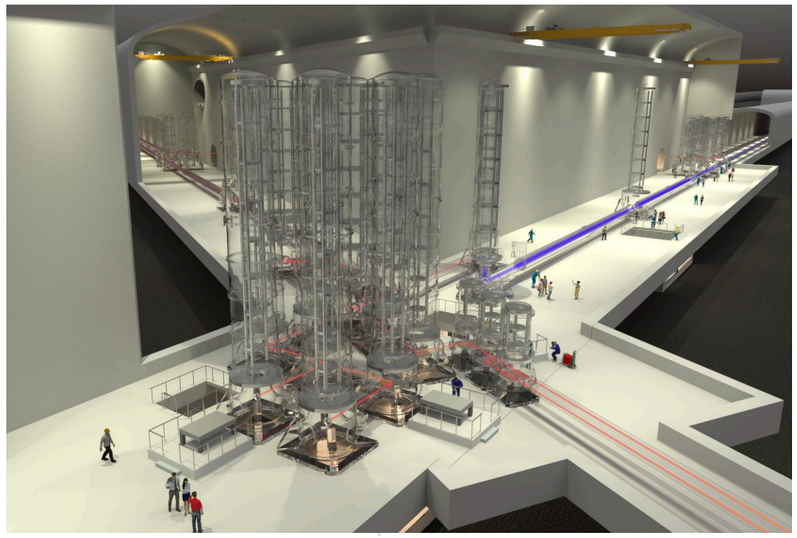
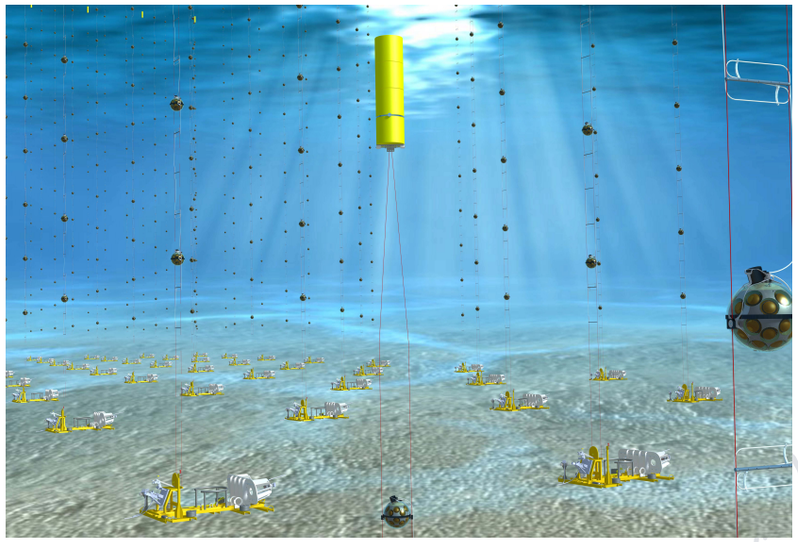
Einstein Telescope



KM3NeT



CTA

Sezione di Tor Vergata - Villa Mondragone, 10 maggio 2022

INFN alla luce del PNRR

Marco Pallavicini

PNRR 2022

- Il **PNRR** prevede cospicui finanziamenti su varie linee di intervento mirate a potenziare la ricerca
  - **Centri** Nazionali
  - **Infrastrutture** di Ricerca
  - **Partenariati** estesi (in corso)
    - Intelligenza Artificiale
    - Quantum Technologies
    - Medicina di Precisione
    - Spazio [ancora in gestazione]

- **<u>Un tema a molte facce:</u>**
  - Una grande **opportunità** [moltissime risorse]
  - Una grande **sfida** [da spendere in tre anni]
  - Un'occasione di **crescita** per l'Ente e per rinforzare ulteriormente la simbiosi con le Università e la cooperazione con gli altri Enti
  - Anche un **rischio**, di cui esser consapevoli e da mitigare

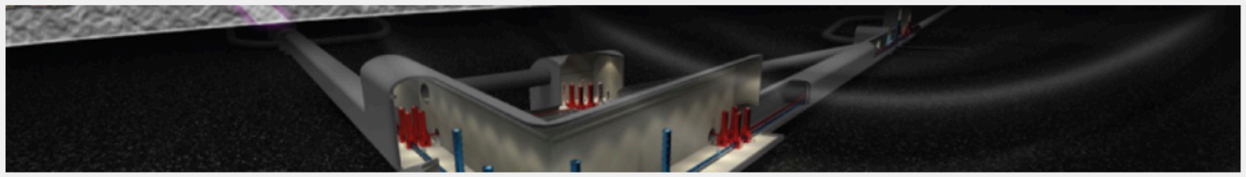
Le proposte presentate a febbraio

PNRR

PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

Piano Nazionale
di Ripresa e Resilienza

ICSC National Centre for HPC, Big Data and Quantum Computing



ETIC Einstein Telescope Infrastructure Consortium

IRIS Innovative Research Infrastructure on applied Superconductivity

KM3NeT

LNGS: Gran Sasso National Laboratory upgrade

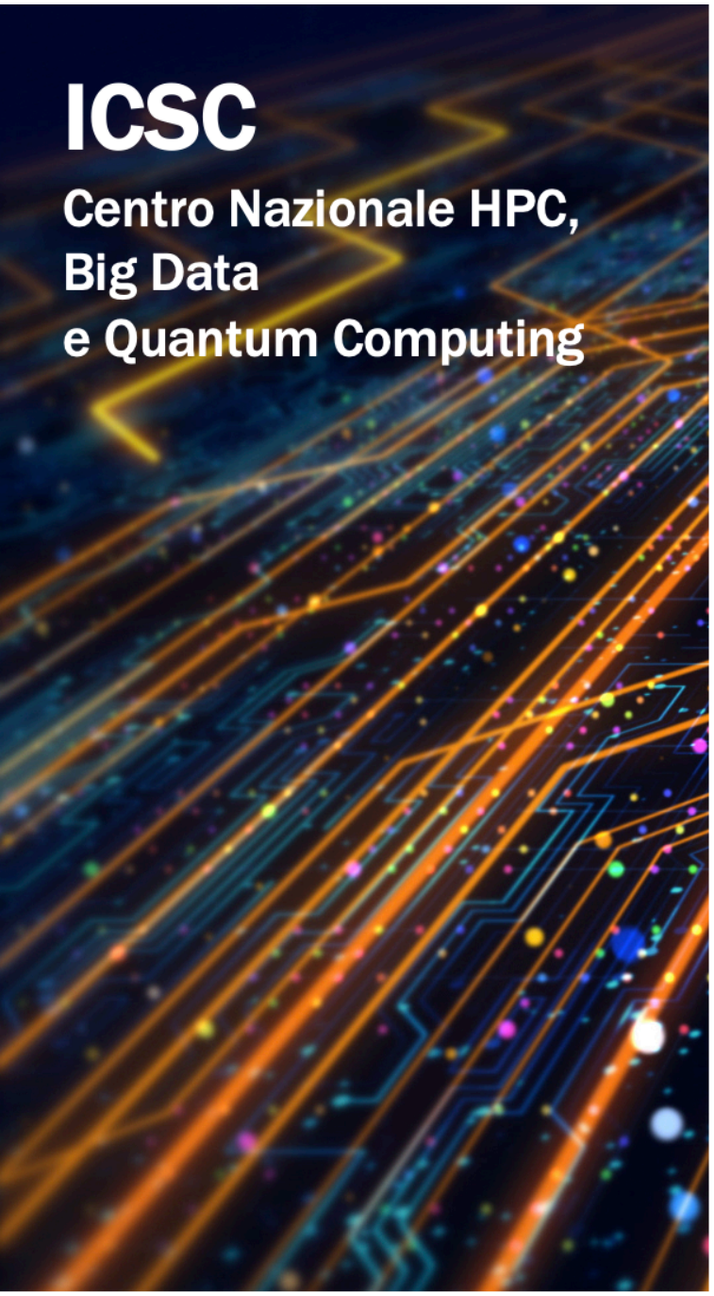
EuAPS
Eupraxia - LNF

MUR

INFN
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

- A cui si aggiunge una significativa partecipazione a **CTA** a guida **INAF**

Centro Nazionale HPC



Cloud national infrastructure for supercomputing.
Hub & Spoke organization:
10 vertical spokes for technology developments and software applications

