

Presente e futuro: rivelatori al suolo

Le piu' grandi energie dell'Universo

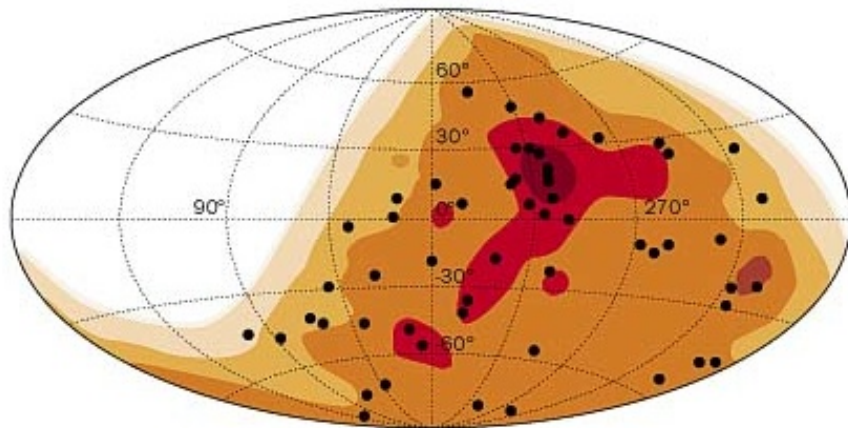
Alessandro De Angelis
INFN & Univ. Udine; LIP/IST Lisboa
Presidente della collaborazione MAGIC

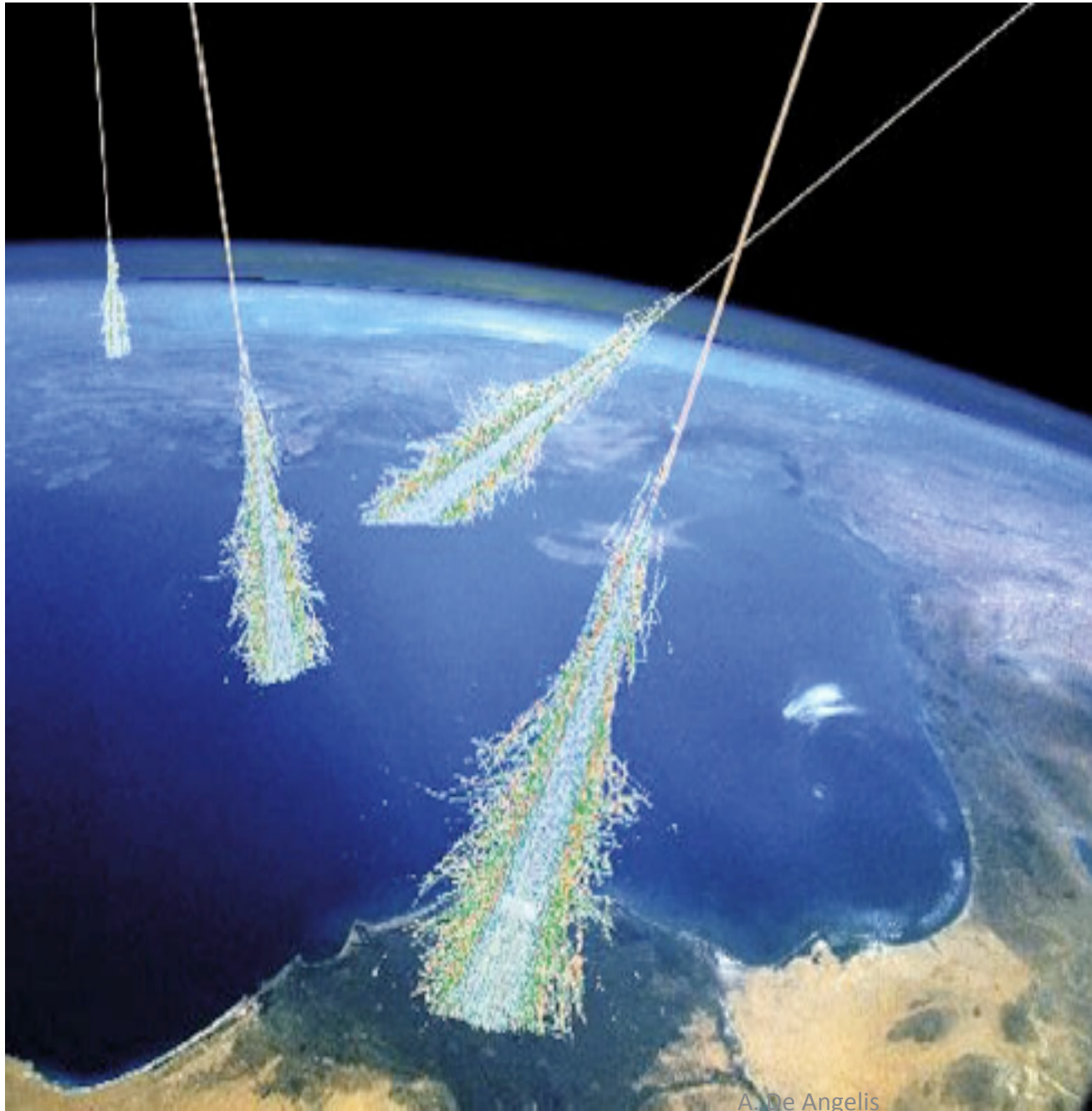
Bologna, Novembre 2013





- I raggi cosmici provengono da giganteschi collassi gravitazionali: resti di supernova, buchi neri supermassicci



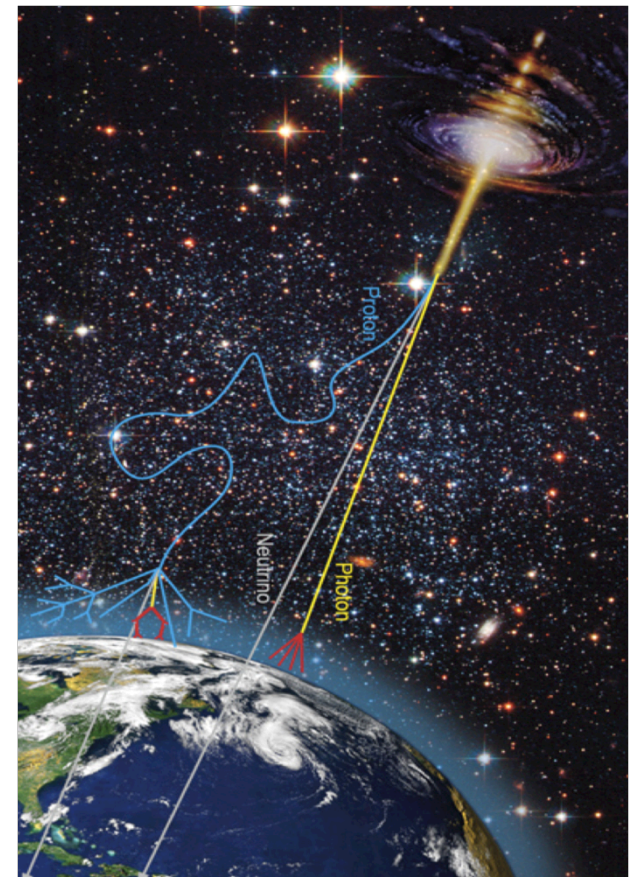
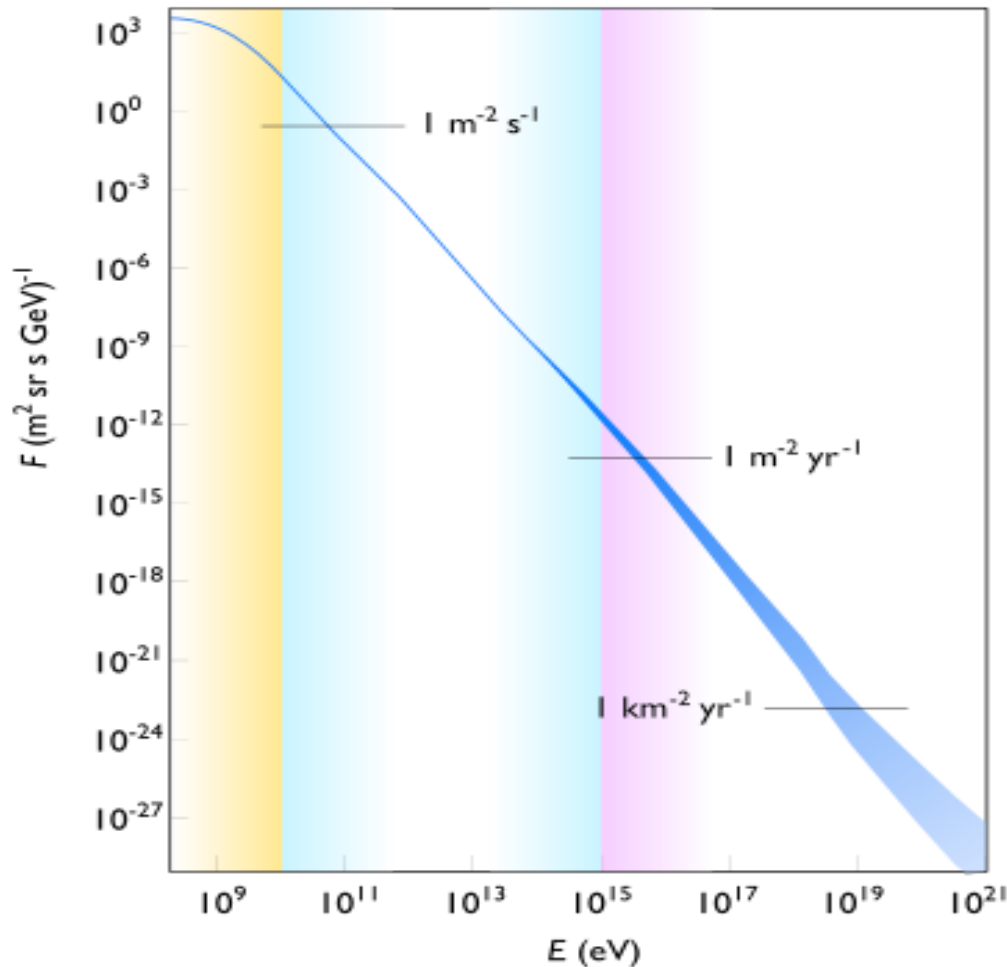


- Quando i raggi cosmici entrano nell'atmosfera, sono assorbiti, generando sciame di particelle
- L'atmosfera ci protegge da questa radioattività (a cui è molto esposto chi vive in alta montagna e chi viaggia spesso in aereo)

E' possibile l'astronomia con i raggi cosmici?

