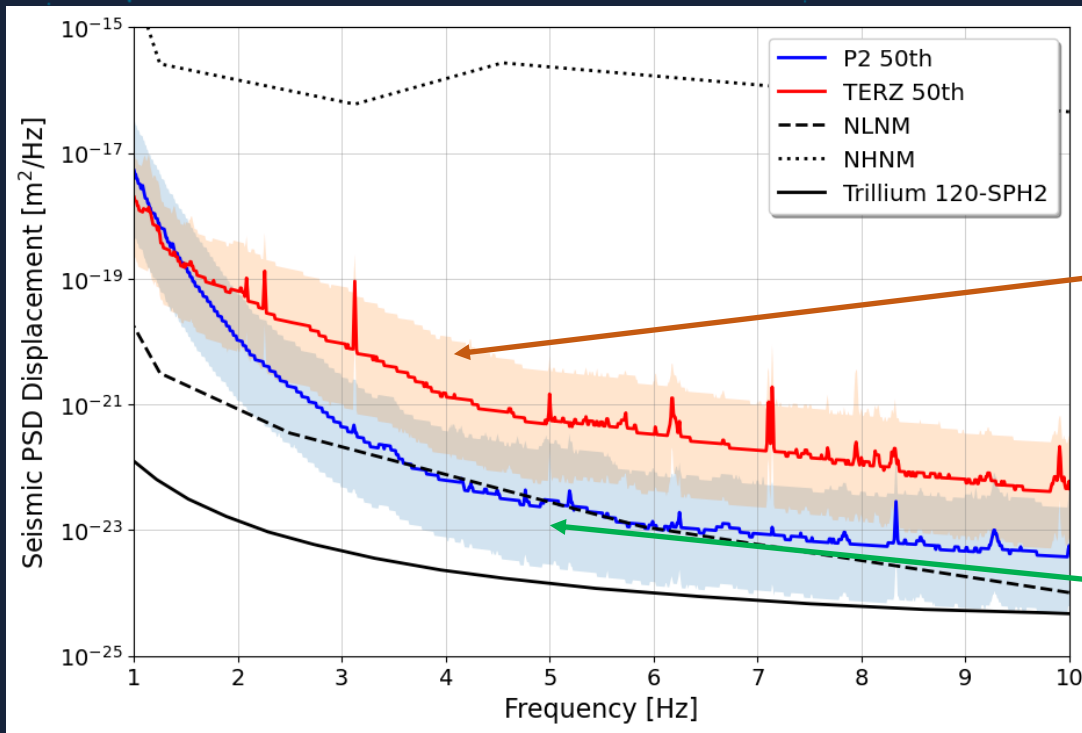
- È il sito migliore in Europa per un rivelatore sotterraneo
- Può ospitare sia un triangolo sia una “L”



Sito "EMR" (Euroregio Mose-Rhine)