400 M€ Total Budget

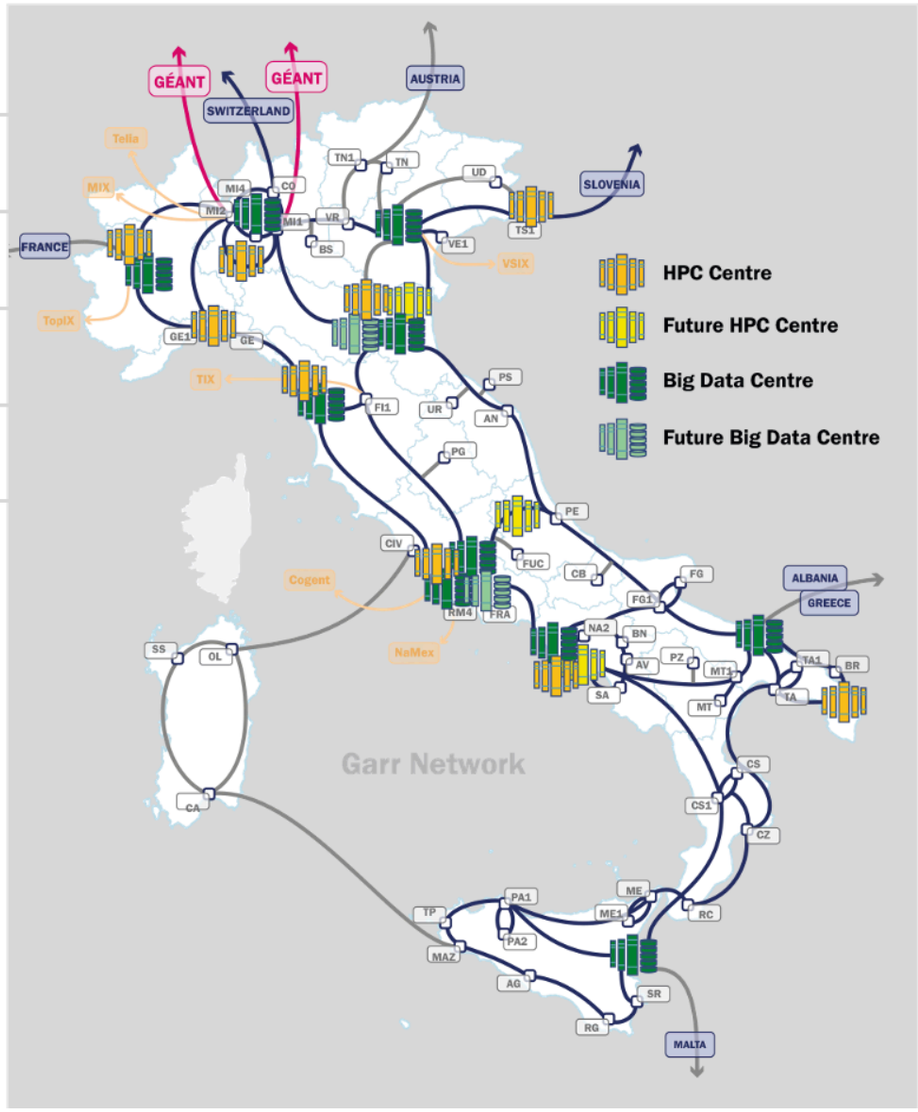
188 M€ Cloud Infrastructure

40 M€ Open Call

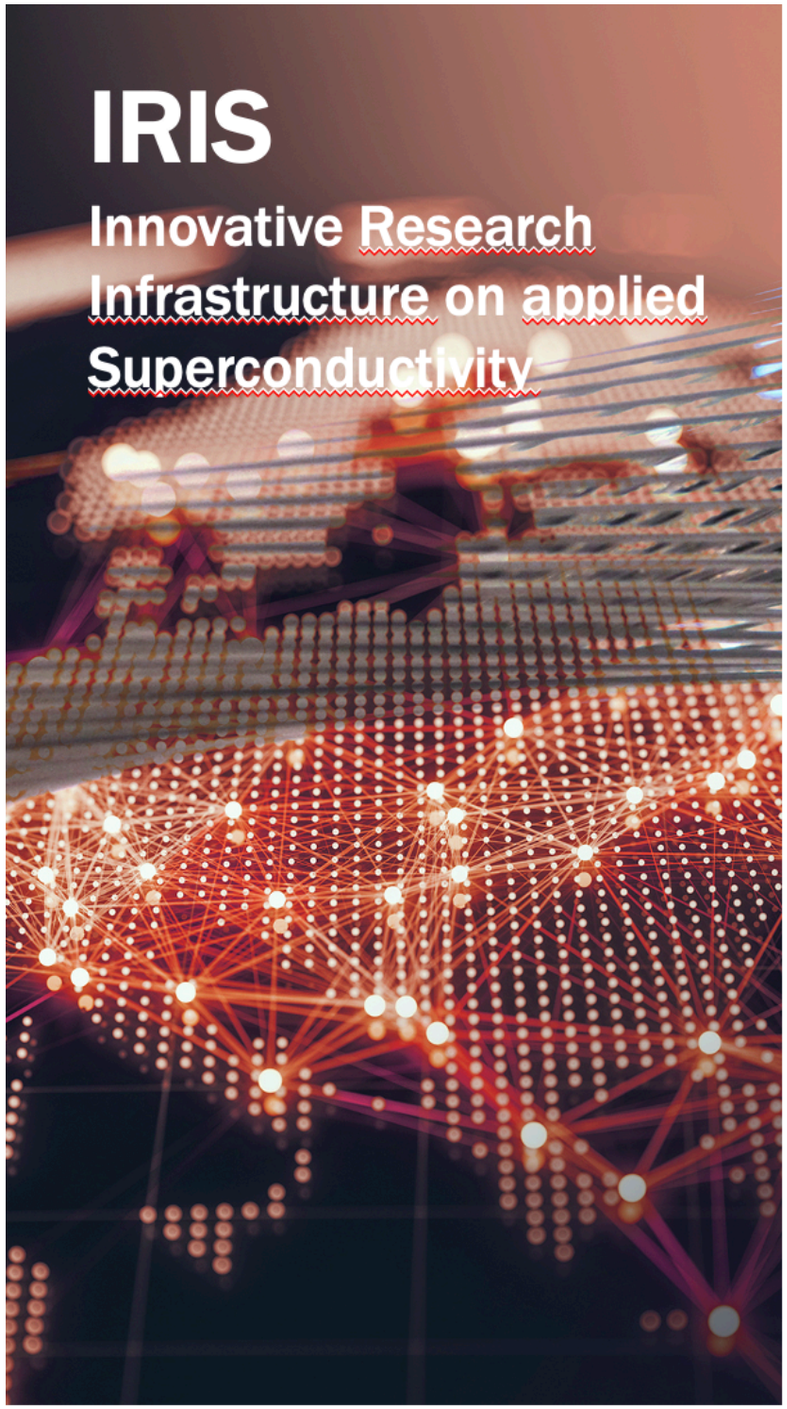
40 M€ Innovation & TT

42% investment South Regions

34	MUR Universities and Research institutions
15	Private Companies
1575	Researchers and engineers
250	New Temporary positions
250	New PhD
40 %	Female



Superconduttori il futuro



Research Infrastructure for the development of superconducting technologies

Including high temperatures

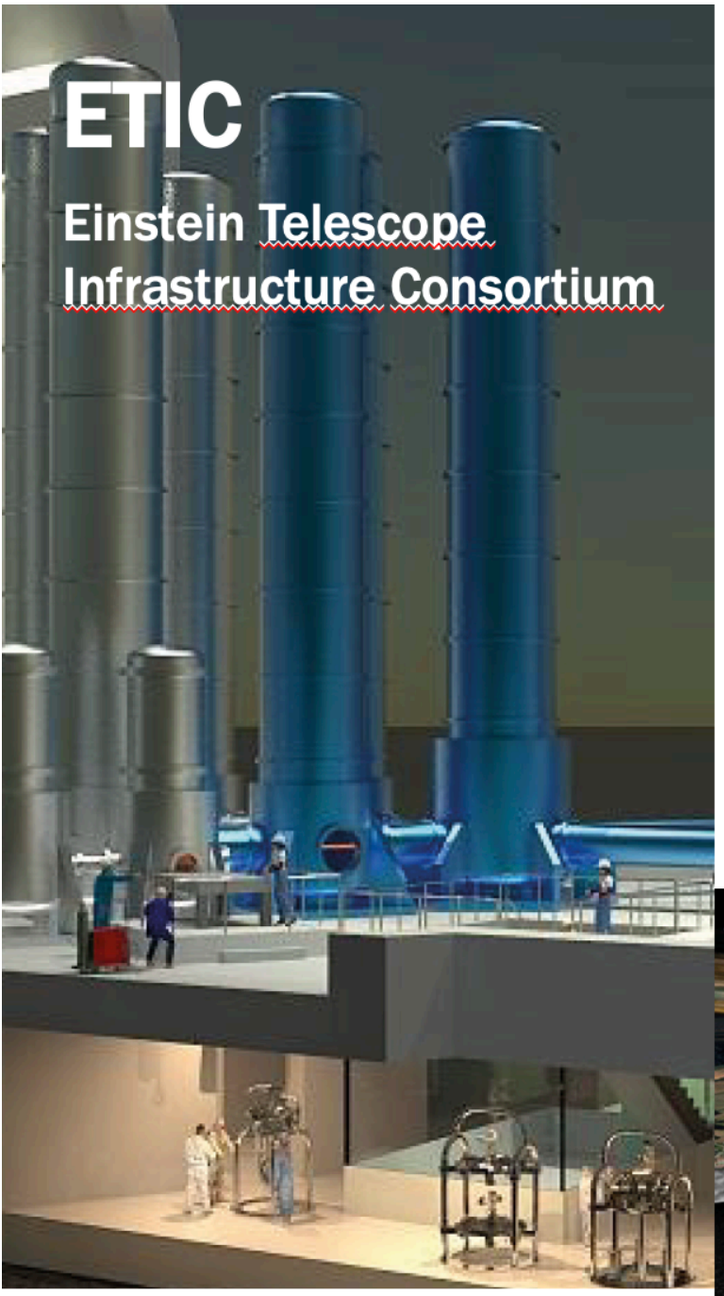
Industrial spin-offs:

- Superconducting magnets → CERN/Medicine
- Low-dispersion superconducting cables

Budget: 75 M€ (50% in Southern Regions):

- 40 M€ to upgrade infrastructures, laboratories, cutting-edge technologies
- 25 M€ for electric power line prototypes and magnets

Einstein Telescope



Einstein Telescope (ET)

Research Infrastructure for the observation of gravitational waves

Where: in Sardinia (IT) or Holland

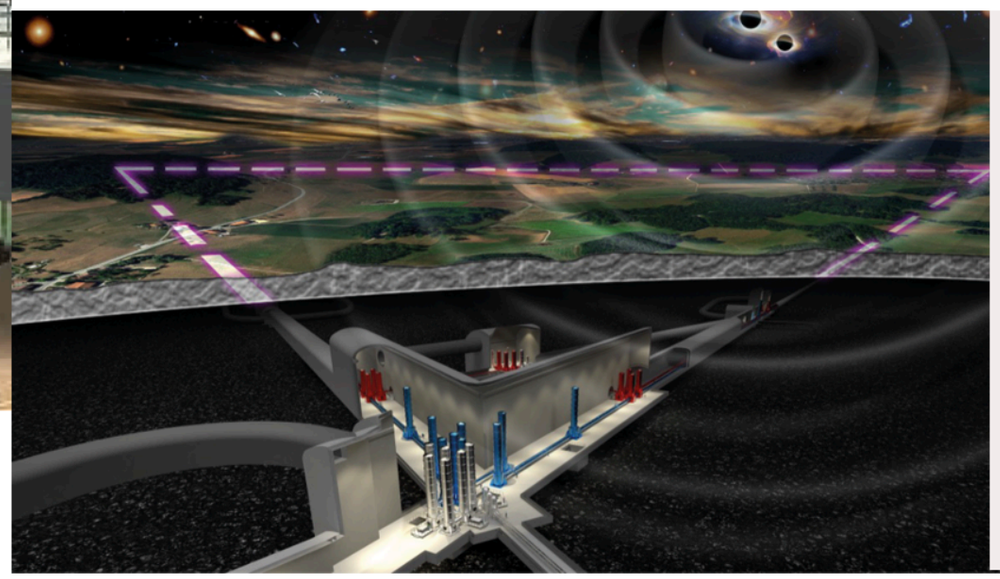
Global cost 1.8 G€ over the next 10 years

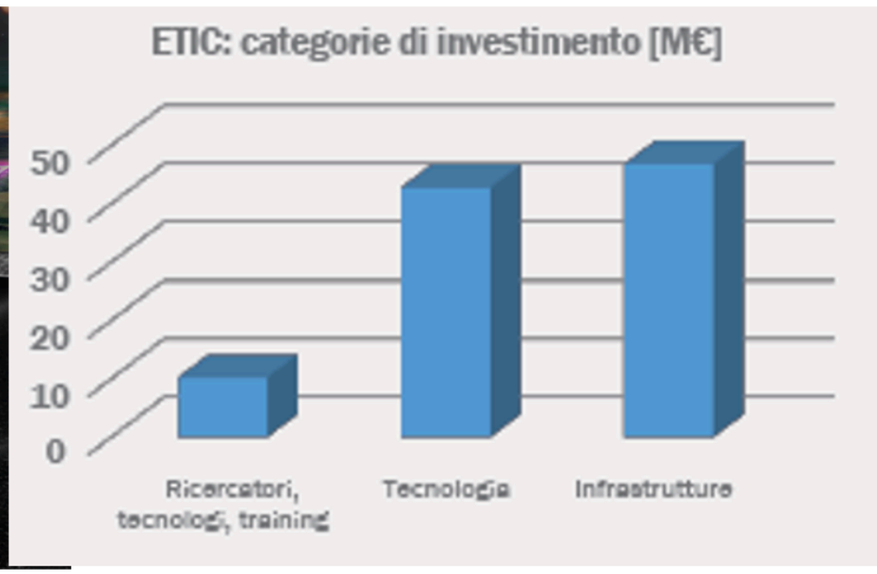
(50% to be covered by the host state).

ETIC: Research Infrastructure to implement

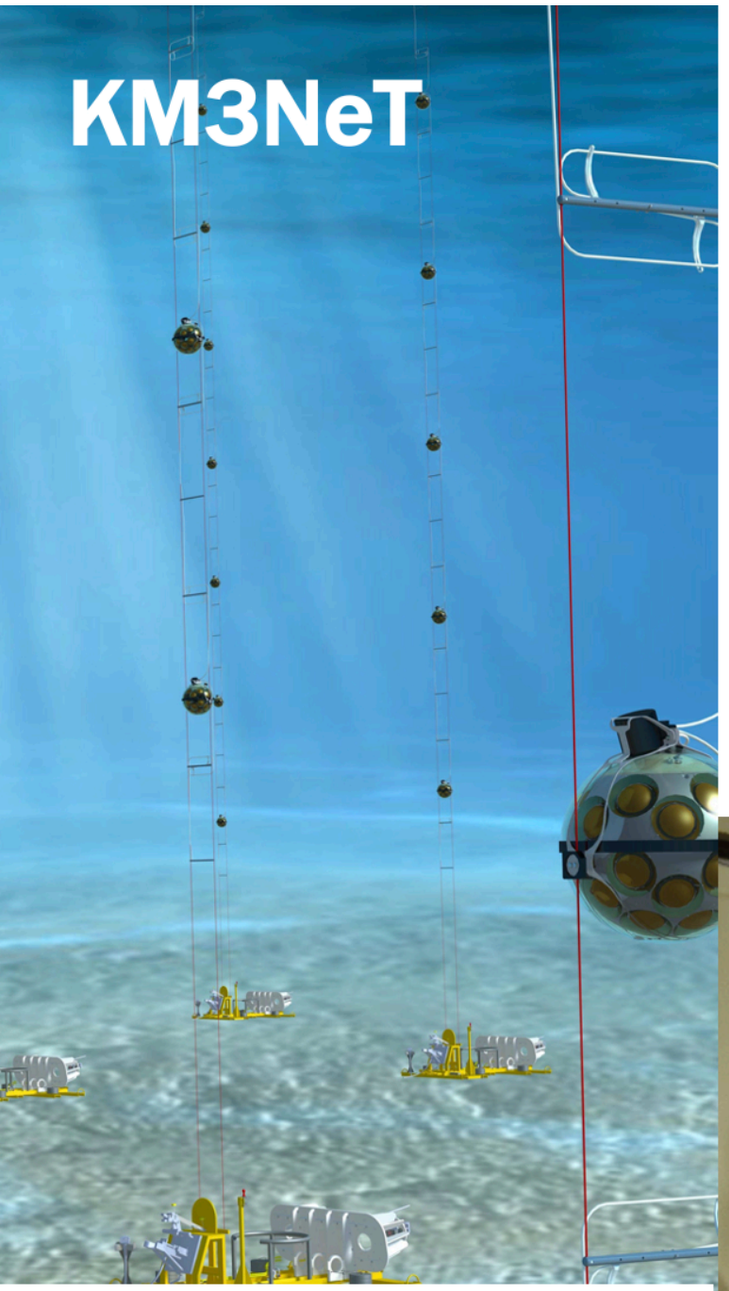
- A network of laboratories and interdisciplinary skills to develop cutting-edge technologies needed for ET
- The executive project for Sardinia

Budget: 100 M€ (52% in Southern Regions).





