



*Progetti INFN in ambito Astroparticle,
Onde Gravitazionali e Spazio*

Giornate di Studio del Piano Triennale

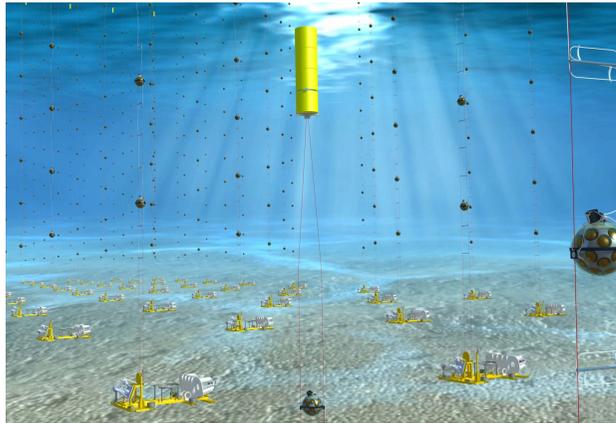
Torino, 28 Settembre 2022

Marco Pallavicini - G. E.



Progetti PNRR di area astro-particellare

KM3NeT



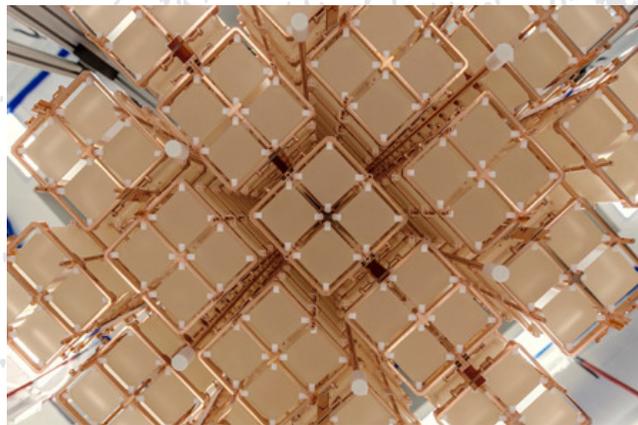
ETIC (Einstein Telescope)



CTA



LNGS



PE-15 (SPAZIO)





- **Km3Net4RR** - Infrastruttura di ricerca
 - Potenziamento del telescopio Km3 a Capo Passero e delle infrastrutture collegate
- **ETIC** - Infrastruttura di ricerca
 - R&D e studi di fattibilità per Einstein Telescope
- **LNGS-Future** - Infrastruttura di ricerca
 - Potenziamento LNGS (vedi intervento E. Previtali)
- **CTA+** - Infrastruttura di ricerca
 - Potenziamento del sito Sud di CTA [progetto a guida INAF]
- **Partenariato Esteso sul tema Spazio - PE15**
 - Progetto di sviluppo di tecnologie per lo spazio nel contesto del P.E. N. 15

- **Onde gravitazionali**

- **ETIC:** Da **VIRGO** a **Einstein Telescope**

- COSMOLOGIA, RELATIVITÀ GENERALE, BUCHI NERI STELLE DI NEUTRONI, UNKNOWN UNKNOWNNS

- **Neutrini di altissima energia**

- **KM3NET4RR:** portare **KM3NeT** a fare **scienza**

- ORIGINE DEI RAGGI COSMICI, NEUTRINO COME SONDEDI AMBIENTI ESTREMI, FISICA DEL NEUTRINO

- **Fotoni di alta energia (> 30 GeV circa)**

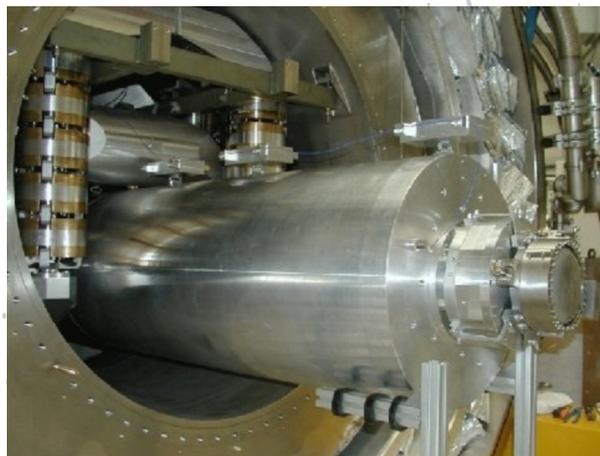
- **CTA+** [guida INAF]: potenziamento del sito Sud di **CTA**

- ORIGINE DEI RAGGI COSMICI, COSMOLOGIA, STUDIO DEL VUOTO QUANTISTICO

- L'INFN è leader nel settore delle **onde gravitazionali** da decenni
 - **Edoardo Amaldi** avvia nel 1970 la costruzione delle cosiddette “antenne” per O.G.
 - Una ai Laboratori INFN di Frascati e una a quelli di Legnaro (una terza al CERN)

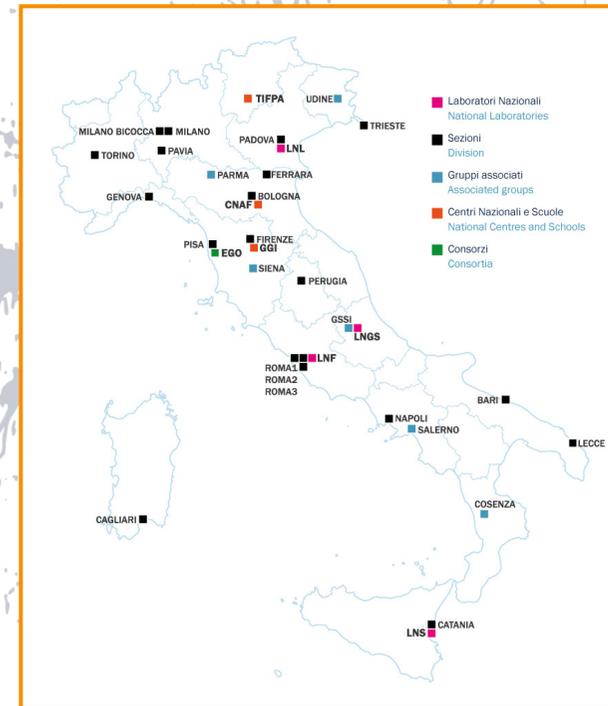


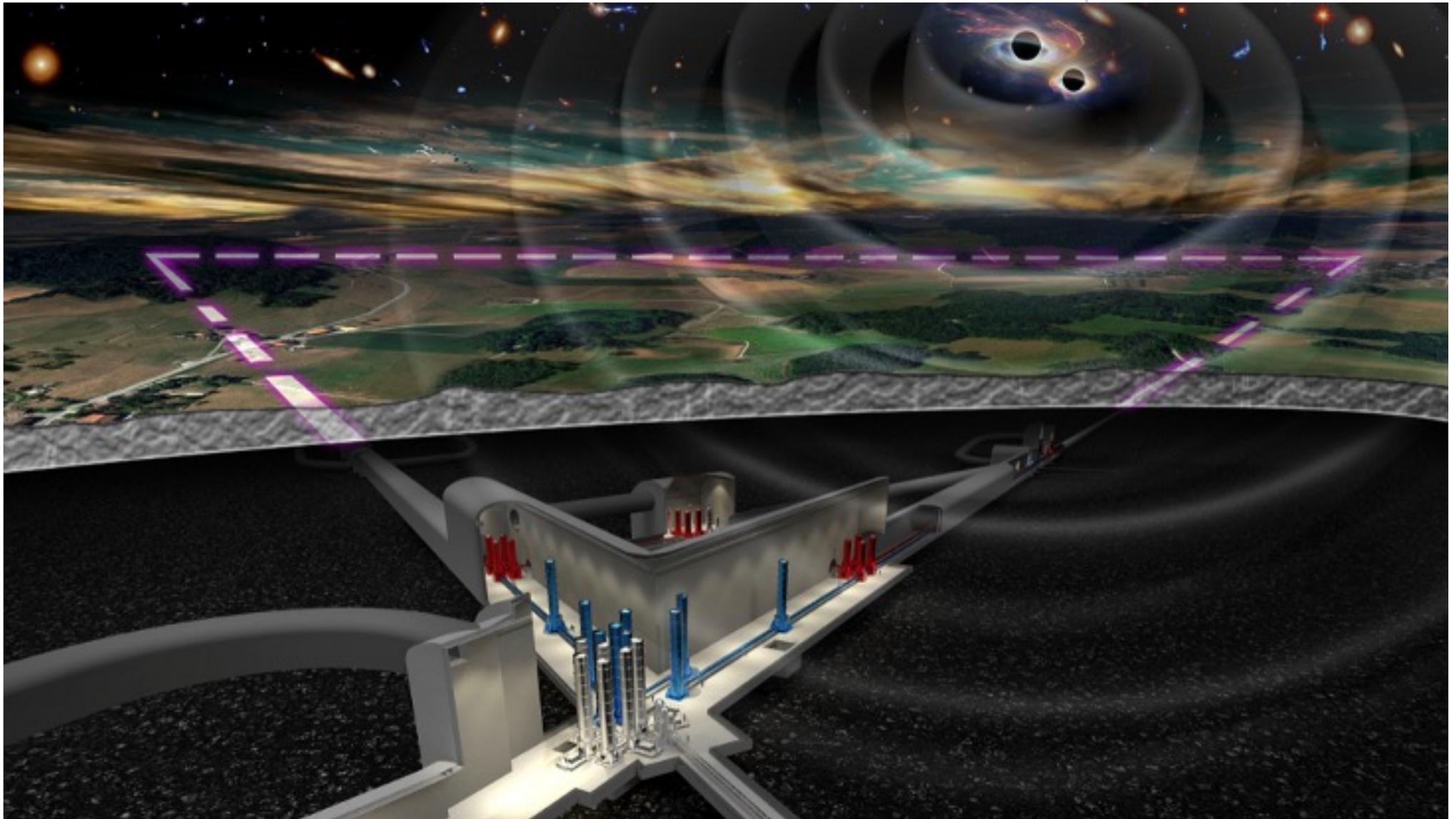
Le antenne per O.G. in funzione fino al 2016 a Frascati e Legnaro



