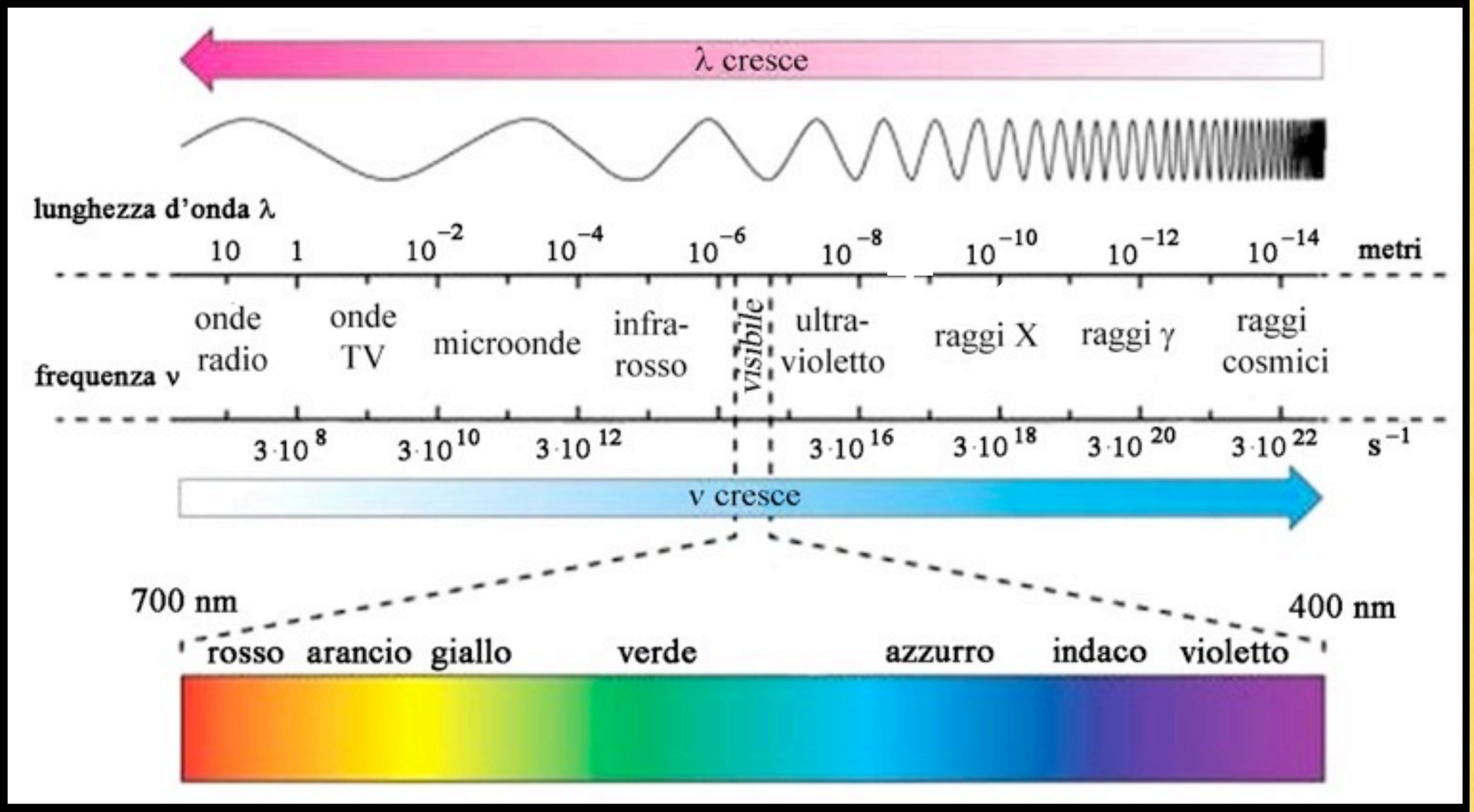
Cherenkov Telescope Array
Cento nuovi occhi per scrutare il cielo

Giacomo Bonnoli
INAF - Osservatorio Astronomico di Brera

Photo: Bernhard Schoelkopf
www.tuebingen.mpg.de/~bs

Spettro della luce



λ [m]

ν= c/λ [Hz]

[erg]

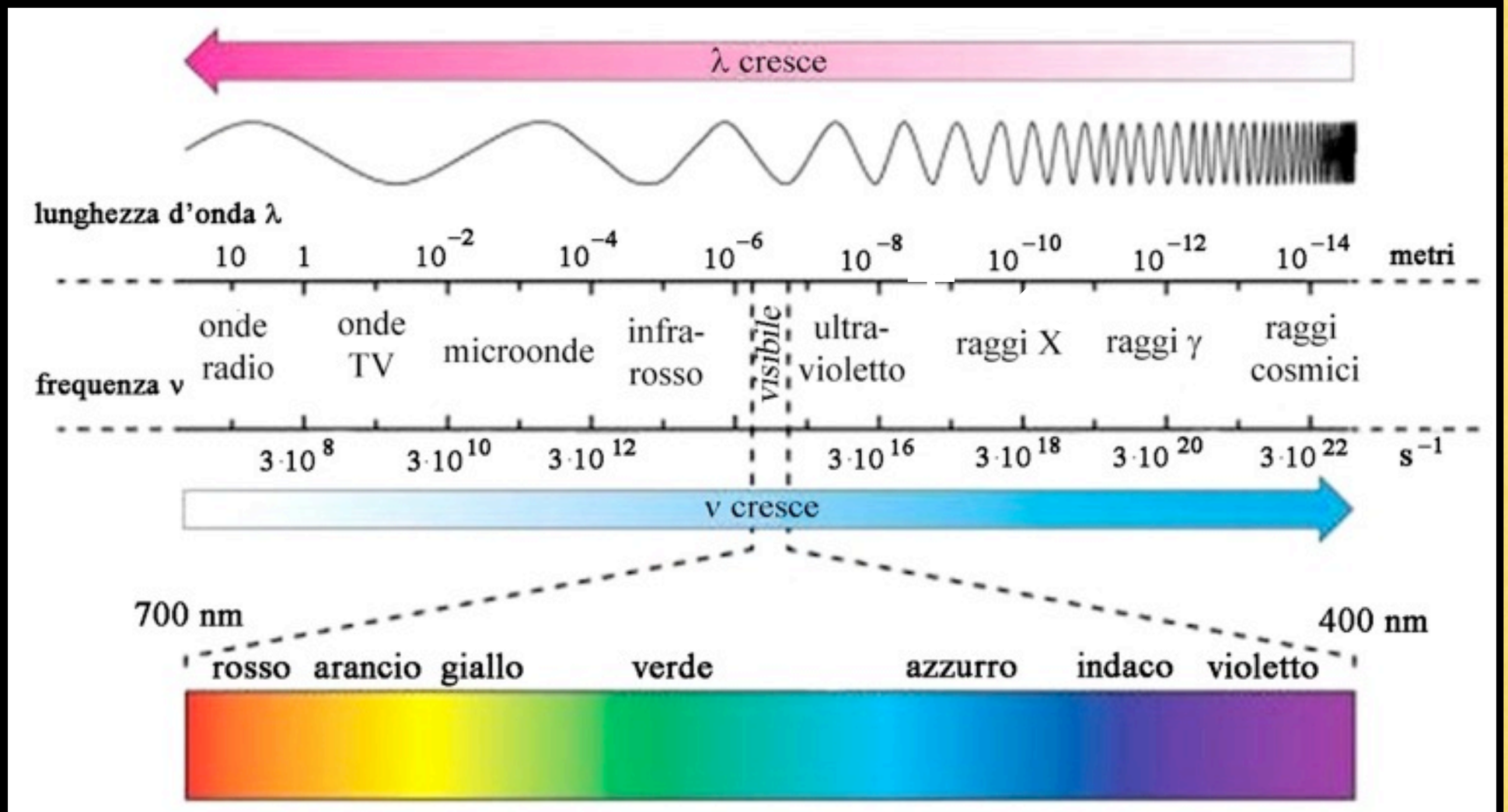
E=hν [eV]

[J]

[cal]

"Gamma" E> 0.511 MeV (massa dell'elettrone)

Spettro della luce



λ [m]

ν= c/λ [Hz]

E=hν [erg] [eV] [J] [cal]

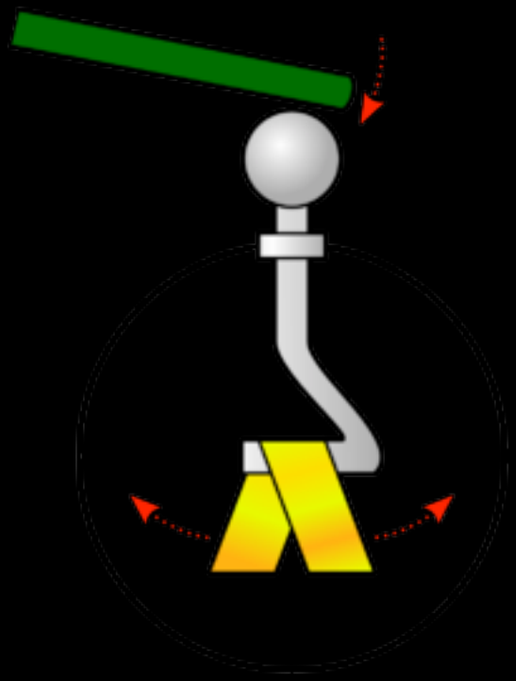
"Gamma" E> 0.511 MeV (massa dell'elettrone)

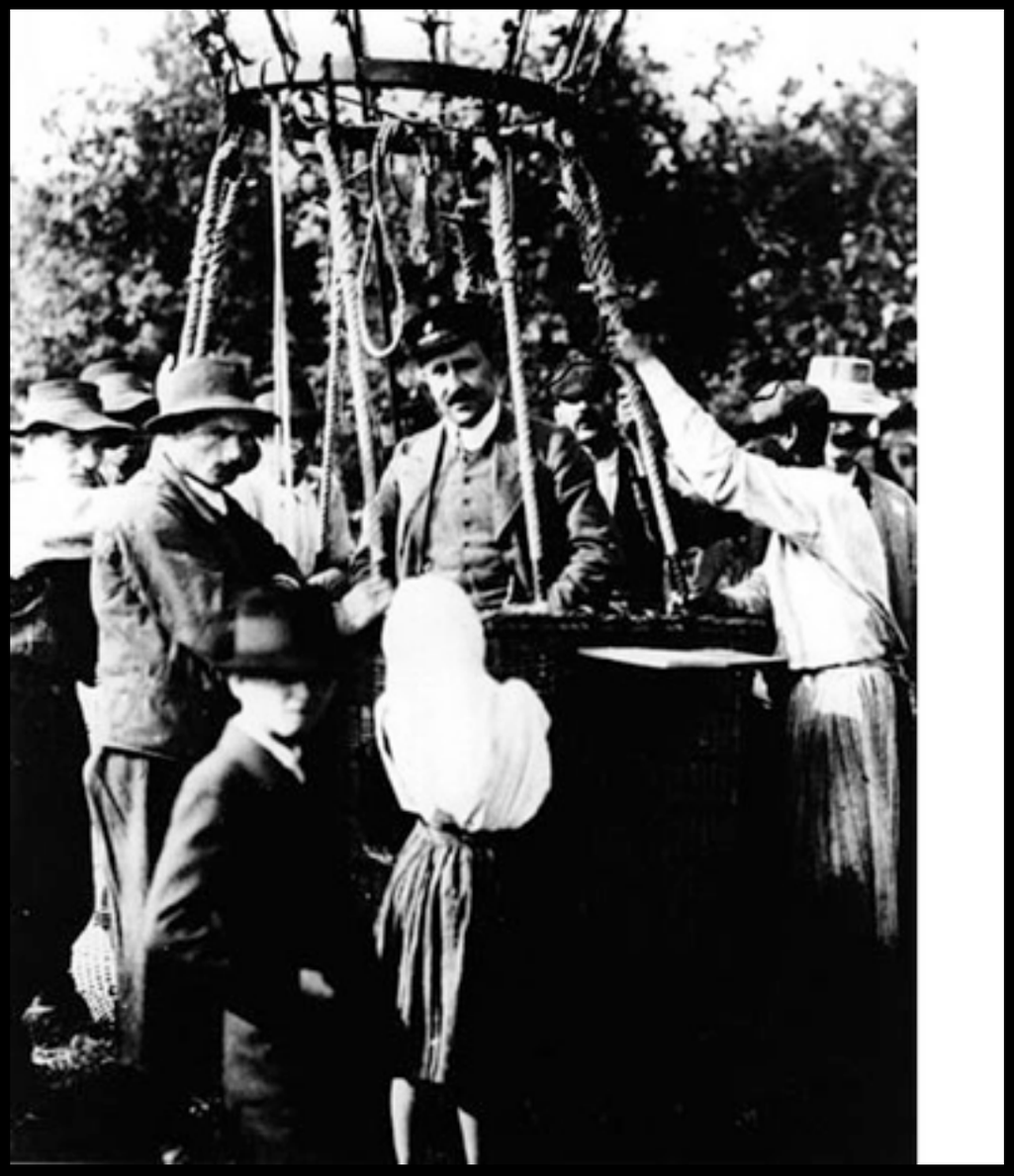
Sommario

- L'universo violento: i raggi cosmici
- Astronomia Gamma con IACT
- Il futuro: il Cherenkov Telescope Array
- L'Italia (e OAB) in CTA: il progetto ASTRI
- Conclusioni

L'universo violento: i raggi cosmici

I raggi cosmici





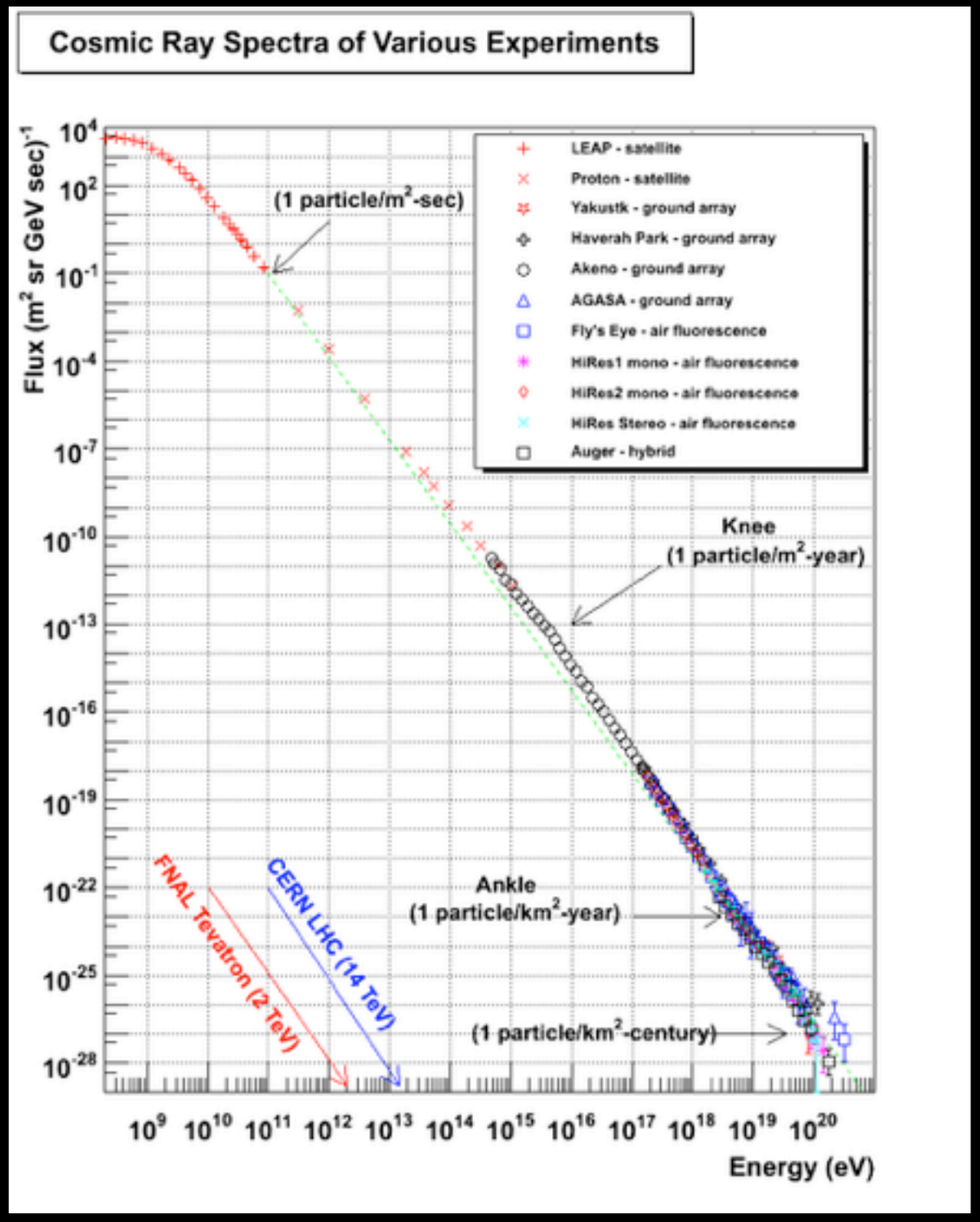
Victor Hess con viaggi in pallone
fino a 5 km negli anni 1911-1913
dimostra che l'intensità della radiazione ionizzante
aumenta con l'altezza (Nobel 1936)

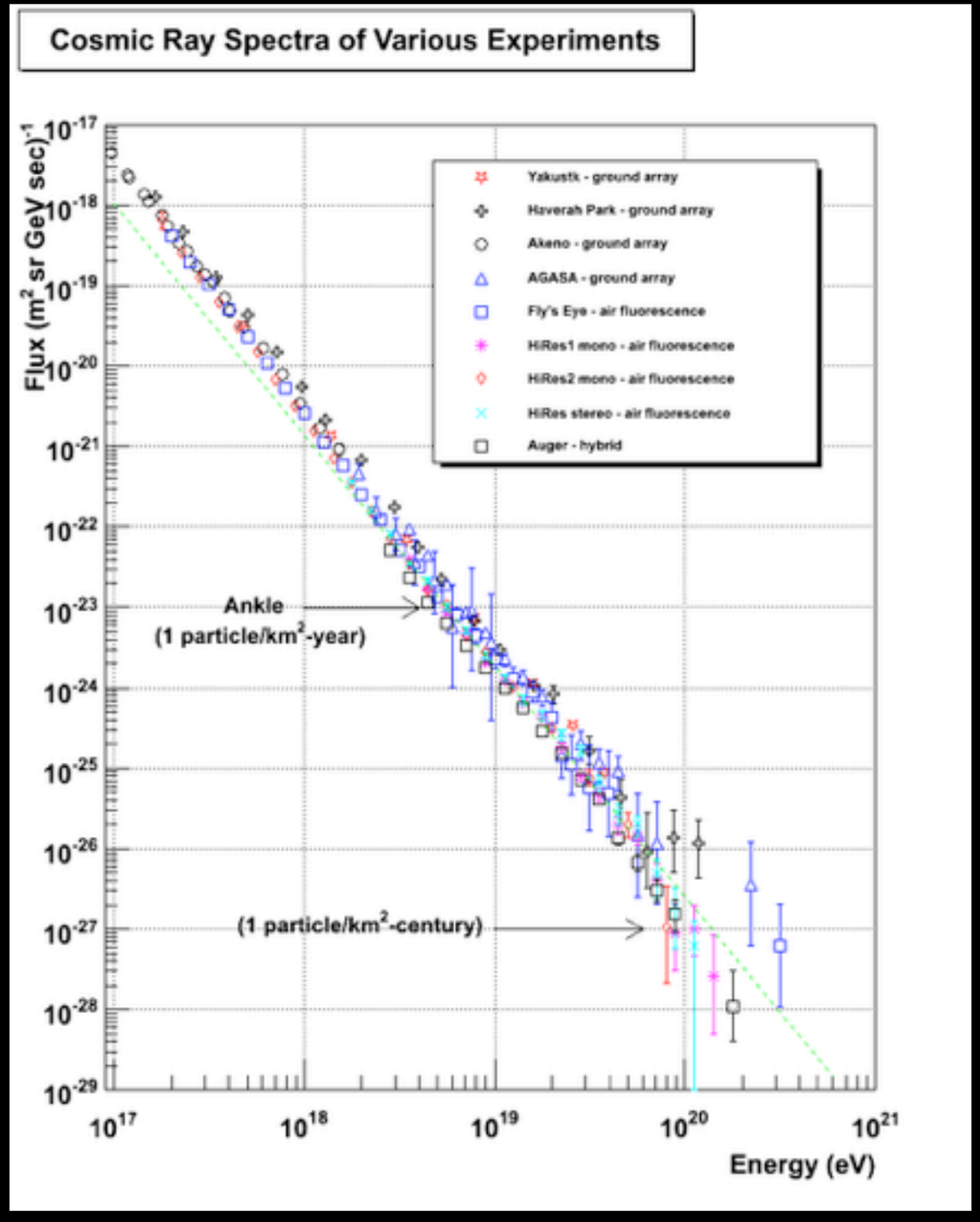
Domenico Pacini test sott'acqua

Composizione raggi cosmici

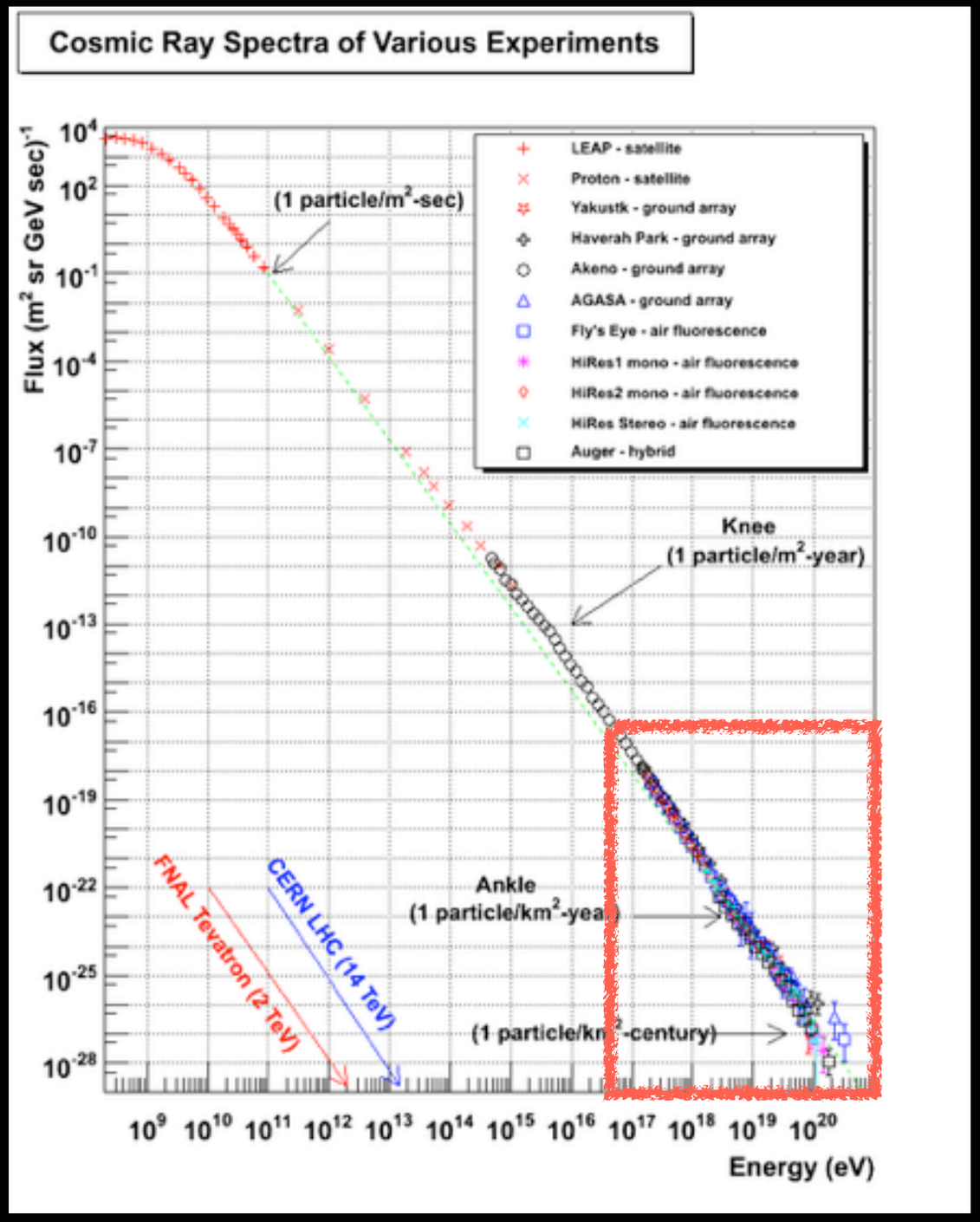
- Protoni e nuclei pesanti (98%), elettroni (2%)
- Fotoni (0.01-0.1%)
- Le particelle cariche sono deflesse nei campi magnetici che permeano l'universo ($B>10^{-18}$ G) e la Galassia ($B\approx10^{-8}$ G) per la forza di Lorentz F=q (E+(v/c) X B). Si perde il legame con la sorgente, e a terra si misura un flusso isotropo.
  Ad energie inferiori ad 1 TeV anisotropia indotta dal campo magnetico solare.
- I fotoni sono neutri, e la direzione di volo punta alla posizione celeste di partenza. Sono quindi associabili alle relative sorgenti, permettono di fare astronomia (mappa delle sorgenti gamma) e astrofisica (studiare i processi che in quelle sorgenti li producono. Ma anche cosmologia e fisica delle particelle
- Nello studio dei fotoni, i ben più frequenti protoni costituiscono un fondo, dominante in numero, che è necessario rigettare "in qualche modo" per isolare i segnali dei fotoni.