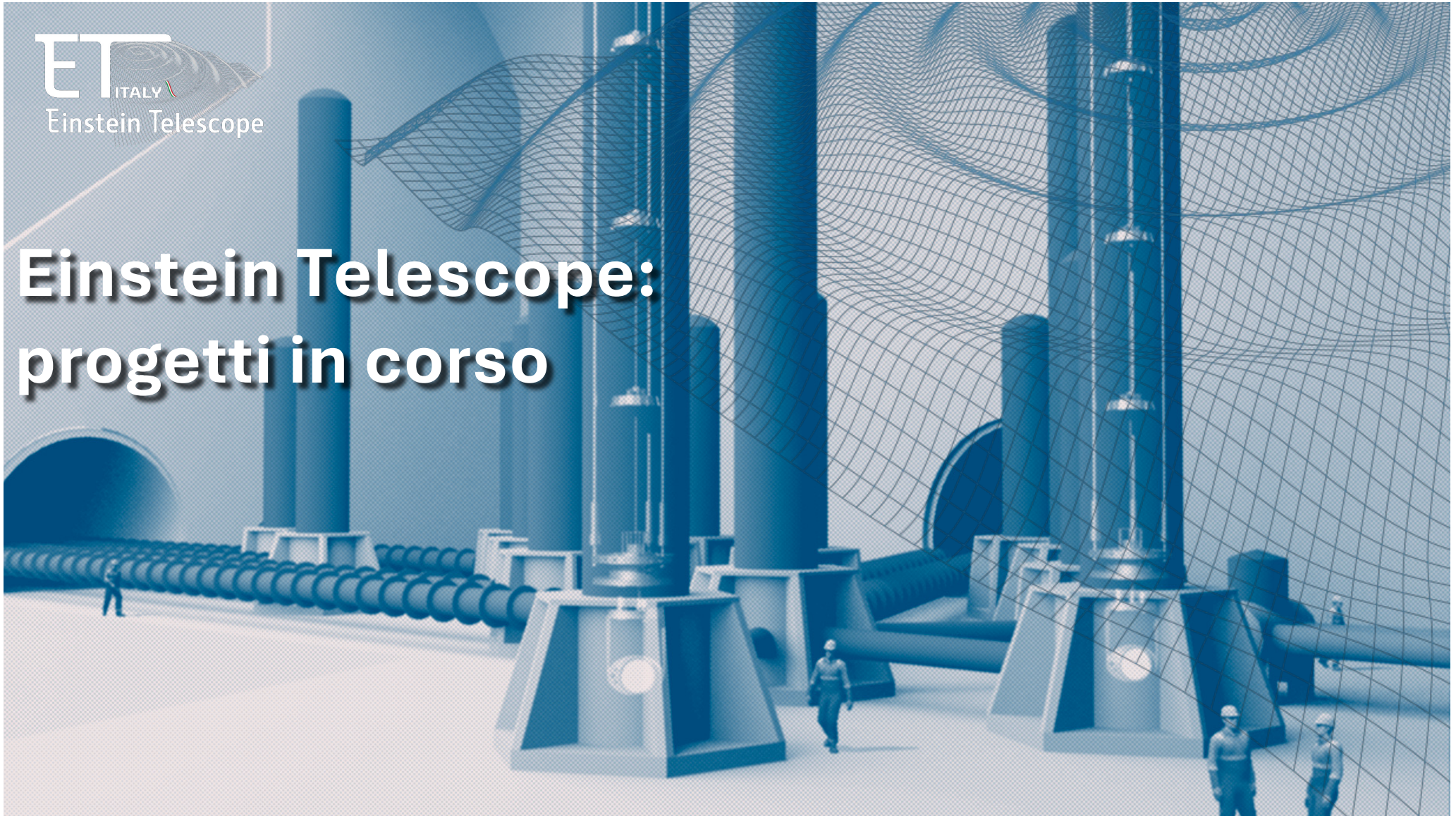


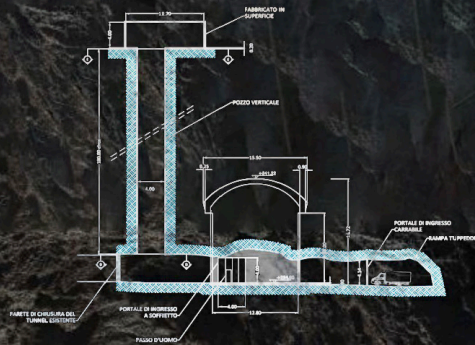
ITA vs EMR



Seismic noise / frequency

Einstein Telescope: progetti in corso





Laboratorio SAR-Grav: Un seme per ET

Laboratorio con:

- 200 m² in superficie
- 120 m² 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