- Energie altissime -> rivelatori enormi
- Raggi gamma (~1/1000 dei raggi cosmici)
- In ogni caso, superfici possibili solo al suolo

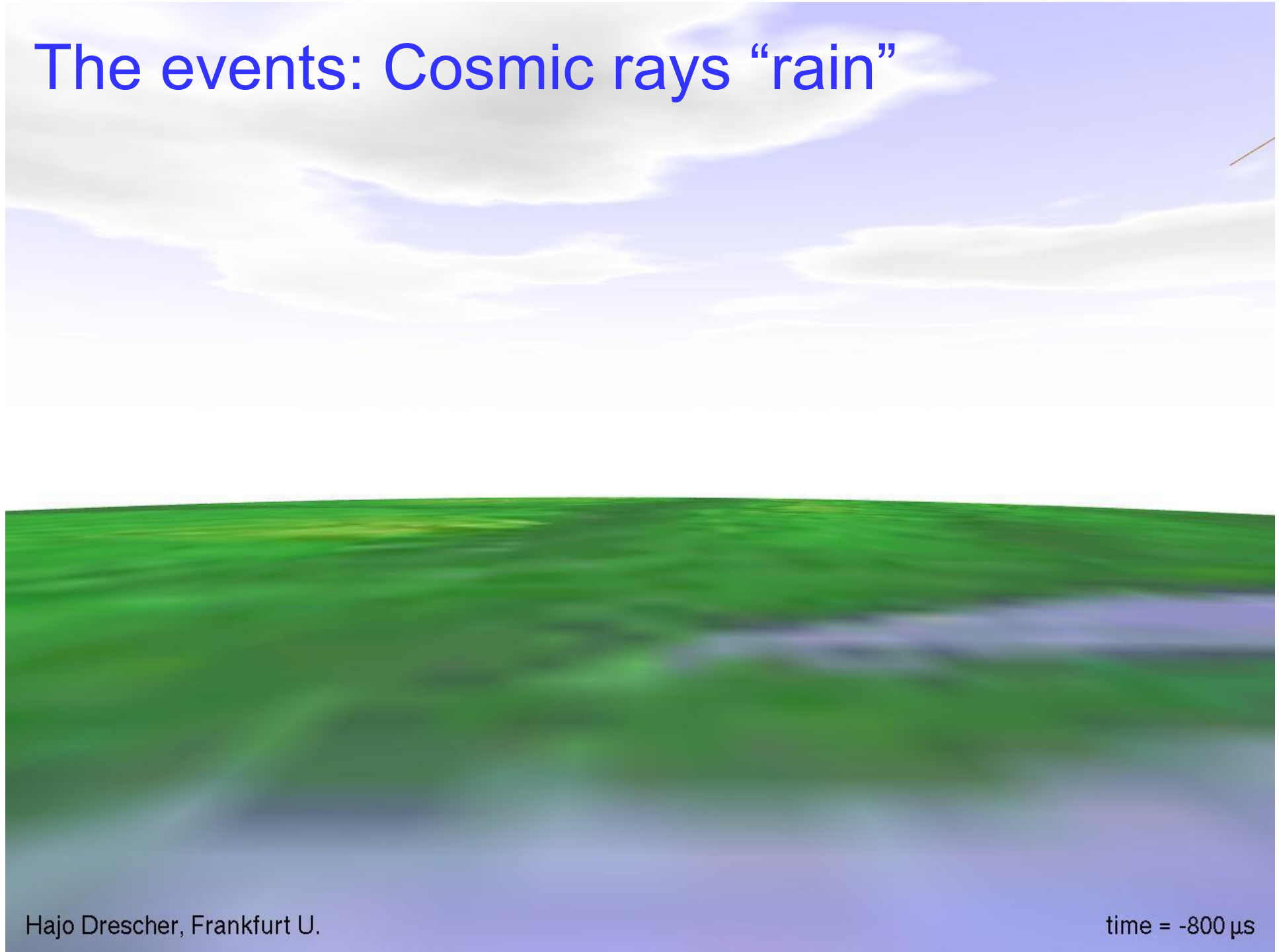
$$\frac{r}{1 \text{ pc}} \cong \frac{\frac{E}{1 \text{ PeV}}}{\frac{B}{1 \mu\text{G}}}$$



The events: Cosmic rays “rain”



The events: Cosmic rays “rain”



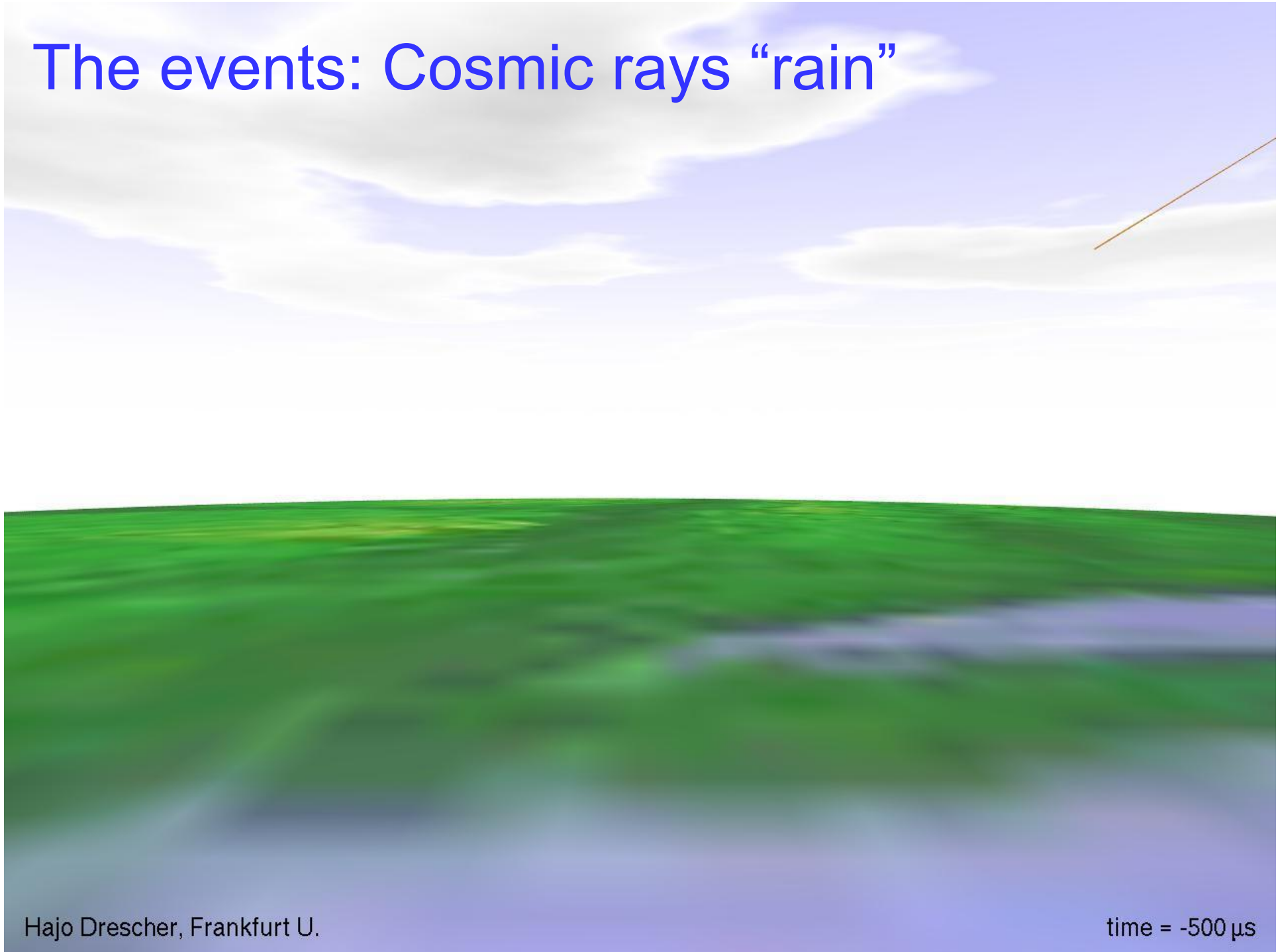
The events: Cosmic rays “rain”



The events: Cosmic rays “rain”



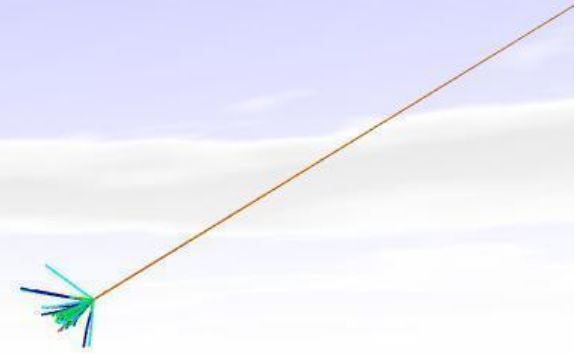
The events: Cosmic rays “rain”



