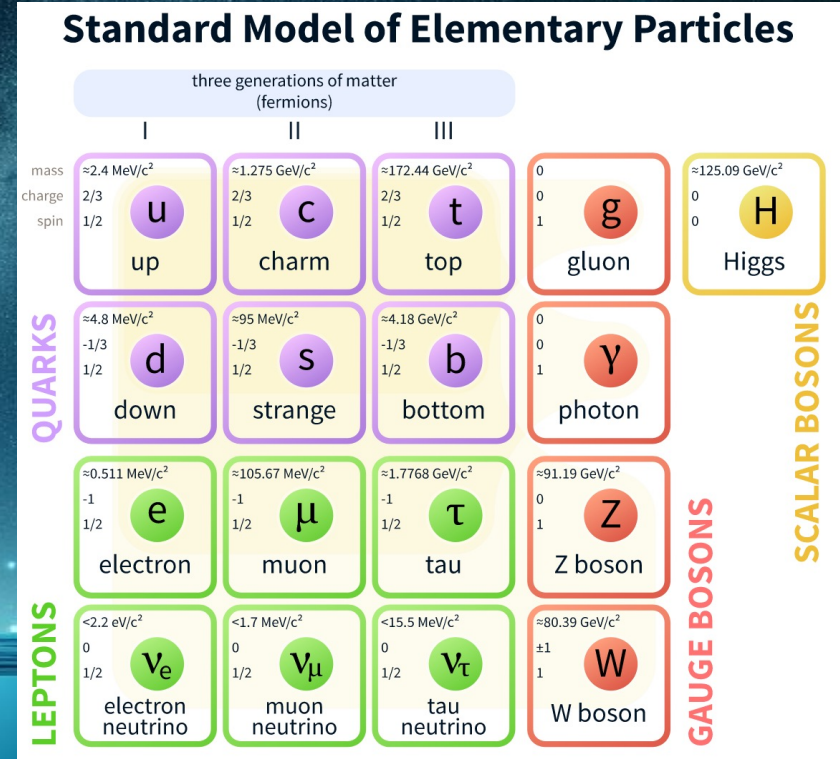


DALLE PROFONDITÀ DEL COSMO ALLE
PROFONDITÀ DEL MEDITERRANEO:
IL NEUTRINO DI PIÙ ALTA ENERGIA MAI
MISURATO

Dr.ssa Chiara Poirè,
per la Collaborazione KM3NeT

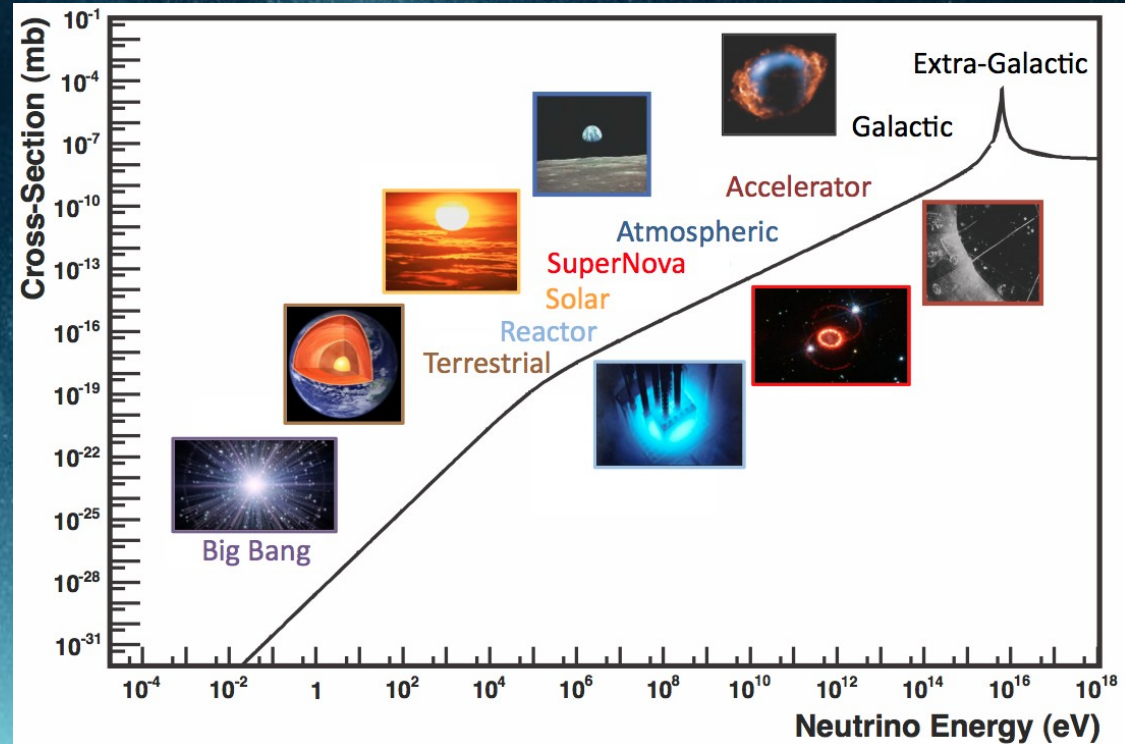
CARATTERISTICHE DEI NEUTRINI

- Particelle elementari fermioniche
→ massa $< 1 \text{ eV}$
- Carica neutra
- Sono sempre accompagnati dal
rispettivo leptone carico
- Interazione debole
- oscillano -> cambiano il sapore
- Non sono parenti dei neutroni