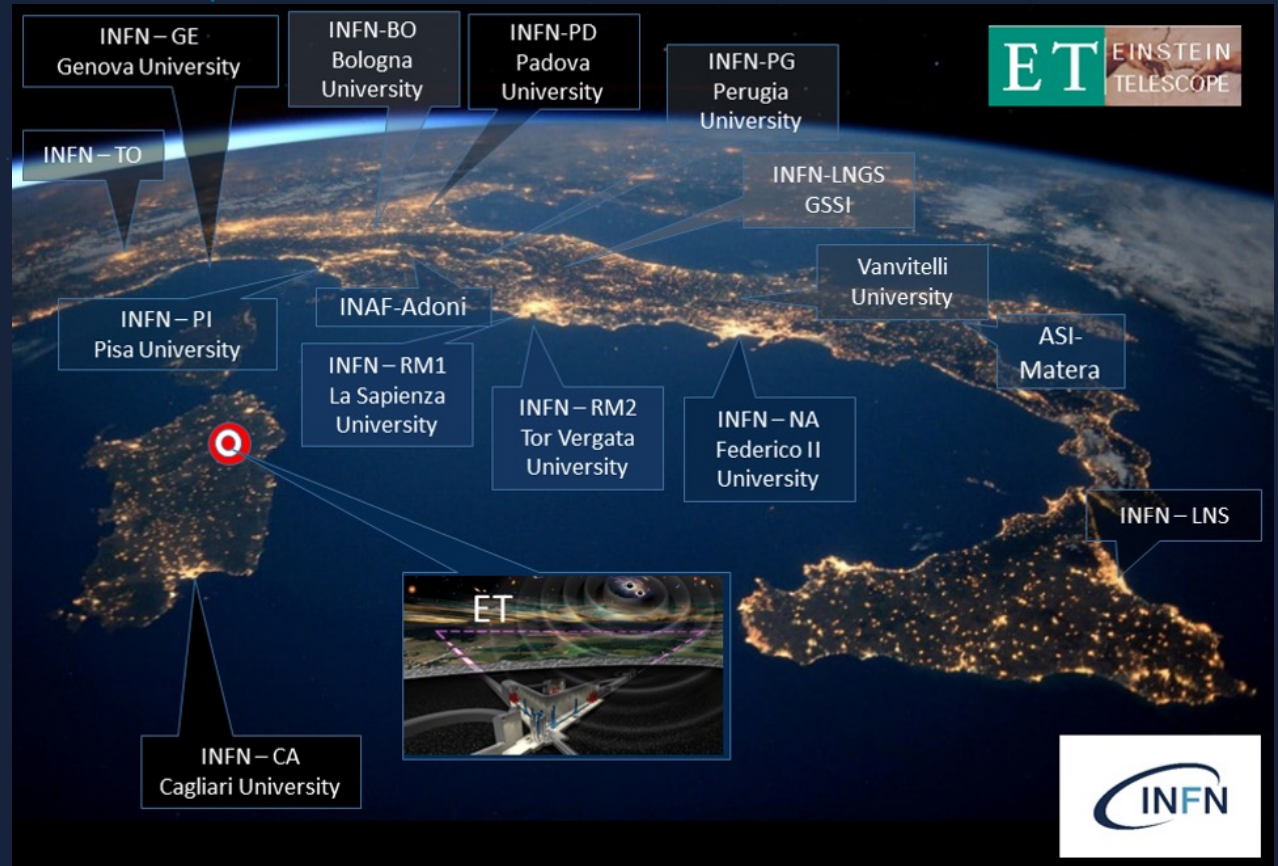


INFRADEV (2022-2025)

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 Δ**
 - 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 CO₂, 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
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