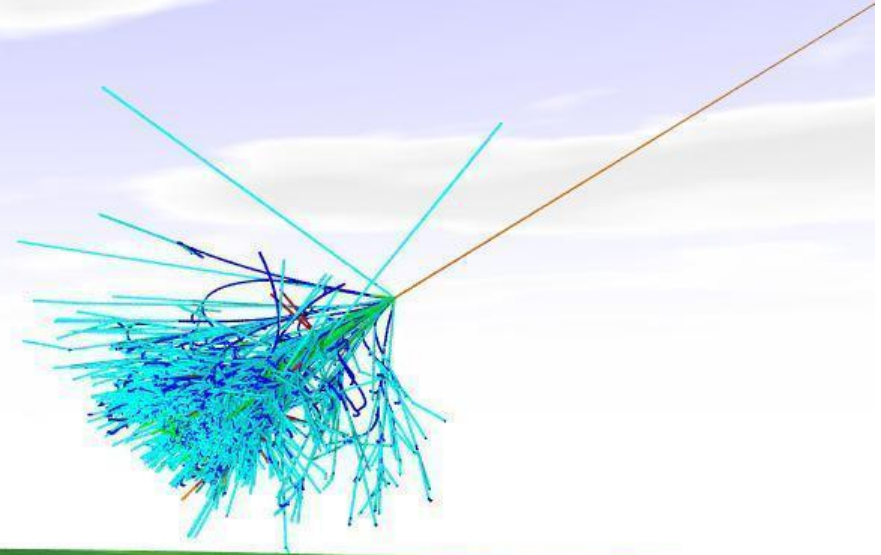
The events: Cosmic rays “rain”