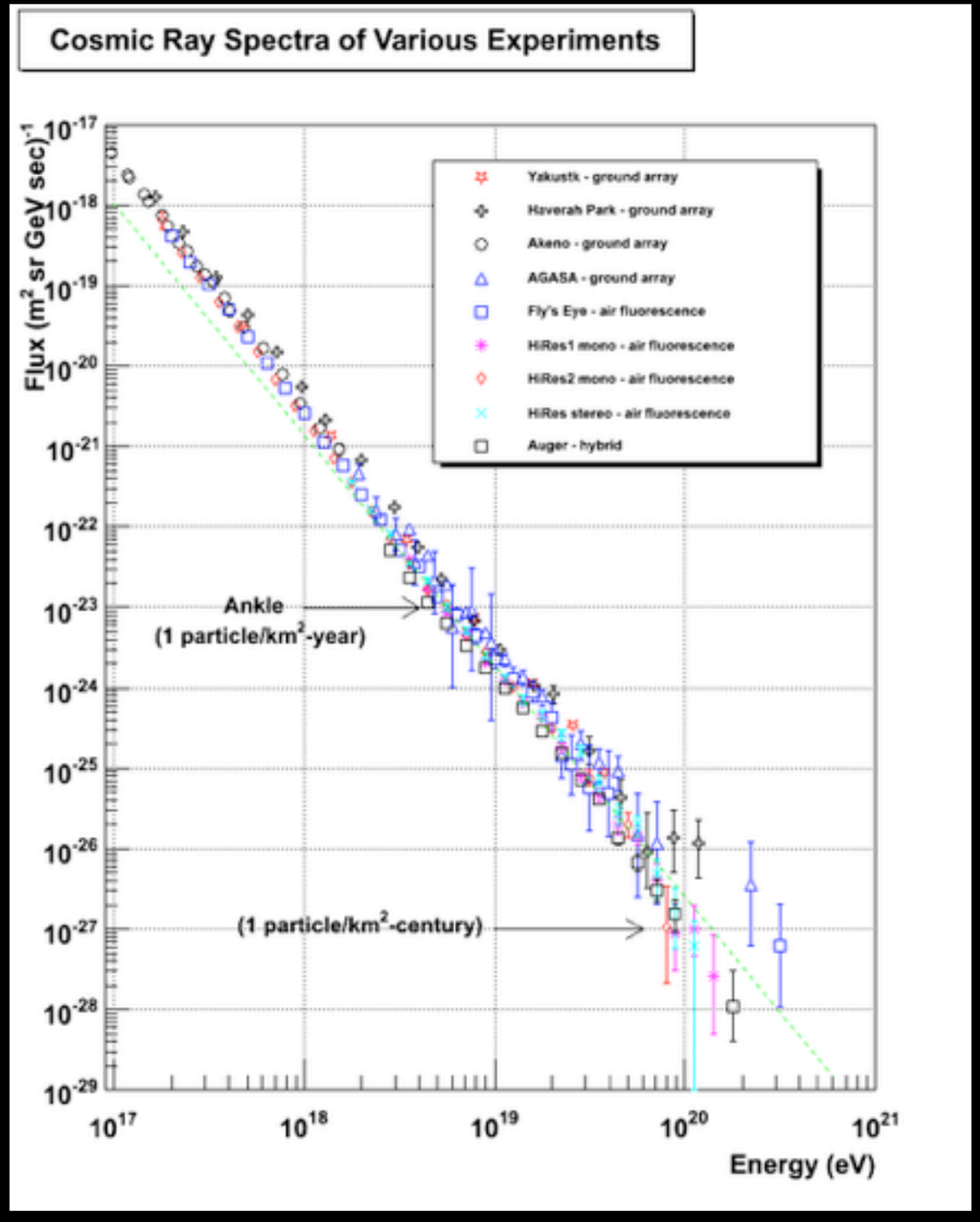
Spettro dei raggi cosmici



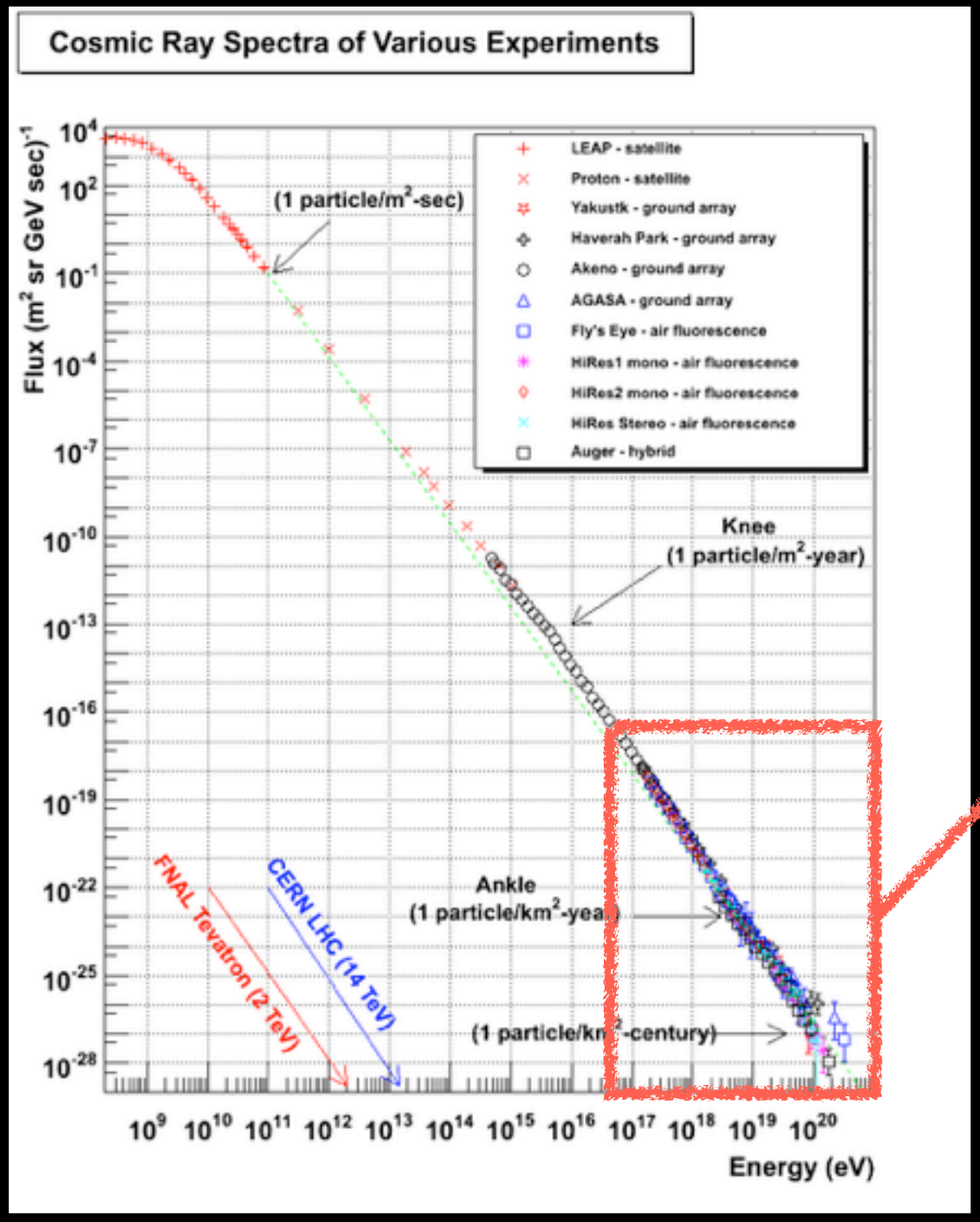


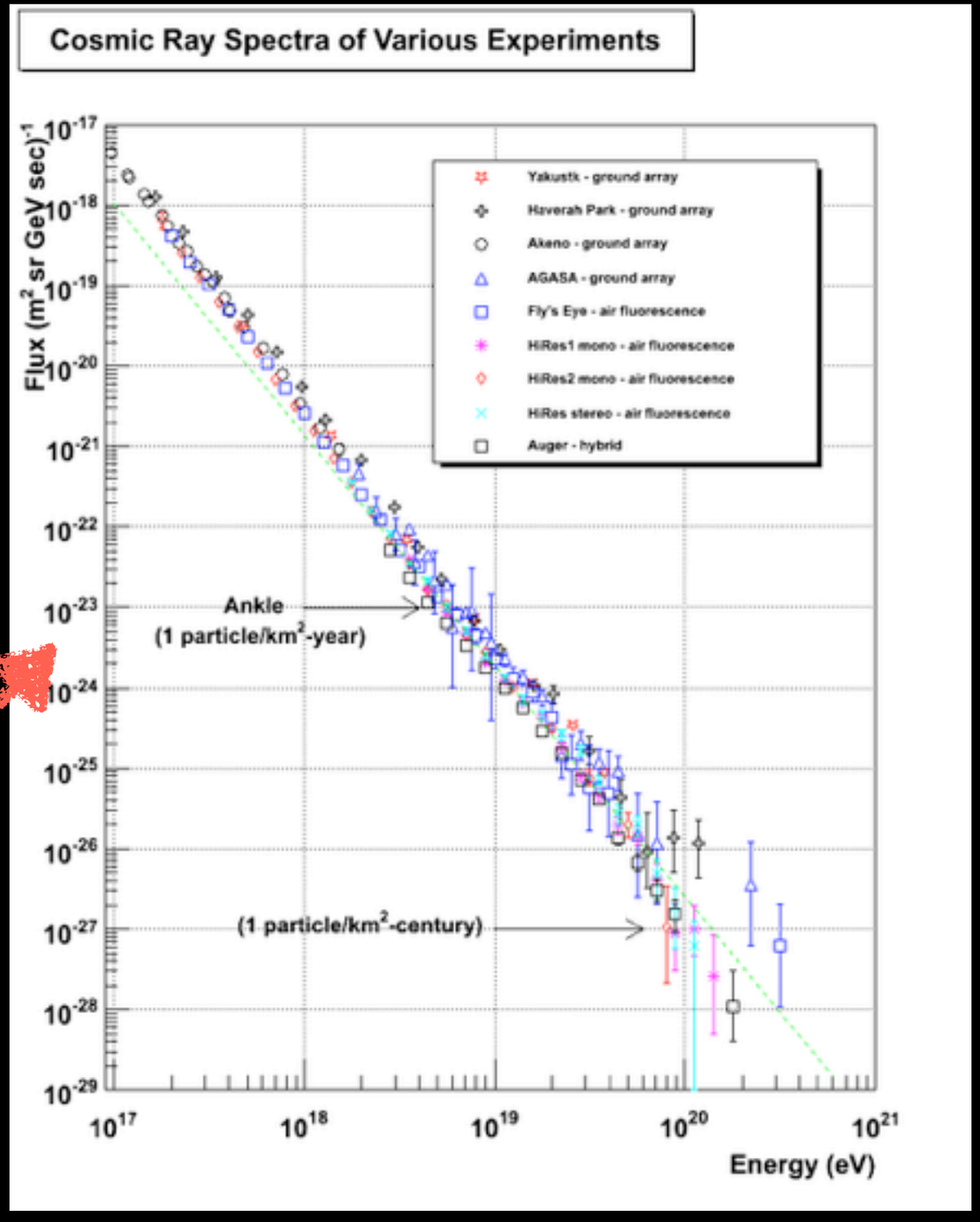
Spettro dei raggi cosmici





Spettro dei raggi cosmici

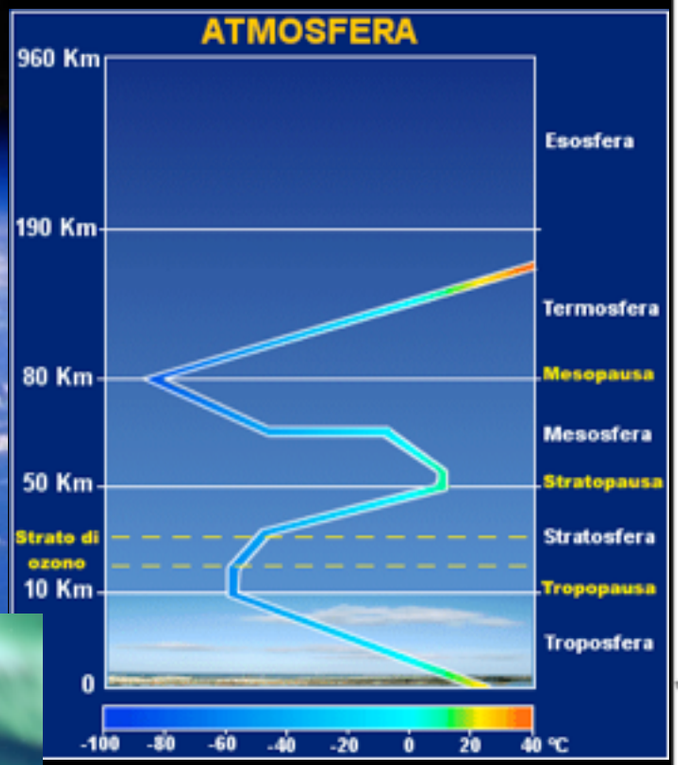


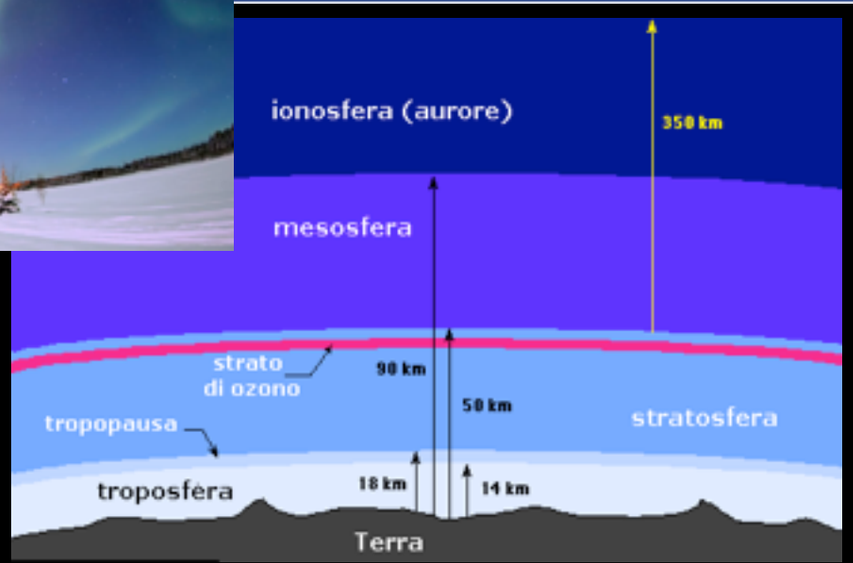


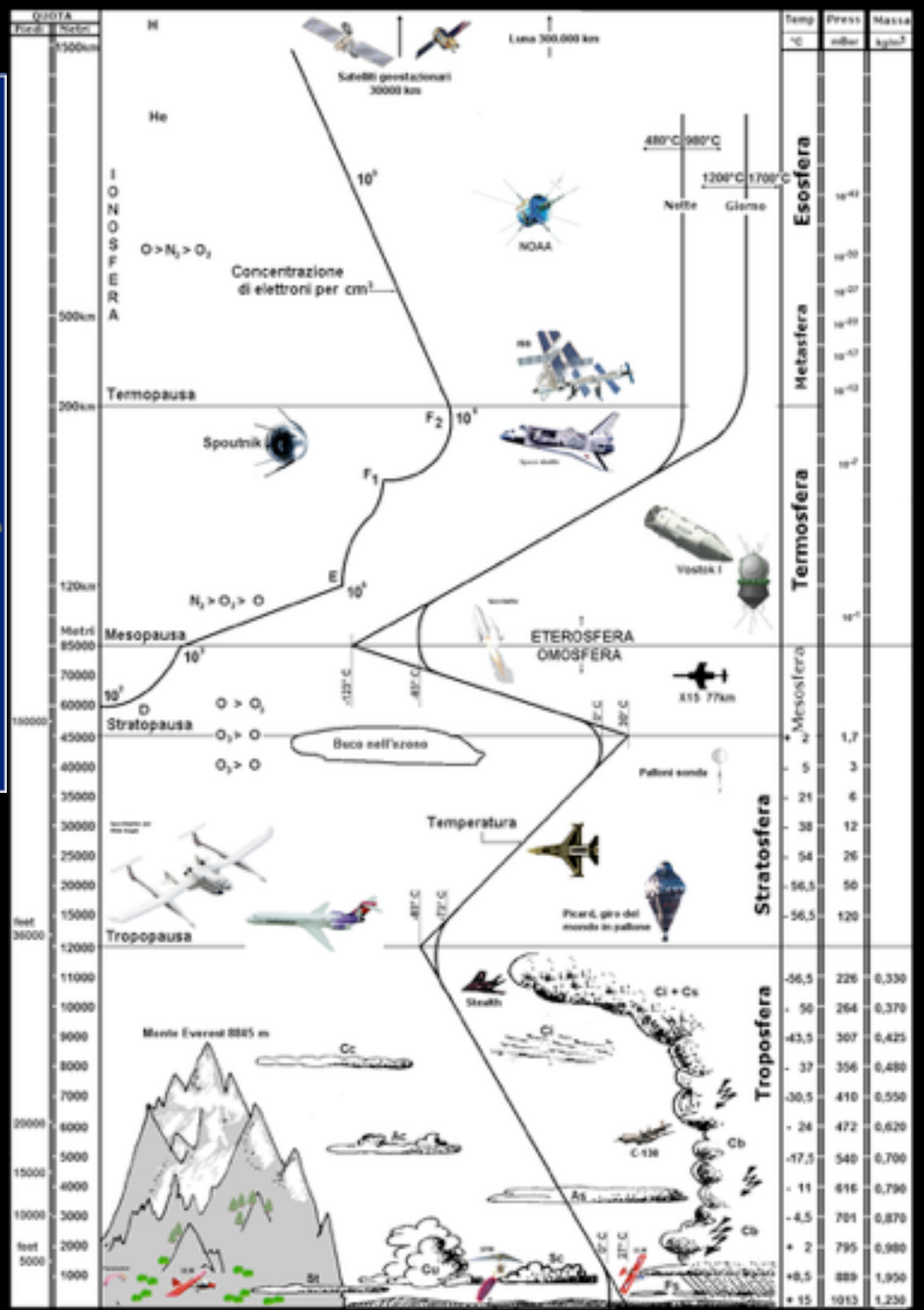
Qualche considerazione

- Sono tanti! 1/(sec m^2) da 100 GeV o più (grazie atmosfera!!)
- Chi li produce? (sopra il ginocchio a 3 PeV l'origine dovrebbe essere extragalattica)
- Quelli di altissima energia devono essere prodotti vicino! (assorbimento GZK contro CMB). Il record: 3×10^{20} eV
- Sono noti da 10-15 anni prima di sapere che la Via Lattea non è l'unica galassia, che l'universo si espande... (Hubble).
- Ma occorrevano conoscenze teoriche ma soprattutto tecnologie adeguate per studiarli sperimentalmente

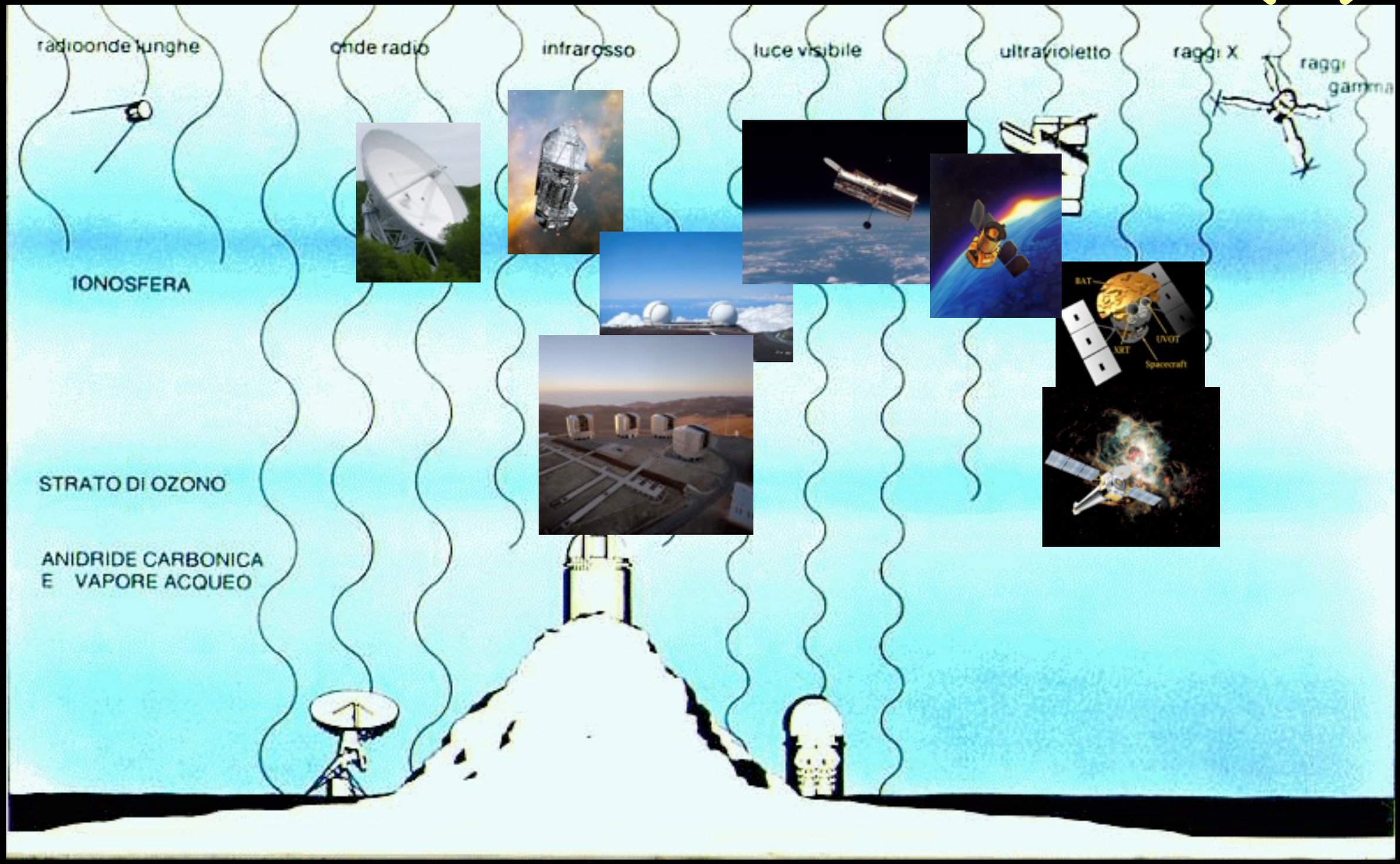
Atmosfera


ATMOSFERA
960 Km
190 Km
80 Km
50 Km
Strato di ozono
10 Km
0
Esosfera
Termosfera
Mesopausa
Mesosfera
Stratopausa
Stratosfera
Tropopausa
Troposfera
-100 -80 -60 -40 -20 0 20 40 °C

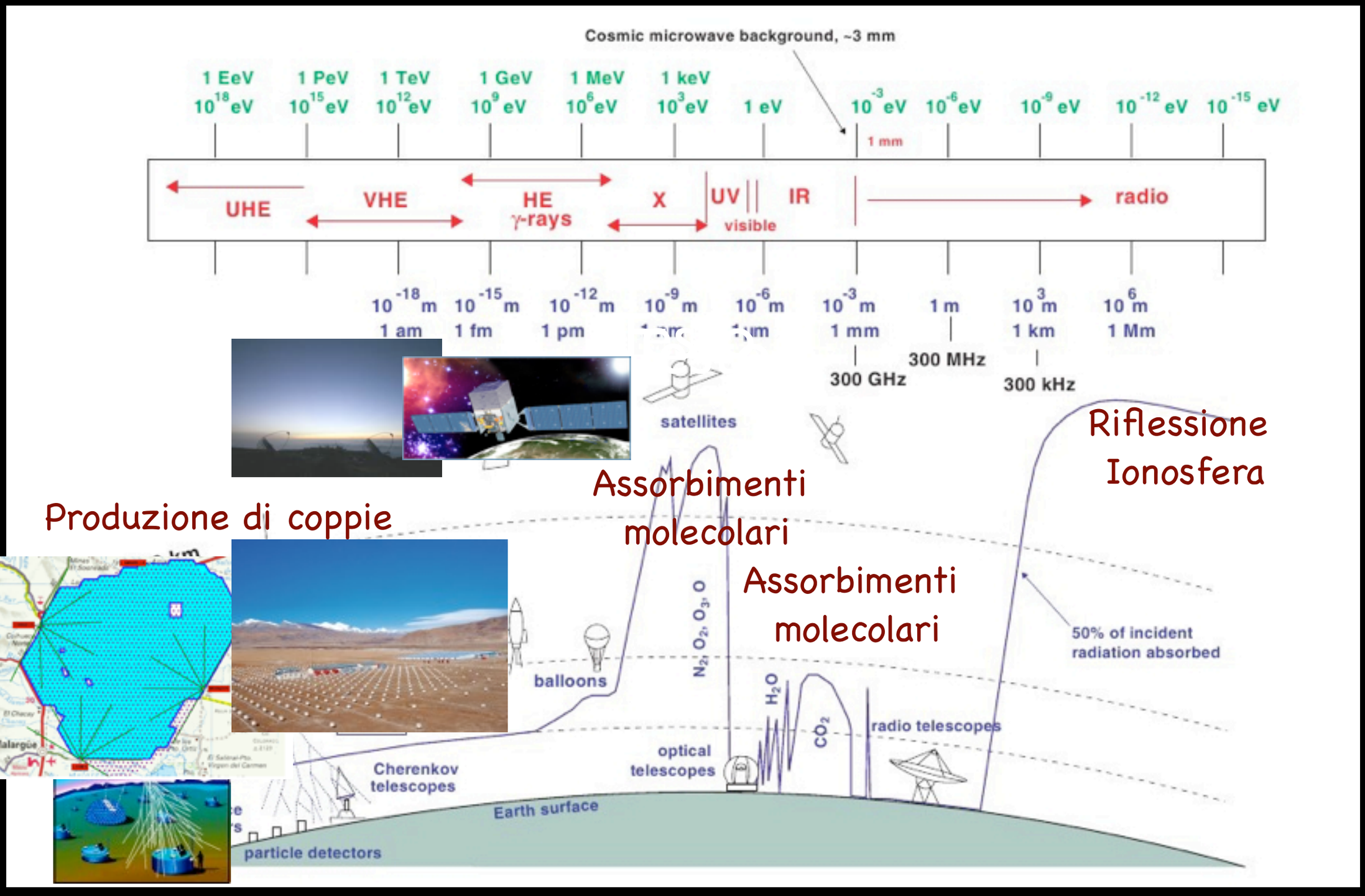

ionosfera (aurore)
350 km
mesosfera
strato di ozono
90 km
50 km
tropopausa
stratosfera
troposfera
18 km
14 km
Terra


Esosfera
Metasfera
Termosfera
Mesosfera
Stratosfera
Troposfera
Concentrazione di elettroni per cm³
Termopausa
Spoutnik
Mesopausa
Stratopausa
Tropopausa
ETEROSFERA
OMOSFERA
Temperatura
Buco nell'ozono
Monte Everest 8845 m

