

IFAE 2023

Incontri di Fisica delle Alte Energie

Astronomia dei neutrini nel Mediterraneo e il telescopio KM3NeT/ARCA

G. Ferrara

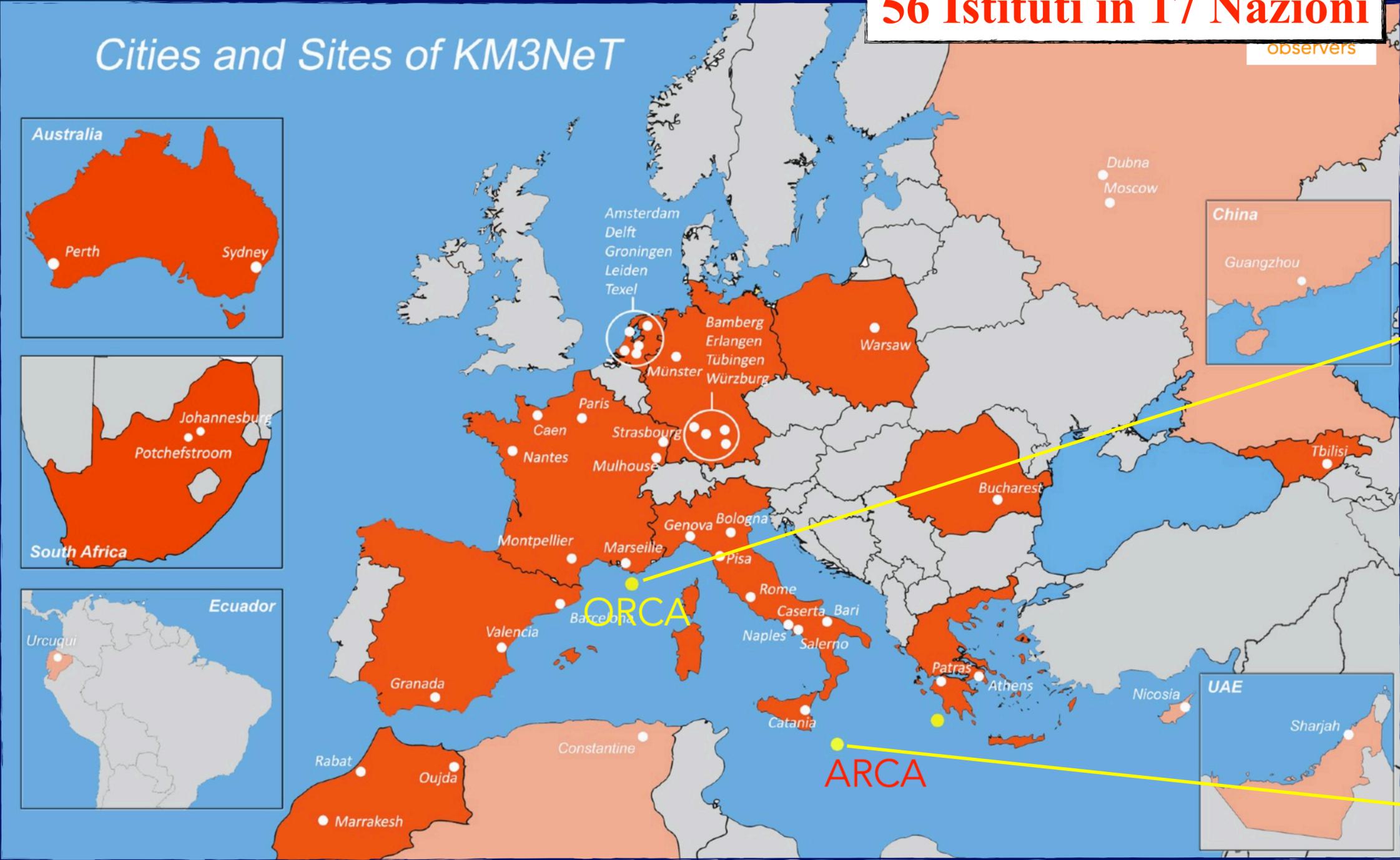
per la Collaborazione KM3NeT



Incontri di Fisica delle Alte Energie, Catania, 12-14 Aprile 2023

La Collaborazione KM3NeT

56 Istituti in 17 Nazioni

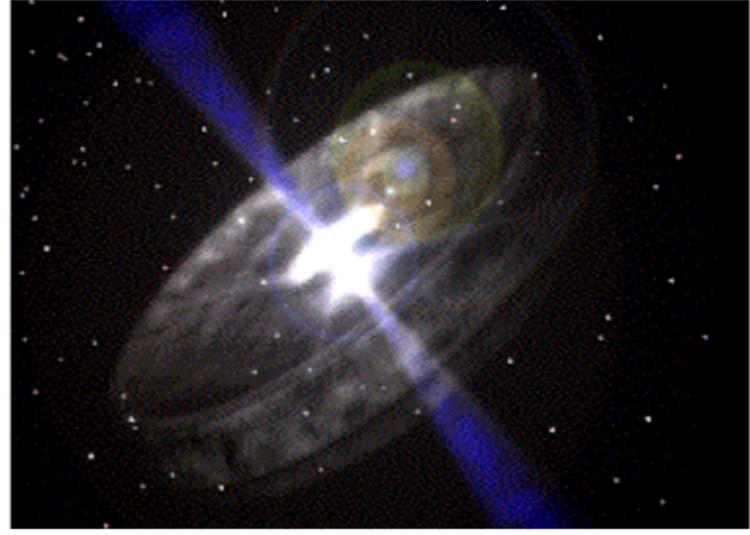
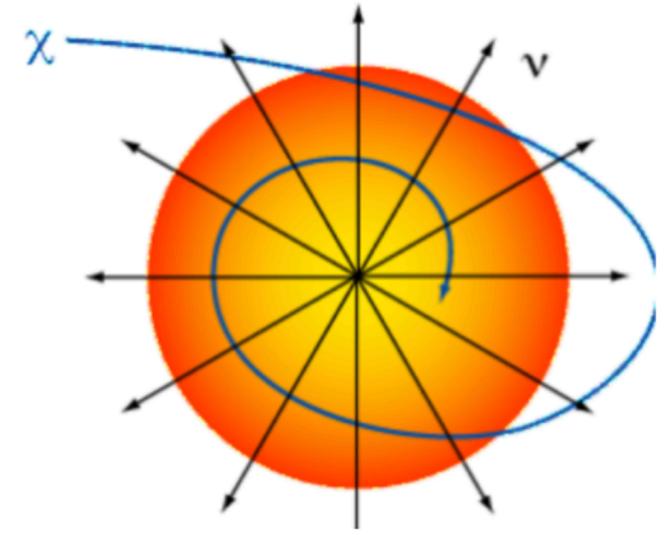
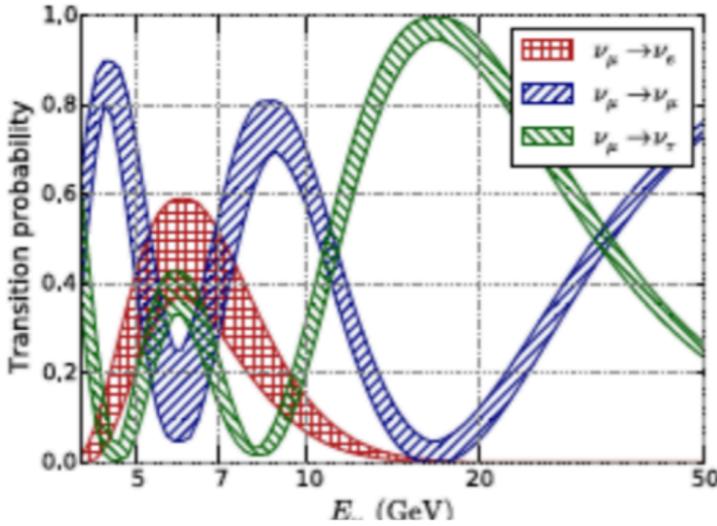
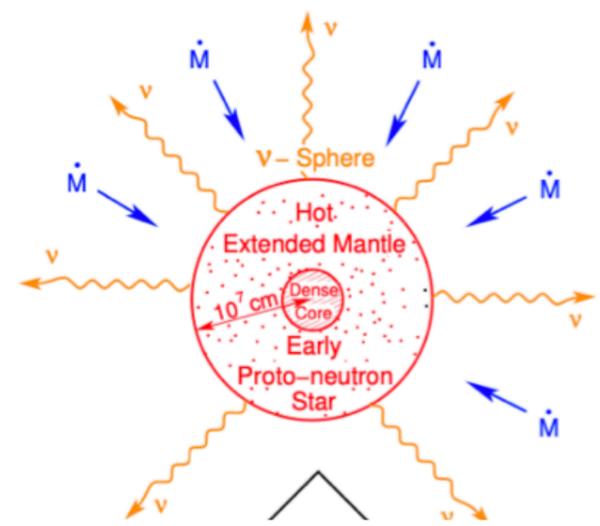


ORCA (Oscillation Research with Cosmic in the Abyss)