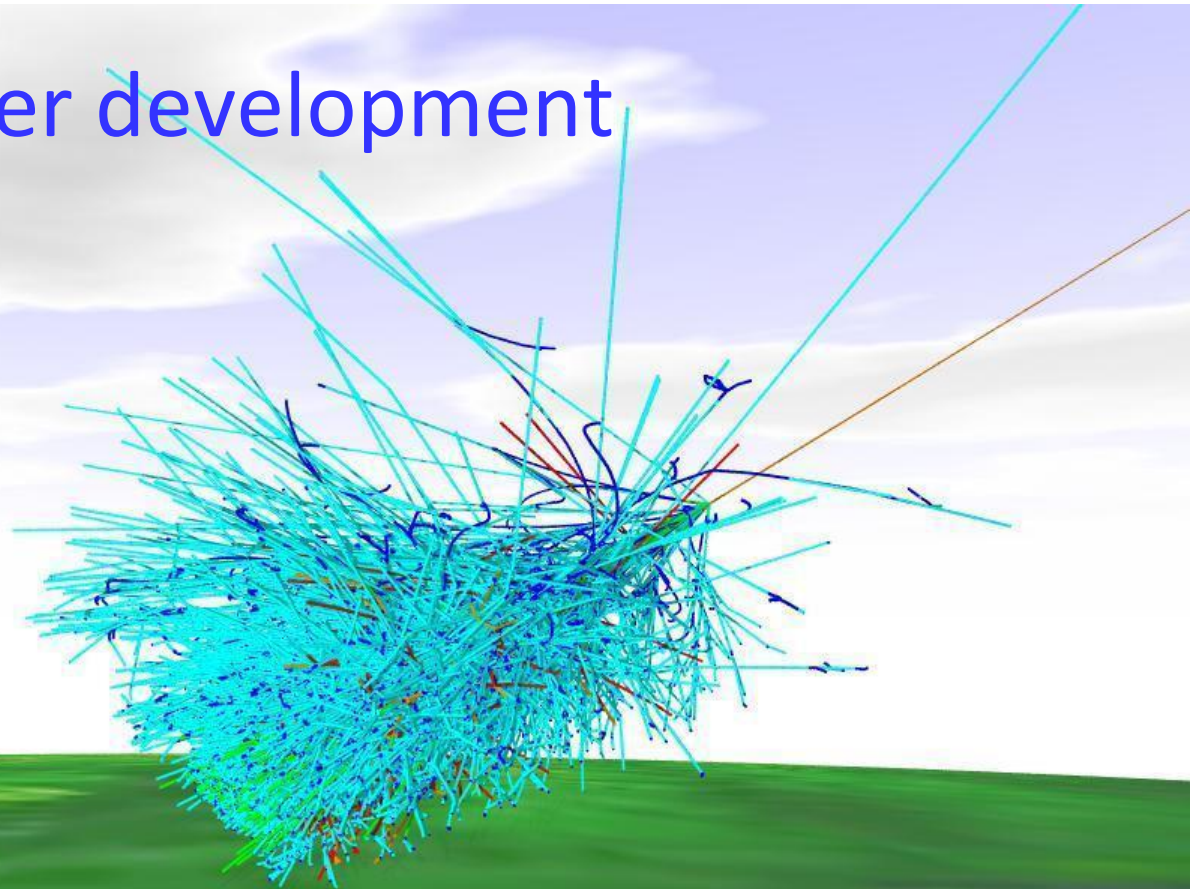
The events: first interaction



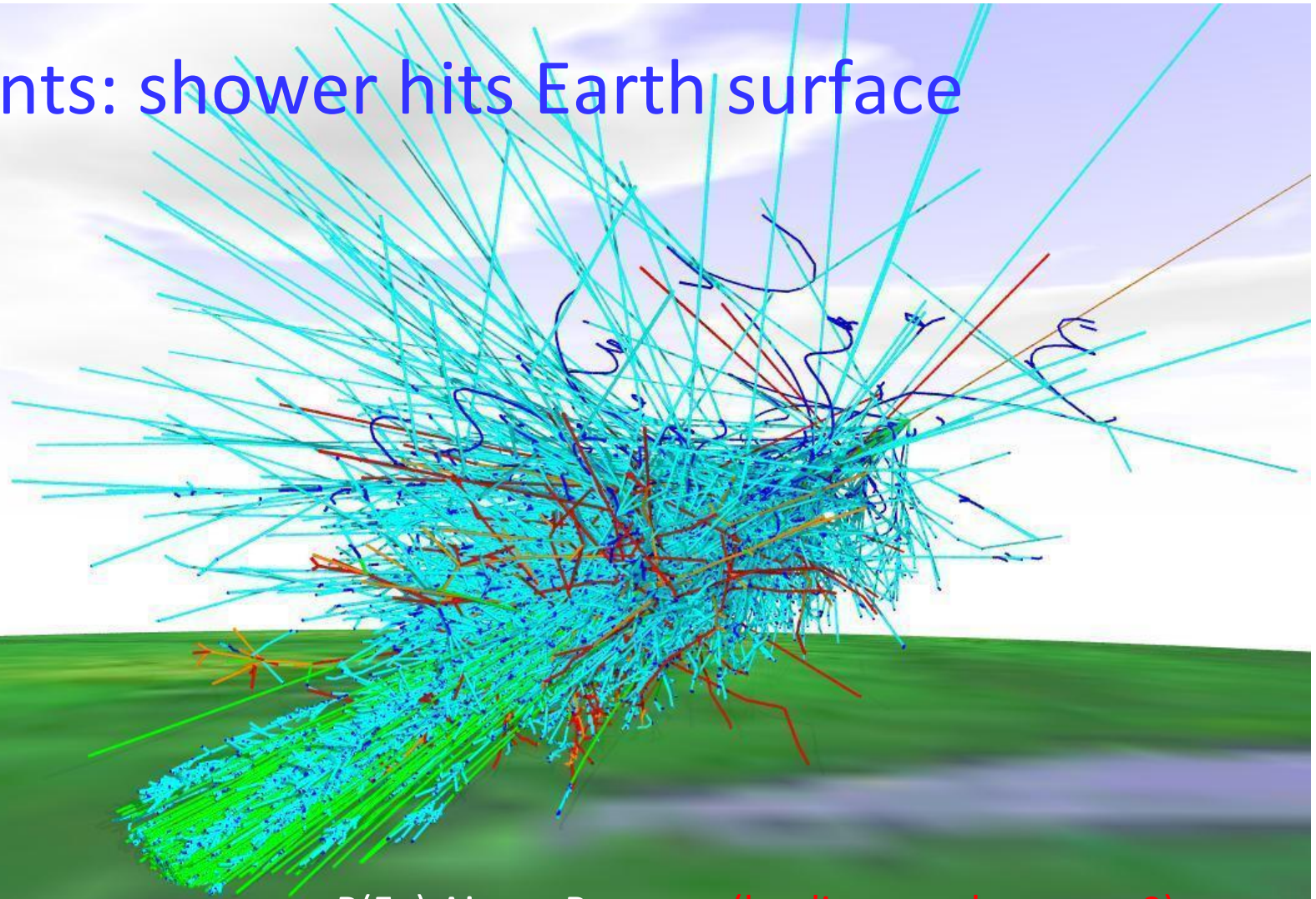
The events: shower development



The events: shower development

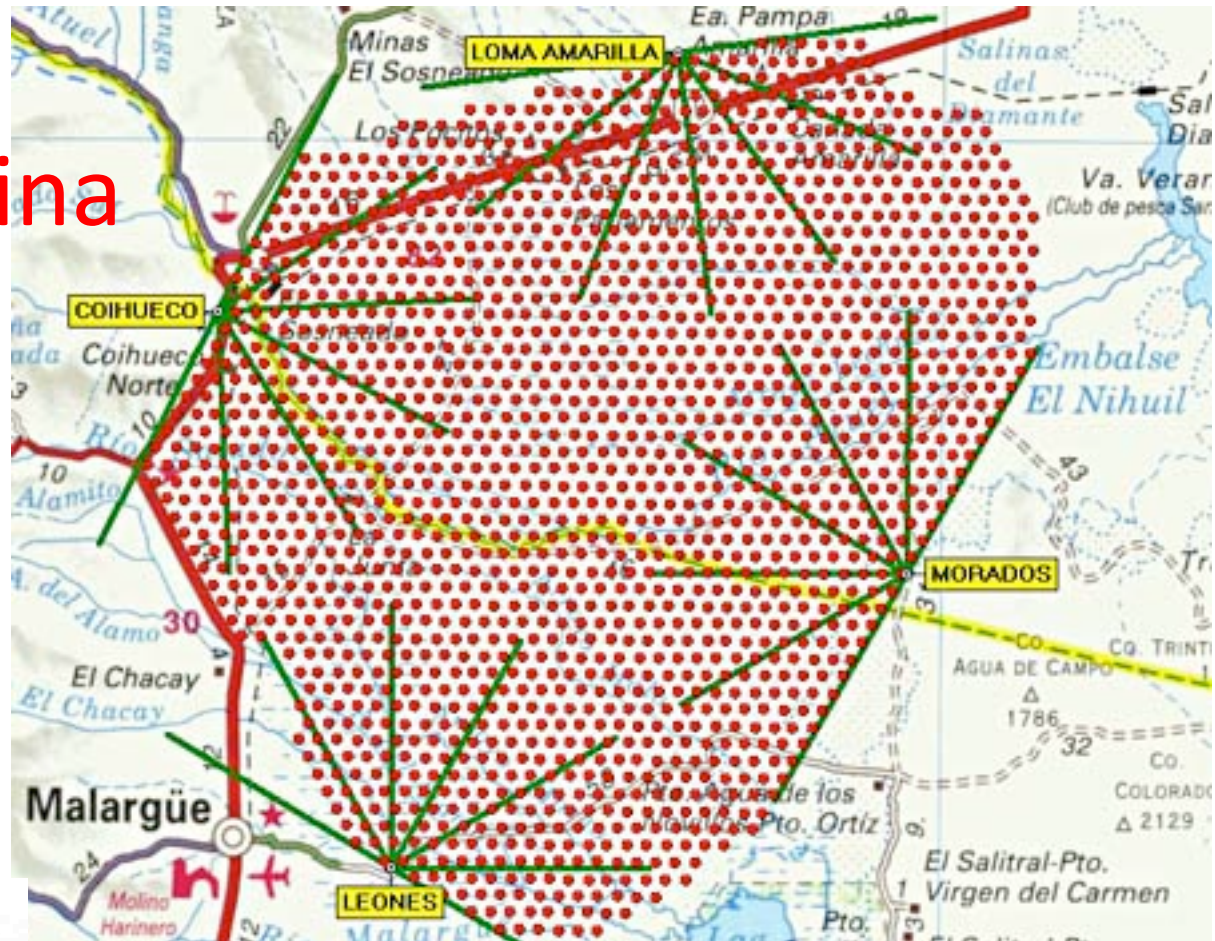
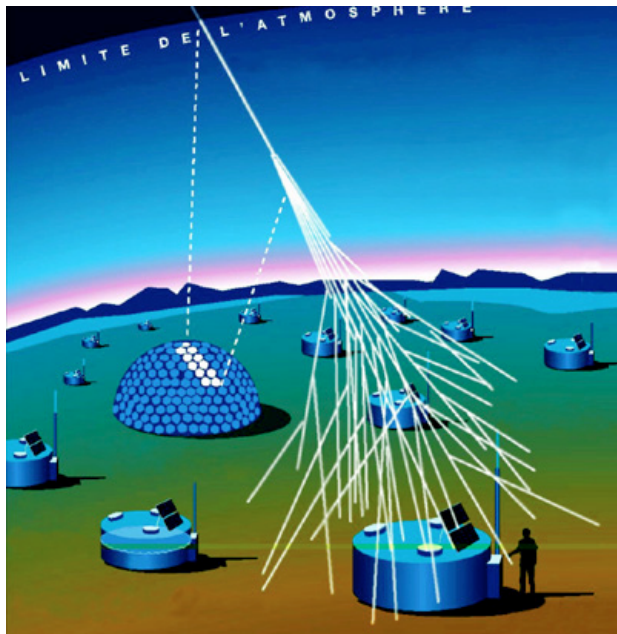


The events: shower hits Earth surface



P(Fe) Air \rightarrow Baryons (leading, net-baryon $\neq 0$)
 $\rightarrow \pi^0$ ($\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma \rightarrow e^+e^- e^+e^- \rightarrow \dots$)
 $\rightarrow \pi^\pm$ ($\pi^\pm \rightarrow \nu \mu^\pm$ if $L_{\text{decay}} < L_{\text{int}}$)
 $\rightarrow K^\pm, D, \dots$

L'esperimento Auger in Argentina



Il più grande al mondo: superficie di 3000 km²
(provincia di Bologna: 3700 km²)

