

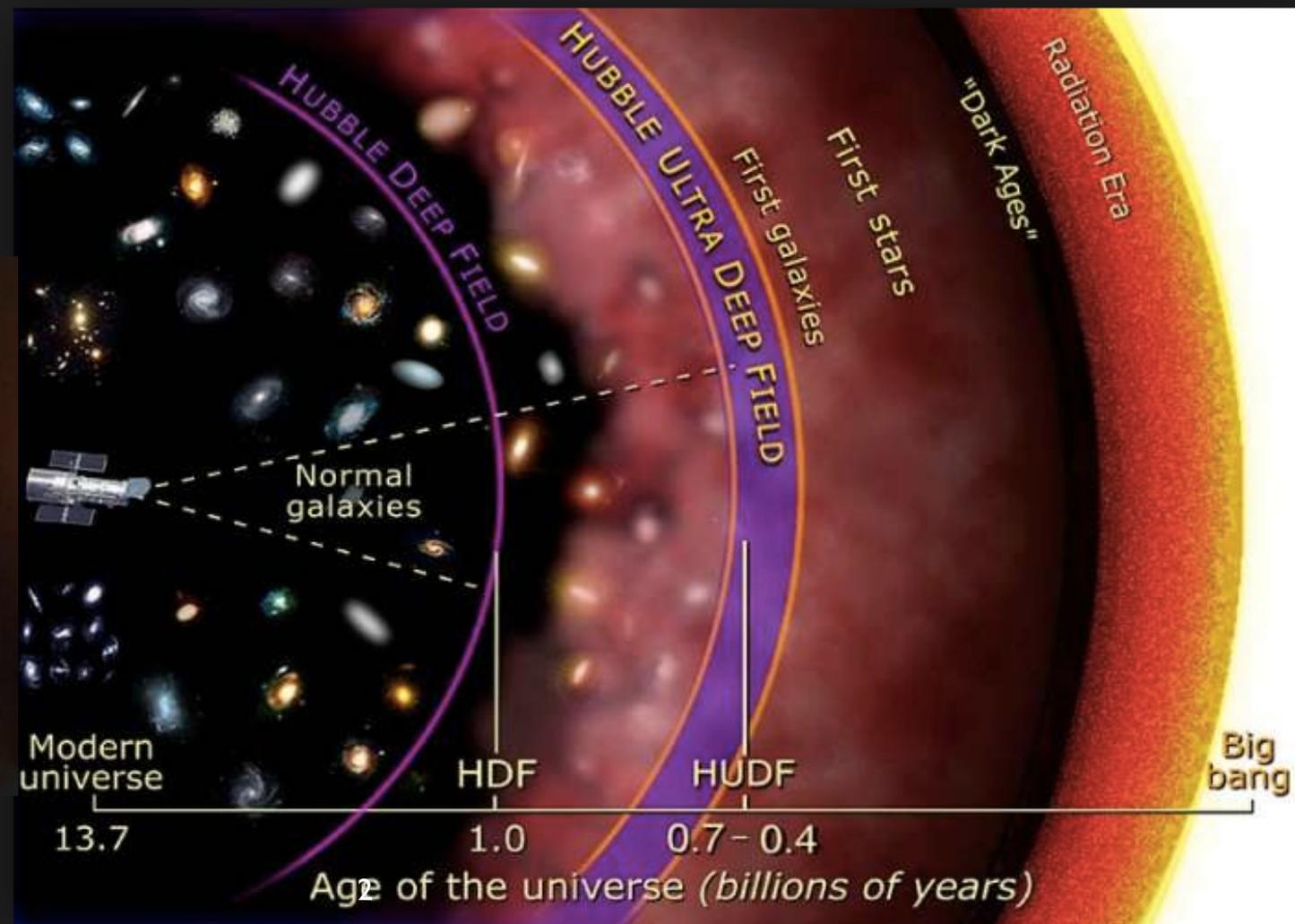
Guardando l'universo con 'occhi' nuovi



Il fanciullo di Newton

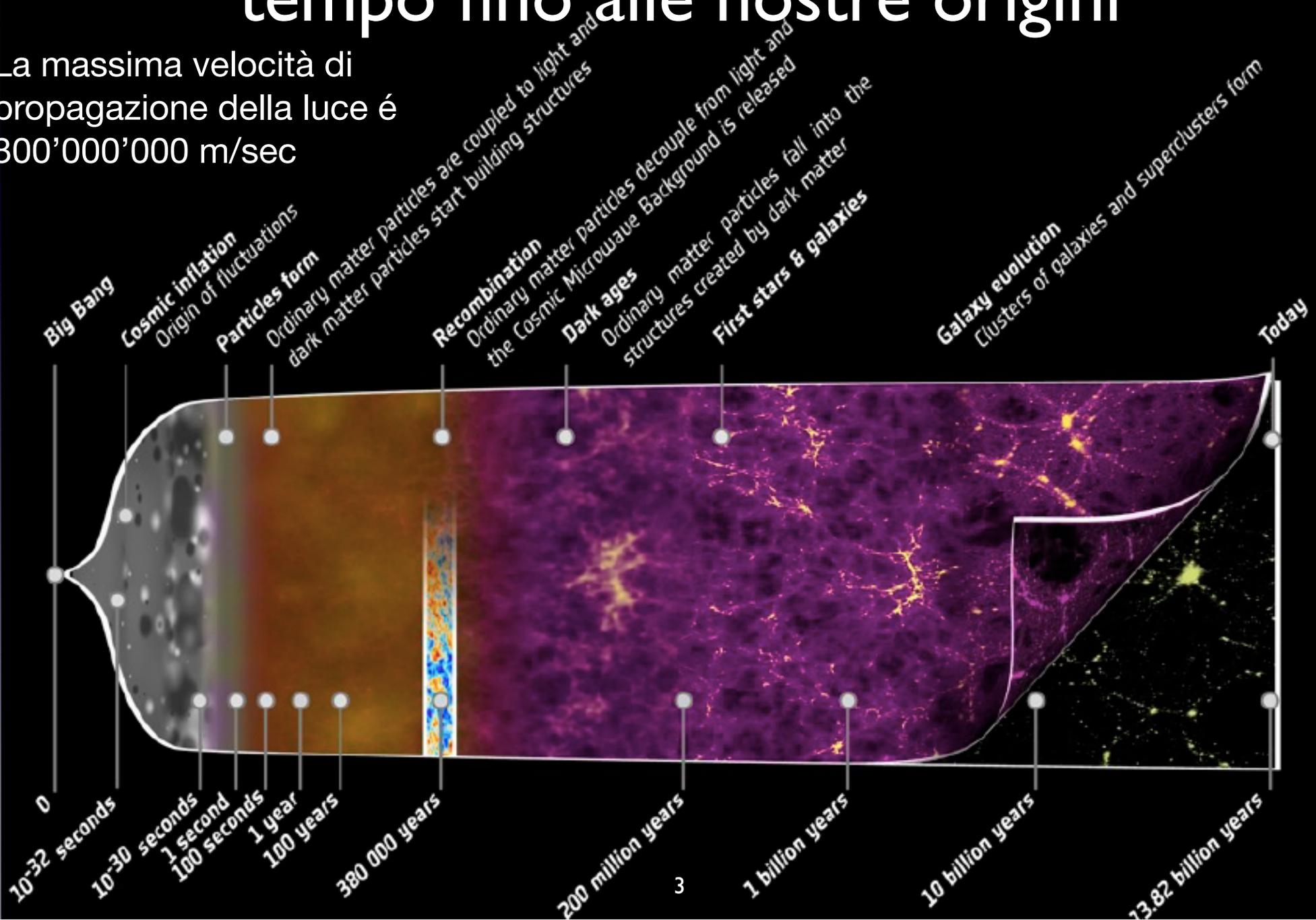
*Non so come io appaia al mondo, ma per quel che mi riguarda, mi sembra di essere stato solo **come un fanciullo sulla spiaggia**, che si diverte nel trovare qua e là una pietra più liscia delle altre, o una conchiglie più graziosa, mentre il **grande oceano della verità giace del tutto inesplorato davanti a me**.*

(da Philosophiae naturalis principia mathematica)

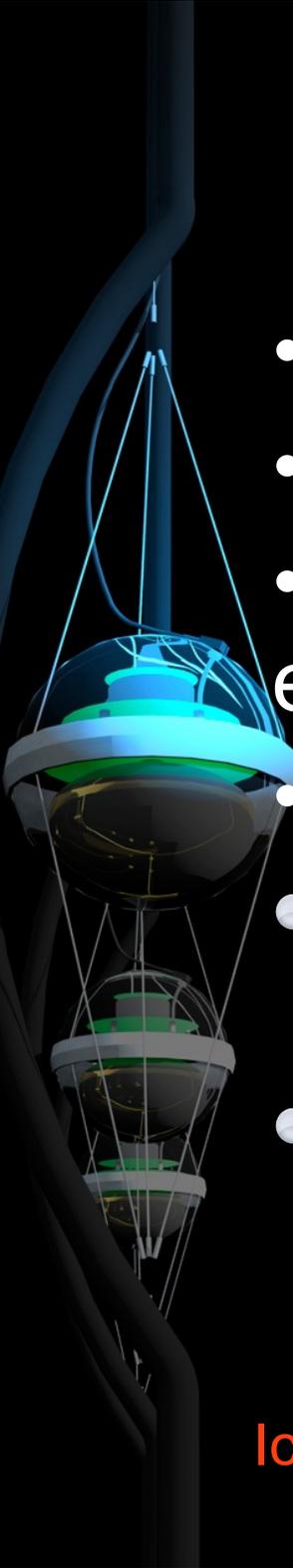


Viaggiare piú lontano = Viaggiare nel tempo fino alle nostre origini

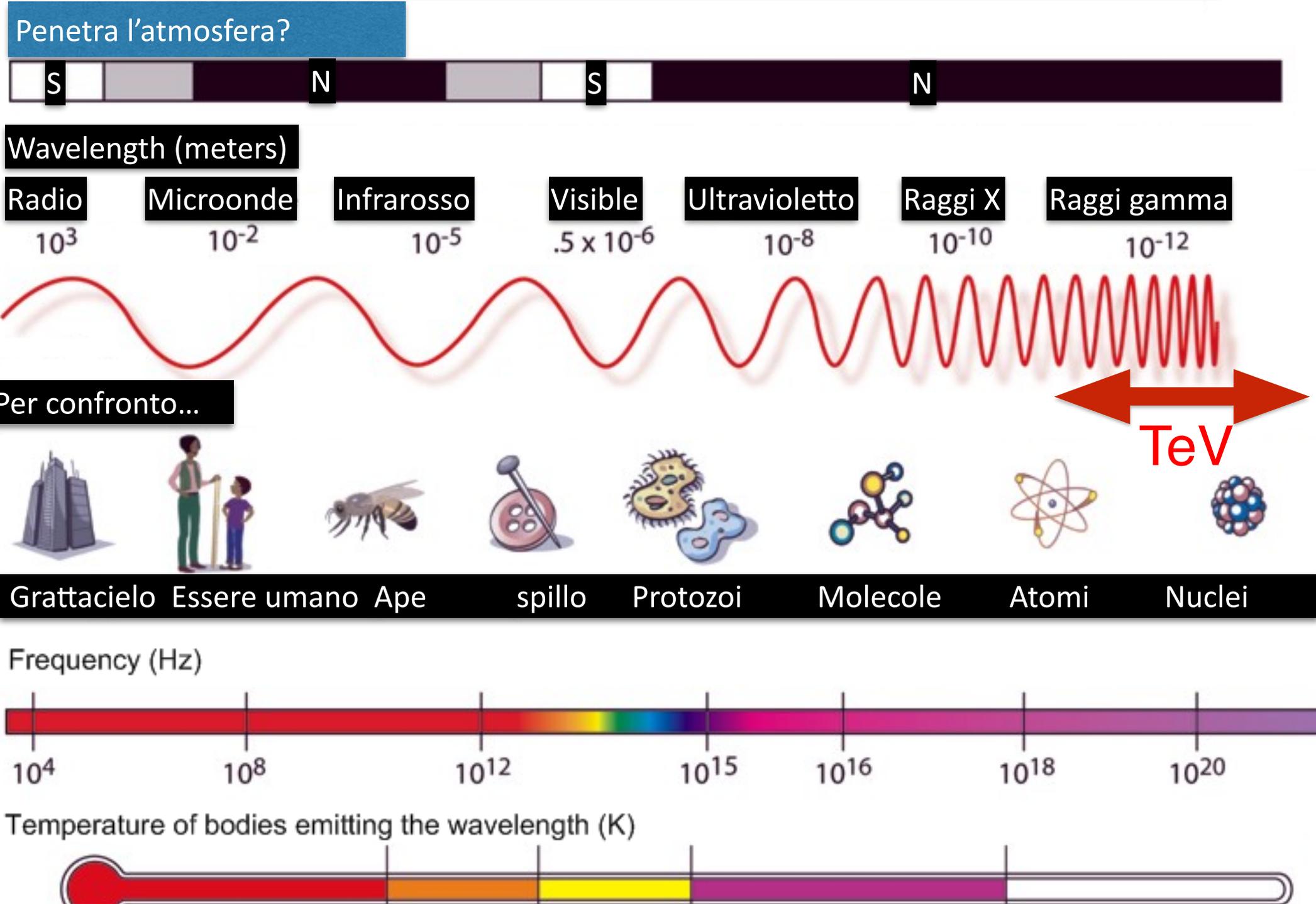
La massima velocità di propagazione della luce é 300'000'000 m/sec



Contenuto

- 
- I messaggeri dell'universo
 - I raggi-gamma ed i neutrini
 - Il futuro Osservatorio dell'universo di alta energia: **Cherenkov Telescope Array**
 - L'astronomia dei neutrini
 - Il **più grande telescopio di neutrini**: il chilometro-cubo di fotosensori IceCube
 - La **scoperta** dei neutrini cosmici di IceCube

Lo spettro elettromagnetico



Per fare un esempio:



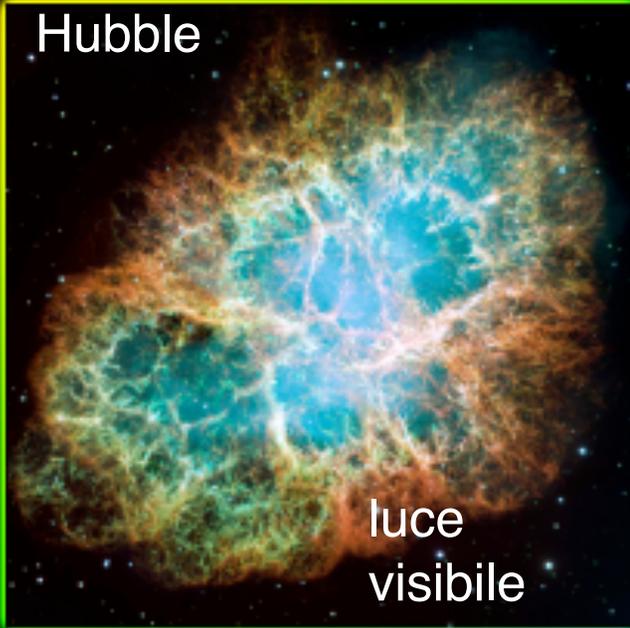
La nostra vista nella regione della luce visibile.

La vista di una farfalla ottenuta attraverso un filtro infrarosso

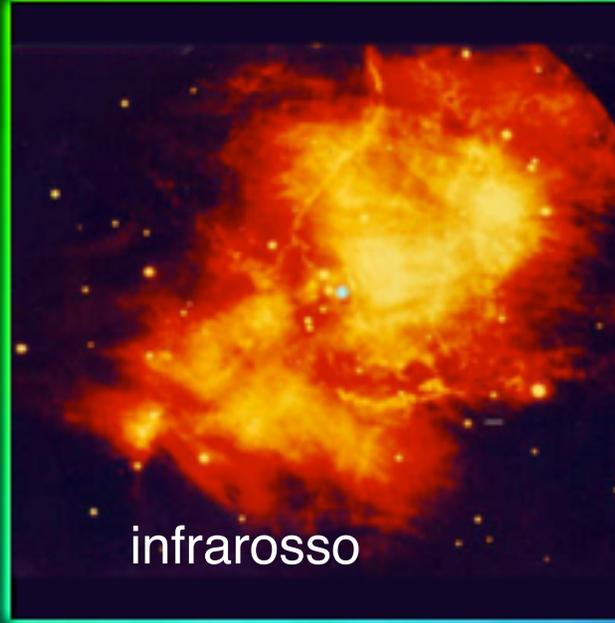
La vista di un ape ottenuta con un filtro ultravioletto che seleziona l'intervallo di luce blu e verde a cui esse sono sensibili

I colori del cielo

Hubble



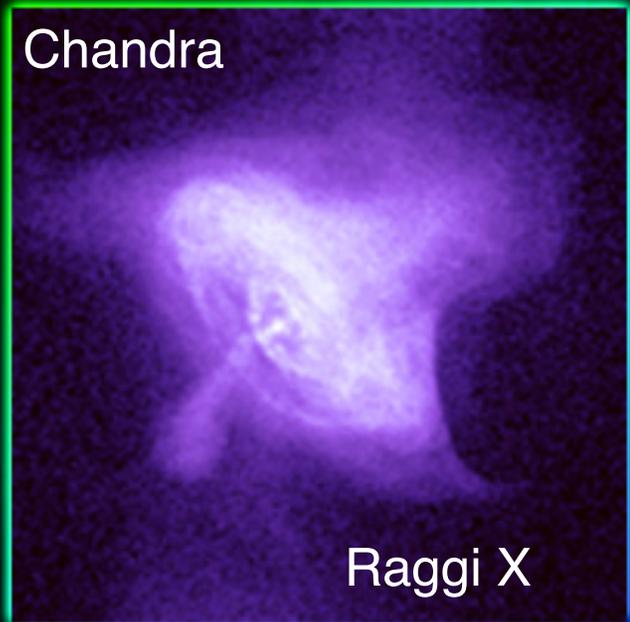
luce
visibile



infrarosso

La **nebulosa del Granchio** é un resto di supernova risultante dall'esplosione di una supernova storica (SN 1054) osservata da un astronomo cinese nel 1054.

Chandra



Raggi X

raggi gamma,
neutrini?

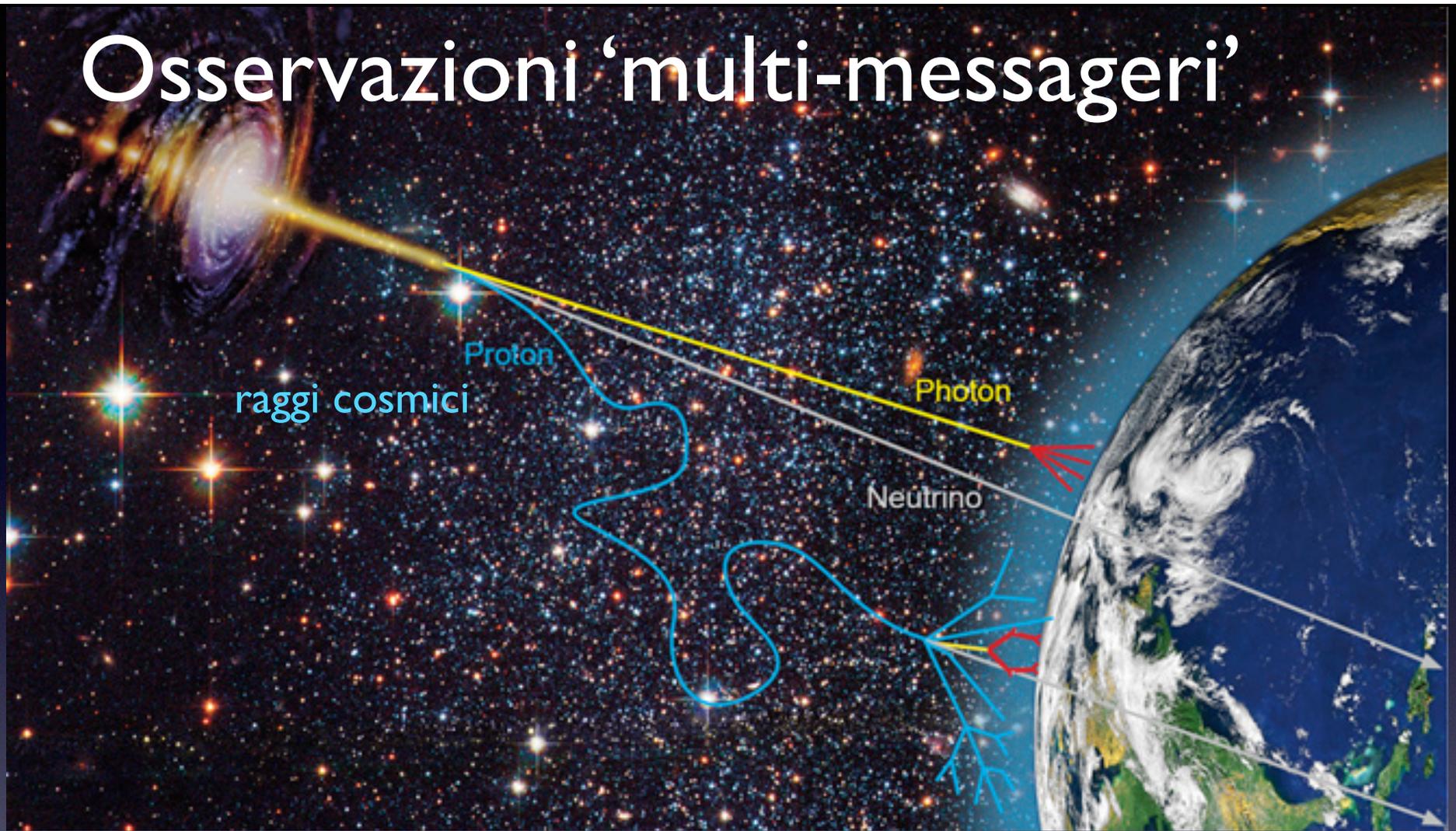
Osservazioni 'multi-lunghezze d'onda'

Centaurus A é una galassia estremamente attiva, con un buco nero nel centro, osservato nella regione dei raggi X dal telescopio spaziale Chandra combinato con immagini nel radio e nell'ottico.



Per ottenere un'immagine completa di una sorgente o un oggetto celeste é opportuno osservarlo in regioni di energia diverse.

Osservazioni 'multi-messaggeri'

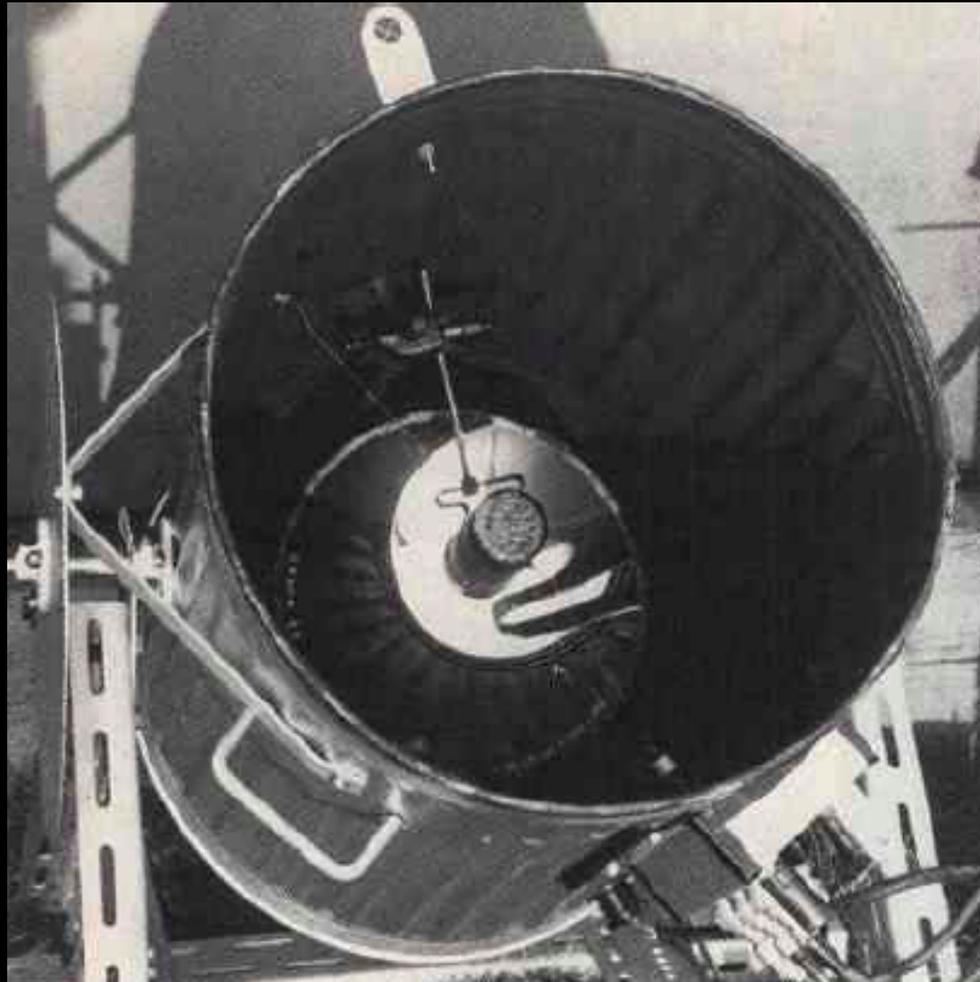


I messaggeri astronomici non possono essere particelle cariche perché esse devono preservare la direzione della sorgente. Fino ad oggi, la nostra conoscenza dell'universo è stata trasmessa dalla luce visibile, le onde radio, le onde nell'infrarosso ed i raggi X. L'astronomia con i raggi gamma è nata all'inizio degli anni '50. Nei decenni successivi, la possibilità di utilizzare i neutrini come messaggeri è stata considerata come una possibile rivoluzione dell'astronomia moderna.