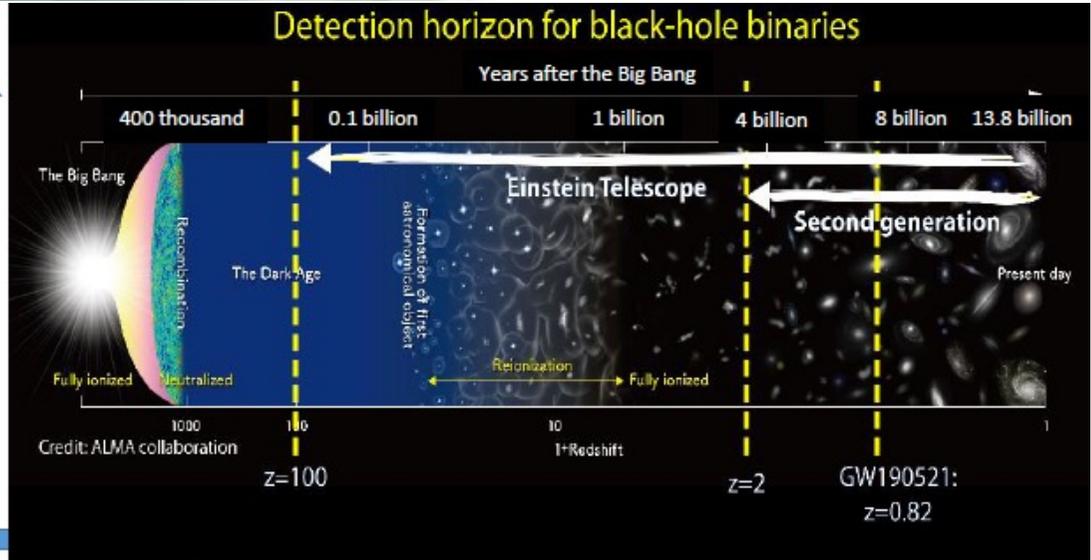
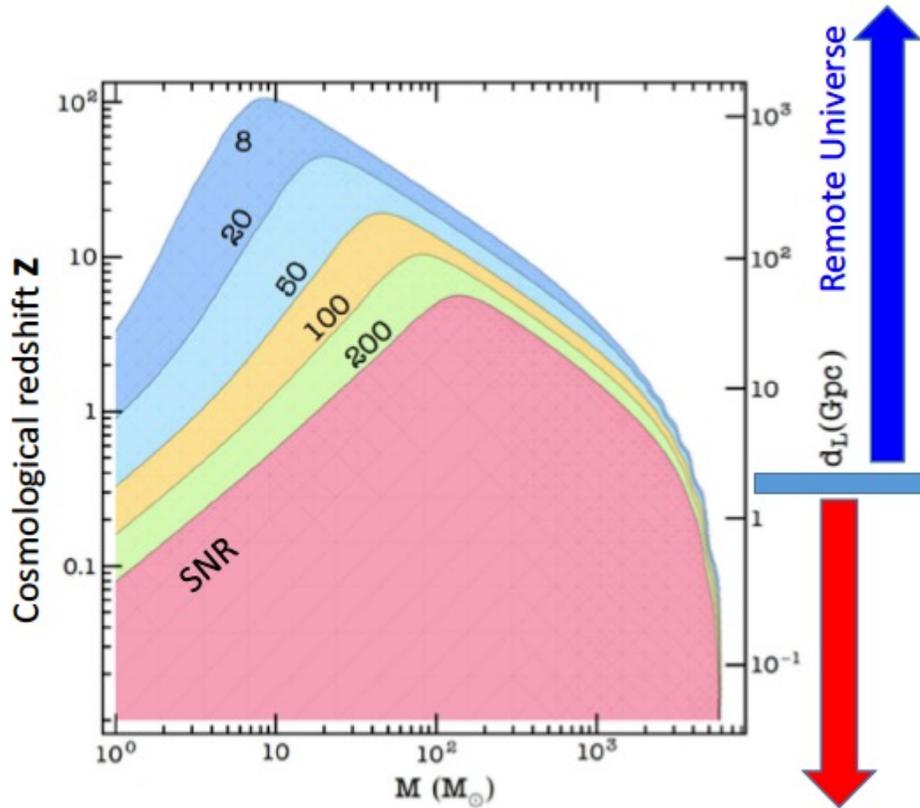
- Gli allievi di Amaldi, grazie all'esperienza delle antenne, pur senza alcuna rivelazione di Onde Gravitazionali formano una **solida comunità italiana del campo.**

- VIRGO è uno dei **tre strumenti al mondo** in grado di captare O.G.
- Costruito da **INFN** e **CNRS** (Francia), con un recente contributo Nikhef
- In funzione dal **2017** e ha raccolto il segnale di molte collisioni fra buchi neri e alcune collisioni tra stelle e di neutroni e tra stelle di neutroni e buchi neri





- Che cosa aggiunge E.T. ?
 - **Rivelatore sotterraneo (~ 100-200 m)**
 - Rumore più basso per cause sismiche o antropiche
 - La Sardegna è uno dei luoghi meno sismici d'Europa e poco densamente popolata
 - Geometria triangolare con 6 interferometri di 10 km di lunghezza
 - Specchi criogenici
 - Benefici dai miglioramenti tecnologici di Virgo
 - Sinergia con post-05
- **Sensibilità di disegno ~ 10 volte meglio -> 1000 volte volume osservato**
 - **A bassa frequenza:** osservazioni di eventi per minuti o ore
 - Grande miglioramento nella precisione delle misure di RG
 - **Quasi tutto l'Universo è osservabile: un nuovo paradigma cosmologico**