1600 barili Cherenkov & 4 telescopi

L'osservatorio Pierre Auger

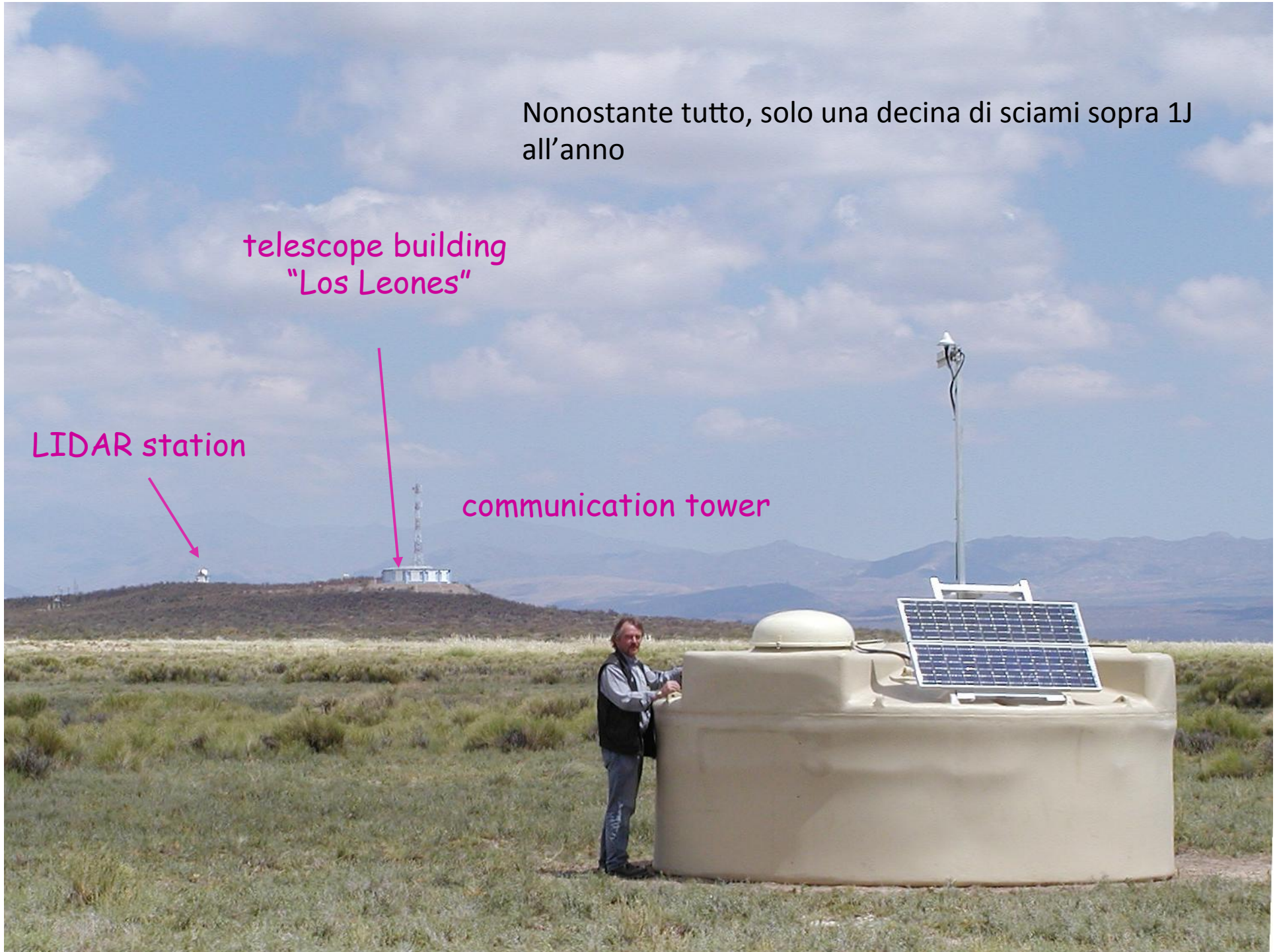


Nonostante tutto, solo una decina di sciami sopra 1J all'anno

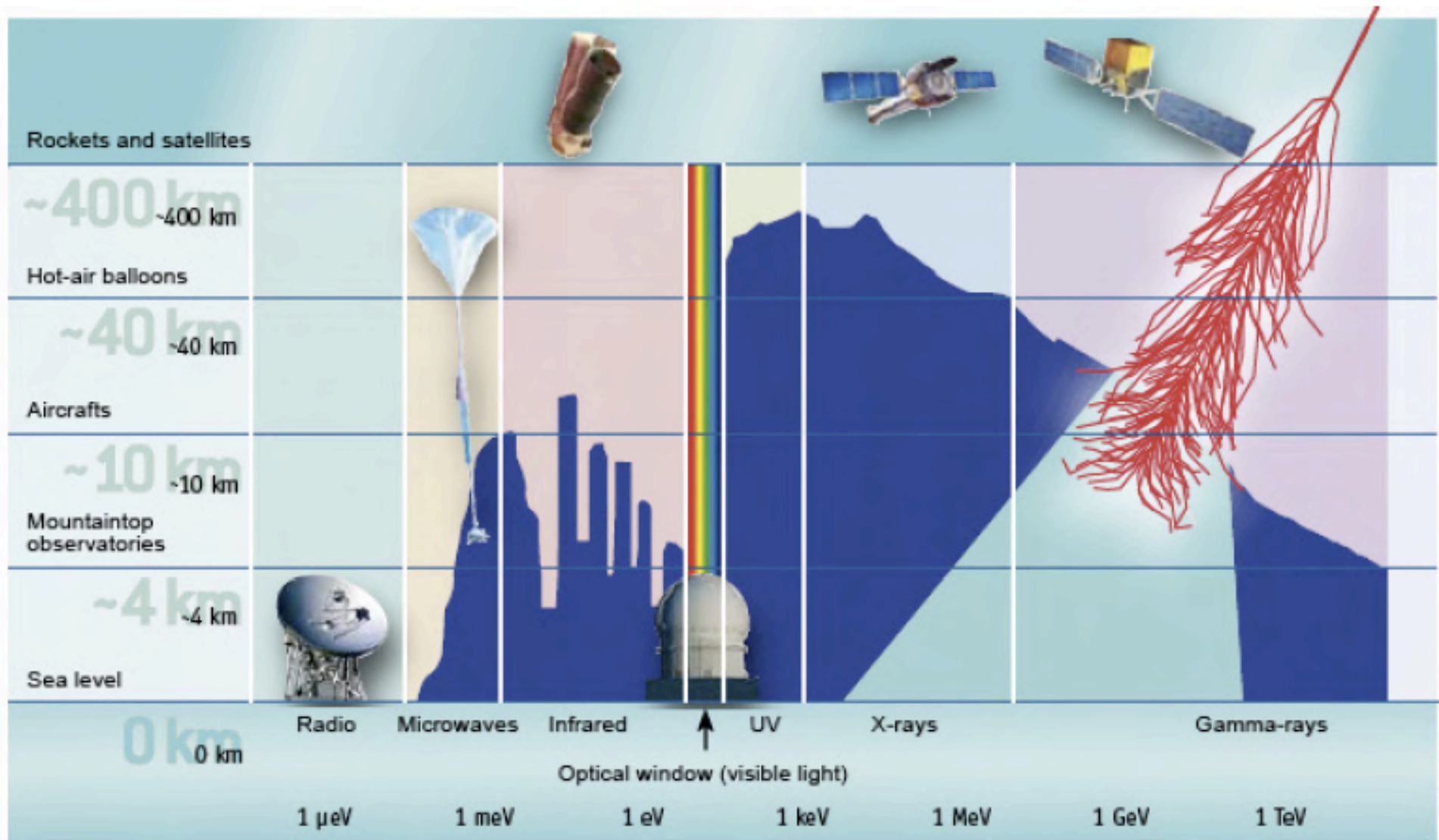
telescope building
"Los Leones"

LIDAR station

communication tower



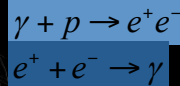
Rivelare i raggi gamma



=> GeV (HE): satelliti; TeV (VHE) solo da terra

La tecnica Cherenkov

Incoming
 γ -ray



$\theta_c \sim 1^\circ$
e Threshold @
sl: 21 MeV

Maximum of a 1 TeV
shower

~ 8 Km asl

~ 200 photons/m²

in the visible

Angular spread $\sim 0.5^\circ$

Cherenkov light

1°

~ 120 m

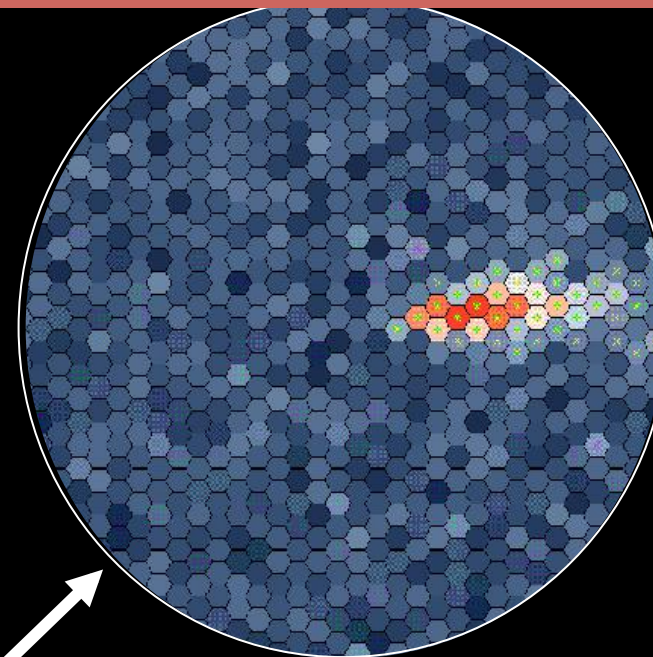


Image intensity

→ Shower energy

Image orientation

→ Shower direction

Image shape

→ Primary particle

C'e' bisogno di notti buie...



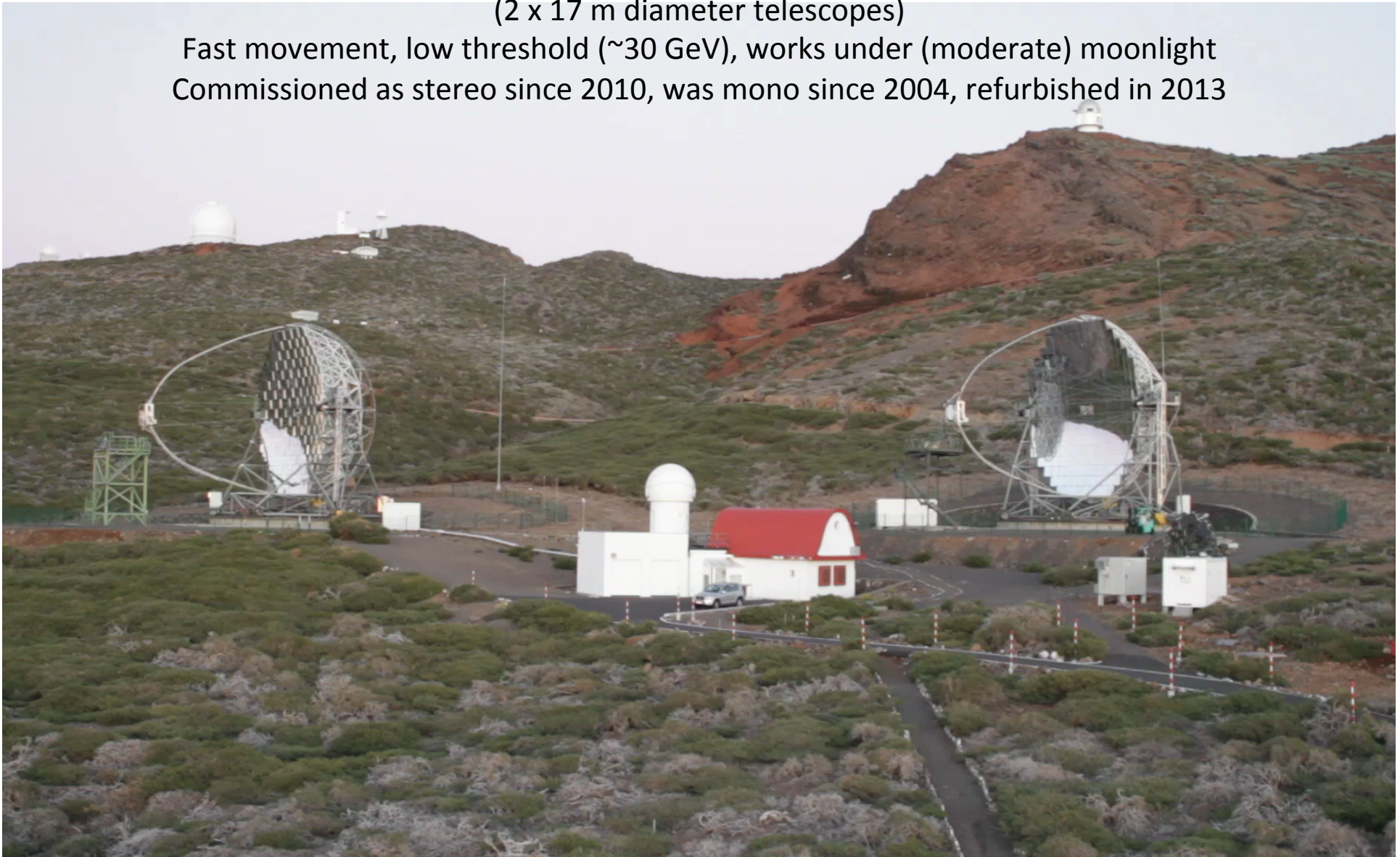
L'osservatorio del Roque de los Muchachos