L'astronomia gamma

Nel 1953 Galbraith e Jelley hanno ipotizzato che la luce Cherenkov possa essere rivelata come impulso luminoso prodotto da uno sciame di particelle.

Il telescopio di Galbraith & Jelley ottenuto con un bidone per l'immondizia e un sensore di luce (fotomoltiplicatore) che trasforma un segnale di luce in un segnale elettrico.



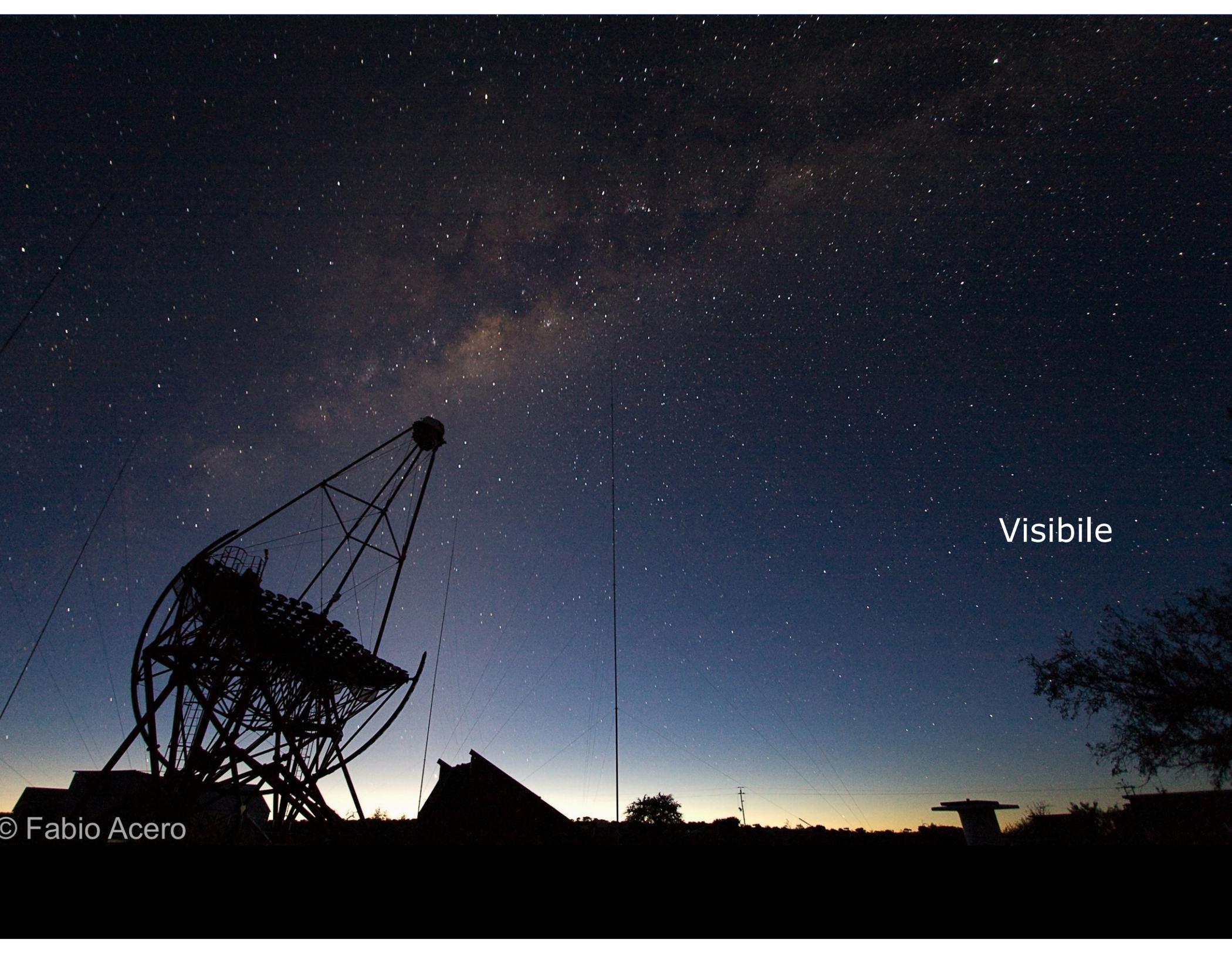
Una piccola parentesi:

Gli aerei supersonici, quando superano la velocità del suono, producono un bang supersonico che può essere reso visibile in presenza di polvere. Esso è prodotto da onde di pressione che viaggiano alla velocità del suono simili alle creste create sull'acqua dal movimento di mamma anatra...

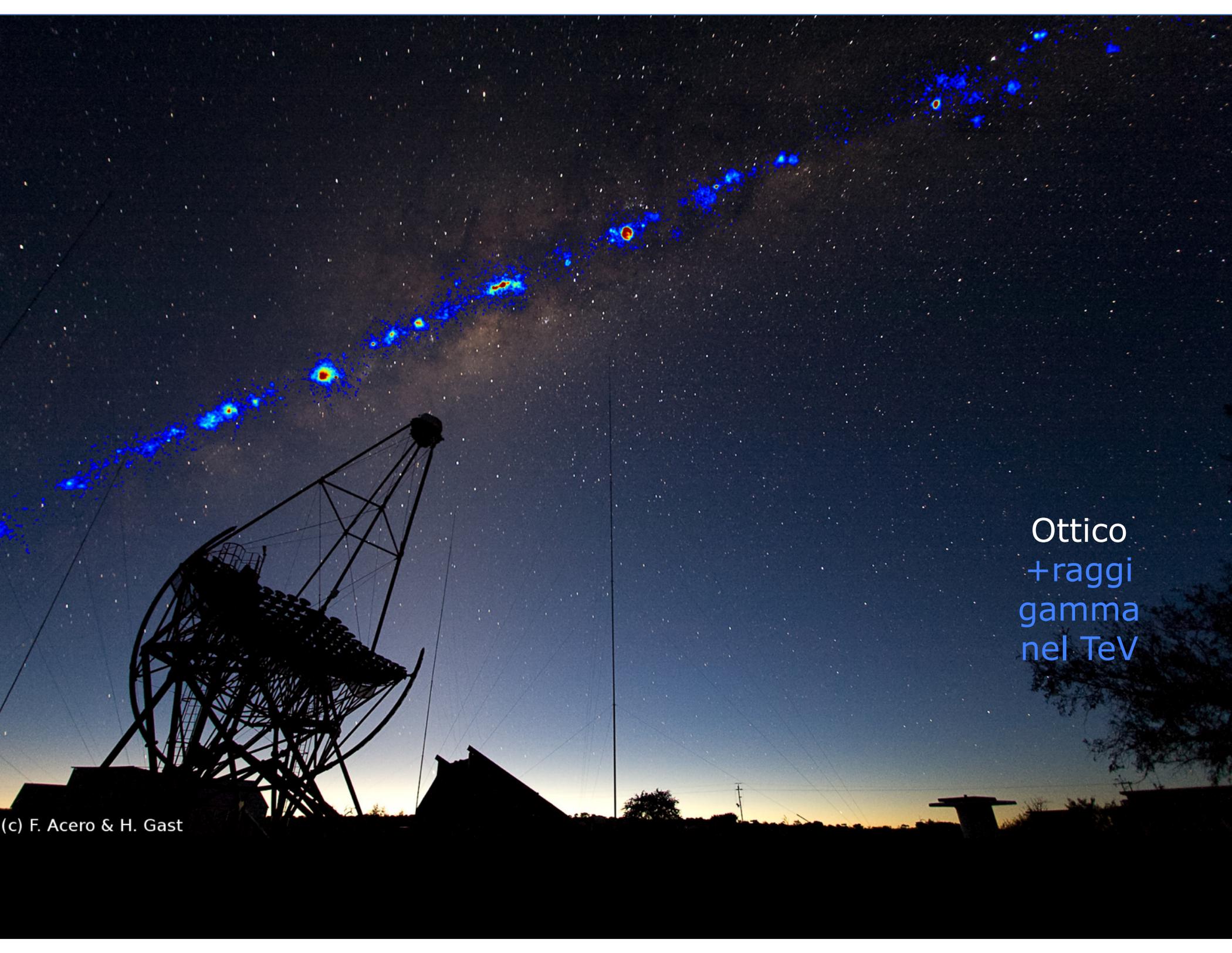


L'angolo del cono dipende dalla velocità dell'aereo e dalle proprietà di rifrazione del mezzo.





Visibile



Ottico
+raggi
gamma
nel TeV

(c) F. Acero & H. Gast

Imaging Air Cherenkov Technique (IACT)

Prima interazione

γ

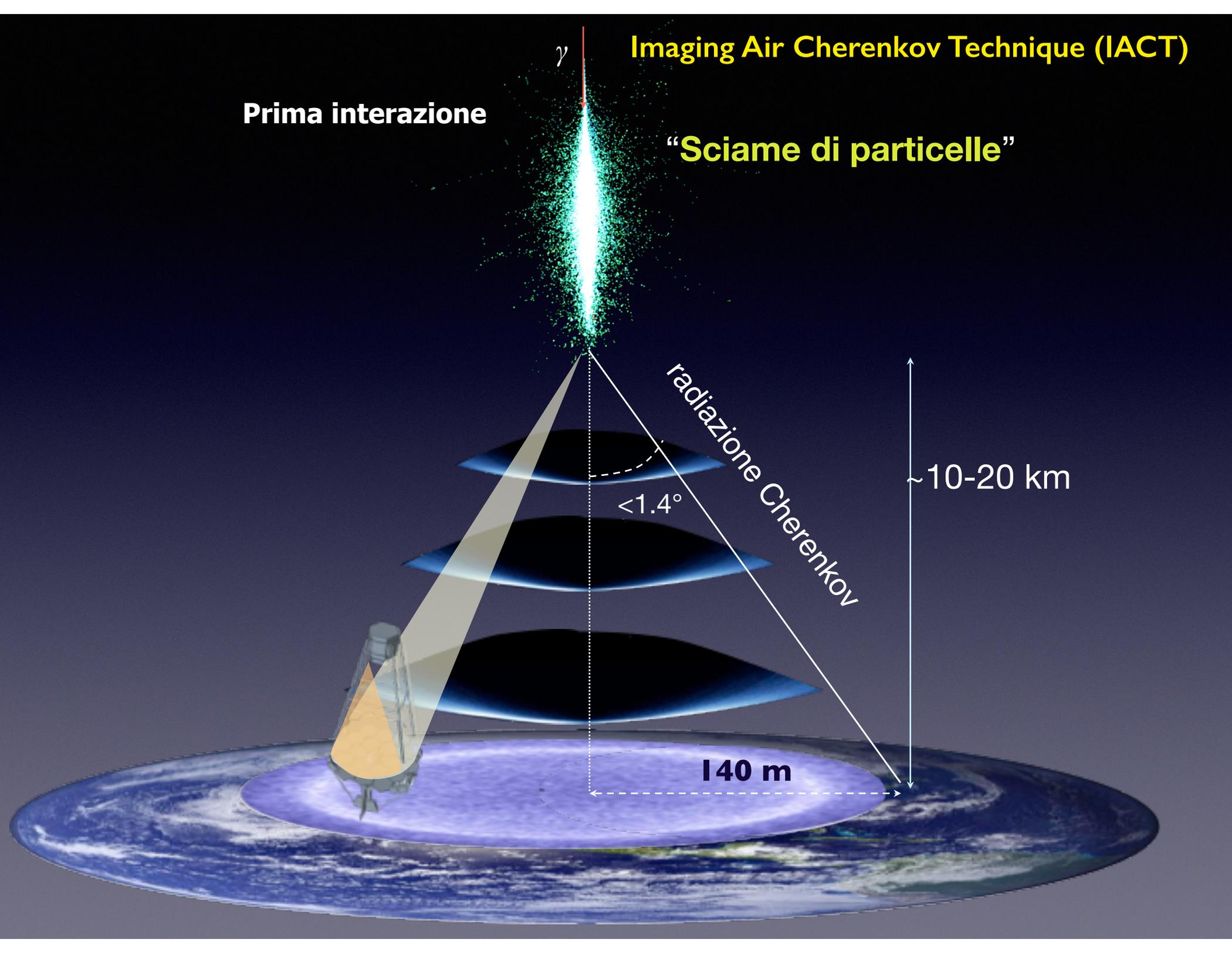
“Sciame di particelle”

radiazione Cherenkov

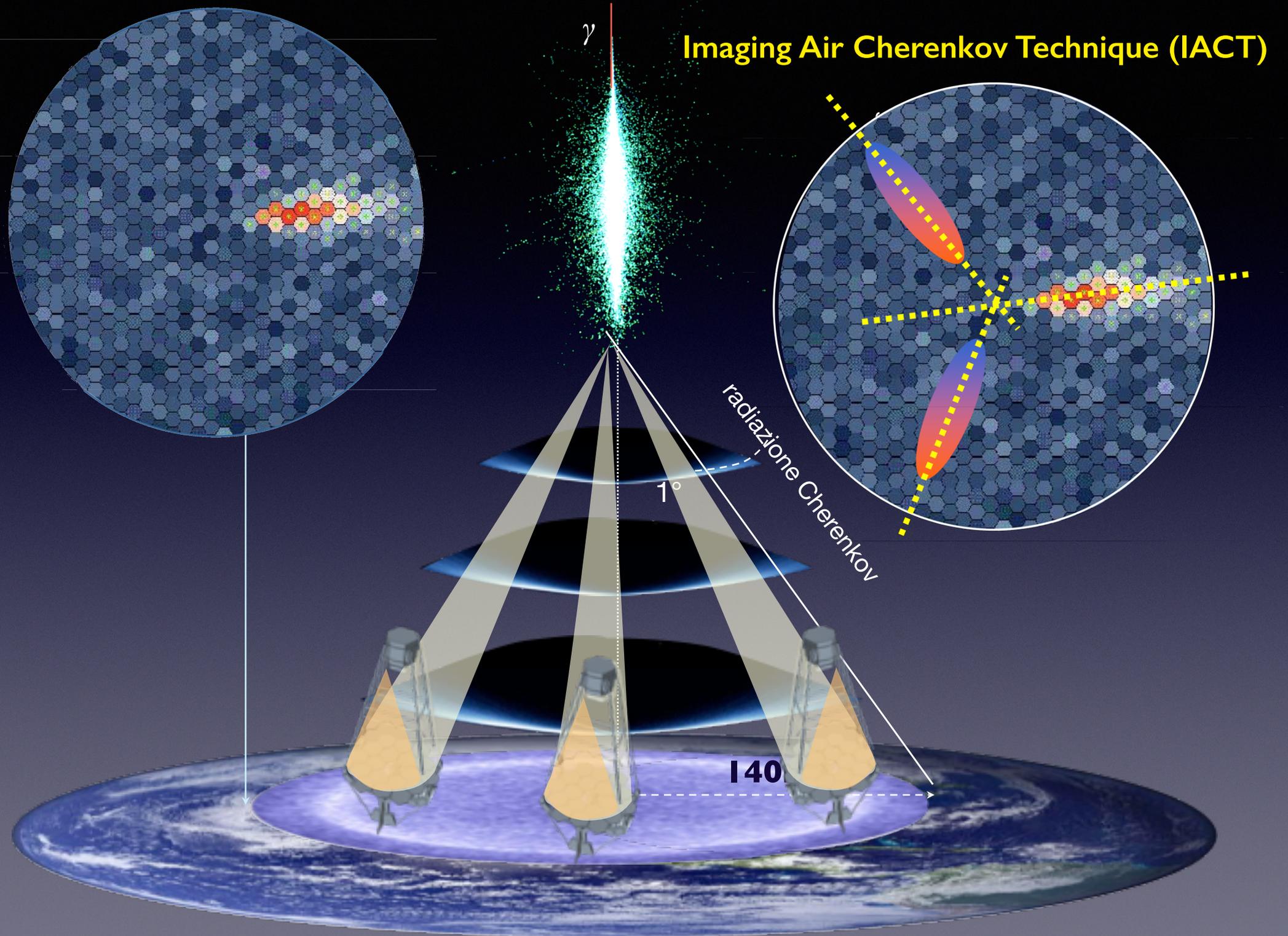
~10-20 km

$<1.4^\circ$

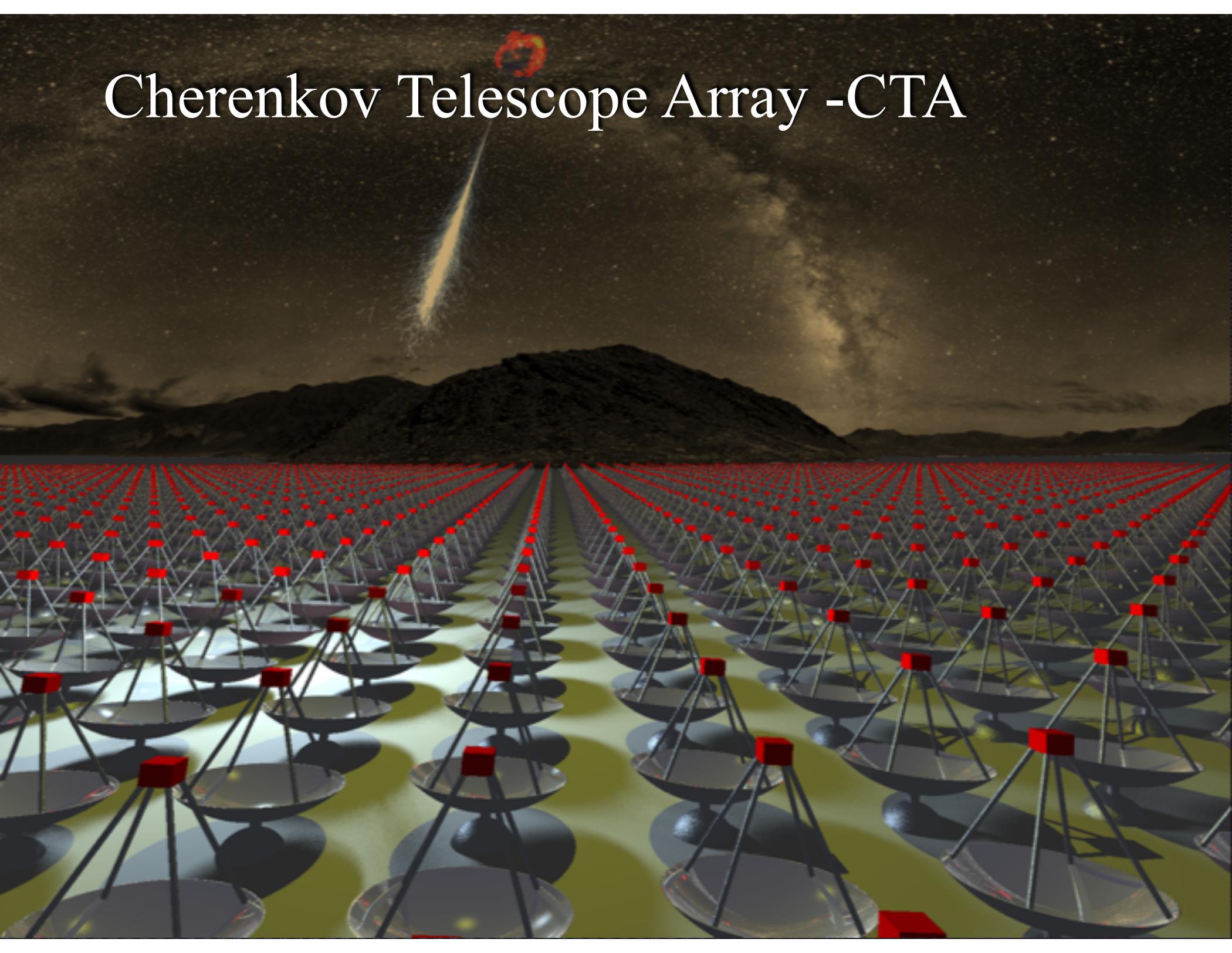
140 m



Imaging Air Cherenkov Technique (IACT)



Cherenkov Telescope Array -CTA



Cherenkov Telescope Array - CTA

Pochi grandi telescopi (LST) per la regione di bassa energia

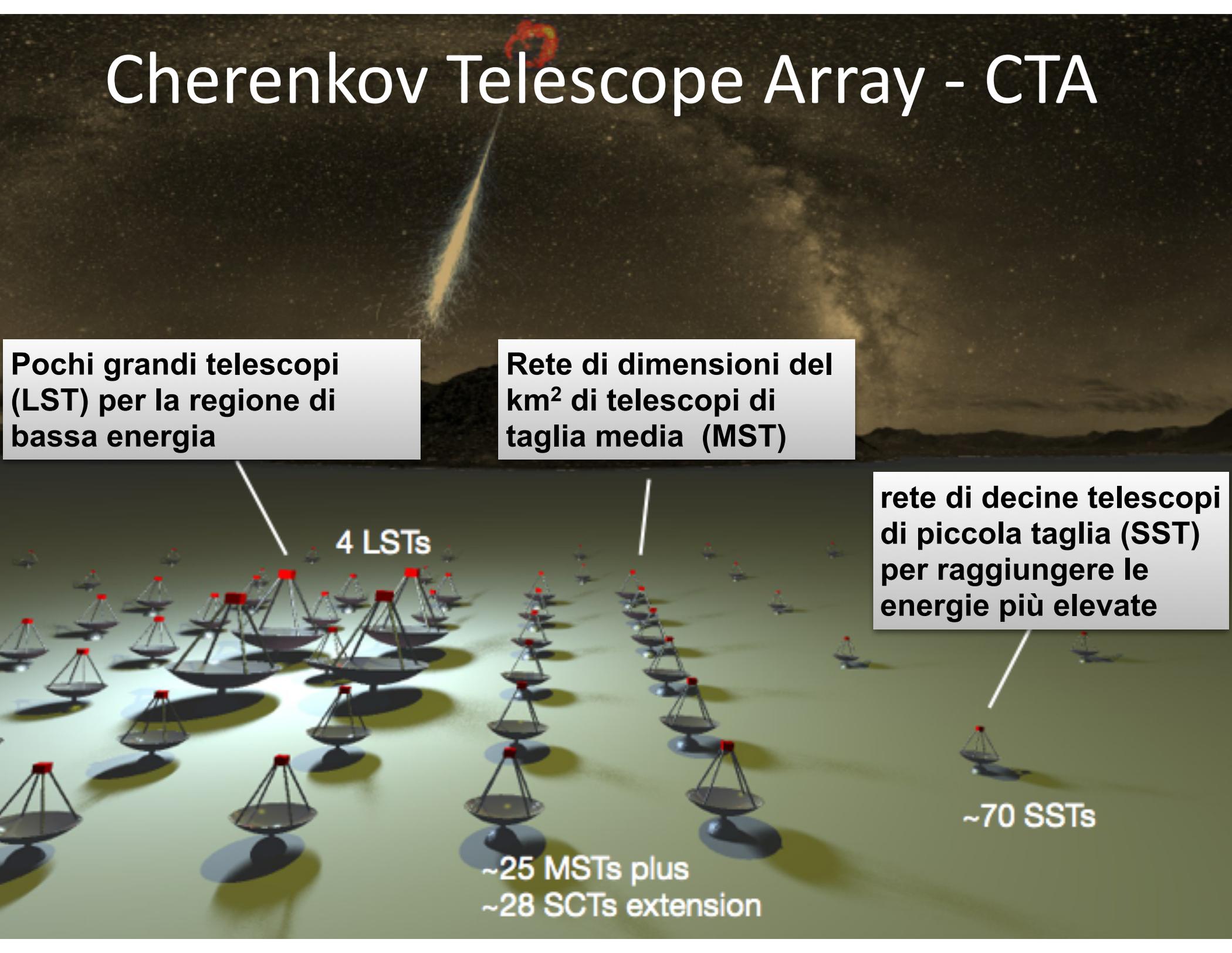
Rete di dimensioni del km² di telescopi di taglia media (MST)

rete di decine telescopi di piccola taglia (SST) per raggiungere le energie più elevate