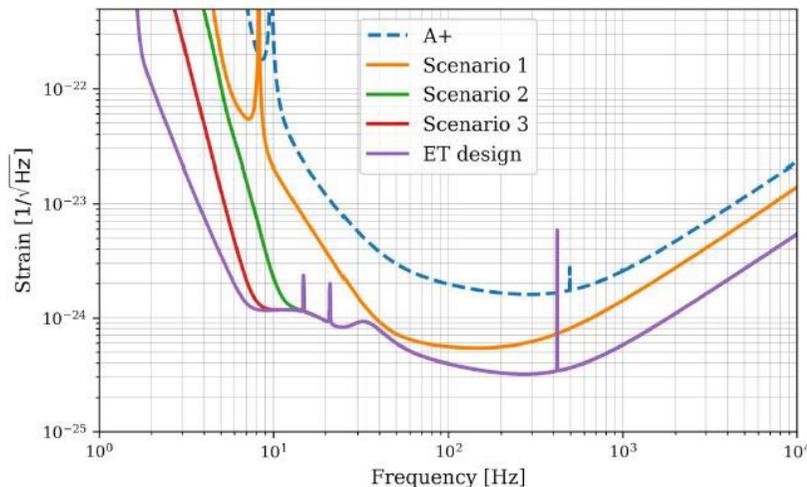
The combination of

- 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





- Un ricchissimo programma scientifico

ASTROPHYSICS

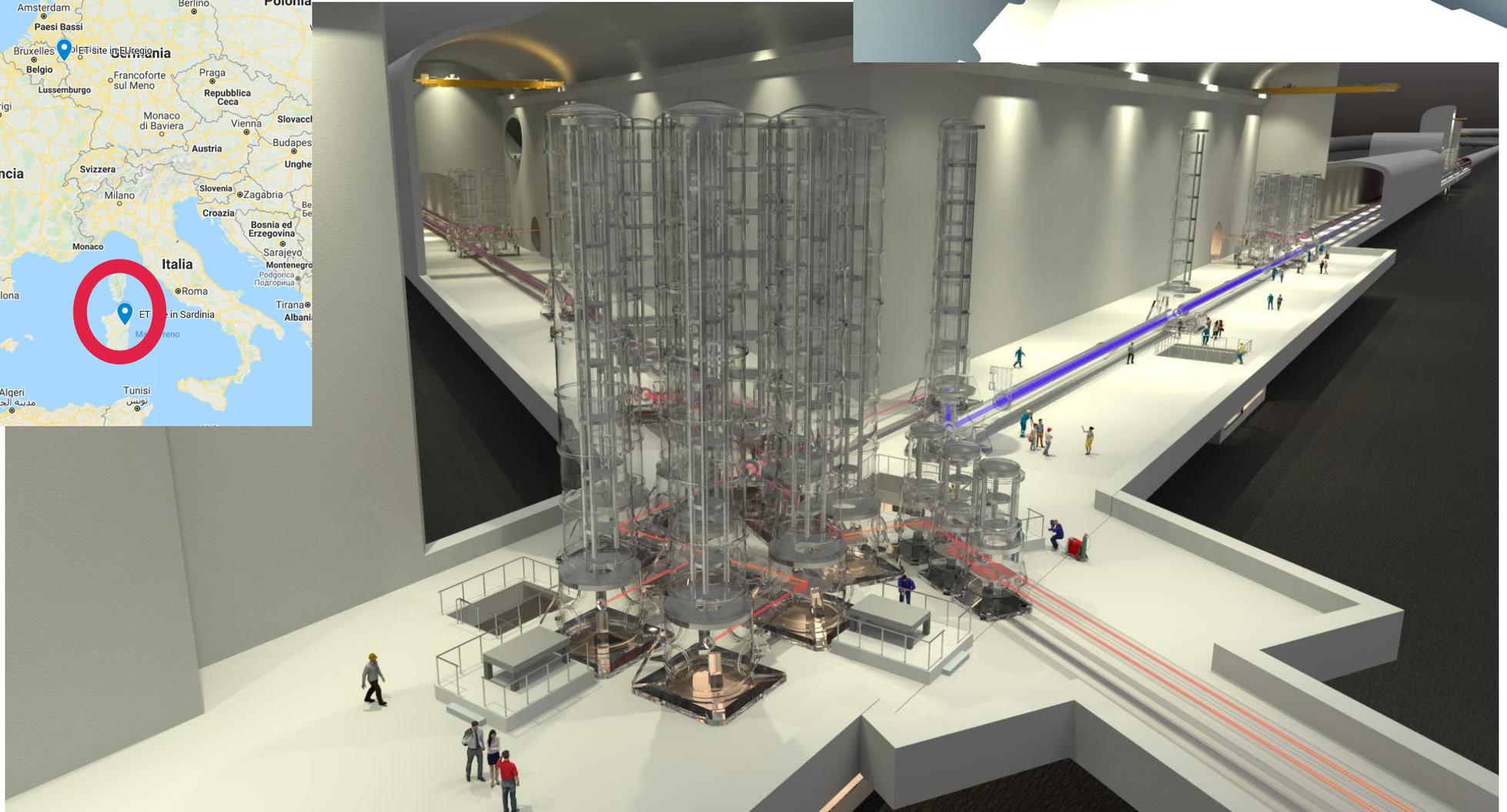
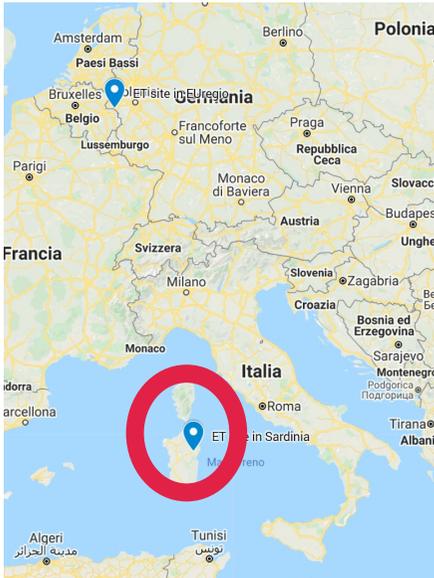
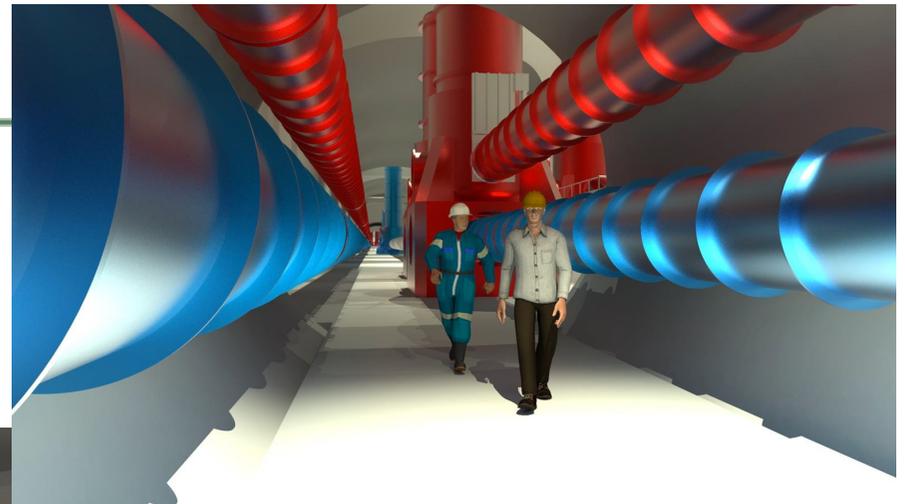
- **Black hole properties**
 - origin (stellar vs. primordial)
 - evolution, demography
- **Neutron star properties**
 - interior structure (QCD at ultra-high densities, exotic states of matter)
 - demography
- **Multi-band and -messenger astronomy**
 - joint GW/EM observations (GRB, kilonova,...)
 - 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

La candidatura italiana

- Candidate site in Italy:
SOS Enattos (Sardegna)



- I Paesi Bassi hanno un sito concorrente.

- Al confine con Belgio e Germania

- Per sostenerlo hanno:

- **Creato un nuovo dipartimento fisica ex-novo** presso l'Università di Maastricht nel 2018 e oggi già operativo

- Creato un **Laboratorio ex-novo** detto “ET Pathfinder”

- In costruzione, ma inaugurato 8 novembre 2021
- Costo stimato 30 M€ (2 progetti europei)

- Hanno ottenuto la promessa di circa 870 M€, pari a circa il 50% del costo dell'intera infrastruttura di ricerca

- Fondo di sviluppo economico olandese



- **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 approvato: 50 M€**

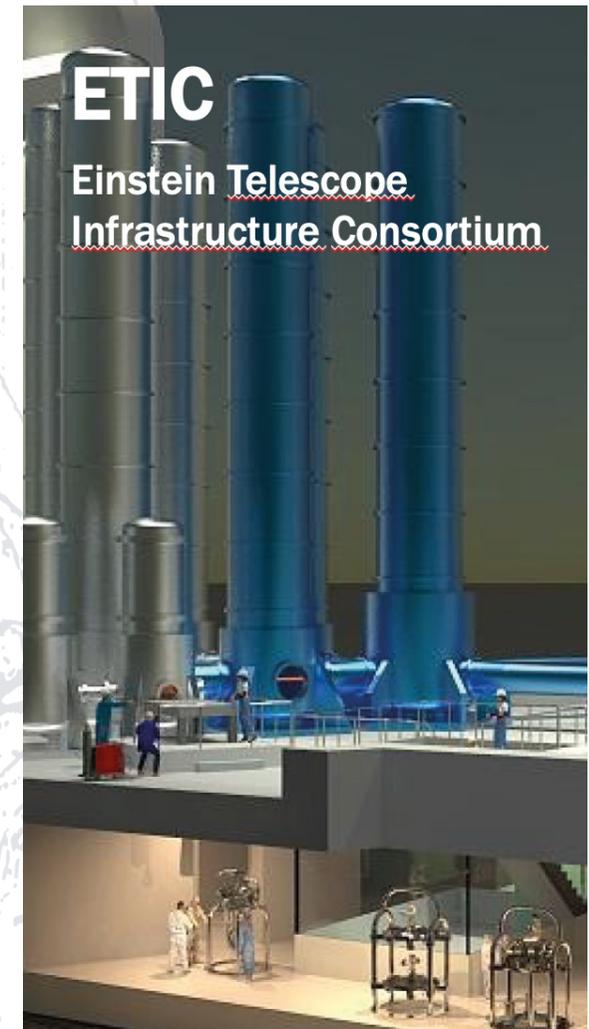
- **30 M€ R&D tecnologico, 20 M€ studio di fattibilità sito**
- **LETTERA DI MARIO DRAGHI 15/09/2022**

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

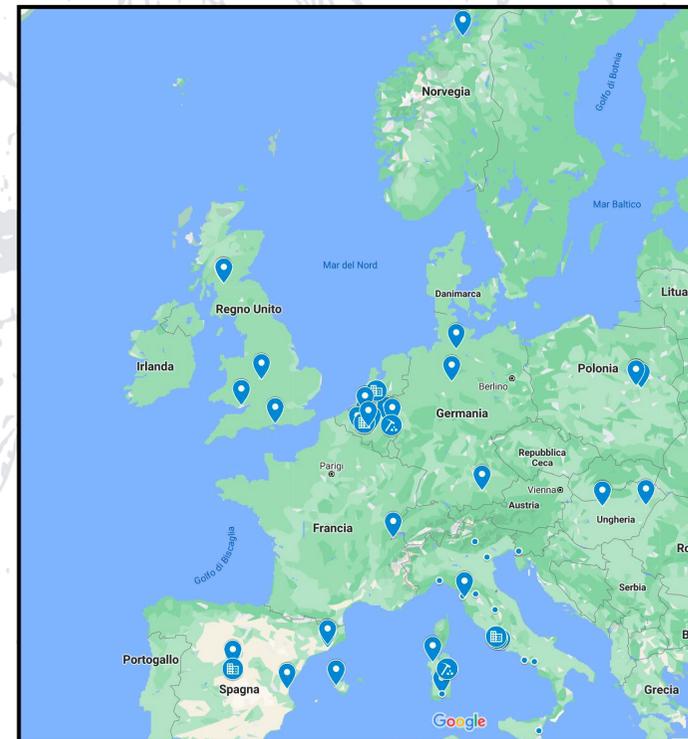
- **Co-proponenti UNIVERSITÀ: UniBO, UniCA, UniGE, Federico II, Vanvitelli, UniPD, UniPG, UniPI, Roma Sapienza, Roma ToV**