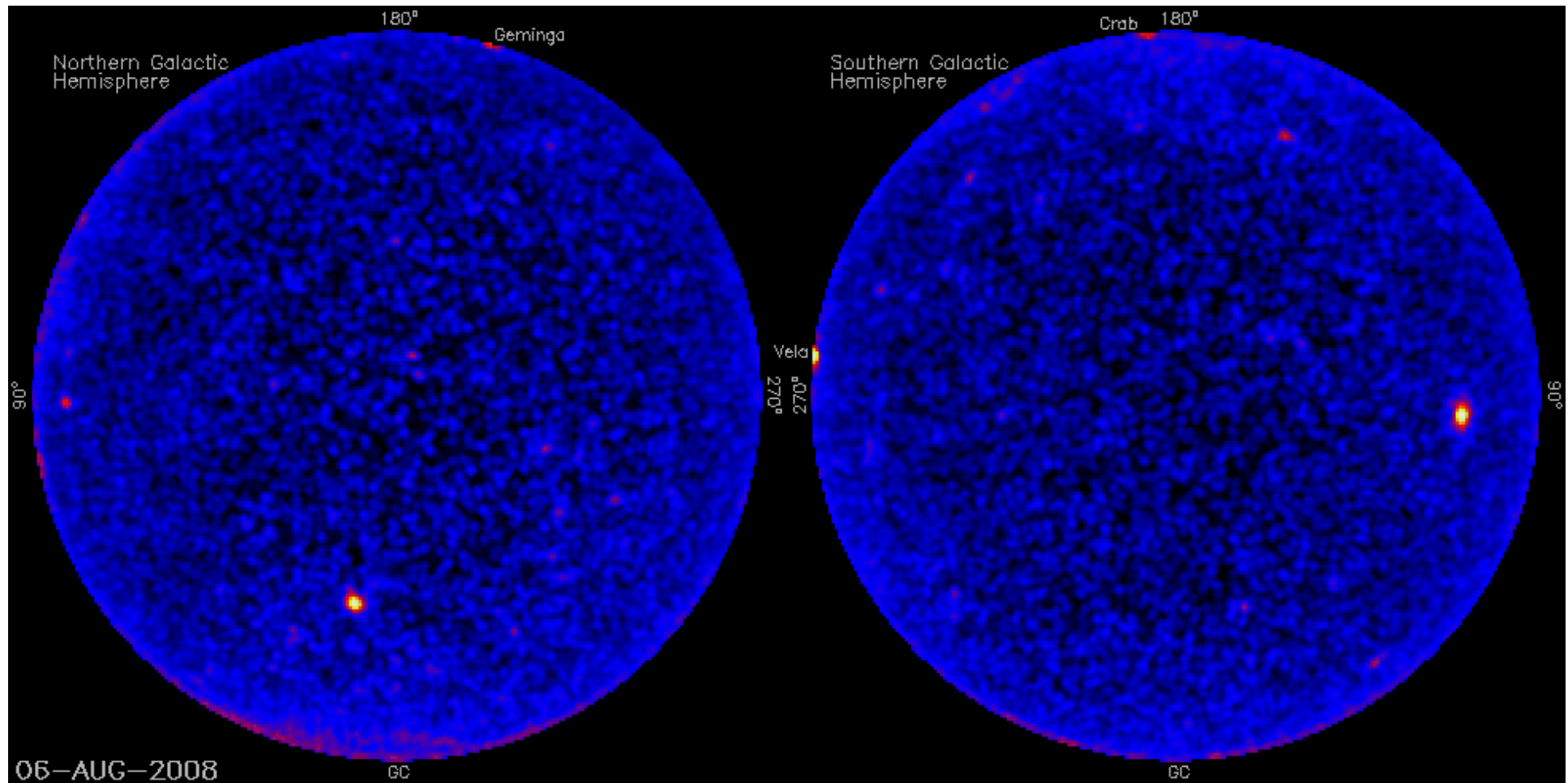
MAGIC a La Palma

(2 x 17 m diameter telescopes)

Fast movement, low threshold (~ 30 GeV), works under (moderate) moonlight
Commissioned as stereo since 2010, was mono since 2004, refurbished in 2013