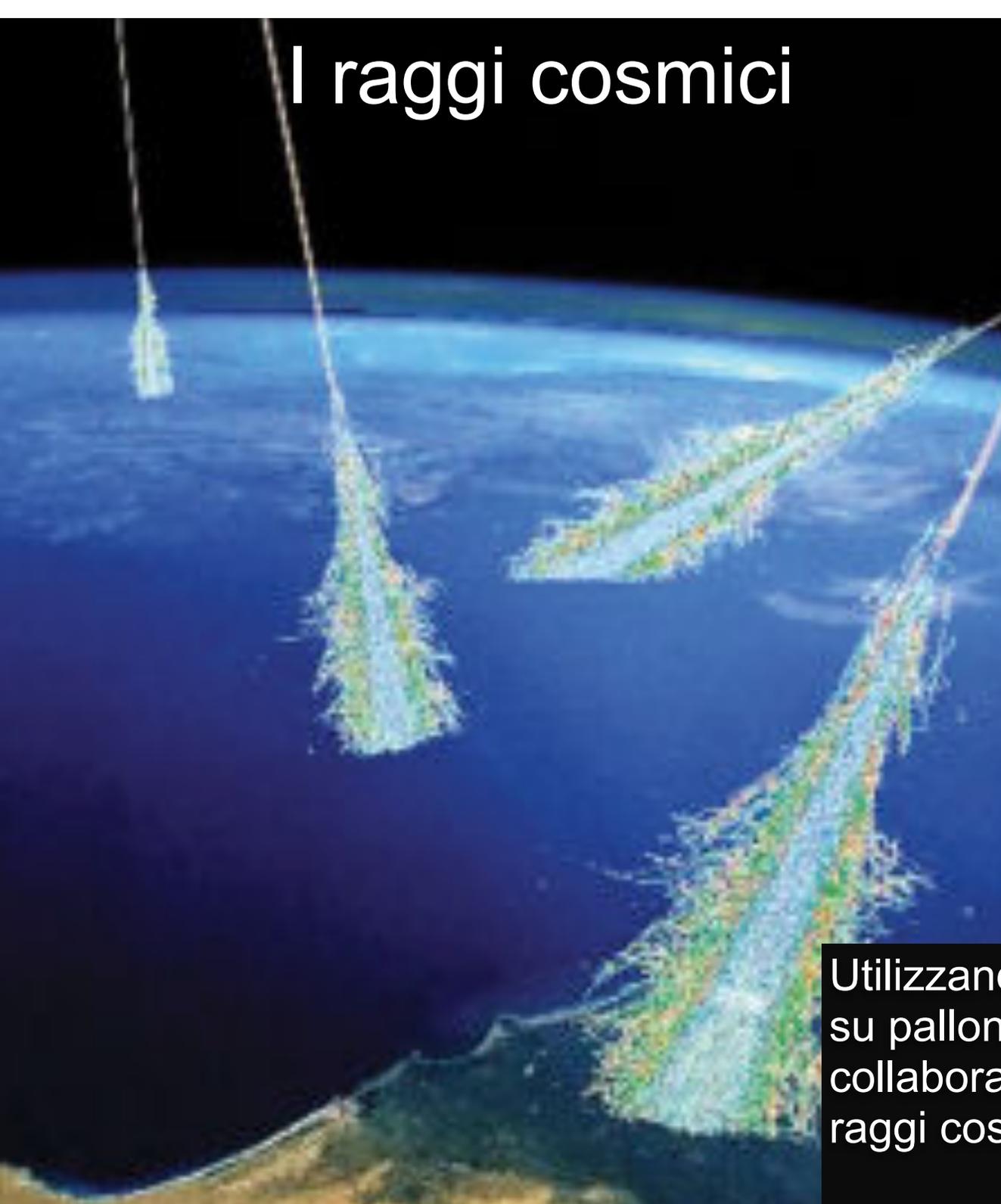
4 LSTs

~25 MSTs plus
~28 SSTs extension

~70 SSTs



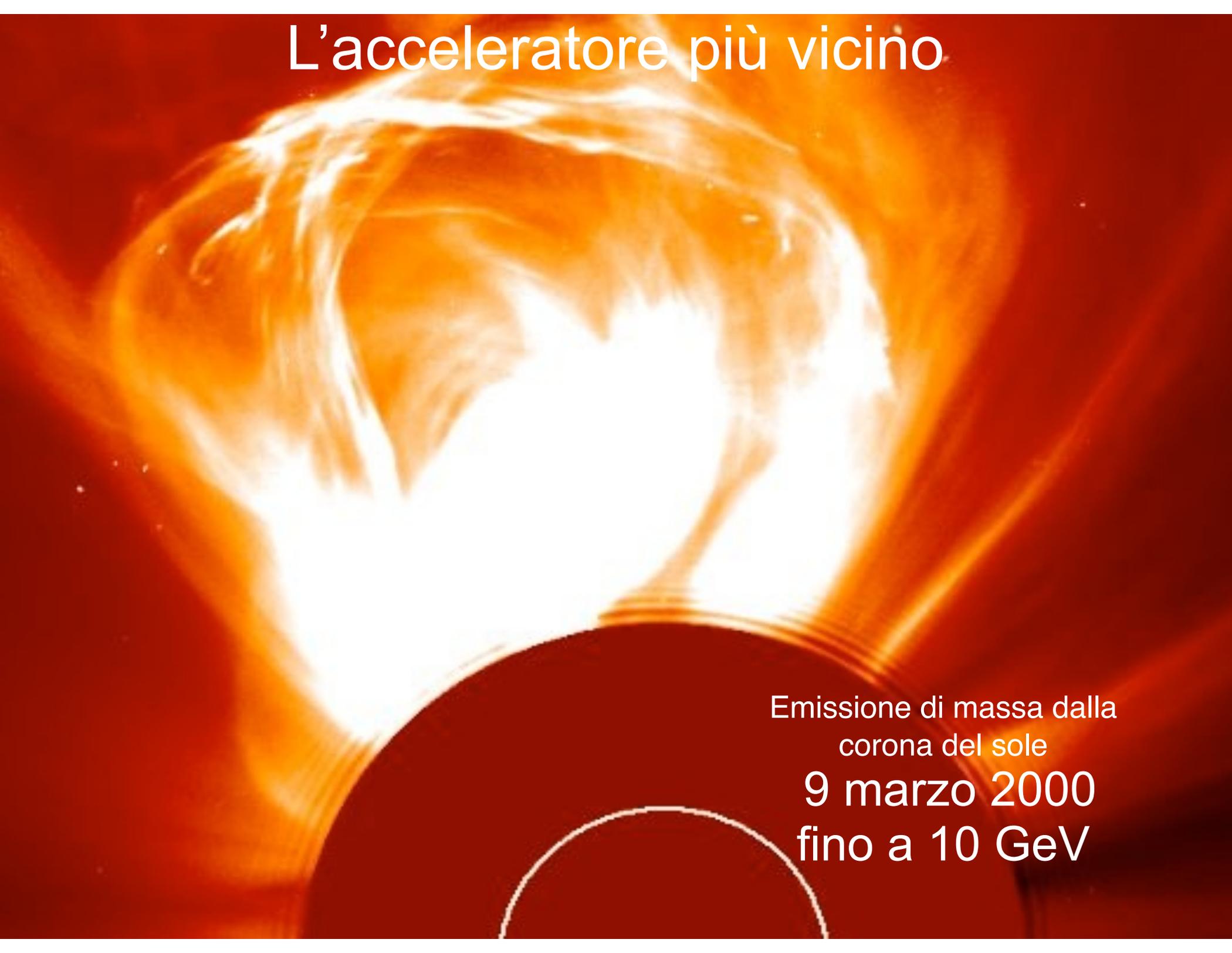
I raggi cosmici



HESS
1912

Utilizzando strumenti di misura in volo su palloni aereostatici, Hess ed i suoi collaboratori hanno mostrato che i raggi cosmici sono di origine cosmica.

L'acceleratore più vicino



Emissione di massa dalla
corona del sole
9 marzo 2000
fino a 10 GeV

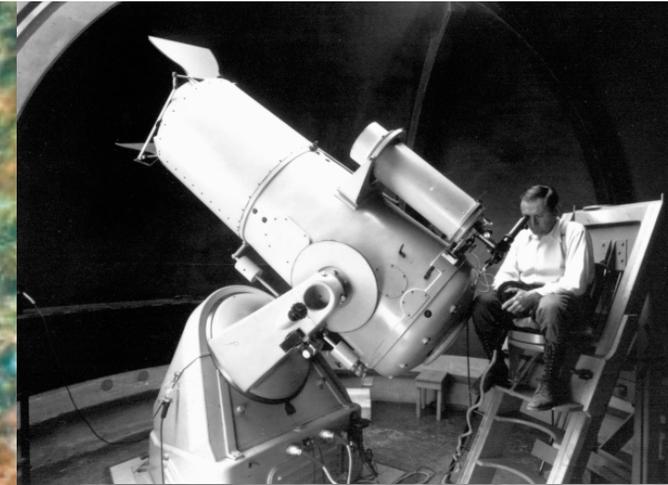
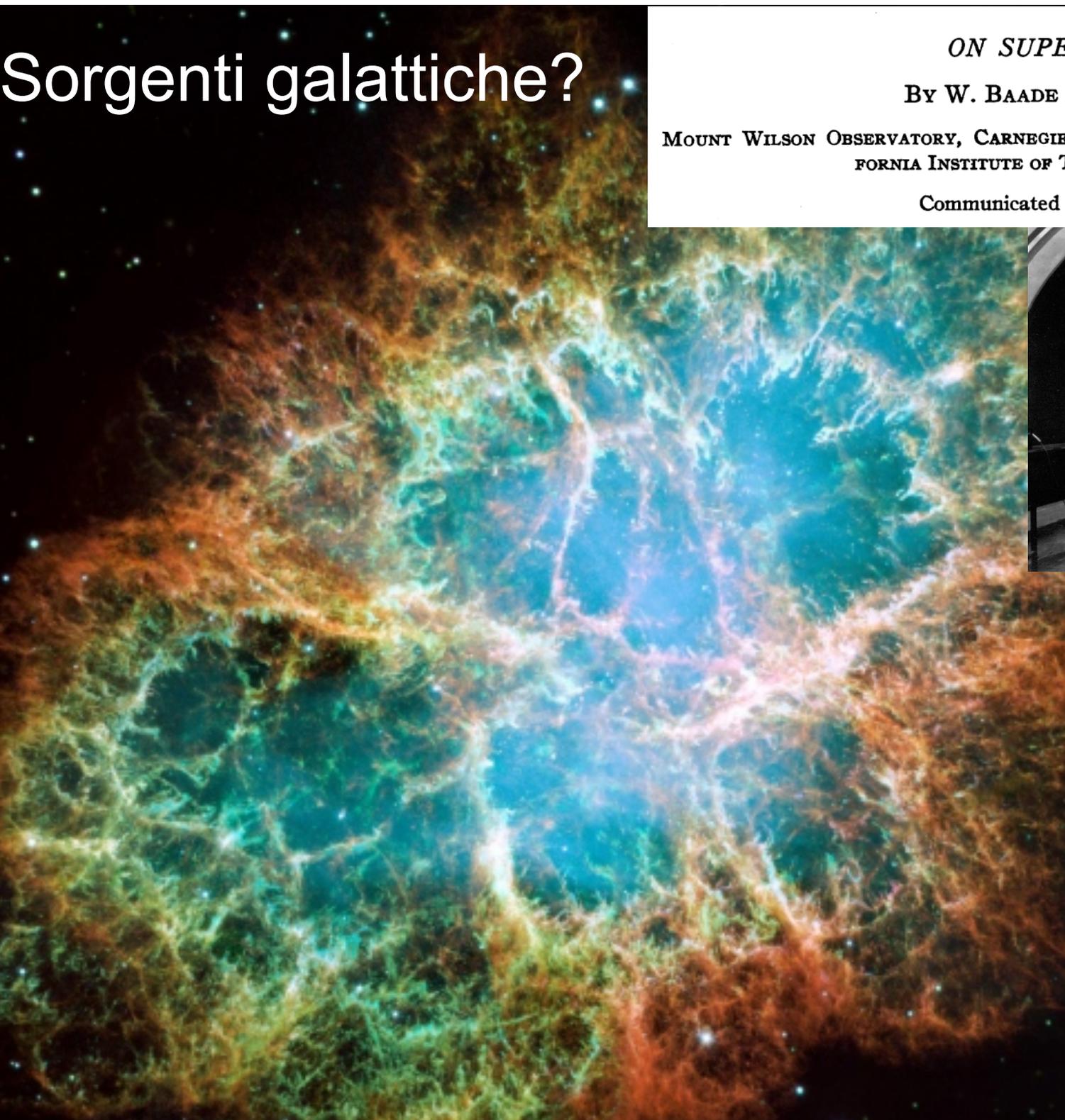
Sorgenti galattiche?

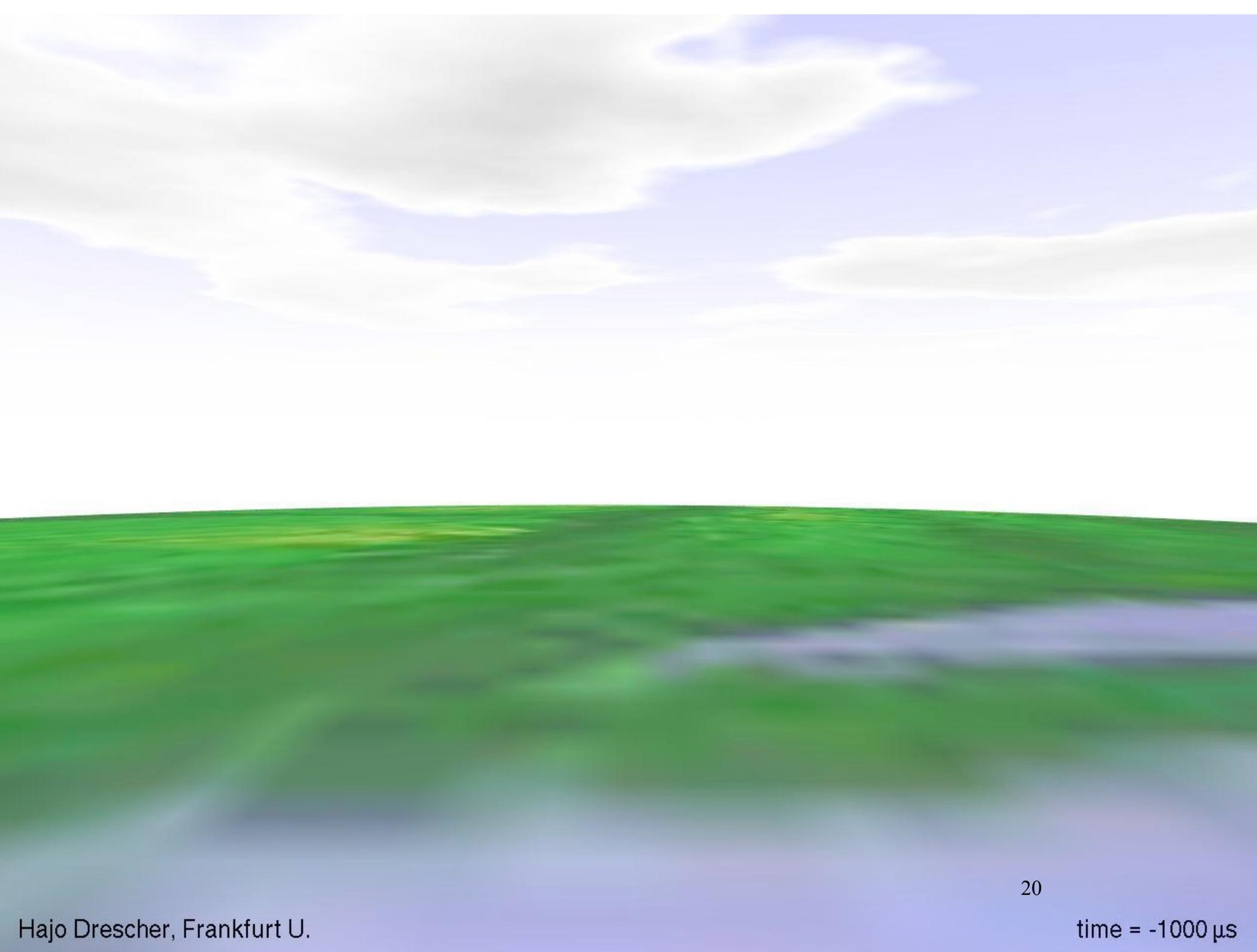
ON SUPER-NOVAE

BY W. BAADE AND F. ZWICKY

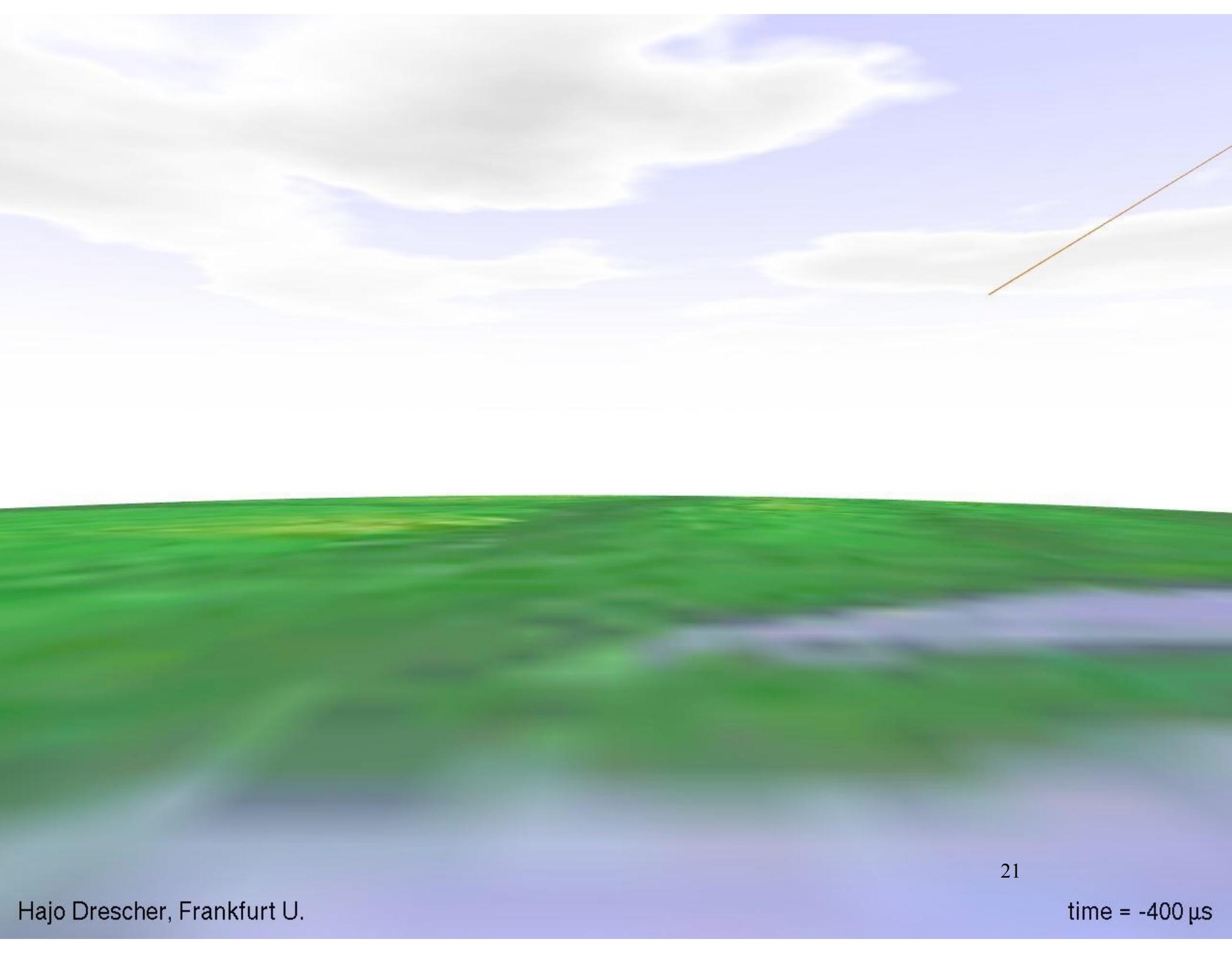
MOUNT WILSON OBSERVATORY, CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON AND CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, PASADENA