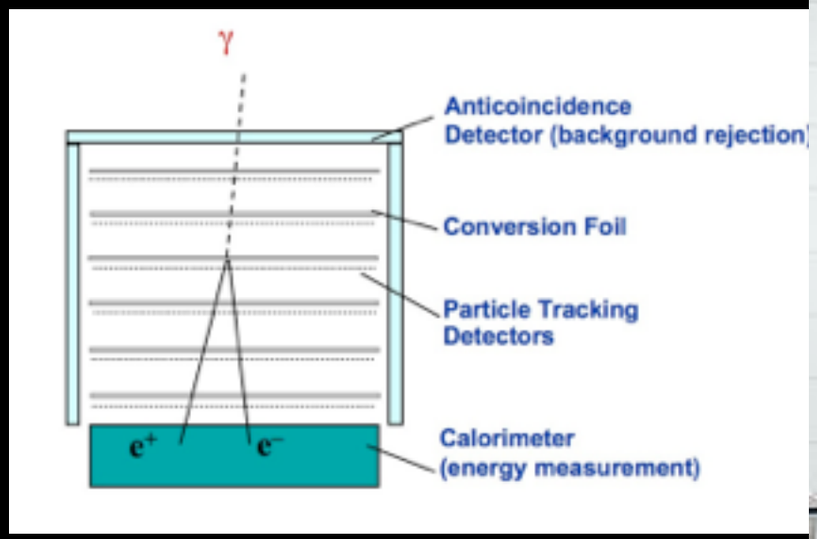
L'atmosfera e la luce (I)



L'atmosfera e la luce (II)



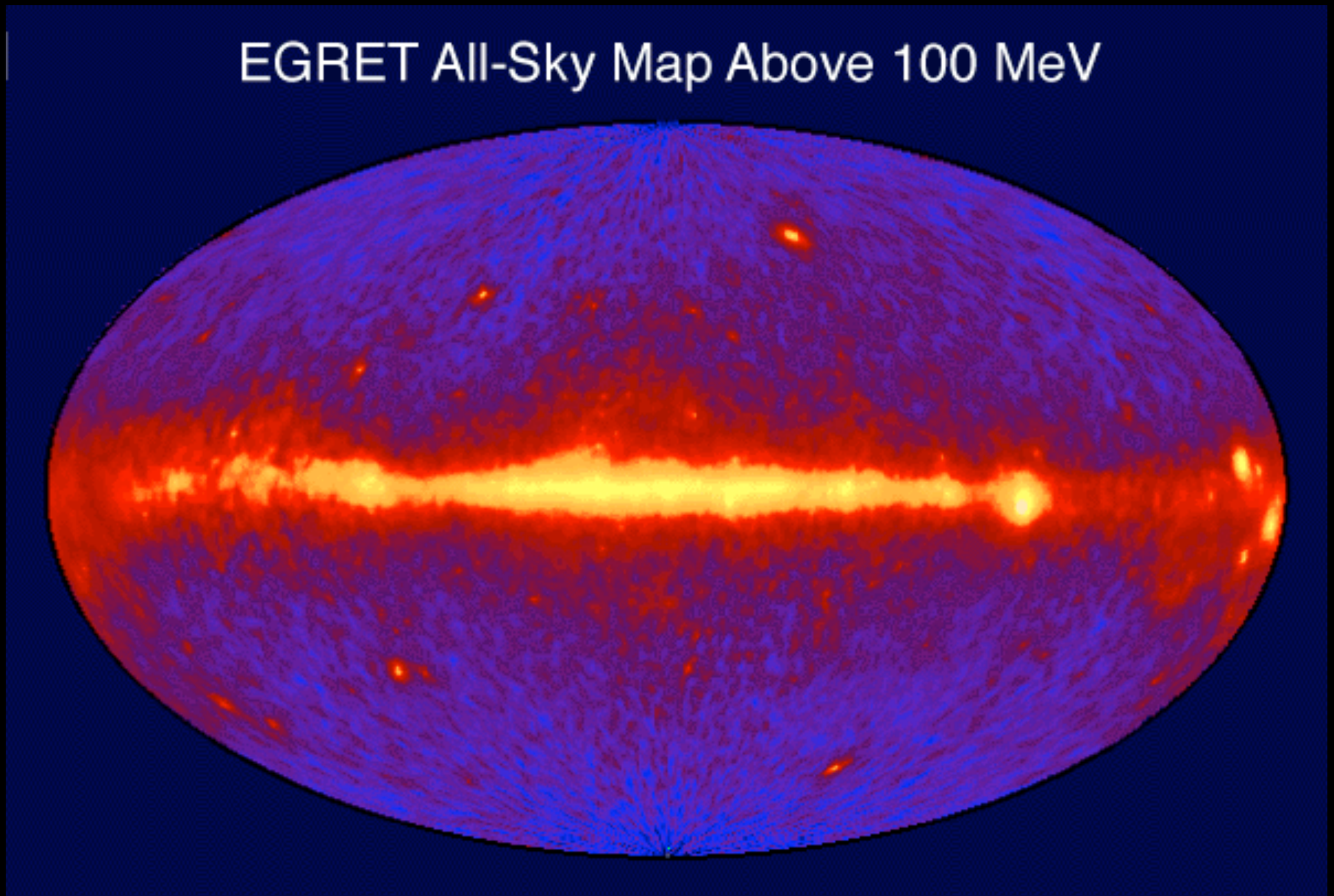
Fermi/LAT



PREGI:

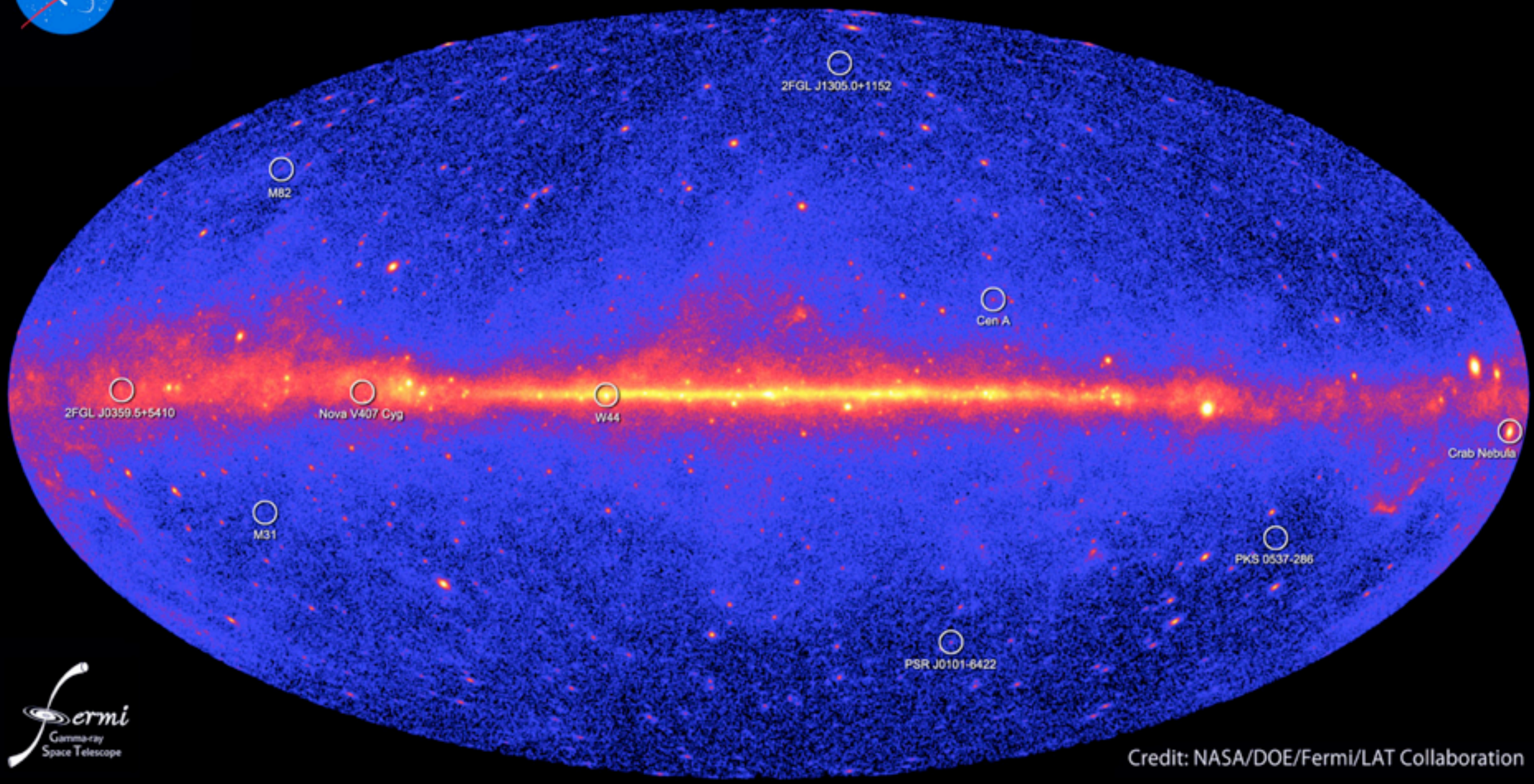
- sensibile da 0.1 a 300 GeV
- sempre operativo
- grande campo di vista (1/6 di cielo)
- poco fondo di protoni (anticoincidenza)

Il cielo visto da EGRET

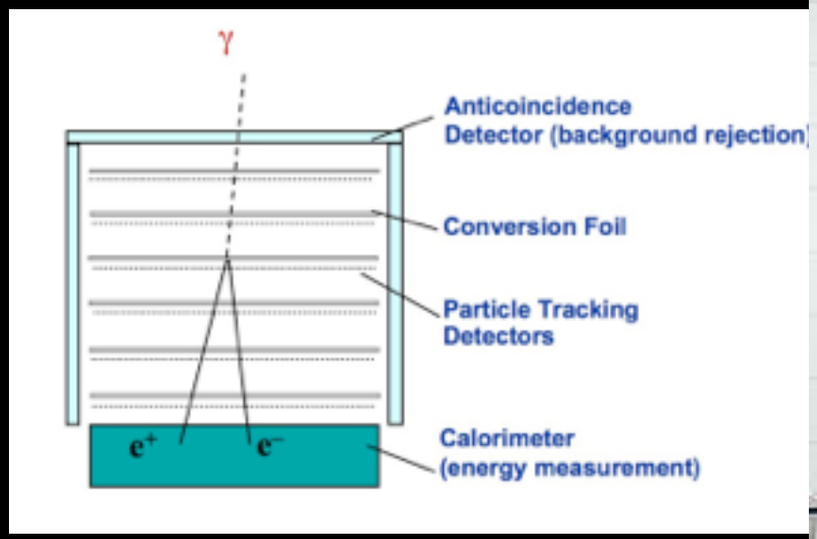


Il cielo visto da Fermi/LAT

Fermi two-year all-sky map



Fermi/LAT



PREGI:

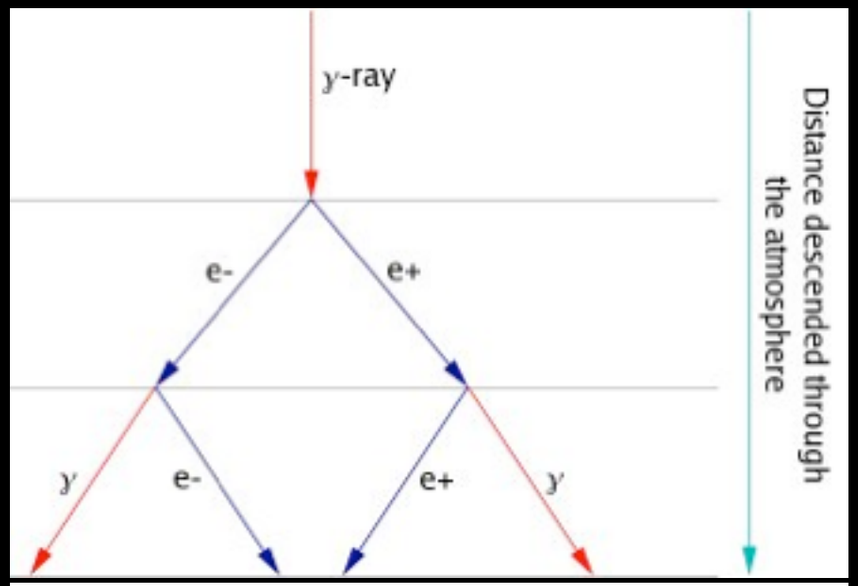
- sensibile da 0.1 a 300 GeV
- sempre operativo
- grande campo di vista (1/6 di cielo)
- poco fondo di protoni (anticoincidenza)

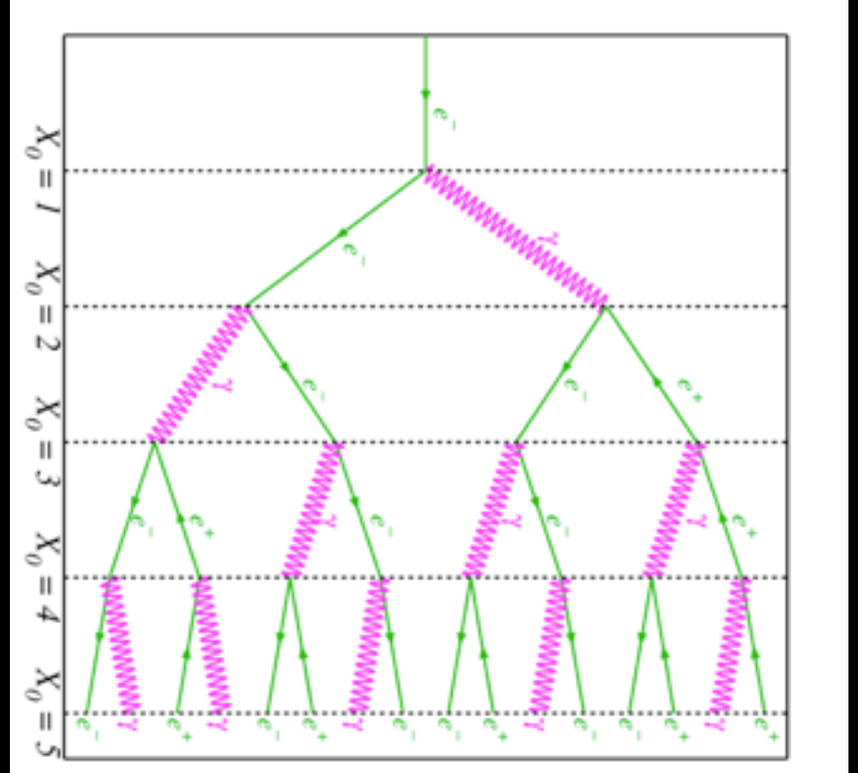
SVANTAGGI:

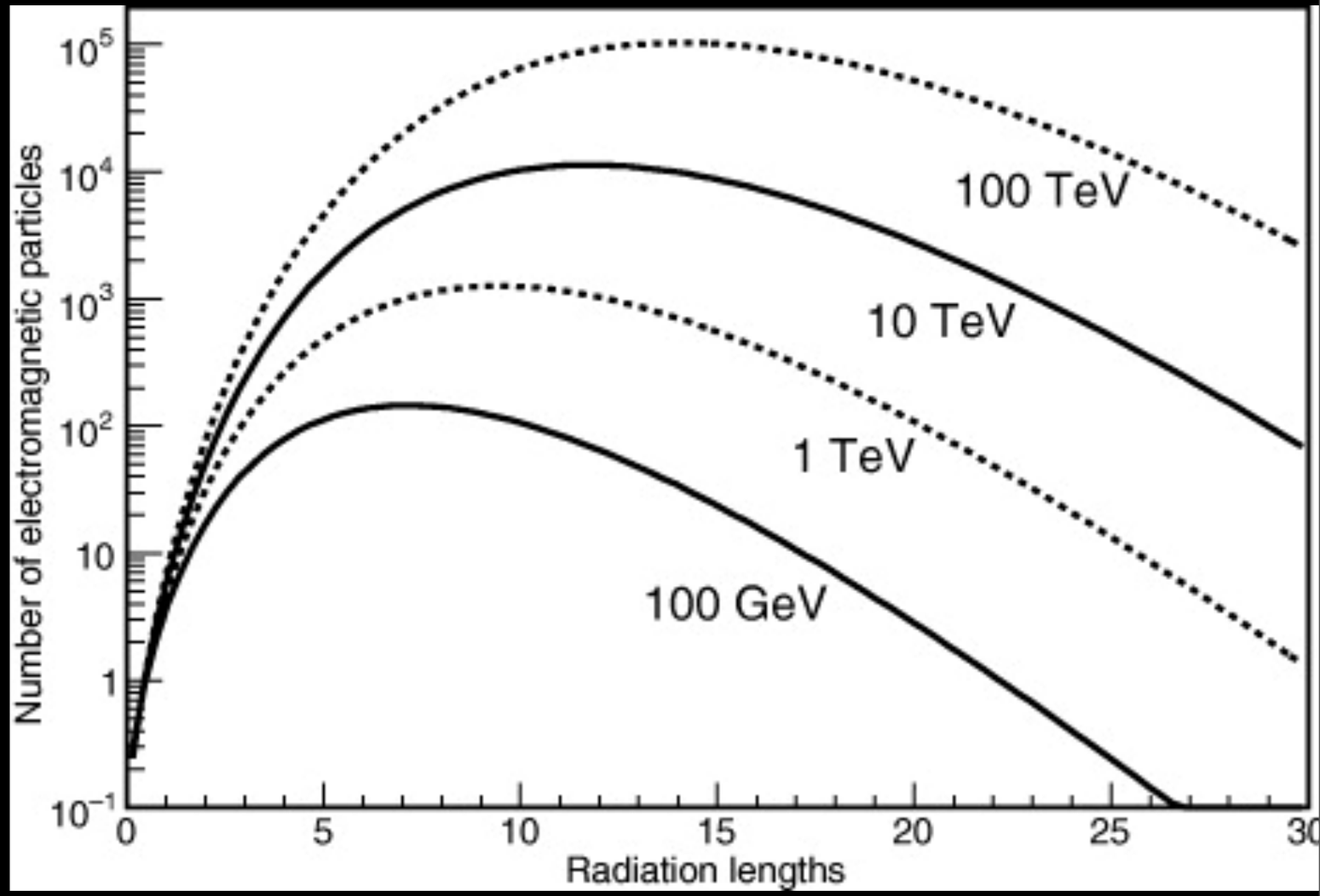
- Piccola area efficace (~1 m^2)
- Oltre una certa energia incompleta ricostruzione energetica
- Costa farlo e costa lanciarlo
- Non si ripara

Astronomia gamma con Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes (IACT)

Sciame da fotone (o e^+/e^-)

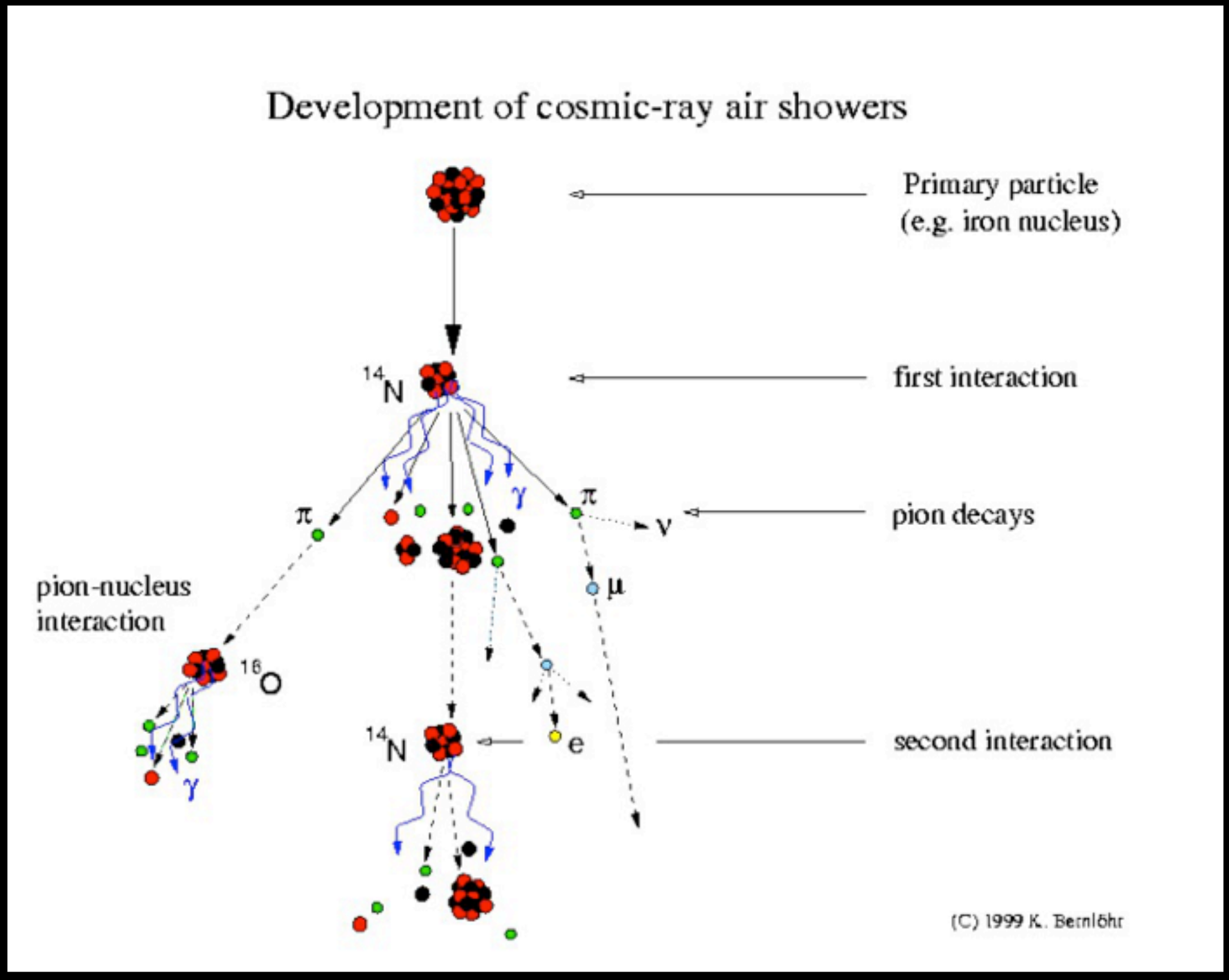




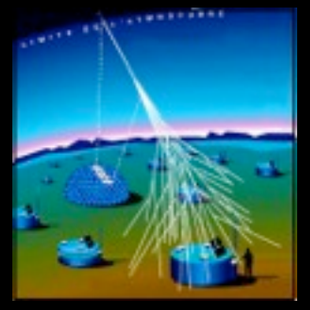


Uno sciame di particelle cariche (coppie e^+-e^-) e fotoni

Sciame "adronico"

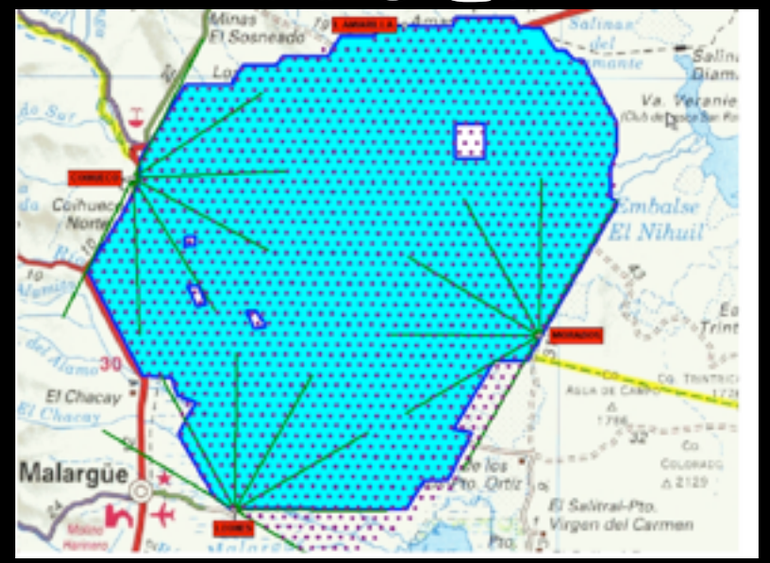


Rivelare gli sciami a terra



Funziona anche di giorno e con le nuvole
Grande campo osservato
Grande area efficace

AUGER

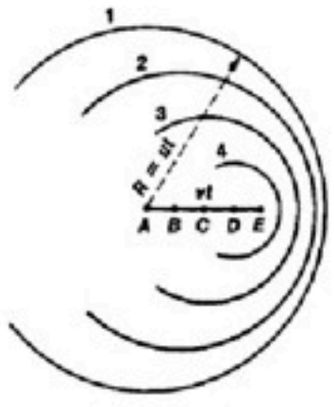


ARGO (Tibet)

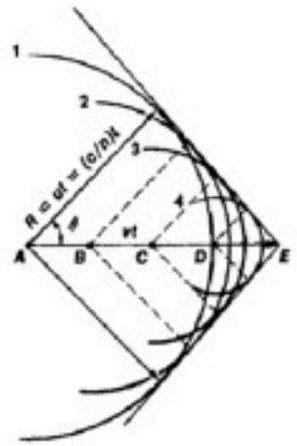
Gli sciami devono essere energetici (> 1 TeV)
Poca risoluzione angolare
Poca risoluzione energetica
Molto fondo
Poca sensibilità per le sorgenti deboli