ARCA (Astroparticle Research with Cosmics in the Abyss)

Un telescopio per neutrini “multi-energy scale”

ENERGIA DEL NEUTRINO



Esplosioni di Super Novae MeV Oscillazioni dei neutrini GeV Dark Matter TeV Neutrini cosmici/ Astronomia multimessagera TeV-PeV

ARCA

ARCA

ORCA

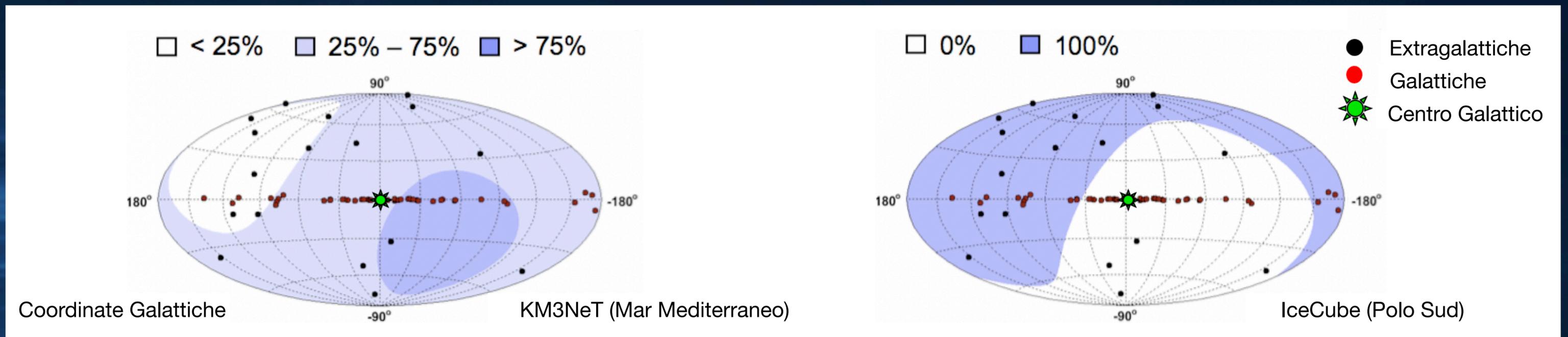
Un telescopio per neutrini nel Mediterraneo

Un telescopio per neutrini nel Mar Mediterraneo con un volume dell'ordine del km^3 permette di

- ▶ Avere una copertura di tutto il cielo
- ▶ Elevata visibilità del Piano Galattico e del Centro Galattico
- ▶ Visibilità di 1.5 sr in comune con IceCube

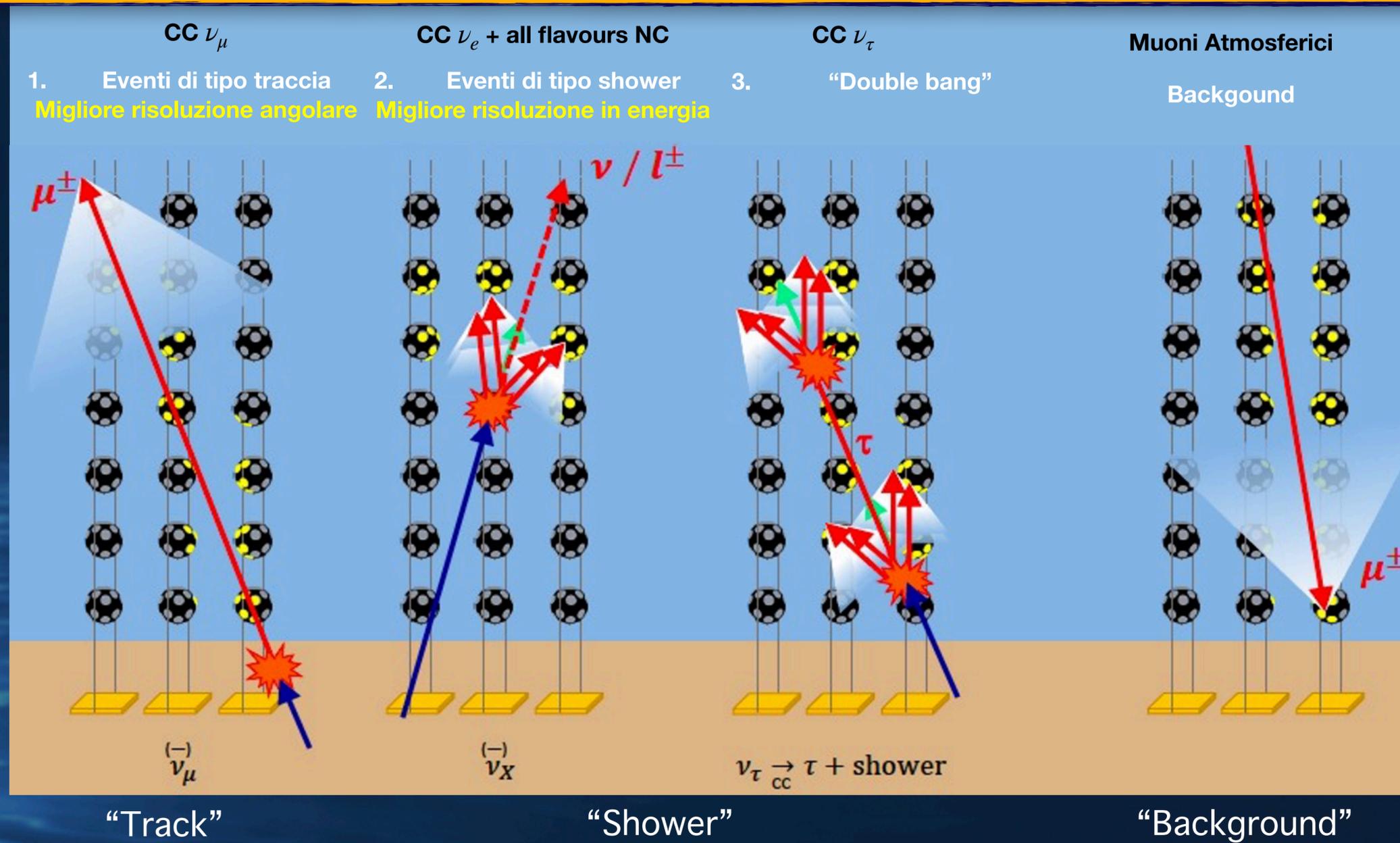
Vantaggi e svantaggi dell'acqua marina:

- ▶ Minore lunghezza di scattering e migliore accuratezza nel puntamento delle sorgenti
- ▶ Presenza di rumore ottico dovuto al decadimento del ^{40}K (ridotto grazie all'utilizzo di filtri di casualità), utilizzato per la calibrazione temporale del rivelatore



Principio di rivelazione dei neutrini cosmici

- ▶ Rivelazione della luce Cherenkov emessa dalle particelle prodotte nelle interazioni del neutrino attraverso un “array” 3D di sensori ottici
- ▶ Grandi volumi di un mezzo trasparente per rivelare (acqua/ghiaccio)
- ▶ Acquisizione della posizione, istante temporale dell’evento e ampiezza degli impulsi dei sensori ottici permettono la ricostruzione della direzione ed energia del neutrino



KM3NeT: tecnologia e infrastruttura

- ▶ DOM (Modulo Ottico)
- ▶ DU (Unità di Rivelazione)
- ▶ Network sottomarino: cavo elettro-ottico e JB (Junction Boxes)

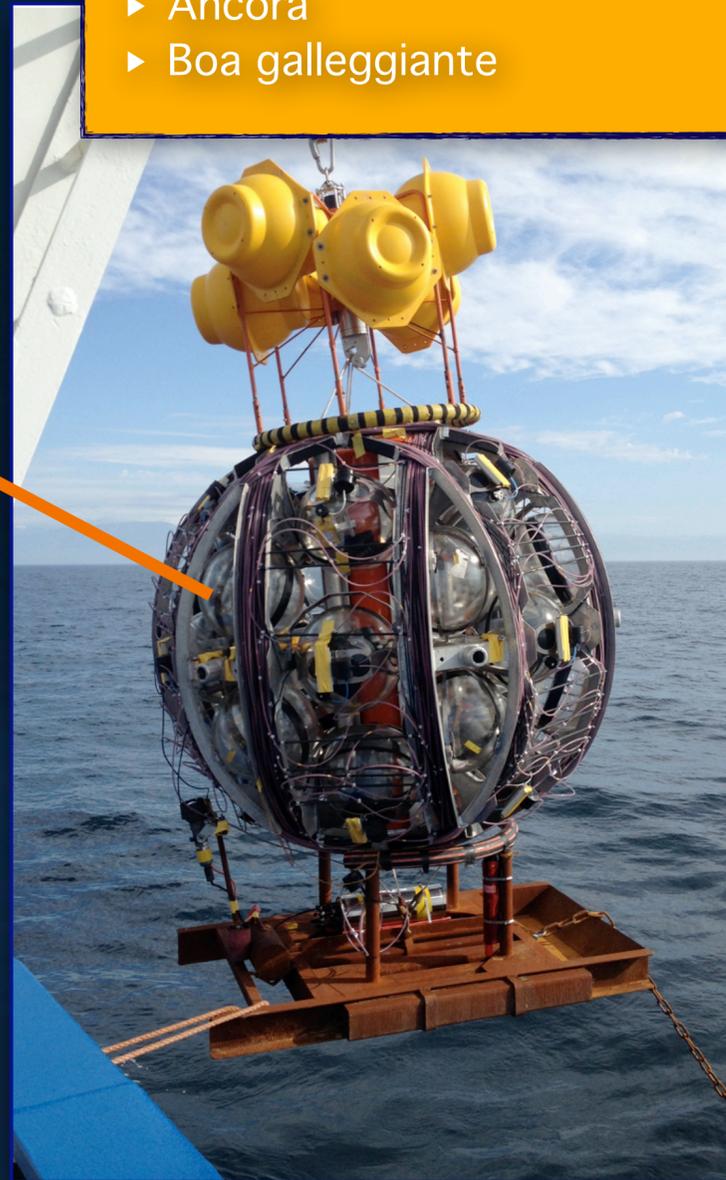
DOM

- ▶ Sfera di vetro di 17", contenente 31 PMT di 3"
- ▶ LED e Piezo
- ▶ Elettronica di Front-end