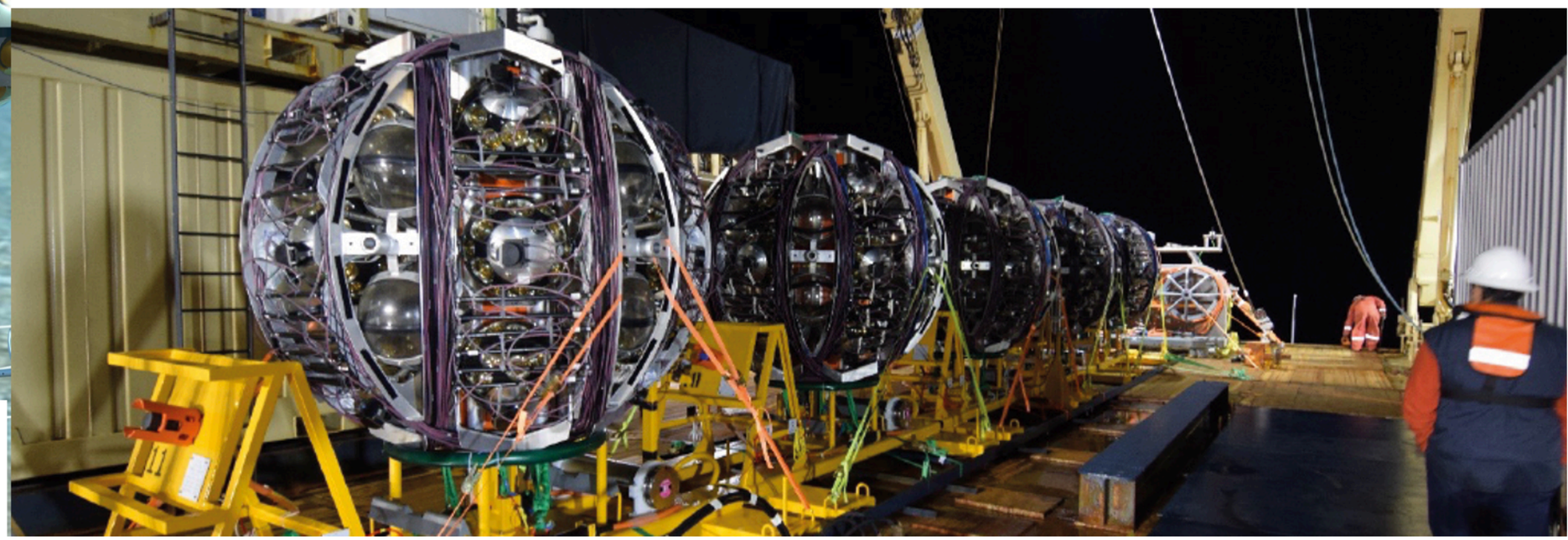
Neutrini Astrofisici



KM3NeT is the largest underwater infrastructure in the northern hemisphere.
In the depths of the Mediterranean Sea, it houses two neutrino telescopes: ARCA off Sicily, Italy, and ORCA off Toulon, France.

Studying neutrinos from deep space to investigate the universe at times around to the Big Bang

Budget: 77 M€ (80% in Southern Regions)



Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza

MUR

INFN
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Focus su astroparticelle [in forte cooperazione con INAF]

- **Threefold** long term vision in **multi-messenger astroparticle physics**
  - **Gravitational waves**
    - from **VIRGO** to **Einstein Telescope**

    COSMOLOGY, GENERAL RELATIVITY, BLACK HOLE AND NEUTRON STARS, UNKNOWN UNKNOWNS
  - **High energy neutrinos**
    - **KM3NeT** to science

    COSMIC RAYS ORIGIN, NEUTRINO AS PROBES TO EXTREME ENVIRONMENTS, NEUTRINO PHYSICS
  - **High energy photons**
    - **CTA** [in cooperation with leading institution INAF]

    COSMIC RAYS ORIGIN, COSMOLOGY, PROBE VACUUM WITH PHOTONS
- Three PNRR projects 2022-2026 [submitted Feb. 28th, 2022]
  - Get ready for **ET**: technology and site characterisation **[100 M€]**
  - Bringing **KM3NeT** to science: 135 strings in water by 2026 **[75 M€]**
  - A big push to **CTA**: new small and large mirrors in Chile **[INAF 85 M€, INFN 15M€]**

Infrastrutture di Ricerca: Einstein Telescope

- Nome progetto (proposta): **ETHIC**
  - **E**instein **T**elescope **H**ost **I**nfrastructure **C**onsortium

- **Scopo:**
  - **Potenziare** le sedi INFN dove si svolge R&D per E.T.
  - **Sviluppare** tecnologie per E.T.
  - **Realizzare** la progettazione preliminare e parte di quella esecutiva per il sito in Sardegna
    - Al 70% il progetto è indipendente dal sito

- Proponente: **INFN** Budget complessivo richiesto: **~ 100 M€**

- Strutture INFN [77% budget]: **Bologna, Cagliari, Genova, LNGS, LNS, Napoli, Padova, Perugia, Pisa, Roma 1, Roma Tor Vergata, Torino**

- Co-proponenti UNIVERSITÀ [21%]: **UniBO, UniCA, UniGE, Federico II, Vanvitelli, UniPD, UniPG, UniPI, Roma Sapienza, Roma ToV**

- Co-proponenti EPR [2%]: **INAF, ASI**

Il ruolo del polo di Tor Vergata

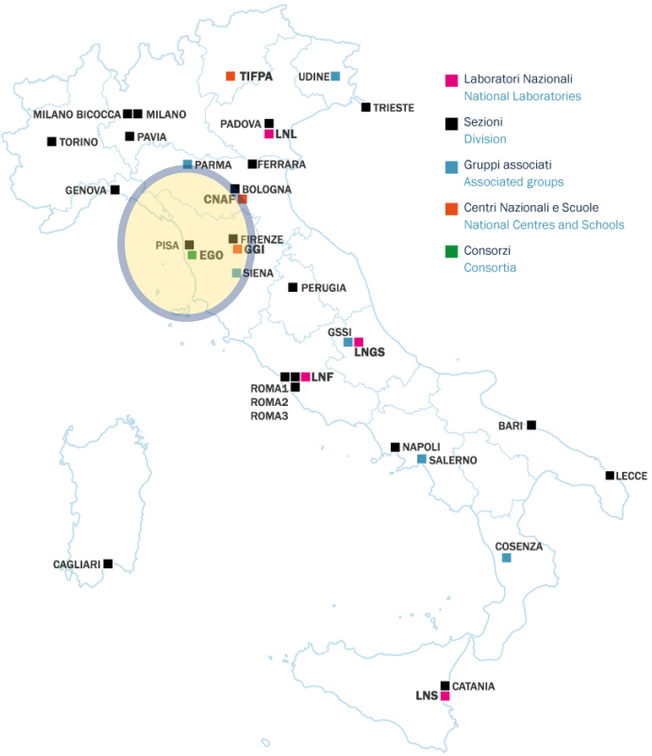
- Abbiamo sentito oggi come ricercatori e ricercatrici della Sezione e dell'Ateneo abbiano avuto un ruolo cruciale nella nascita e crescita del campo in Italia

- In ETHIC INFN-Rm2 + Uni-Rm2 copriranno vari ruoli:
  - "Targeting the development of innovative technologies for wavefront sensing and control, and production and characterisation of advanced coating materials for third generation gravitational wave detectors"
    - Thermal noise studies
    - New materials
    - Aberration control

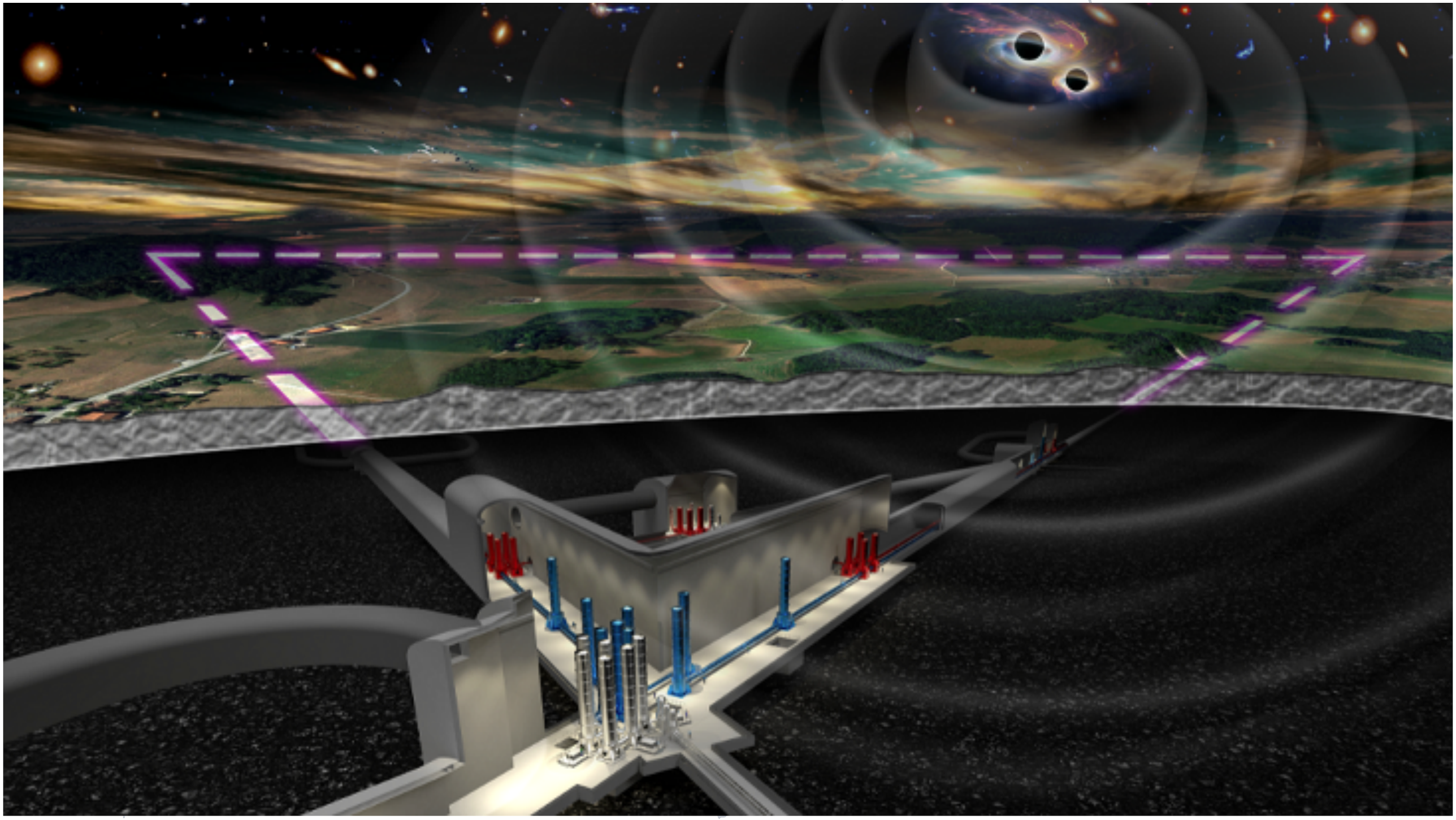
- Punti cruciali e qualificanti per la futura sensibilità di ET

The present: Virgo

- VIRGO is one of the **three instruments in the world** capable to detect G.W.
  - Built by **INFN** and **CNRS.** Nikhef joined EGO in 2021. Relevant contribution from Germany and other countries.
  - Virgo-Adv+ working since **2017.** Plenty of BH-BH signals, and a few NS-NS collisions. One (GW170817) seen with E.M. counterpart