Effetto Cherenkov

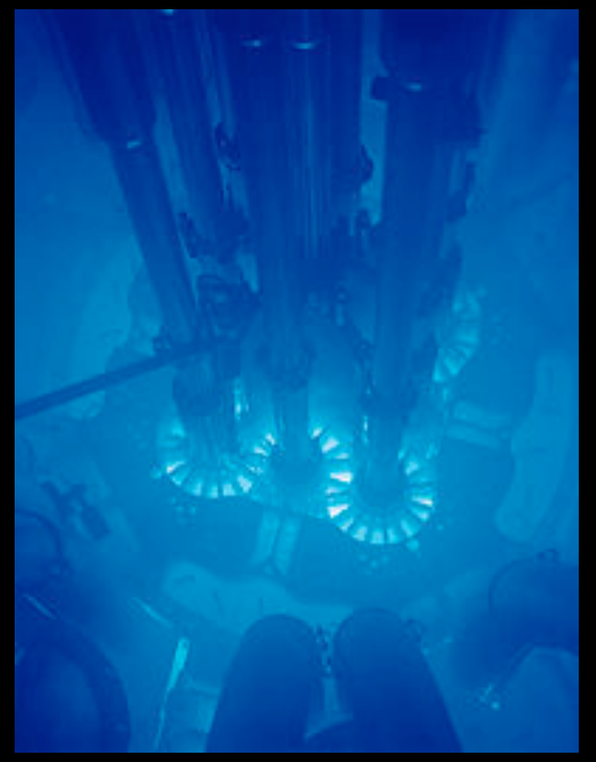
$v < \frac{c}{n}$



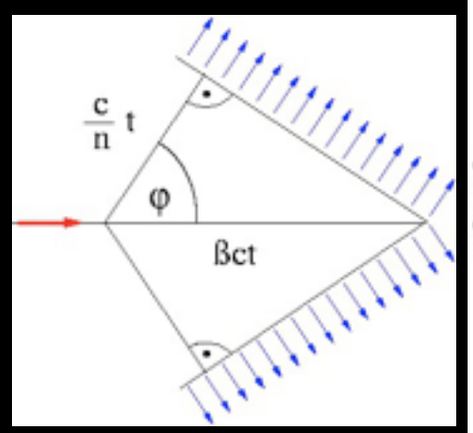
$v > \frac{c}{n}$

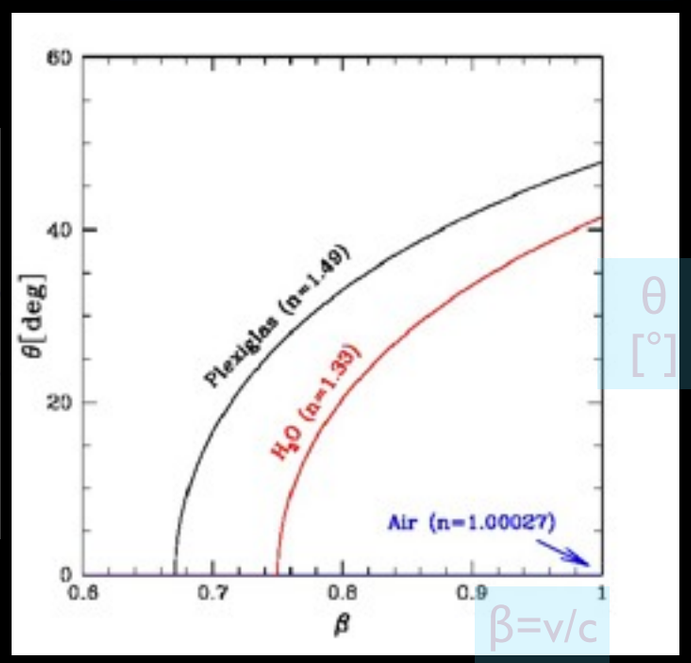


$$\beta_t \equiv \frac{v_t}{c} = \frac{1}{n}$$



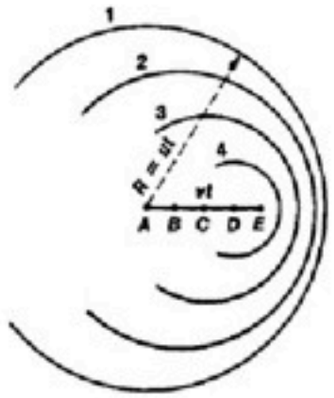
L'altra possibilità è osservare la radiazione ottica-UV causata dalle particelle cariche che attraversano l'atmosfera più veloci della luce



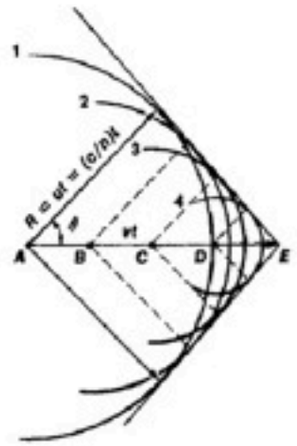


Effetto Cherenkov

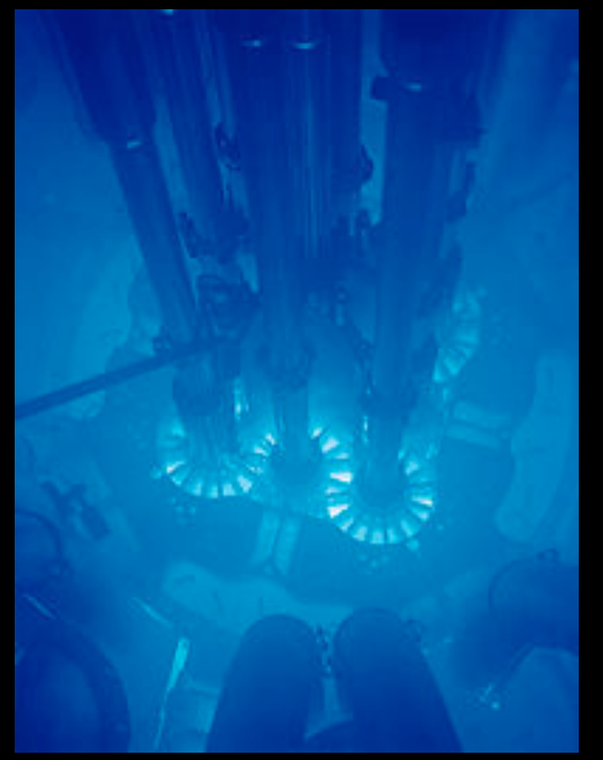
$v < \frac{c}{n}$



$v > \frac{c}{n}$

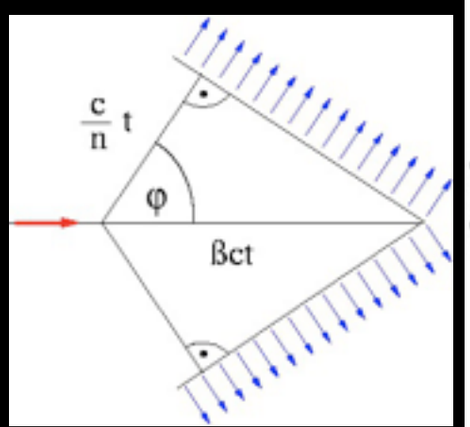


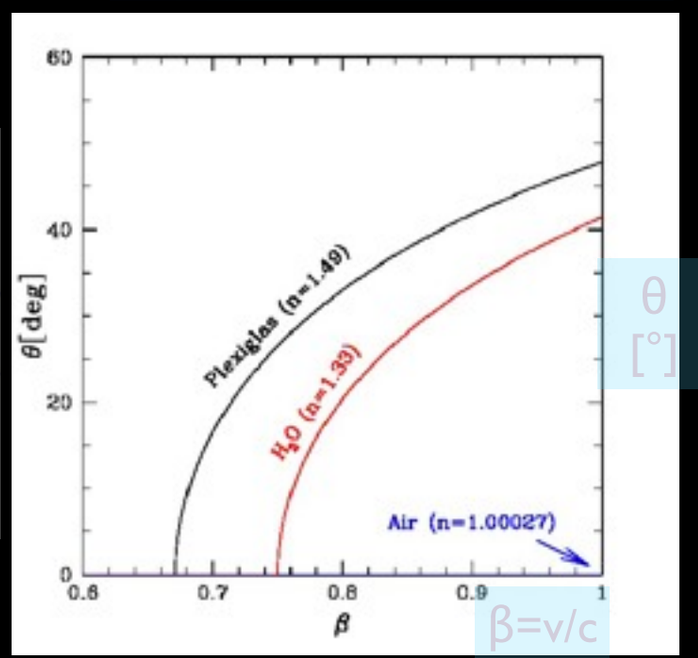
$$\beta_t \equiv \frac{v_t}{c} = \frac{1}{n}$$



Propriamente, non è l'elettrone superluminale ad irraggiare, ma l'atmosfera circostante, "stimolata" dal suo passaggio

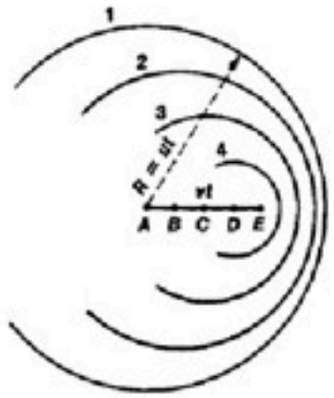
…servare la radiazione ottica-UV causata dalle particelle cariche che attraversano l'atmosfera più veloci della luce



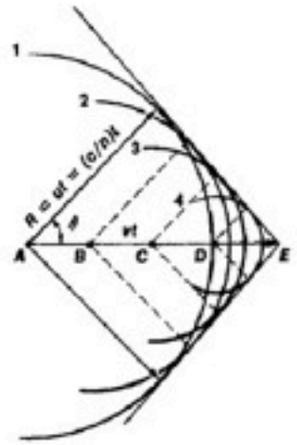


Effetto Cherenkov

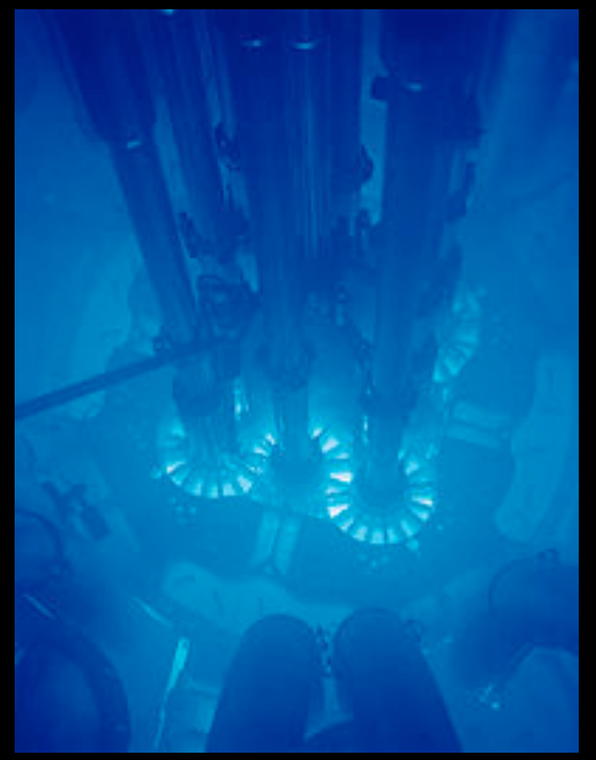
$v < \frac{c}{n}$



$v > \frac{c}{n}$

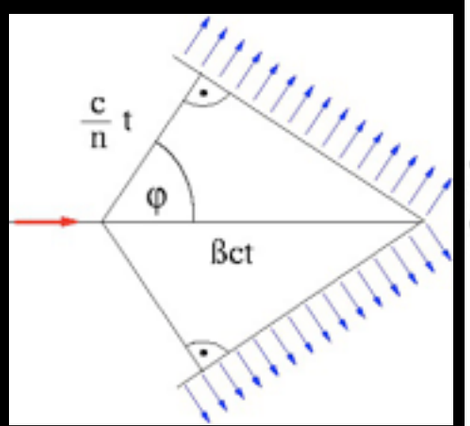


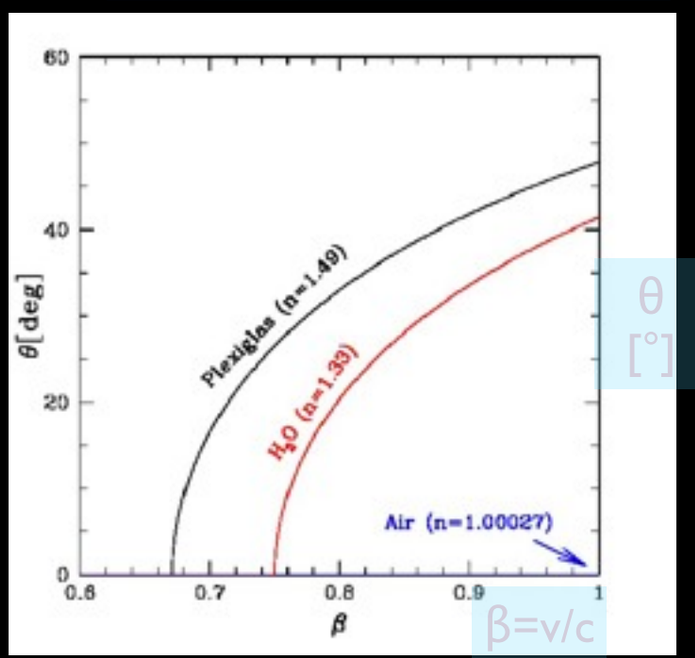
$$\beta_t \equiv \frac{v_t}{c} = \frac{1}{n}$$



L'effetto è dovuto al riarrangiamento delle molecole dell'atmosfera, che si possono considerare dei dipoli elettrici.

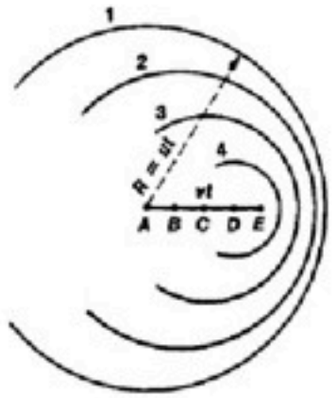
…servare la radiazione ottica-UV causata dalle particelle cariche che attraversano l'atmosfera più veloci della luce



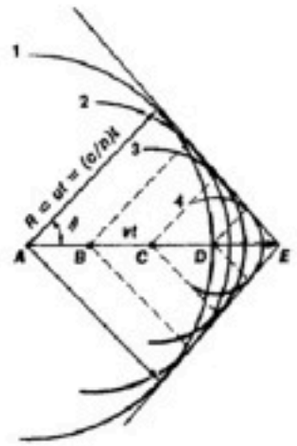


Effetto Cherenkov

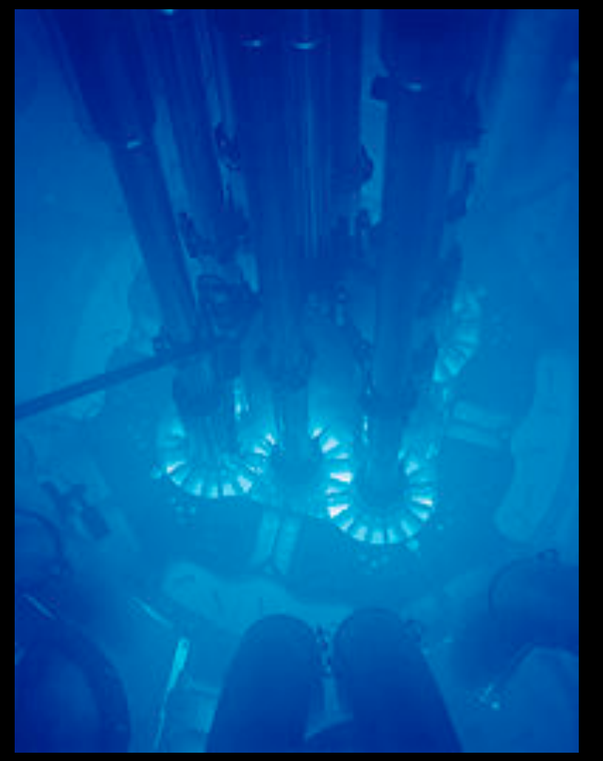
$v < \frac{c}{n}$



$v > \frac{c}{n}$



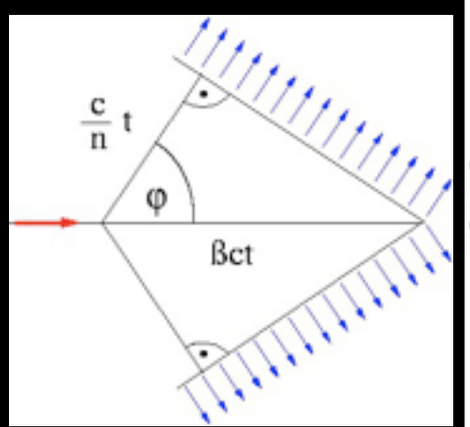
$$\beta_t \equiv \frac{v_t}{c} = \frac{1}{n}$$

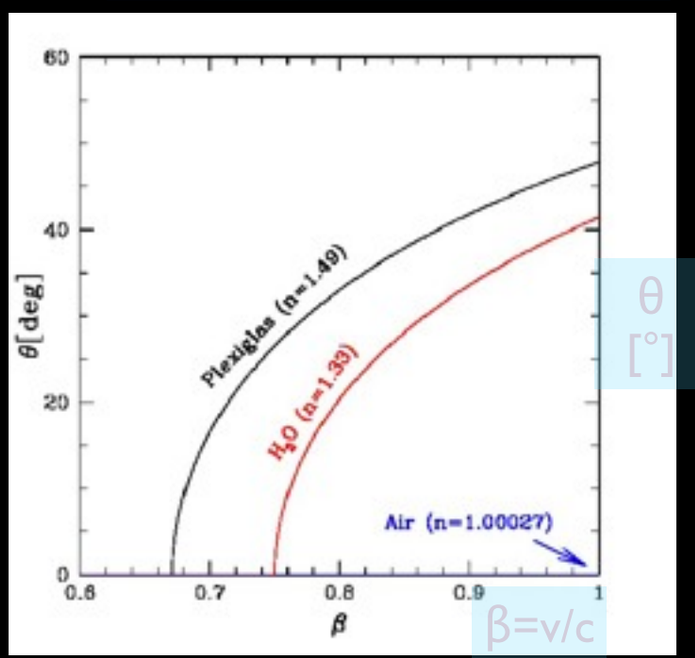


L'effetto è dovuto alla polarizzazione del mezzo

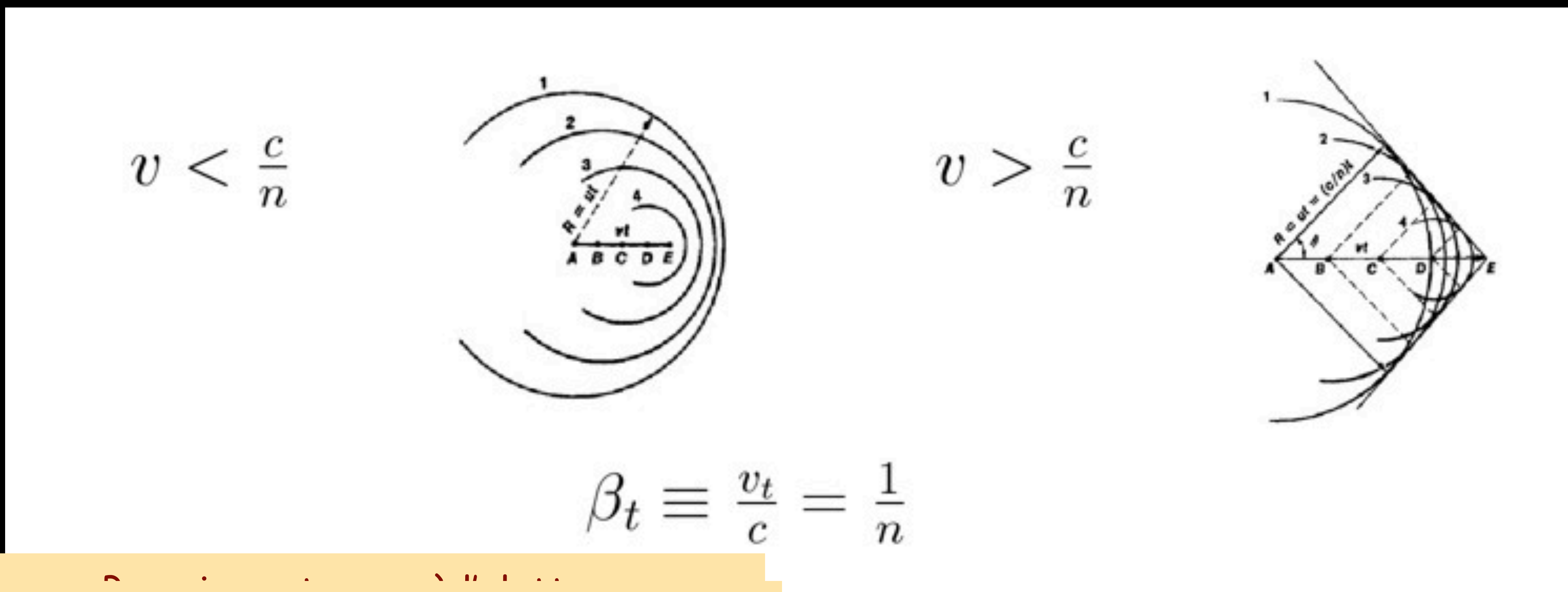
Al transito degli elettroni energetici, i dipoli si polarizzano e si "riorientano". Nel far questo sono accelerati quindi irraggiano

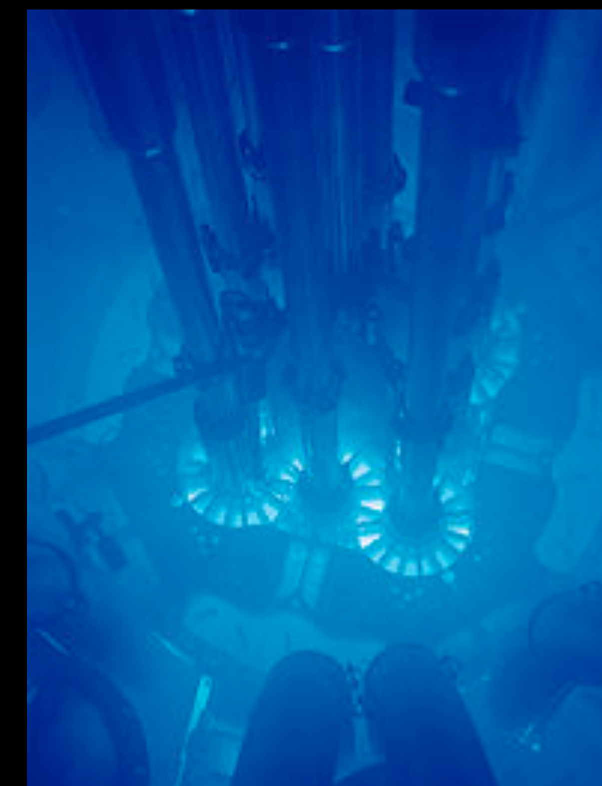
ervare la radiazione ottica-UV causata dalle particelle cariche che attraversano l'atmosfera più veloci della luce





Effetto Cherenkov

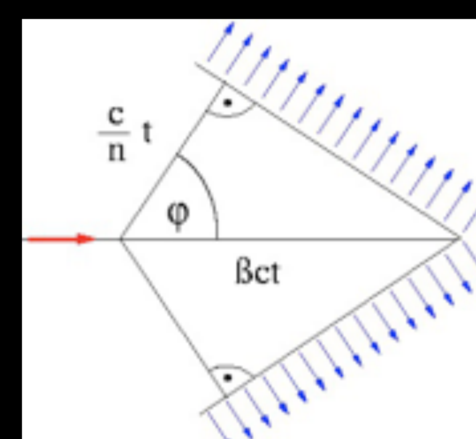


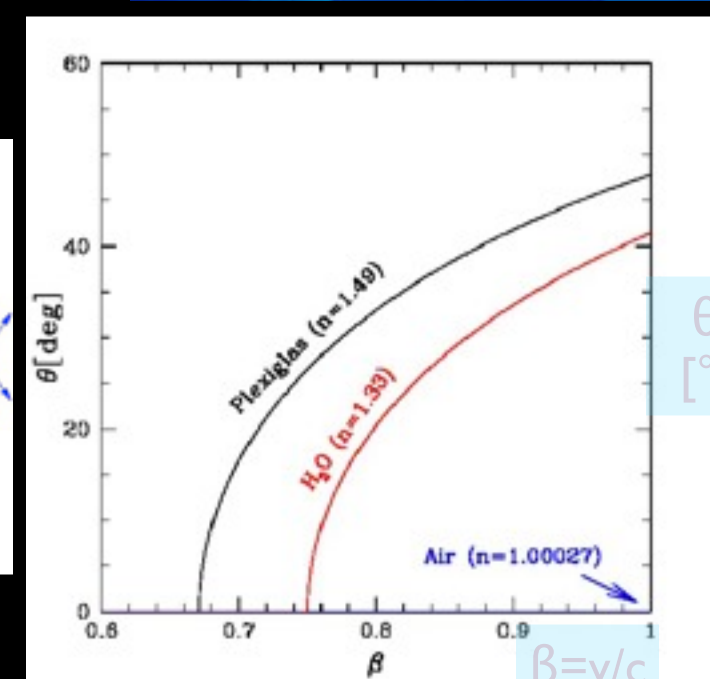


Al transito degli elettroni energetici, i

L'onda prodotta è "più lenta" del moto dell'elettrone, nel caso in cui questo sia superluminale.

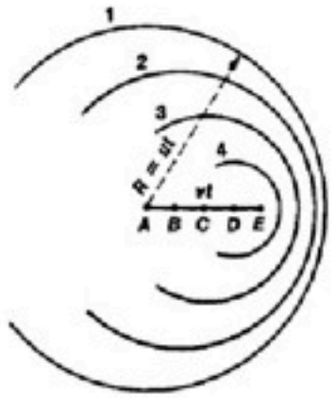
...rvare la ... causata dalle particelle cariche che attraversano l'atmosfera più veloci della luce



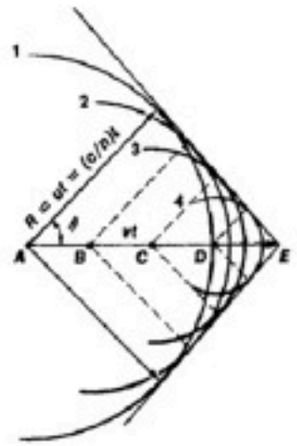


Effetto Cherenkov

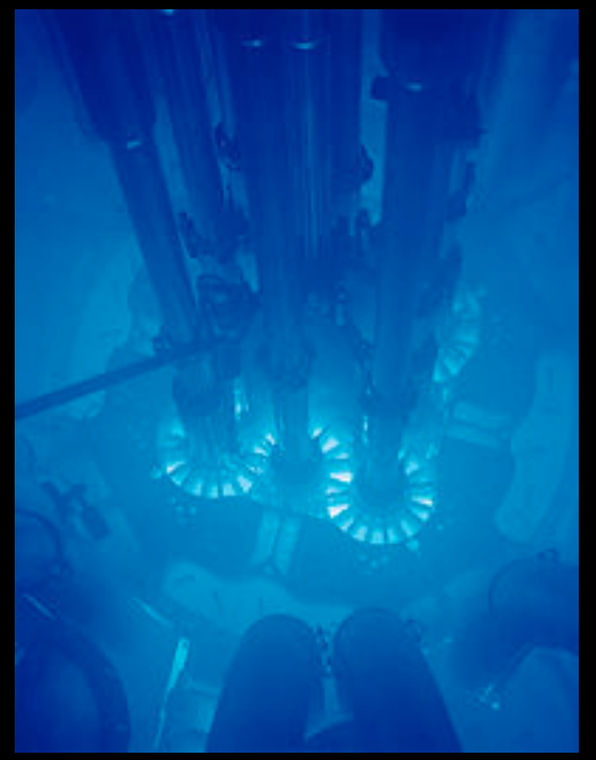
$v < \frac{c}{n}$



$v > \frac{c}{n}$



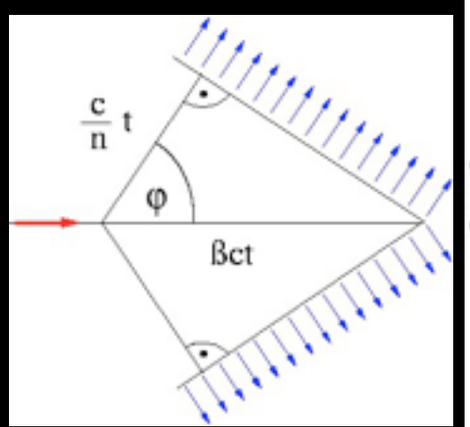
$$\beta_t \equiv \frac{v_t}{c} = \frac{1}{n}$$

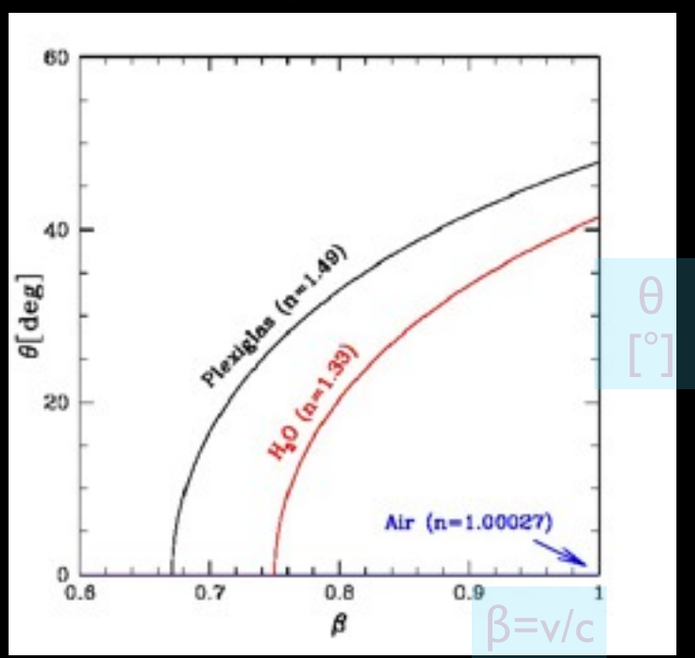


L'[illegible] Al transito degli elettroni energetici i[illegible]

Questa è la ragione dell'"intersezione" dei fronti d'onda concentrici emessi (a tempi diversi) in punti diversi della traiettoria dell'elettrone superluminale: l'elettrone "sorpassa" le onde che ha causato, perché procede più veloce.