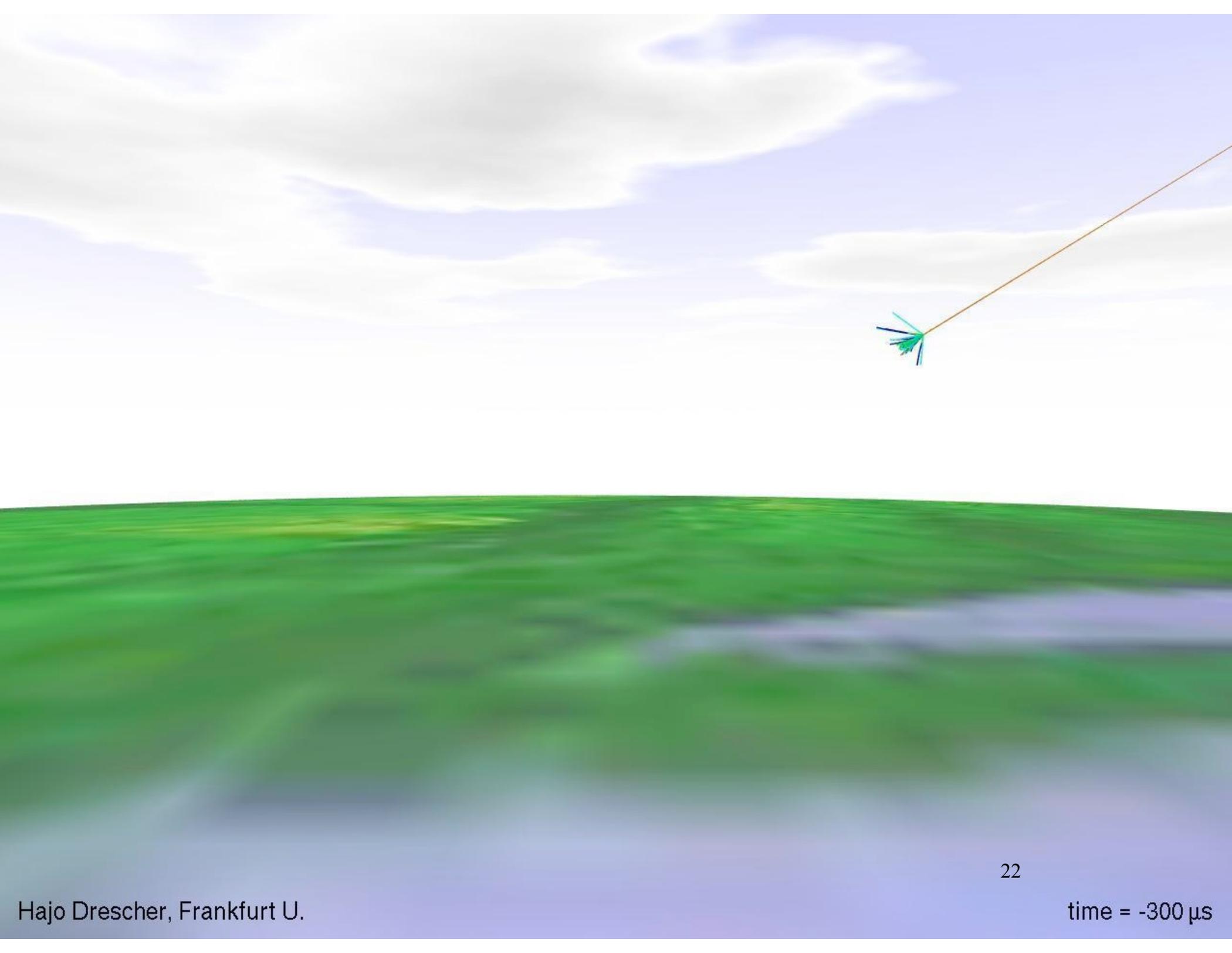
Communicated March 19, 1934

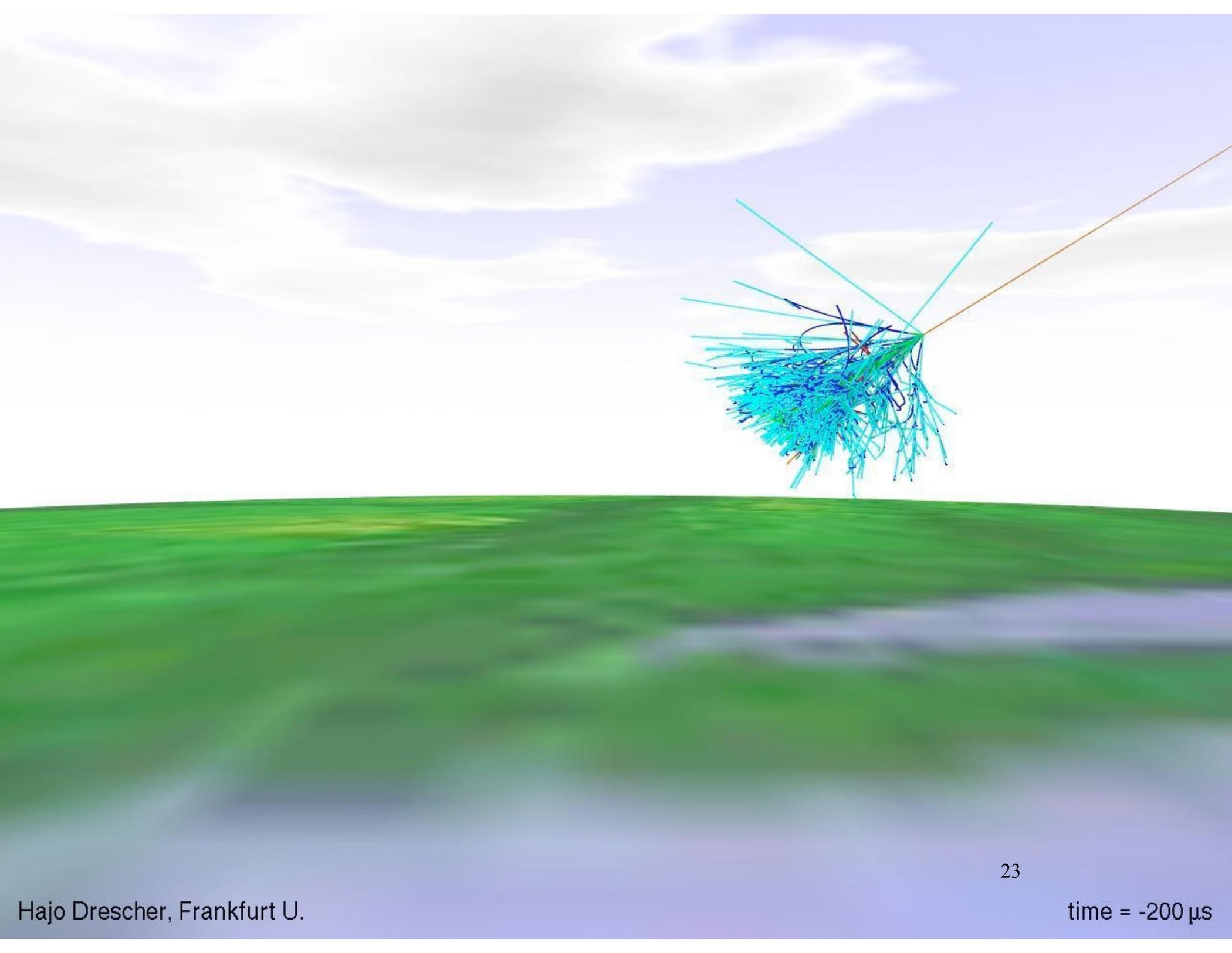


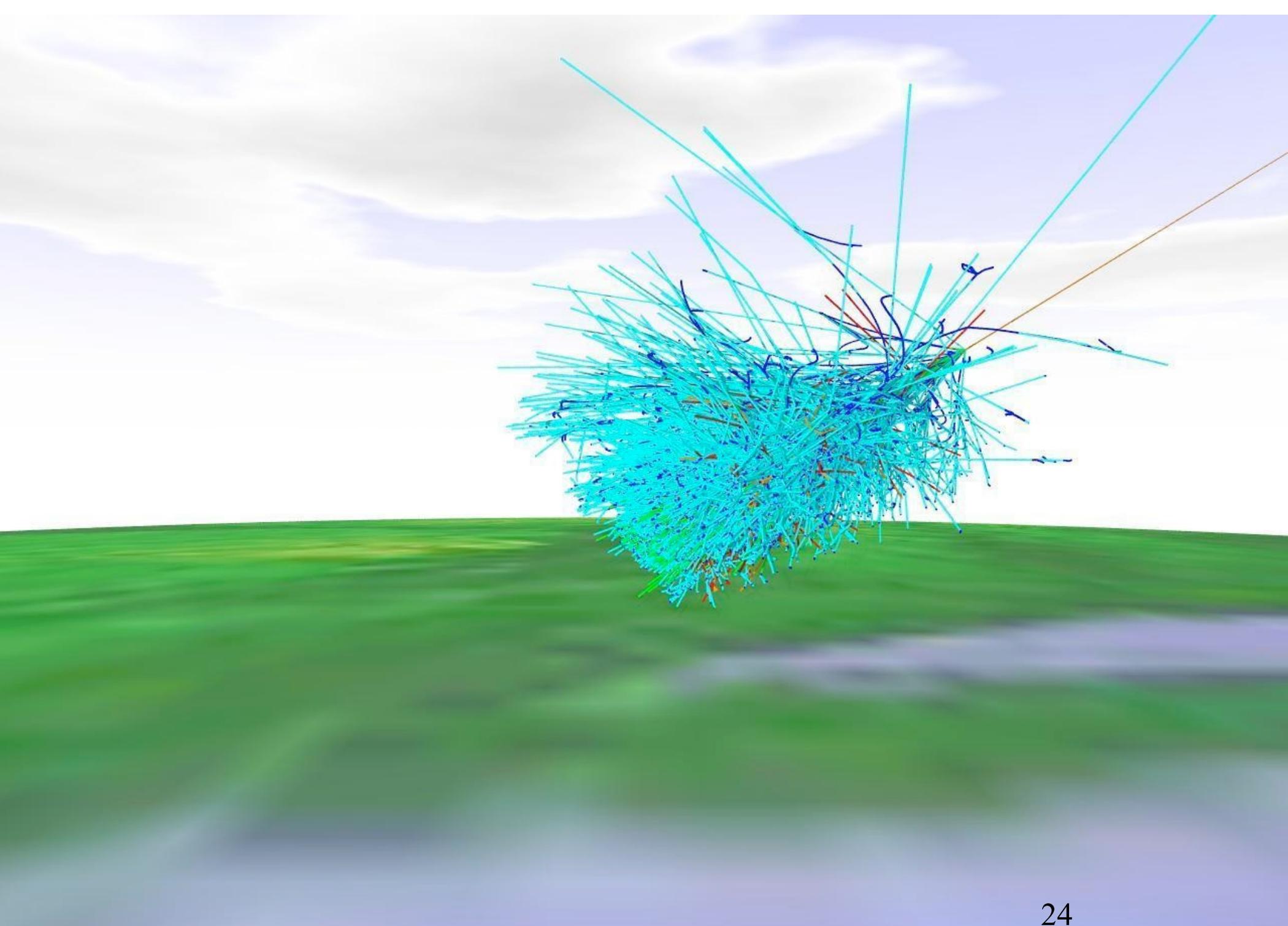


20



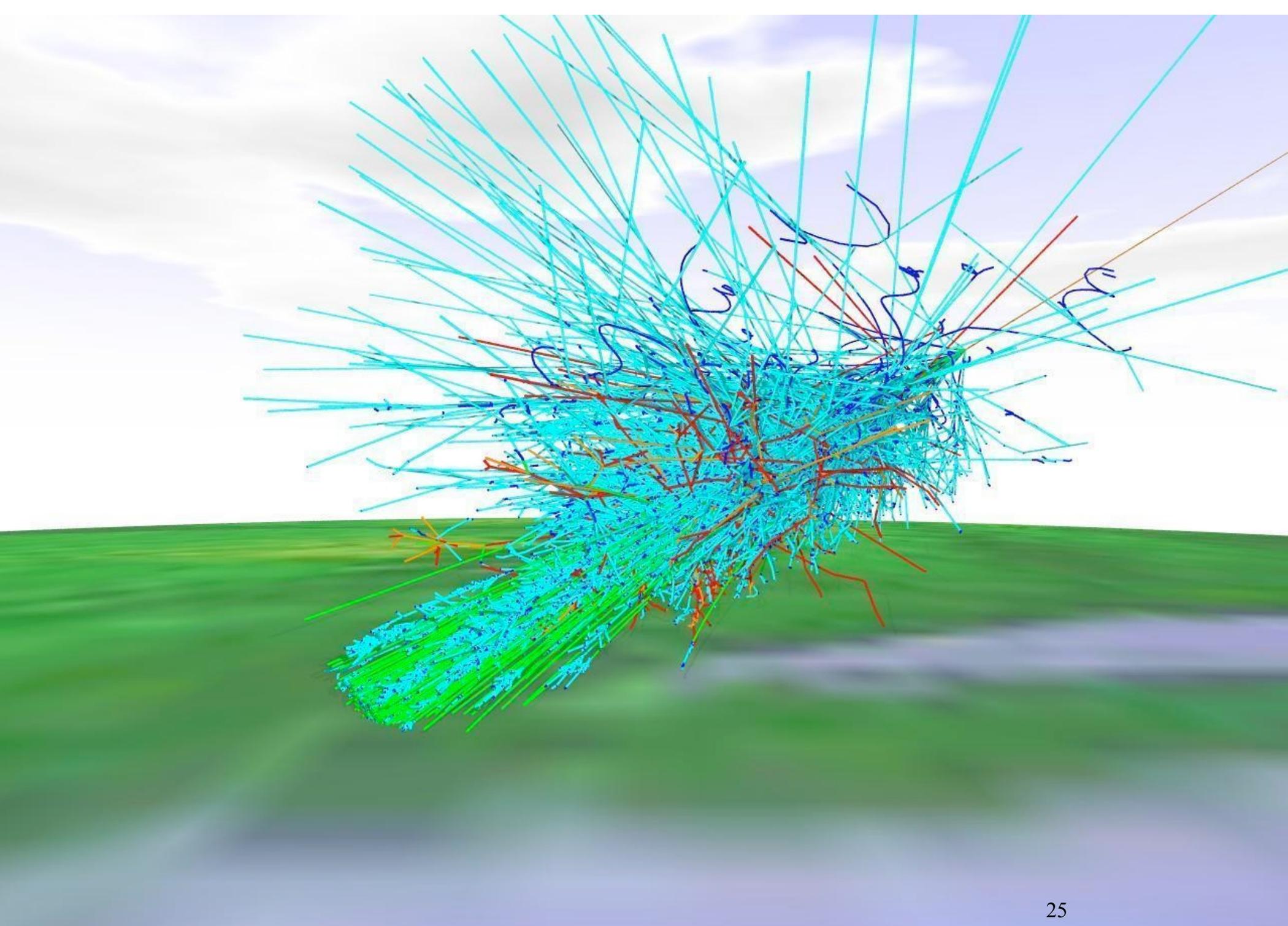


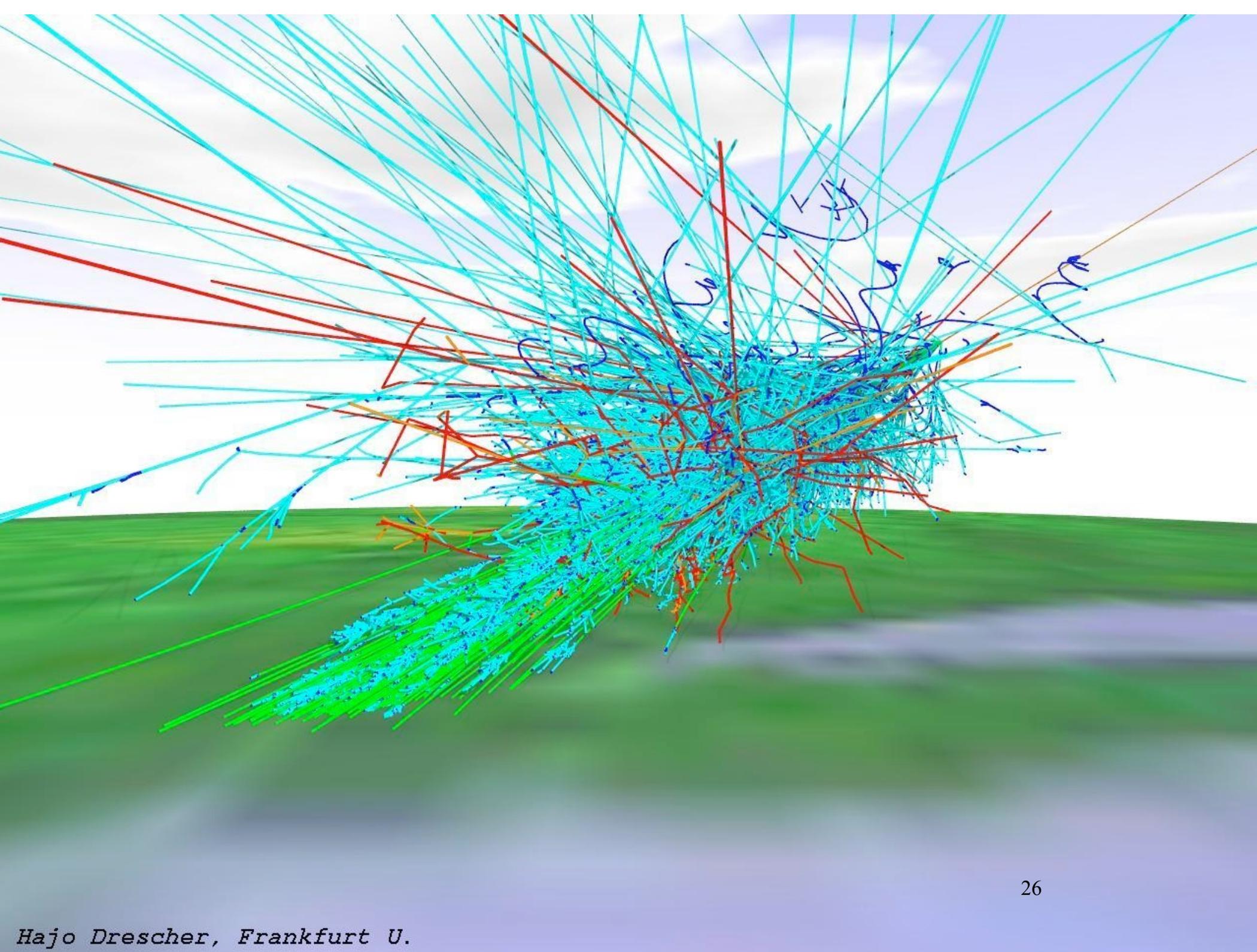




24

time = -100 μ s



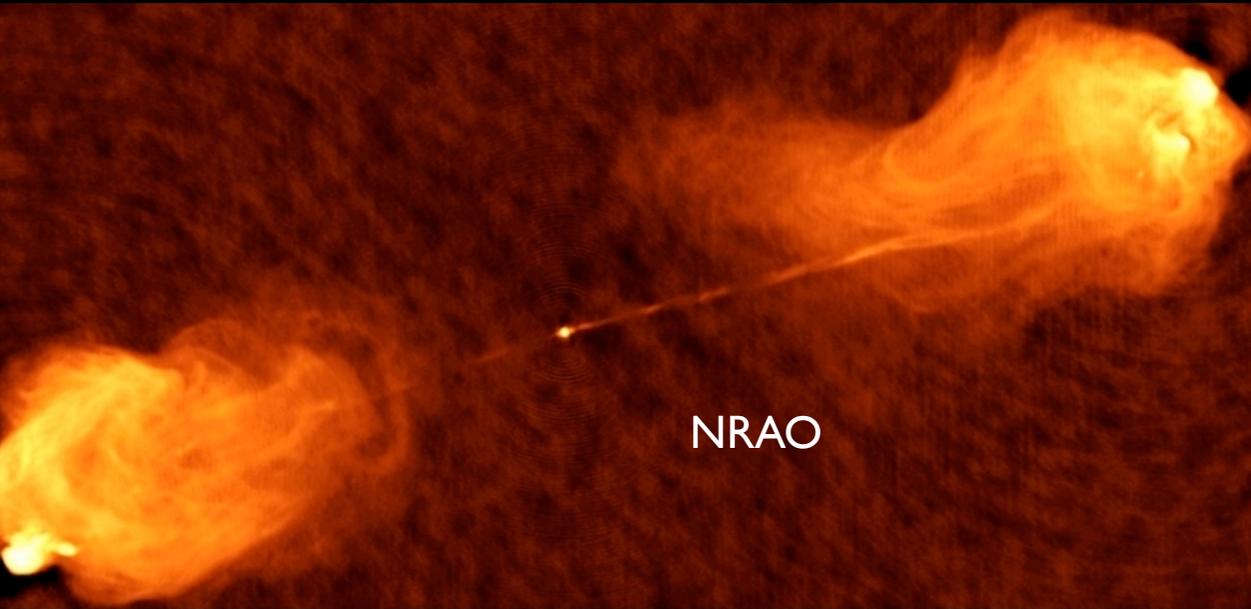


Gli acceleratori più potenti sulla terra

Il Large Hadron Collider (LHC)



Le sorgenti extra-galattiche



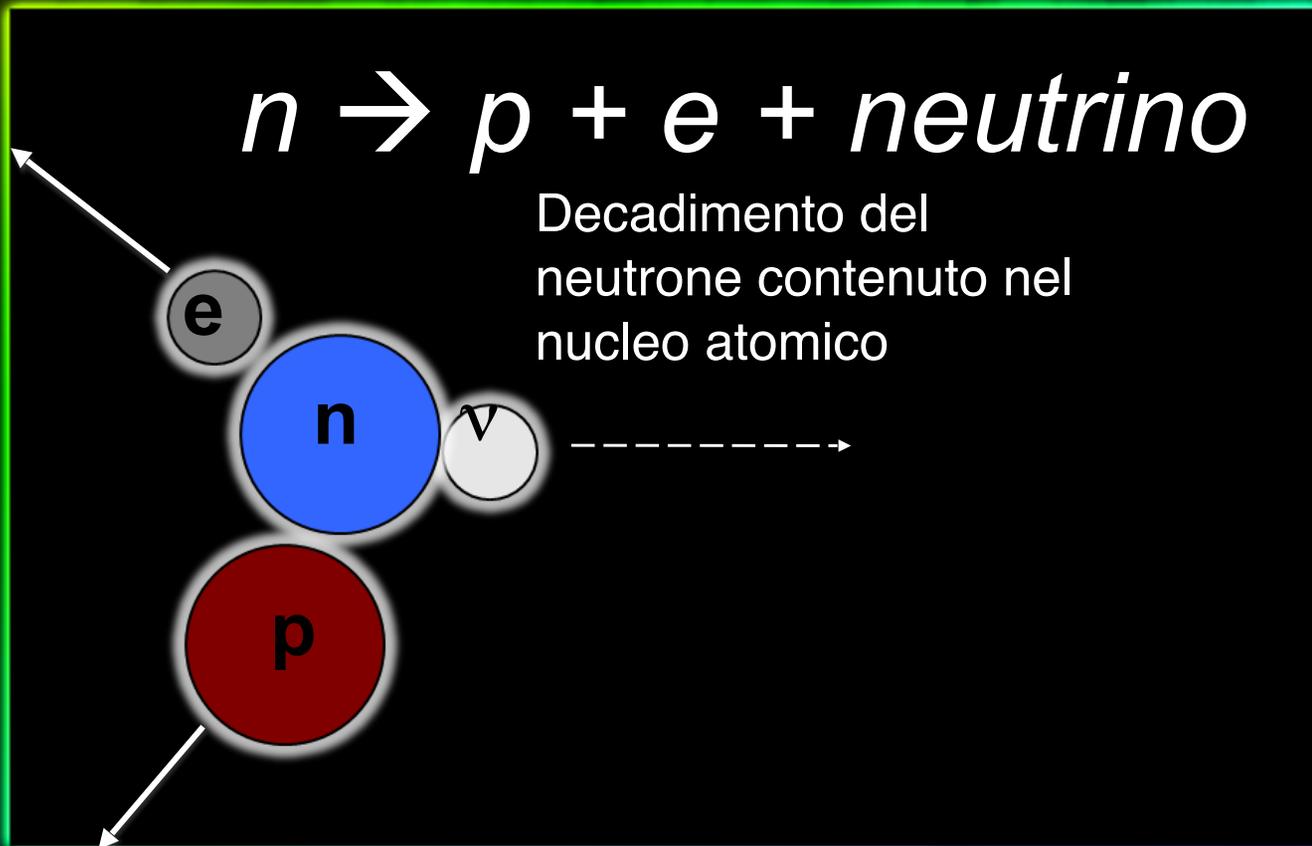
Un nucleo galattico attivo con un jet di particelle che si diramano dal buco nero e un gas e materia che si forma intorno al buco nero a causa della sua attrazione gravitazionale

Un buco nero può essere prodotto dal collasso di una stella molto più massiva del sole. I jet che si firmano da esso sono sorgenti di raggi gamma



Che sappiamo dei neutrini?

1930



Ho fatto una cosa terribile! Ho trovato una particella che non può essere osservata!

Nei prossimi decenni la possibilità di utilizzare i neutrini come messaggeri rappresenta una rivoluzione per l'astronomia moderna.

COSMIC RAY SHOWERS¹

BY KENNETH GREISEN

Laboratory of Nuclear Studies, Cornell University, Ithaca, N. Y.

Let us now consider the feasibility of detecting the neutrino flux. As a detector, we propose a large Cherenkov counter, about 15 m. in diameter, located in a mine far underground. The counter should be surrounded with photomultipliers to detect the events, and enclosed in a shell of scintillating material to distinguish neutrino events from those caused by μ mesons. Such a detector would be rather expensive, but not as much as modern accelerators and large radio telescopes. The mass of sensitive detector could be about 3000 tons of inexpensive liquid. According to a straightforward

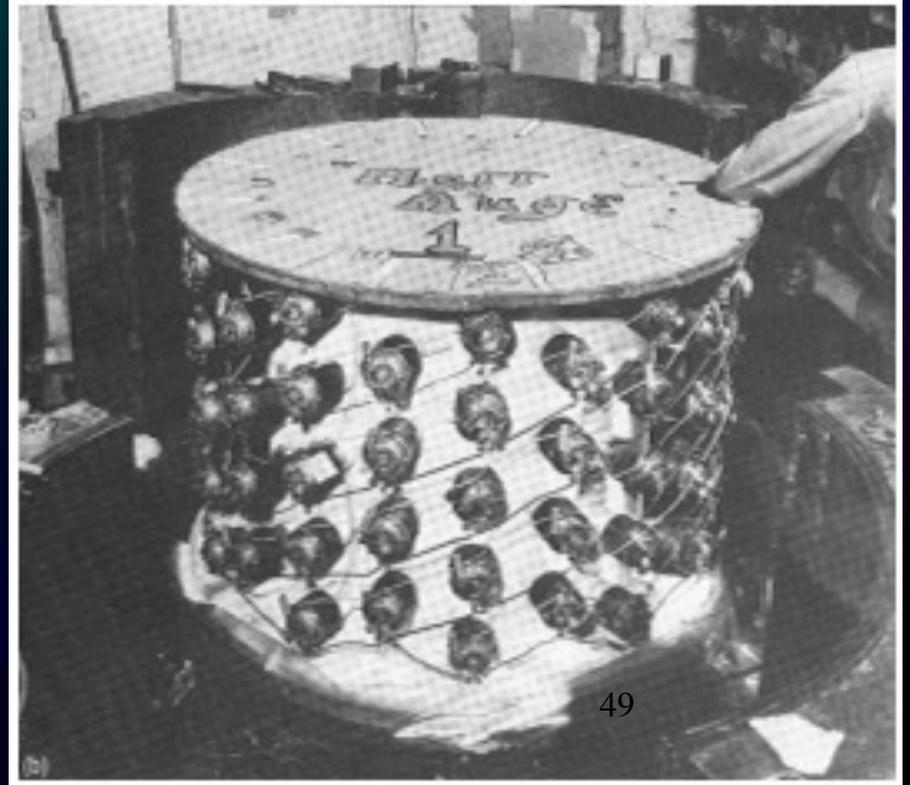
Fanciful though this proposal seems, we suspect that within the next decade, cosmic ray neutrino detection will become one of the tools of both physics and astronomy.

Rivelatori giganteschi per trovare i neutrini dalle sorgenti celesti

“Proponiamo di installare dei rivelatori nelle profondità di grandi laghi e nel mare per determinare la direzione di particelle cariche con l'aio della emissione di luce Cherenkov.” Proc. 1960 ICHEP, Rochester, p. 578.