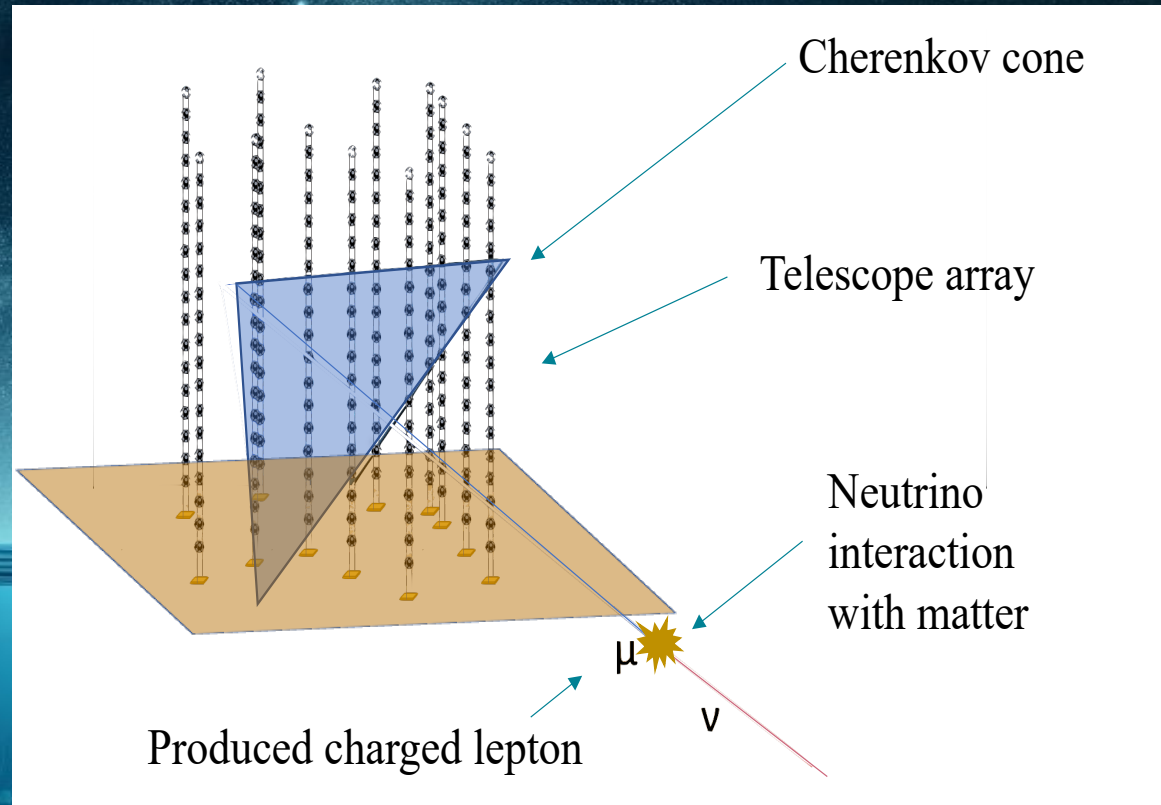
T NEUTRINI

- La probabilità che un neutrino interagisca nella materia dipende dalla sua energia
- Neutrini più energetici hanno maggiori probabilità di interagire
 - Un neutrino solare in acqua interagisce in media una volta ogni 10^{15} m (*mille miliardi di km*)
 - A neutrini galattici ed extragalattici “bastano” spessori di acqua di $10.000 \div 100.000$ km
 - Per questo un modo “economico” per realizzare telescopi di neutrini di origine astrofisica/cosmica è quello di usare grandi quantità di acqua, per esempio quella marina



CARATTERISTICHE DEI TELESCOPI DI NEUTRINI

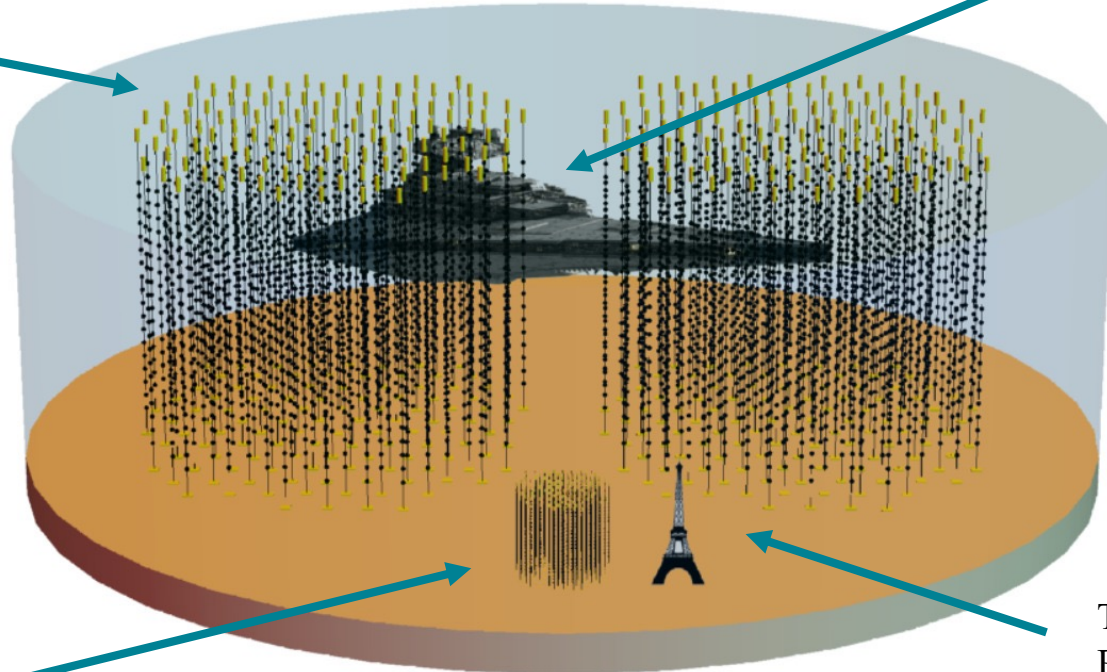
- Grandi volumi: offre un gran numero di nucleoni bersaglio per le interazioni dei neutrini
- Mezzo trasparente: consente la propagazione dei fotoni Cherenkov emessi dalle particelle cariche relativistiche prodotte dalle interazioni dei neutrini
- Grande profondità: fornisce schermatura contro le particelle secondarie prodotte dai raggi cosmici



KM3NET

KM3NeT/ARCA
1 km³
(now 33 linee)