- **Co-proponenti EPR:**

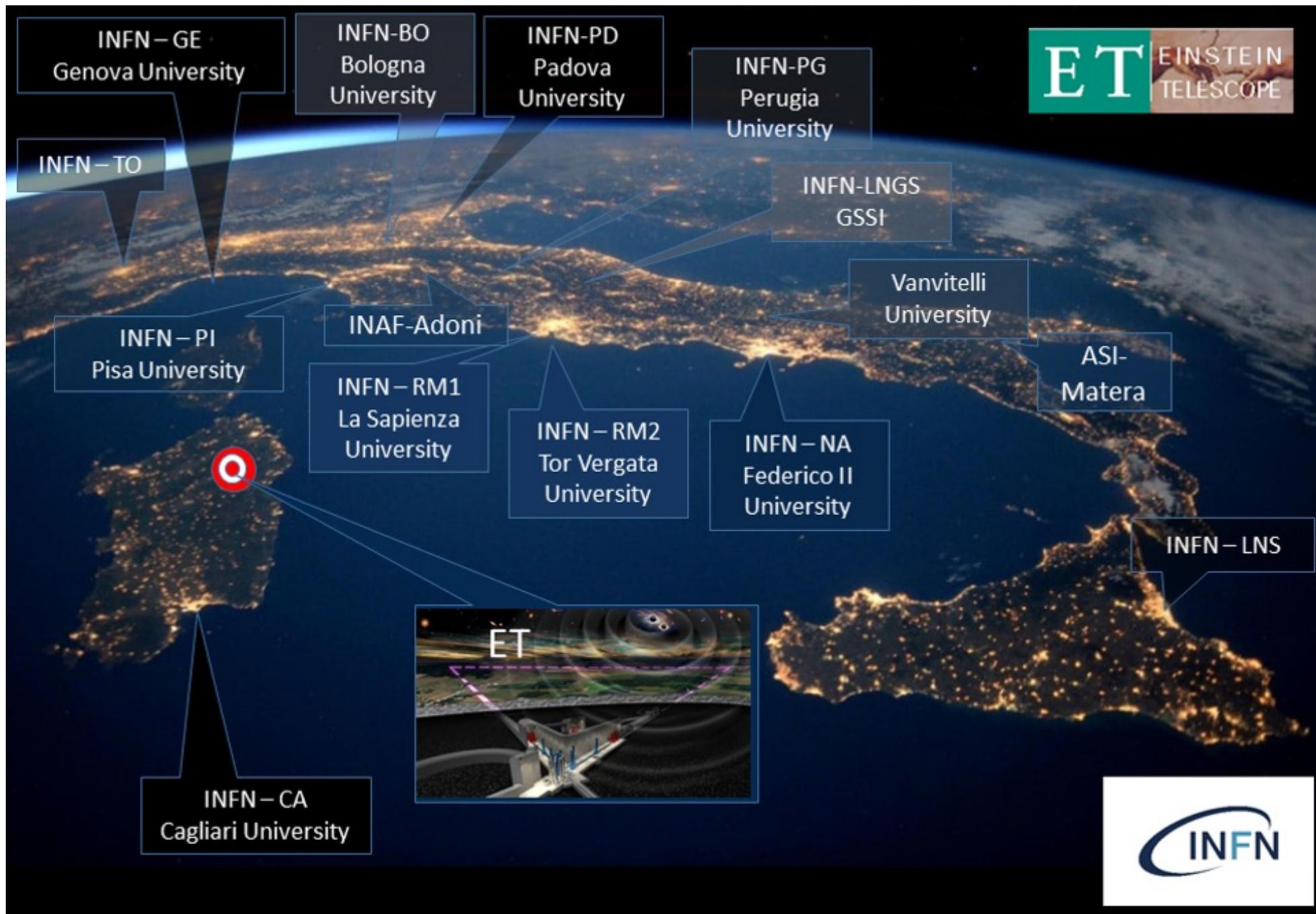
- **INAF, ASI**



- Proposta 9/9/2020
- Approvata Giugno 2021
- 5 paesi proponenti: Italy, Neederlands, Poland, Spain e Belgium
- 41 istituzioni da 9 paesi
- Centinaia di scienziati



ETIC: Einstein Telescope Infrastructure Consortium



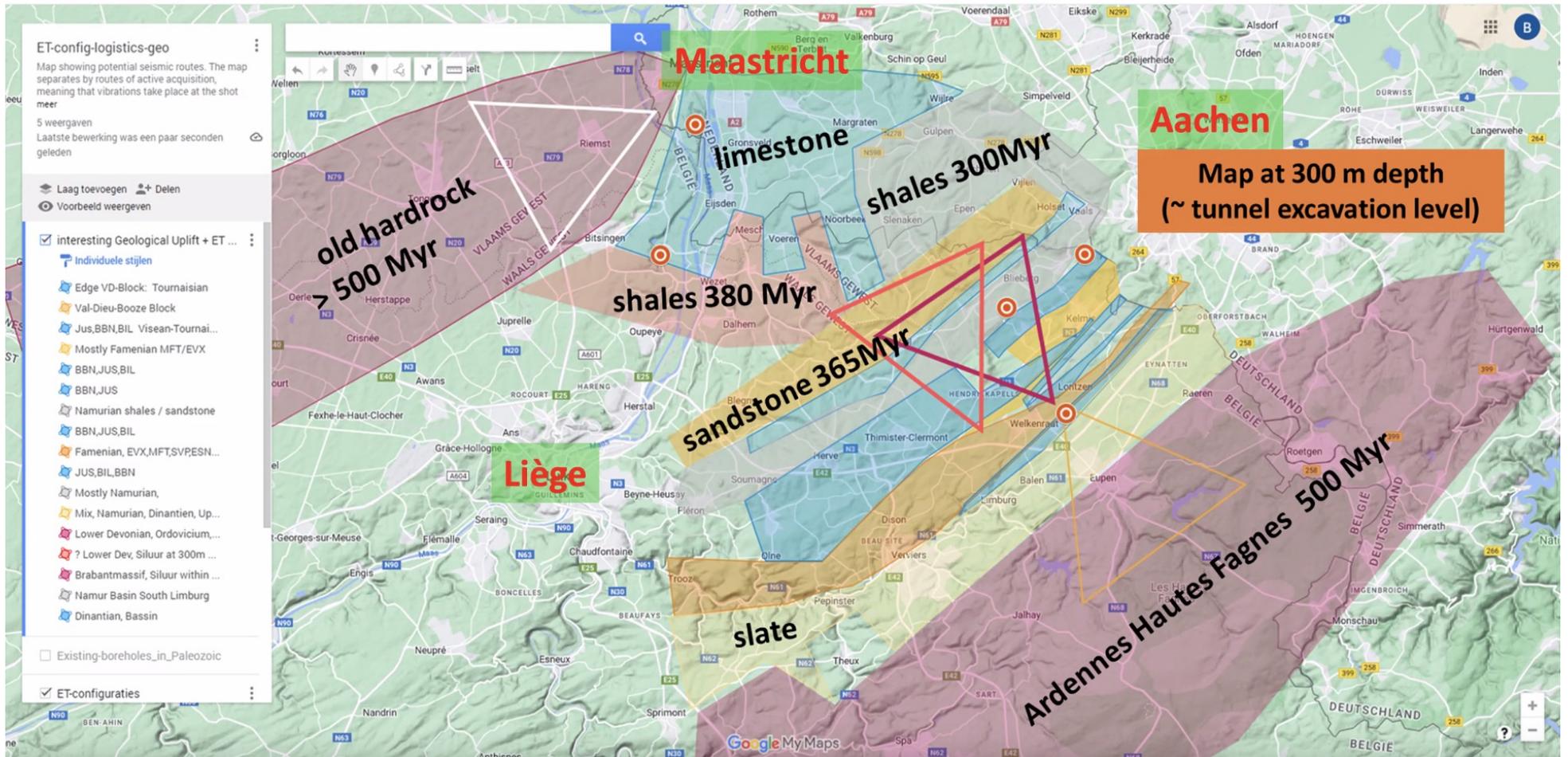
• Ricerca e sviluppo

- Il passaggio da VIRGO a ET non è solo forza bruta
- Alcune ipotesi tecnologiche sono ancora da dimostrare e devono essere sviluppate
 - Sospensioni criogeniche
 - Significativa riduzione del rumore a bassa frequenza
 - Il più grande volume di vuoto mai realizzato
- ETIC crea i laboratori idonei a affrontare questi problemi

• Preparazione del Cost Book ESFRI del Sito Sardo

- Bisogna caratterizzare geologicamente il sito per arrivare al costo reale finale e mettere la candidatura sul tavolo
- Un grosso lavoro ingegneristico che deve anche curare gli aspetti ambientali
 - ET deve essere “Green” e a minimo impatto ambientale e paesaggistico
 - Architettura, ambiente, smaltimento delle rocce di scavo sono temi essenziali

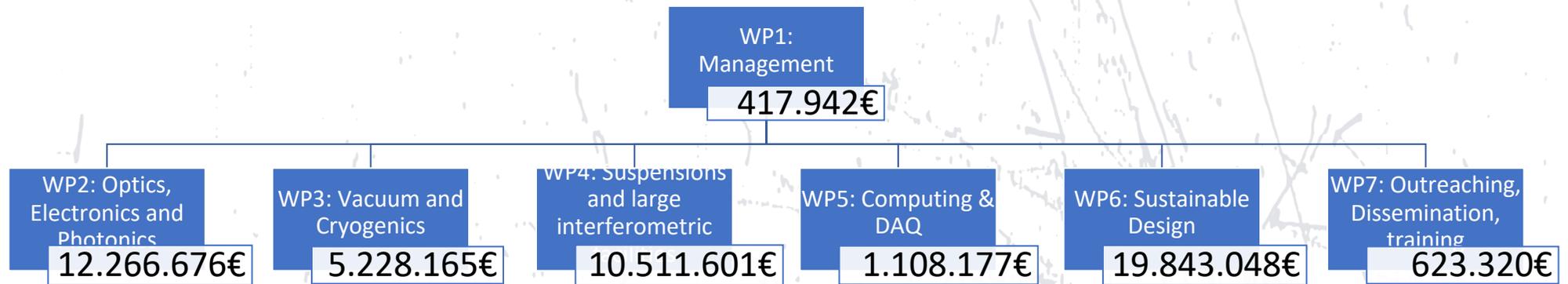
Un lavoro che in Olanda è già iniziato



	Sud	Nord	Tot
a. Fixed term personnel specifically hired for the project	1.665.442.00 €	3.642.030.00 €	5.307.472.00 €
b. Scientific instrumentation and technological equipment, software licenses and patent	5.291.437.46 €	13.956.678.24 €	19.248.115.70 €
c. Open Access, Trans National Access, FAIR principle implementation	0.00 €	0.00 €	0.00 €
d. Civil infrastructures and related systems	17.363.818.36 €	4.226.024.70 €	21.589.843.06 €
e. Indirect costs, including running costs	1.711.419.70 €	1.559.538.43 €	3.270.958.13 €
f. Training activities	128.155.00 €	454.387.50 €	582.542.50 €
Total	26.160.272.52 €	23.838.658.87 €	49.998.931.39 €