1965 Cowan and Reines
prima rivelazione dei neutrini in
miniera



Nell'acqua...

1987 DUMAND

Prototipo di linea
installata nel 1993 a
3500 m di profondità
1995 finanziamento
terminato



Lake Baikal Siberia
1984- ...

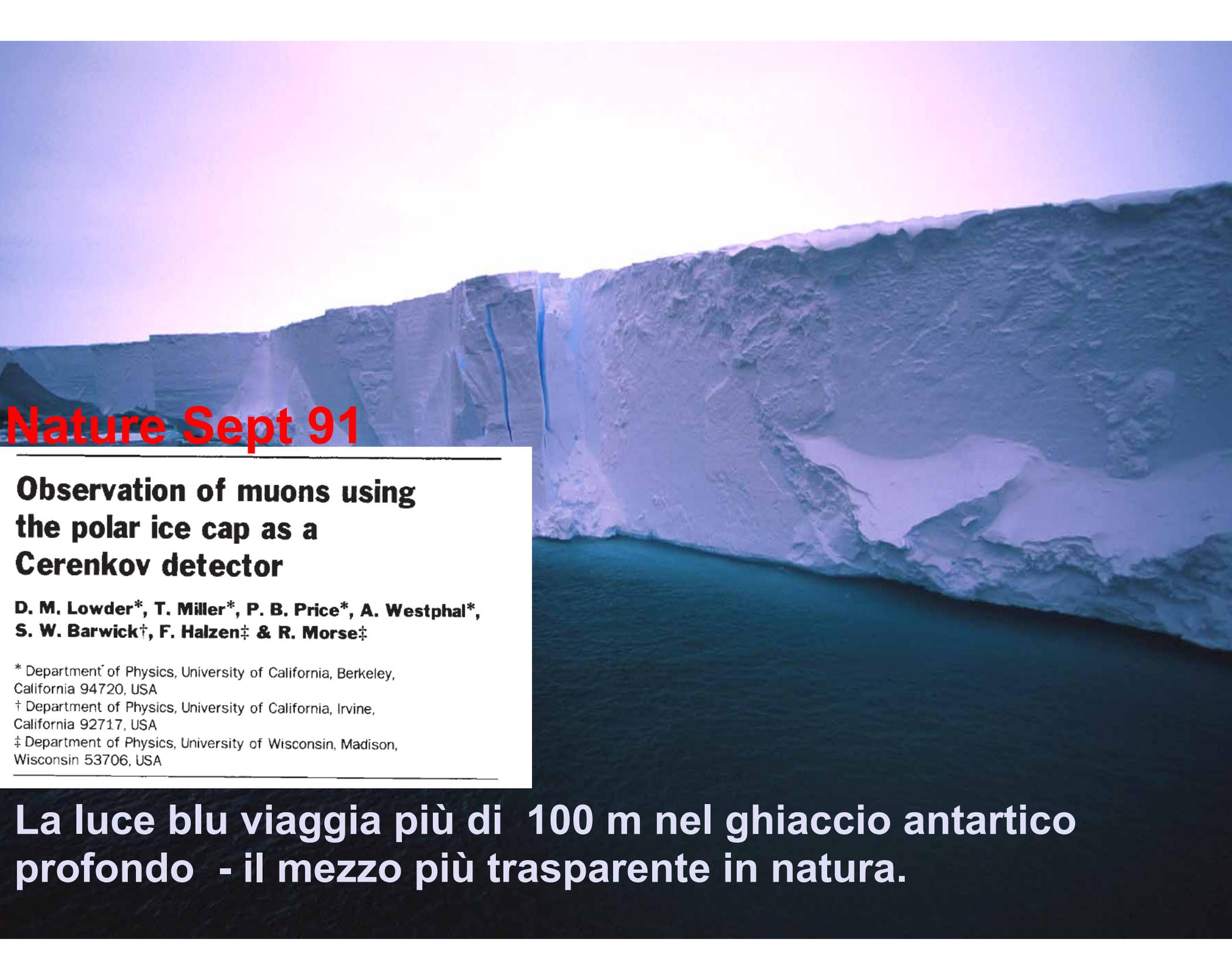
Il lago più profondo del mondo
1981: prime esplorazioni del
sito a 1.3 km di profondità



ANTARES, Francia,
2001-...

2400 m sotto la superficie del
mare a 40 km da Tolone.





Nature Sept 91

**Observation of muons using
the polar ice cap as a
Cerenkov detector**

**D. M. Lowder*, T. Miller*, P. B. Price*, A. Westphal*,
S. W. Barwick†, F. Halzen‡ & R. Morse‡**

* Department of Physics, University of California, Berkeley,
California 94720, USA

† Department of Physics, University of California, Irvine,
California 92717, USA

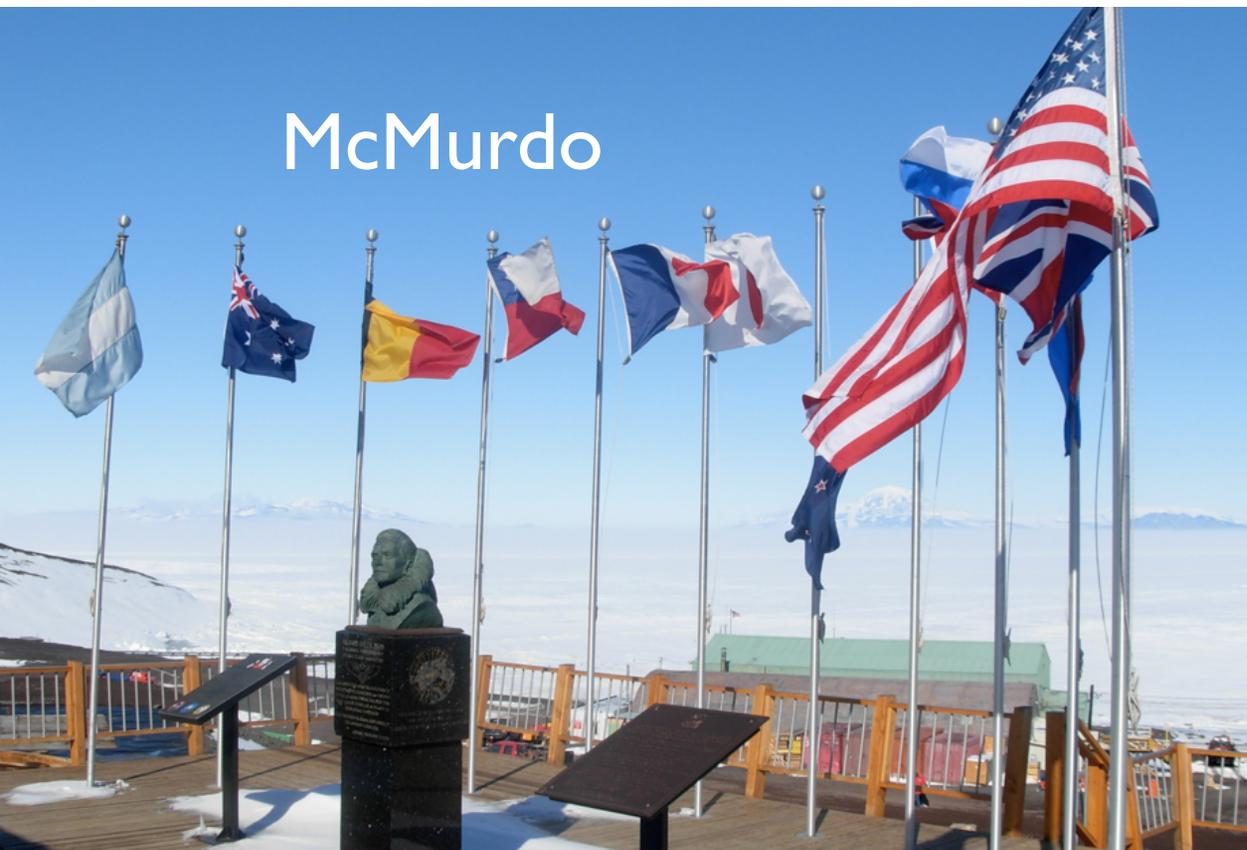
‡ Department of Physics, University of Wisconsin, Madison,
Wisconsin 53706, USA

**La luce blu viaggia più di 100 m nel ghiaccio antartico
profondo - il mezzo più trasparente in natura.**

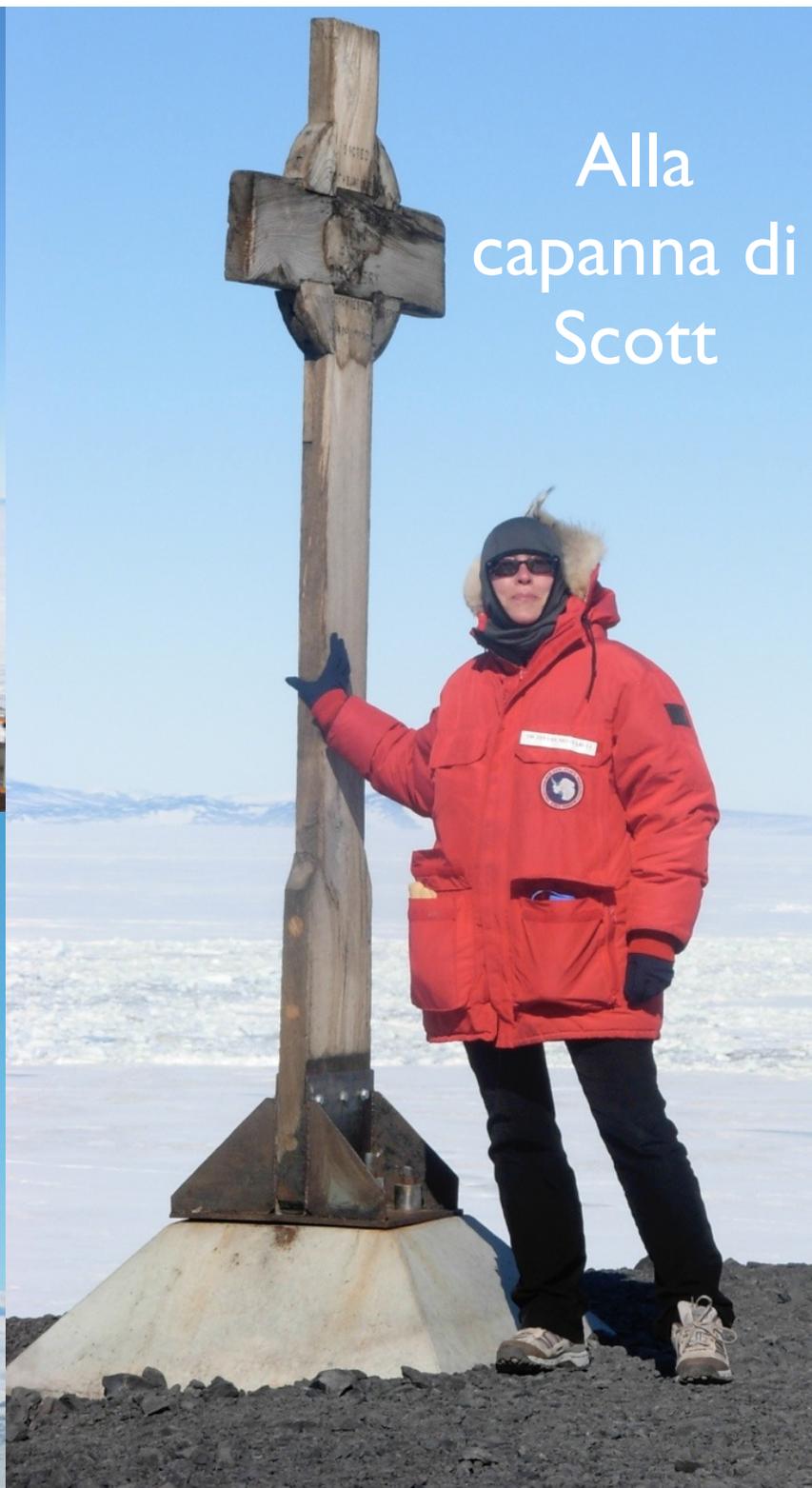


Antartide

McMurdo



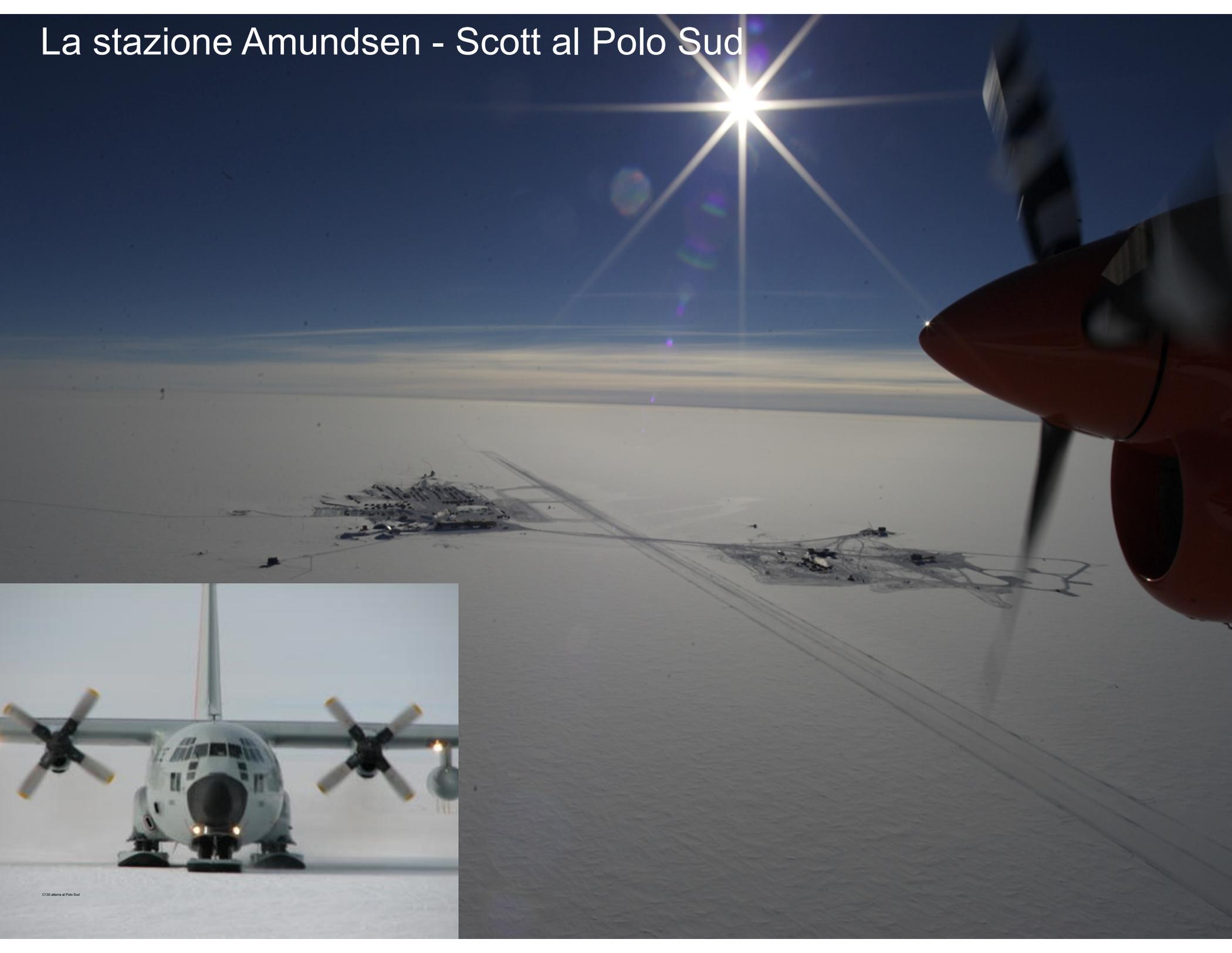
Alla
capanna di
Scott



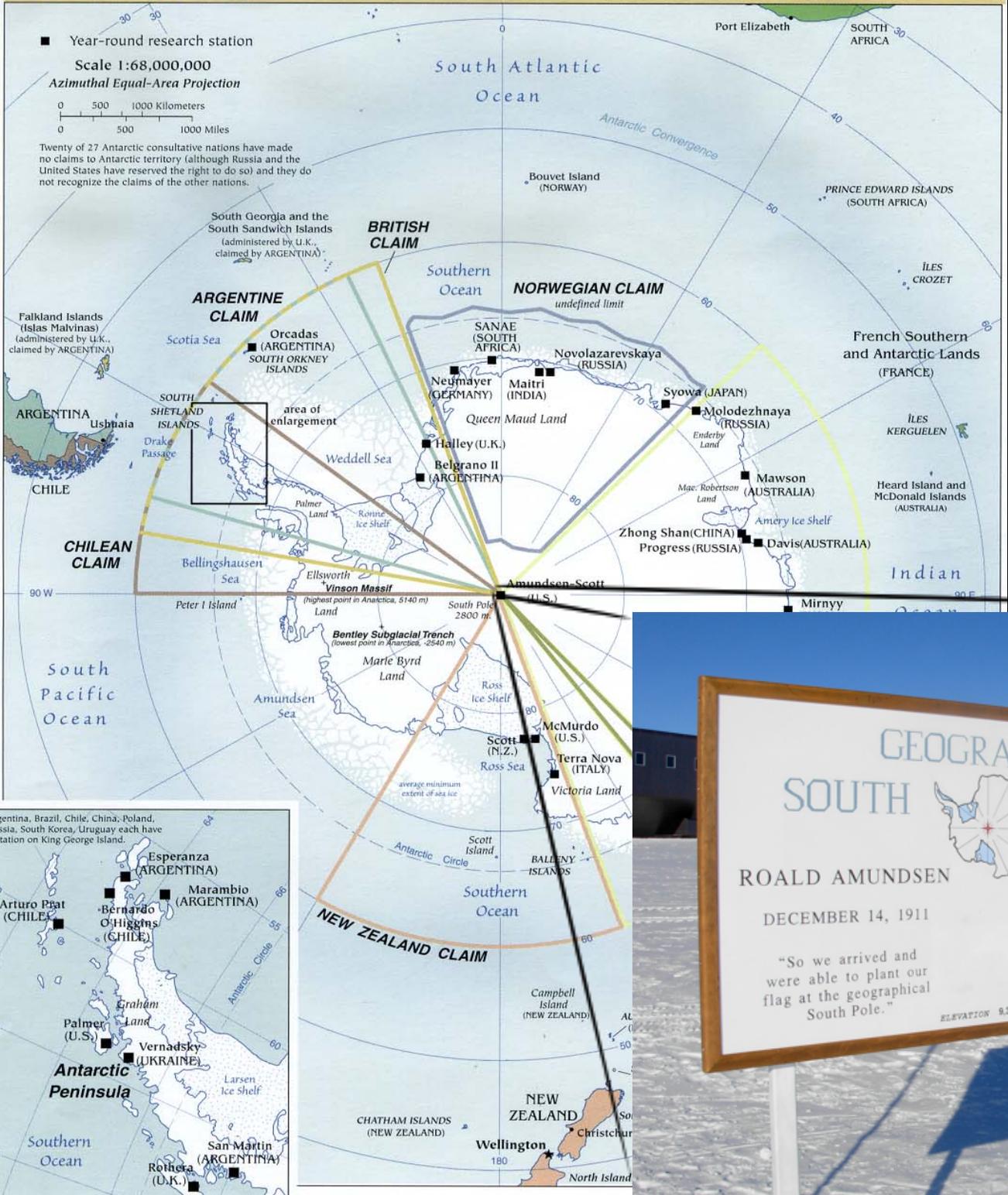
Monte Erebus



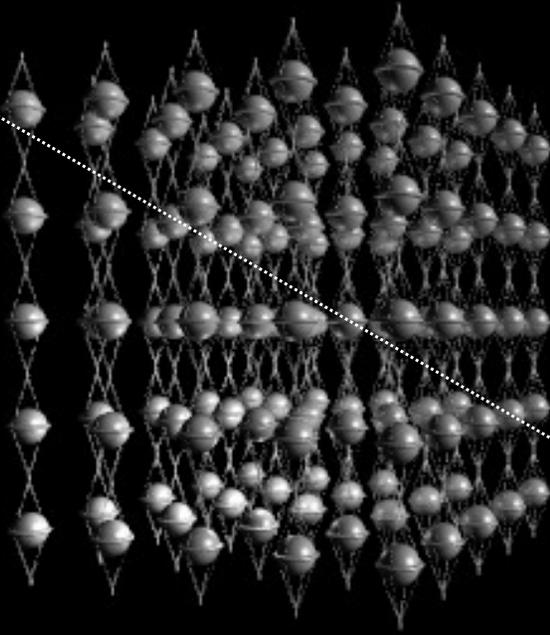
La stazione Amundsen - Scott al Polo Sud



ANTARCTIC REGION



Nel ghiaccio profondo...

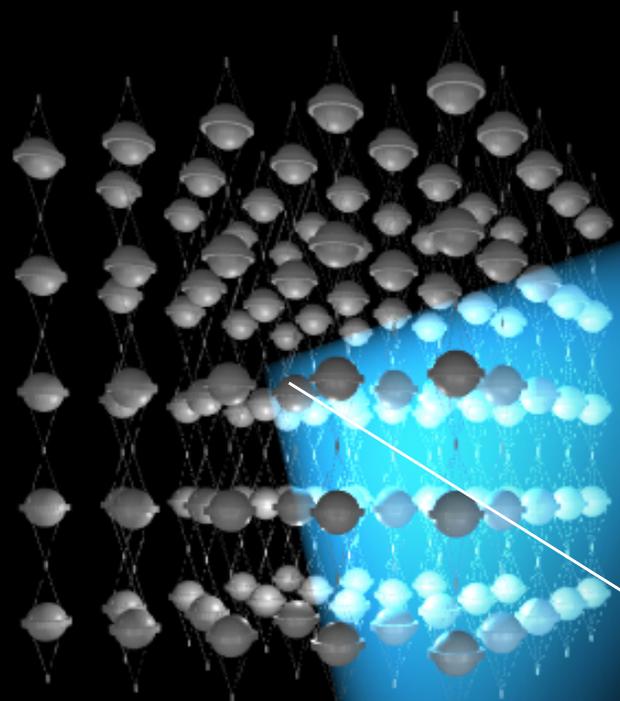


Motivo per andare al Polo Sud

Una matrice tridimensionale di
'occhi' rivela gli eventi rari di
neutrini filtrati da 1.5 km di
ghiaccio

La gran parte dei neutrini che sono
prodotti nell'atmosfera terrestre dai
raggi cosmici viaggiano imperturbati
attraverso la terra.