Il cielo appare a strumenti sensibili come un film piu' che come una fotografia



MAGIC

Rapid pointing

- Carbon fiber structure
 - Active Mirror Control
- ⇒ 20÷30 seconds

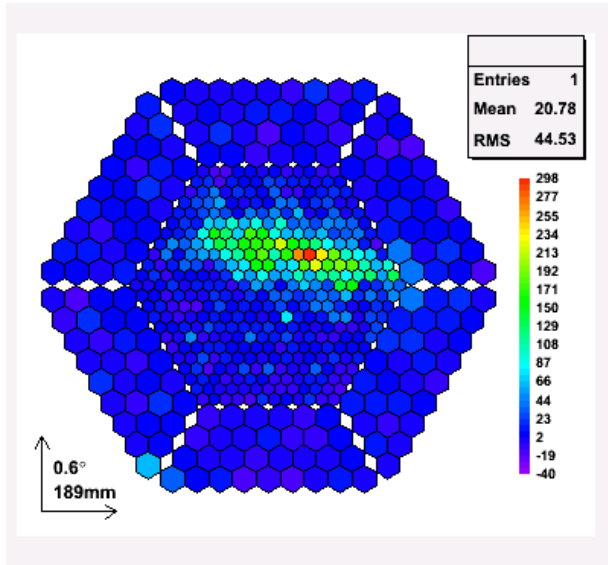
Refl. surface:
236 m², F/1, 17 m ∅

- Lasers+mechanisms for AMC

0.5° FoV

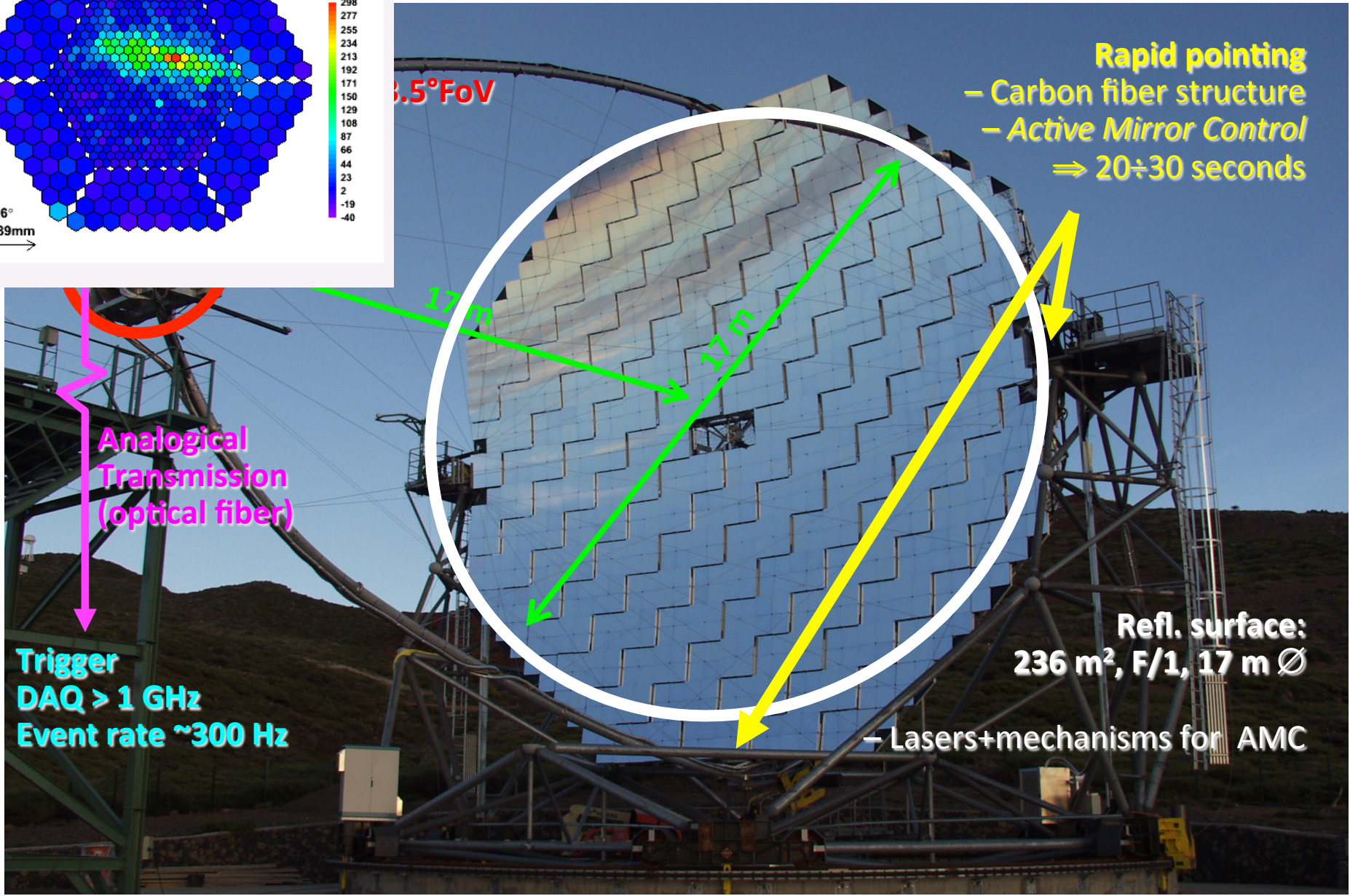
17 m

17 m

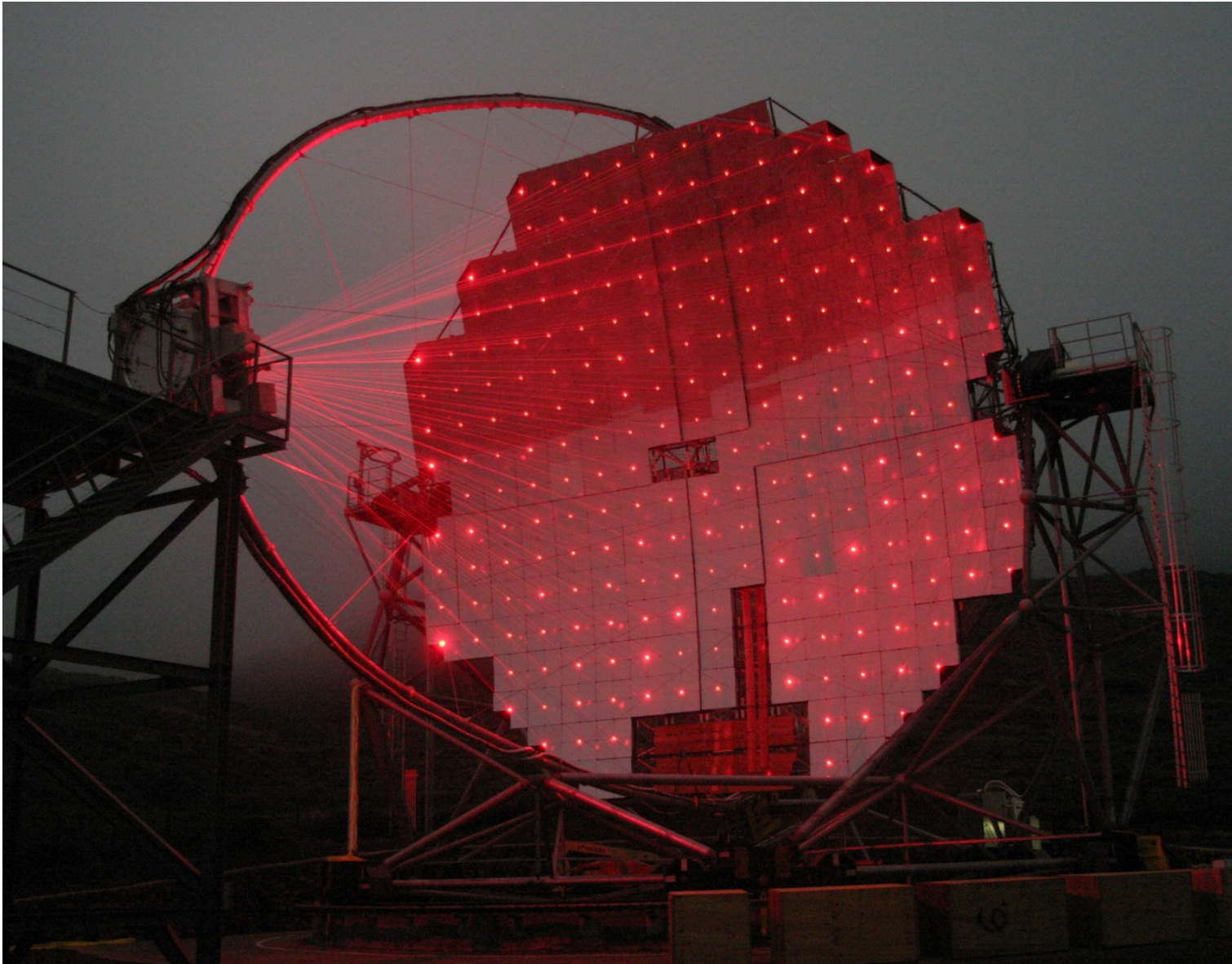


Analogical
Transmission
(optical fiber)

Trigger
DAQ > 1 GHz
Event rate ~300 Hz

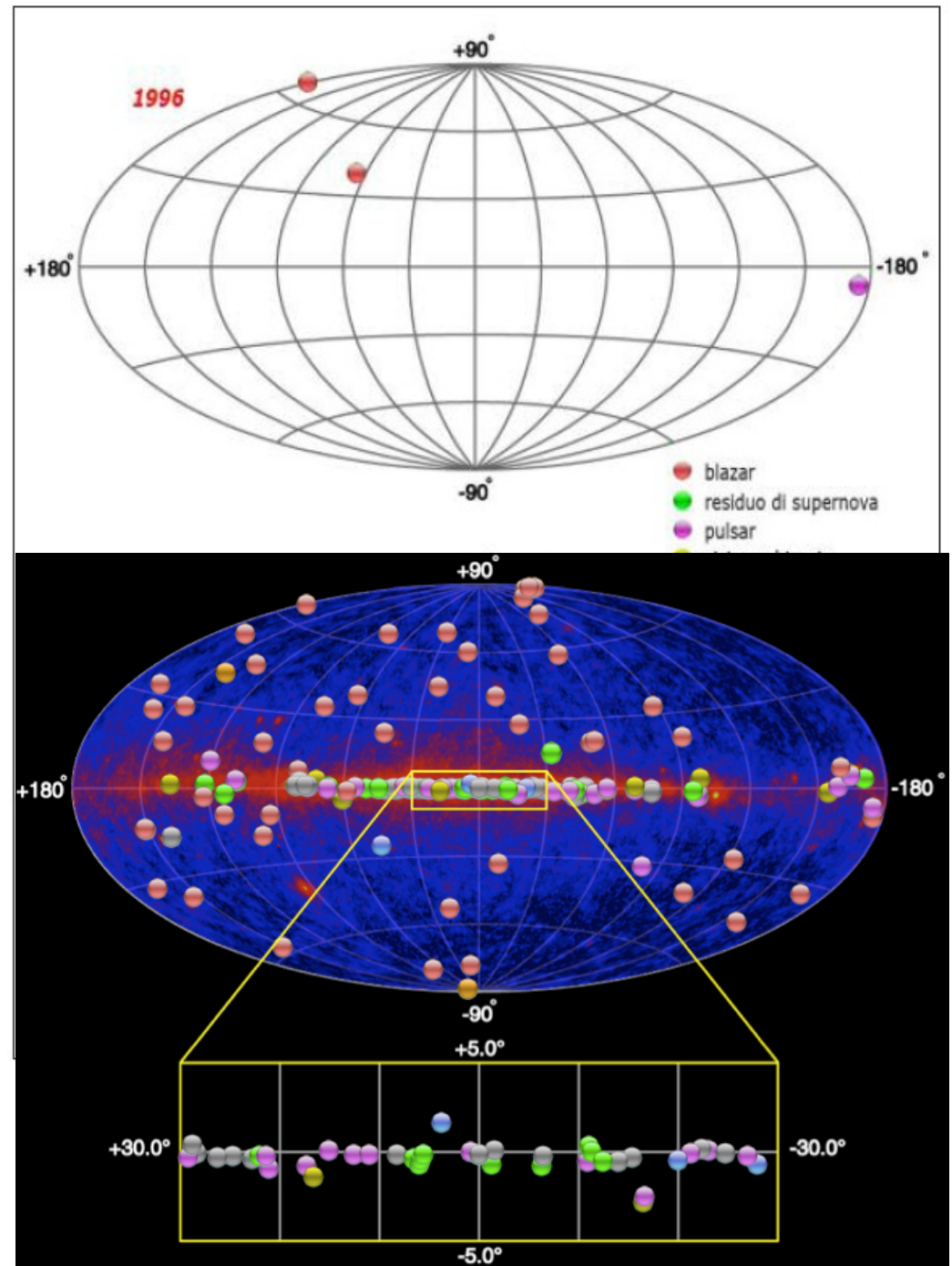


Compensazione delle deformazioni meccaniche: l'Active Mirror Control



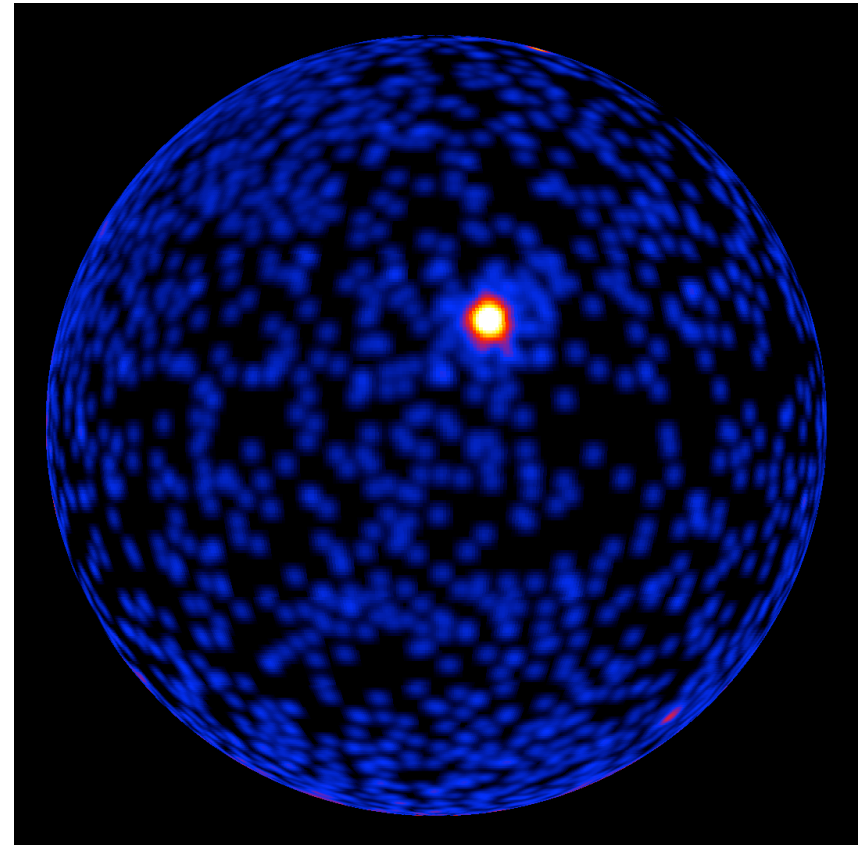
Sorgenti astrofisiche di altissima energia