Einstein Telescope

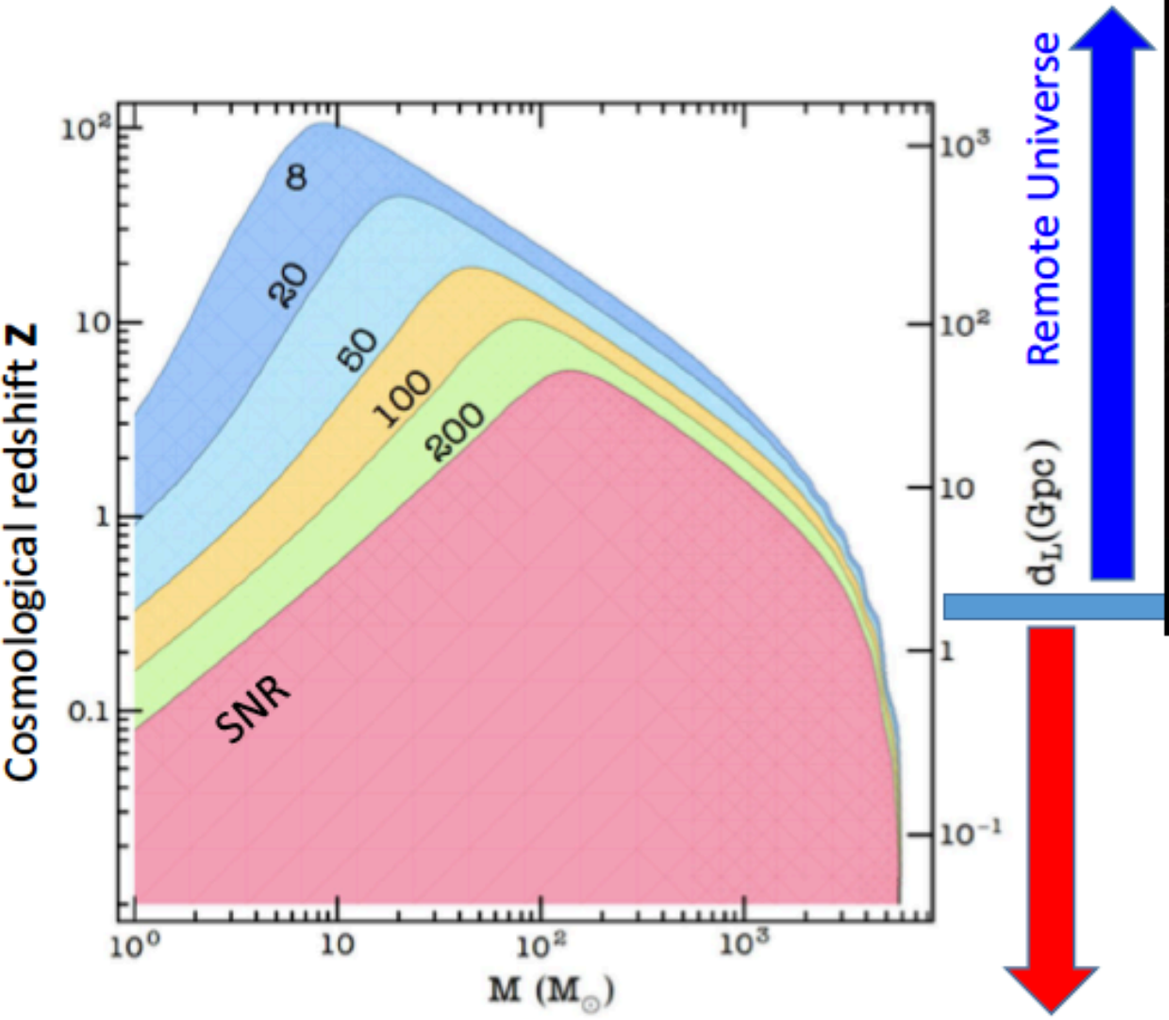


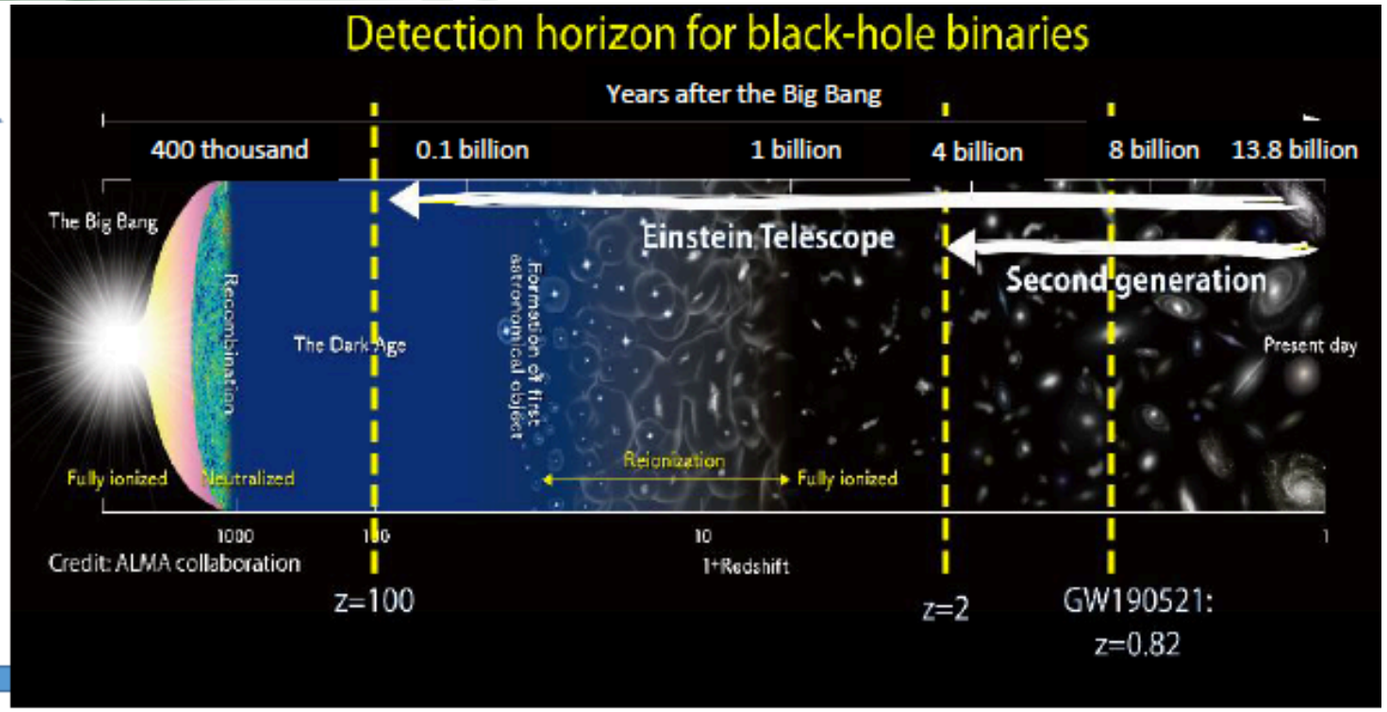
ET vs VIRGO

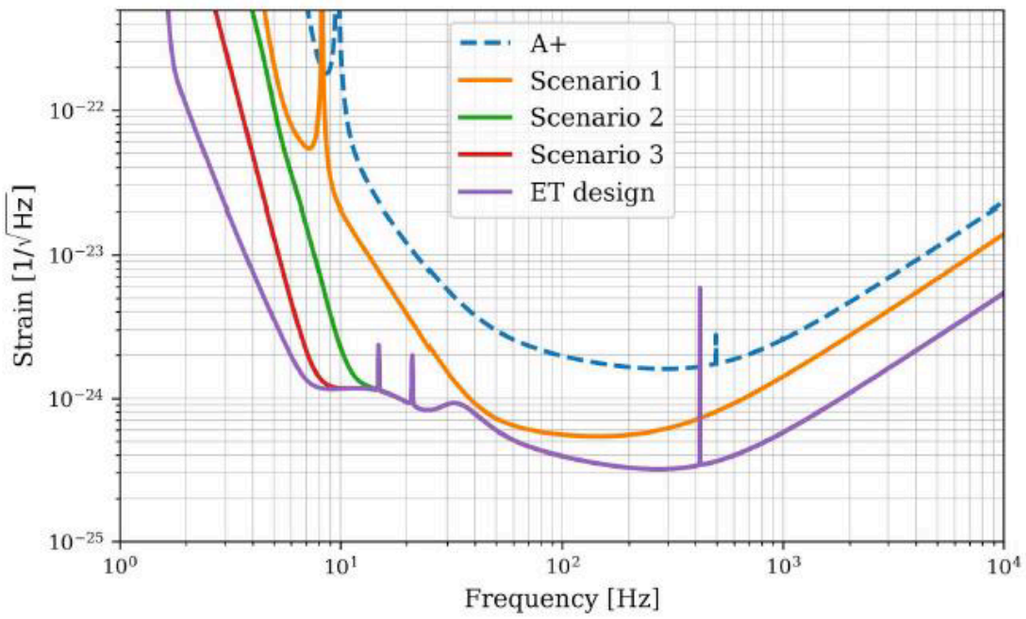
- Key enhancements
  - **Underground detector:**
    - less noise from human and seismic activity
    - Sardinia is the least **seismic** place in Europe and very **scarcely populated**
  - Triangular geometry: 6 interferometers
  - Cryogenic mirrors: strong enhancement at low frequency
    - Benefit from all the R&D done for VIRGO as well till 2030

- **Sensitivity** is expected to be ~ 10 times better -> 1000 times more volume observed
  - **Low frequency:** measure events for minutes or even hours, great precision enhancement in **GR parameters**
  - **Most of the Universe observed: a new paradigm in cosmology**

ET science in 2 slides







The combination of

- distances and masses explored
- number of detections
- detections with very high SNR

will provide a wealth of data expected to generate **revolutions in astrophysics, cosmology and fundamental physics**

1000 times more volume

Several events per day -> Observatory

ET science in 2 slides

- Un ricchissimo programma scientifico

ASTROPHYSICS

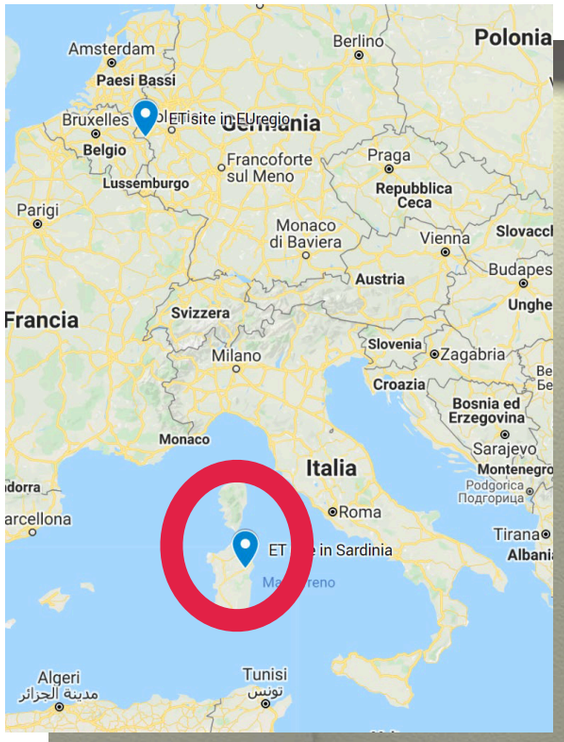
- **Black hole properties**
  - origin (stellar vs. primordial)
  - evolution, demography
- **Neutron star properties**
  - interior structure (QCD at ultra-high densities, exotic states of matter)
  - demography
- **Multi-band and -messenger astronomy**
  - joint GW/EM observations (GRB, kilonova,...)
  - multiband GW detection (LISA)
  - neutrinos
- **Detection of new astrophysical sources**
  - core collapse supernovae
  - isolated neutron stars
  - stochastic background of astrophysical origin