Distribuzione del budget tra le attività



INFN	UniBO	UniCA	UniGE	UniNA	UniVanvitelli	UniPD
33.867.823.25 €	186.574.23 €	1.624.578.86 €	989.113.35 €	1.400.259.10 €	281.035.50 €	1.947.255.55 €
UniPG	UniPI	UniSapienza	UniRM2	INAF	ASI	GSSI
5.079.557.50 €	599.649.40 €	1.550.135.75 €	1.348.432.40 €	407.316.90 €	312.525.60 €	404.674.00 €

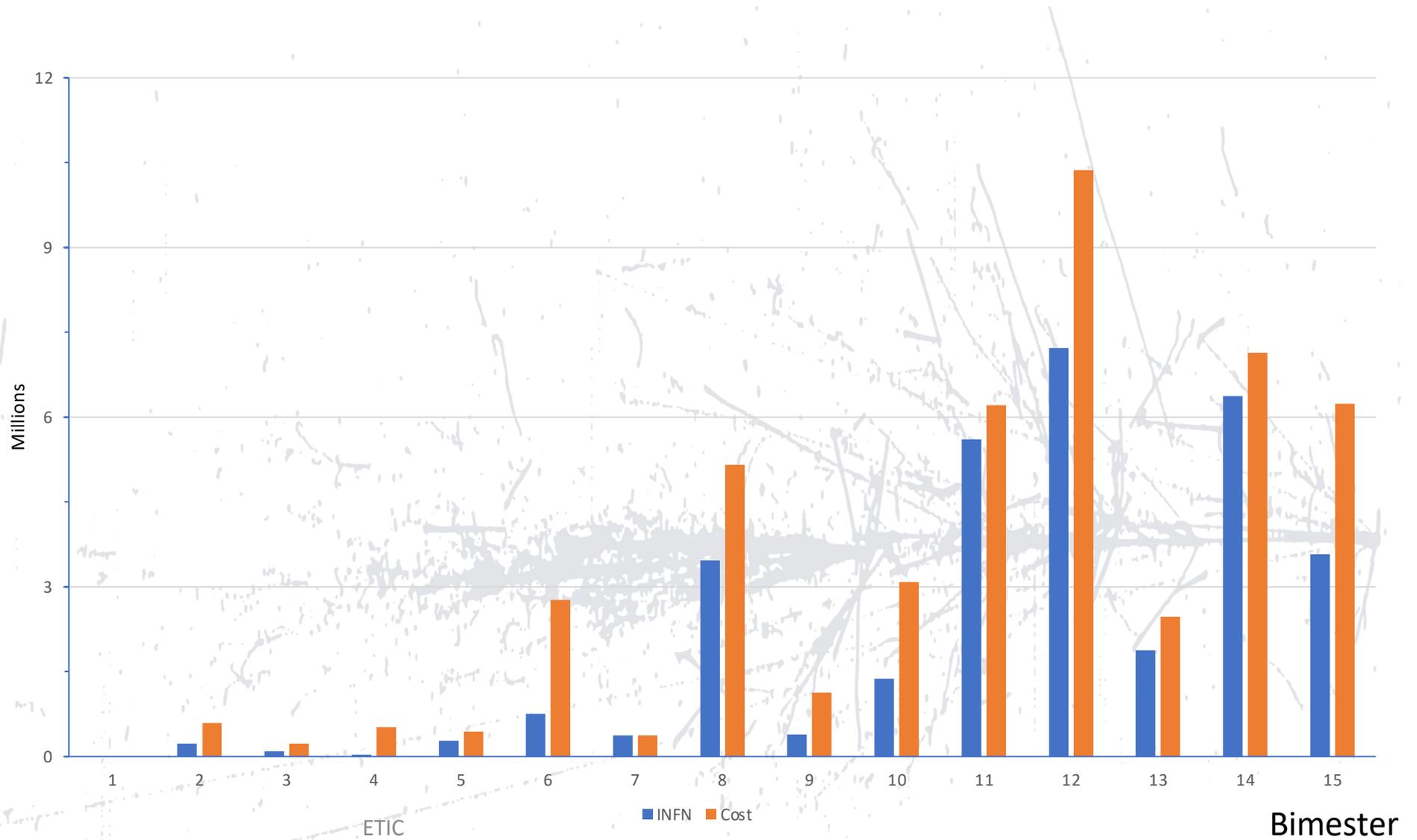


Distribuzione geografica

INFN	Sezione	Budget
33.867.823,25 €	Bologna	549.744,53 €
	Cagliari	1.725.486,67 €
	Genova	904.706,40 €
	LNGS	903.080,00 €
	LNS	17.594.716,20 €
	Napoli	1.913.916,60 €
	Padova	826.382,40 €
	Perugia	1.949.390,20 €
	Pisa	829.121,60 €
	Roma1	4.417.645,19 €
	Roma2	1.752.595,27 €
	Torino	501.038,20 €



Profilo temporale di spesa



Mesi	INFN -BO	UniB O	INFN -CA	UniC A- Fisic a	UniC A- IngCi v	INFN -GE	UniG E	INFN LNGS	INFN LNS	INFN -NA	UniN A	UniV anvit elli	INFN -PD	UniP D	INFN -PG	UniP G	INFN -PI	UniPI	INFN RM1	UniS apie Fis	UniS apie Ing	INFN RM2	UniR M2	INFN -TO	INAF - ADO NI	ASI	GSSI	
Tecnici laureati cat																												
D	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	48	0	0	0	0	0	
RTDA	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	60	30	0	30	0	30	0	0	0	0	30	72	0	60	0	0	0	
CTER	24	0	24	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	30	0	0	0	0	24	0	12	0
Tecnologo III	24	0	48	0	0	24	0	0	24	48	0	0	24	30	78	0	72	0	24	0	0	48	0	24	12	12	0	
Manager	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Posizioni																												
Tecnici laureati cat																												
D	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	
RTDA	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	2	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	3	0	2	0	0	0	
CTER	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
Tecnologo III	1	0	2	0	0	1	0	0	1	2	0	0	1	1	2+1	0	3	0	0	1	0	0	2	0	1	1	1	0
Manager	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Mesi	ETIC	INFN
Tecnici laureati cat D	108	0
RTDA	432	0
CTER	162	150
Tecnologo III	492	438
Manager	30	30
Posizioni	ETIC	INFN
Tecnici laureati cat D	4	0
RTDA	16	0
CTER	6+1 ^(a)	5+1 ^(a)
Tecnologo III	20+1 ^(b)	17+1 ^(b)
Manager	1 ^(b)	1 ^(b)

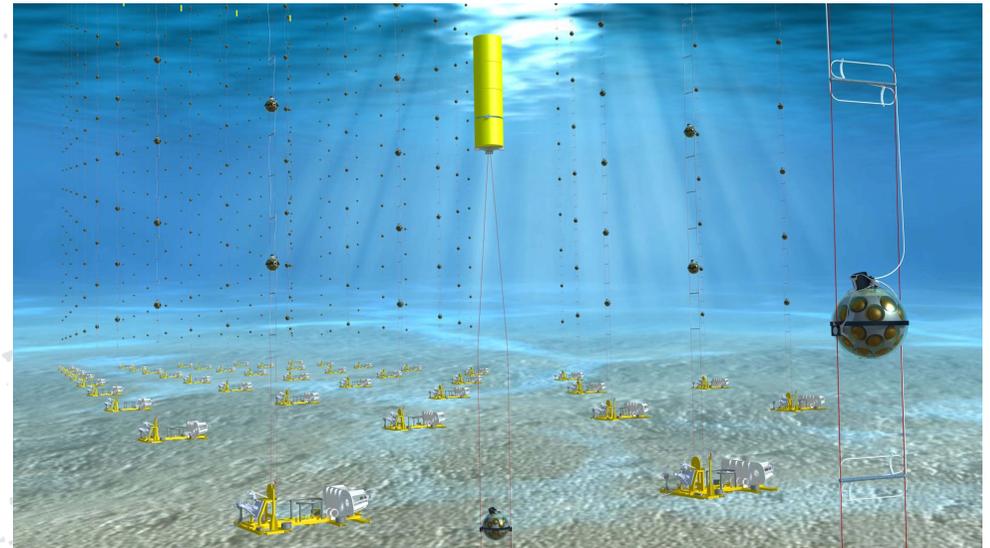
- Una collaborazione, una tecnologia unica, **2 rivelatori distinti**
 - **ARCA:** Astroparticle Research with Cosmics in the Abyss
 - GeV-PeV ν : **telescopio** al largo di Capo Passero @ **3500 m**
 - **ORCA:** Oscillation Research with Cosmics in the Abyss
 - Ordine di massa dei neutrini: **rivelatore** al largo di Toulon (France) @ **2500 m**

- Entrambi in costruzione
 - ORCA: **9** stringhe in acqua
 - ARCA: **21** stringhe in acqua

- **Progressi sostanziali 2020/2022**



- I neutrini di grande energia sono rivelati in acqua perché quando interagiscono producono particelle che emettono **luce Cherenkov**
- Se le particelle si muovono verso l'alto non possono che essere neutrini, le uniche particelle per cui la Terra è trasparente (fino a energie non troppo alte)
 - Anche quelle verso il basso sono utili
- Il rivelatore è fatto di Detection Units (DU o “stringhe”) connecting Detection Modules (DOMs), sfere di quarzo piene di tubi fotomoltiplicatori