DU

- ▶ ~ 250/750 m (ORCA/ARCA)
- ▶ 18 DOM (~9/36 m tra DOMs)
- ▶ Ancora
- ▶ Boa galleggiante



JB

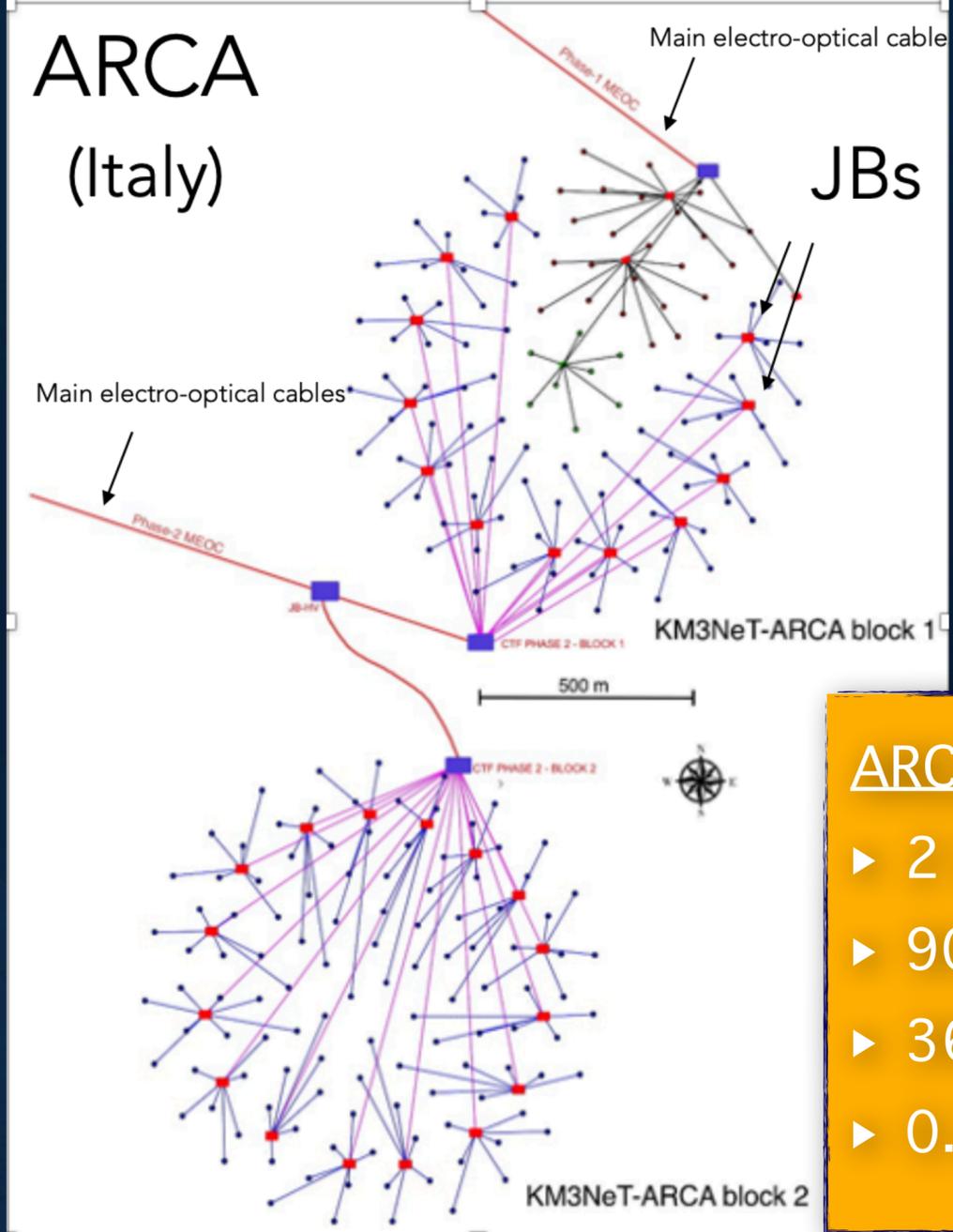
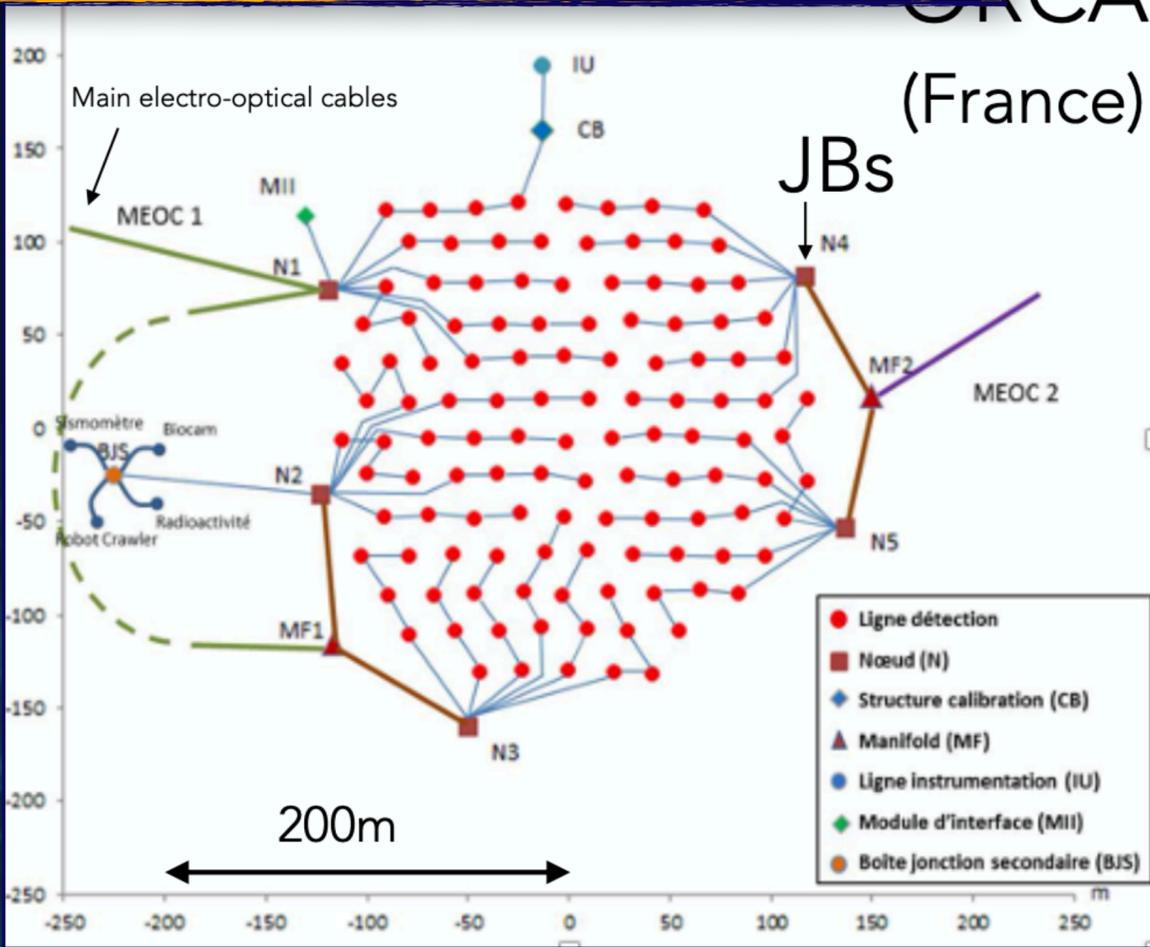
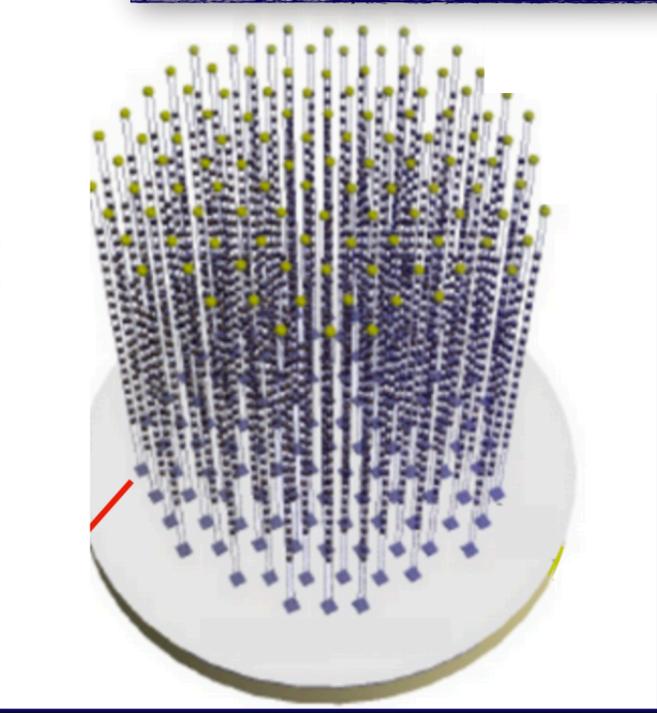