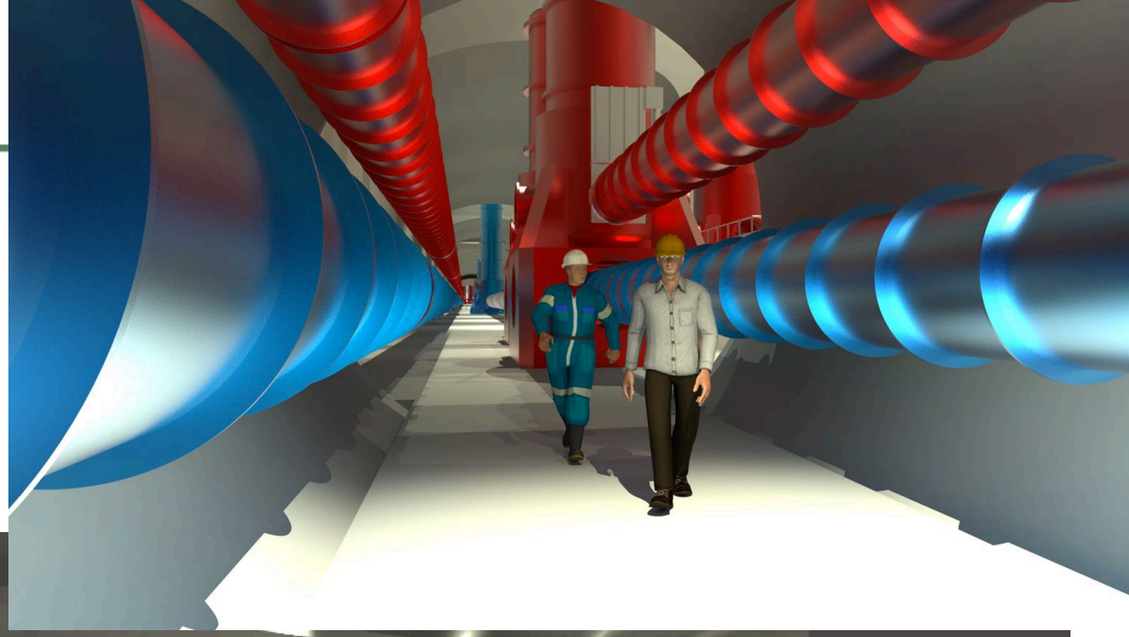
FUNDAMENTAL PHYSICS AND COSMOLOGY

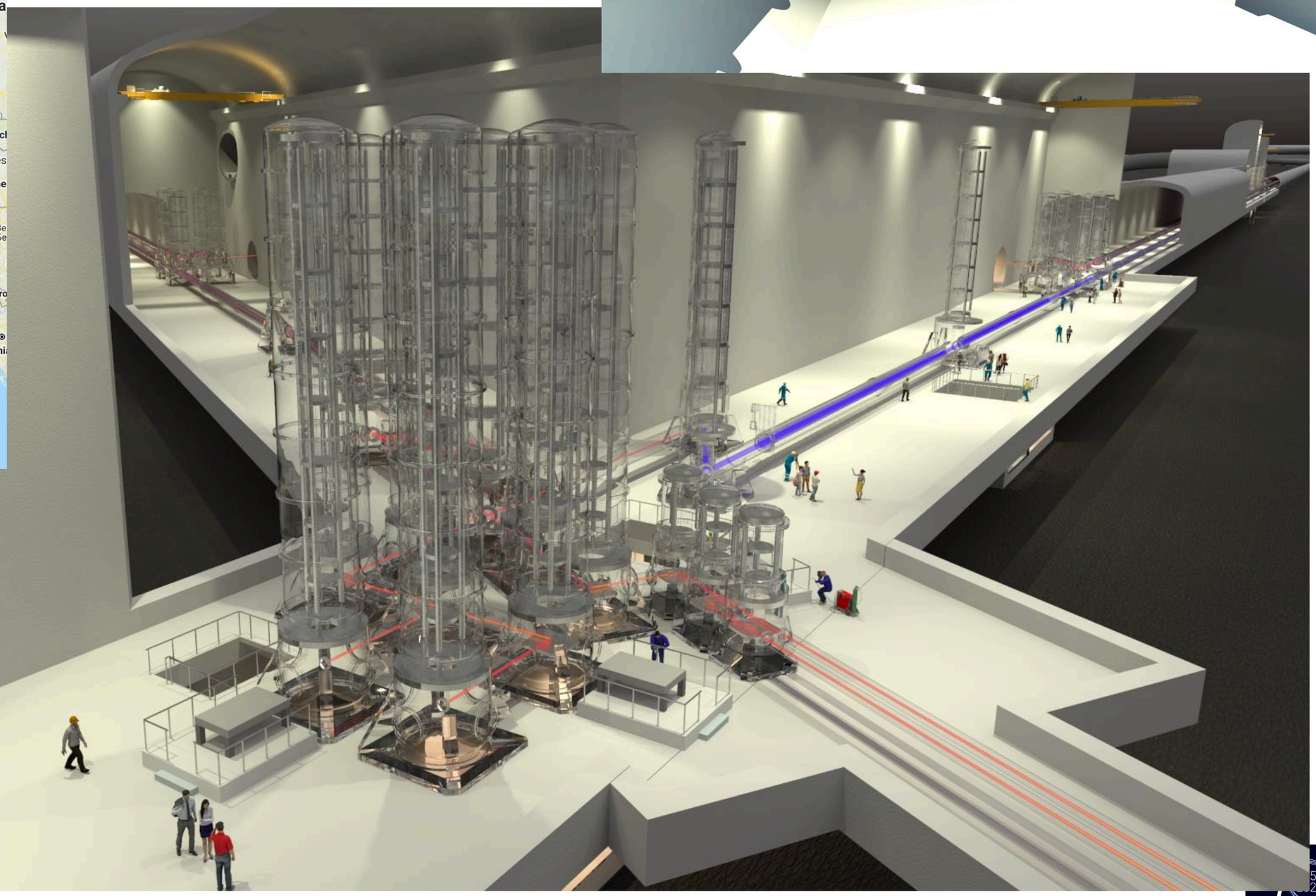
- **The nature of compact objects**
  - near-horizon physics
  - tests of no-hair theorem
  - exotic compact objects
- **Tests of General Relativity**
  - post-Newtonian expansion
  - strong field regime
- **Dark matter**
  - primordial BHs
  - axion clouds, dark matter accreting on compact objects
- **Dark energy and modifications of gravity on cosmological scales**
  - dark energy equation of state
  - modified GW propagation
- **Stochastic backgrounds of cosmological origin**
  - inflation, phase transitions, cosmic strings

ET site in Italy

- Candidate site in Italy:
  SOS Enattos (Sardegna)

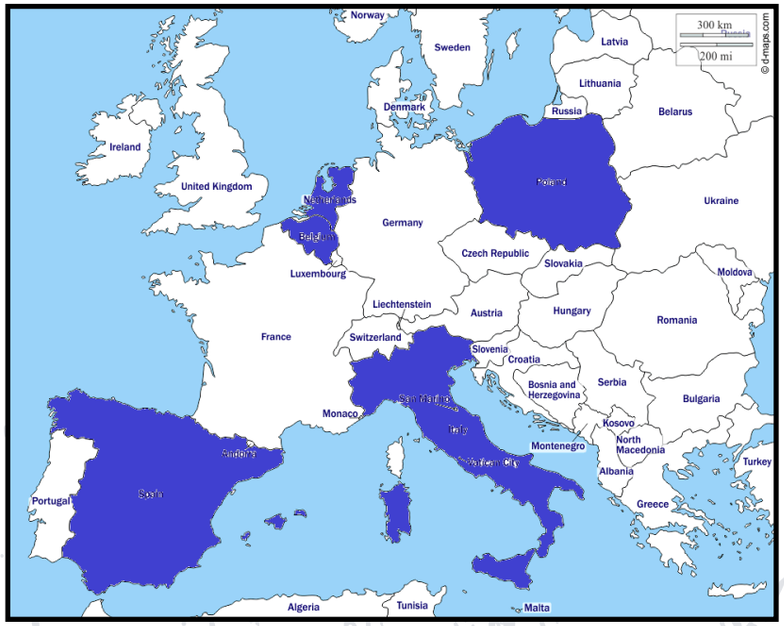






ET: ESFRI

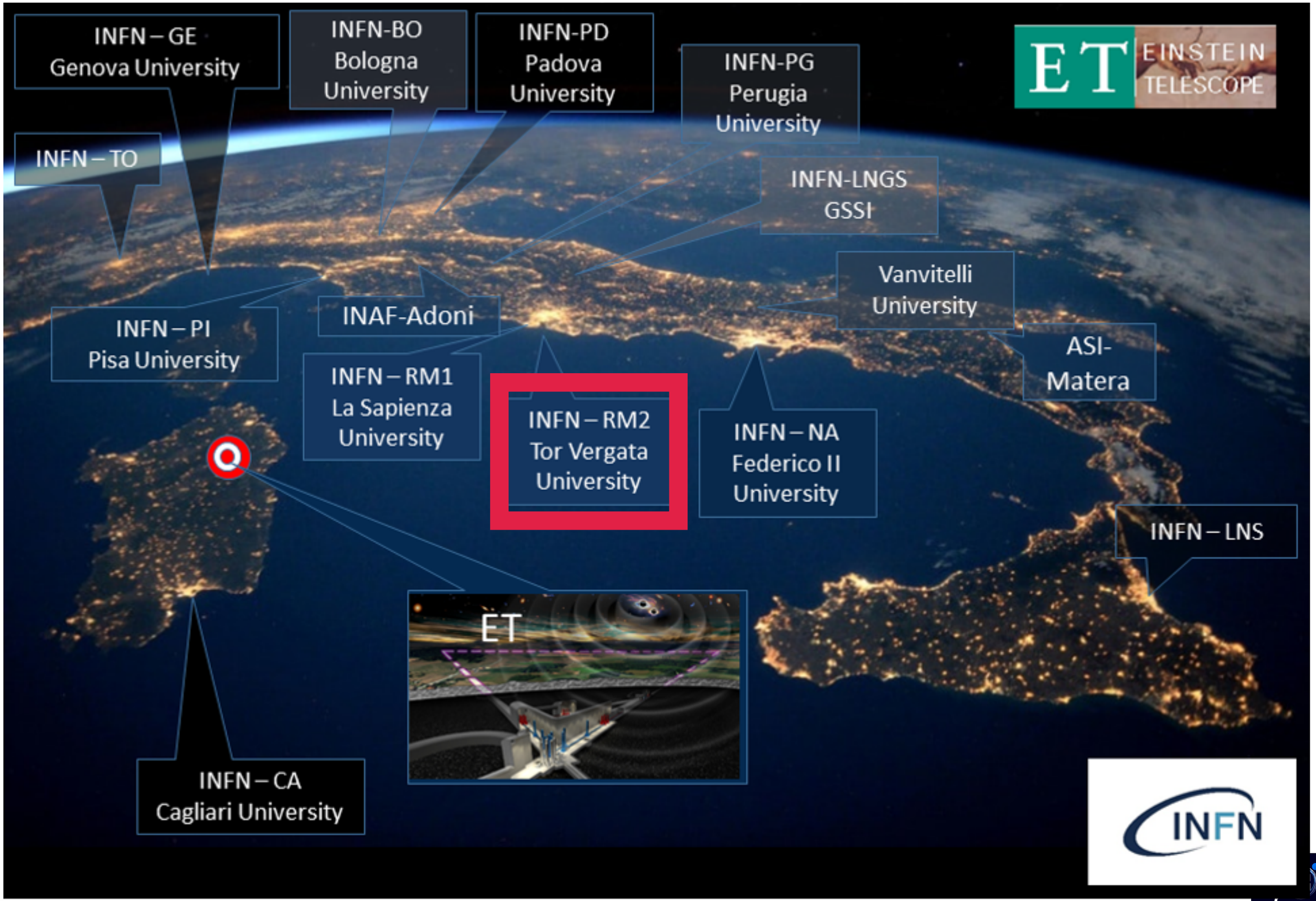
- Proposal 9/9/2020
- Approved June 2021
- 5 countries: Italy, Neederlands, Poland, Spain e Belgium