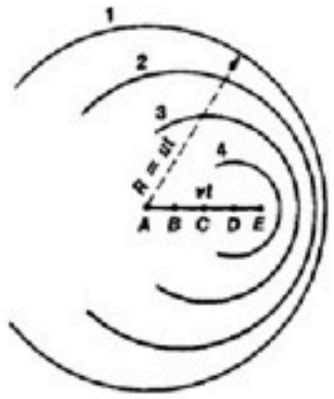
[illegible]rvare la
[illegible]ausata
[illegible]e che
[illegible]
l'atmosfera più veloci della luce



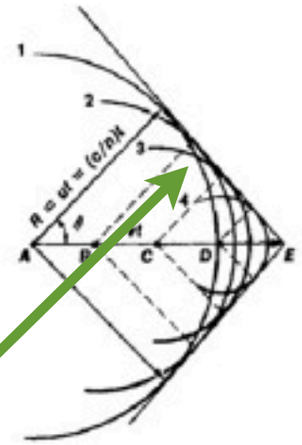


Effetto Cherenkov

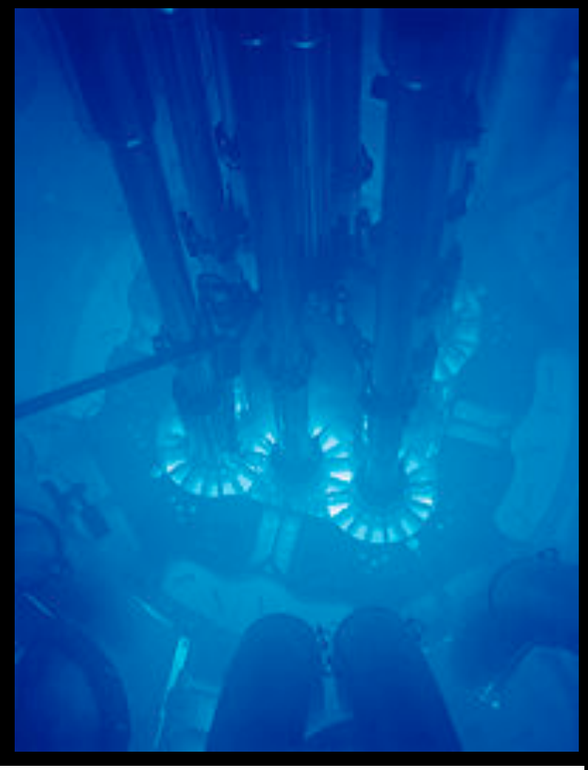
$v < \frac{c}{n}$



$v > \frac{c}{n}$



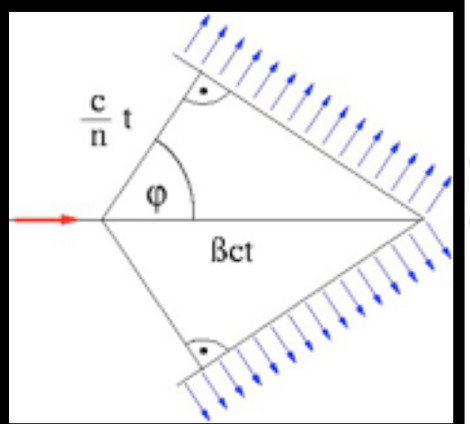
$$\beta_t \equiv \frac{v_t}{c} = \frac{1}{n}$$

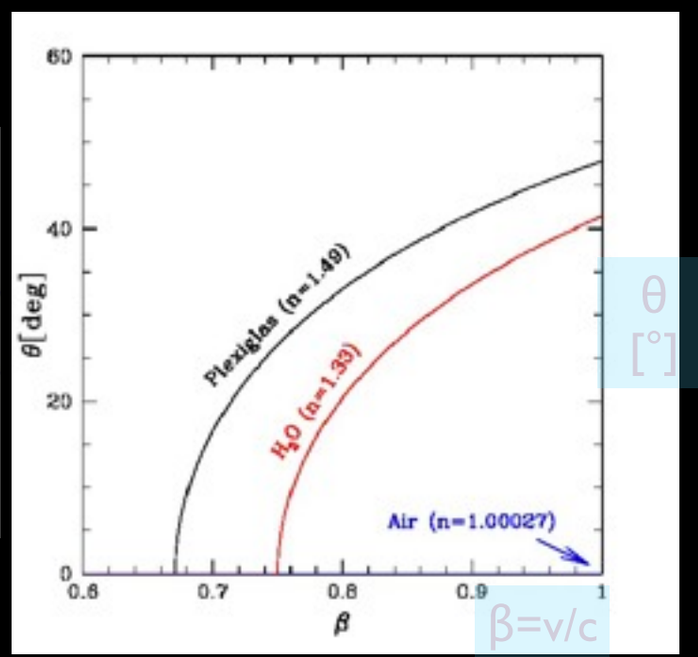


Al transito degli elettroni energetici, i

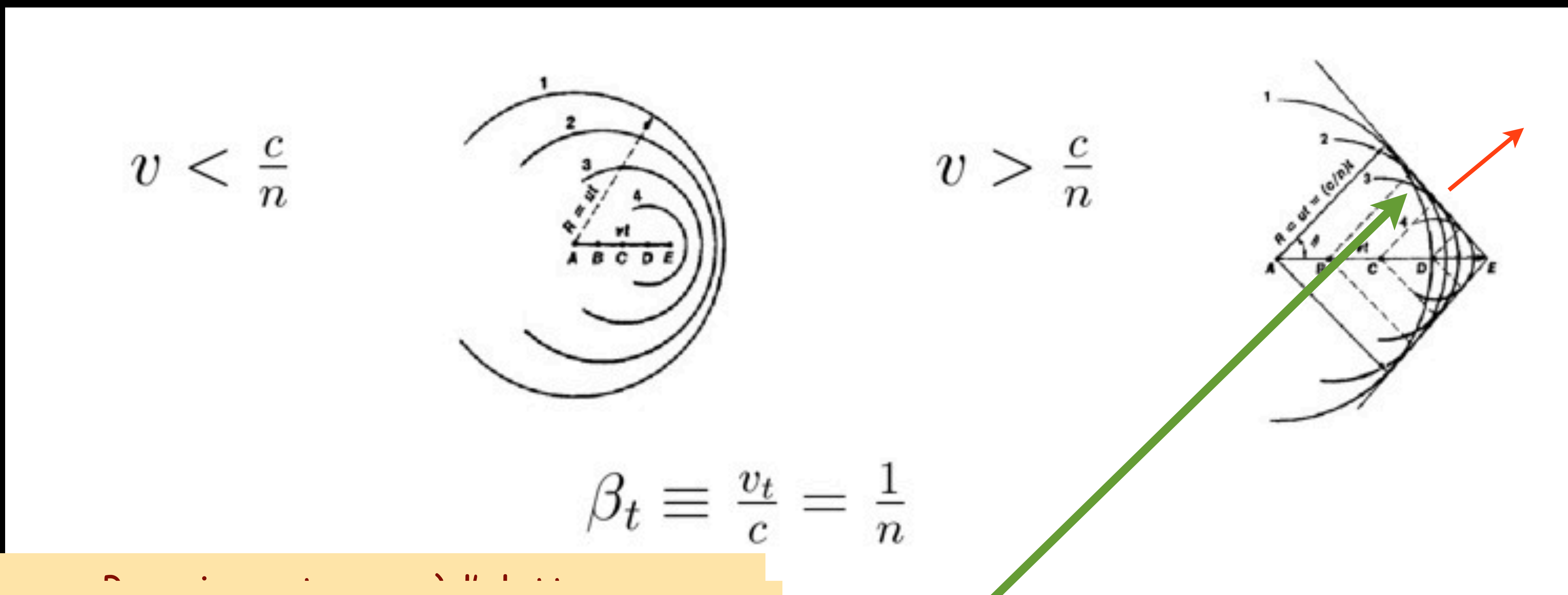
Questa è la ragione dell'"intersezione" dei fronti d'onda concentrici emessi (a tempi diversi) in punti diversi della traiettoria dell'elettrone superluminale: l'elettrone "sorpassa" le onde che ha causato, perché procede più veloce.

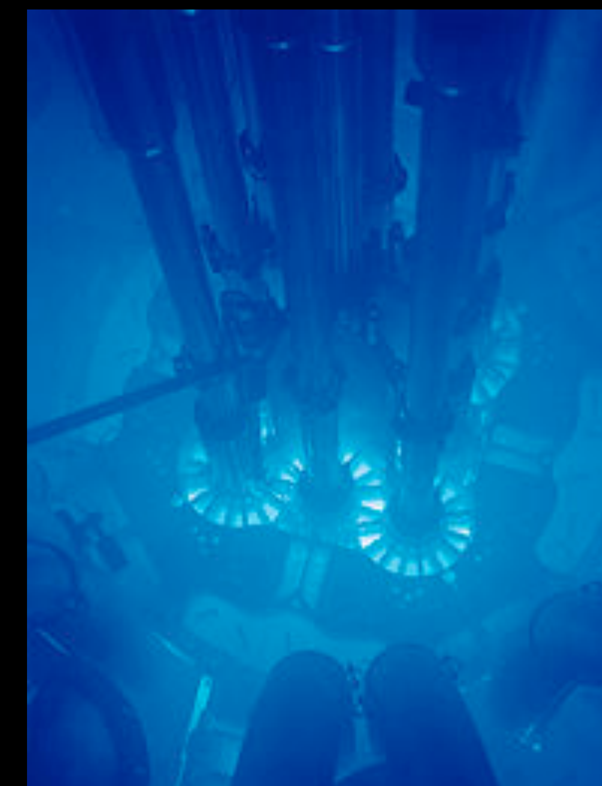
...vare la ...ausata ...e che ...attraversano l'atmosfera più veloci della luce





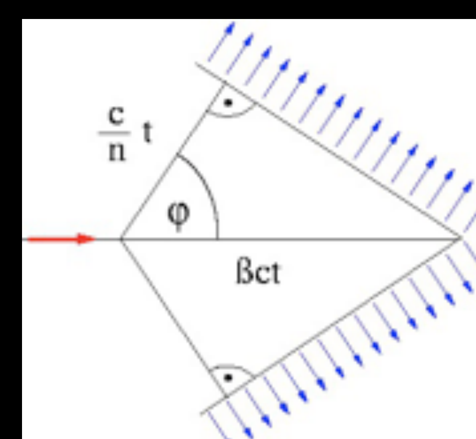
Effetto Cherenkov

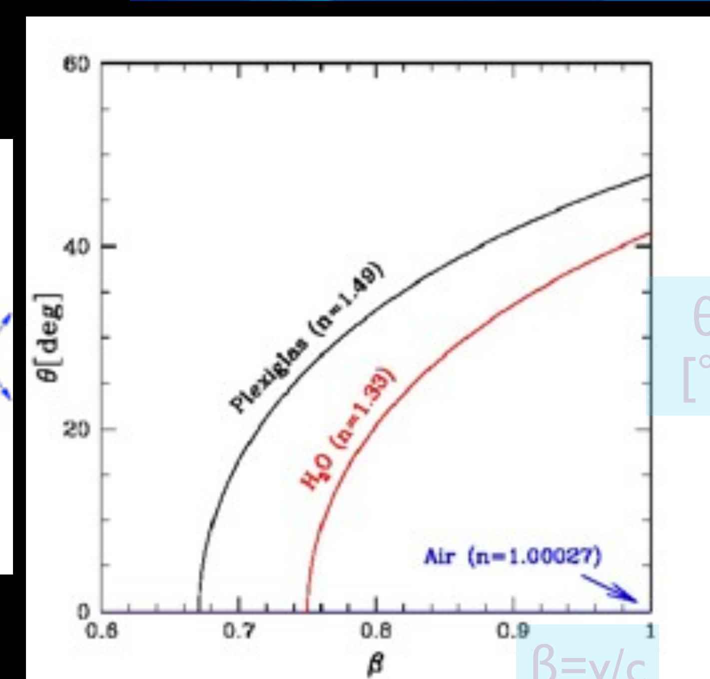




Questa è la ragione dell'"intersezione" dei fronti d'onda concentrici emessi (a tempi diversi) in punti diversi della traiettoria dell'elettrone superluminale: l'elettrone "sorpassa" le onde che ha causato, perché procede più veloce.

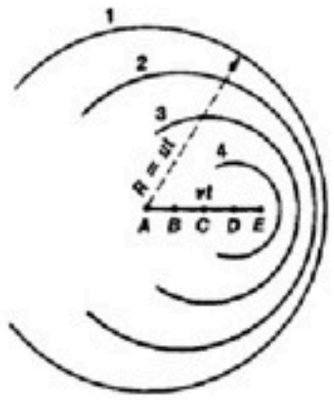
…rvare la
…ausata
…e che
…
l'atmosfera più veloci della luce



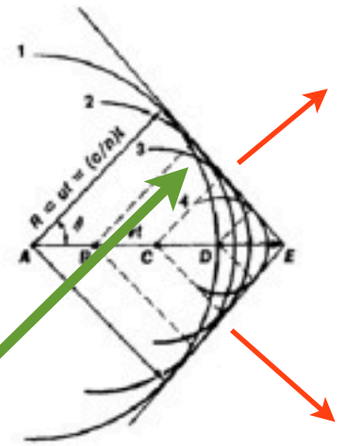


Effetto Cherenkov

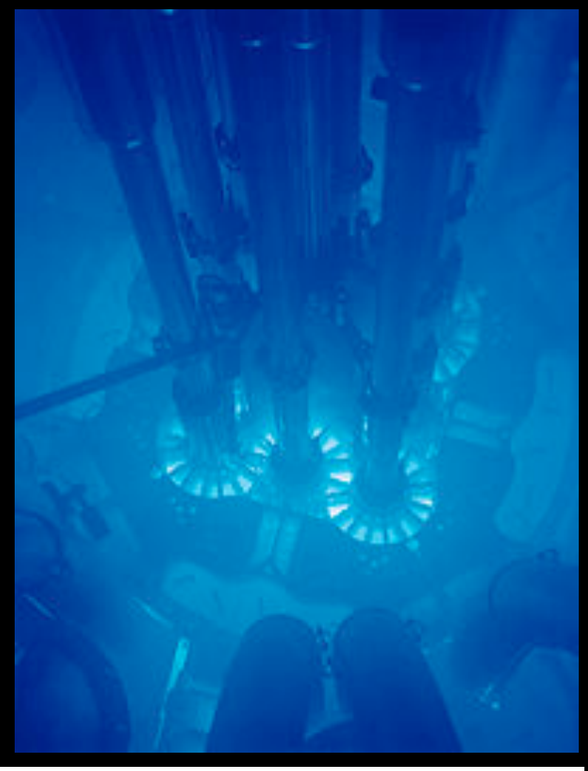
$v < \frac{c}{n}$



$v > \frac{c}{n}$



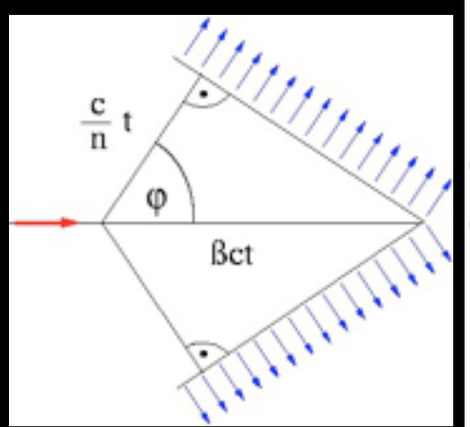
$$\beta_t \equiv \frac{v_t}{c} = \frac{1}{n}$$

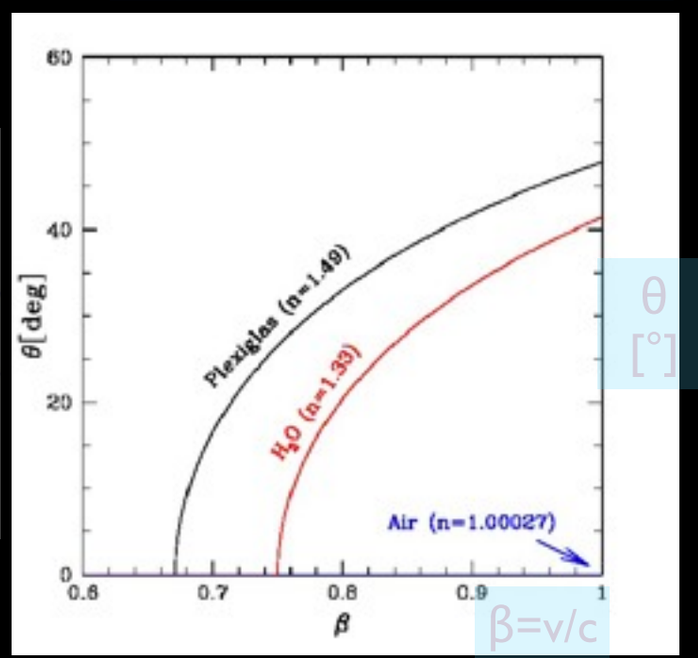


Al transito degli elettroni energetici, i

Questa è la ragione dell'"intersezione" dei fronti d'onda concentrici emessi (a tempi diversi) in punti diversi della traiettoria dell'elettrone superluminale: l'elettrone "sorpassa" le onde che ha causato, perché procede più veloce.

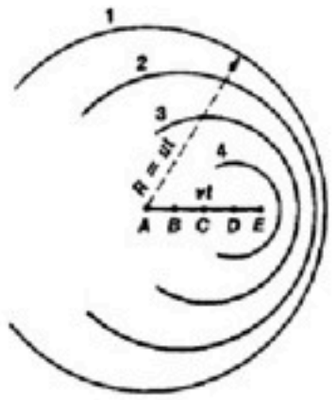
...vare la
...ausata
...e che
...attraversano
l'atmosfera più veloci della luce



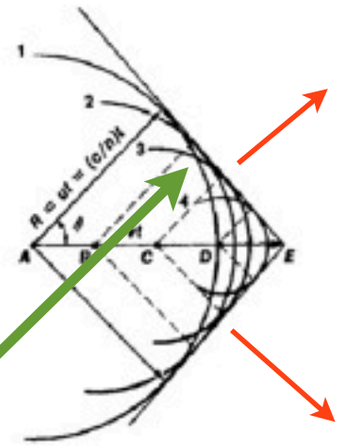


Effetto Cherenkov

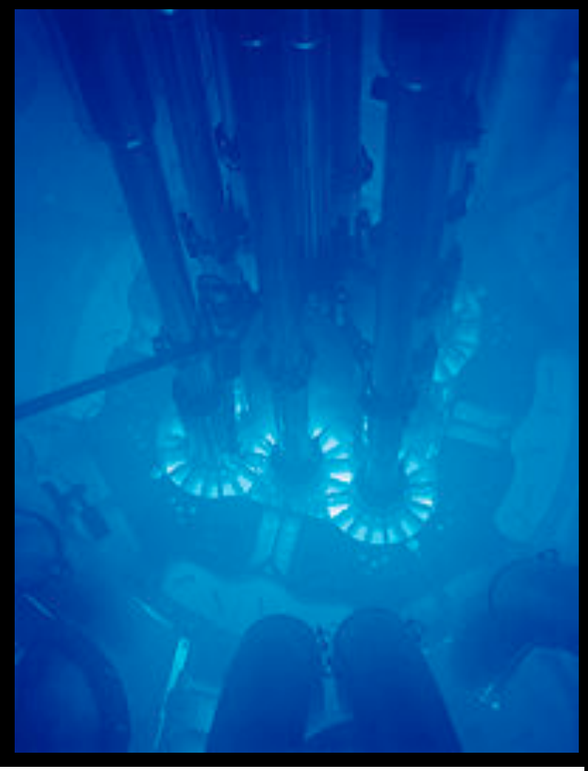
$v < \frac{c}{n}$



$v > \frac{c}{n}$



$$\beta_t \equiv \frac{v_t}{c} = \frac{1}{n}$$



Al transito degli elettroni energetici, i

Questa è la ragione dell'"intersezione" dei

Un po' come fanno gli aerei supersonici, quando producono il "bang" sonico proprio perché sono più veloci delle onde sonore

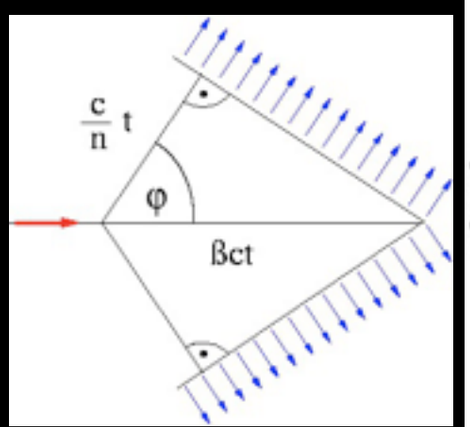
...vare la

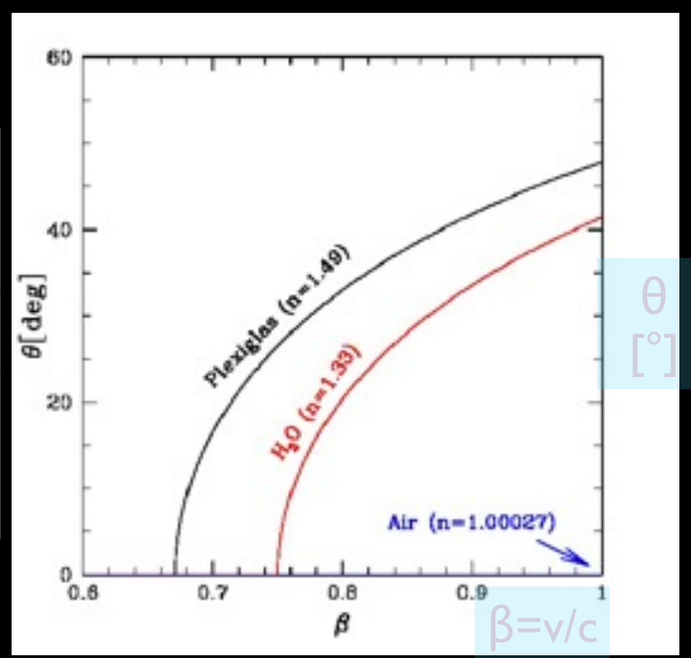
...ausata

...e che

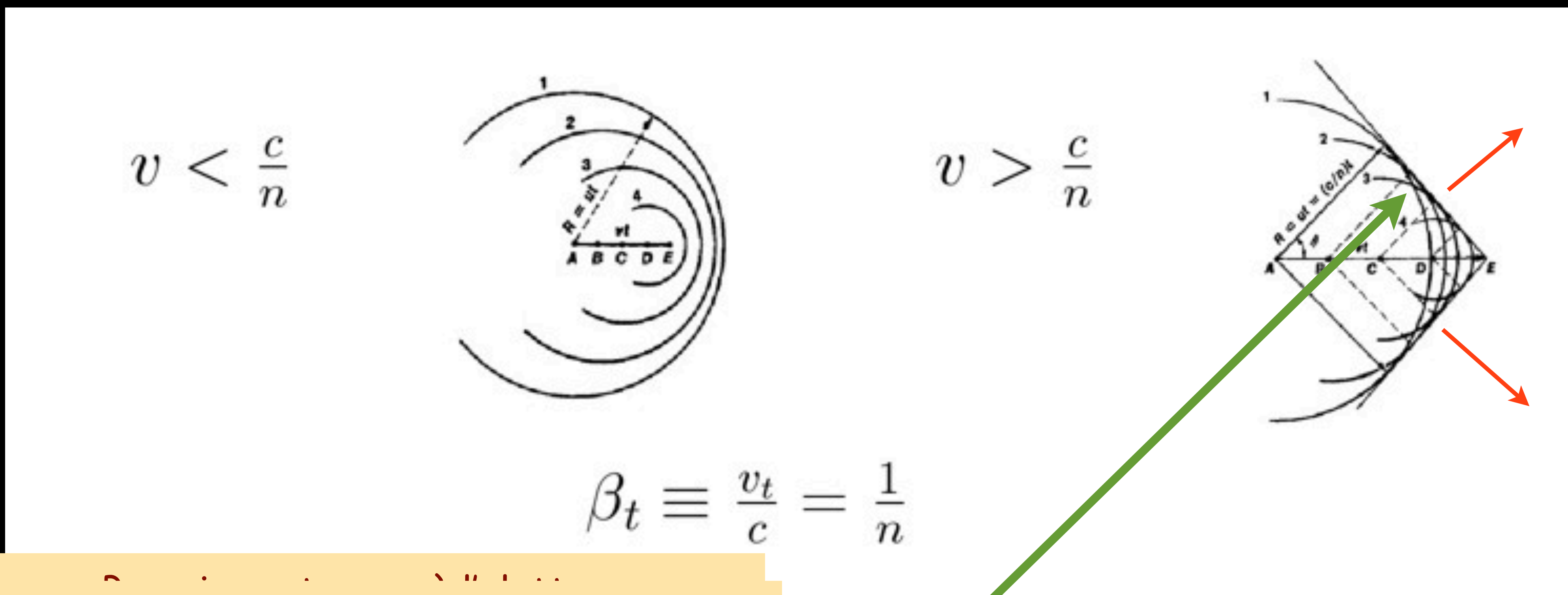
...attraversano

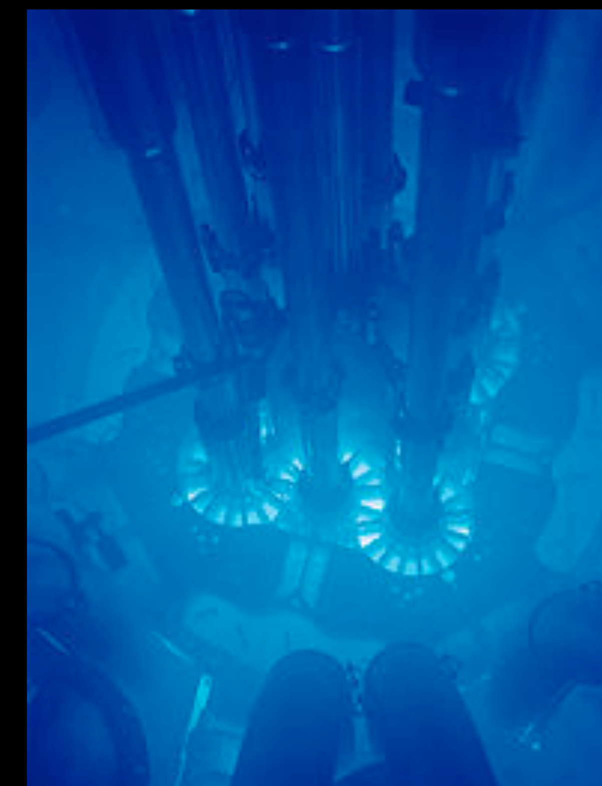
l'atmosfera più veloci della luce





Effetto Cherenkov





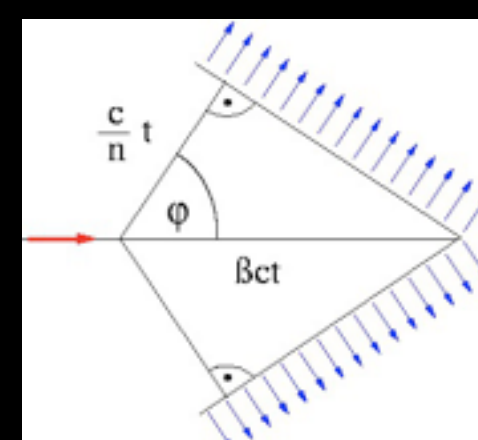
Questa è la ragione dell'"intersezione" dei