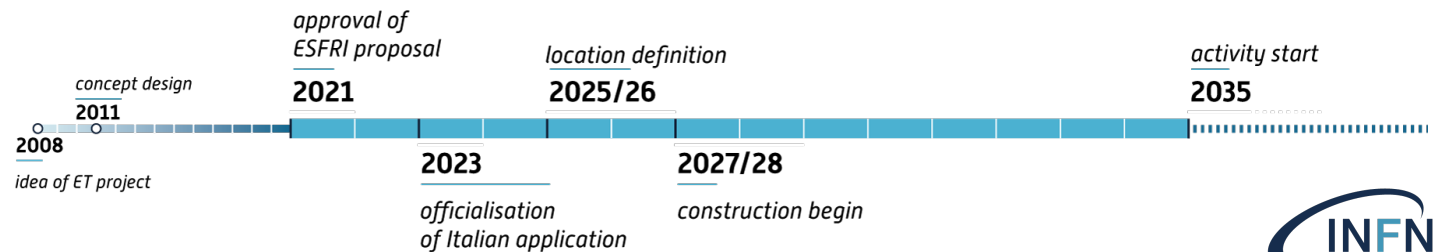
total **1.3 billion**

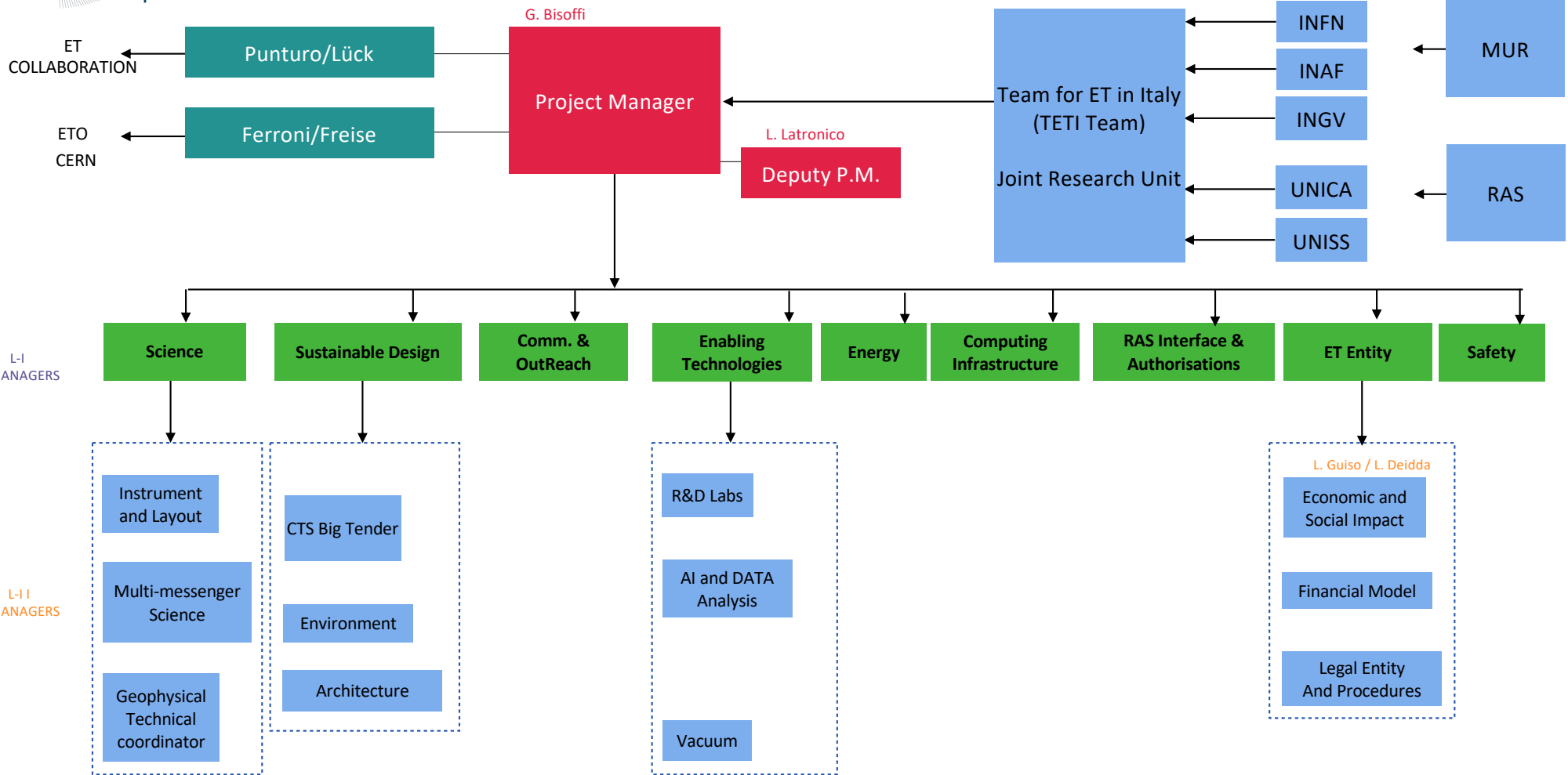
€350 million

by Autonomous Region of Sardinia

€950 million

by Italian Government





PT Lecce - 13 giugno 2024

M. Pallavicini



La comunità italiana



REGIONE AUTONOMA
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



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II

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