- 41 institutions from 9 countries
- Hundreds of scientists

ETIC: Einstein Telescope Infrastructure Consortium

INFN
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



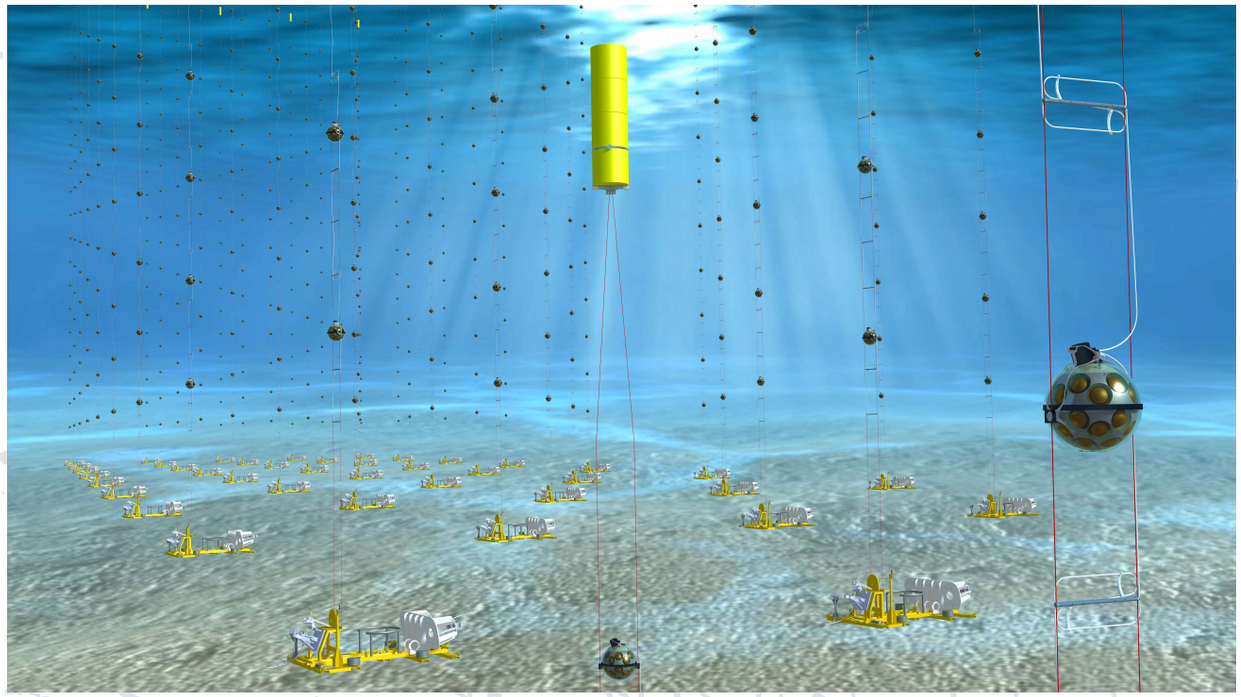
KM3NeT

- One collaboration, one technology, **2 detectors**
  - **ARCA:** Astroparticle Research with Cosmics in the Abyss
    - GeV-PeV *ν* sources: **a telescope** offshore Capo Passero (Sicily) **@ depth 3500 m**
  - **ORCA:** Oscillation Research with Cosmics in the Abyss
    - Determination of neutrino mass hierarchy: **a detector** offshore Toulon (France) **@ depth 2500 m**
- Both under construction
  - ORCA: **7** detection units
  - ARCA: **6** detection units in water
- **Substantial progress in 2020/2021**

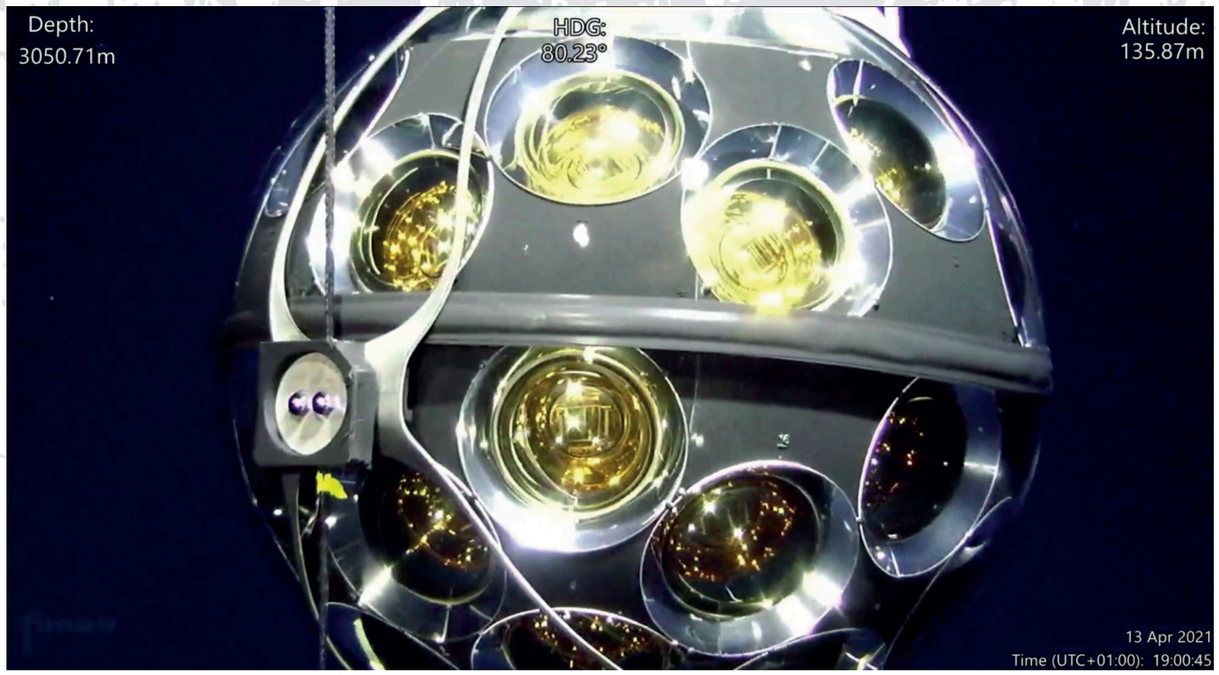
Under-water detector concept

- **High energy neutrinos** are detected by means of **Cherenkov** light emitted by muons or showers

- Up-going events are a clear signature up to energies for which the Earth is transparent
  - Above, you must look down-going tracks



- Detector is made of Detection Units (DU or "strings") connecting Detection Modules (DOMs), each of them a transparent sphere hosting PMTs



The technology

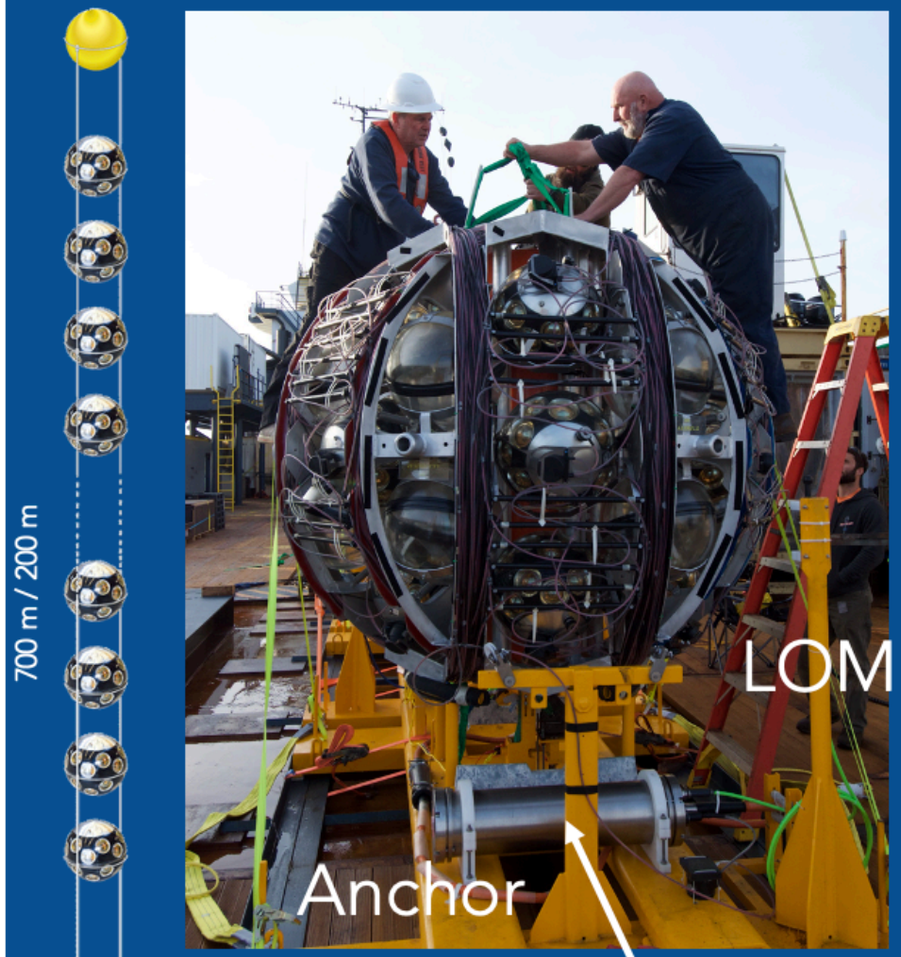
The basic elements:

- Optical sensors 👉 DOMs (Digital Optical Module)
- Strings 👉 DU (Detection Unit)
- Seafloor network 👉 Electro-optical cables and JBs (Junction Boxes)

DOM

It is a 17” glass sphere with inside

- 31 3” PMTs (photocathode aerea ≃ 3 × 10” PMTs)
- LED and Piezo
- Front-end electronics -> FPGA