KM3NeT: tecnologia e infrastruttura

Building Block

“All data to shore”

- ORCA:**
- ▶ 1 building block (BB) di 115 DU
 - ▶ 20 m di distanza tra le DU
 - ▶ 9 m di distanza tra i DOM (7 Mton)



- ARCA:**
- ▶ 2 building blocks di 115 DU
 - ▶ 90 m di distanza tra le DU
 - ▶ 36 m di distanza tra i DOM
 - ▶ 0.5 km³=500Mton/block

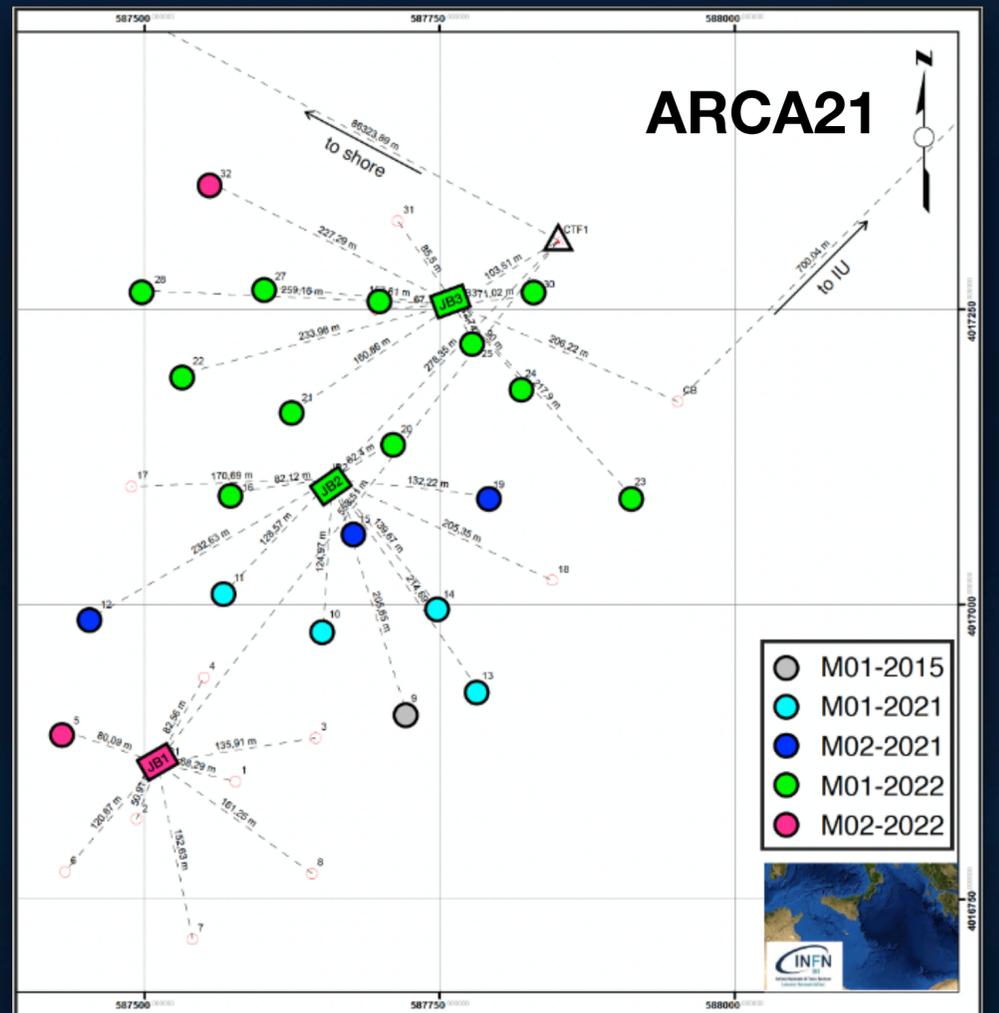
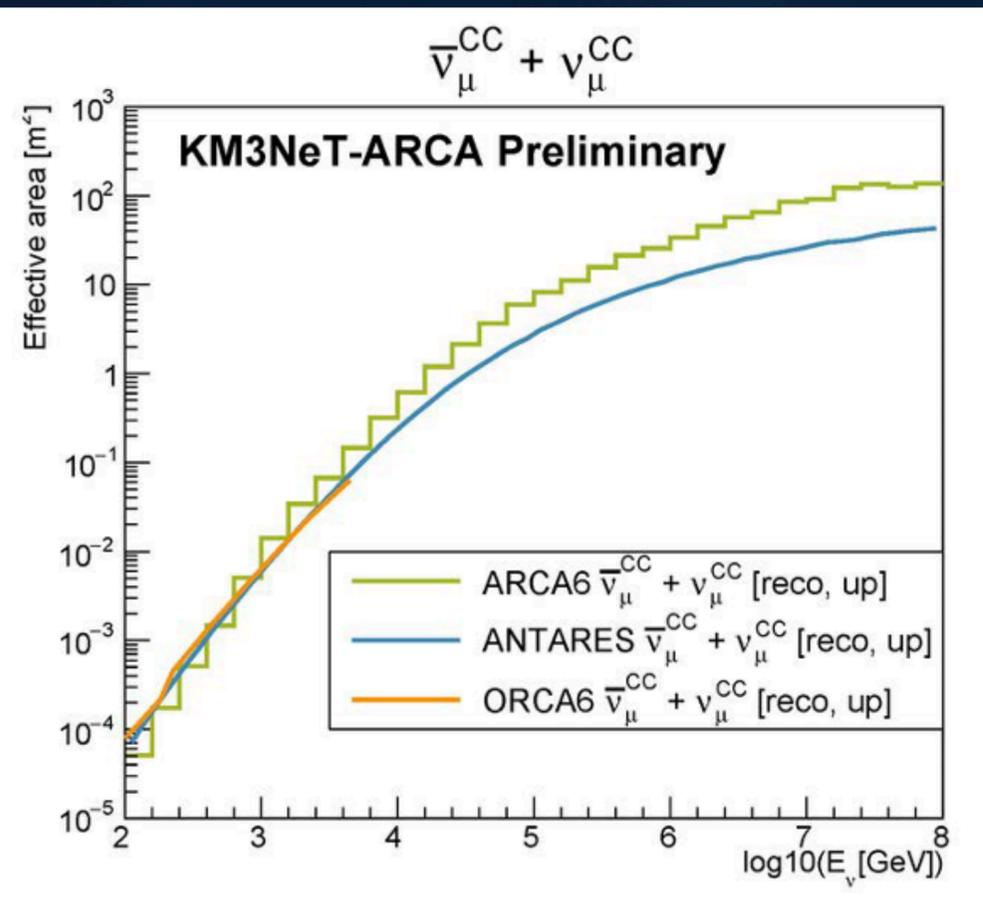
Stato attuale e campagne marine future