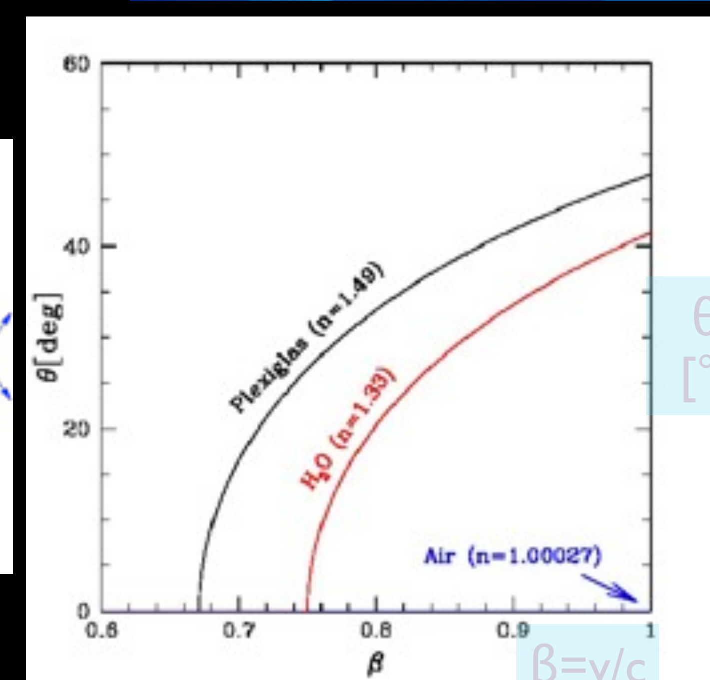
Un po' come fanno gli aerei supersonici,

Questa somma coerente di piccoli contributi originati in posizioni e tempi diversi causa il "flash" come nell'immagine in alto a destra (interno di reattore nucleare, elettroni superluminali nell'acqua)

...rvare la ...usata ...che

l'atmosfera più veloci della luce

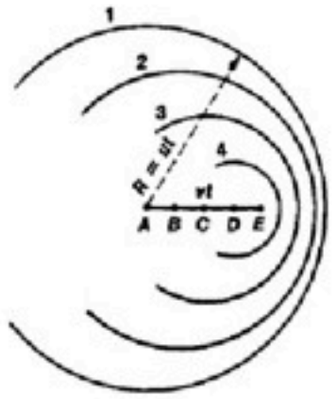




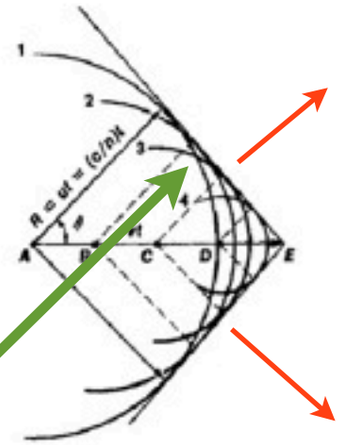
lunedì 22 dicembre 14

Effetto Cherenkov

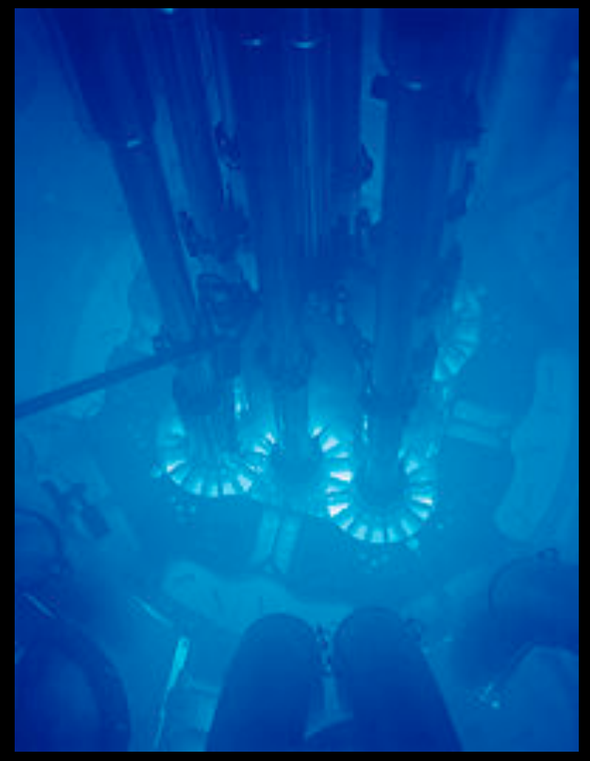
$v < \frac{c}{n}$



$v > \frac{c}{n}$



$$\beta_t \equiv \frac{v_t}{c} = \frac{1}{n}$$



L'

Al transito degli elettroni energetici, i

Questa è la ragione dell'"intersezione" dei

Un po' come fanno gli aerei supersonici,

Questa somma coerente di piccoli contributi originati in posizioni e tempi

Non c'è nessuna violazione della teoria della relatività in questo processo: la velocità limite è quella della luce **nel vuoto**, che è più alta e non viene superata!

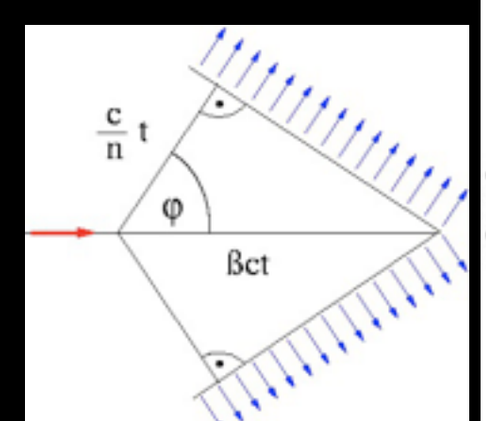
vare la

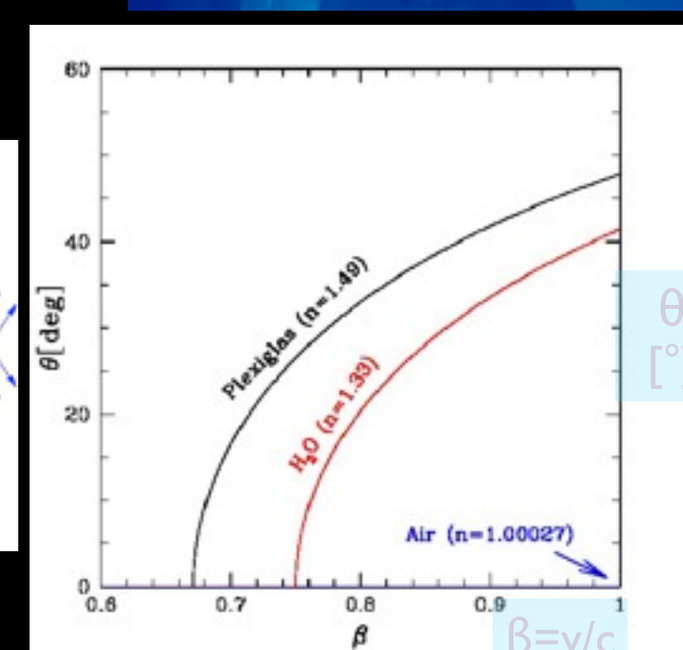
usata

che

l'

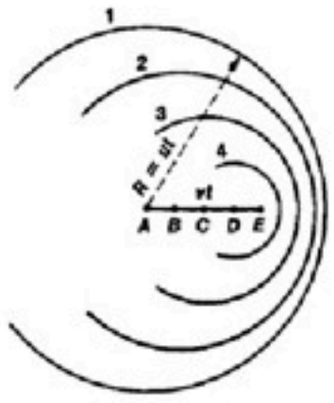
lla luce



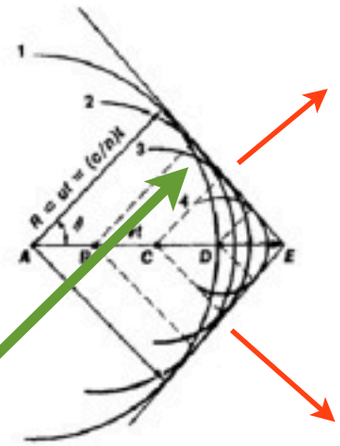


Effetto Cherenkov

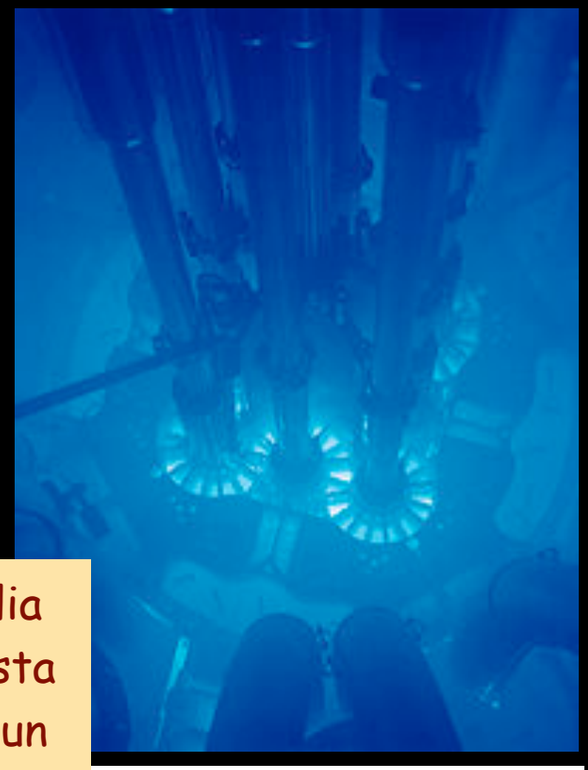
$v < \frac{c}{n}$



$v > \frac{c}{n}$



$\beta_t \equiv \frac{v_t}{c} = \frac{1}{n}$



Per l'acqua ad esempio, (n=1.33) la soglia critica è più bassa, circa 0.75 c. A questa velocità limite l'irraggiamento è entro un angolo piccolissimo, "tutto avanti"

Al transito degli elettroni energetici, i

Questa è la ragione dell'"intersezione" dei

Un po' come fanno gli aerei supersonici,

Questa somma coerente di piccoli contributi originati in posizioni e tempi

Non c'è nessuna violazione della teoria della relatività in questo processo: la velocità limite è quella della luce **nel vuoto**, che è più alta e non viene superata!

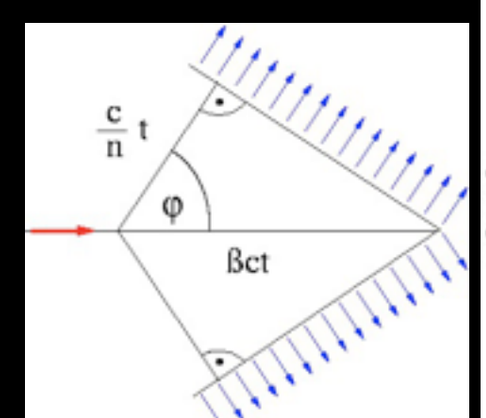
vare la

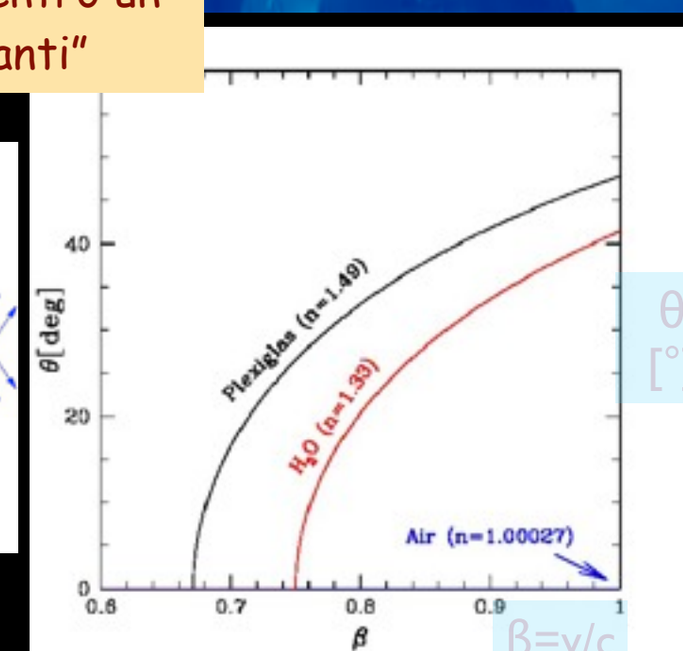
usata

che

l'

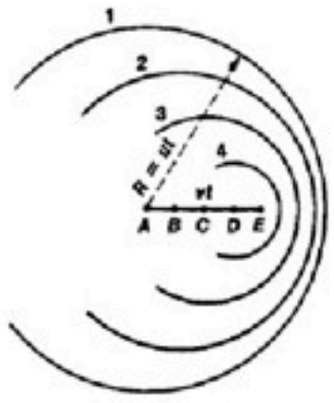
lla luce



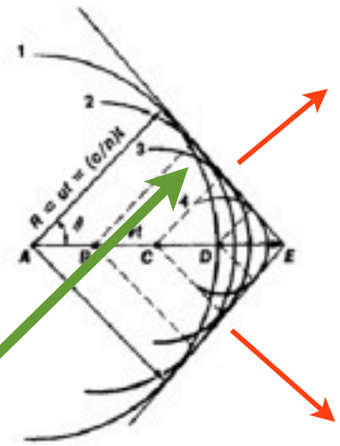


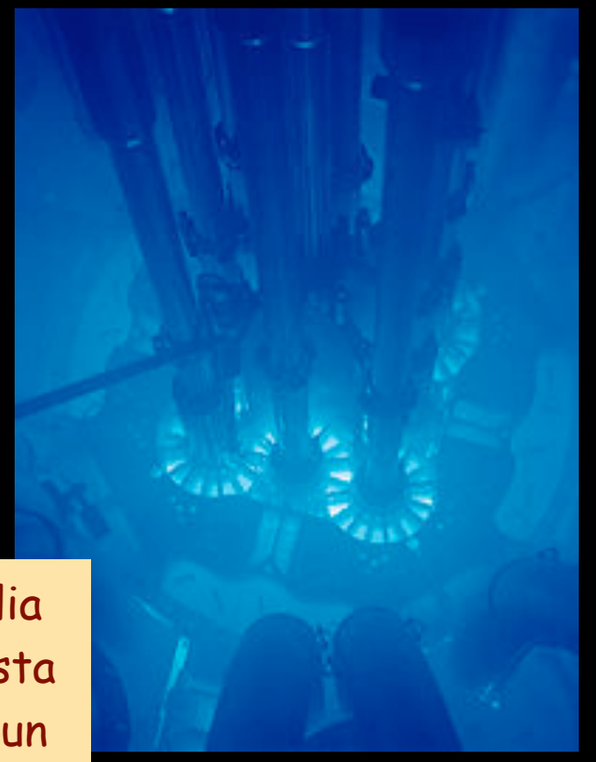
Effetto Cherenkov

$v < \frac{c}{n}$



$v > \frac{c}{n}$





$\beta_t \equiv \frac{v_t}{c} = \frac{1}{n}$

Per l'acqua ad esempio, (n=1.33) la soglia critica è più bassa, circa 0.75 c. A questa velocità limite l'irraggiamento è entro un angolo piccolissimo, "tutto avanti"

Al transito degli elettroni energetici, i

Questa è la ragione dell'"intersezione" dei

Un po' come fanno gli aerei supersonici,

Questa somma coerente di piccoli contributi originati in posizioni e tempi

Non c'è nessuna violazione della teoria della relatività in questo processo: la velocità limite è quella della luce **nel vuoto**, che è più alta e non viene superata!

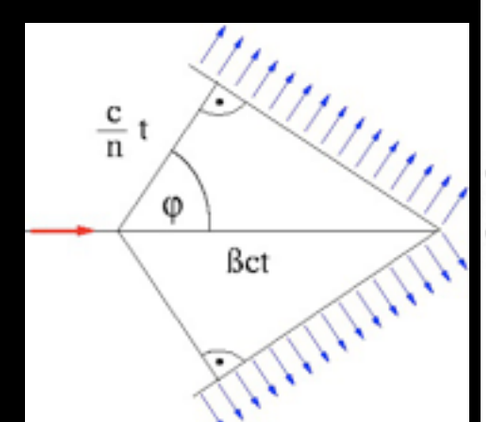
vare la

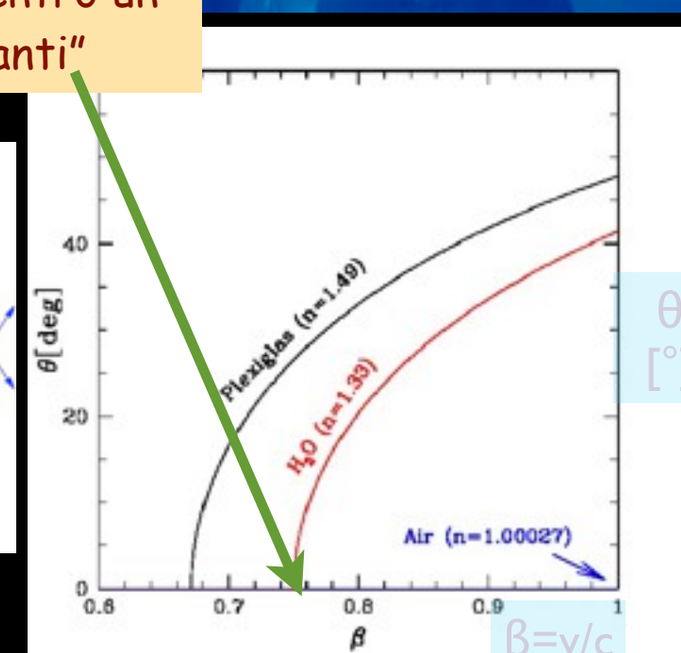
usata

che

l'

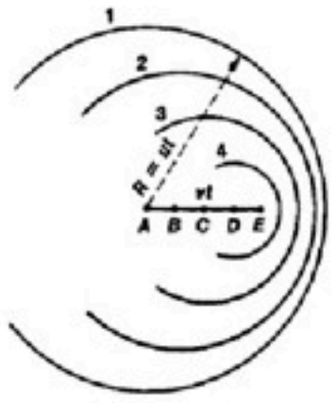
lla luce



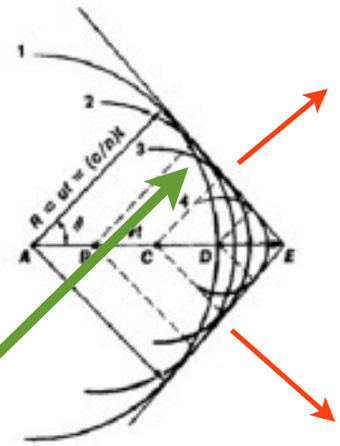


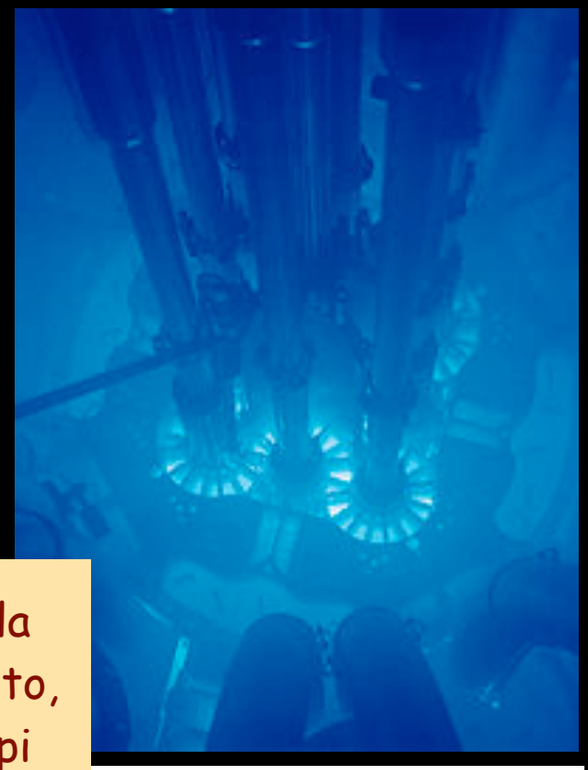
Effetto Cherenkov

$v < \frac{c}{n}$



$v > \frac{c}{n}$





$\beta_t \equiv \frac{v_t}{c} = \frac{1}{n}$

Al crescere della energia (e quindi della velocità) della carica irraggiante (al solito, un elettrone o un positrone sono esempi perfetti), l'angolo si allarga fino a superare i 40° per particelle che rasentano c

L'effetto è dovuto al transito degli elettroni energetici, i

Questa è la ragione dell'"intersezione" dei

Un po' come fanno gli aerei supersonici,

Questa somma coerente di piccoli contributi originati in posizioni e tempi

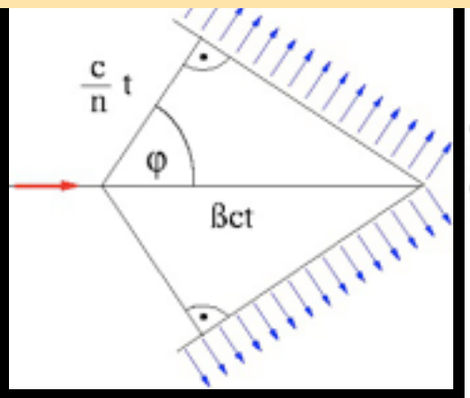
Non c'è nessuna violazione della teoria della relatività in questo processo: la velocità limite è quella della luce **nel vuoto**, che è più alta e non viene superata!