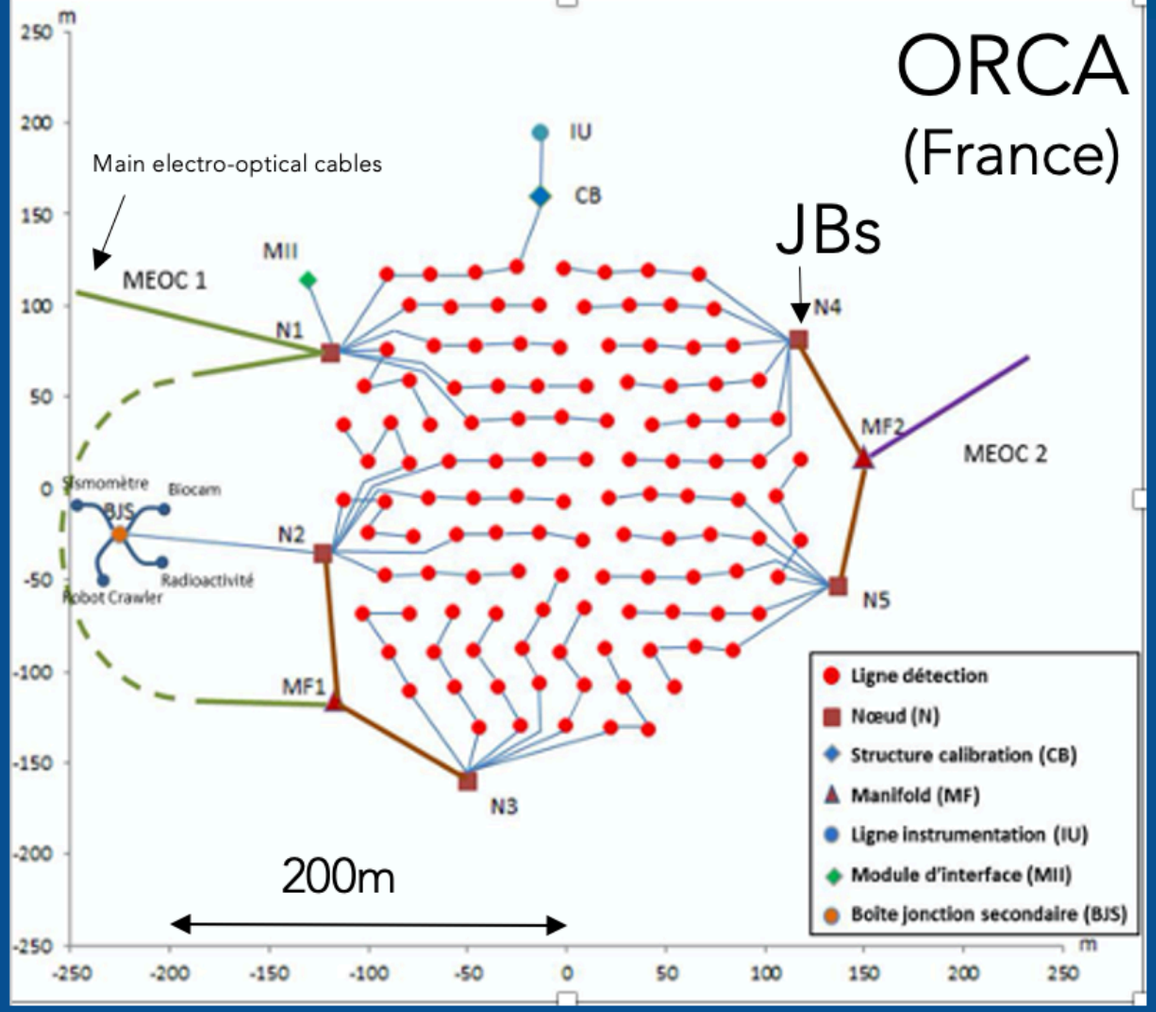


DU

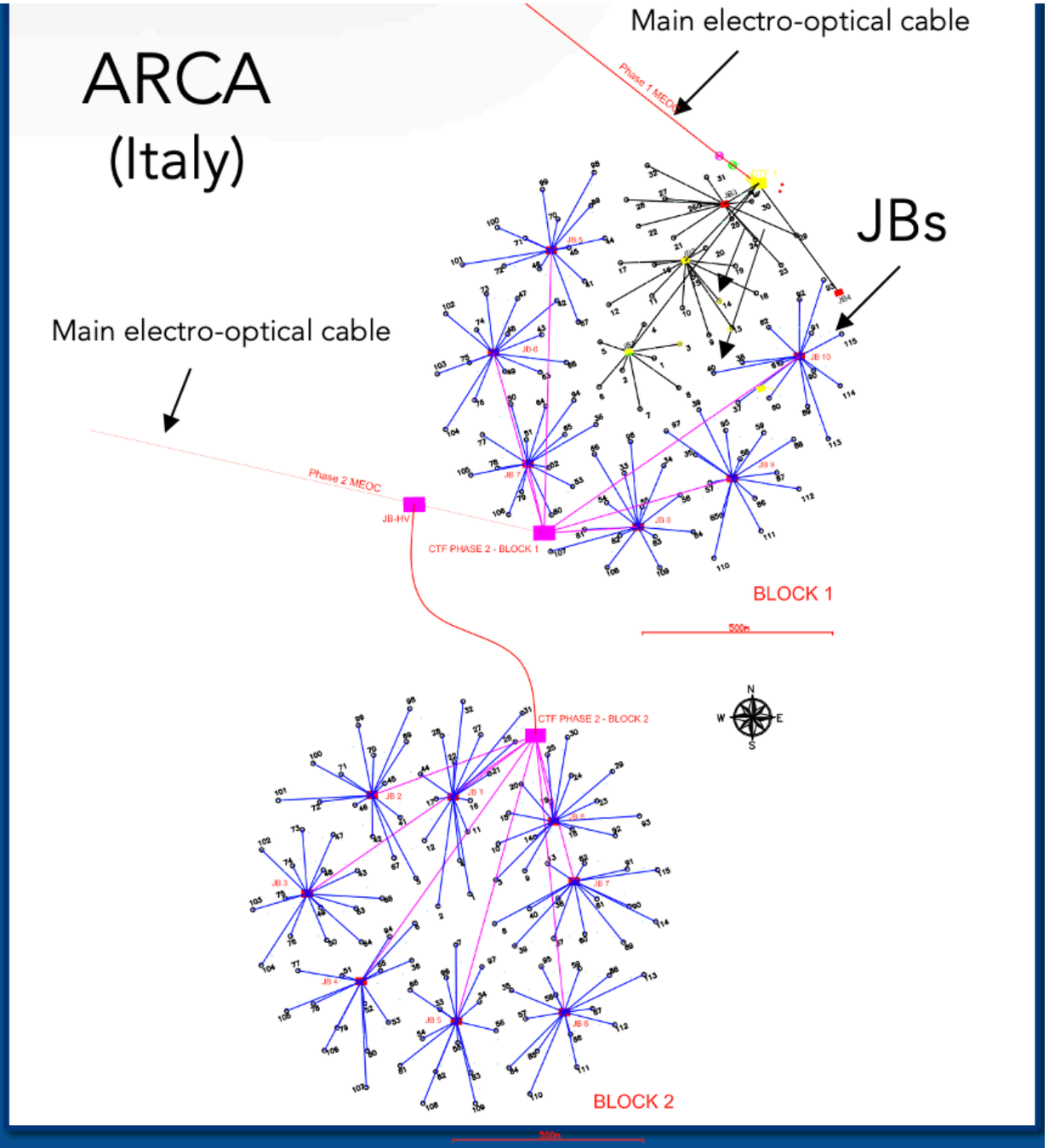
18 DOMs in a DU

JB

The detectors

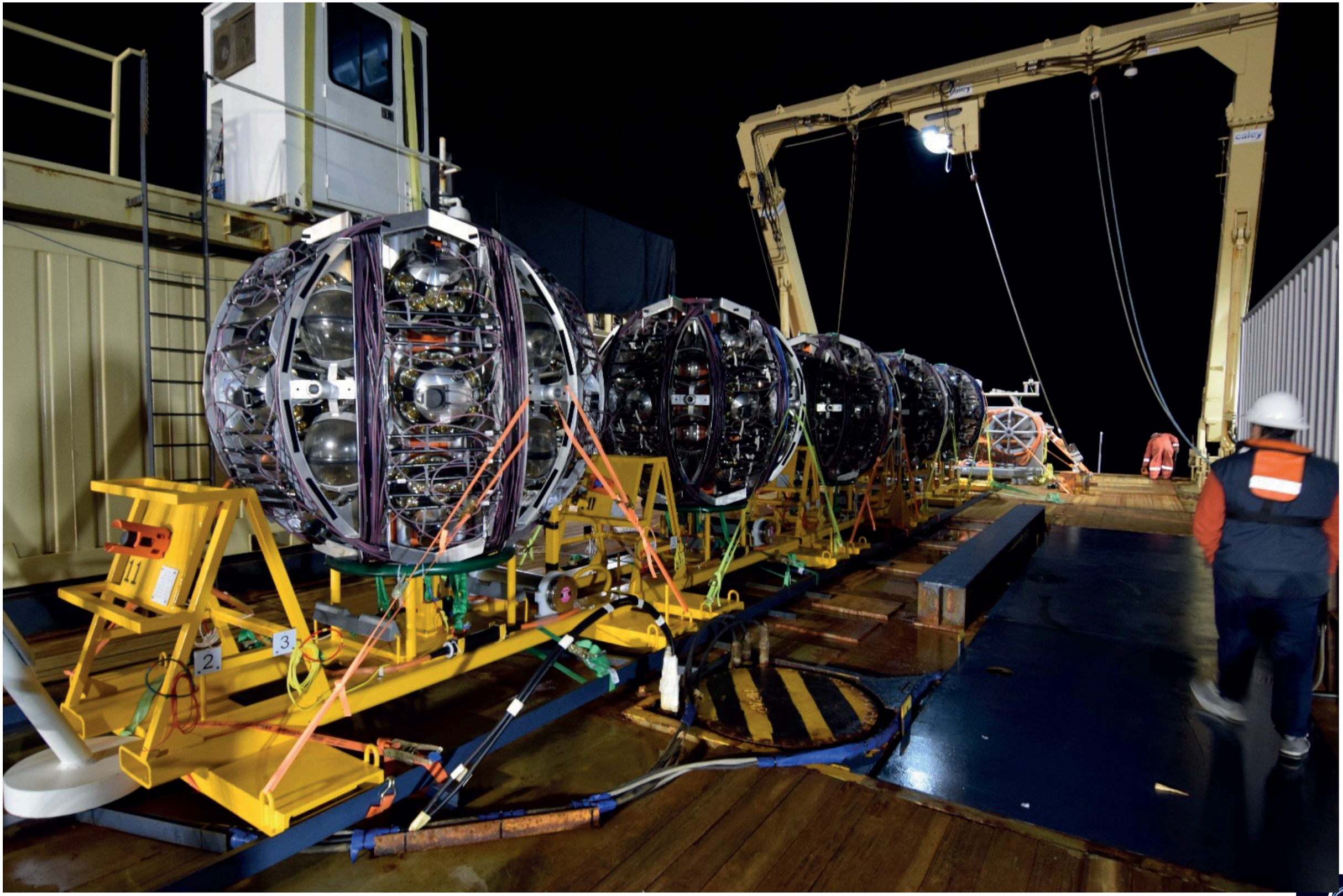


ORCA is composed of 1 building block of 115 DUs with 20 m DU interspacing and 9m inter DOM spacing (7 Mton)



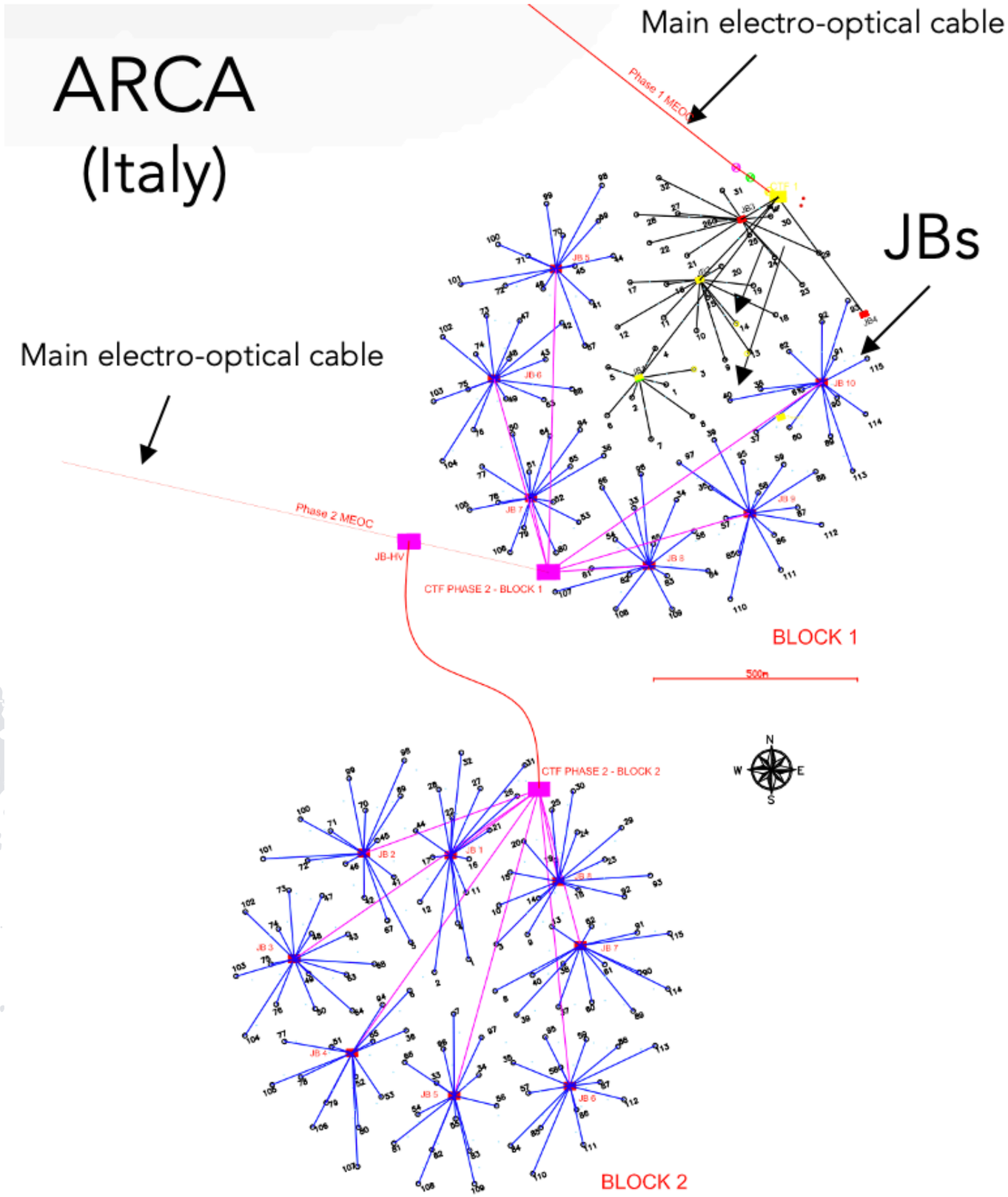
ARCA is composed of 2 building blocks of 115 DUs each with 90 m DU interspacing and 36m inter DOM spacing (Total Volume ~ 1 km^3)

