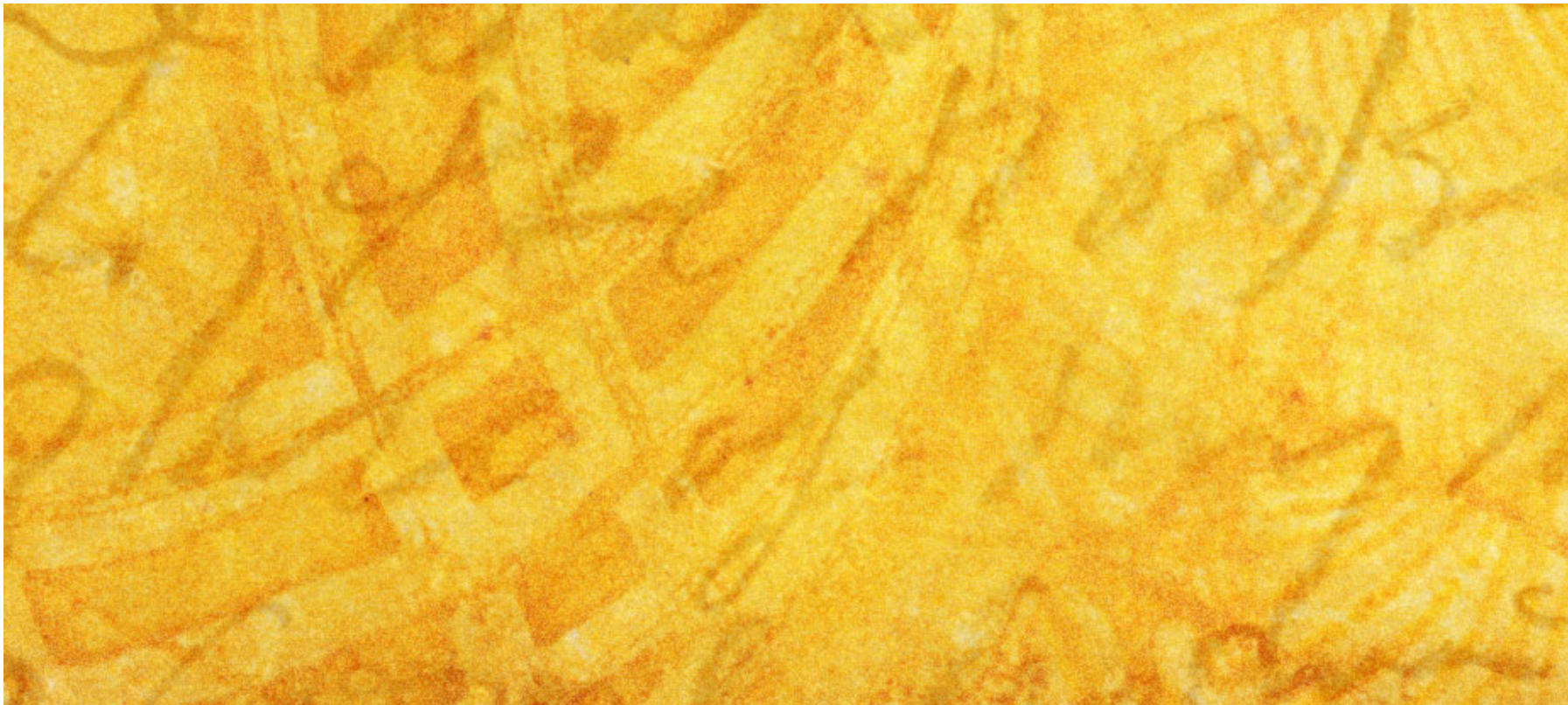




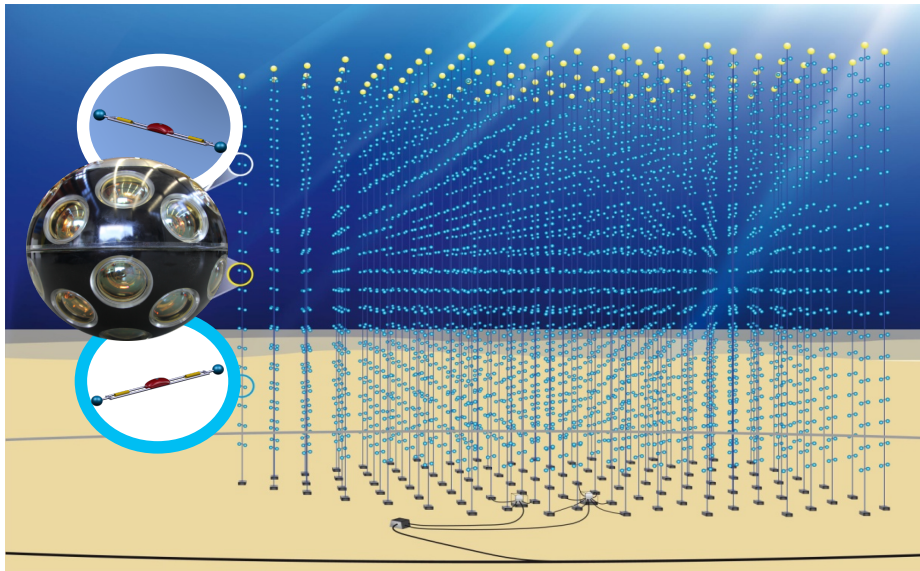
# KM3NeT – neutrino astronomia

Rosa Coniglione – LNS - INFN

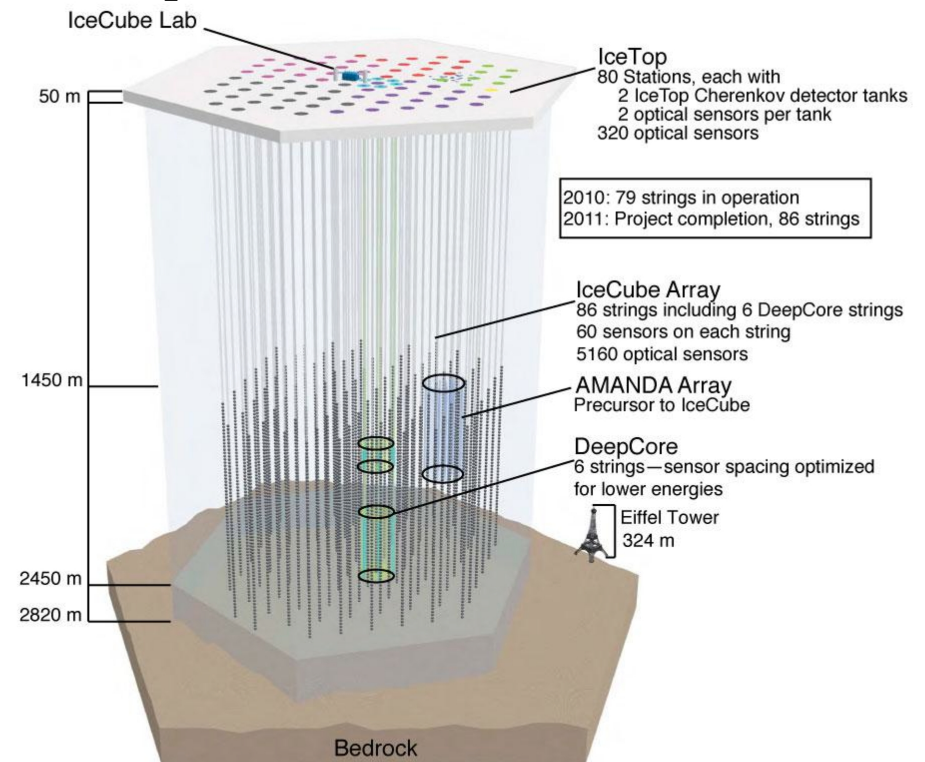


# Outline e contesto internazionale

- Perché un telescopio a neutrini nel Mediterraneo
- Le prestazioni di KM3NeT
- Il futuro  
KM3NeT nel mar Mediterraneo