Il ghiaccio profondo é trasparente e buio

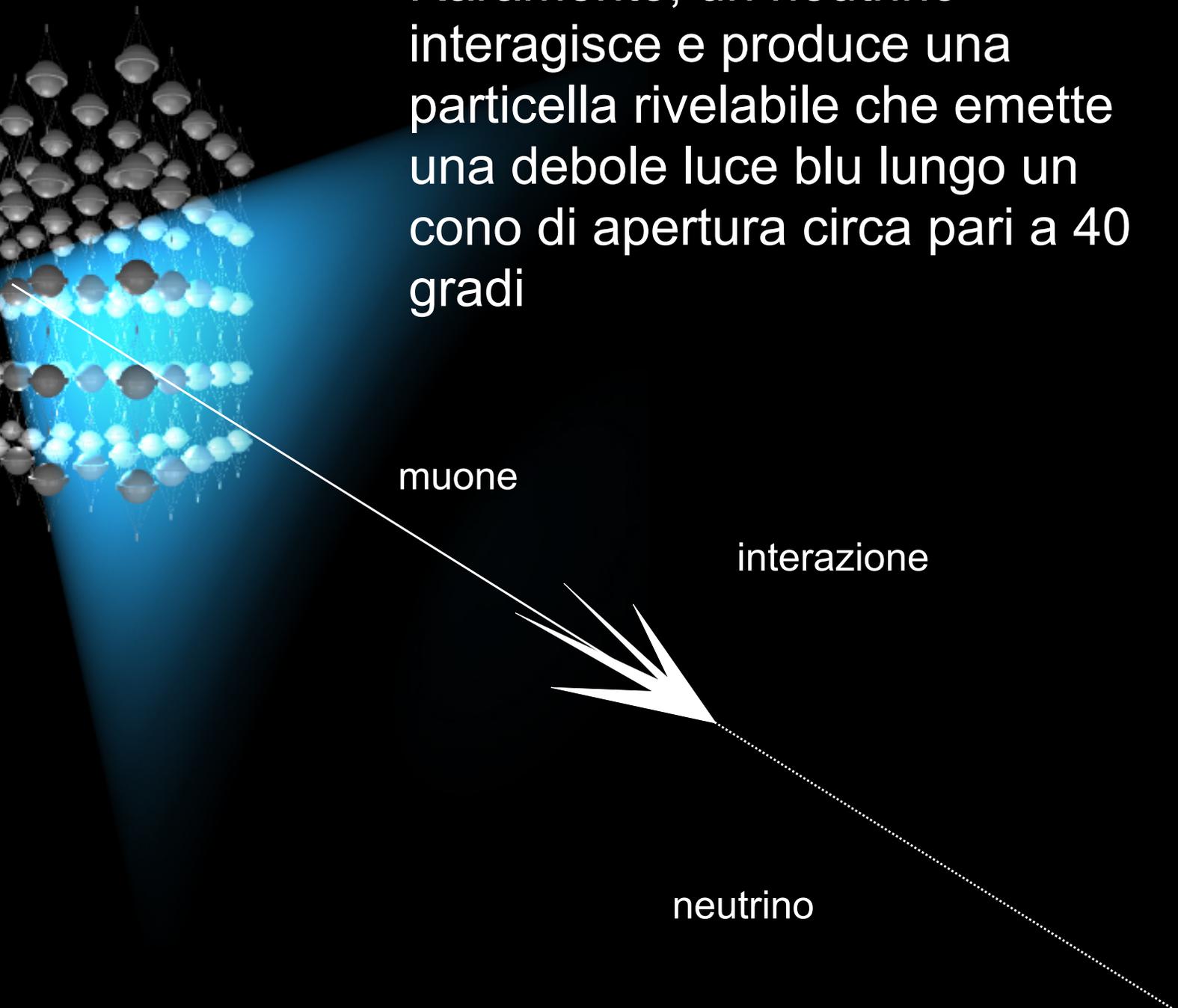


Raramente, un neutrino interagisce e produce una particella rivelabile che emette una debole luce blu lungo un cono di apertura circa pari a 40 gradi

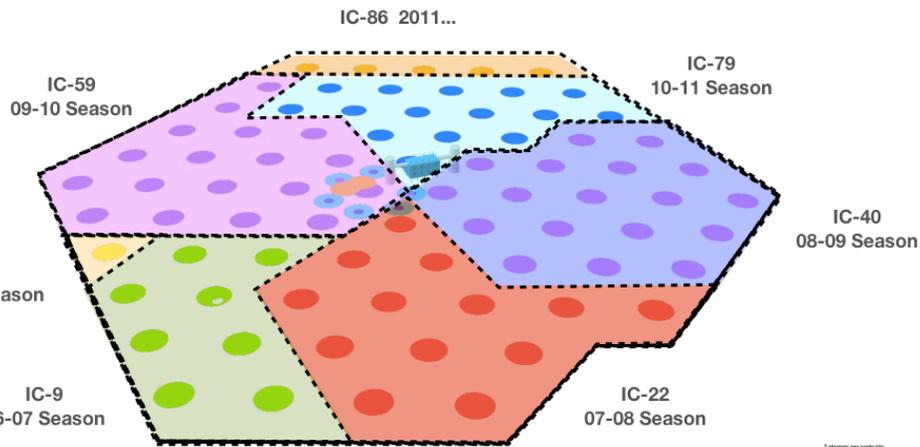
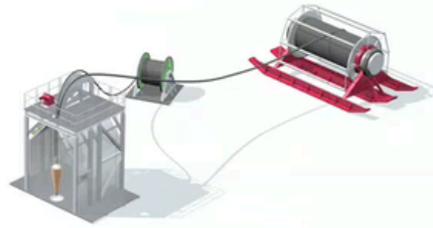
muone

interazione

neutrino



La tecnica del drilling



Construction finished on December 2010

Veduta d'artista



<http://icecube.wisc.edu/gallery>

Laboratorio di IceCube



Bicep2 e South Pole Telescope



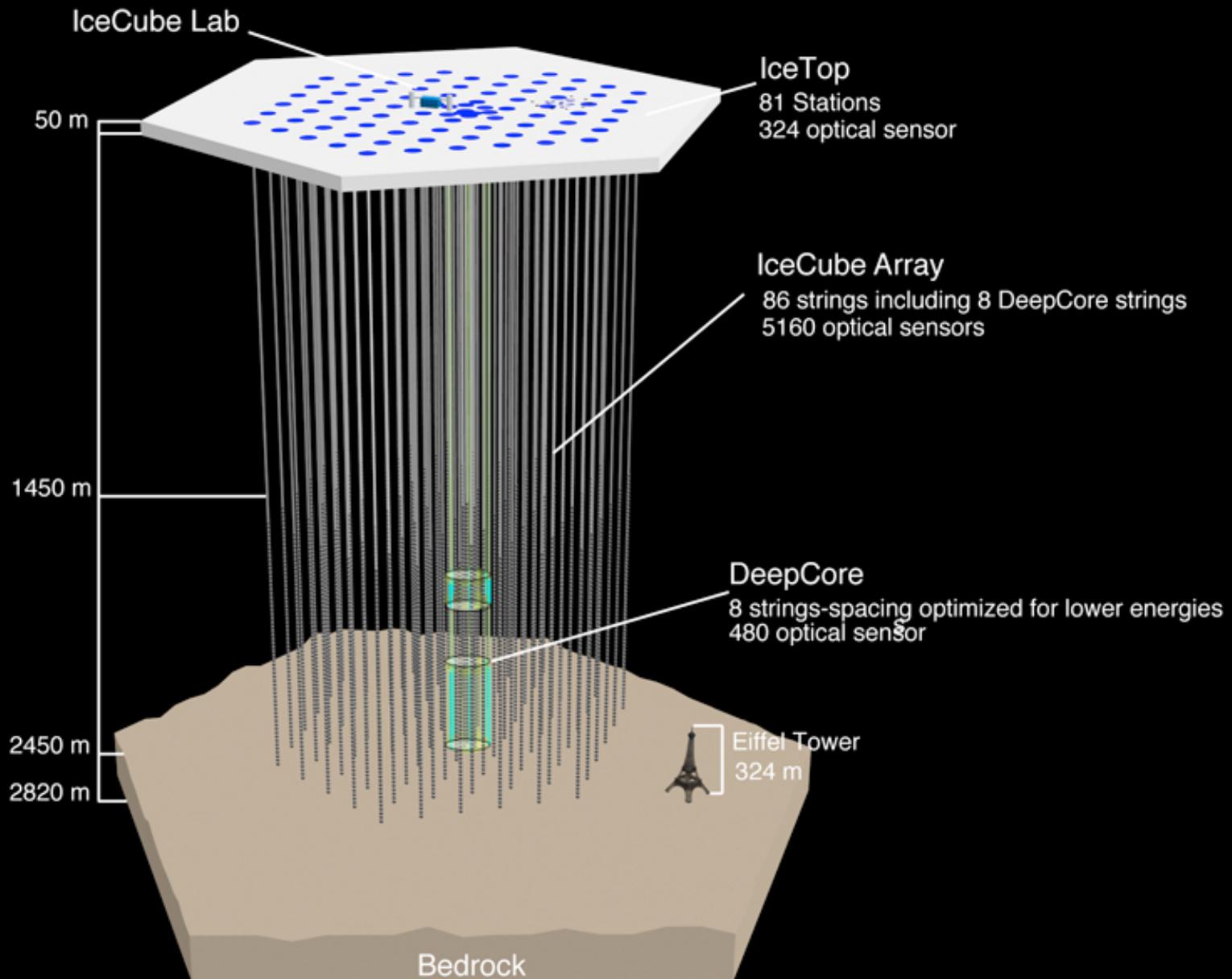


Il telescopio IceCube

5160 Moduli Ottici (DOM)
sostenuti da 86 linee che
trasmettono i dati e la
potenza agli 'occhi'



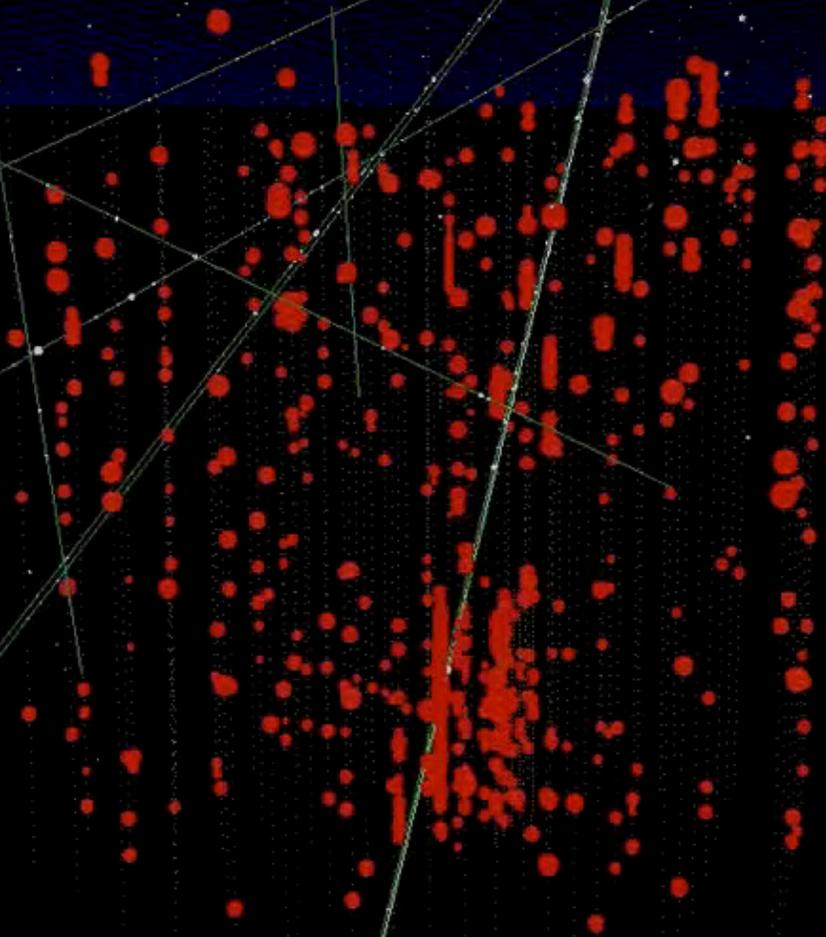
Il telescopio IceCube



Gli 'occhi' o fotosensori

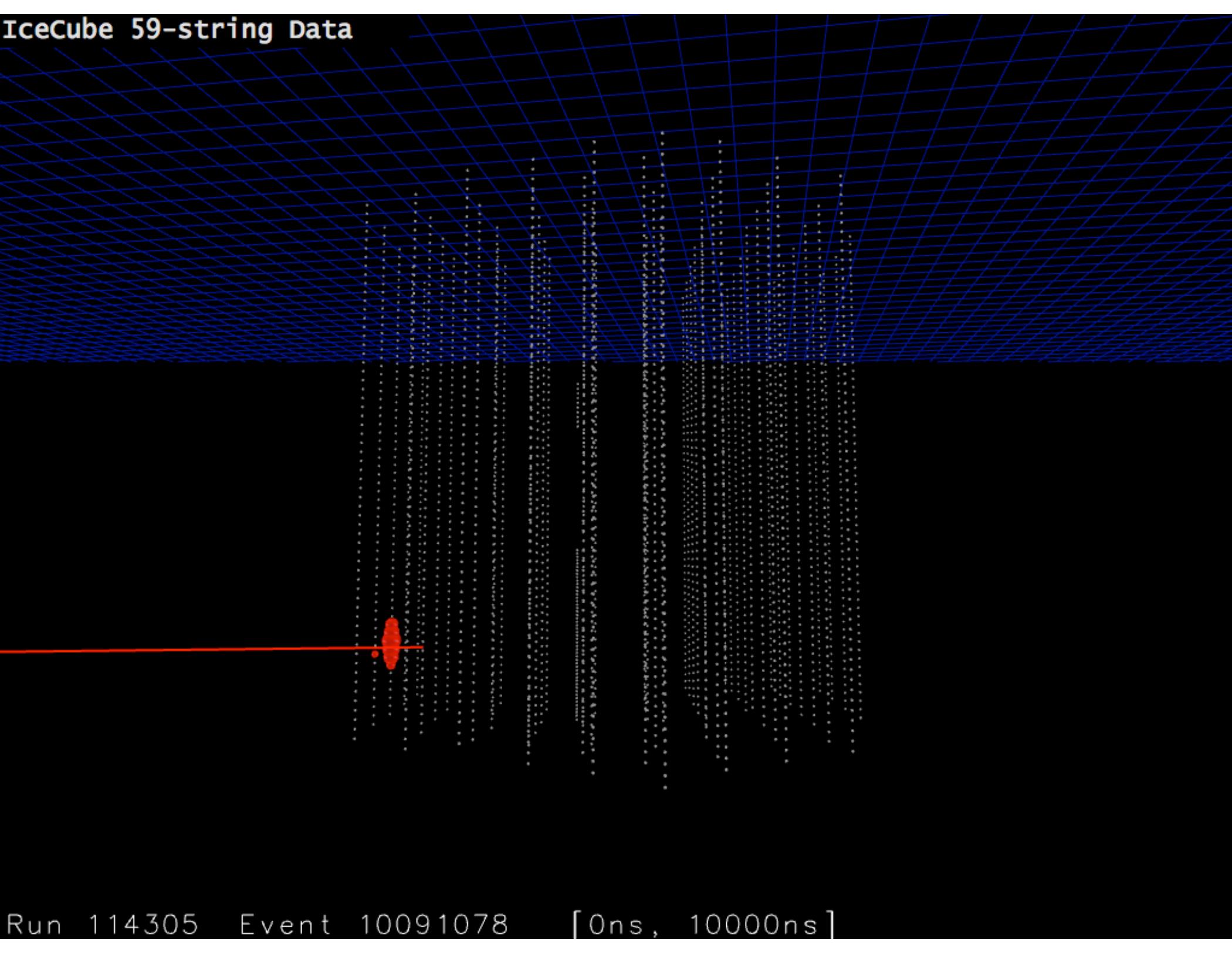


Type: PPlus
E(GeV): 1.42e+04
Zen: 17.37 deg
Azi: 253.08 deg
NTrack: 990/1826 shown, min E(GeV) == 1184.28
NCosc: 100/14225 shown, min E(GeV) == 0.94



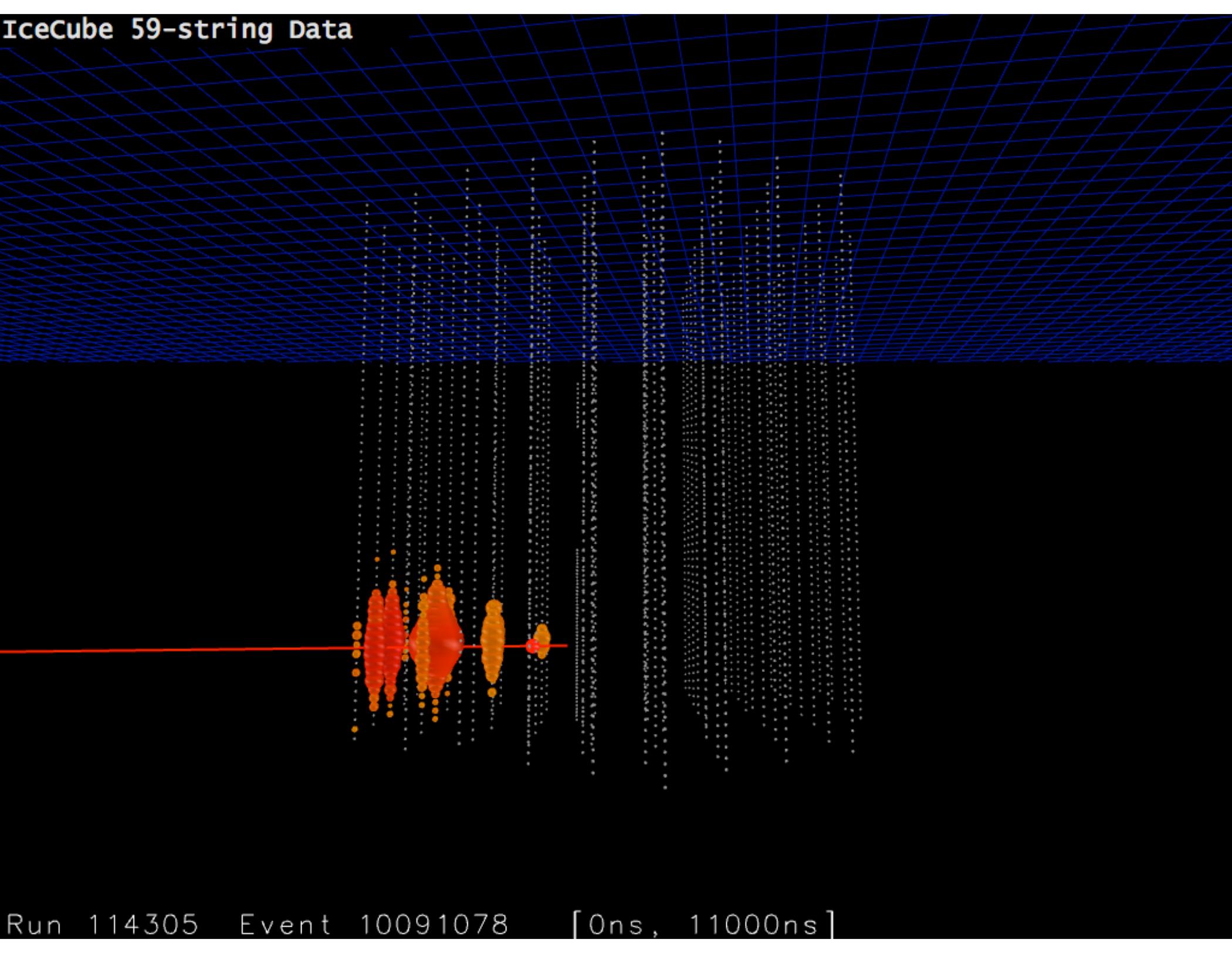
Avete guardato 10 millisecondi di dati di IceCube

IceCube 59-string Data



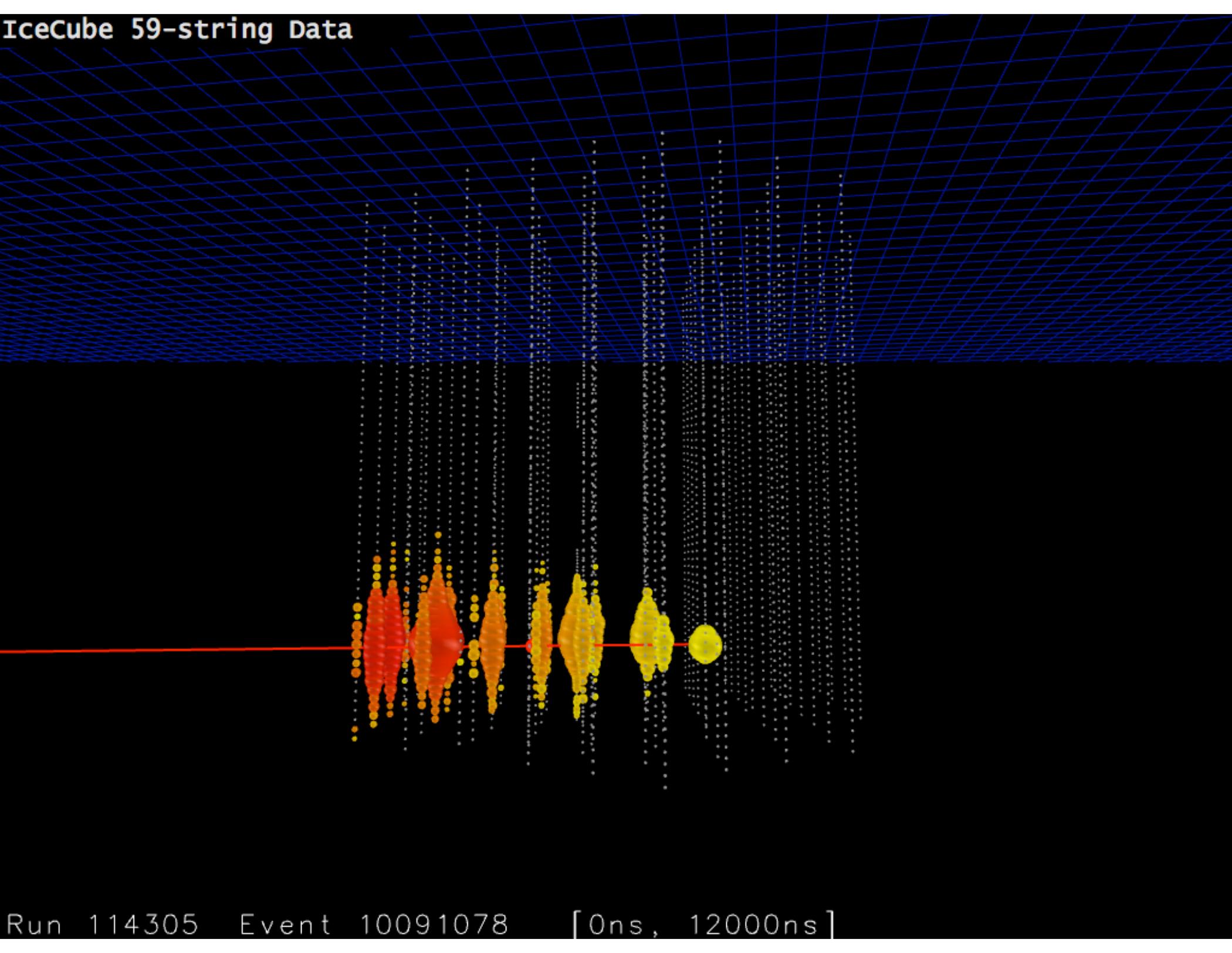
Run 114305 Event 10091078 [0ns, 10000ns]

IceCube 59-string Data



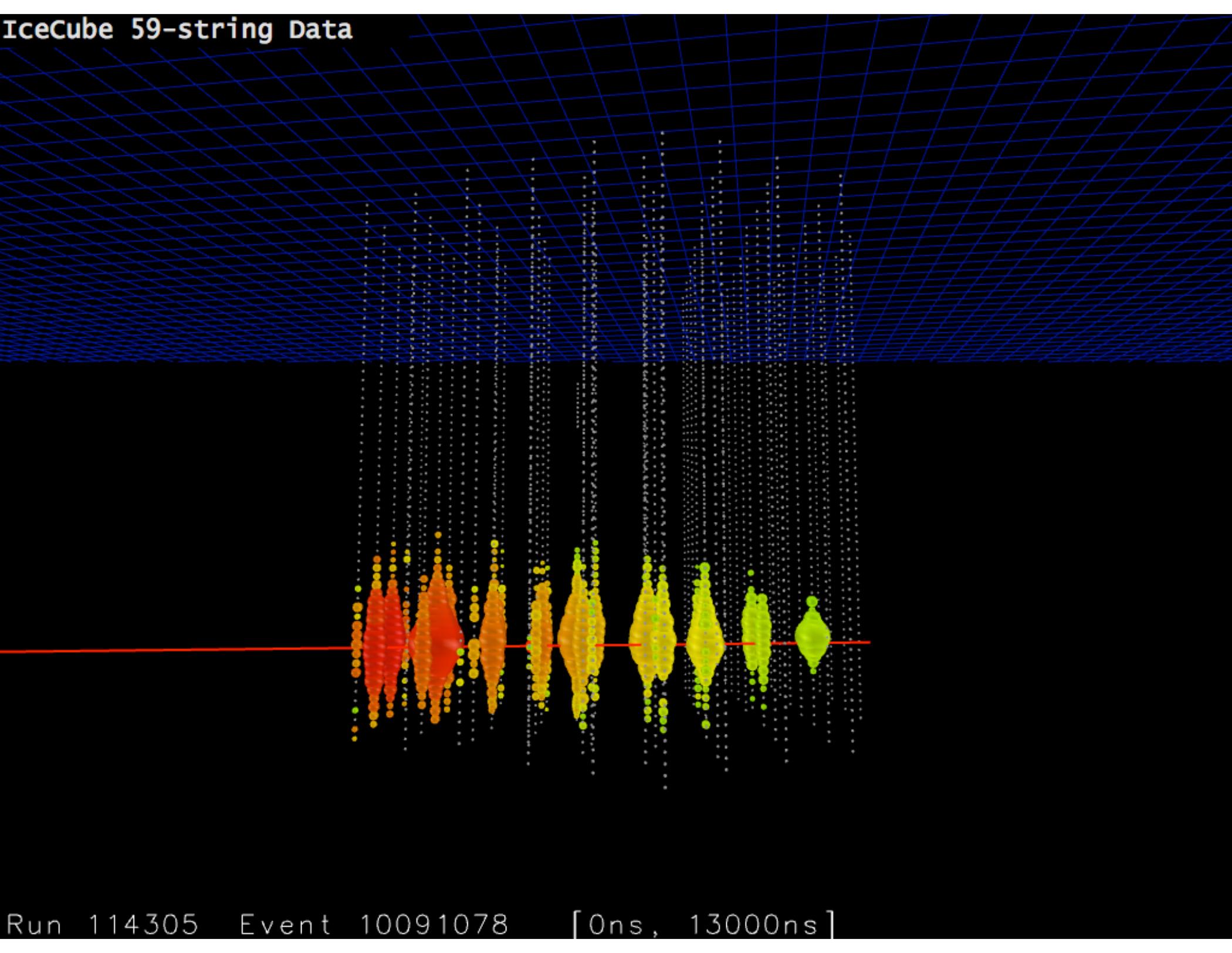
Run 114305 Event 10091078 [0ns, 11000ns]