Aprile 2021
6 ARCA DU
6 ORCA DU

Settembre/Ottobre 2021
11 ARCA DU
10 ORCA DU

Settembre 2022
21 ARCA DU
20 ORCA DU

Settembre 2023
Prossima campagna marina per ARCA
Installazione di 10 DU

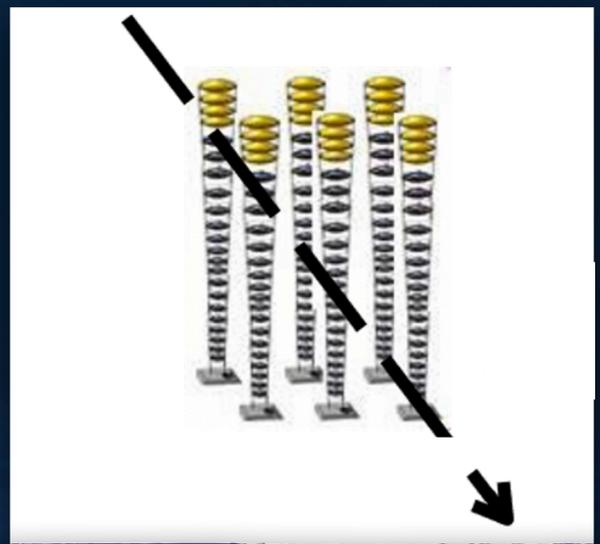


Selezione degli eventi di neutrino

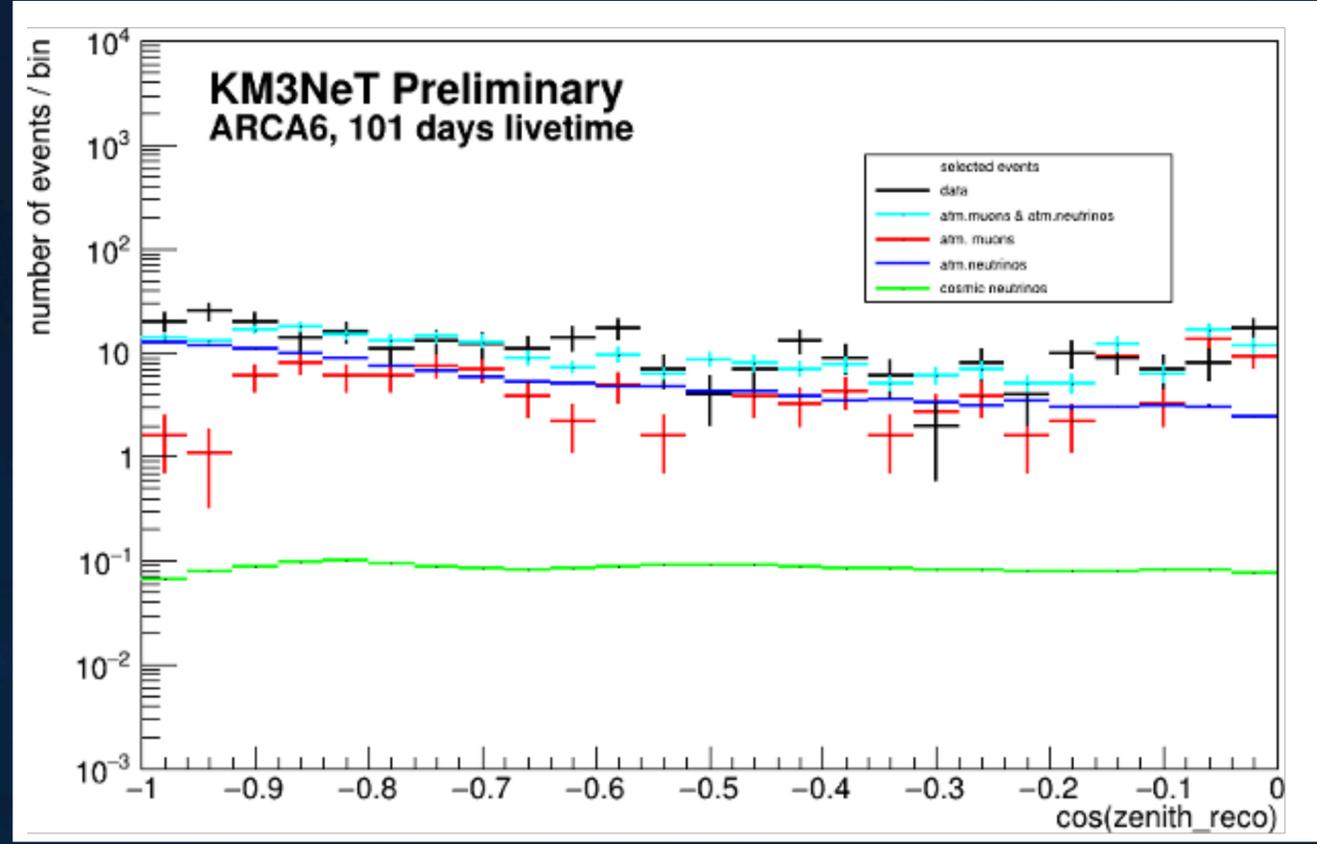
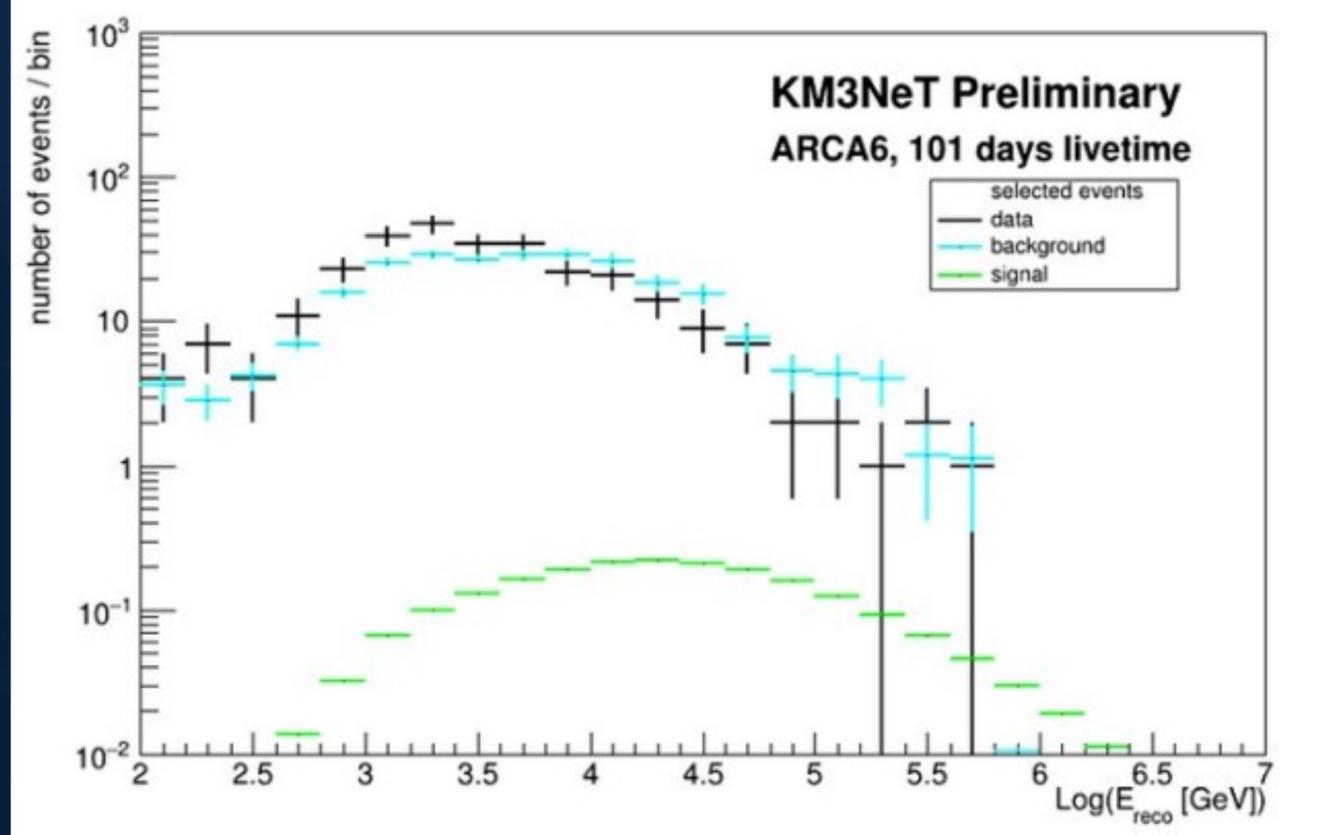
- ▶ Componenti principali di rumore: muoni e neutrini atmosferici
- ▶ Strategia per la riduzione del rumore: applicazione di “tagli di qualità” e selezione della direzione di arrivo degli eventi
- ▶ La selezione degli eventi di neutrino è ottimizzata utilizzando simulazioni Monte Carlo dei singoli run (run-by-run analysis)
- ▶ Confronto Dati/MC