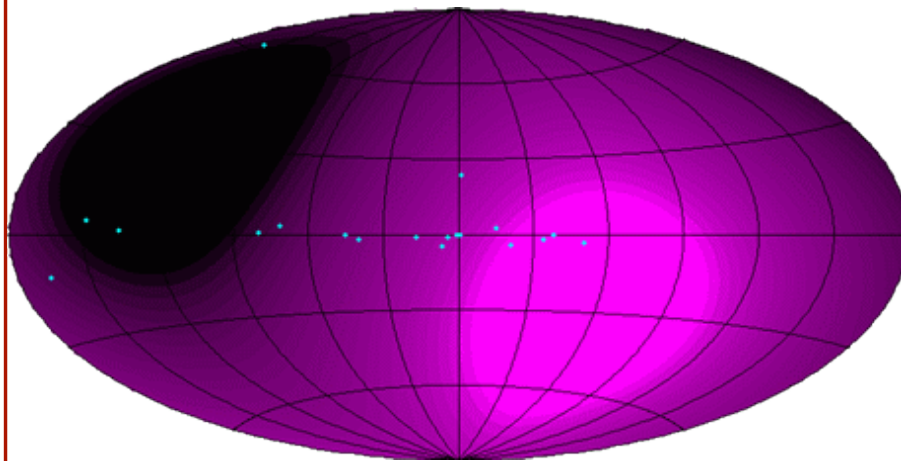
## Il competitor → IceCube al Polo Sud



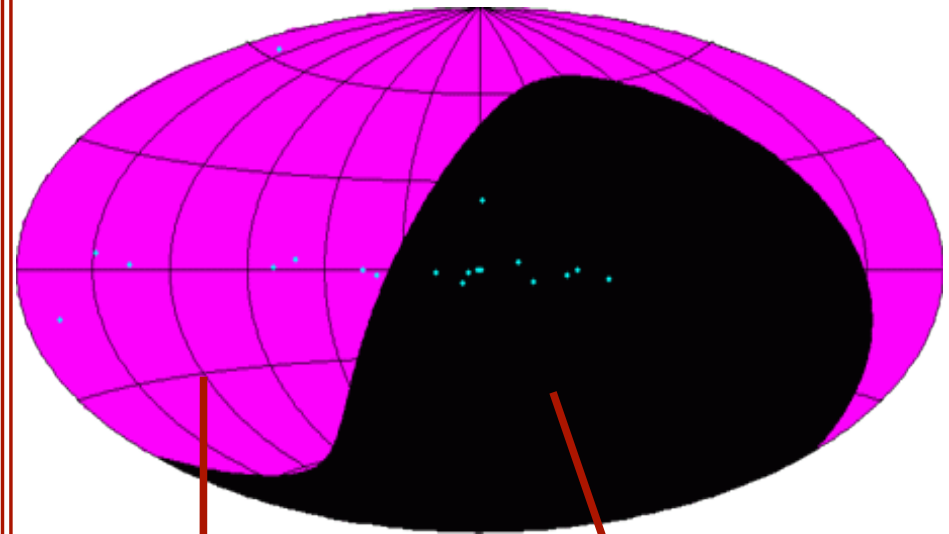
# Visibilità per eventi up-going

Coordinate galattiche

■ ANTARES e KM3NeT



● IceCube



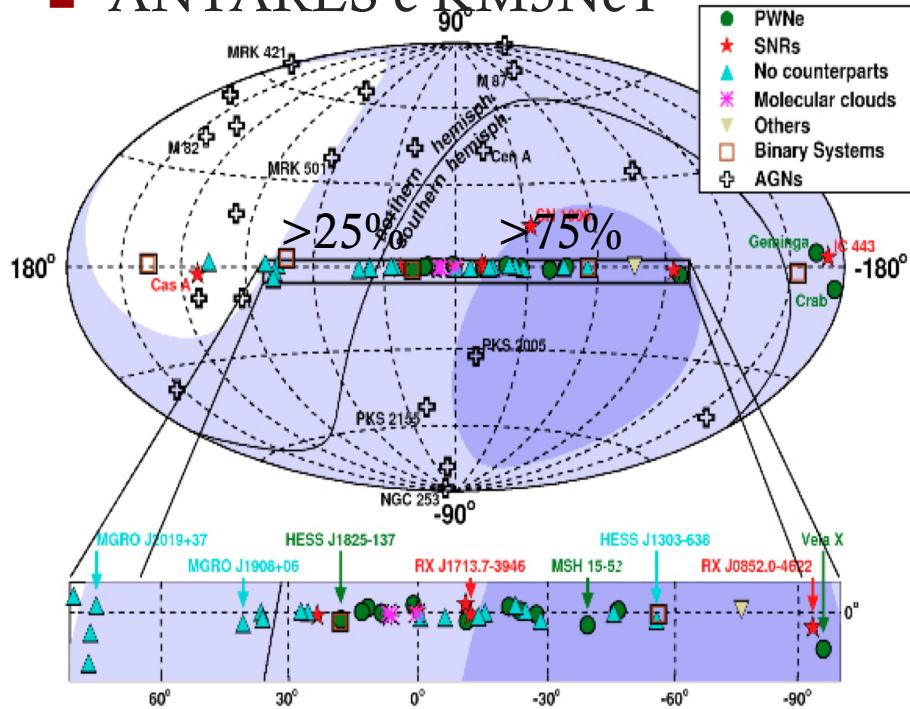
Emisfero nord

Emisfero sud

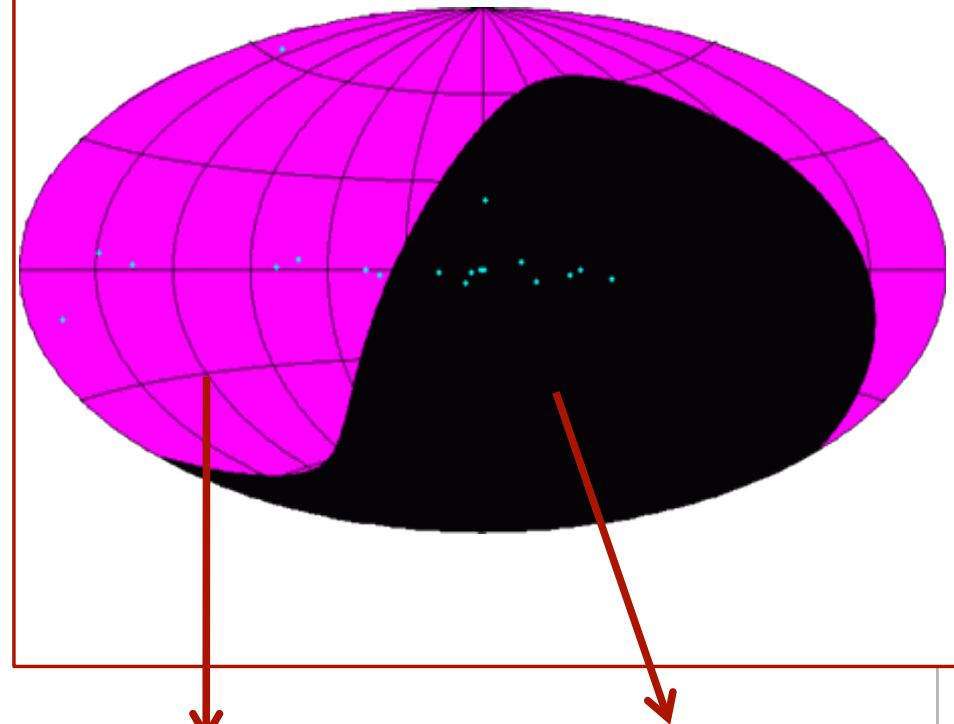
# Visibilità per eventi up-going

Coordinate galattiche

## ■ ANTARES e KM3NeT



## ● IceCube



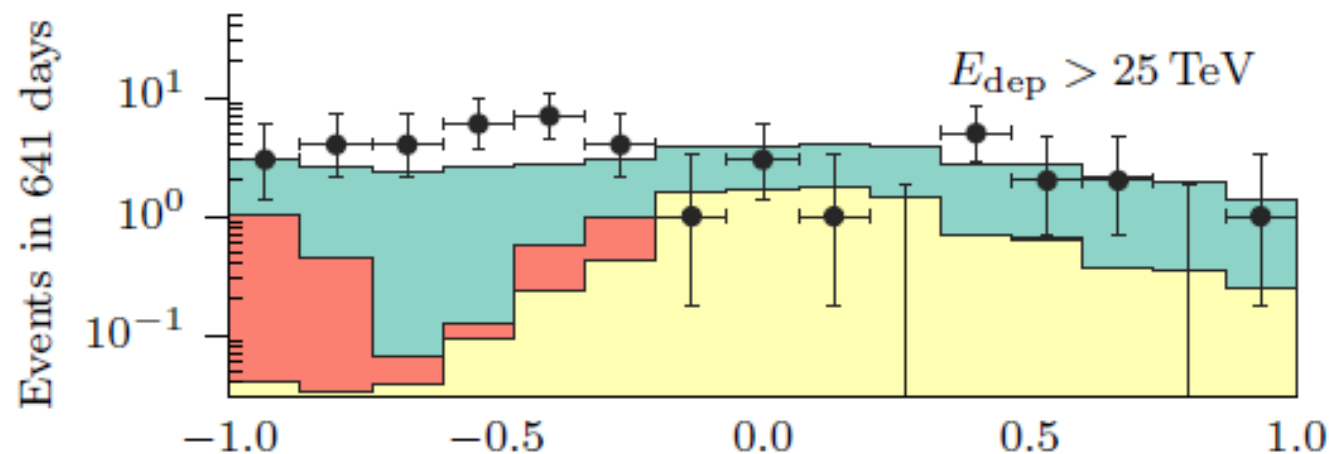
4

# Una nuova era davanti a noi

La scoperta di IceCube di un flusso di neutrini diffuso di origine astrofisico ha aperto una nuova era: **la neutrino astronomia**

- Principali caratteristiche del flusso scoperto:
  - Nessun evento osservato sopra qualche PeV. Flusso  $E^{-2}$  con cutoff (HESE analysis Science Nov. 2013) o proporzionale a  $E^{-2.5}$  ArXiv:1410.1749 (7-Oct 2014)
  - Anisotropia osservata → più eventi nel cielo sud (down-going)
  - Nessuna correlazione spaziale con sorgenti note

ArXiv:1410.1749 (7-Oct 2014)

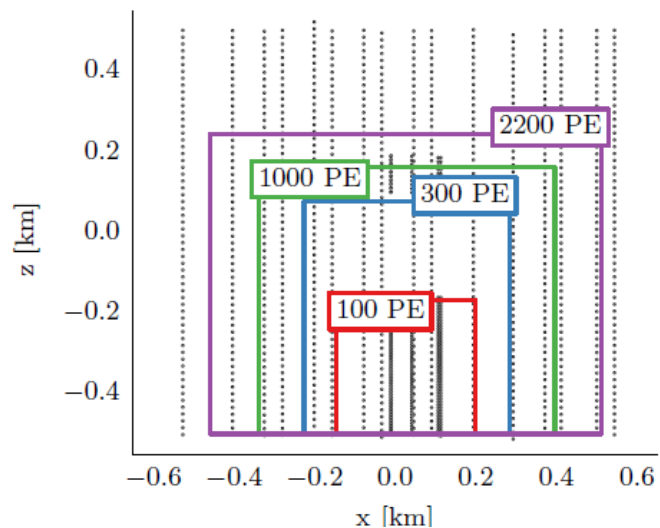
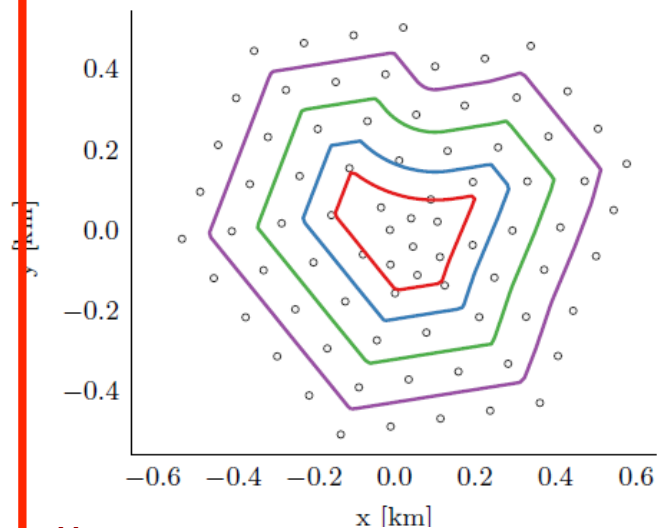


# Le tecniche sperimentali di IceCube

Per osservare anche il cielo sud e rimuovere il fondo di muoni e neutrini atmosferici sono state applicate tecniche di veto molto complesse

ArXiv:1410.1749 (7-Oct 2014)

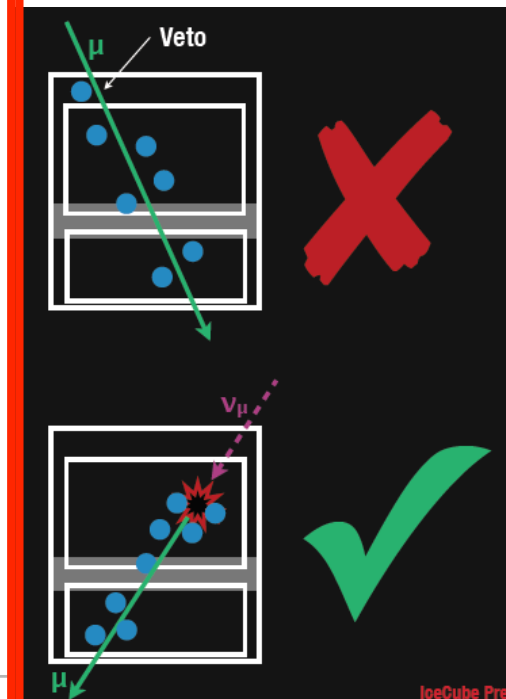
Soglia di 1 TeV



HESE analysis

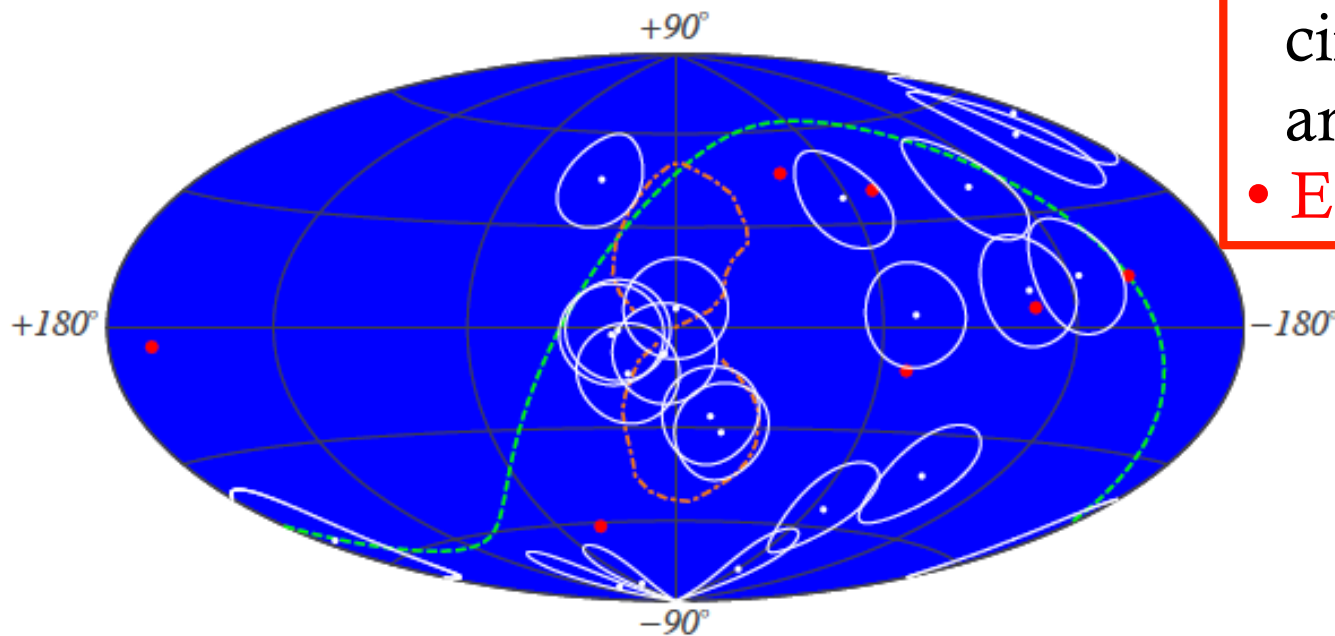
Soglia 100 TeV

$1\text{km}^3 \rightarrow 0.4\text{ km}^3$



# Da dove vengono?

- Eventi di cascata con circa  $15^\circ$  di risoluzione angolare
- **Eventi di traccia**