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 area $\approx 3 \times 10$ " PMTs)
- LED and Piezo
- Front-end electronics → FPGA



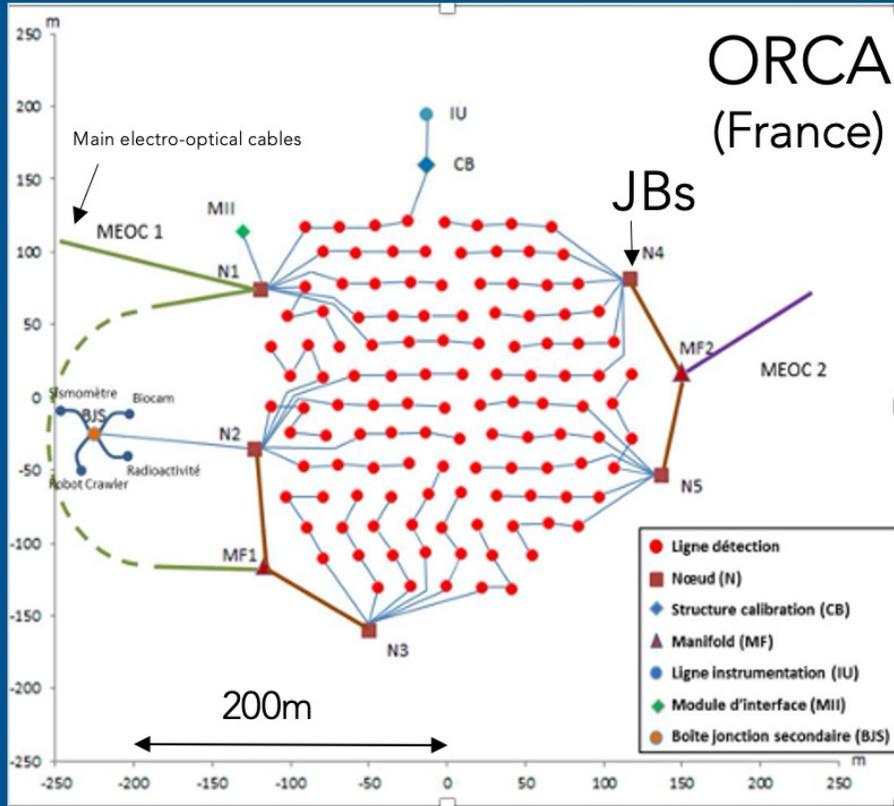
DU



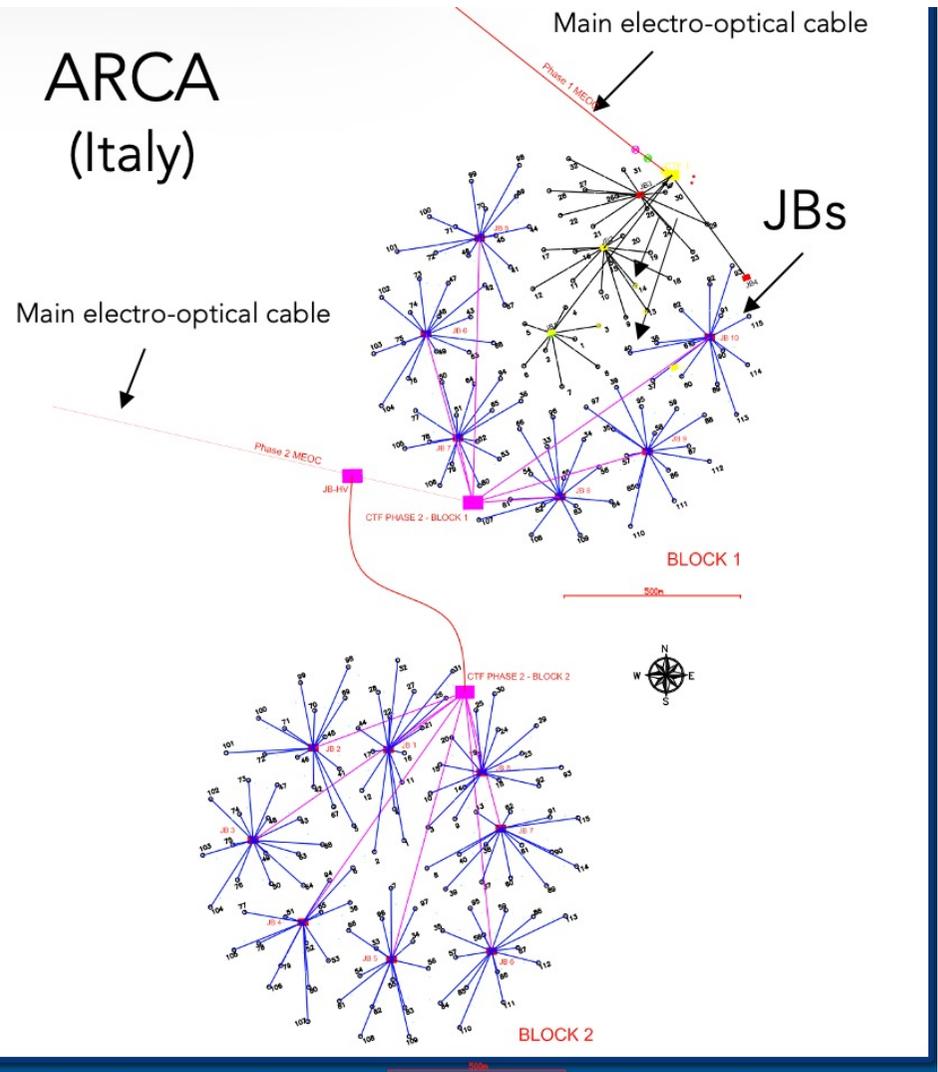
18 DOMs in a DU

JB



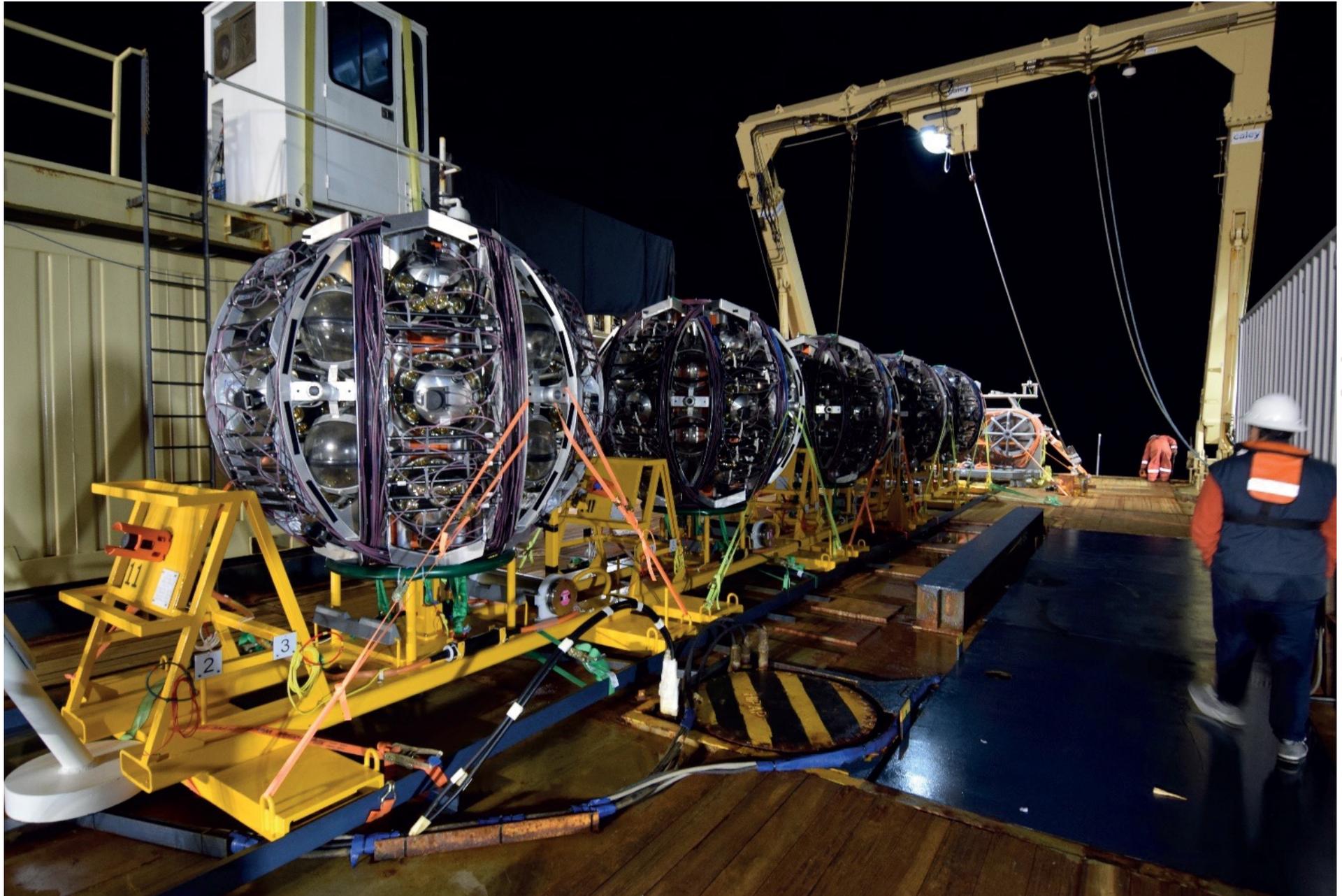


ORCA is composed of 1 building block of 115 DUs with 20 m DU interspacing and 9m inter DOM spacing (7 Mton)



ARCA is composed of 2 building blocks of 115 DUs each with 90 m DU interspacing and 36m inter DOM spacing (Total Volume ~ 1 km³)