- Grazie soprattutto ai telescopi Cherenkov abbiamo scoperto circa 200 sorgenti di altissime energie negli ultimi anni



E stiamo studiando i piu' improvvisi fra tutti i collassi: i lampi di raggi gamma

- Una volta al giorno in media, si osserva un lampo di raggi gamma piu' luminoso di tutto il resto dell'Universo
 - Dura tipicamente per pochi secondi
- Si ritiene possa essere associato alla formazione di buchi neri

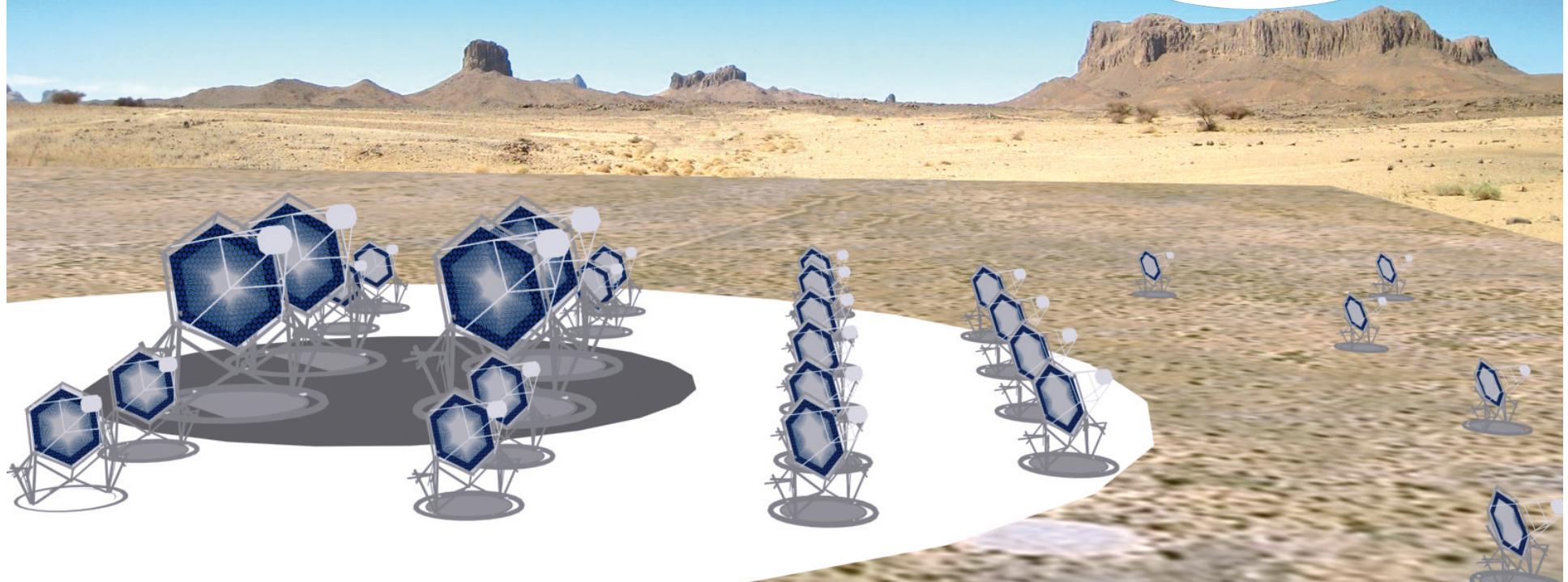


World-wide Collaboration
25 countries, 132 institutes
>800 scientists

Il futuro dell'astrofisica gamma

10 fold sensitivity of current instruments
10 fold energy range
improved angular resolution
two sites (North / South)

High priority from the main European and US reviews
Timescale: prototypes till 2014/15, then start construction



Sites: Candidates

+additional
lower priority
candidates

Arizona (2)



Tenerife



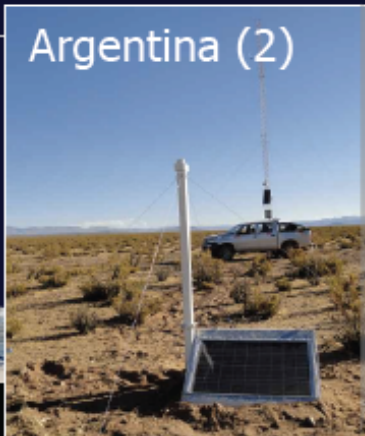
SPM - Mexico



Aar/HESS Namibia



Argentina (2)



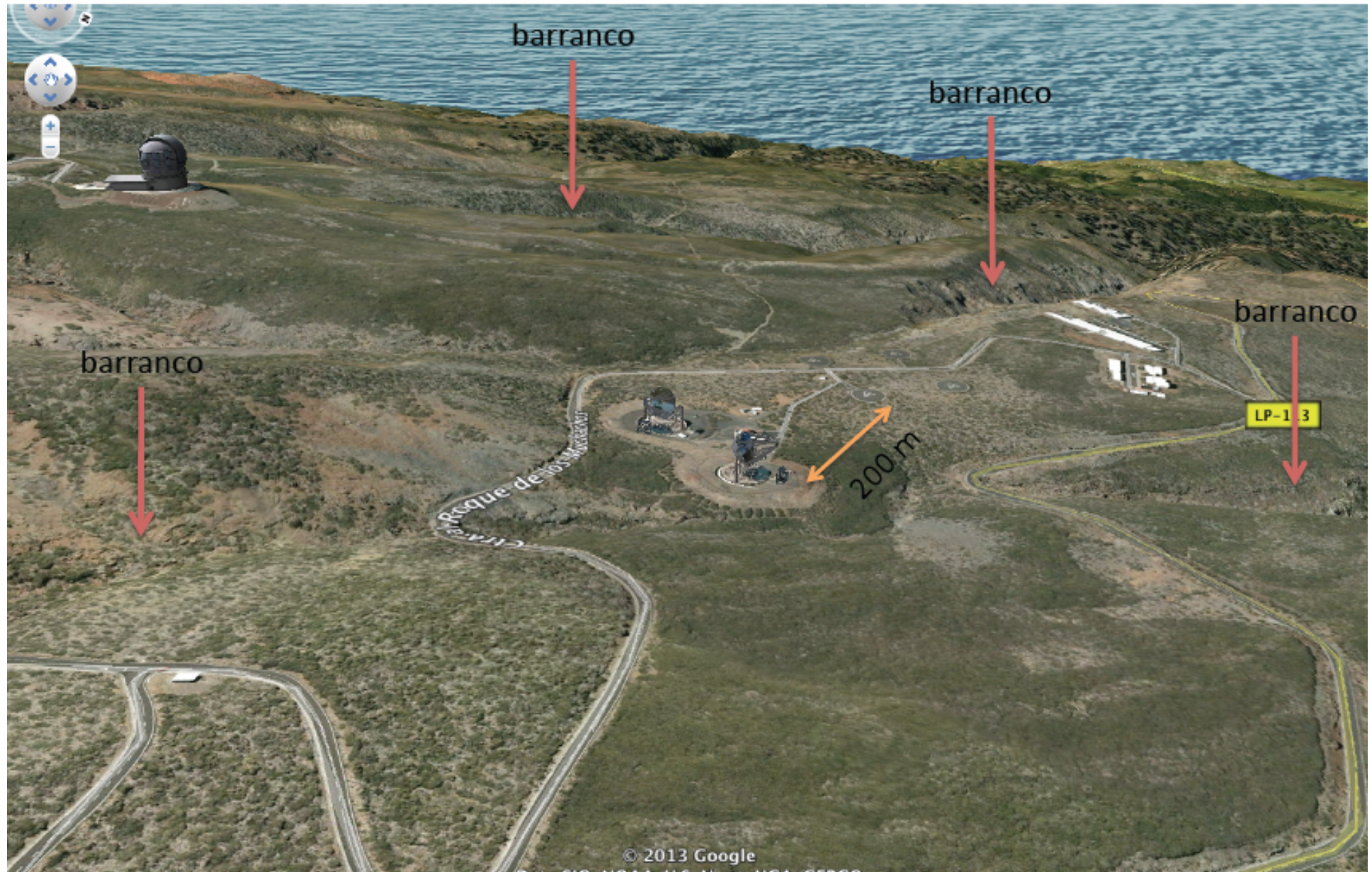
Chile - Armazones



Il sito di Tenerife



Le opere di ingegneria non sono facili...



In conclusione

- La luce delle stelle che noi vediamo viene da fenomeni legati a collassi gravitazionali e processi nucleari
 - Le energie piu' alte sono la chiave per la comprensione dei processi che generano luce e calore – e ai quali dunque dobbiamo la vita
- Questi fenomeni molto energetici sono tutt'altro che tranquilli: si basano su equilibri dinamici sottili
- In una sinergia tra fisica fondamentale e astronomia che riscuote successi ormai da millenni ci stanno insegnando molto sulla Natura e molto altro ci insegneranno.

Energie

- 2 eV: la luce visibile
- 1 GeV = 10^9 eV : energia che serve a creare un protone (relazione di Einstein $E=mc^2$)
- 4000 GeV = 4 TeV : energia di un protone accelerato in un fascio di LHC (energia cinetica di una zanzara)
- $6 \cdot 10^{18}$ eV = 1 joule : energia cinetica di una massa di 100 grammi che cade da un metro
- 10^{21} eV: energia cinetica di una palla da tennis ben lanciata (sono le più grandi energie mai misurate in una particella singola, quasi un miliardo di volte più grandi delle energie dei fasci di LHC)