- 28 eventi rivelati:
- 21 cascata
  - 7 tracce

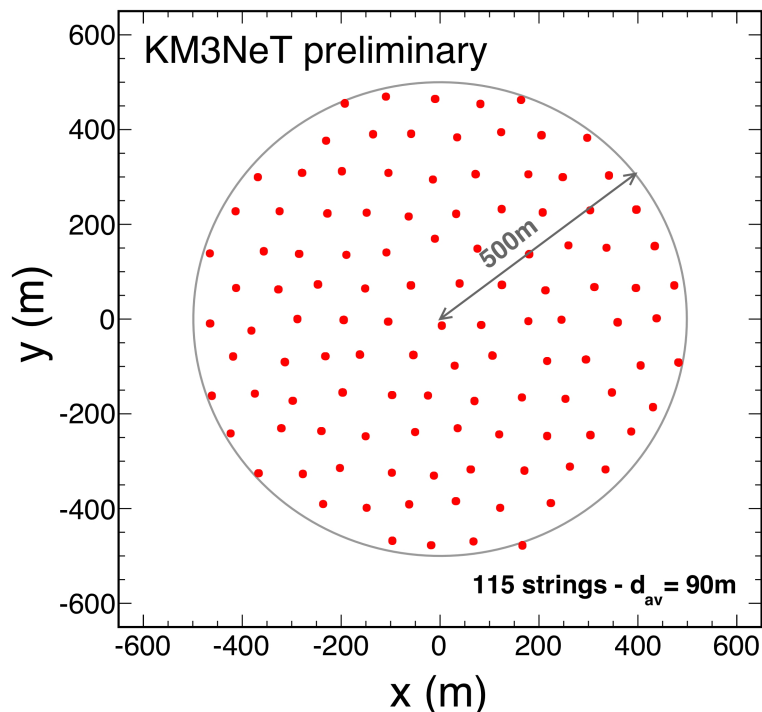
From S. Razzaque arXiv:1309.2756

Nessuna correlazione spaziale con sorgenti note.

*Origine ignota*

# KM3NeT

■ Il rivelatore KM3NeT consiste di diversi blocchi ognuno costituito da “Detection Unit”



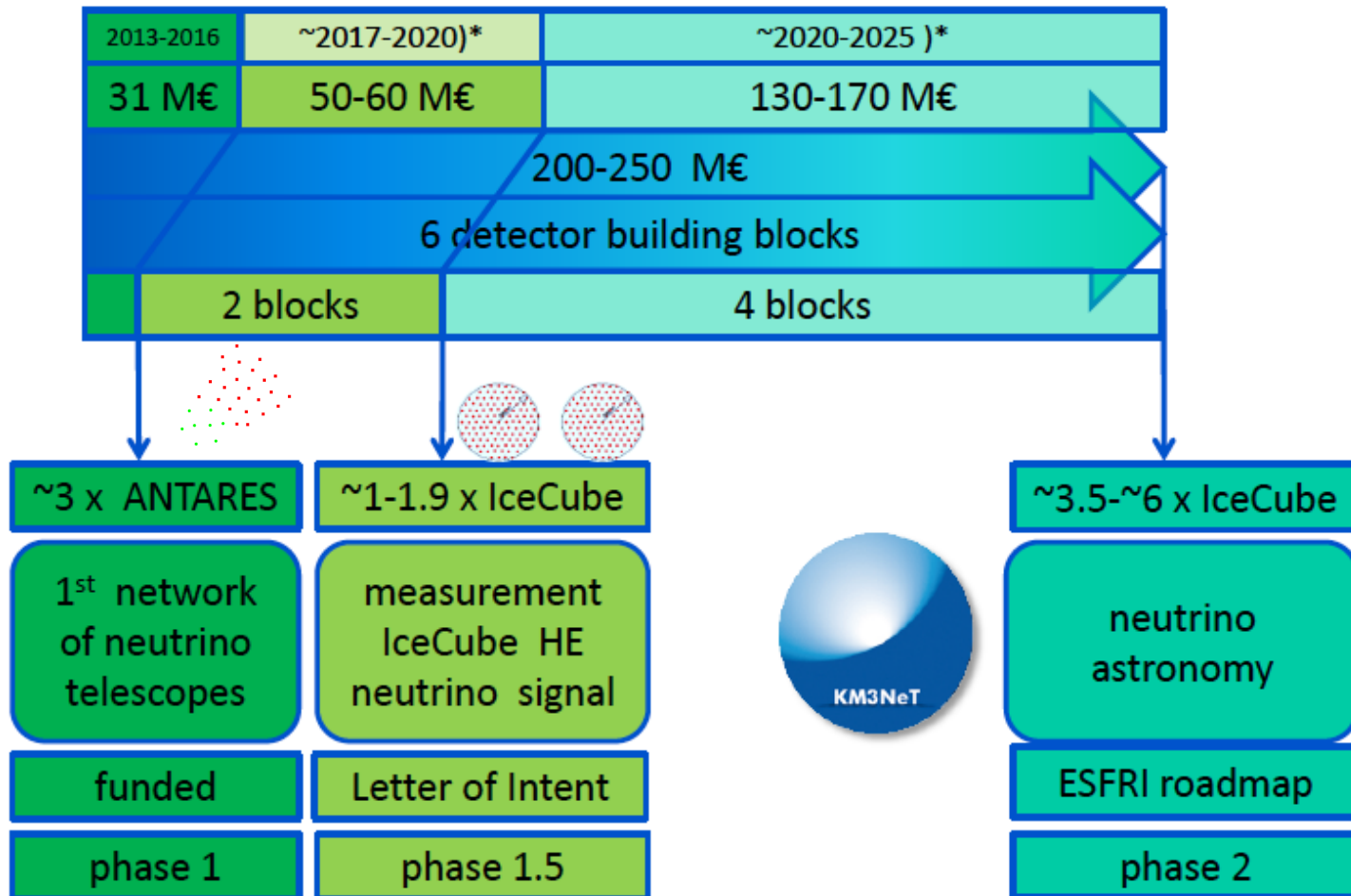
- Il singolo blocco:
  - ✓ 115 “Detection Units” (DU)
  - ✓ 18 “Digital Optical Module” (DOM) ognuno composto da 31 PMT da 3”
  - ✓ Distanza fra le DU 90-120 m
  - ✓ Distanza fra i DOM 36m

Un blocco ha un volume di  $0.5 \div 0.8 \text{ km}^3$

Geometria ottimizzata per la rivelazione di sorgenti Galattiche



# Le fasi di costruzione di KM3NeT



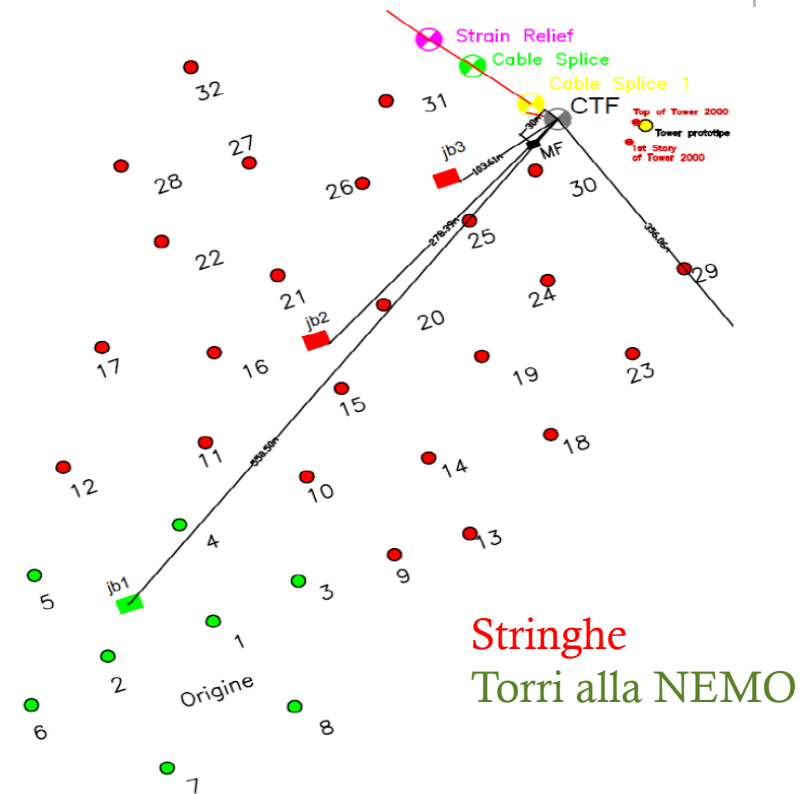
# KM3NeT Phase-1

10

Prova di fattibilità di un network di rivelatori di neutrini

- Fase di costruzione iniziata nel Gennaio 2014
- Finanziato con circa 30 milioni di Euro
- 31 “Detection Units” saranno installate nel 2015-2016
- Siti: KM3NeT-It - Capo Passero cor 8 torri + 24 DUs, KM3NeT-Fr – Tolone con 7 DUs

## KM3NeT-It



# The KM3NeT: Phase 1.5

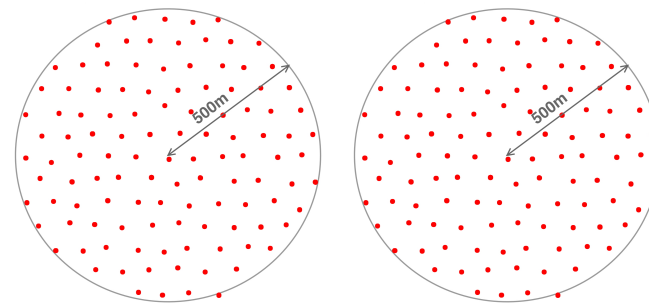
11

Misure di neutrini cosmici con un telescopio di qualche  $\text{km}^3$  nel mar Mediterraneo e confronto con i risultati di IceCube

2 blocchi di 115 “Detection Unit” ognuno ( $1\text{-}2 \text{ km}^3$  a secondo delle distanze fra le DU) con lo scopo di