Star Destroyer,
Galactic Empire



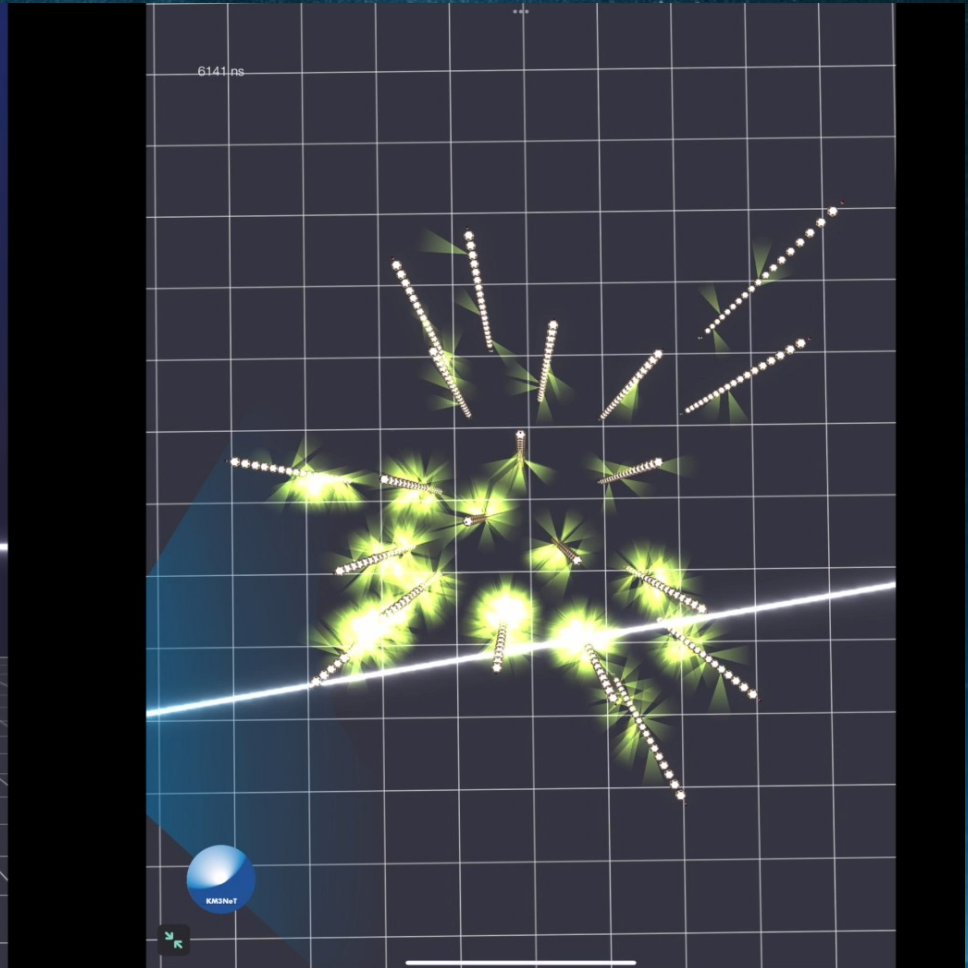
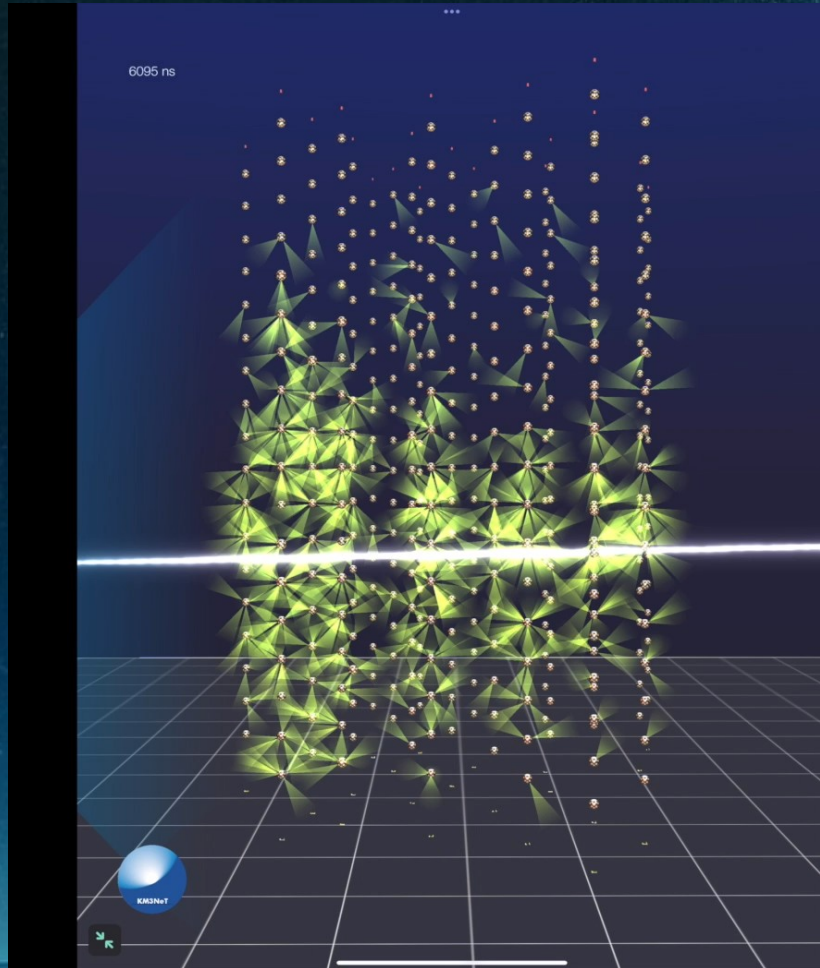
KM3NeT/ORCA
0.007 km³
(now 24 linee)

Tour Eiffel,
Paris 1889

IL NEUTRINO PIÙ ENERGETICO MAI VISTO

- KM3NeT ha osservato l'evento KM3-230213A
- Si tratta del neutrino di più alta energia mai misurata
- Dell'ordine di 100 PeV = cento milioni di miliardi di elettron Volt
- È un evento di tipo traccia, cioè l'interazione del neutrino ha generato un muone che ha attraversato il telescopio ARCA
- All'epoca dell'osservazione ARCA era costituito da sole 21 linee