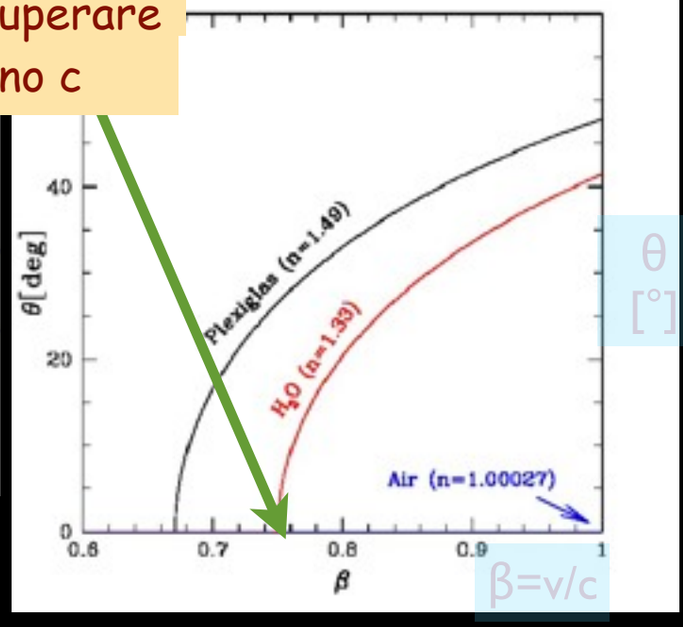
usata

che

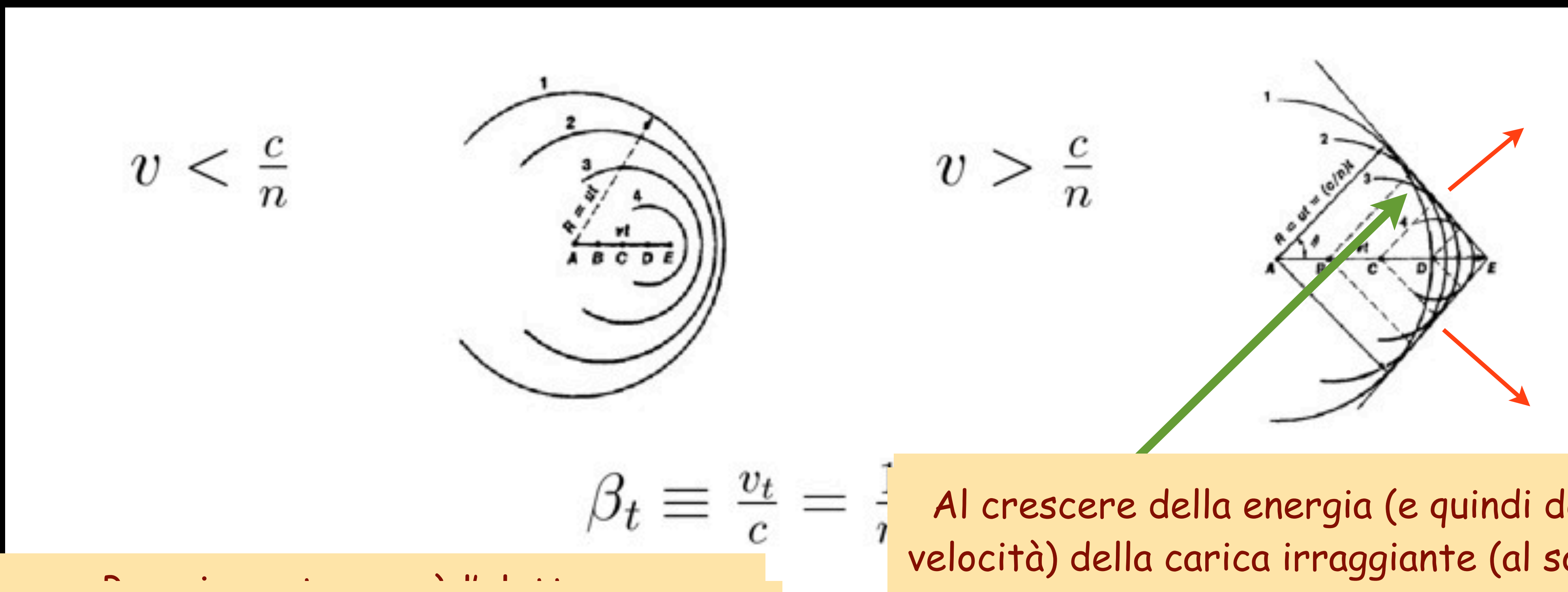
l'

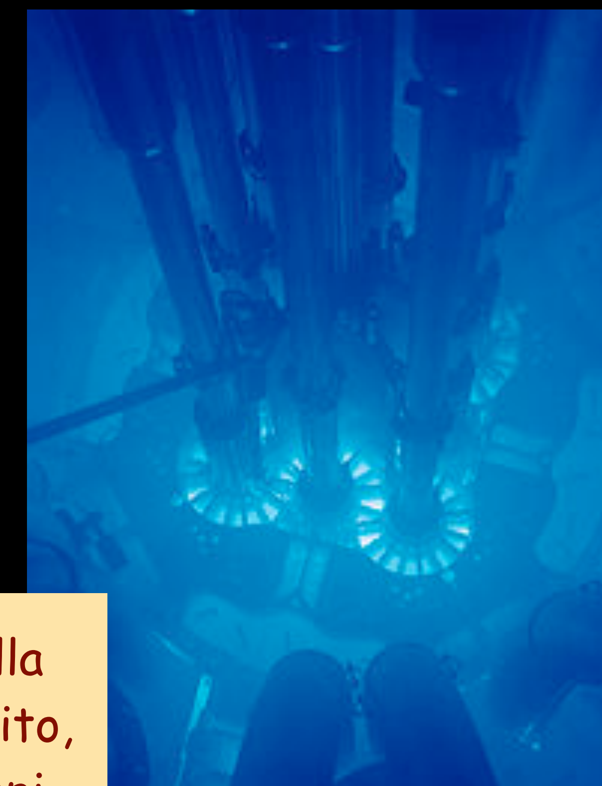
lla luce





Effetto Cherenkov



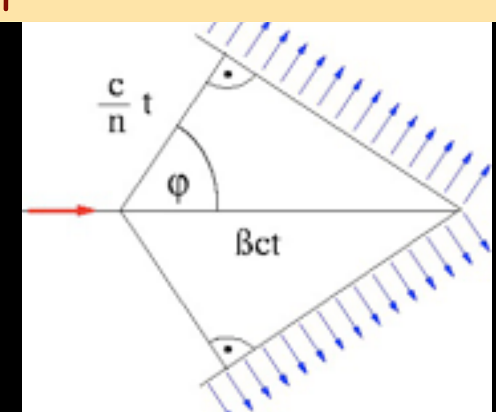


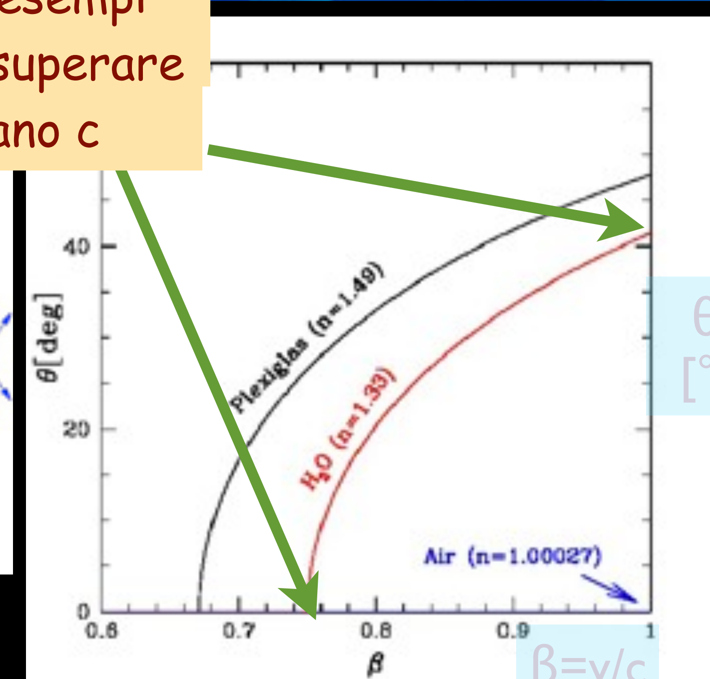
Al crescere della energia (e quindi della velocità) della carica irraggiante (al solito, un elettrone o un positrone sono esempi perfetti), l'angolo si allarga fino a superare i 40° per particelle che rasentano c

Un po' come fanno gli aerei supersonici,

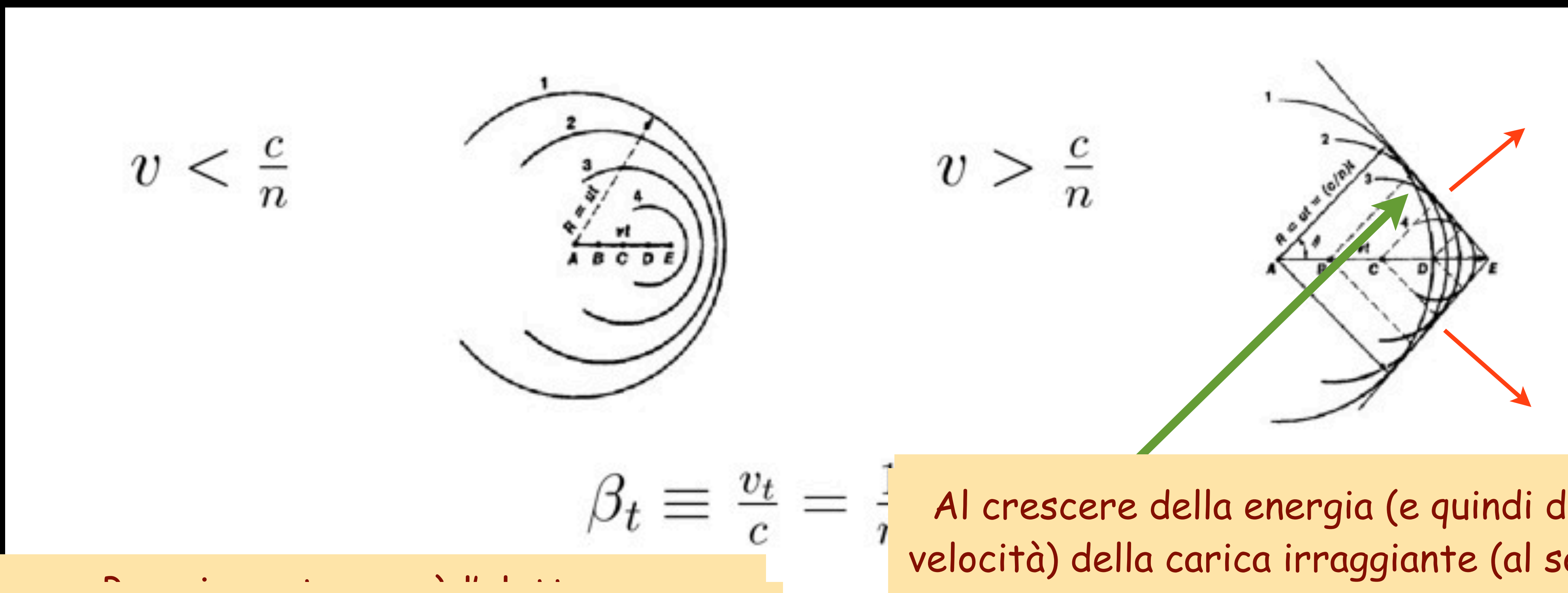
Questa somma coerente di piccoli contributi originati in posizioni e tempi

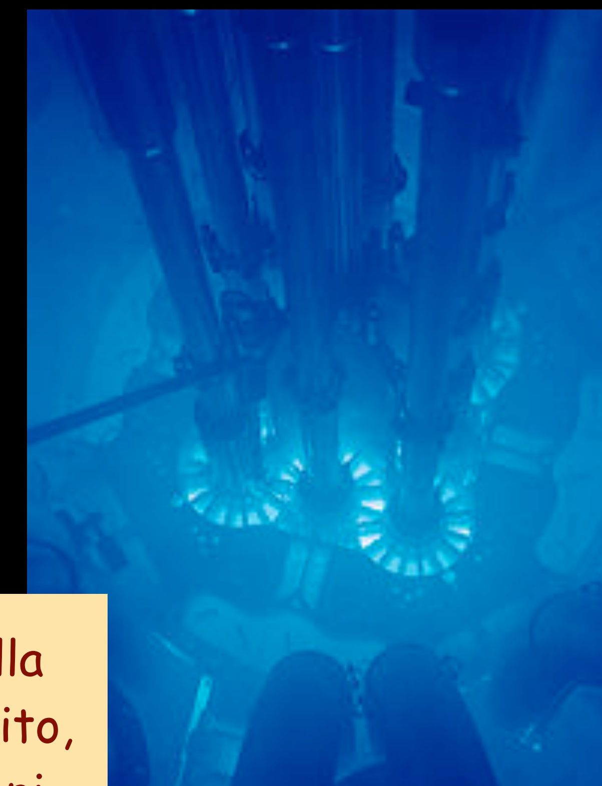
Non c'è nessuna violazione della teoria della relatività in questo processo: la velocità limite è quella della luce **nel vuoto**, che è più alta e non viene superata!





Effetto Cherenkov





Al crescere della energia (e quindi della velocità) della carica irraggiante (al solito, un elettrone o un positrone sono esempi perfetti), l’angolo si allarga fino a superare i 40° per particelle che rasentano c

L’indice di rifrazione dell’aria è molto prossimo a 1

Al transito degli elettroni energetici, i

Questa è la ragione dell’“intersezione” dei

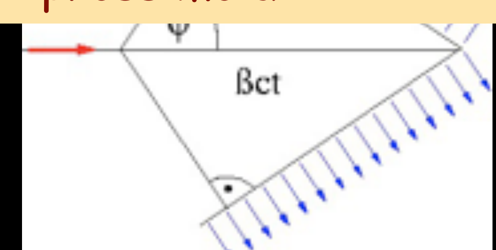
Un po’ come fanno gli aerei supersonici,

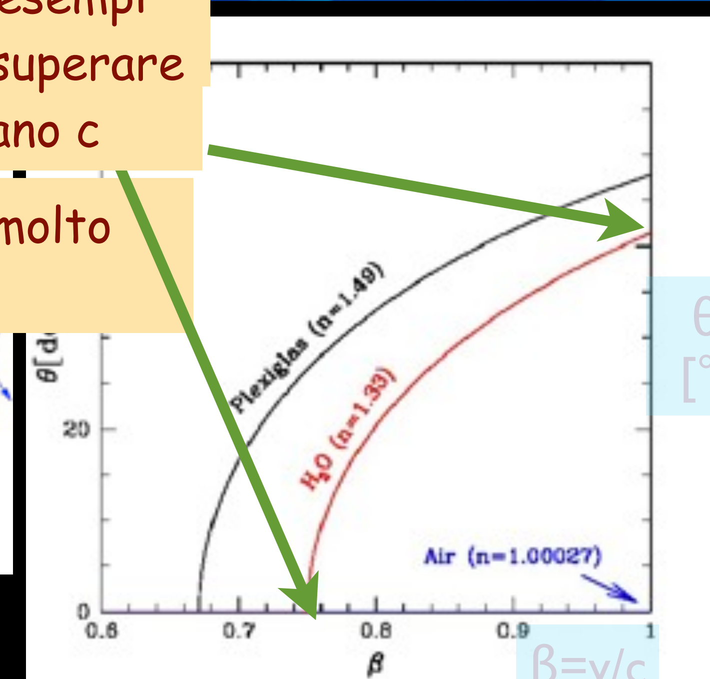
Questa somma coerente di piccoli contributi originati in posizioni e tempi

che

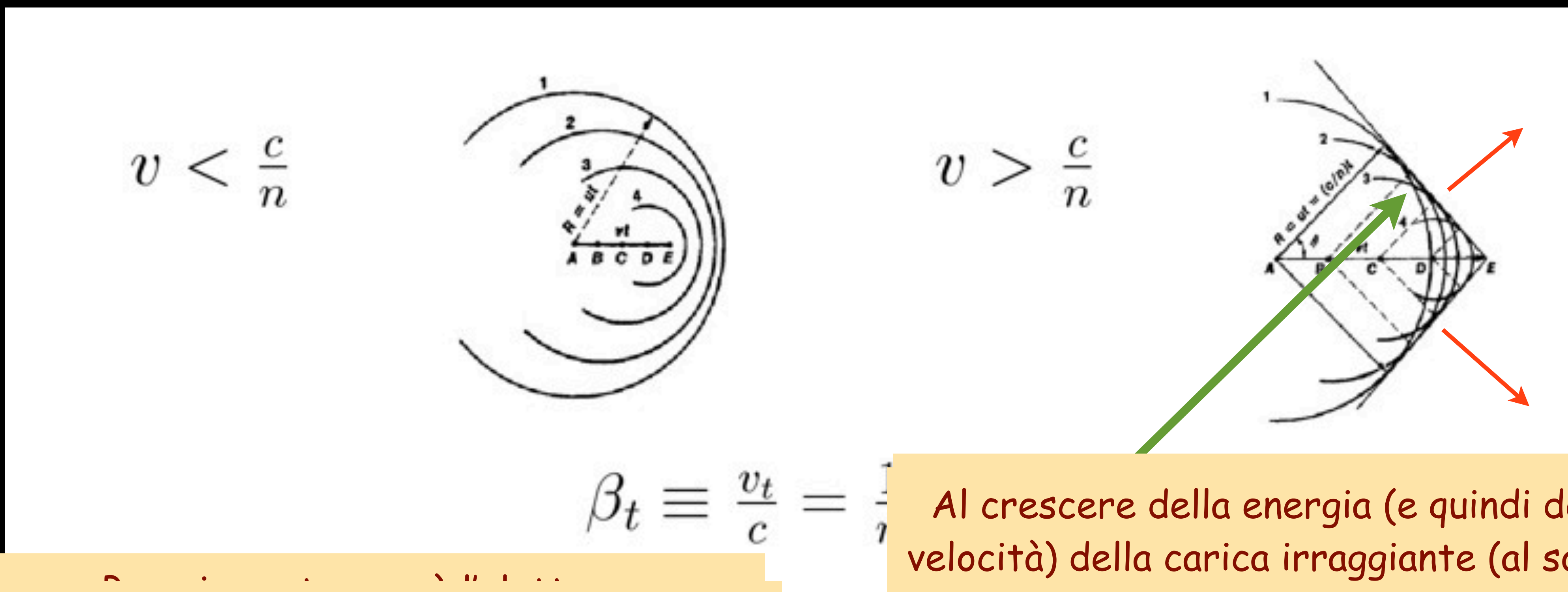
Non c’è nessuna violazione della teoria della relatività in questo processo: la velocità limite è quella della luce **nel vuoto**, che è più alta e non viene superata!

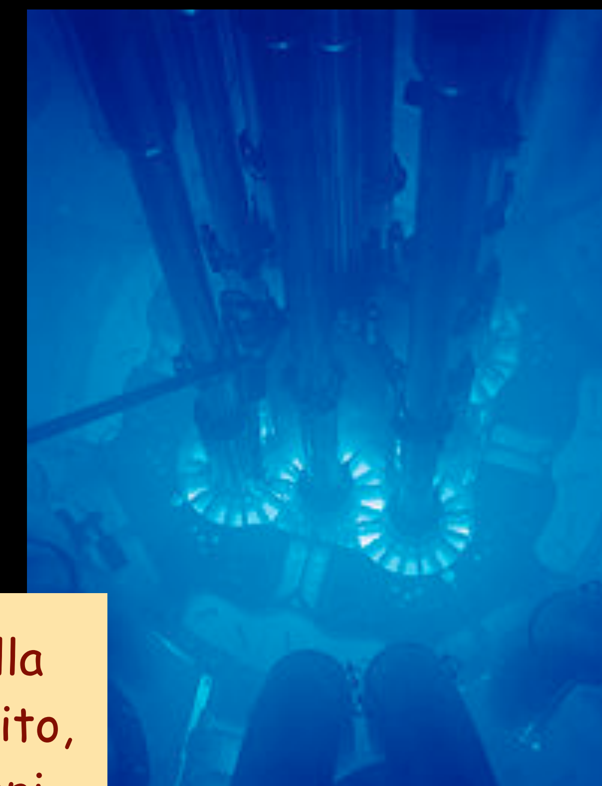
l’ ... lla luce





Effetto Cherenkov





Al crescere della energia (e quindi della velocità) della carica irraggiante (al solito, un elettrone o un positrone sono esempi perfetti), l'angolo si allarga fino a superare i 40° per particelle che rasentano c

Questo implica che la soglia per essere "superluminale" è molto prossima alla velocità della luce nel vuoto dato che c/n e c differiscono pochissimo

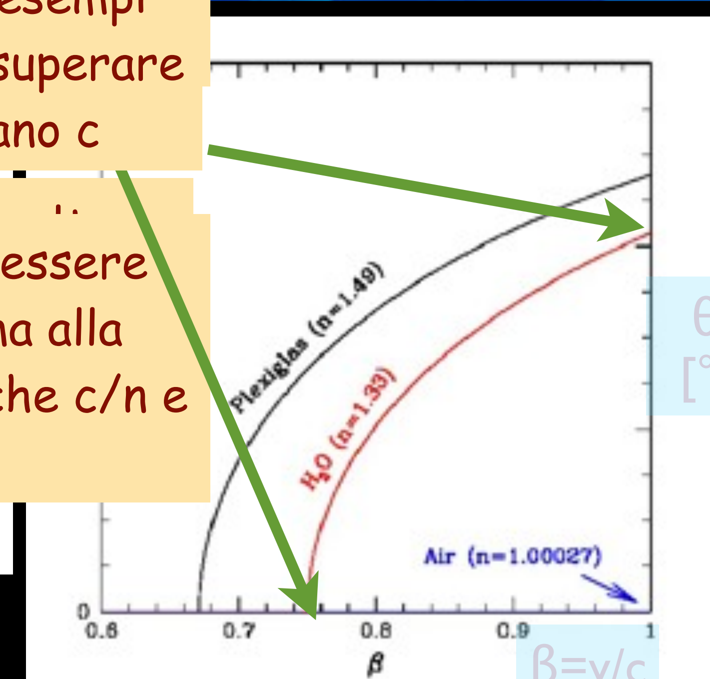
Al transito degli elettroni energetici, i

Un po' come fanno gli aerei supersonici,

Questa somma coerente di piccoli contributi originati in posizioni e tempi

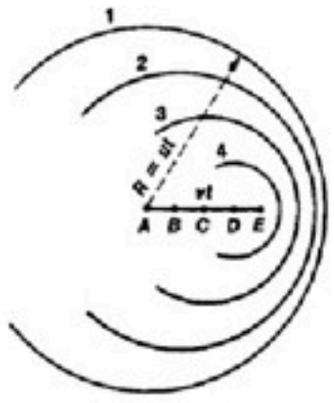
Non c'è nessuna violazione della teoria della relatività in questo processo: la velocità limite è quella della luce **nel vuoto**, che è più alta e non viene superata!

l'c ... lla luce

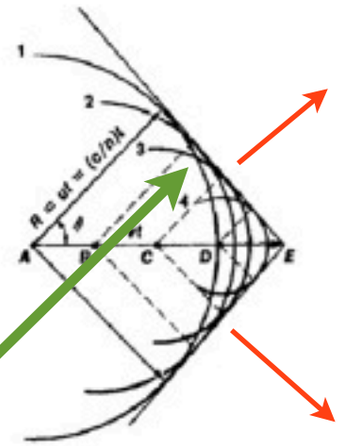


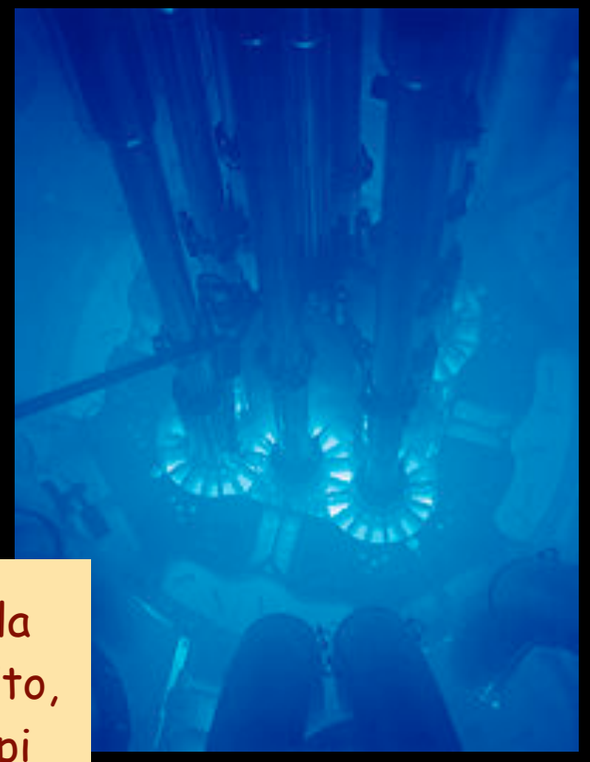
Effetto Cherenkov

$v < \frac{c}{n}$



$v > \frac{c}{n}$





$\beta_t \equiv \frac{v_t}{c} = \frac{1}{n}$

L'effetto è dovuto alla polarizzazione del mezzo

Al transito degli elettroni energetici, i

Questa è la ragione dell'"intersezione" dei

Un po' come fanno gli aerei supersonici,

Questa somma coerente di piccoli contributi originati in posizioni e tempi

Non c'è nessuna violazione della teoria della relatività in questo processo: la velocità limite è quella della luce **nel vuoto**, che è più alta e non viene superata!