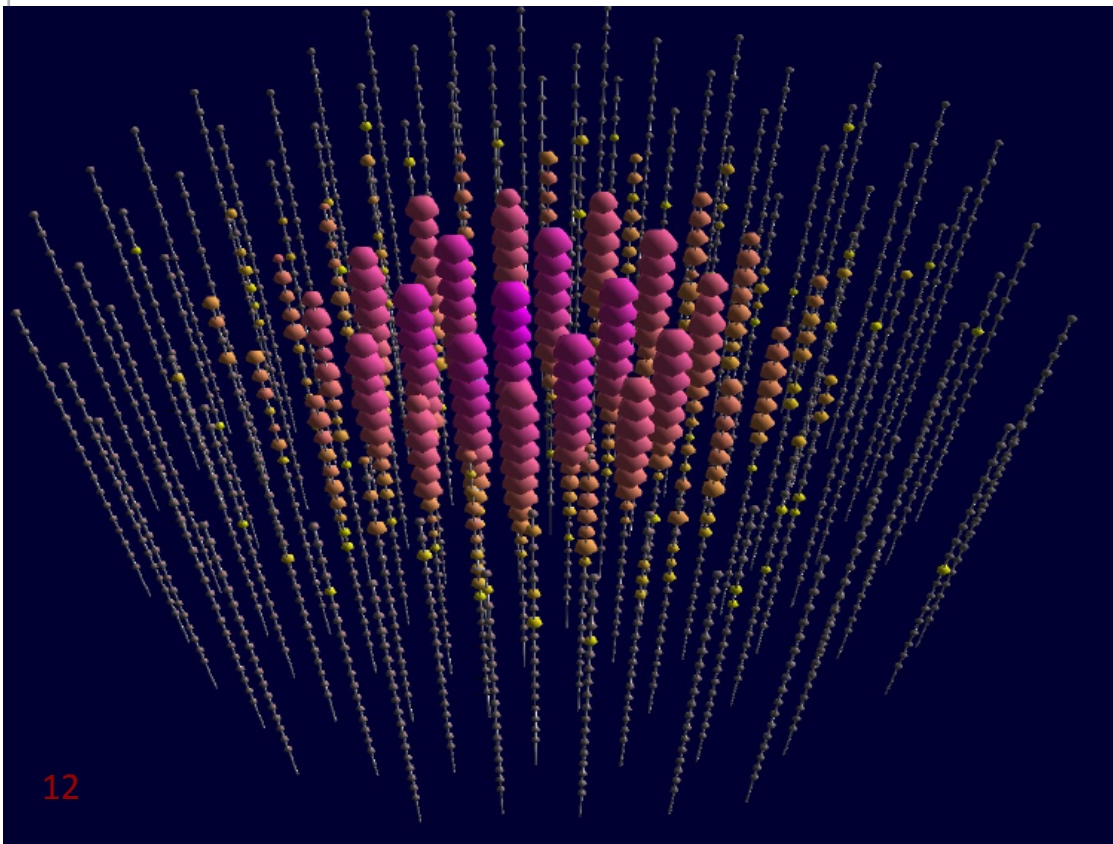
- Confronto con i risultati di IceCube con migliore risoluzione angolare e più ampio campo di vista
- Ricerca di anisotropie specialmente nella regione galattica con soglie basse  $E > 1 \text{ TeV}$
- Ricerca per indicazioni di sorgenti di neutrini – migliore risoluzione angolare in acqua

- LoI in preparazione per i primi mesi del 2015

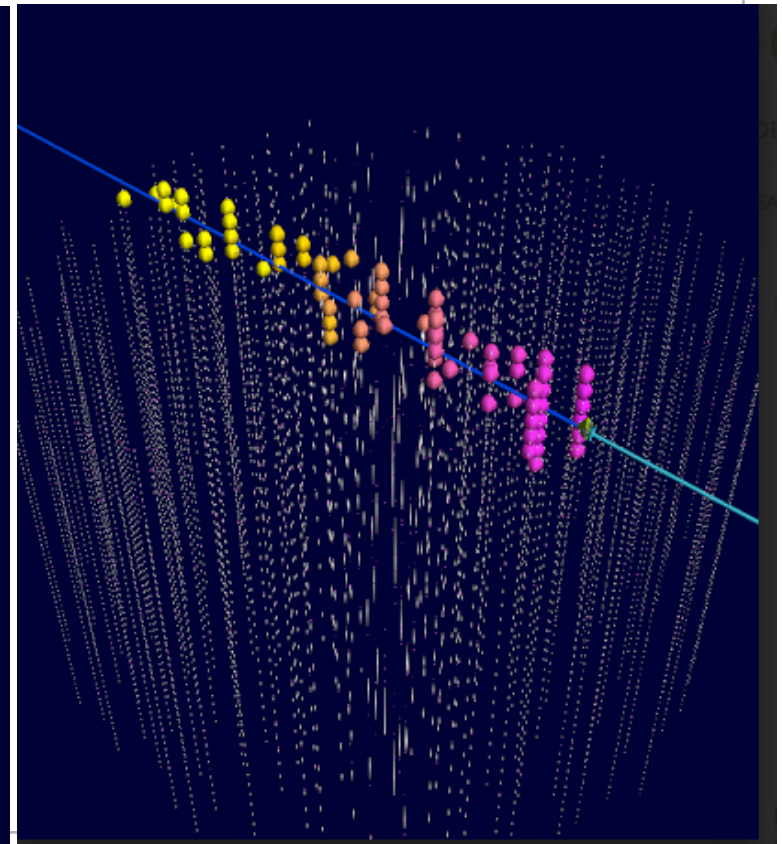


# Due tipi di eventi nei telescopi di neutrini

Evento di cascata da NC e  $\nu_e$  CC



Evento di traccia da  $\nu_\mu$  CC

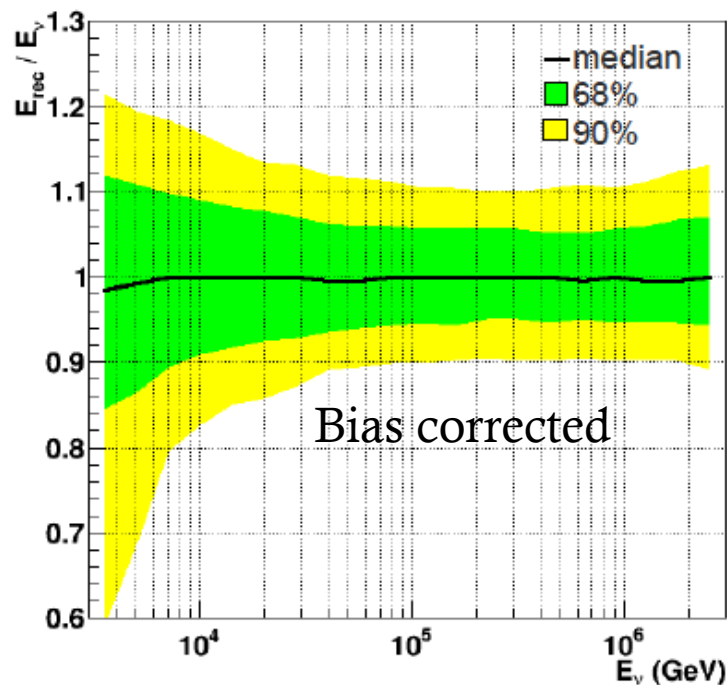


# Risoluzione per eventi di cascata

Solo per tracce contenute (vertice ricostruito dentro il volume del rivelatore)

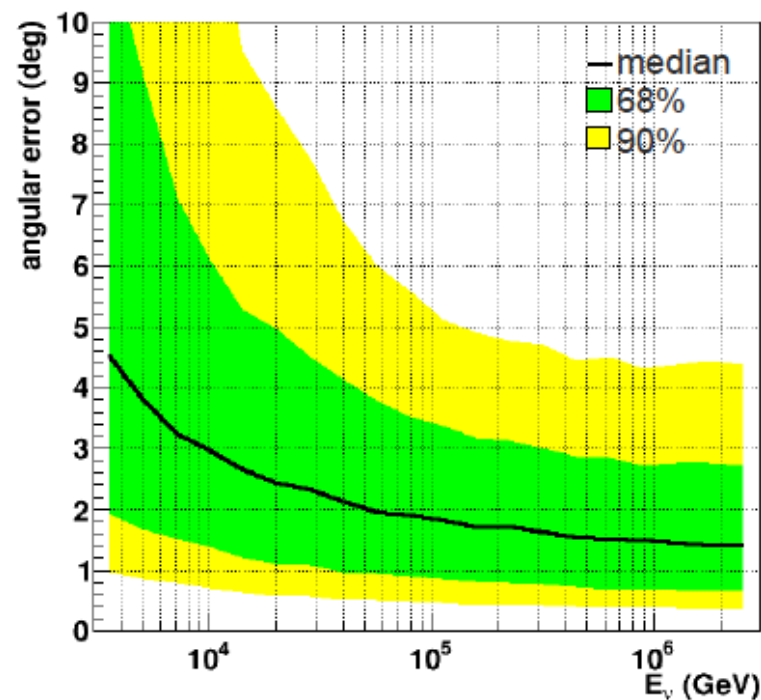
“systematic uncertainties” non incluse

energy resolution



Risoluzione in energia  
10% per  $E_\nu > 3$  TeV

direction resolution



Risoluzione in angolo  
 $4^\circ - 1.5^\circ$  per 3TeV -1PeV

# Analisi dei flussi diffusi da eventi di cascata

Non la stessa ricostruzione mostrata prima

## 1. First level cut – Nhit\_2k:

- Events below 2000 PMT pulses are dominated by background;
- Dusj and Q-strategy ~100% efficient on showers (above 10TeV):
  - Use both reconstruction informations.

## 2. Geometrical cut:

- Q-strategy shower vertex containment;
  - "pseudo vertex" for tracks/muon bundles.

## 3. ToT cut:

- Total Time over Threshold of Q-Strategy selected hits which are causally connected with the reconstructed shower vertex.

## 4. Boosted Decision Tree for background suppression:

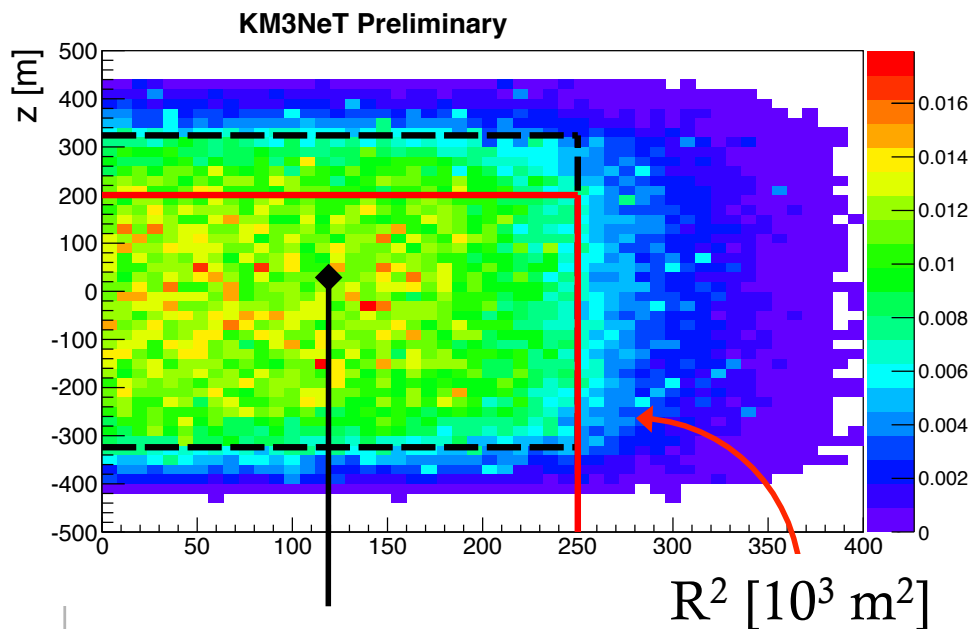
- Multivariate algorithm using both Q and Dusj informations;
- Simultaneous 2D-MRF minimization with  $\rho$  for the final selection.