Strings deployment - 2021





Le unità operative del progetto

Applicant/Co-applicant	Operating Units
INFN	INFN-BA
	INFN-BO
	INFN-CT
	INFN-GE
	INFN-LNS
	INFN-NA
	INFN-RM1
INAF	Osservatorio Astrofisico di Catania
	Osservatorio Astronomico di Palermo
Politecnico di Bari	Dip. di ingegneria civile ambientale, del territorio, edile e di chimica
Università degli studi della Campania L. Vanvitelli	Dipartimento di Matematica e Fisica
Università degli studi di Catania	DFA – Dipartimento di Fisica e Astronomia
	DEI – Dipartimento di Economia e Impresa
Università degli studi di Salerno	Dipartimento di Fisica
Università degli studi di Napoli Federico II	Dipartimento di Fisica
Università degli studi di Genova	Dipartimento di Fisica
Sapienza Università di Roma	Dipartimento di Fisica

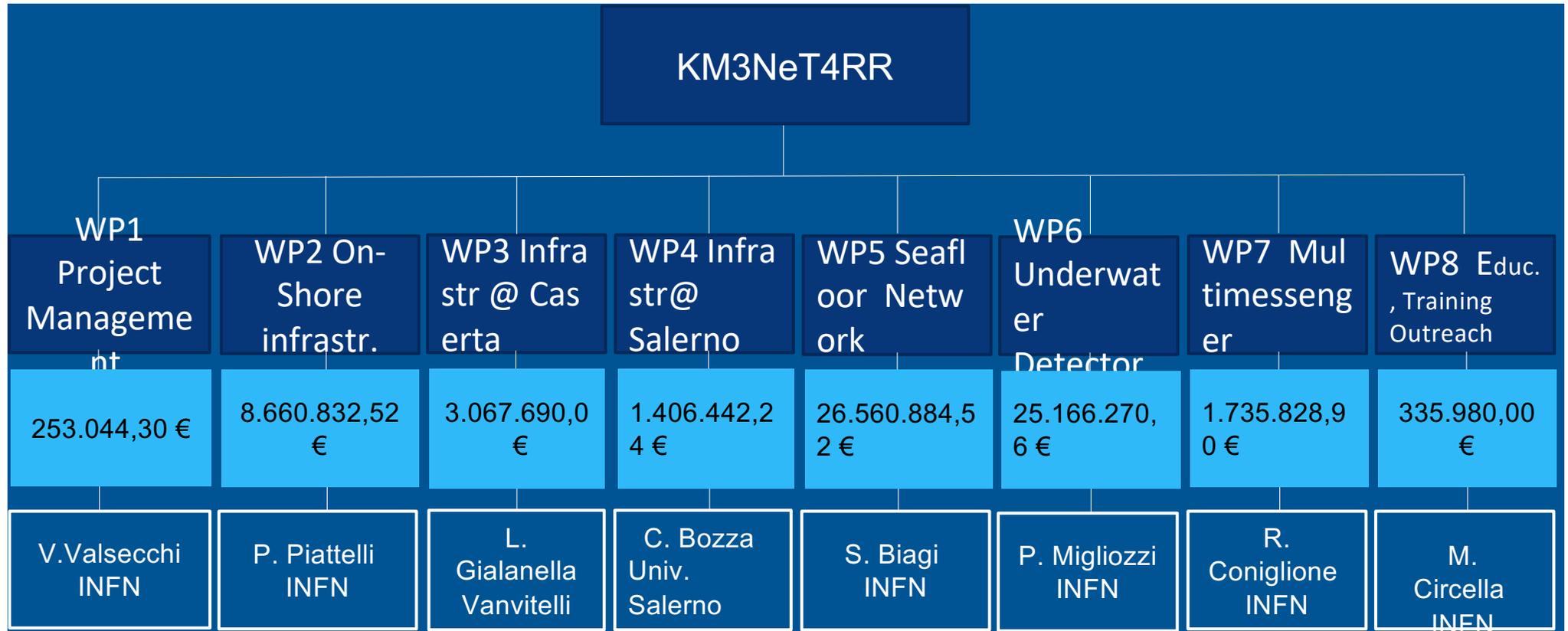


Budget, distribuzione geografica

Applicant / Co-applicant	% on total	TOTAL	a. Fixed term personnel specifically hired for the project	b. Scientific instrumentation and technological equipment, software licenses and patent	c. Open Access, Trans National Access, FAIR principle implementati on	d. Civil infrastructures and related systems	e. Indirect costs, including running costs	f. Training activities
INFN	88,3%	59.330.290,48 €	3.257.034,00 €	52.136.835,61 €	0,00 €	55.000,00 €	3.881.420,87 €	0,00 €
INAF	1,5%	989.407,60 €	425.700,00 €	498.980,00 €	0,00 €	0,00 €	64.727,60 €	0,00 €
Poli-BA	1,2%	780.565,00 €	125.040,00 €	296.460,00 €	0,00 €	308.000,00 €	51.065,00 €	0,00 €
Uni- Campania	5,2%	3.512.583,16 €	306.168,00 €	183.000,00 €	0,00 €	2.684.000,00 €	229.795,16 €	109.620,00 €
Uni-CT	0,5%	329.200,48 €	213.264,00 €	0,00 €	24.400,00 €	0,00 €	21.536,48 €	70.000,00 €
Uni-SA	2,6%	1.726.697,52 €	405.936,00 €	0,00 €	0,00 €	1.207.800,00 €	112.961,52 €	0,00 €
Uni-Napoli	0,3%	231.389,64 €	106.632,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	15.137,64 €	109.620,00 €
Uni-Ge	0,3%	172.742,94 €	106.632,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	11.300,94 €	54.810,00 €
Uni- Sapienza	0,2%	114.096,24 €	106.632,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	7.464,24 €	0,00 €
TOTAL	100,0%	67.186.973,06 €	5.053.038,00 €	53.115.275,61 €	24.400,00 €	4.254.800,00 €	4.395.409,45 €	344.050,00 €



Activity	Op. Unit.	Cost (VAT incl.) excl. personnel
Upgrade of the Data Acquisition equipment at the KM3NeT Shore Station	INFN-LNS	€ 1.780.762,52
Upgrade of the Base Module integration site and set up of a new DU integration site at Bari	INFN-BA	€ 711.550,00
Upgrade of the Base Module integration site at Bologna	INFN-BO	€ 133.730,74
Upgrade of the DOM integration site at Catania	INFN-CT	€ 522.160,00
Upgrade of the DU integration site at Genova	INFN-GE	€ 86.156,40
Upgrade of the Base Module and DU integration sites at LNS	INFN-LNS	€ 806.591,68
Extension of the infrastructure at the Caserta site	Uni-Vanvit	€ 3.067.690,00
Upgrade of the Base Module and DU integration laboratories at CACEAP	INFN-NA	€ 2.587.011,76
Upgrade of the Roma integration and testing site	INFN-RM1	€ 402.497,62
New facility at the Salerno site	Uni-SA	€ 1.406.442,24
Upgrade of the Salerno testing facility and set up of a new DOM integration site	INFN-NA	€ 238.888,20
Upgrade of the Bologna Common Infrastructure and set up of the Bologna Laboratory for User-ports	INFN-BO	€ 610.918,64

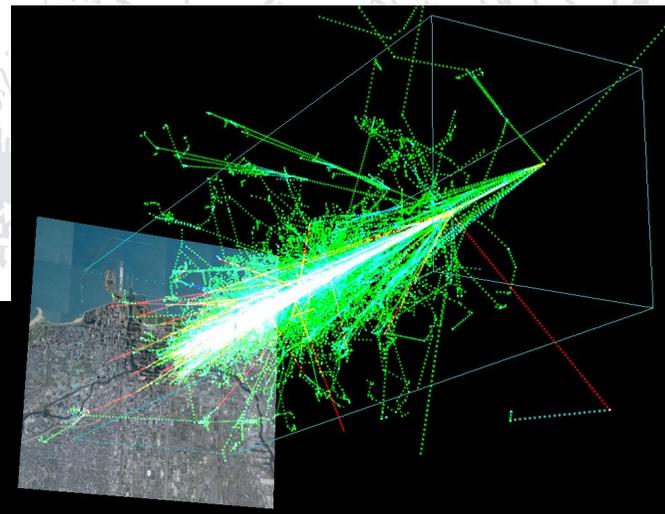
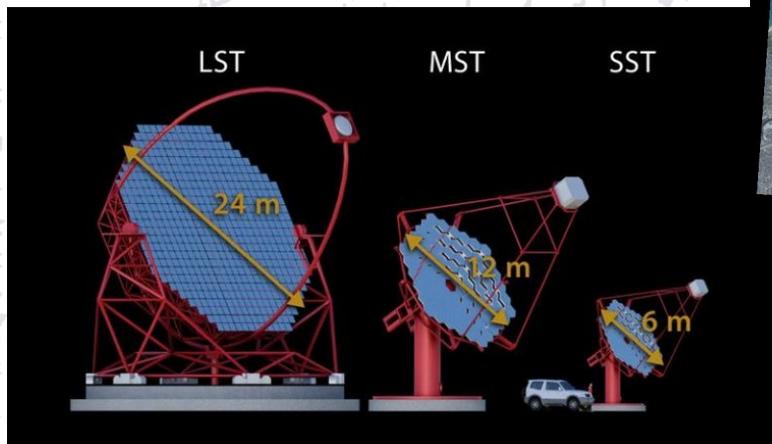


For many activities a more detailed list is available thanks to the work already done by the KM3NeT collaboration; other activities including procurement have already been done before at INFN and each step is known