IceCube 59-string Data



Run 114305 Event 10091078 [0ns, 12000ns]

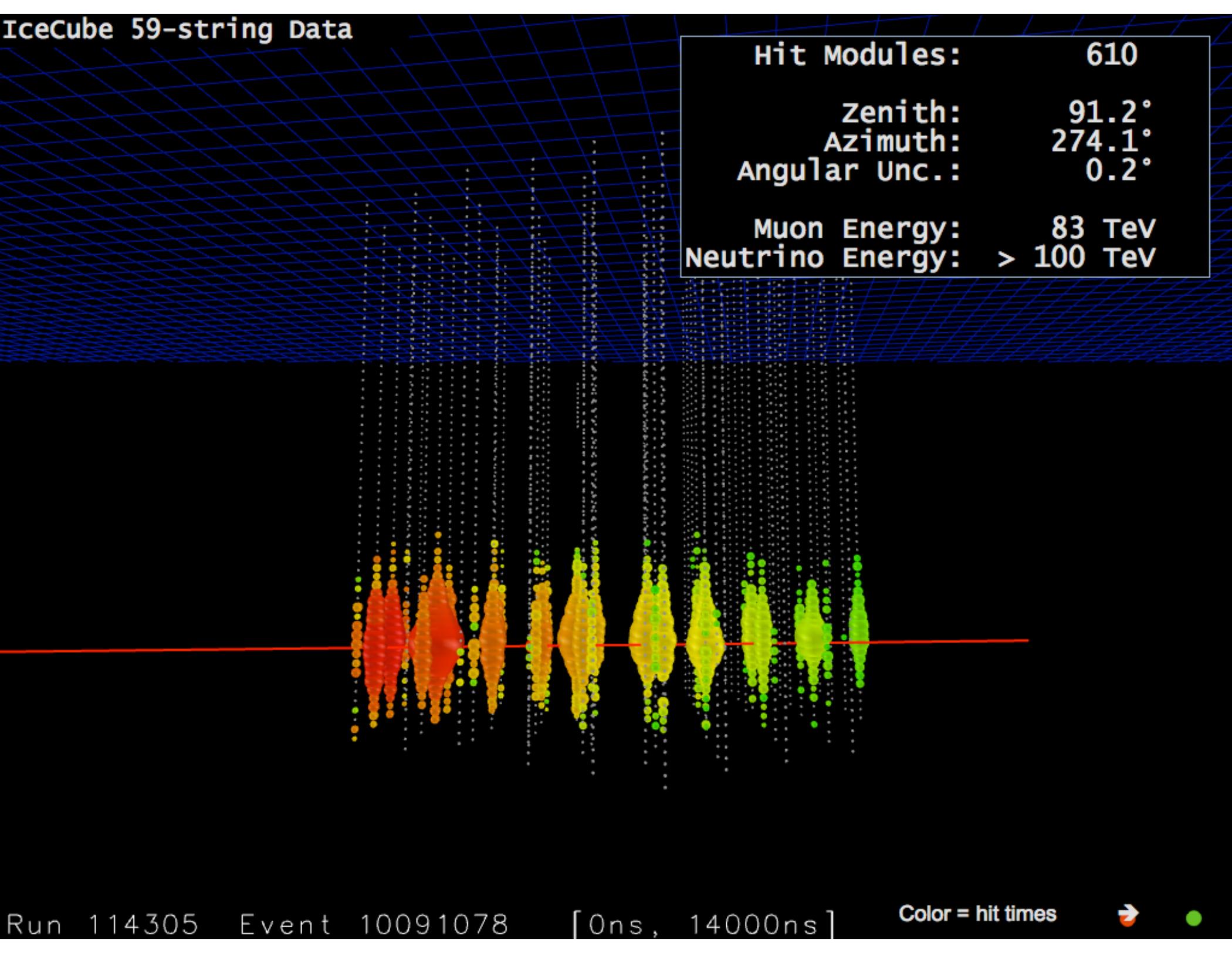
IceCube 59-string Data



Run 114305 Event 10091078 [0ns, 13000ns]

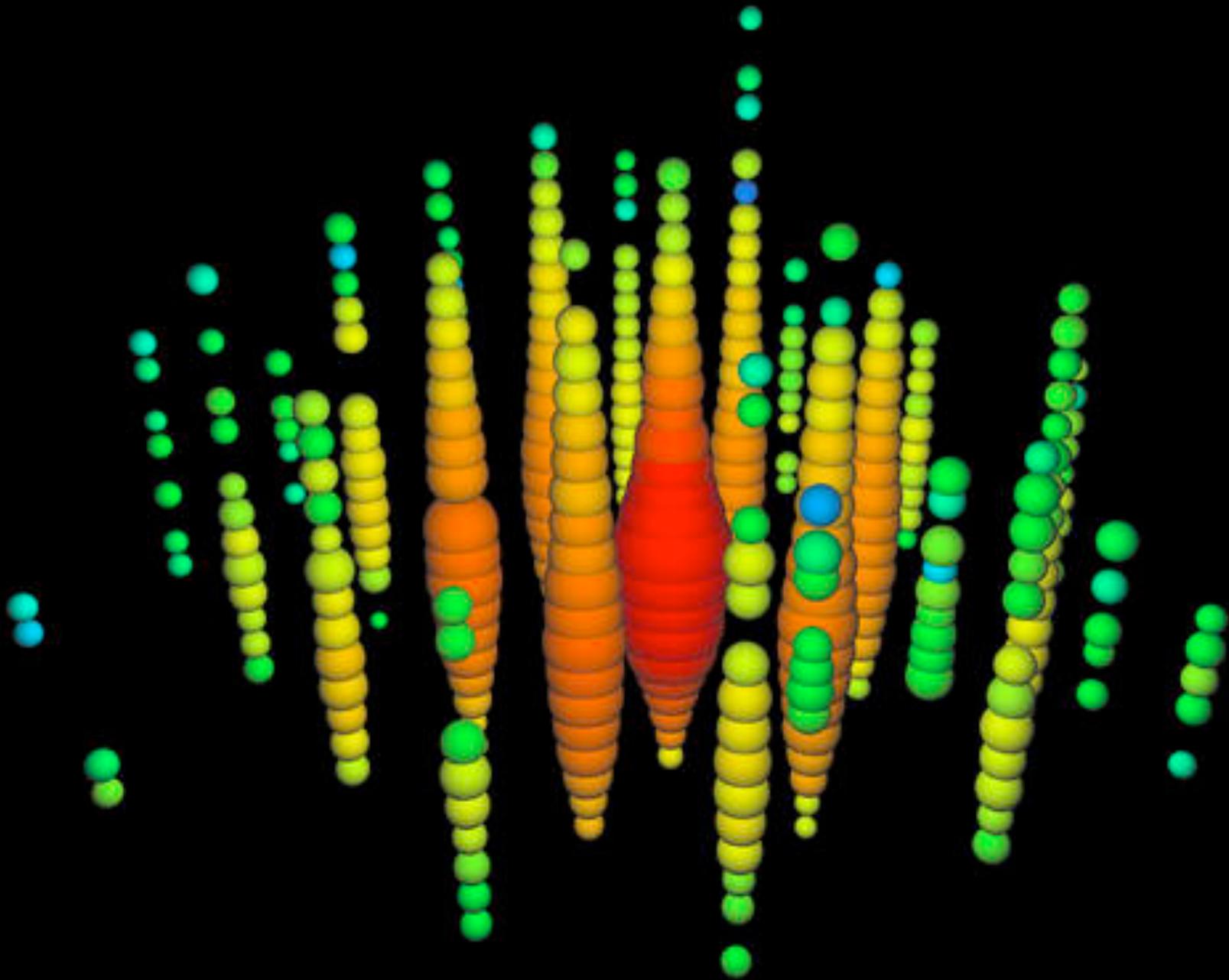
IceCube 59-string Data

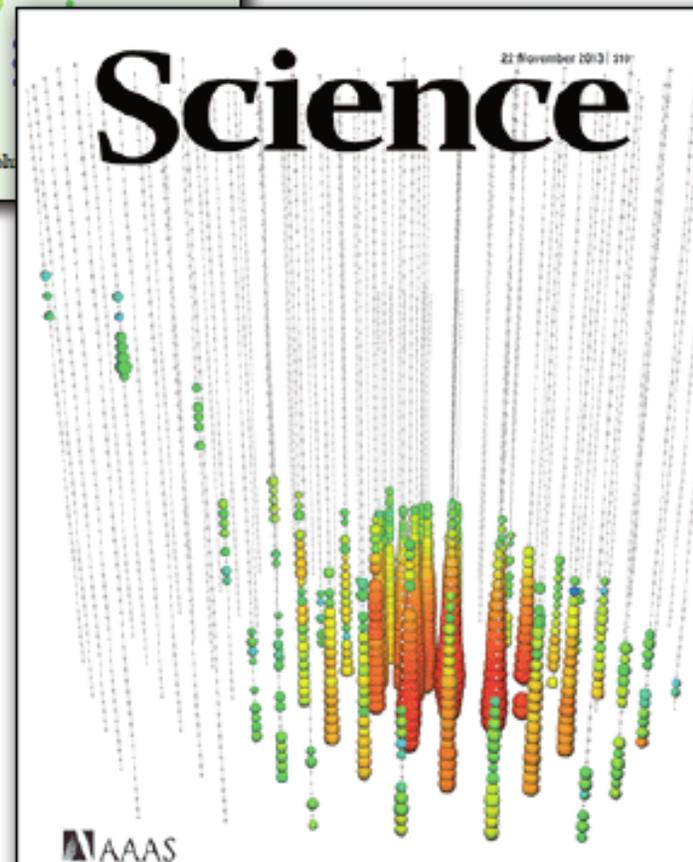
Hit Modules:	610
Zenith:	91.2°
Azimuth:	274.1°
Angular Unc.:	0.2°
Muon Energy:	83 TeV
Neutrino Energy:	> 100 TeV

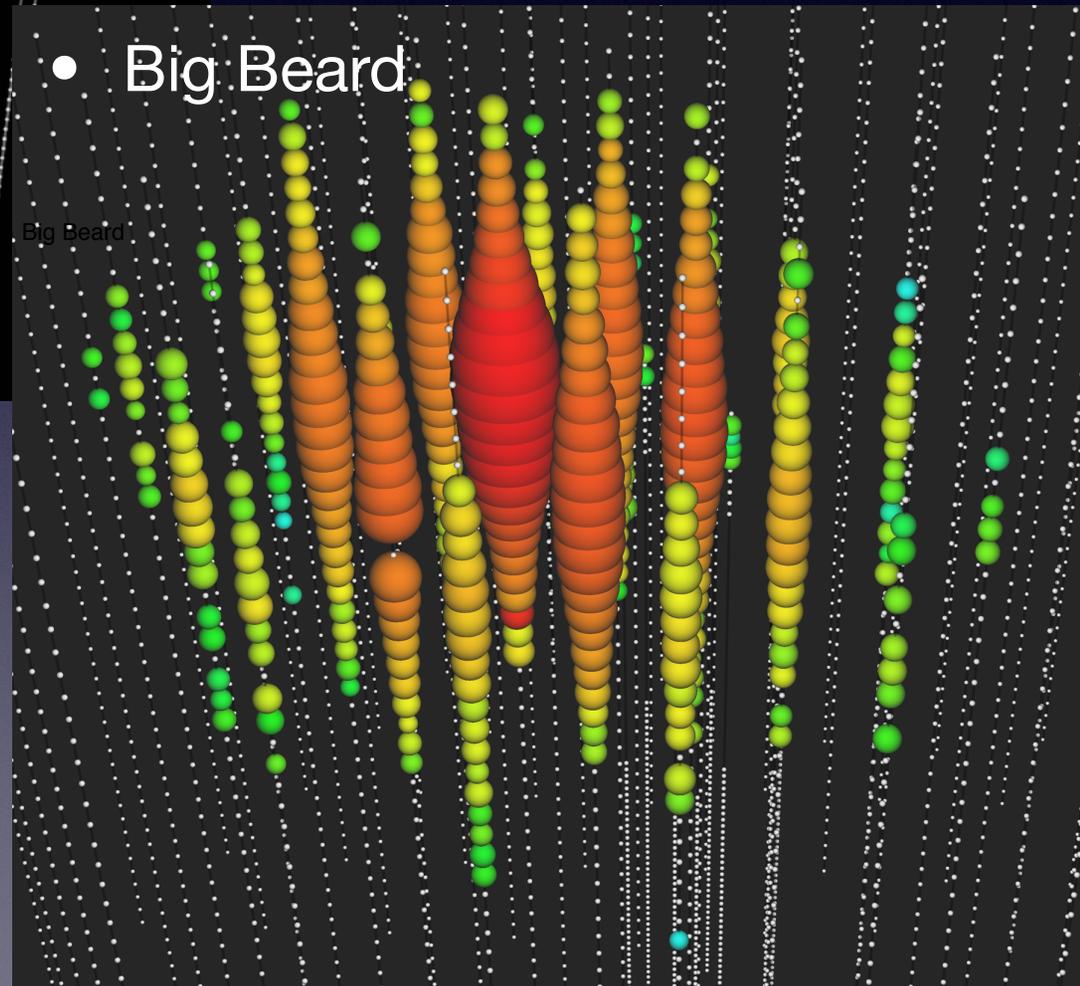
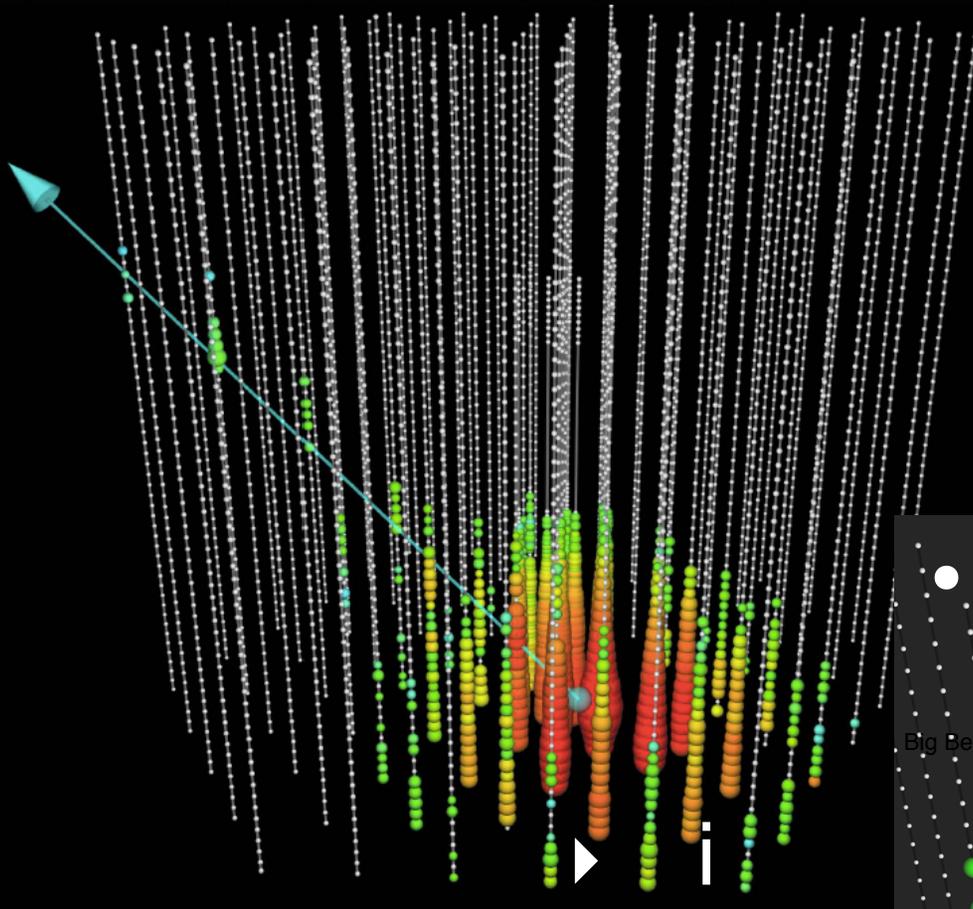




ICECUBE







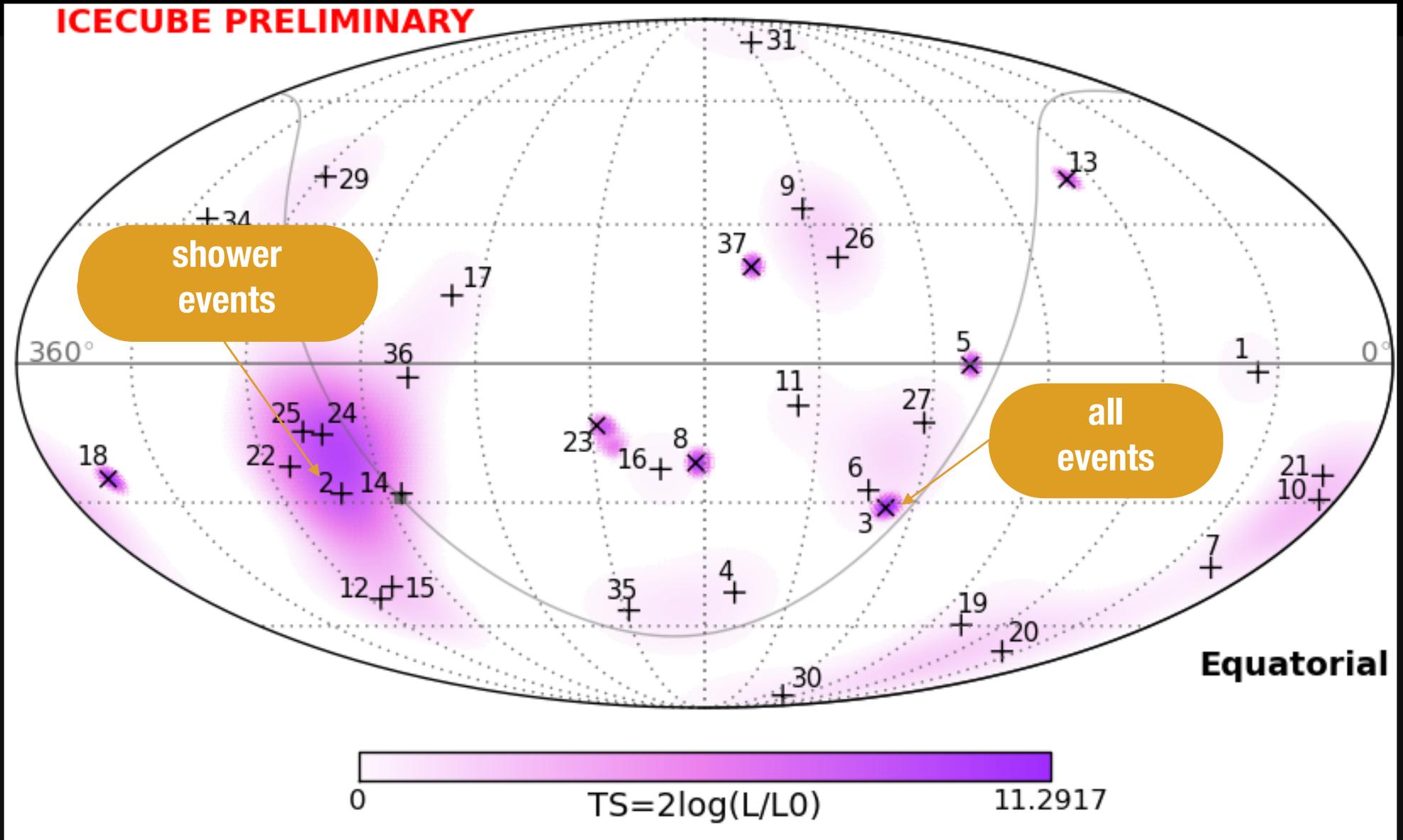
dopo 3 anni di misura
abbiamo trovato 37 eventi (tra
cui Big Beard)

Fondo:

- ▶ $6.6^{+5.9}_{-1.6}$ atm. neutrinos
- ▶ 8.4 ± 4.2 atm. muons

Skymap / Clustering

No significant clustering observed (three years)



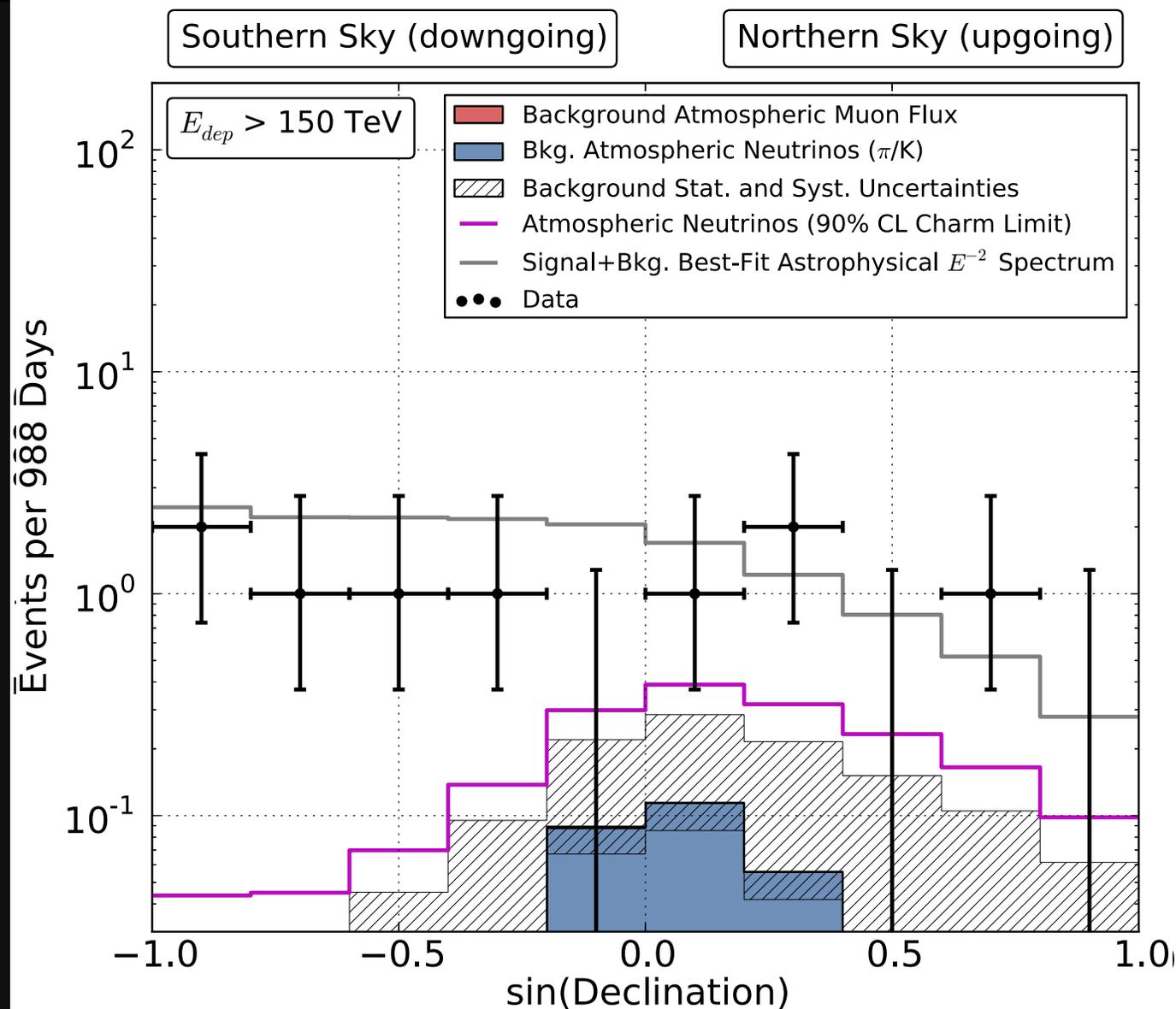
(all p-values are post-trial)