# Reiezione dei muoni atmosferici

(pseudo) vertice ricostruito

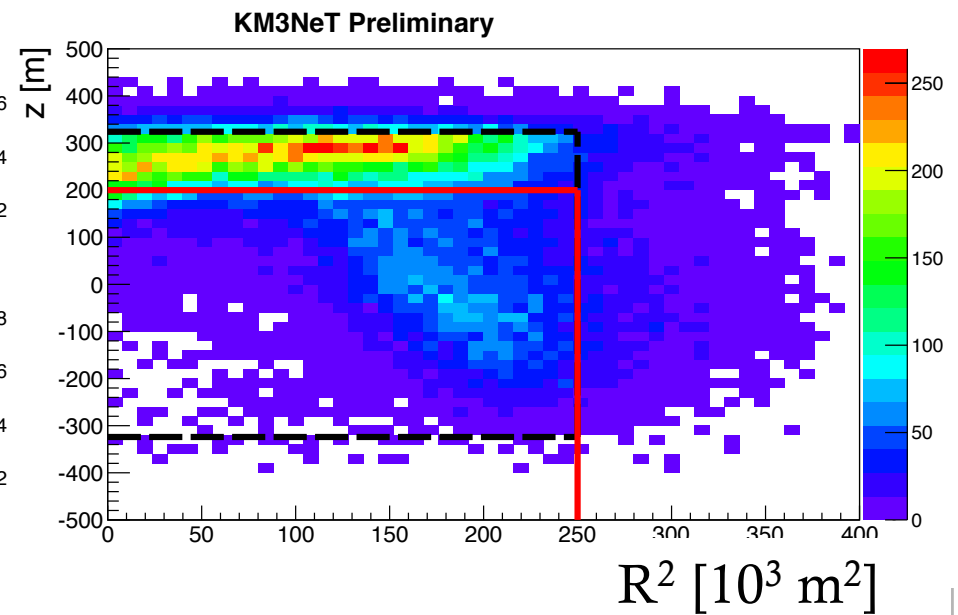
neutrini cosmici

Muoni atmosferici (circa 3 anni di live-time)



volume effettivo

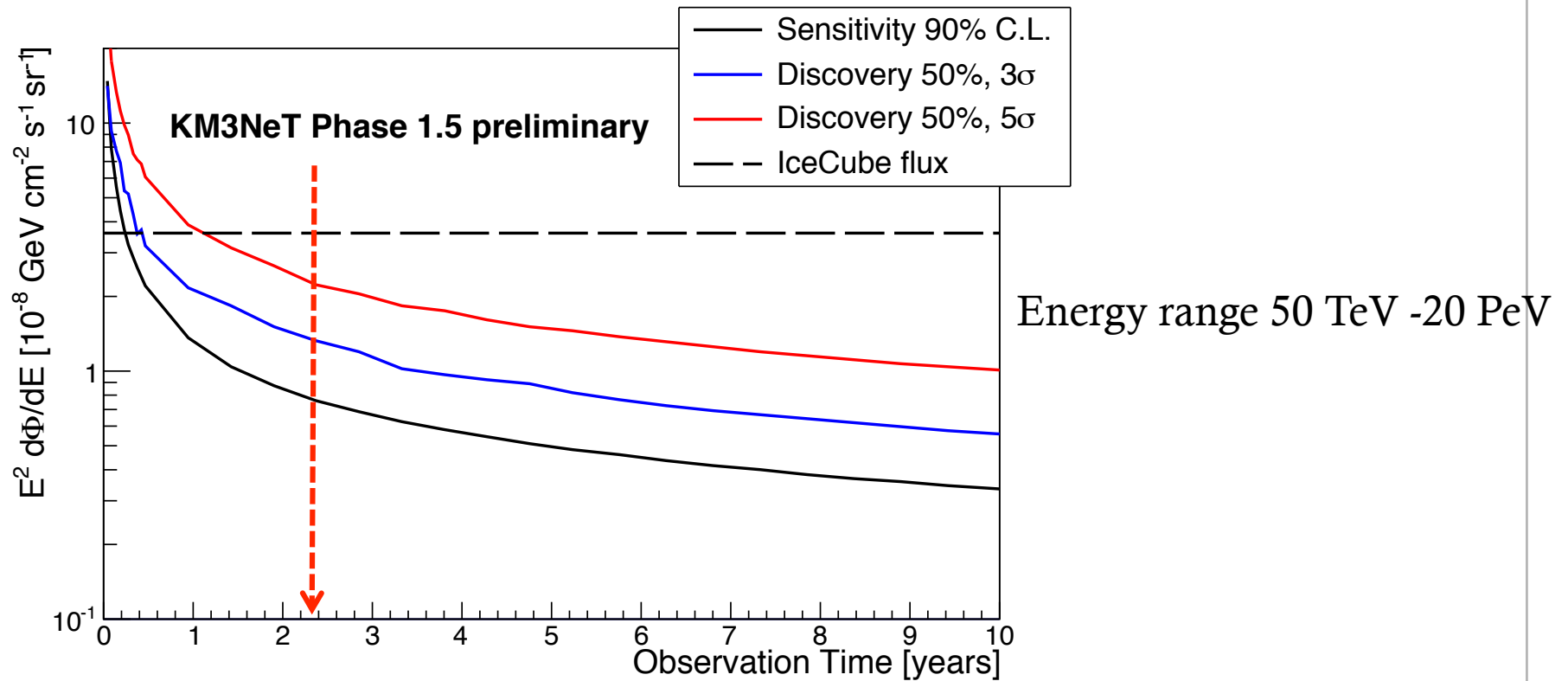
Taglio sui vertici



Regione selezionata  $V_{\text{instr}} 0.4 \text{ GTon}$

# Flussi diffusi per eventi di cascade

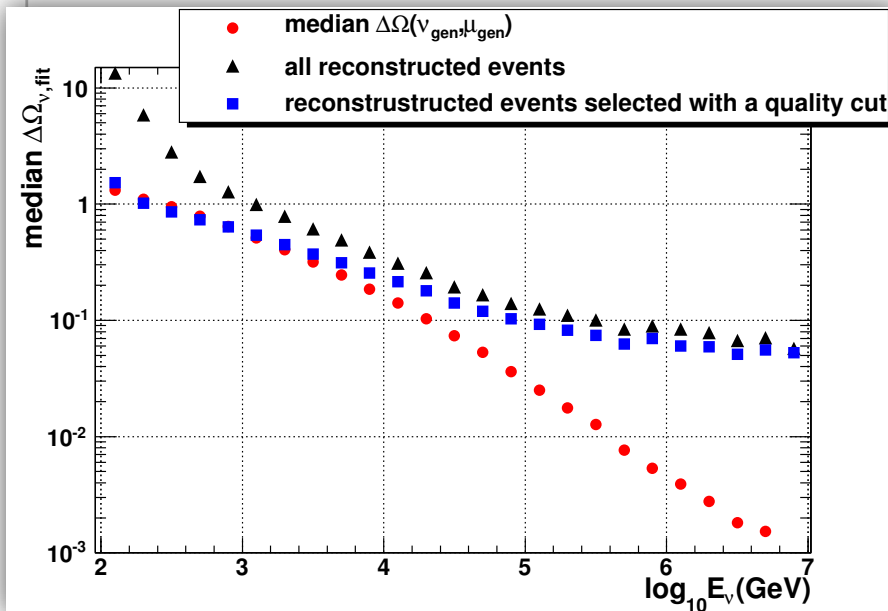
## Cut & count analysis



In circa 1 anno la scoperta a  $5\sigma$

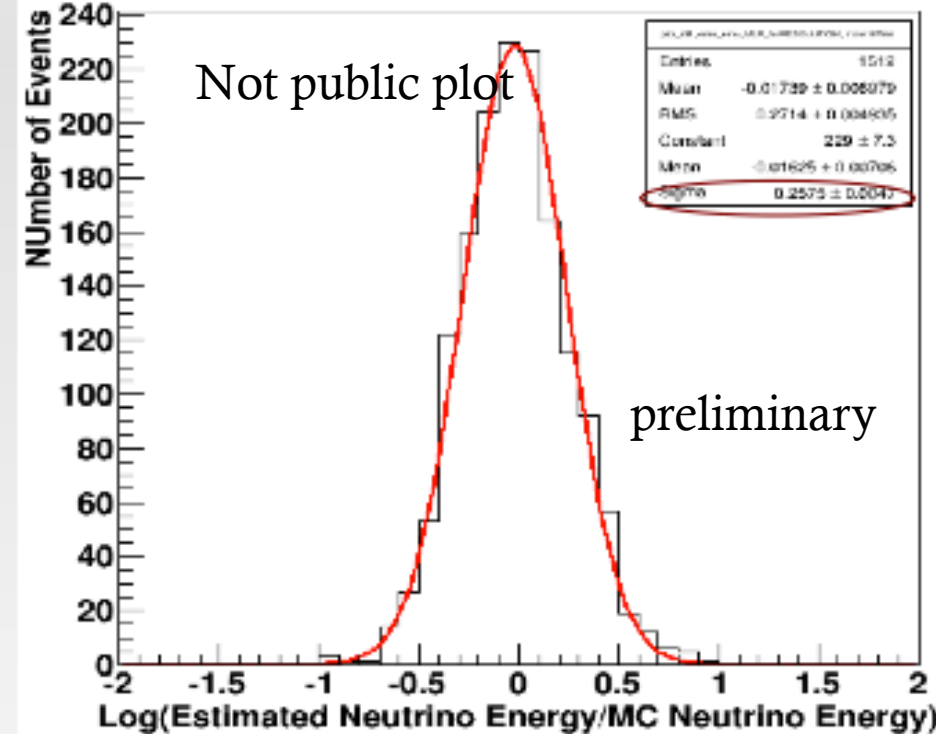


# Risoluzione degli eventi di traccia



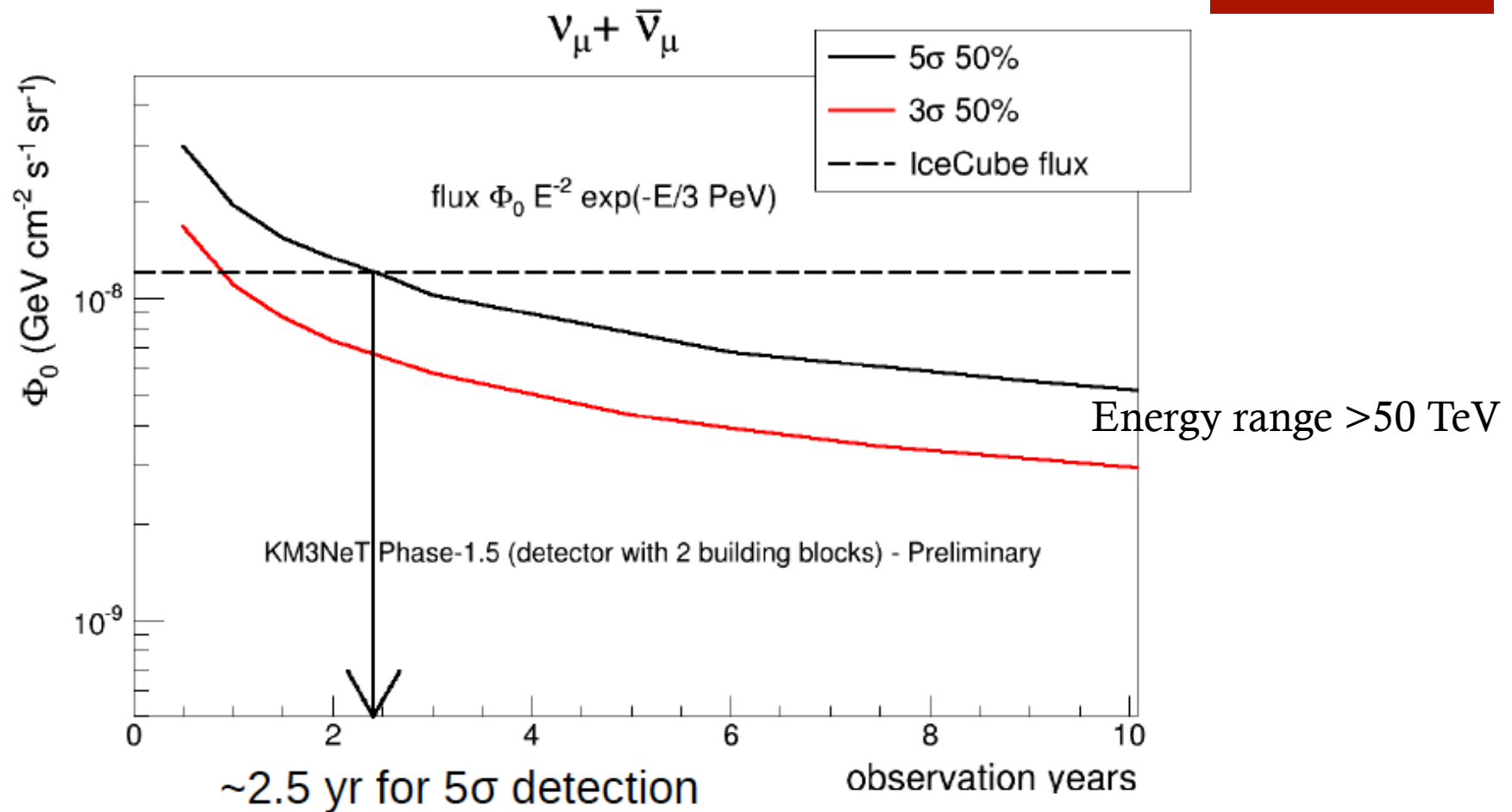
Risoluzione sotto 3 TeV  
 limitata solo dall'angolo  
 intrinseco