- Solo i ν possono attraversare la Terra
- Eventi di tipo Up-going



- Dominati dal fondo di μ atmosferici
- Eventi di tipo Down-going



Astronomia con neutrini con il telescopio KM3NeT/ARCA



Galactic Ridge

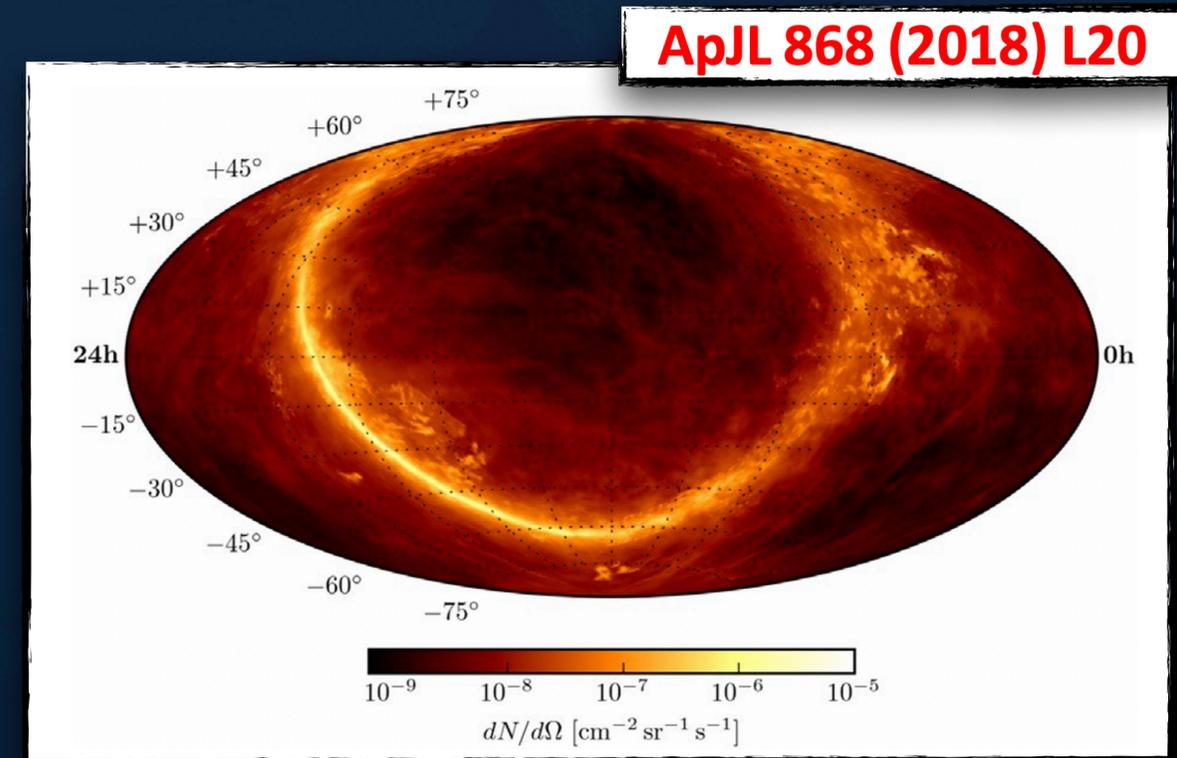
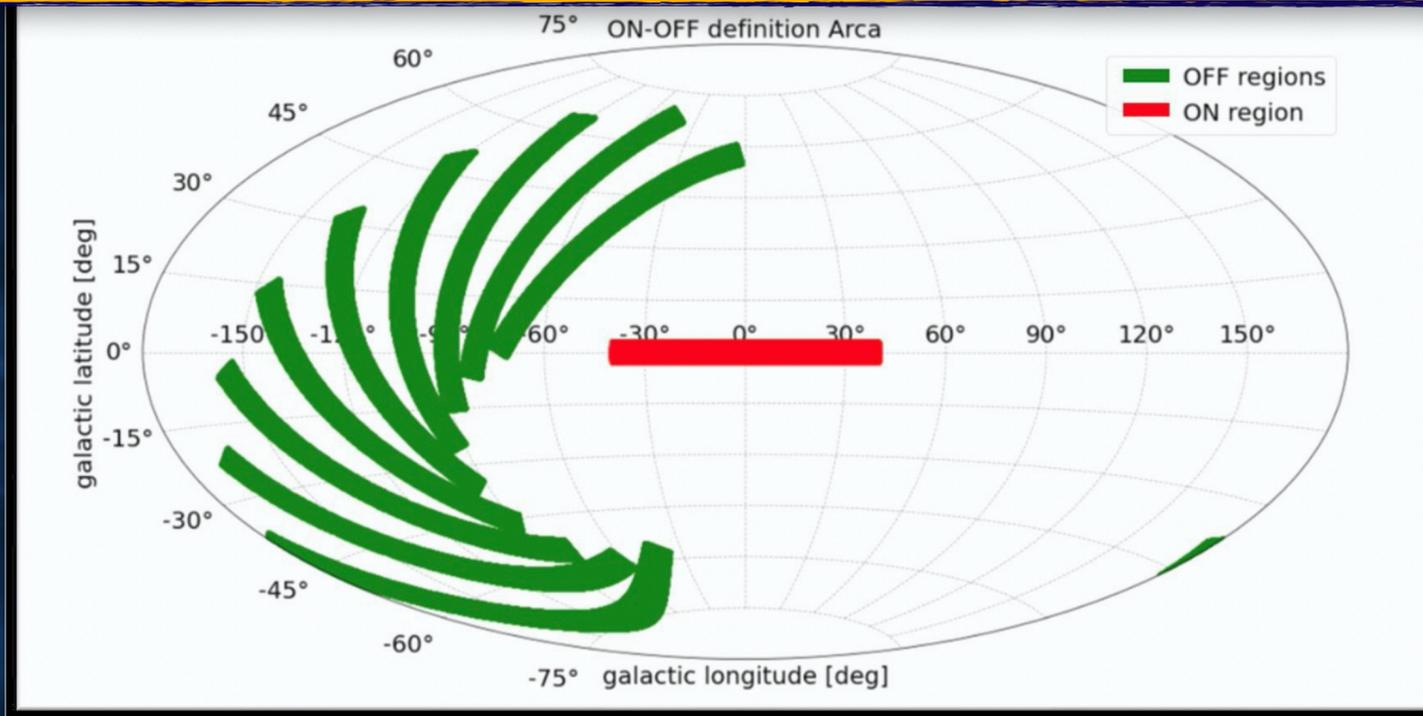
Flusso diffuso di neutrini generato dall'interazione dei raggi cosmici con il gas e i fotoni presenti nel piano galattico

ARCA6 (livetime: 100 giorni)

- ▶ Spettro neutrini cosmici: $\phi = \phi_0 \cdot E^{-2.4}$
- ▶ Selezione degli eventi: tagli di qualità sui parametri di ricostruzione + selezione di eventi di tipo traccia "upgoing" + utilizzo di Neural Network per rimuovere gli eventi mal ricostruiti

Metodo di ricerca di sorgenti: "ON/OFF technique"

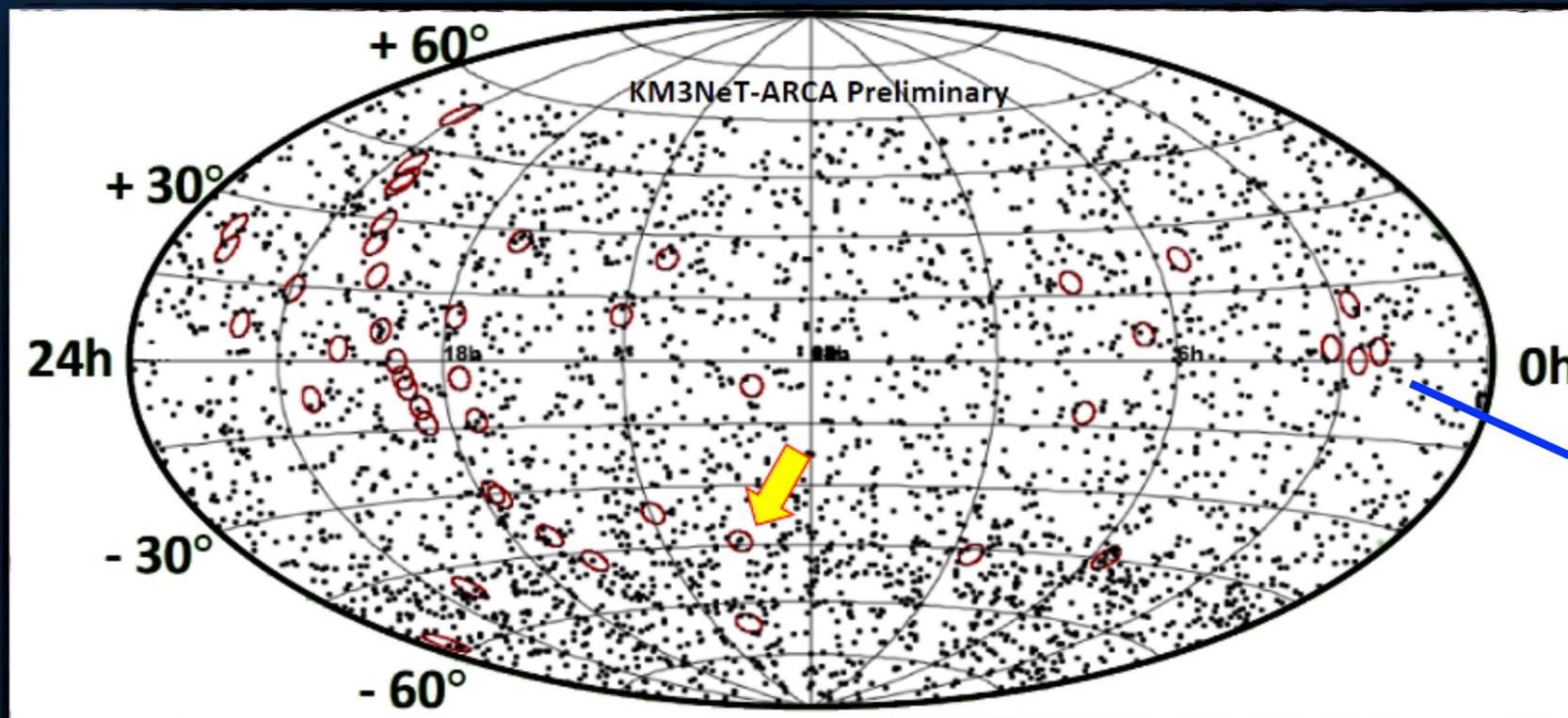
- ▶ **ON region:** galactic ridge ($l_{gal} < 40^\circ$, $b_{gal} < 3^\circ$)
- ▶ **OFF region:** ottenute considerando il "time-shifting" della regione ON



Simulated signal flux	
$1.2 \times 10^{-8} (E/1\text{GeV})^{-2.4} [\text{GeV}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1}]$	
MC simulated signal in ON region	1.81×10^{-4}
Background events: mean over 9 OFF regions (sum)	4.3 (39)
ON region events:	8

ARCA6: nessun eccesso di segnale statisticamente significativo (risultato atteso!)