Declination Distribution

Or: “zenith Distribution” because we are at the South Pole

► **Compatible with isotropic flux**

► **upgoing events absorbed in Earth**

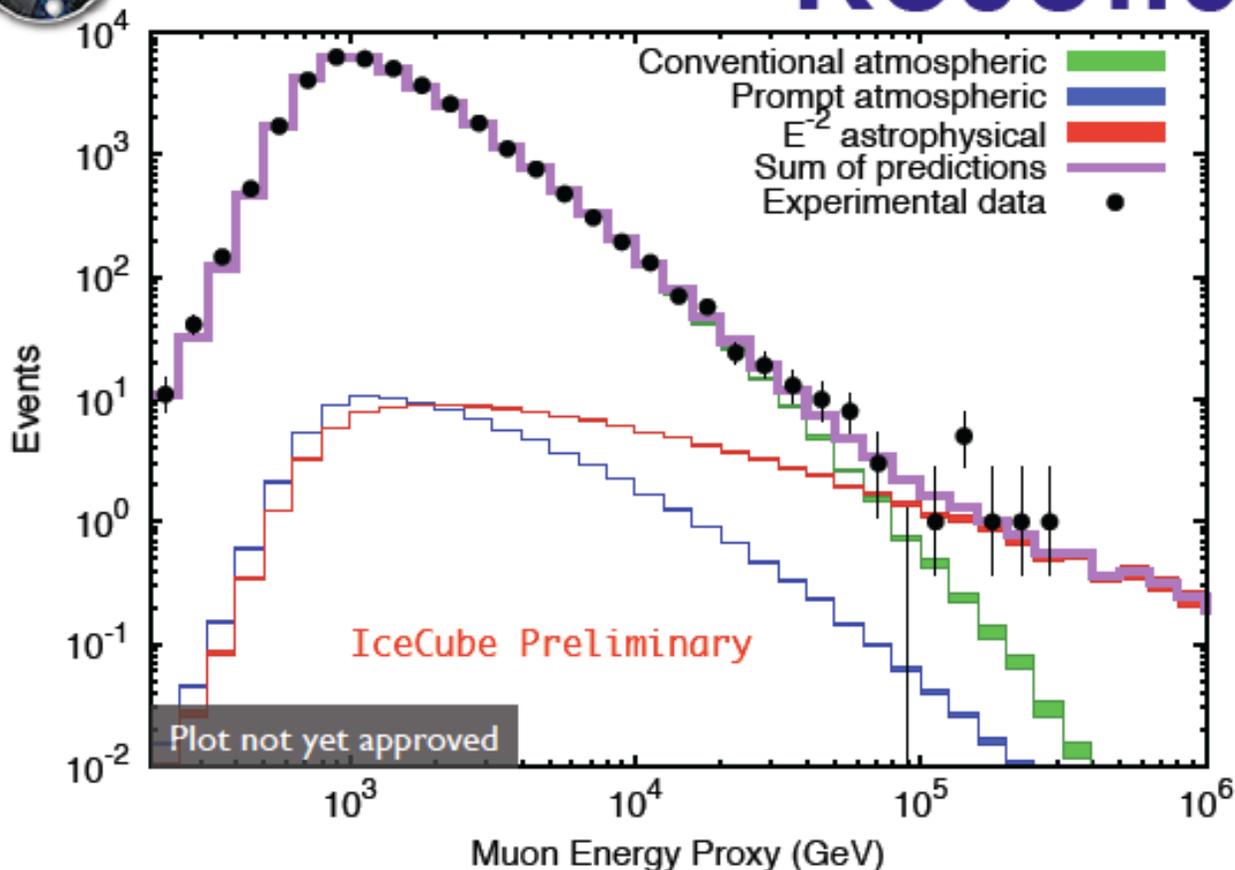


L'unico vero viaggio verso la scoperta non consiste
nella ricerca di nuovi paesaggi, ma nell'avere **nuovi**
occhi.





Results



- The best-fit astrophysical flux is $10.1 \times 10^{-9} \text{ GeV}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$
- The atmospheric-only hypothesis is disfavored at 3.7σ .

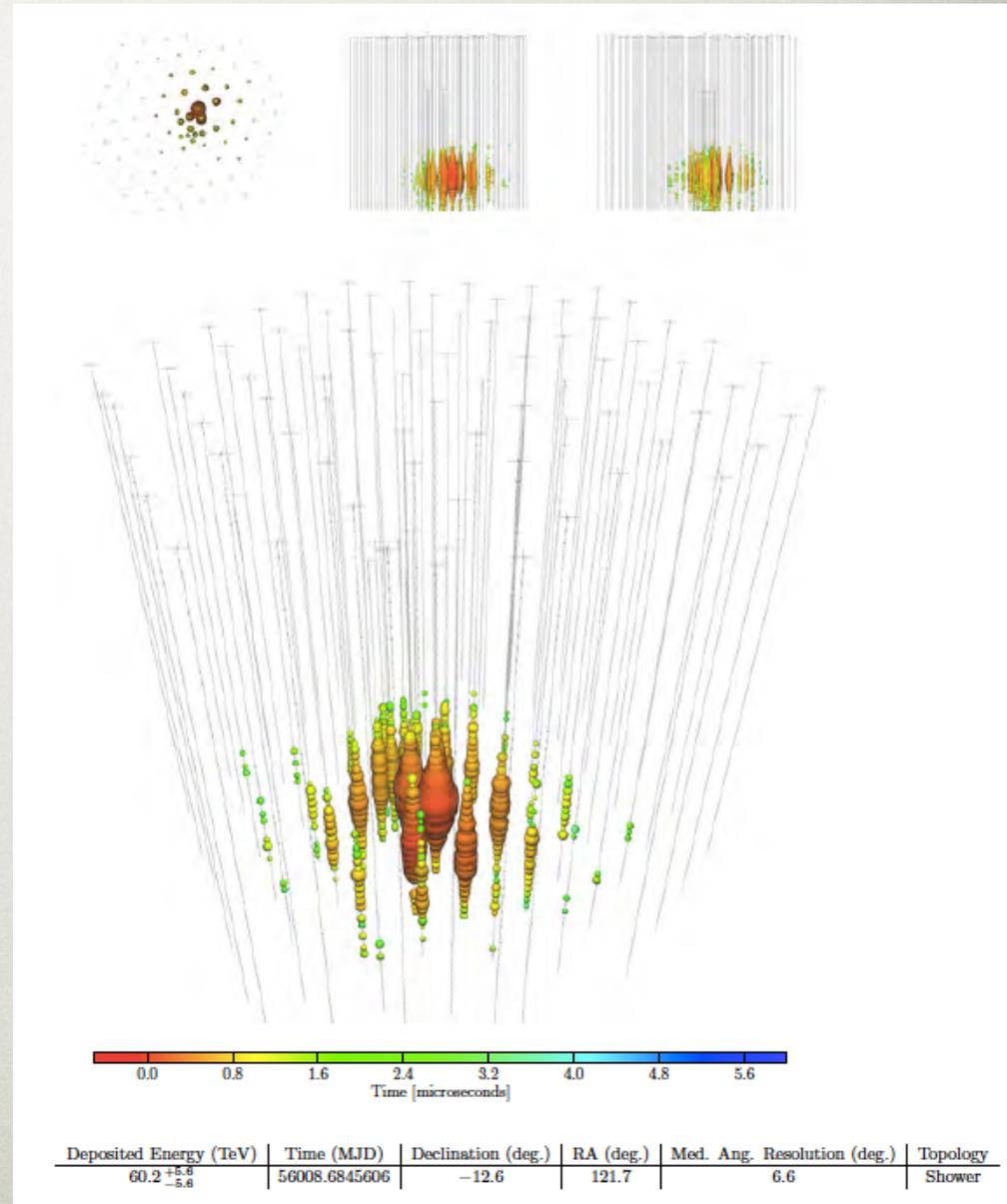
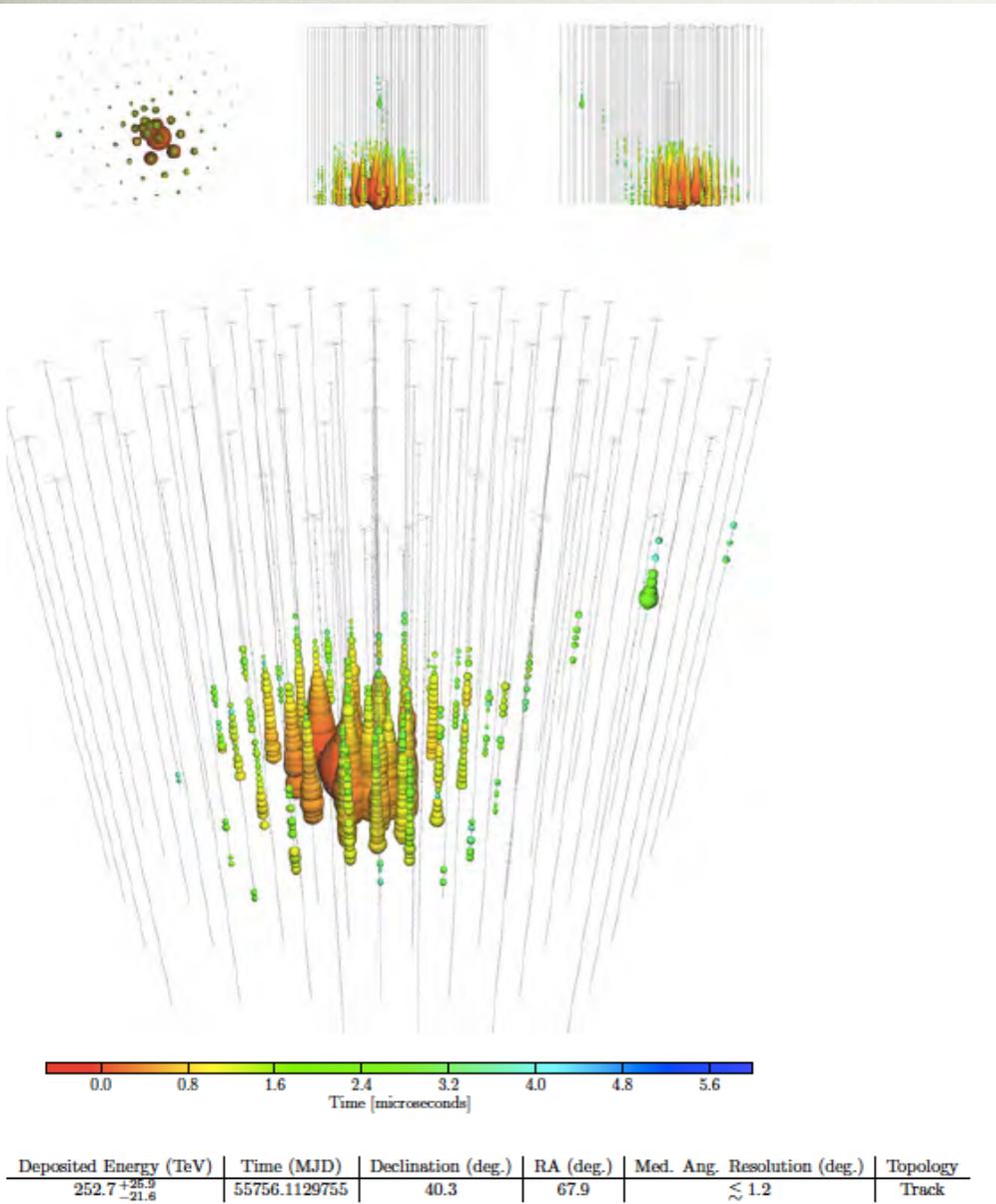
Conventional Normalization	0.943 [0.902,0.987] times the Honda 2006 flux
Prompt Normalization	0.451 [0,1.91] times the ERS prompt flux
Astrophysical Normalization	$10.11 \times 10^{-9} [6.86,13.66] \text{ GeV}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$
CR Slope Change	-0.027 [-0.037,-0.016]
DOM efficiency	+18.6% [18.1,19.2]
Relative Kaon Contribution	1.146 [1.085,1.201] times the Honda model

L'inizio di una nuova astronomia



<http://physicsworld.com/cws/article/news/2013/dec/13/cosmic-neutrinos-named-physics-world-2013-breakthrough-of-the-year>

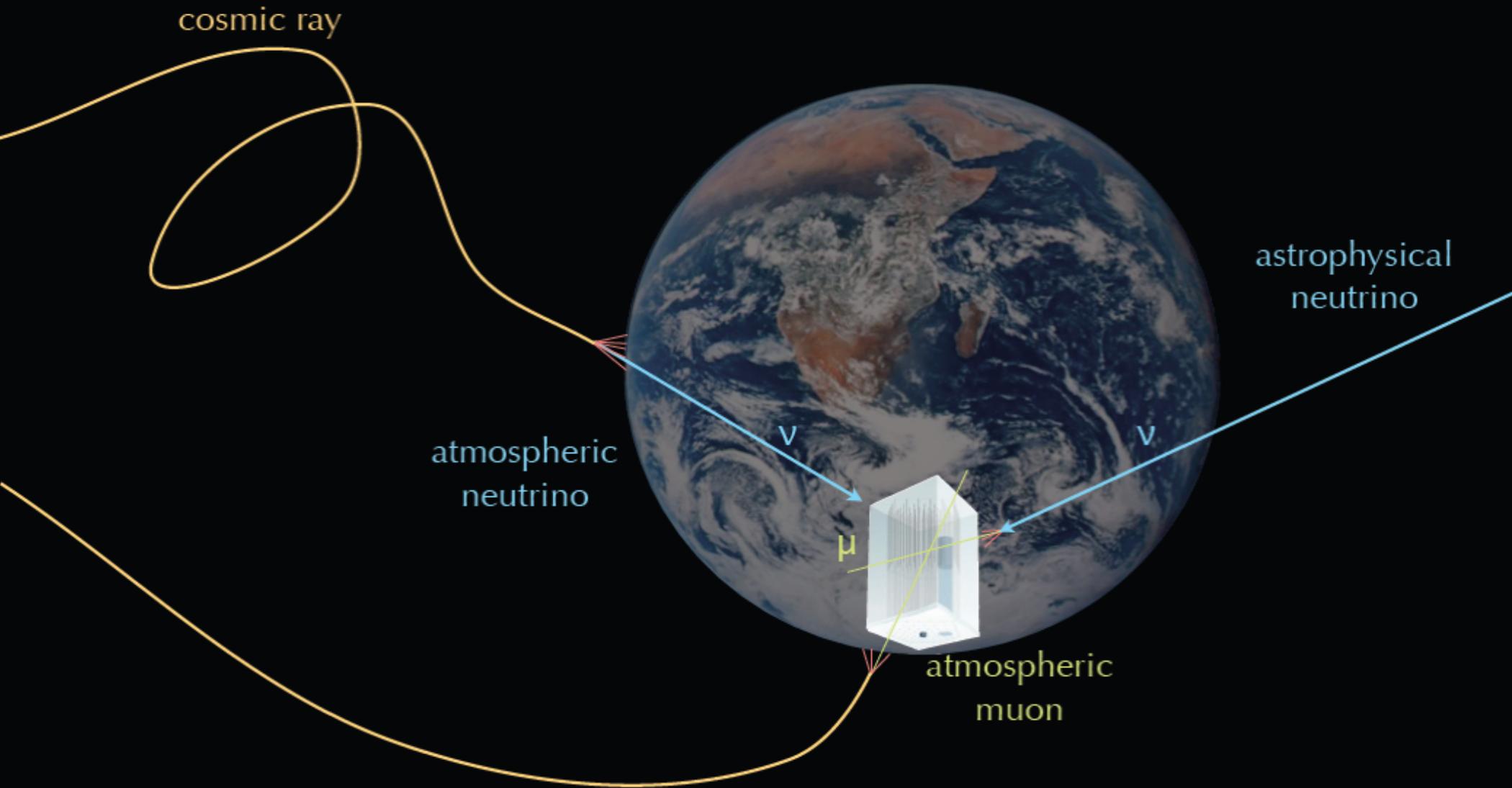
Les événements très énergétiques



La lunga marcia verso la nascita della nuova
astronomia ha fornito i primi risultati

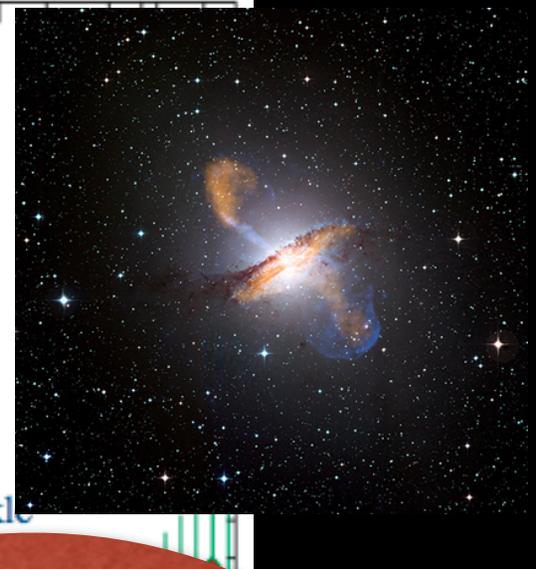
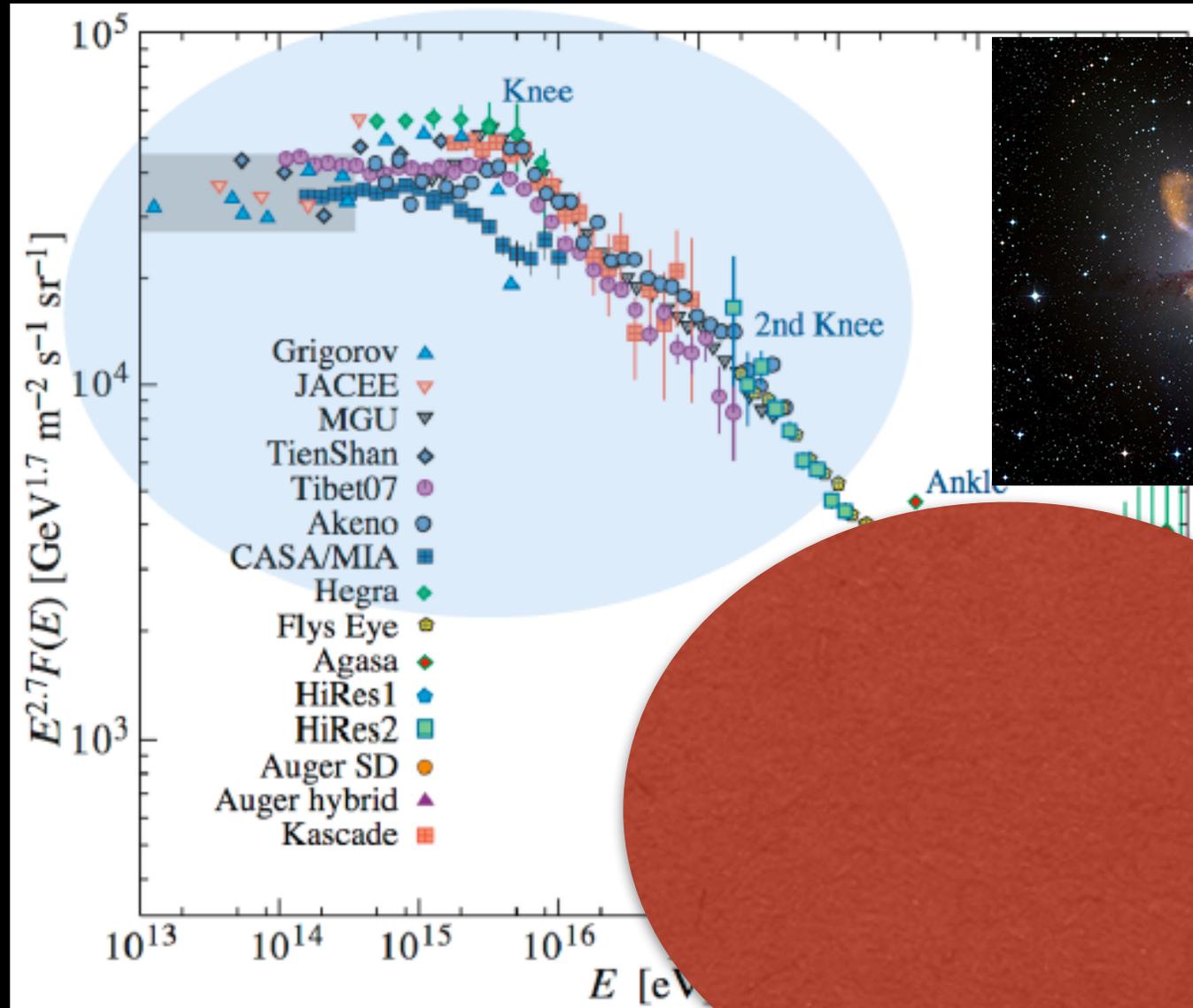


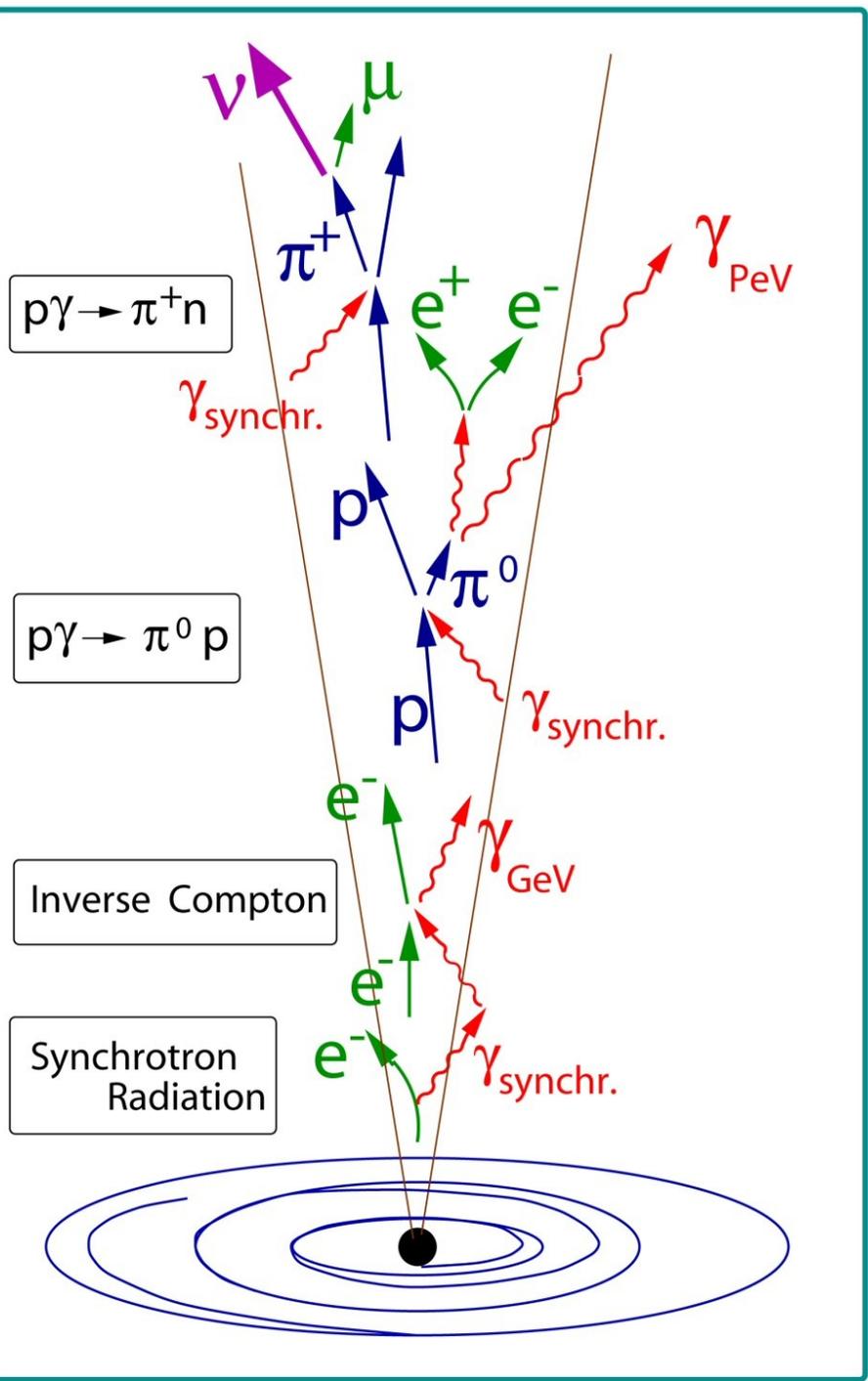
Signal et Bruit de fond



Le faisceau des particules de l'univers

Sources extragalactiques?





Les rayons gamma et les neutrinos ont la meme origine: des protons (matière) accélérés.

Veto pour le bruit de fond: High Energy Starting Events