$10 \text{ TeV} \leq E_\nu \leq 20 \text{ PeV}$



Risoluzione in energia circa 30%  
 in  $\log E_\mu$

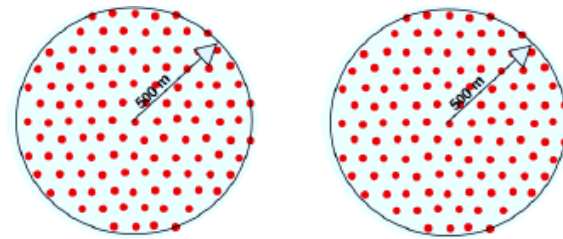
# Flussi diffusi: muoni



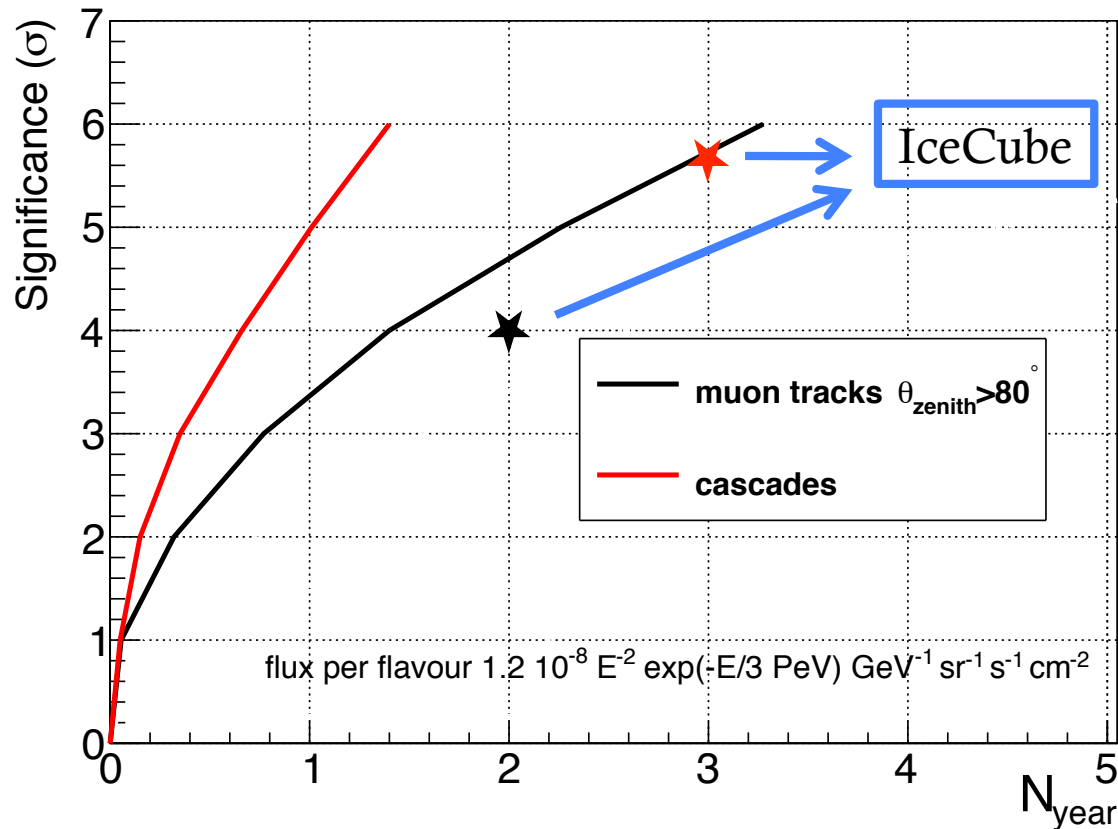
# KM3NeT Phase-1.5

Cascade → Full sky analysis

Tracks → up-going tracks



KM3NeT Phase-1.5 (detector with 2 building blocks) - Preliminary



Il flusso di alta energia misurato da IceCube sarà misurato già dopo un anno di osservazione (eventi di cascata) da KM3NeT phase-1.5 detector

*Differente campo di vista e migliore risoluzione rispetto ad IceCube*

# Ricerca di sorgenti

- Ricerca di sorgenti
  - Extragalattiche (point-like e spettro in energia proporzionale a  $E^{-2}$ )
  - Galattiche (sorgenti estese e spettro di energia con cutoff nella regione del 10 TeV) – Stretta connessione con le osservazioni gamma di alta energia

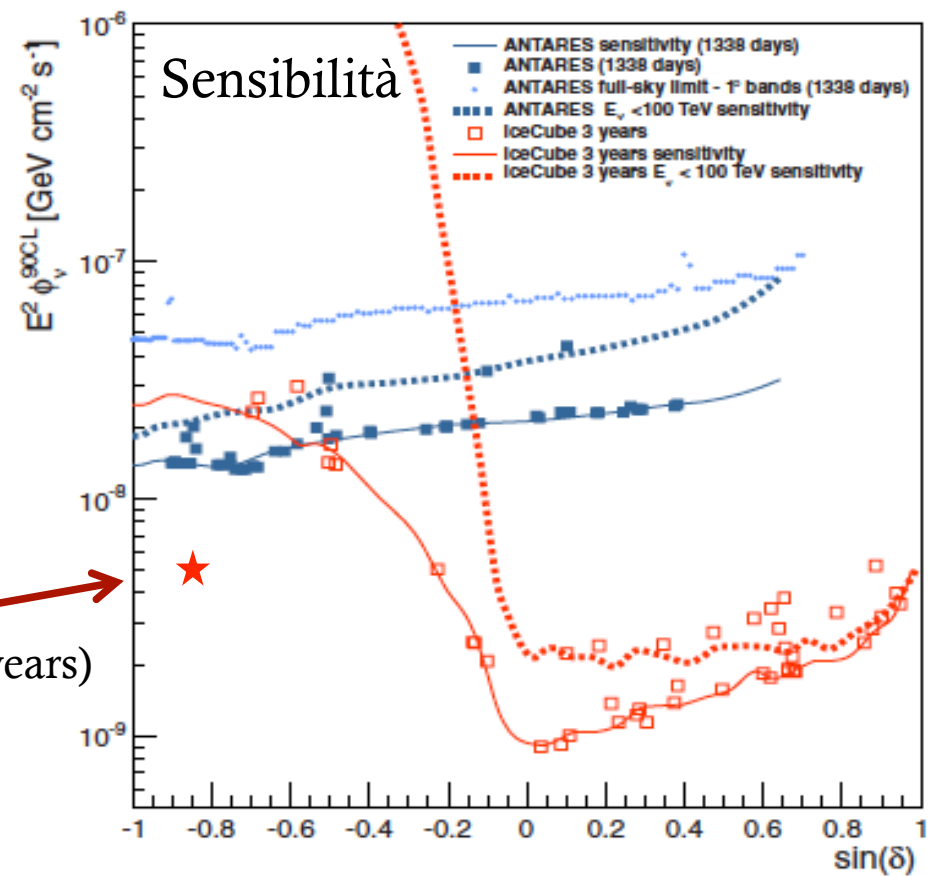
I neutrini soltanto possono dare una risposta sul meccanismo di accelerazione.  
I neutrini sono prodotti solo in meccanismi adronici

# Le sorgenti puntiformi: ANTARES e IceCube

S. Adrián-Martínez et al. (ANTARES coll.2014 ApJ 786 L5)

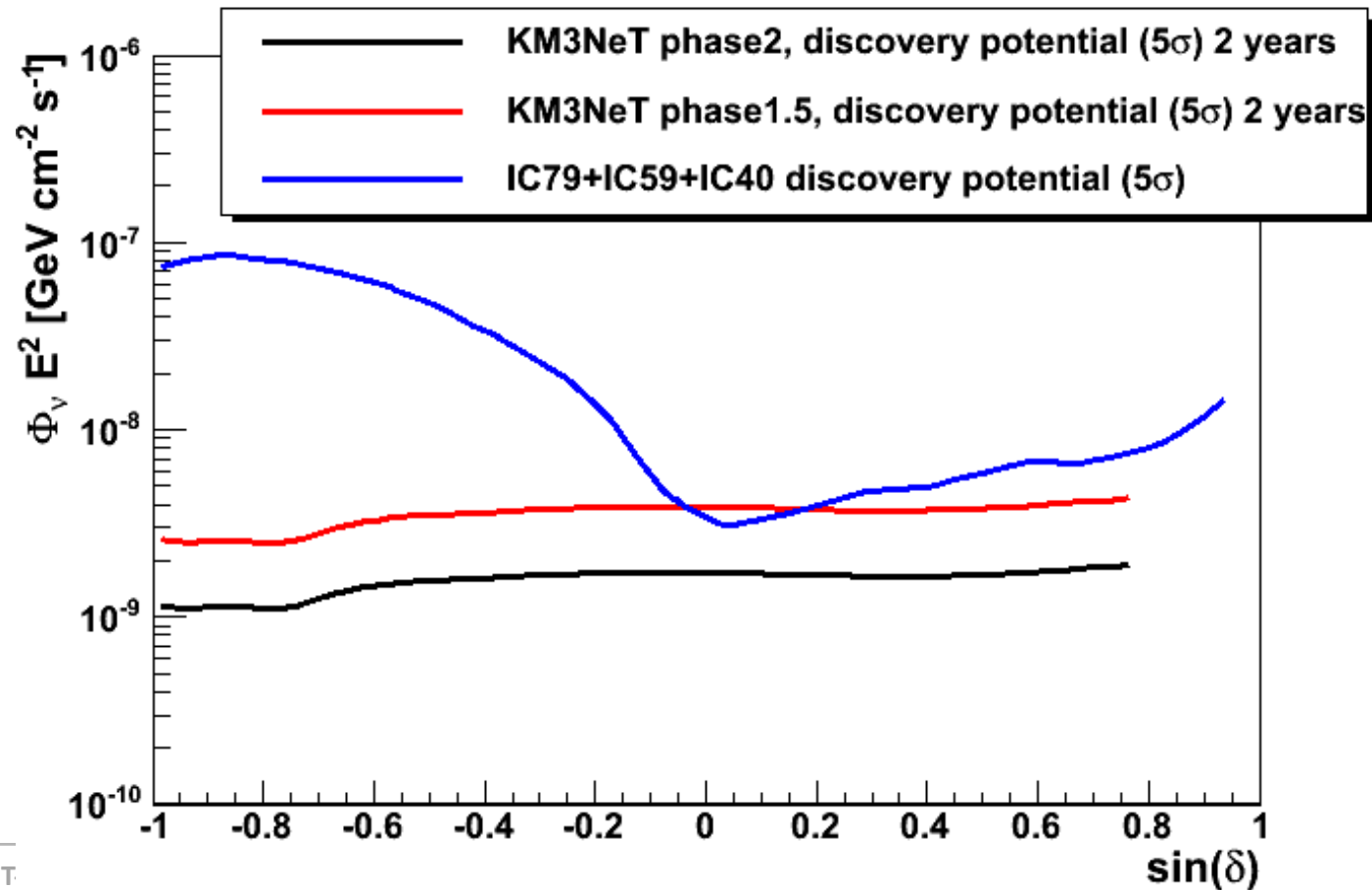
Un rivelatore installato nell'emisfero nord è privilegiato per la rivelazione di sorgenti galattiche