Strings deployment - 2021



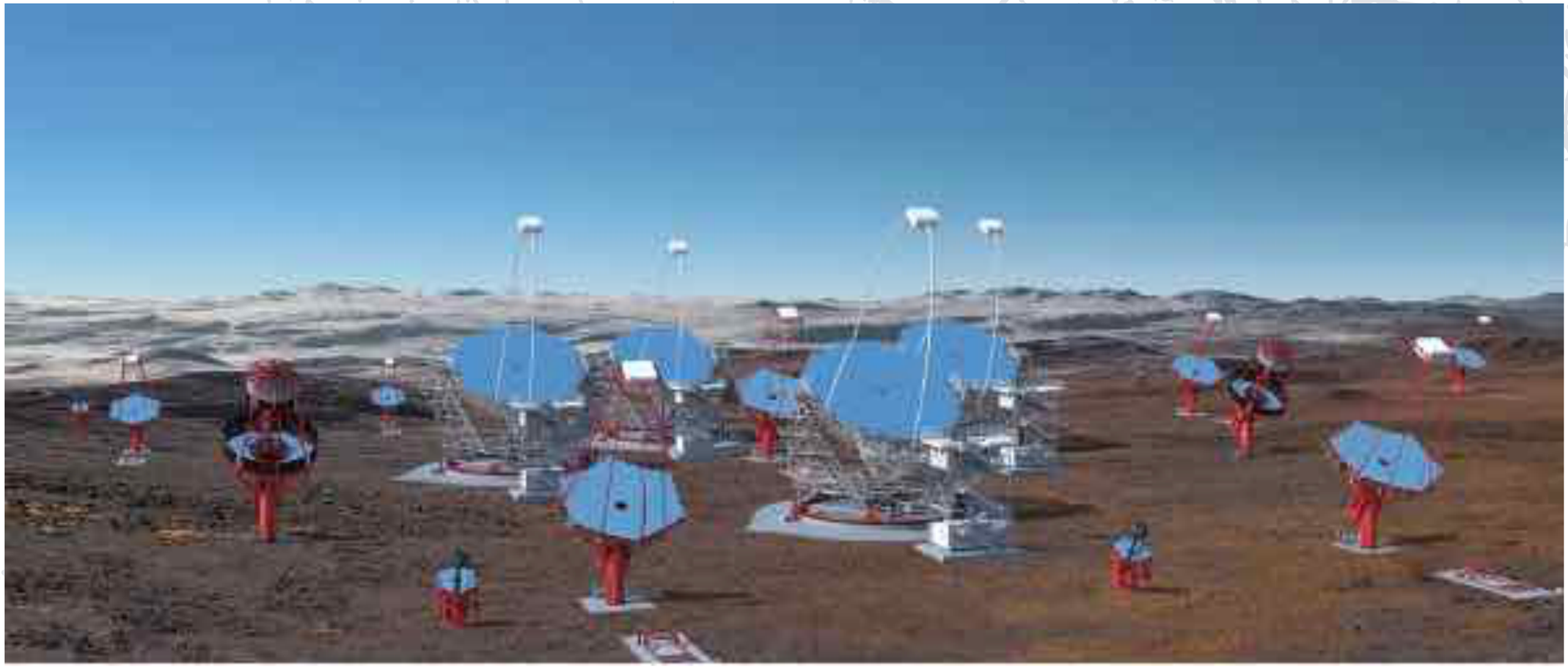
ARCA fundings

- Existing:
  - **70** DUs
- PNRR
  - **65 more**
  - **56%** [130 out of 230] done by **2027** if approved

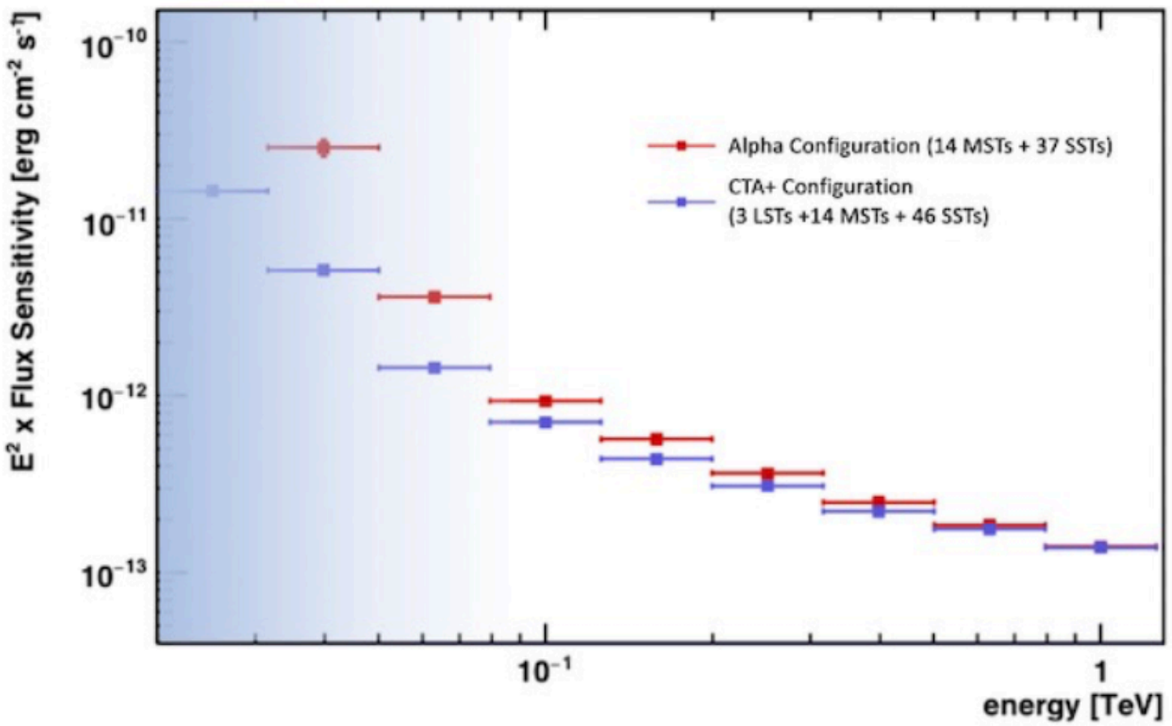


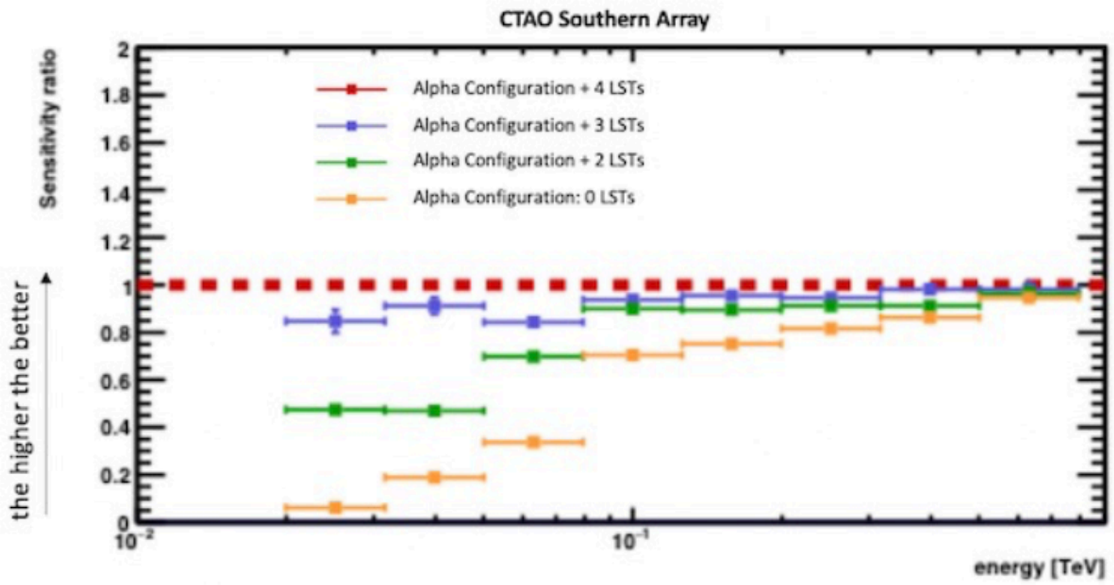
CTA

- **INAF** [Istituto Nazionale di AstroFisica] is leading the effort in Italy
  - INFN is co-proponent with a contribution ~ 10% of that of INAF
- PNRR project is aimed at strongly enhance Chile site
  - INFN task: contribute to the construction of 3 LSTs
    - Proposal: ~ 100 M€ in total, ~ 15 M€ to INFN
    - Hardware and people



CTA+ performance





50 hr sensitivity plot, comparing alpha configuration (current) with what PNRR will add

LST-1 prototype made at Canaria and rendering of the 3 new ones

Partenariato SPAZIO [N. 15]

- Bando ancora non uscito. Situazione fluida ma in fase di convergenza.

Temi orizzontali specializzati			Temi trasversali
1. Osservazione della terra		2. Habitat extraterrestri	3. Competenze a favore di tutta la rete
Nuovi metodi per la protezione e lo sviluppo del pianeta	Nuovi strumenti per la protezione e lo sviluppo del pianeta		
1.1 Metodi innovativi di osservazione dallo spazio per la protezione dai disastri naturali • Architetture e tecniche satellitari per la mitigazione degli effetti dei disastri naturali e antropici sulla superficie terrestre (terremoti, tsunami, movimenti lenti)	1.4 Nuovi sistemi di telerilevamento imaging nelle microonde • Studio e modellazione di strumenti nelle microonde di nuova generazione • Sviluppo prototipale di nuovi strumenti nelle microonde Nuovi sistemi di telerilevamento imaging nell'ottico • Studio e modellazione di strumenti ottici di nuova generazione • Sviluppo prototipale di nuovi strumenti ottici	2.1 Esplorazione dell' habitat extraterrestre • Analisi scientifica e identificazione di possibili habitat extraterrestri • Studio e prototipazione di missioni robotiche mediante sistemi di volo e di superficie	3.1 Digital twins: tecniche avanzate di progettazione e di analisi di missioni e sistemi spaziali • Progettazione e analisi di ingegneria concorrente basata su modelli • Digital twins per la progettazione, la produzione e le operazioni di sistemi a lunga durata • Digital twins per missioni di osservazione della Terra e per lo sviluppo di habitat extraterrestri • Intelligenza artificiale per i sistemi spaziali
1.2 Metodi innovativi di osservazione dallo spazio dello Space Weather e per la protezione di infrastrutture a terra e nello spazio • Architetture e tecniche satellitari per il monitoraggio dello Space Weather • Mitigazione degli effetti dello space weather sugli asset in orbita • Mitigazione degli effetti dello space weather sulle infrastrutture a terra	1.5 Nuovi strumenti particelle di alta energia ed di telerilevamento non imaging • Studio e modellazione di nuovi strumenti per lo space weather e l'osservazione non imaging • Sviluppo prototipale di nuovi strumenti per lo space weather e l'osservazione non imaging	2.2 Strumenti ed infrastrutture per l'habitat extraterrestre • Studio di missioni e architetture per l'esplorazione umana • Sviluppo di tecnologie e sistemi abilitanti per la sostenibilità e le operazioni degli habitat extraterrestri • Studio delle infrastrutture per le architetture	3.2 Tecnologie satellitari per missioni circumterrestri e di esplorazione • Metodi, strumenti e tecnologie per missioni spaziali di nuova generazione • Studio di tecnologie HW/SW per satelliti/robot di nuova generazione • Sviluppo prototipale HW/SW di tecnologie per satelliti di nuova generazione • tecnologie per le orbite molto basse (VLEO)
1.3 Lo Spazio per lo sviluppo sostenibile del pianeta • Mitigazione degli effetti delle condizioni atmosferiche, meteorologiche e climatiche estreme • Disponibilità idrica e capacità di previsione del ciclo idrologico su scala globale, regionale e locale • Società ad emissioni zero e ciclo del carbonio • Agricoltura sostenibile ed economia circolare • Policies urbane e suburbane • Space economy, diplomacy, and law		2.3 Scienza degli habitat extraterrestri • Risorse planetarie: mappa delle risorse, analisi in situ e analisi di laboratorio • Life science and space medicine • Studio e prototipazione di tecnologie ISRU	

Nessuna conclusione, siamo solo all'inizio ….

- Roma Tor Vergata avrà un ruolo essenziale nel Partenariato spazio, grazie alla tradizione antica e recente
  - Ne riparliamo dopo il bando, un'altra tappa da completare.

- Auguri all'INFN e alla Sezione e grazie al Dipartimento e all'Università per la collaborazione e il sostegno

- Avremo molto da lavorare, tutti insieme, come sempre!