IL NEUTRINO PIÙ ENERGETICO MAI VISTO



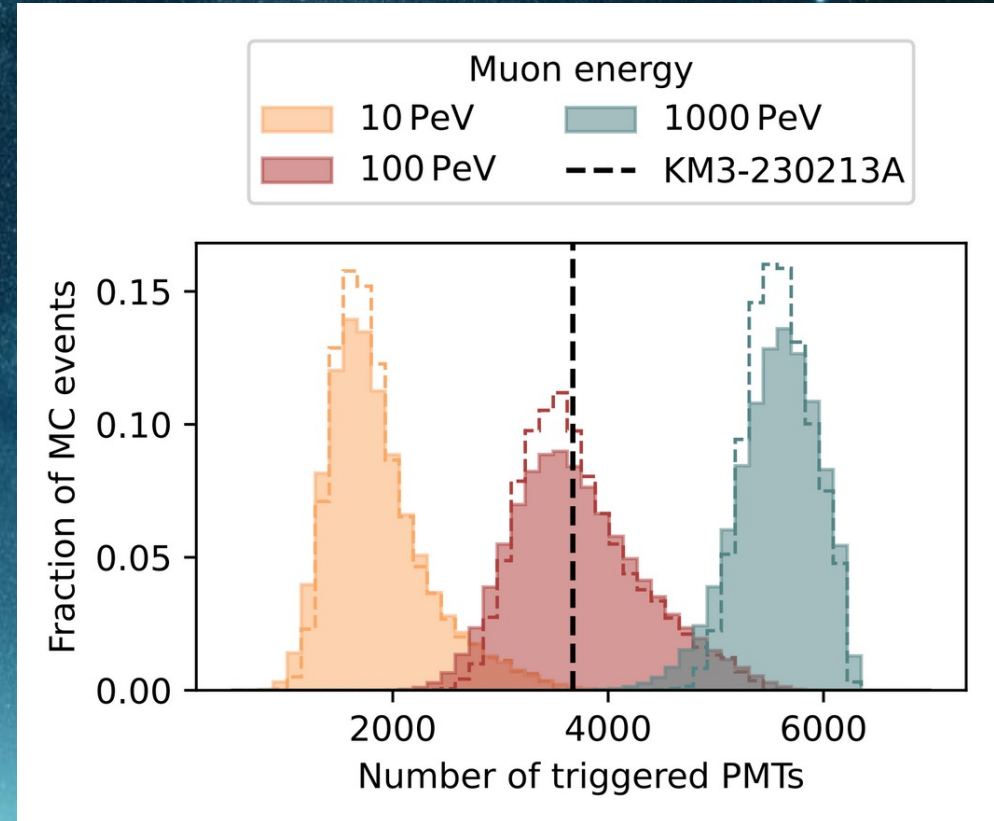
IL NEUTRINO PIÙ ENERGETICO MAI VISTO

- L'energia si stima dalla quantità di luce prodotta dalla particella carica (luce Cherenkov) che passa attraverso il telescopio
- L'energia del muone quando iniziamo a vederlo nel nostro detector è:

$$E_{\mu} = 120_{-60}^{+110} \text{ PeV}$$

- L'energia del neutrino che ha generato il muone è ancora più alta:

$$E_{\nu} = 220_{-100}^{+570} \text{ PeV}$$

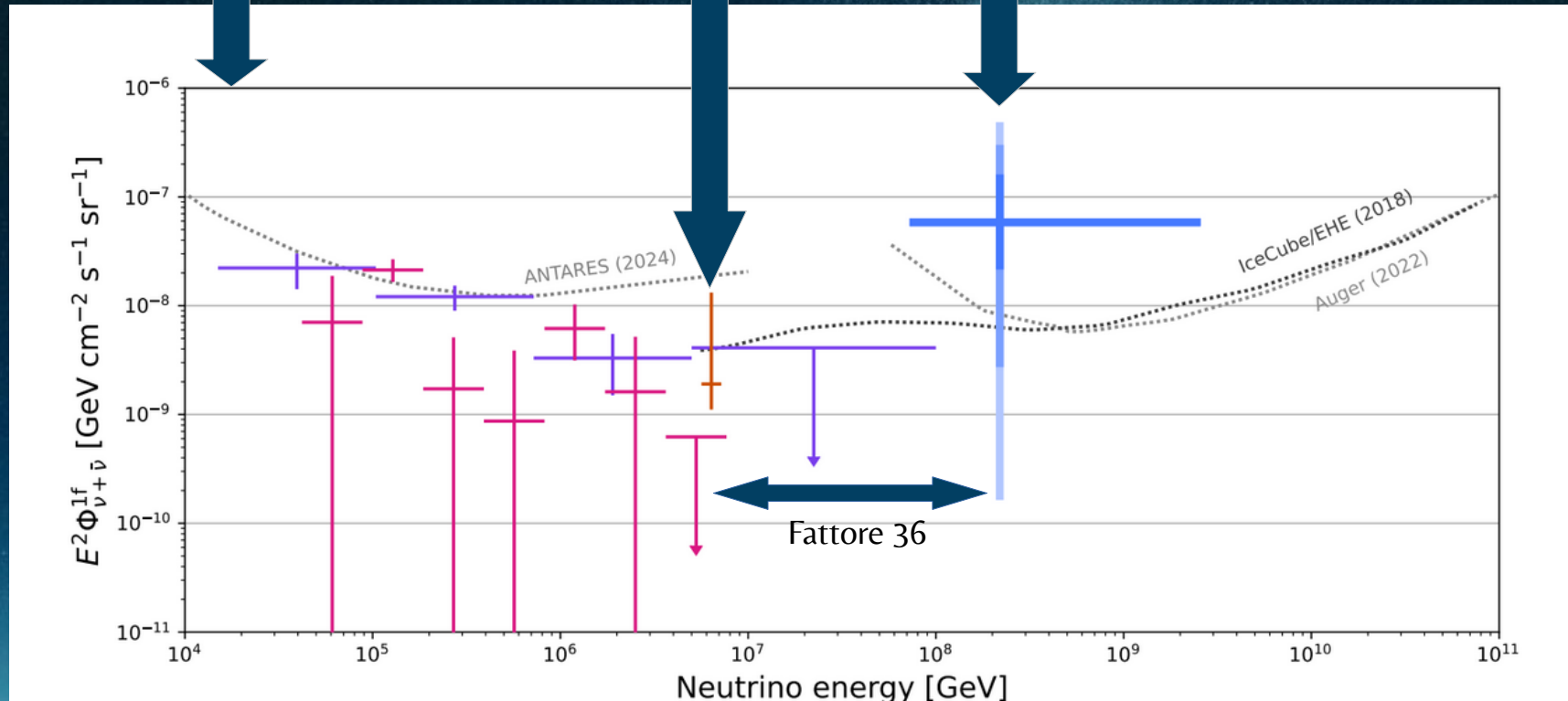


IL NEUTRINO PIÙ ENERGETICO MAI VISTO

LHC@CERN

Il precedente
neutrino di
alta energia

La nostra osservazione

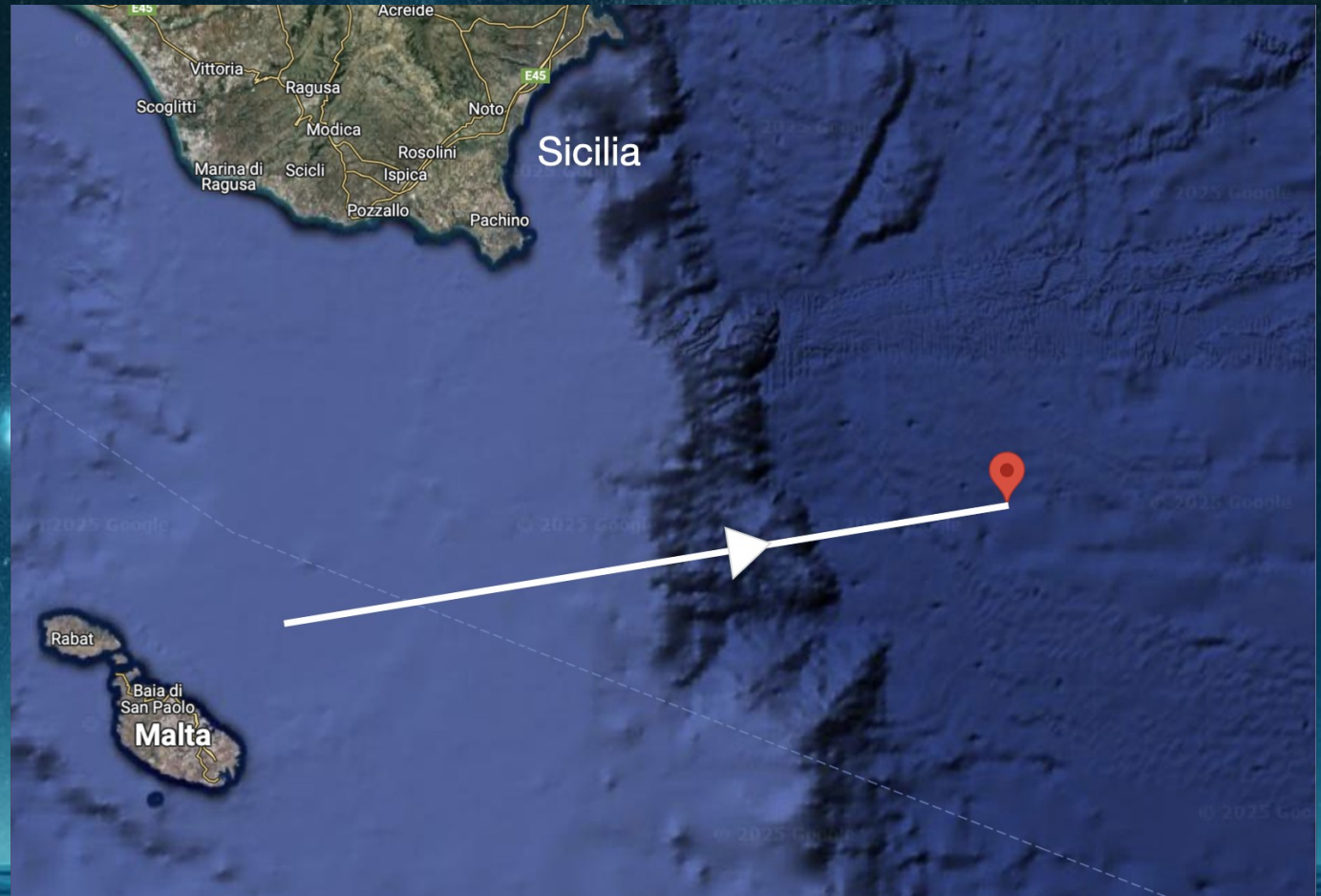


IL NEUTRINO PIÙ ENERGETICO MAI VISTO

La direzione in
coordinate locali è:

$$\text{azimuth} = 259.8^\circ$$

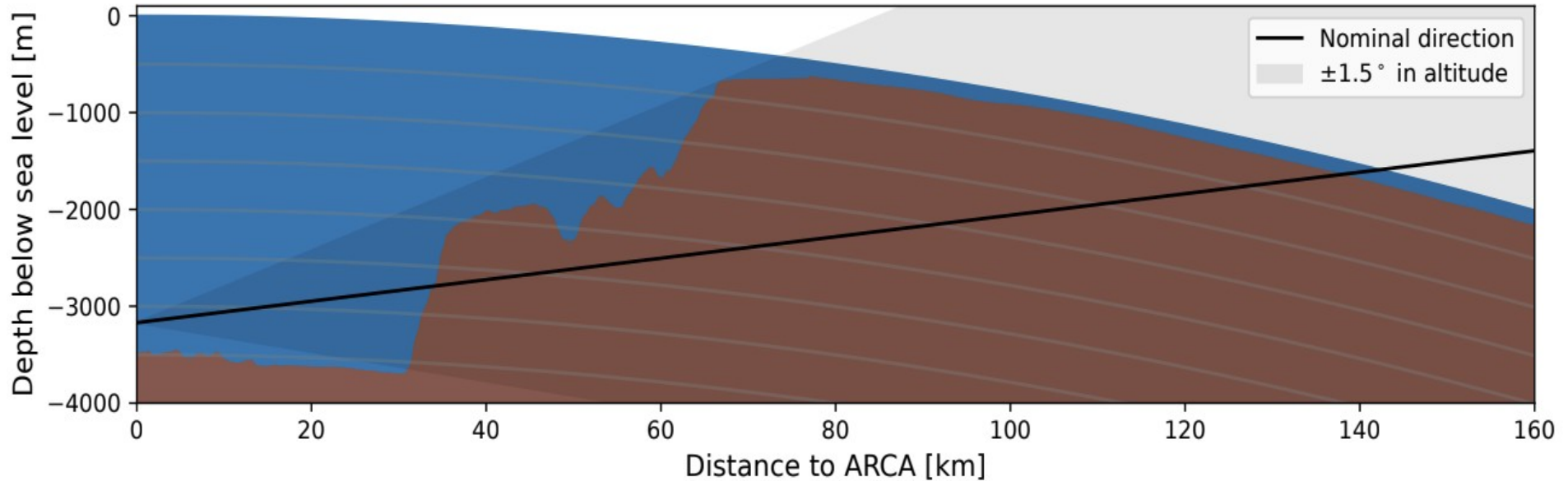
$$\text{zenith} = 89.4^\circ$$



IL NEUTRINO PIÙ ENERGETICO MAI VISTO

La direzione in coordinate locali è: $azimuth=259.8^\circ$, $zenith=89.4^\circ$

Questa scogliera nel pressi del telescopio è un ottimo filtro naturale per le particelle cariche “indesiderate”

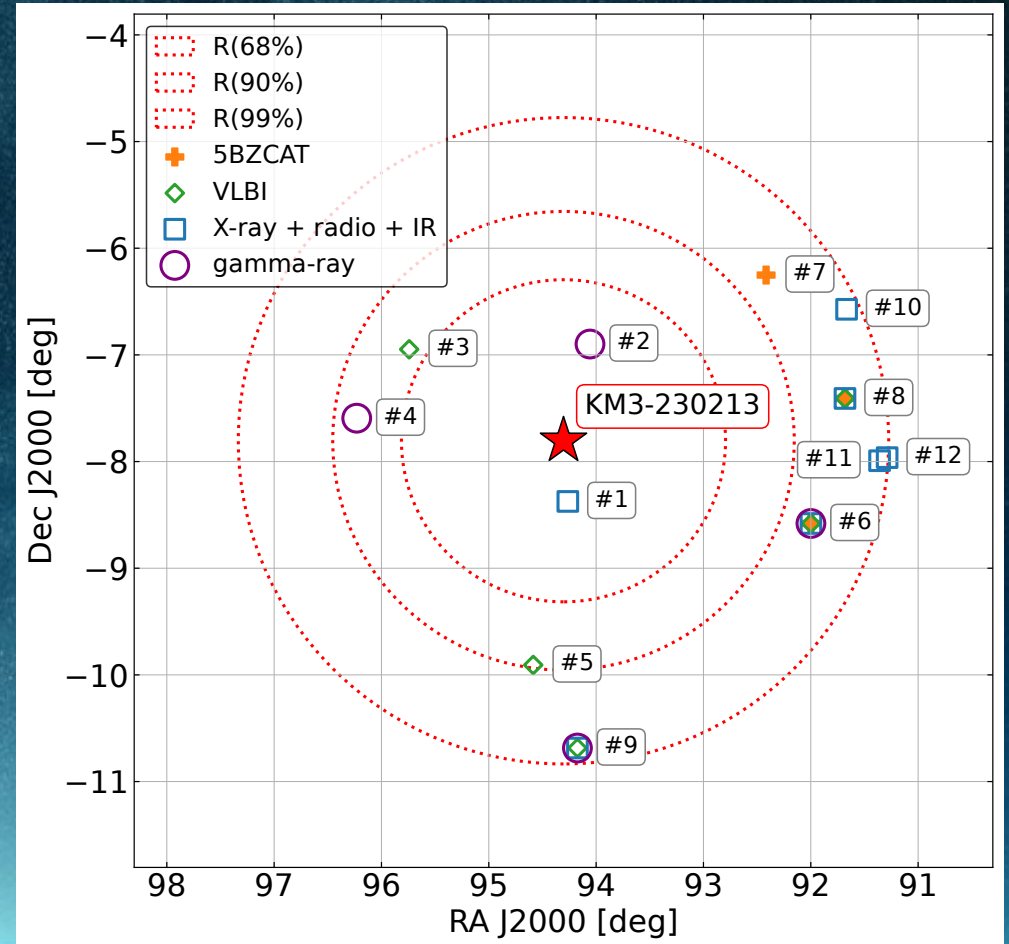


L'ORIGINE DEL NEUTRINO SUPER-ENERGETICO

- Può essere un neutrino di origine atmosferica?
No, perché ha un'energia molto maggiore
- Può essere un muone atmosferico?
No, perché ha attraversato una quantità di materiale molto estesa
- Può essere di origine galattica?
Potrebbe, ma la sua direzione è fuori dal piano della Via Lattea e la sua energia è molto maggiore di quelle raggiungibili in oggetti galattici
- Può essere di origine extra-galattica?
Questa è l'ipotesi più probabile