Preliminary (not public) → KM3NeT phase 1 (3 years)



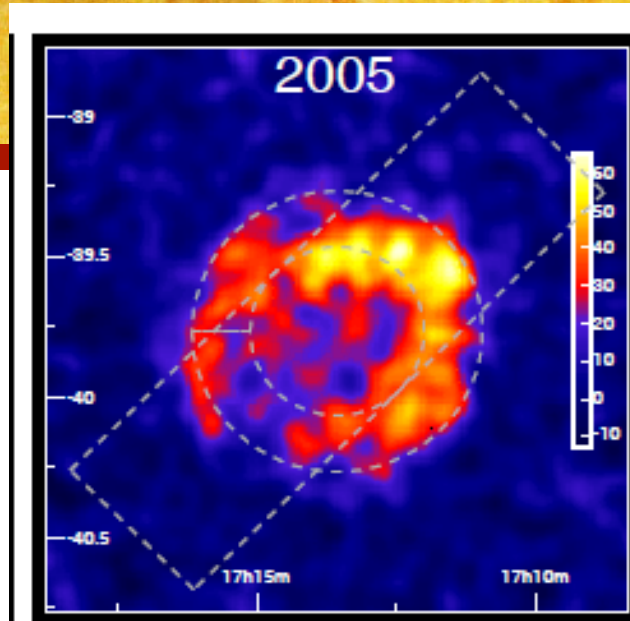
# Flusso di scoperta a $5\sigma$

Sorgenti puntiformi con spettro  $E^{-2}$

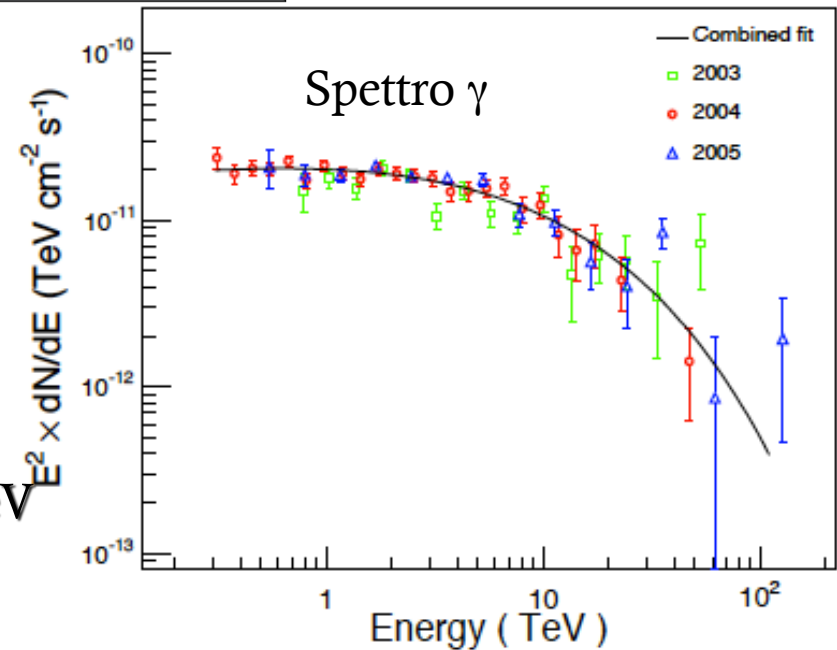


# SNR RX J1713.7-3946

$\delta = -39^\circ 46'$



HESS data



- ✓ Flusso  $\gamma$  di alta energia misurato fino al 100 TeV
- ✓ Morfologia ben misurata well ( $R=0.6^\circ$ )
- ✓ Visibilità  $\approx 75\%$

Neutrino spectrum from Kelner et al., PRD 74 (2006) 034018

$$\Phi(E) = 16.8 \times 10^{-15} \left[ \frac{E}{\text{TeV}} \right]^{-1.72} e^{-\sqrt{\frac{E}{2.1 \text{ TeV}}}} \text{GeV}^{-1} \text{s}^{-1} \text{cm}^{-2}$$

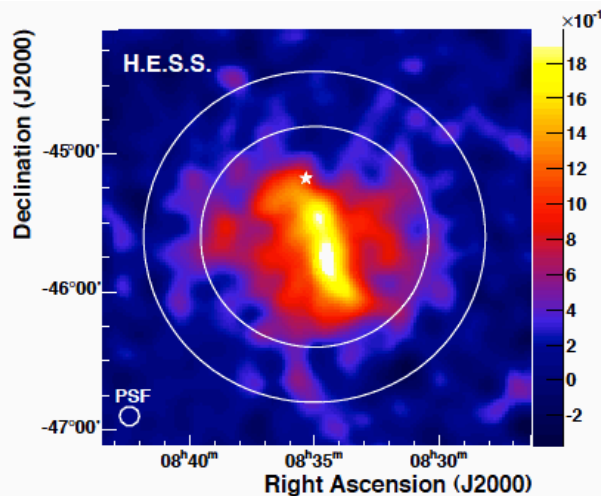
# PWN Vela X

$\delta = -45^\circ 34'$

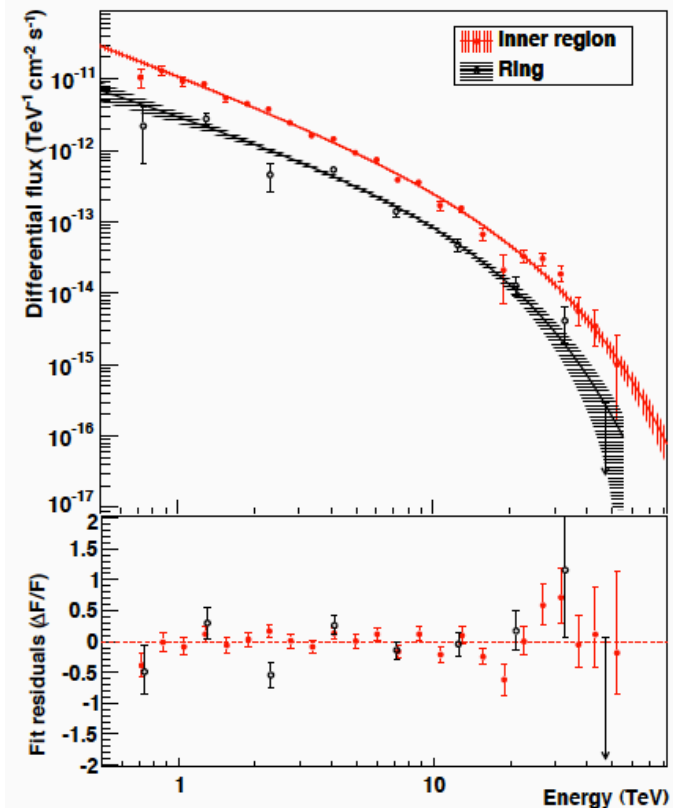
- Prime misure di  $\gamma$  di alta energia con HESS nel 2006

HESS data

- Nuova analisi nel 2012
  - Misurato il flusso fino a 50 TeV
  - Morfologia: 2 regioni identificate (estensione  $0.8^\circ$  and  $1^\circ$ )



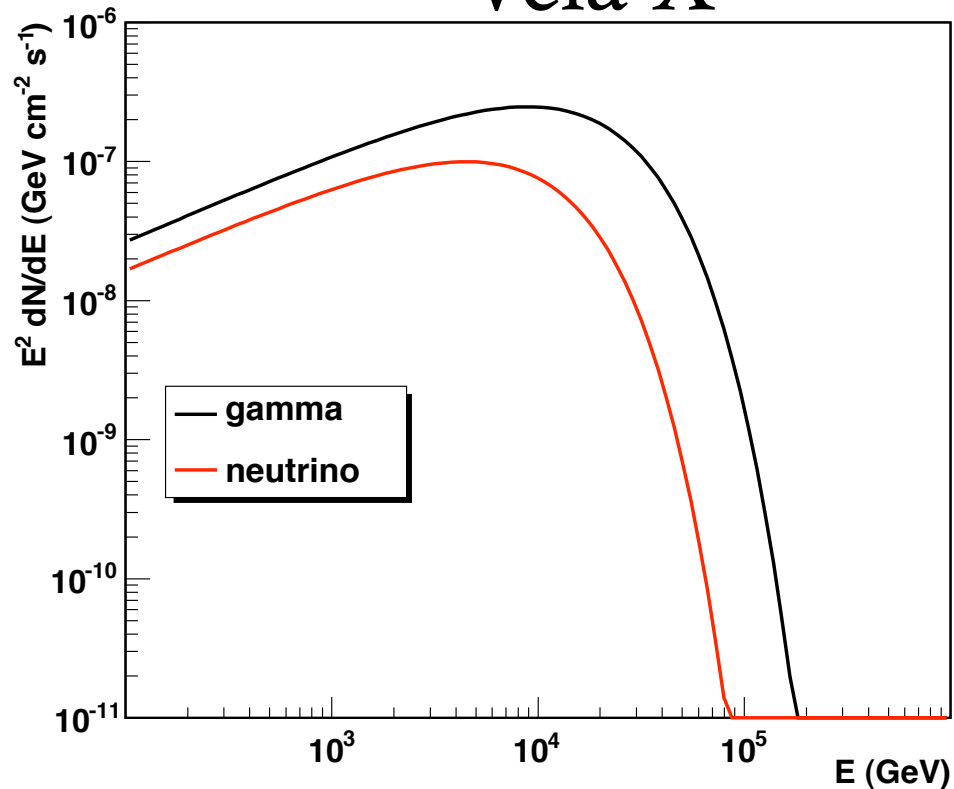
Aharonian et al. A&A 548 (2012) A38





# Dai $\gamma$ ai neutrini

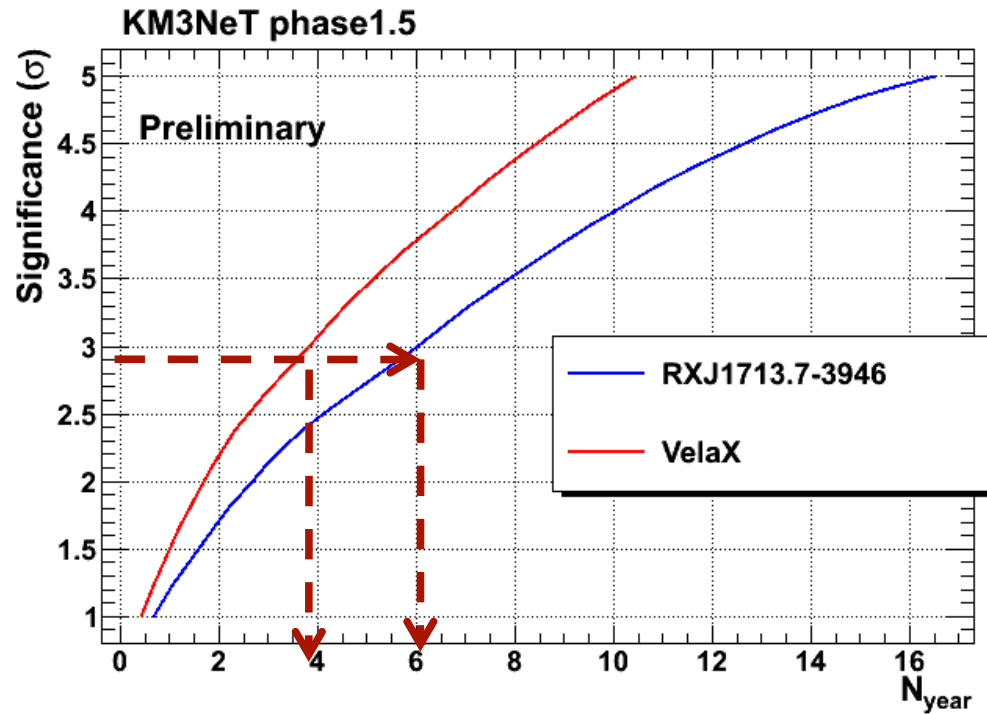
## Vela X



- Nella ipotesi che la sorgente sia trasparente ai raggi  $\gamma$  ed il meccanismo di emissione sia puramente adronico è possibile stimare lo spettro di neutrini dallo spettro di  $\gamma$  misurato