Sensibilità alle sorgenti puntiformi

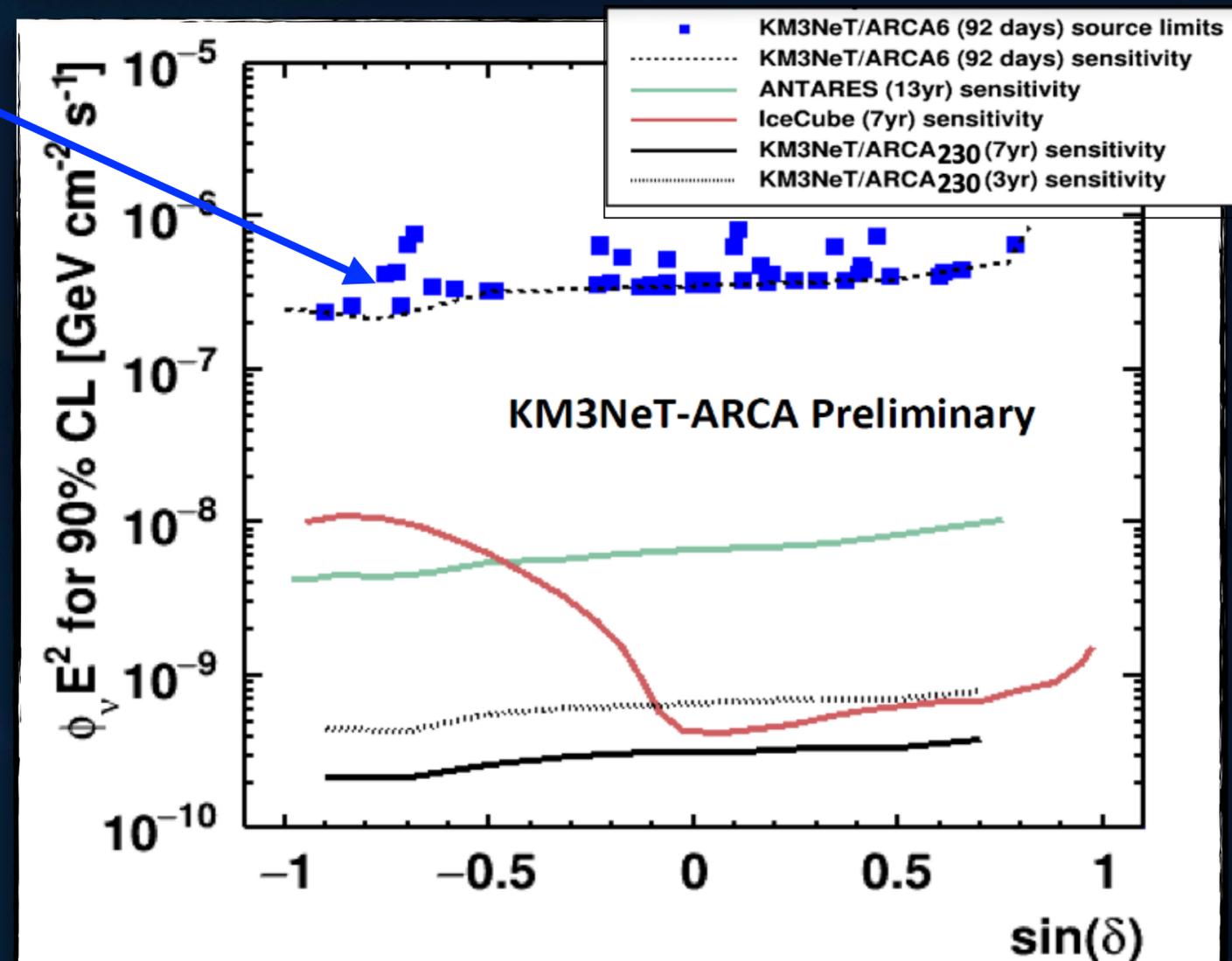


- ▶ Risultati:
- ▶ Nessun eccesso significativo (risultato atteso!)
- ▶ Sensibilità e upper limit non competitivi (risultato atteso!)
- ▶ Centaurus A sorgente con significatività maggiore ($p = 0.02$) (freccia gialla)

ARCA6 (livetime: 92 giorni)

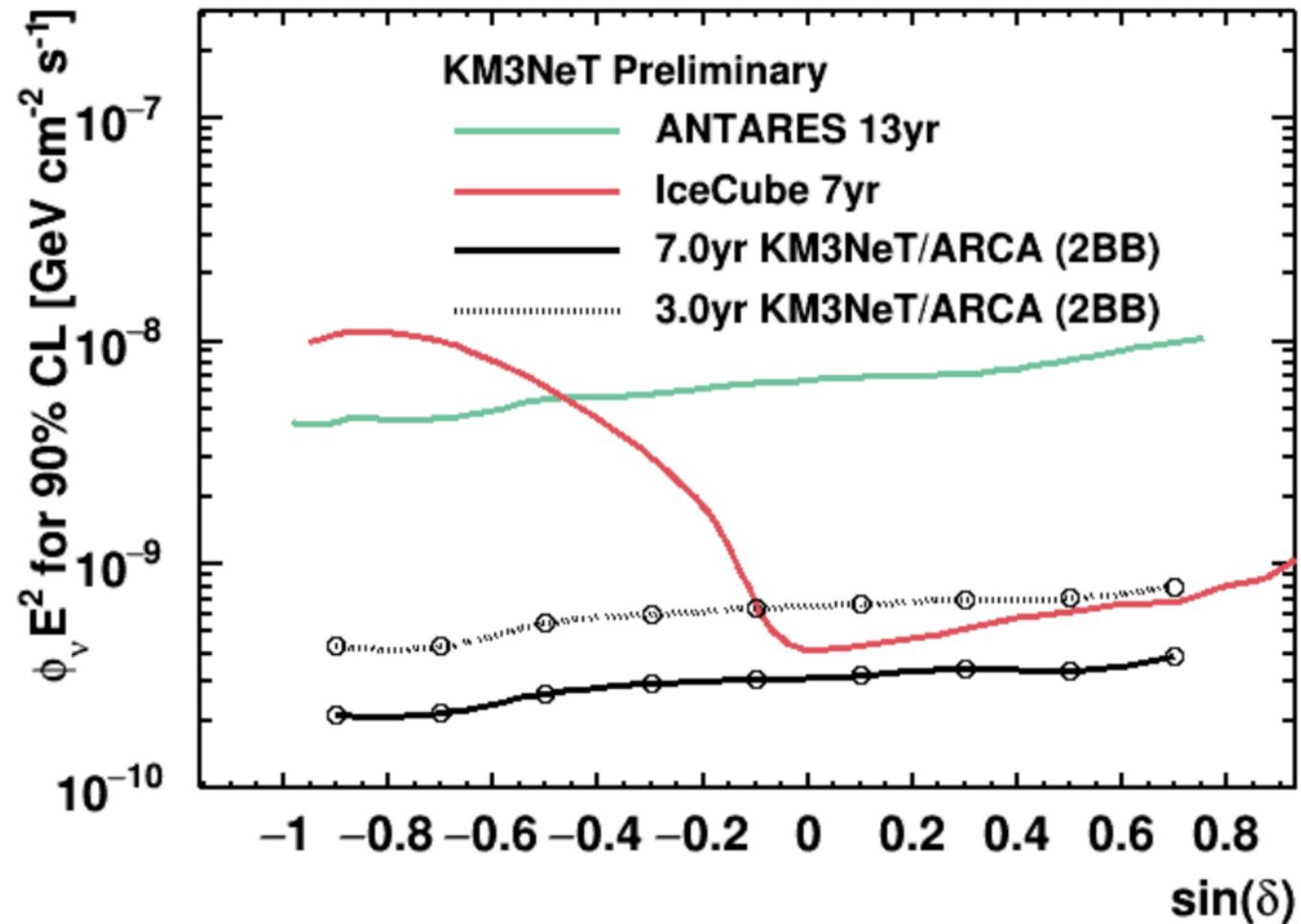
Ricerca di sorgenti puntiformi (time-integrated analysis)