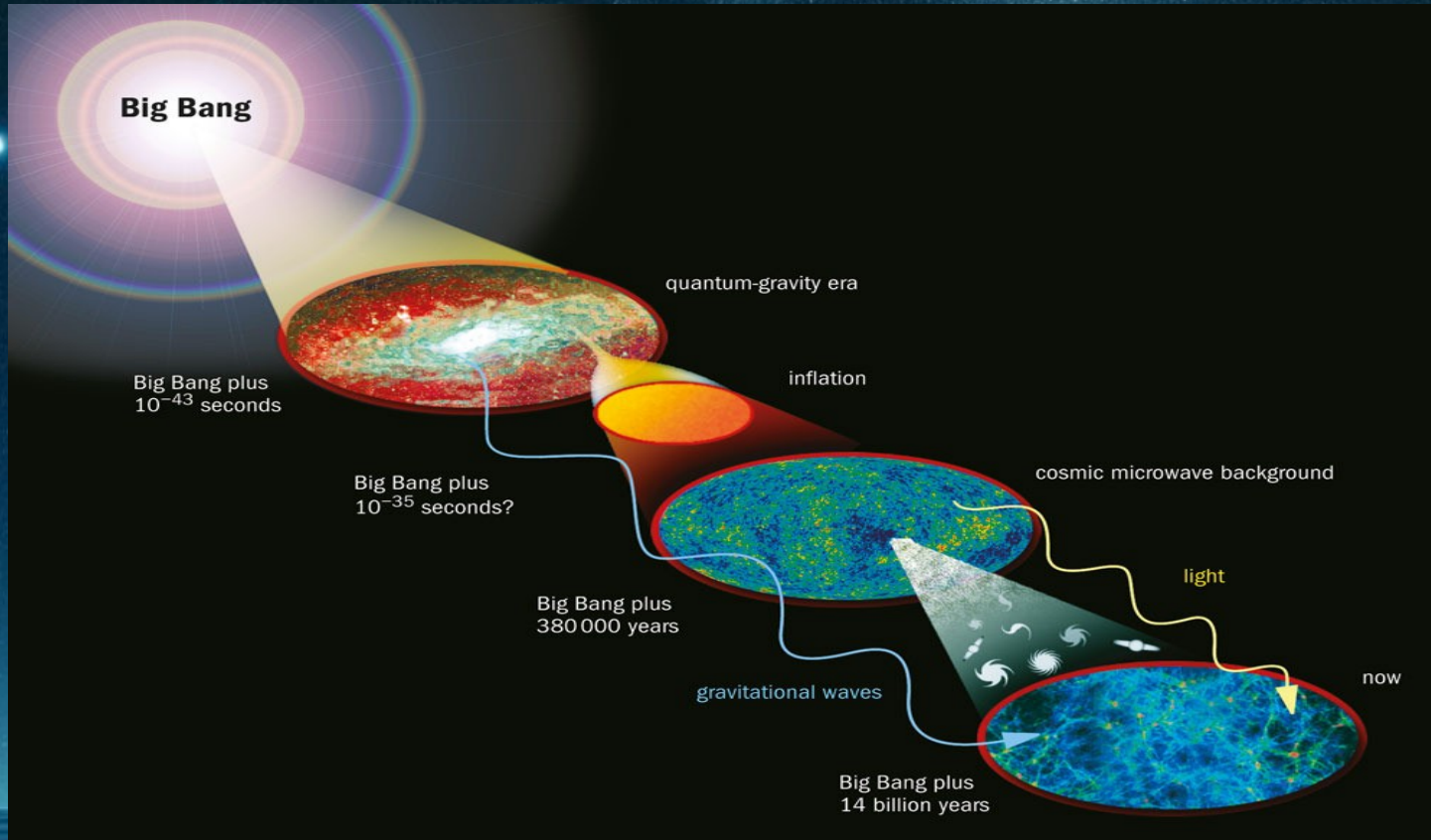
L'ORIGINE DEL NEUTRINO SUPER-ENERGETICO

- I Nuclei Galattici Attivi sono le sorgenti extra-galattiche più accreditate come sorgenti di neutrini di altissima energia
- Abbiamo cercato tra quelle note e compatibili in direzione con l'evento
- Nessuna di queste correlazioni può essere stabilita in maniera significativa: dobbiamo ancora migliorare la precisione per identificare la sorgente