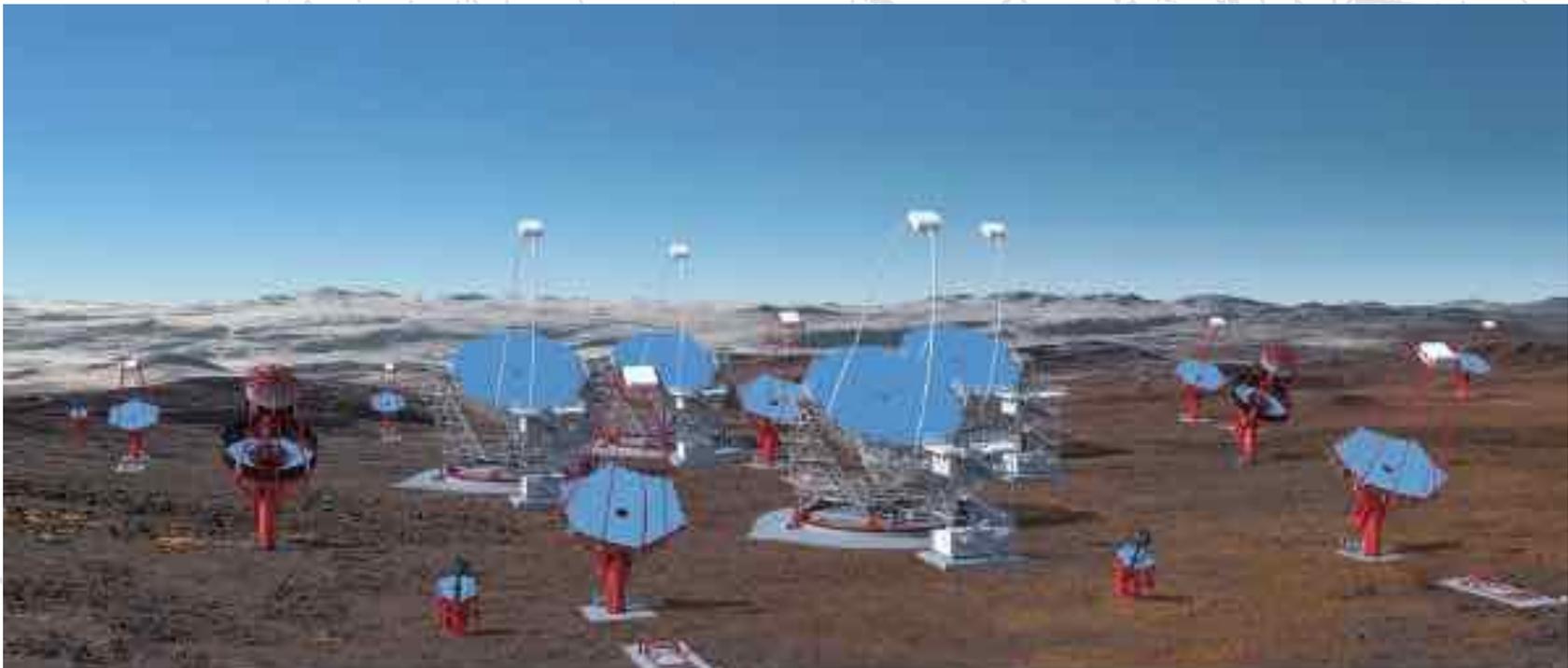
Obiettivi finali del progetto e prospettive

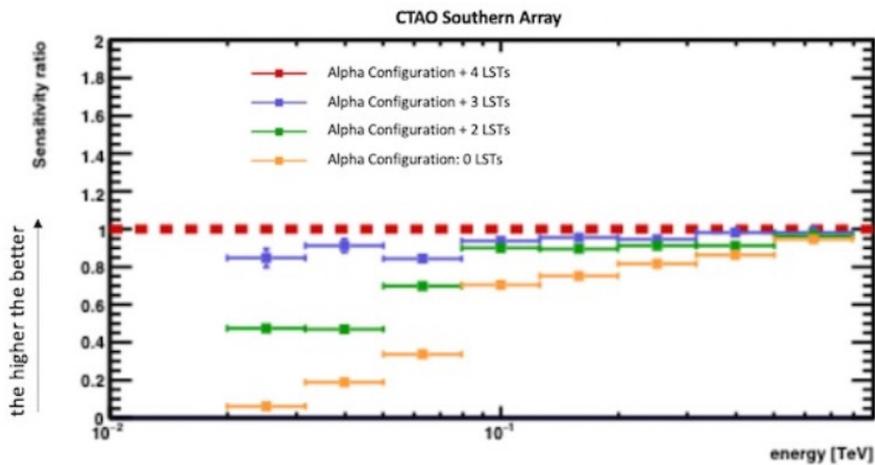
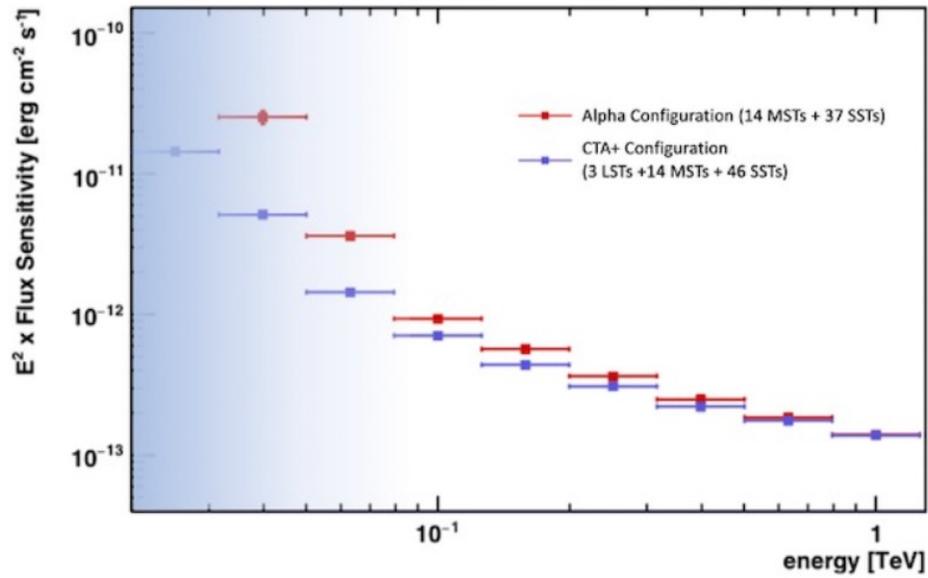
- Oggi ci sono 21 stringhe funzionanti in mare
 - Significativa accelerazione positiva negli ultimi 2 anni
- I fondi esistenti (Regione Sicilia) portano al 70 totali
- Col PNRR abbiamo fondi per altre 60 stringhe circa ma, soprattutto, realizziamo le strutture e assumiamo le persone per mettere in mare tutte le stringhe in 4 anni circa
 - Oggi sarebbe impossibile
- Con 130 stringhe Km³ è un rivelatore che fa fisica (la metà circa di Ice Cube)
- Vi sono opportunità per avere i fondi necessari a completare entro la decade

- Cherenkov Telescope Array
 - Il progetto cruciale futuro per l'astronomia a raggi gamma
 - Due siti, uno nell'emisfero nord alle Canarie e uno nell'emisfero sud in Cile



- **INAF** guida il gruppo Italiano
 - INFN è co-proponente con un contributo di circa 12 MEuro
- PNRD mira a rinforzare il sito in Cile
 - INFN: contributo alla costruzione di 3 LSTs
 - Finanziamento totale ~ 70 M€ ~ 15 M€ to INFN
 - Strumentazione e persone





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



PE15. Struttura di Governance

- Soggetto proponente: POLITO
- Sede legale del consorzio: Torino
- HUB:
 - *Forma giuridica*: SCARL → puntiamo alla stabilità in futuro e a un assetto che sia ampliabile ad eventuali altri partner a valle del PNRR
 - *Soggetti* POLITO + partner, Contribuiscono alle spese di funzionamento dell'Hub.
 - Comitato Scientifico
 - Comitato Formazione
 - La partecipazione attiva dei soggetti privati alla governance (all'interno del **Consiglio d'Amministrazione e/o Comitato Scientifico**) è **elemento qualificante del progetto**. In termini di valutazione delle candidature, **sarà inoltre apprezzato il contributo dei soggetti privati alle attività del Partenariato**, anche mediante condivisione delle loro capacità e strumentazioni di ricerca/innovazione e il finanziamento/co-finanziamento di dottorati. Partecipano alle attività ricevendo **finanziamenti entro il limite della normativa sugli aiuti di Stato**.
 - Composizione CdA: 7 pubblici incluso il presidente, 4 privati
 - Nucleo Esterno di valutazione, valorizzazione e indirizzo con rappresentanti di vari soggetti (HE/EU, ESA, CTNA, Distretti, Ass. Industriali, Protezione Civile ..)

- **INFN su 3 spoke**
 - Leader Spoke 3:
 - **Remote non imaging sensors for high energy particles**
 - Partecipante Spoke 5:
 - Protezione Pianeta
 - Partecipante Spoke 6:
 - Protezione infrastrutture critiche e Space Weather
- **Temi**
 - Sviluppo nuovi sensori tracce cariche, alta granularità, bassa potenza, elevata risoluzione temporale con tecnologie di manifattura monolitiche
 - Caratterizzazione di moduli con fotosensori a silicio (SiPM) per lo spazio
 - Progettazione e realizzazione prototipo sensore gravitazionale per monitoraggio riserve idriche (GRS)
 - Sviluppo prototipale rivelatori micropattern a gas per Energetic Neutral Atoms

- Nessuna, siamo solo all'inizio
 - Una grande opportunità
 - Una grande responsabilità nei confronti del paese
 - Un enorme lavoro amministrativo, gestionale, tecnico e scientifico davanti a noi
 - Tutte le anime e componenti dell'Ente saranno coinvolte
- Grazie a tutti quelli che hanno contribuito!