- ▶ 46 sorgenti selezionate (cerchi rossi)
- ▶ $\Delta\psi \sim 1.3^\circ$ (per spettri di sorgente E^{-2})
- ▶ Livetime di ANTARES 40 x Livetime di ARCA6

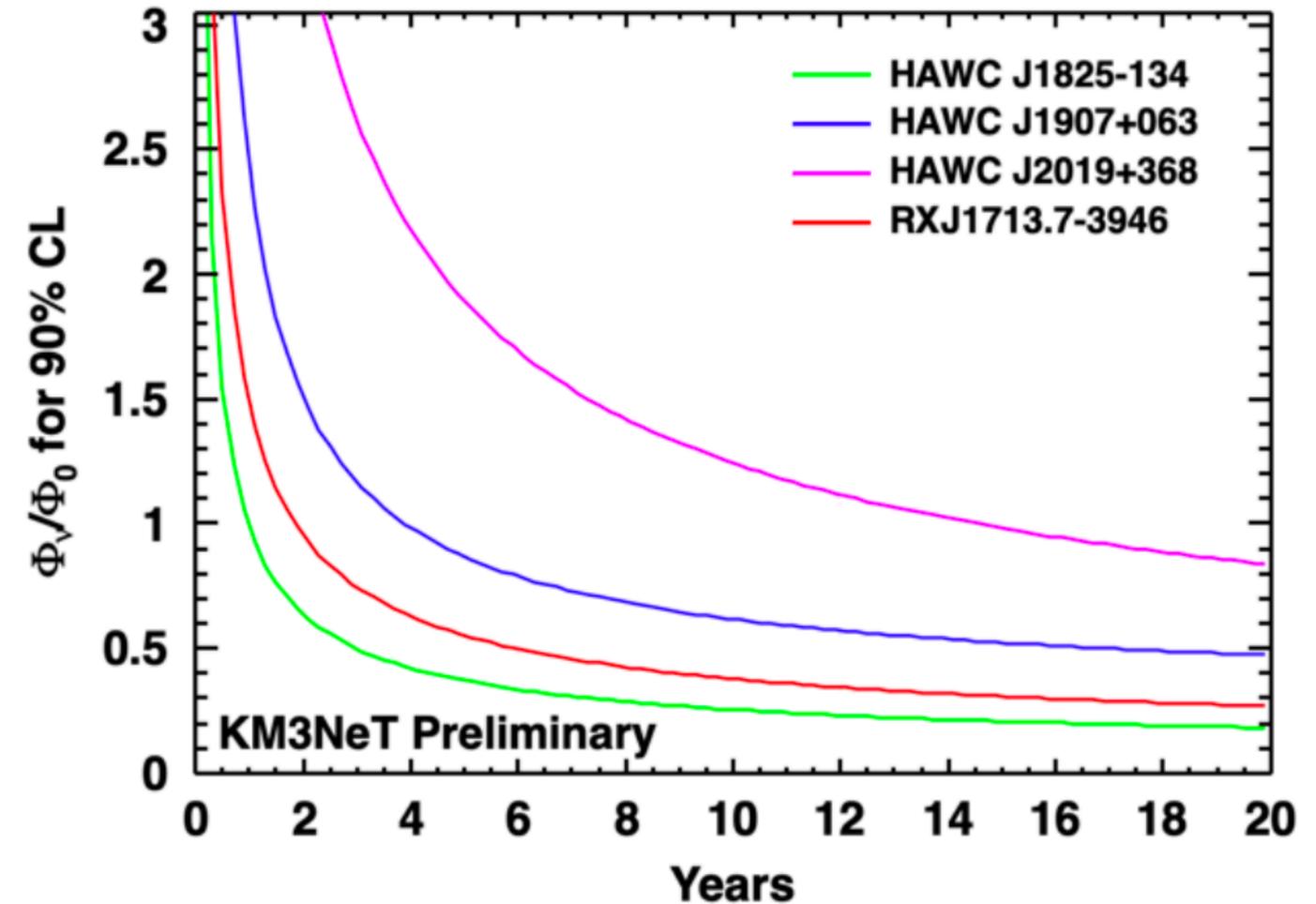


ARCA 2BB: sensibilità a sorgenti puntiformi ed estese

Sensibilità a sorgenti puntiformi E^{-2}



Sensibilità a sorgenti estese



Muller et al. [KM3NeT Coll.], PoS (ICRC2021) 1077

Conclusioni

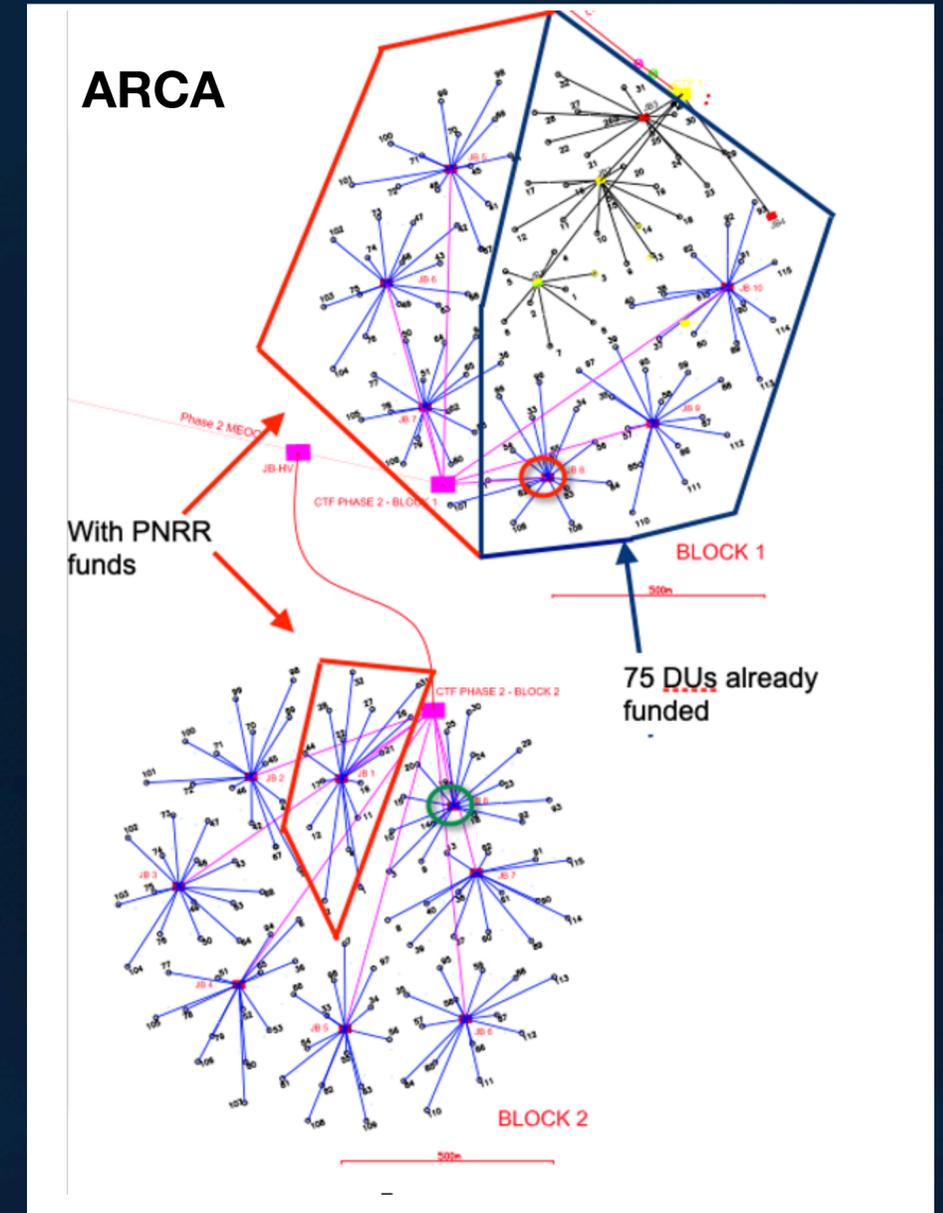
KM3NeT è un'infrastruttura di ricerca nel Mar Mediterraneo che ospiterà la prossima generazione di telescopi sottomarini di neutrini: **ARCA** (Capo Passero, Italia) e **ORCA** (Toulon, Francia)

- ▶ KM3NeT è in fase di costruzione
- ▶ Acquisizione dati nelle configurazioni ARCA21 e ORCA20
- ▶ Analisi dei dati acquisiti:

Verifica delle performance dei rivelatori (risoluzione angolare e ricostruzione in energia)

Numerose analisi per la ricerca di neutrini cosmici in corso (sorgenti puntiformi, sorgenti estese, flussi diffusi, time-dependent analysis...)

- ▶ Fondi PNRR per la costruzione di ~130 strings (ARCA)



Il rate di costruzione del telescopio aumenterà nei prossimi anni ...risultati promettenti attesi!