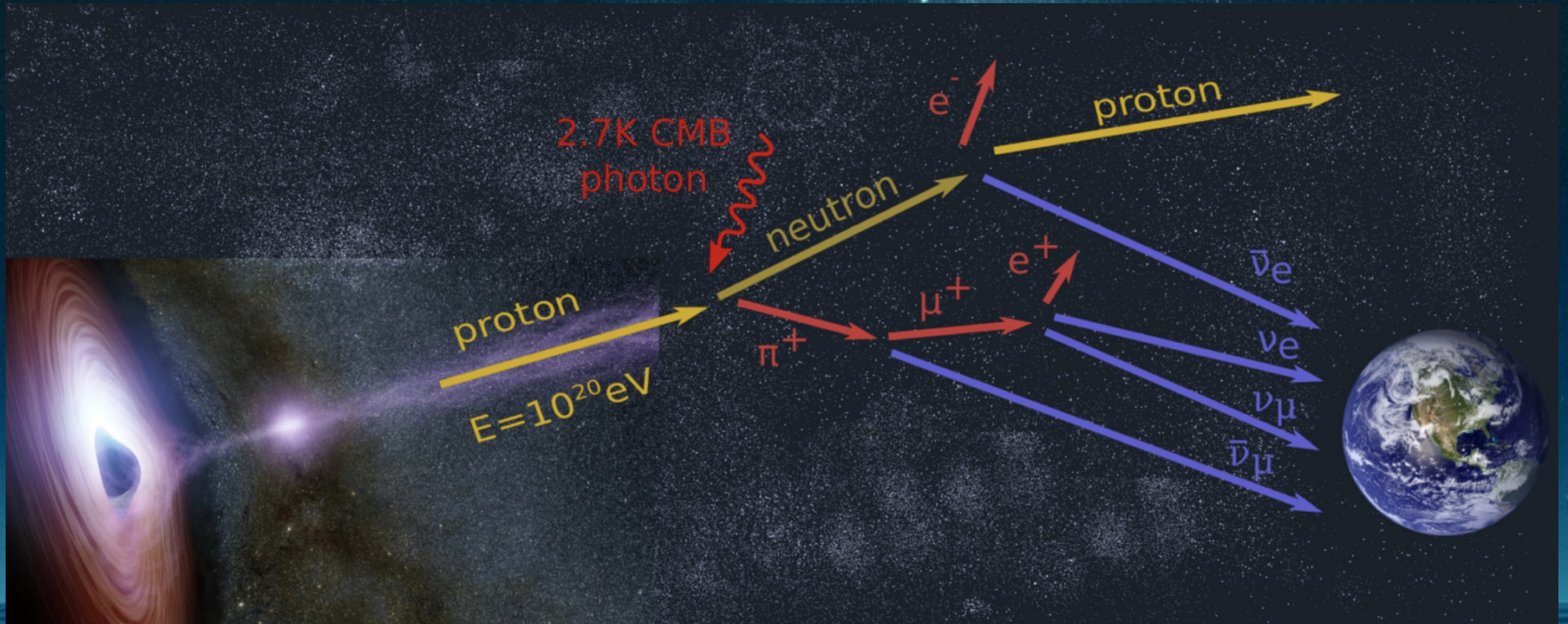
L'ORIGINE DEL NEUTRINO SUPER-ENERGETICO

Origine cosmogenica del neutrino: cosa è la CMB, o Radiazione Cosmica di Fondo?
Immagine dell'Universo nascente



L'ORIGINE DEL NEUTRINO SUPER-ENERGETICO

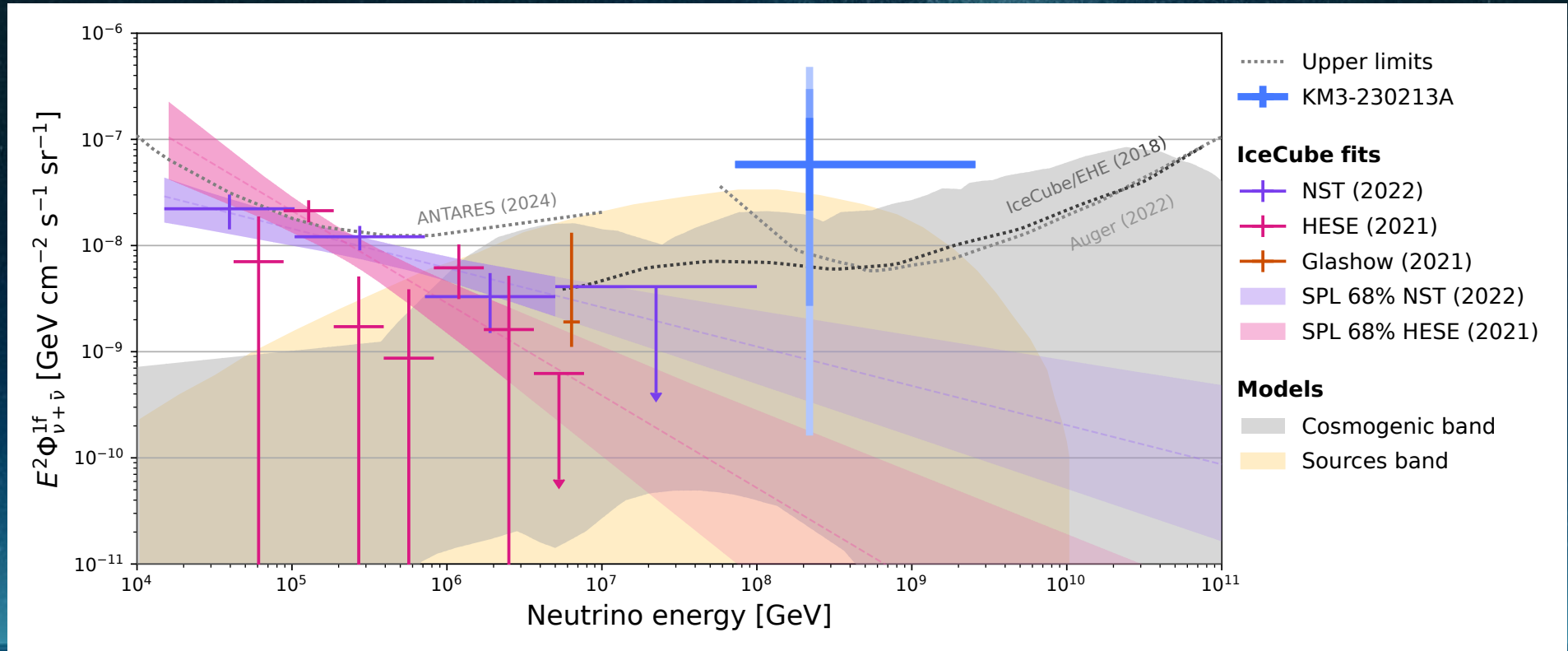
Ipotesi origine cosmogenica del neutrino: generato da un protone che ha “urtato” la radiazione cosmica di fondo



L'ORIGINE DEL NEUTRINO SUPER-ENERGETICO

Flussi misurati e attesi di neutrini di alta energia

L'evento KM3-230213A si trova in una regione ancora del tutto inesplorata



IL MESSAGGIO DEL NEUTRINO

- L'Universo è più vasto e più vario di quanto sappiamo
- L'Universo è più violento di quanto pensavamo
- KM3NeT, continua a studiare, crescere ed osservare
- Da un singolo ed eccezionale evento non è possibile - per ora - determinare la provenienza
- Ci aspettiamo (e speriamo) di osservare altri eventi simili nei prossimi anni

The international journal of science / 13 February 2025

nature

COSMIC CATCHER

Deep-sea telescope detects
neutrino with highest
energy ever recorded



GRAZIE PER
L'ATTENZIONE



Domande?

IL NEUTRINO PIÙ ENERGETICO MAI VISTO

- La direzione in coordinate celesti è $RA=94.3^\circ, DEC=-7.8^\circ$
- A questa direzione è associata un'incertezza
- KM3NeT ha due sistemi di posizionamento: orientamento dato dalle bussole e posizione nello spazio dato dal sistema acustico
- Questi dati vengono analizzati in maniera continua per determinare in ogni istante orientazione e posizione dei sensori ottici
- Ci sono anche altri fattori, per esempio la localizzazione globale degli elementi del telescopio sul fondale marino, che possono generare ulteriore incertezza
- Ognuno di questi fattori è accuratamente studiato per fare in modo che le incertezze siano più piccole possibili, ma ulteriori miglioramenti saranno possibili nei prossimi mesi