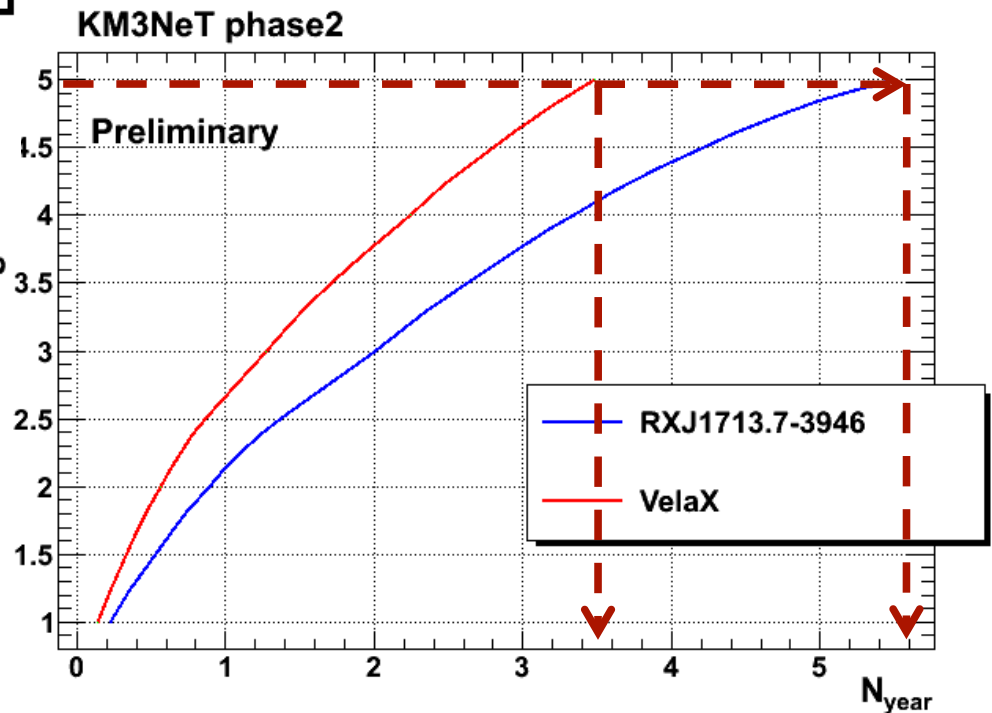
(F.L. Villante and F. Vissani, PRD 78 (2008) 103007; F. Vissani and F.L. Villante, NIM A588 (2008) 123; F. Vissani, Astr. Phys. 26 (2006) 310)

# KM3NeT: le sorgenti galattiche



Con KM3NeT phase 2 (6 blocchi)  
 $5\sigma$  in 3.5 - 5.5 anni di osservazione

Con KM3NeT phase 1.5 (2 blocchi)  
 $3\sigma$  in 4-6 anni di osservazione



# KM3NeT: il futuro

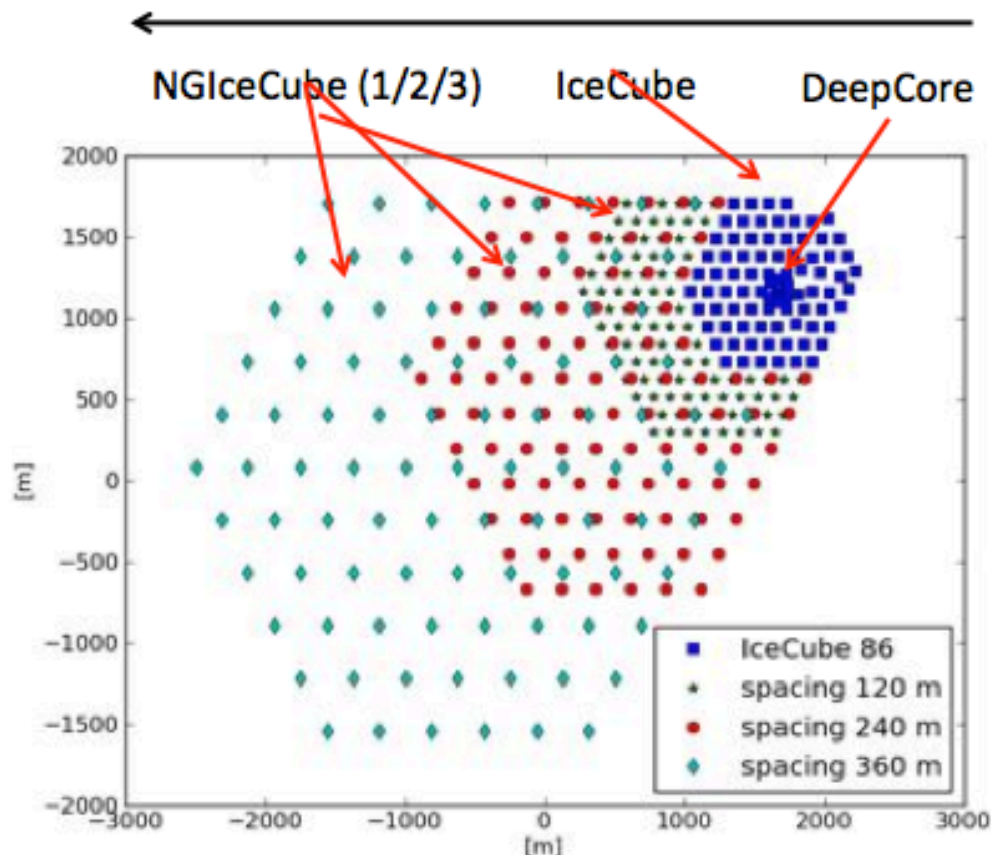
- **2016** KM3NeT Phase 1 sensibilità circa un fattore tre meglio di ANTARES

Dipende dai finanziamenti

- KM3NeT Phase 1.5 → misura di neutrini cosmici dal Mediterraneo confronto con il flusso di IceCube e possibili evidenze di sorgenti puntiformi
- KM3NeT Phase 2 → la neutrino astronomia

# IceCube: il futuro

(increase in threshold not important: only eliminates energies where atmospheric background dominates)



**Spacing 1 (120m):**  
IceCube (1 km<sup>3</sup>)  
+ 98 strings (1,3 km<sup>3</sup>)  
= 2,3 km<sup>3</sup>

**Spacing 2 (240m):**  
IceCube (1 km<sup>3</sup>)  
+ 99 strings (5,3 km<sup>3</sup>)  
= 6,3 km<sup>3</sup>

**Spacing 3 (360m):**  
IceCube (1 km<sup>3</sup>)  
+ 95 strings (11,6 km<sup>3</sup>)  
= 12,6 km<sup>3</sup>

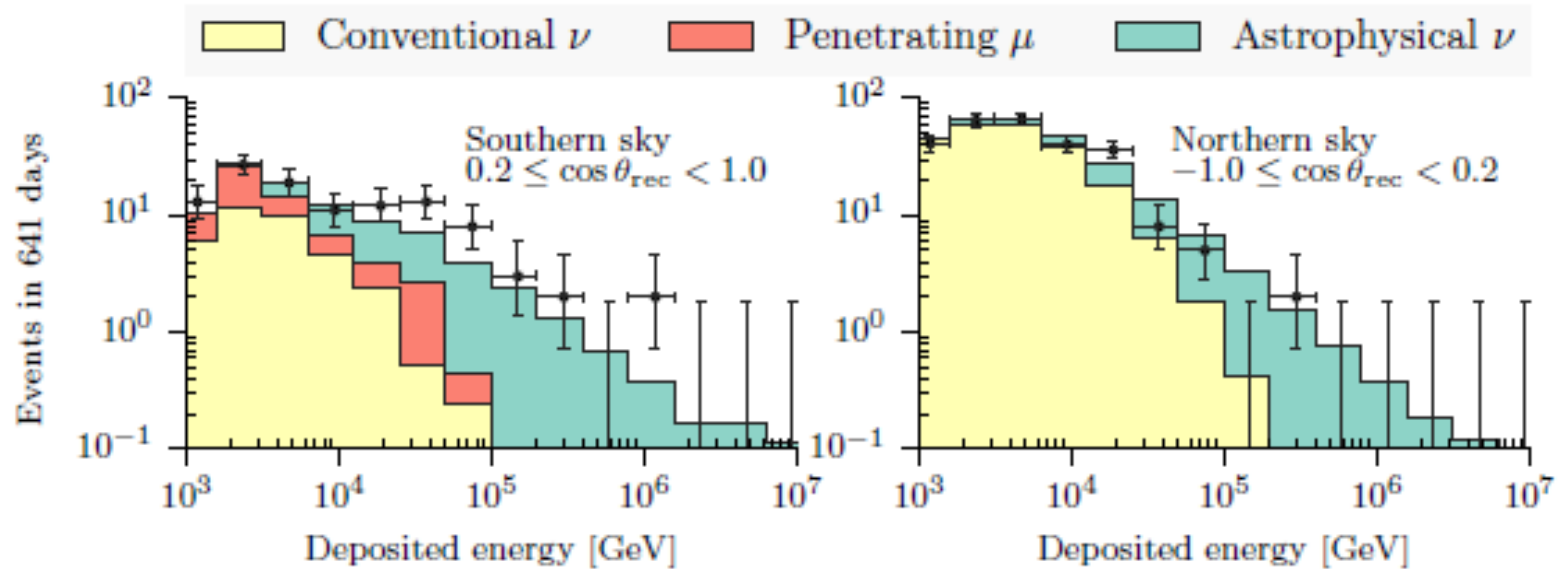
Non ancora  
finanziato

# Conclusioni

- Dopo la scoperta di IceCube di un flusso di neutrini cosmici la riconosciuta necessità di un osservatorio nell'emisfero nord con superiori caratteristiche di puntamento per le sorgenti rendono più che mai acceso l'interesse per KM3NeT.
- Forte connessione con la gamma astronomia → necessità di misure di gamma di alta energia
- KM3NeT-phase 1, *già finanziato*, sarà un rivelatore competitivo per l'osservazione di sorgenti nel cielo sud ed una infrastruttura di ricerca in fondo al mare



**FINE**





- Spettri di neutrini stimati dagli spettri di gamma di alta energia osservati