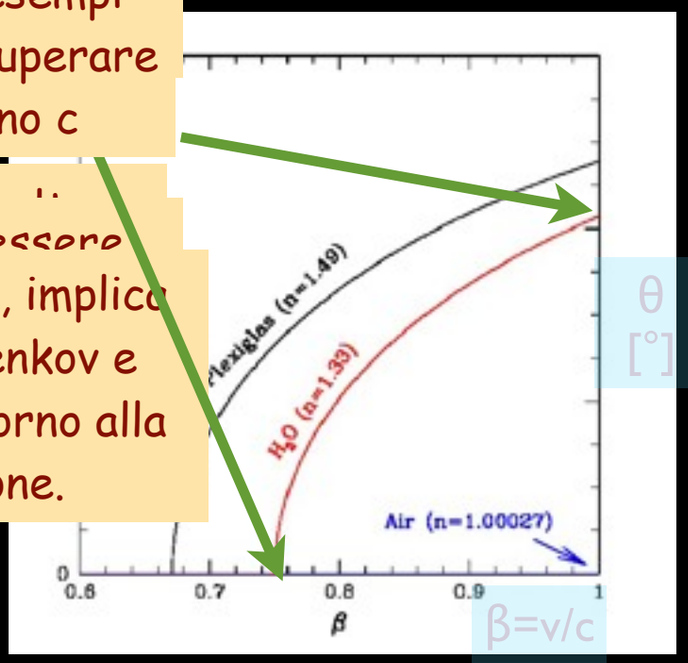
l'

lla luce

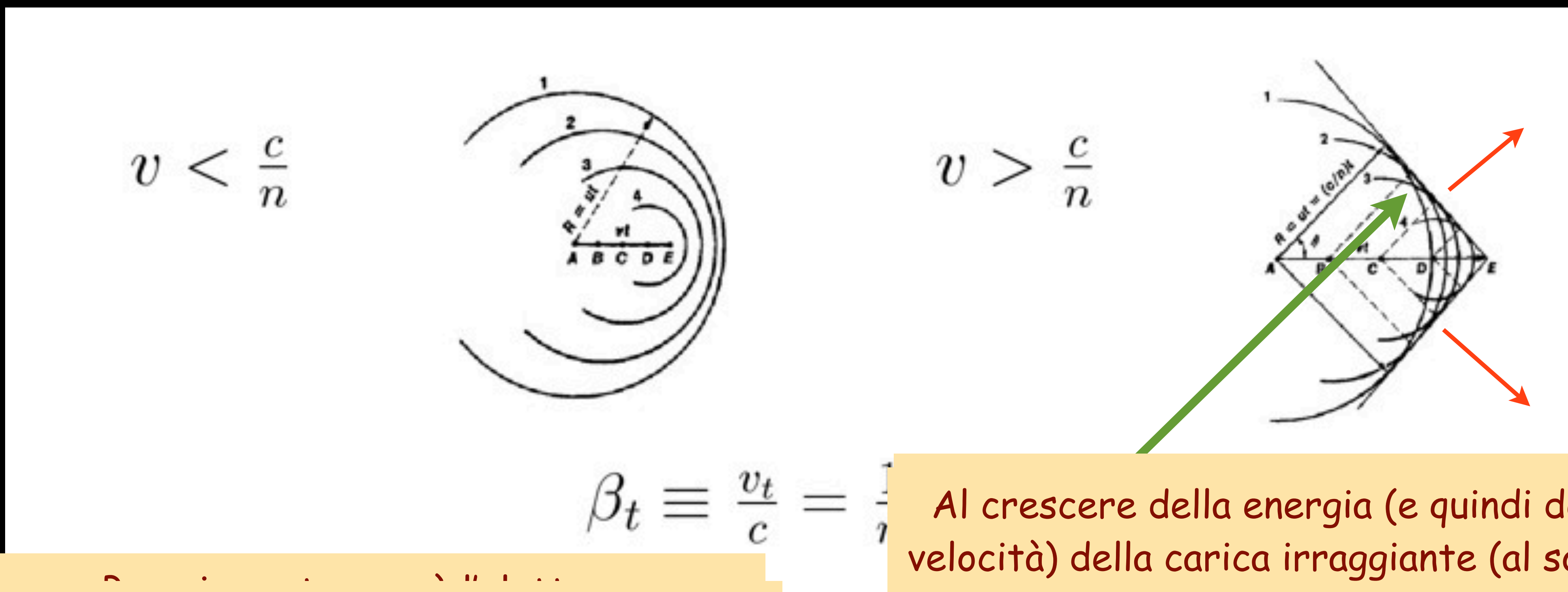
Al crescere della energia (e quindi della velocità) della carica irraggiante (al solito, un elettrone o un positrone sono esempi perfetti), l'angolo si allarga fino a superare i 40° per particelle che rasentano c

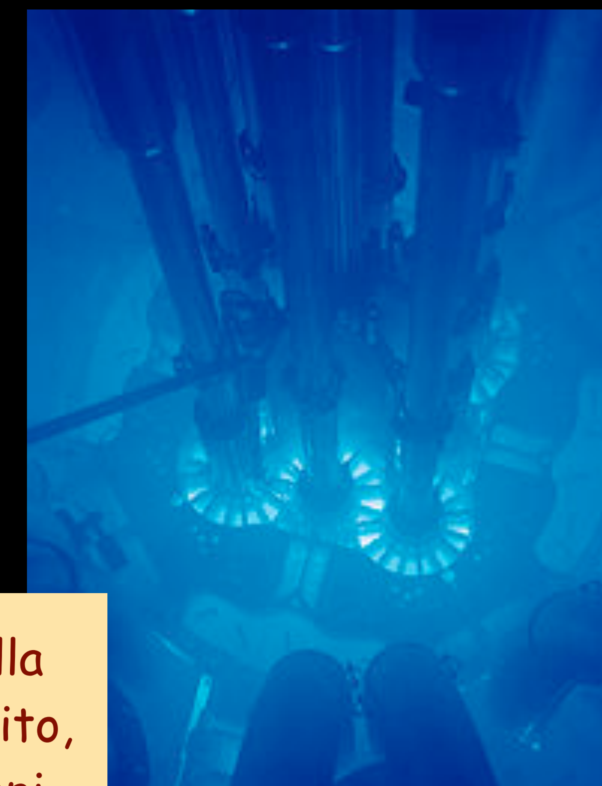
Questo implica che la soglia per essere

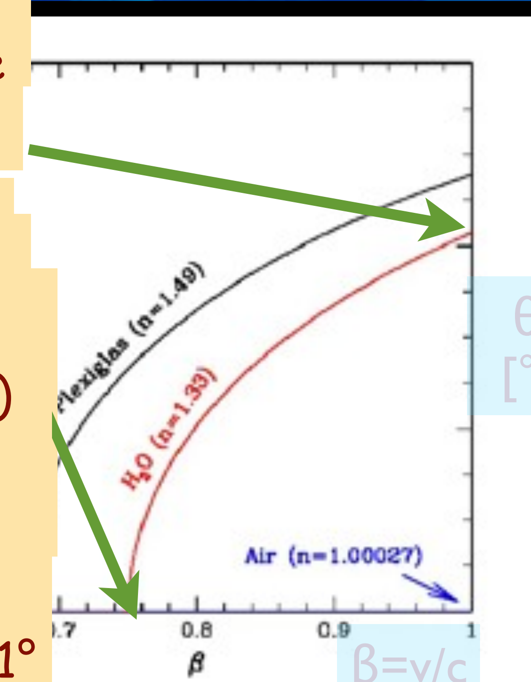
L'indice di rifrazione vicino a uno, implica anche che, in aria, il cono Cherenkov e molto stretto (apertura ~1°) attorno alla direzione di volo dell'elettrone.



Effetto Cherenkov







Al crescere della energia (e quindi della velocità) della carica irraggiante (al solito, un elettrone o un positrone sono esempi perfetti), l'angolo si allarga fino a superare i 40° per particelle che rasentano c

Un po' come fanno gli aerei supersonici,

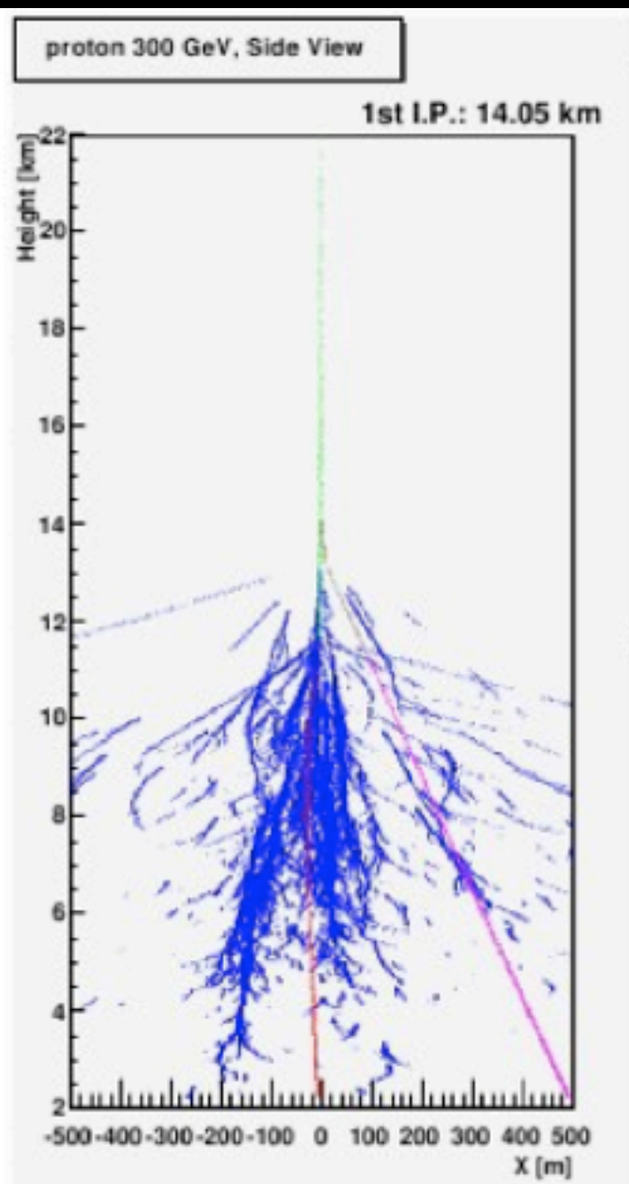
Questa somma coerente di piccoli contributi originati in posizioni e tempi

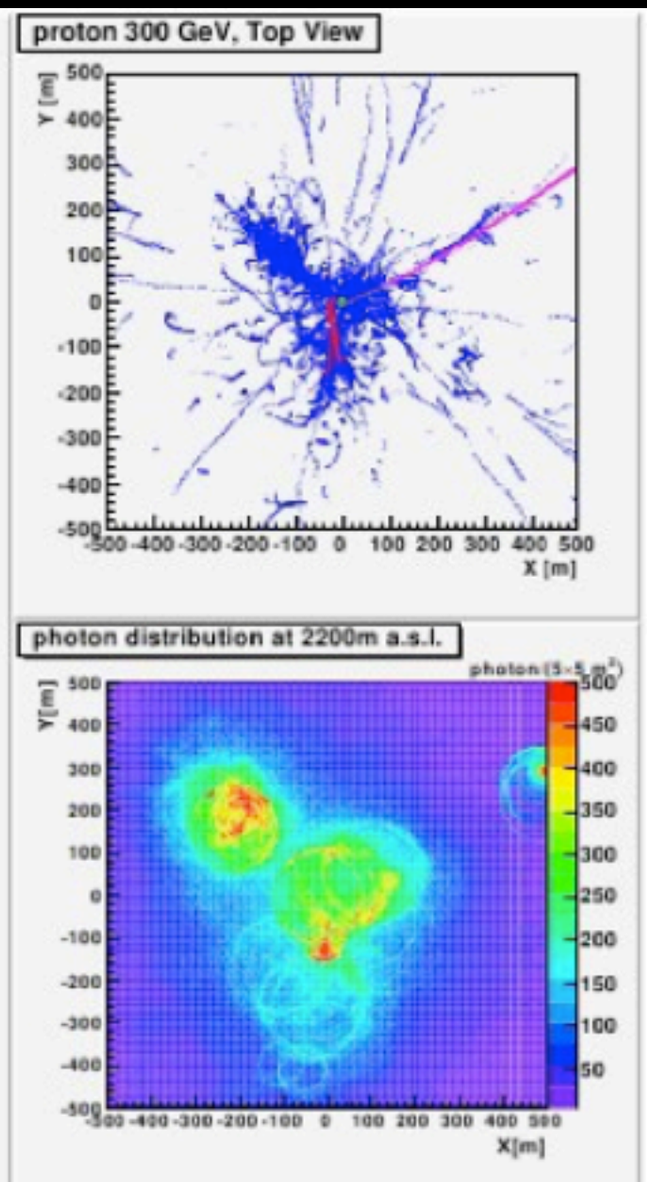
Non c'è nessuna violazione della teoria della relatività in questo processo: la velocità limite è quella della luce **nel vuoto**, che è più alta e non viene superata!

Assumendo la densità dell'atmosfera al livello del mare (giusto per avere un'idea) basta un energia totale di 20 MeV per avere un elettrone superluminale, che quindi irraggia per effetto Cherenkov entro un cono con apertura di poco più di 1°

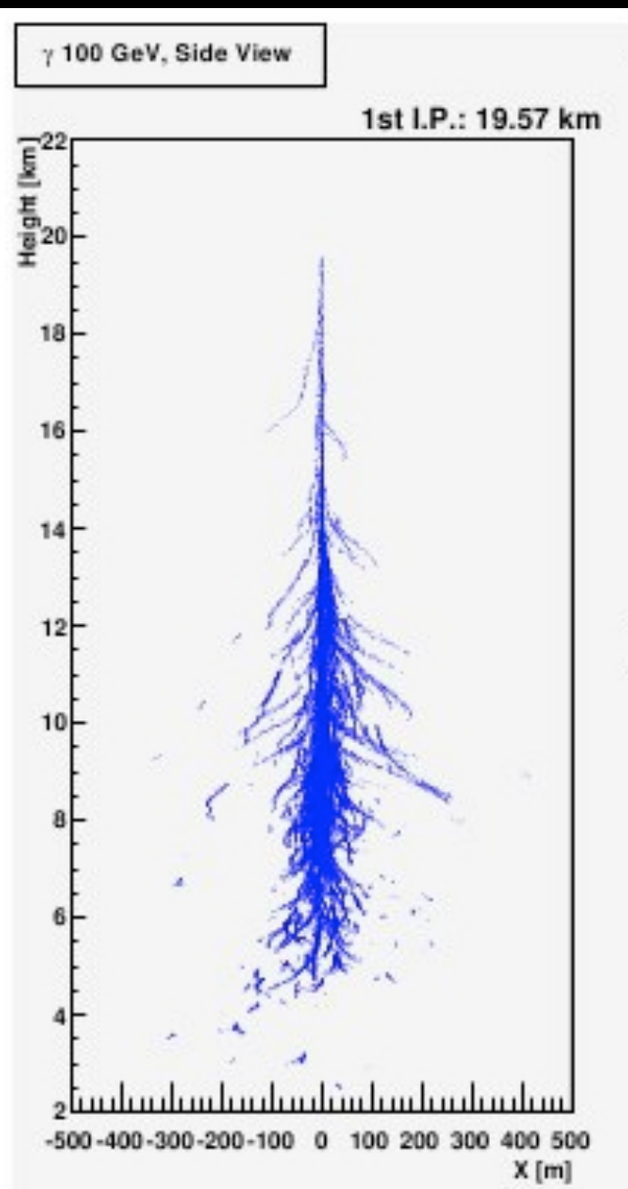
Simulazione di sciami

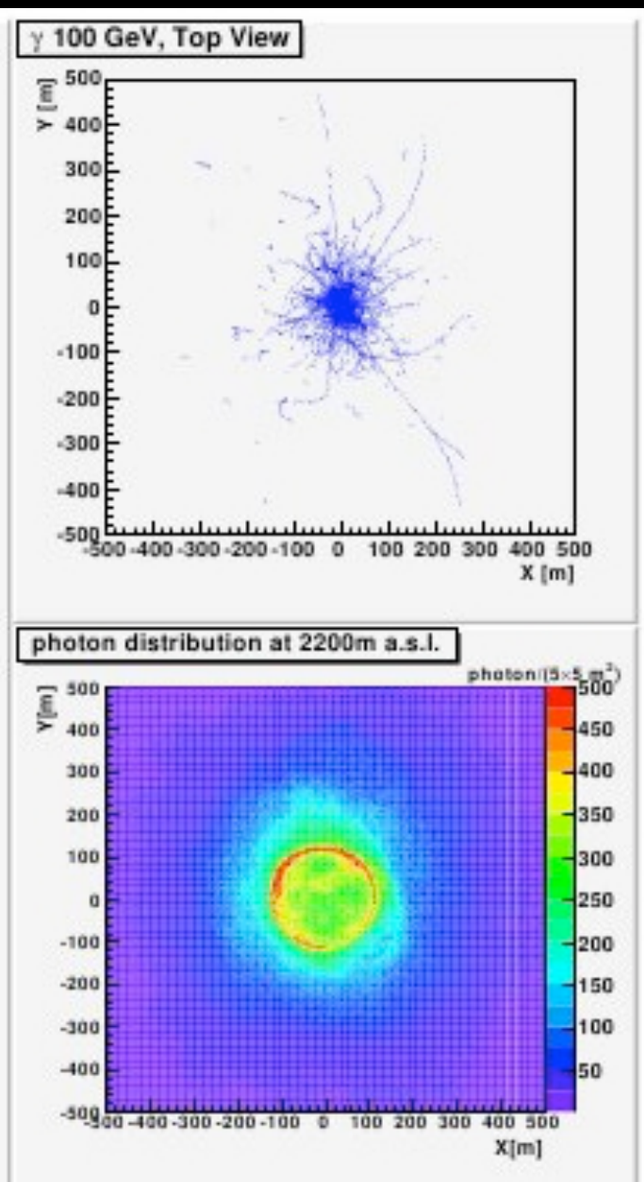
Protone



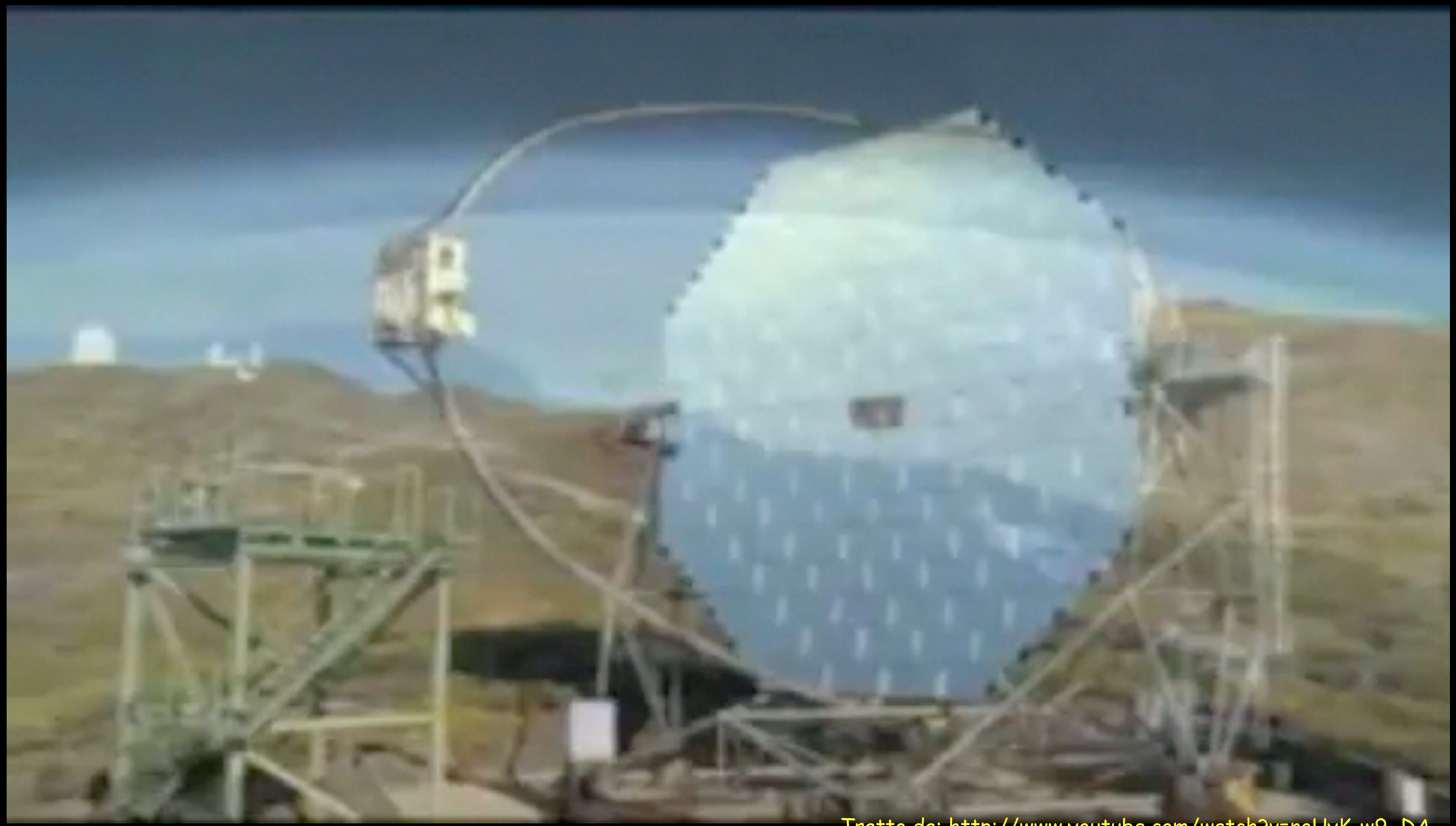


Fotone



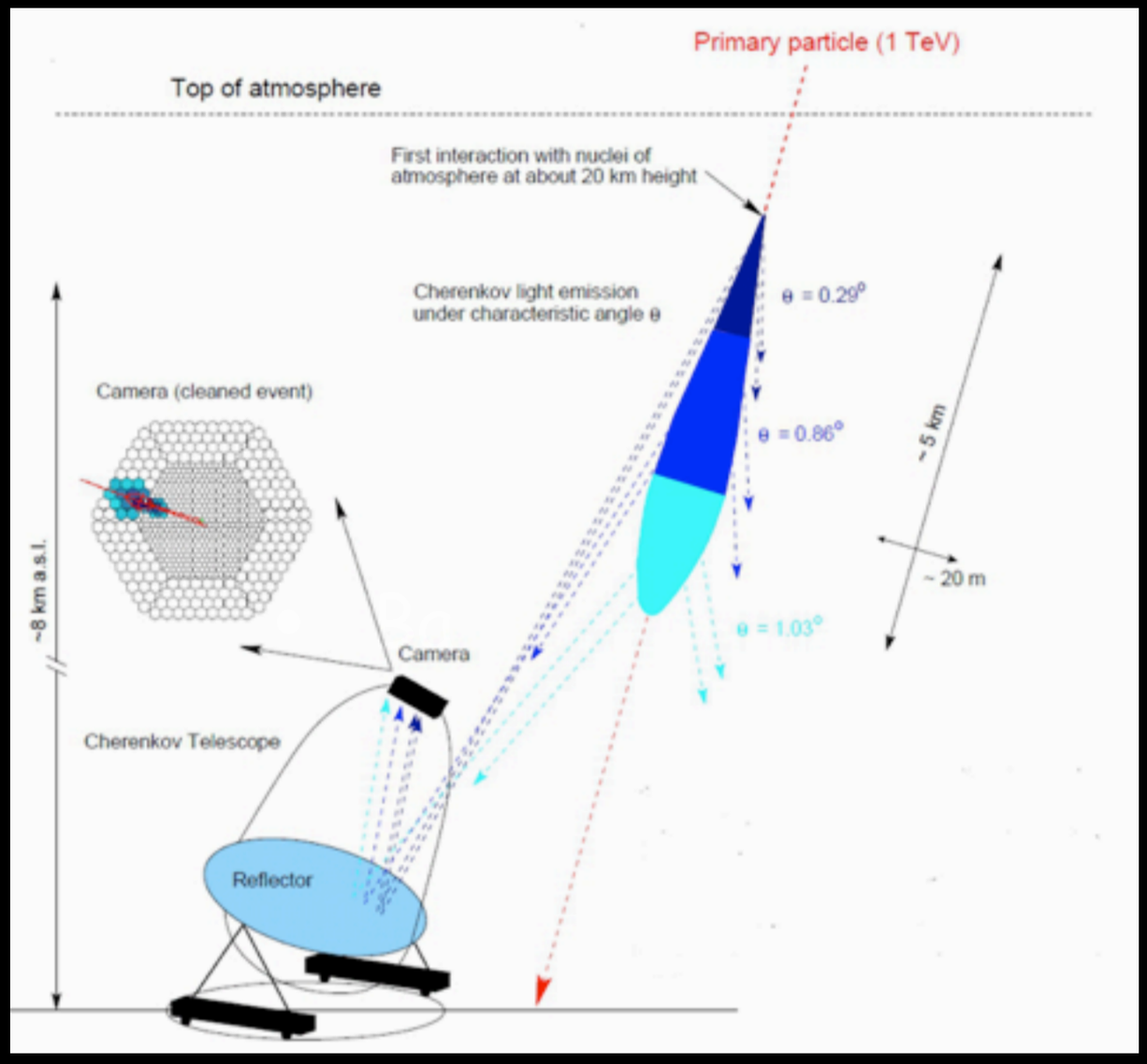


Rivelazione di un fotone

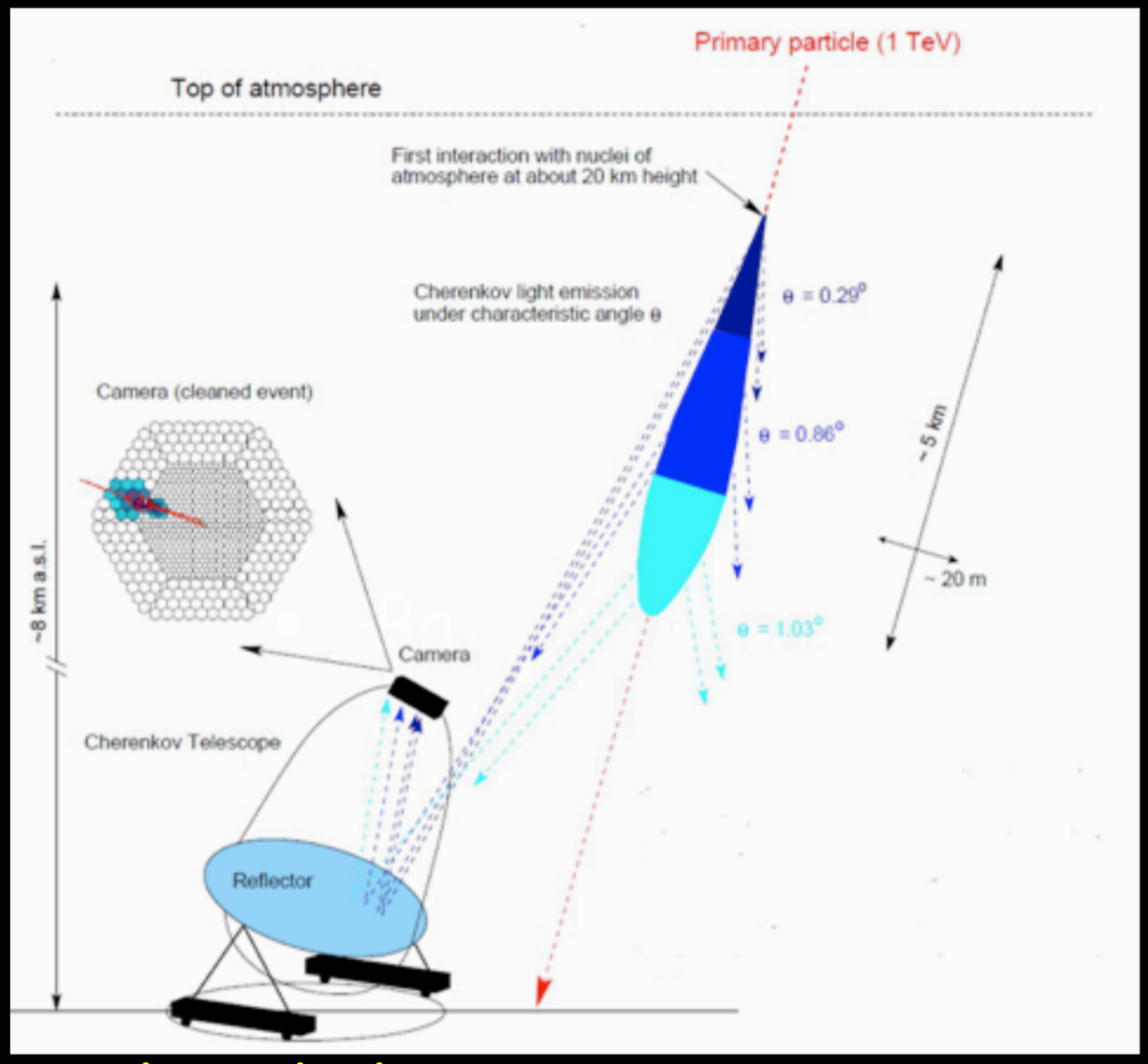


Tratto da: http://www.youtube.com/watch?v=noUyK-w9_DA

Rivelazione IACT

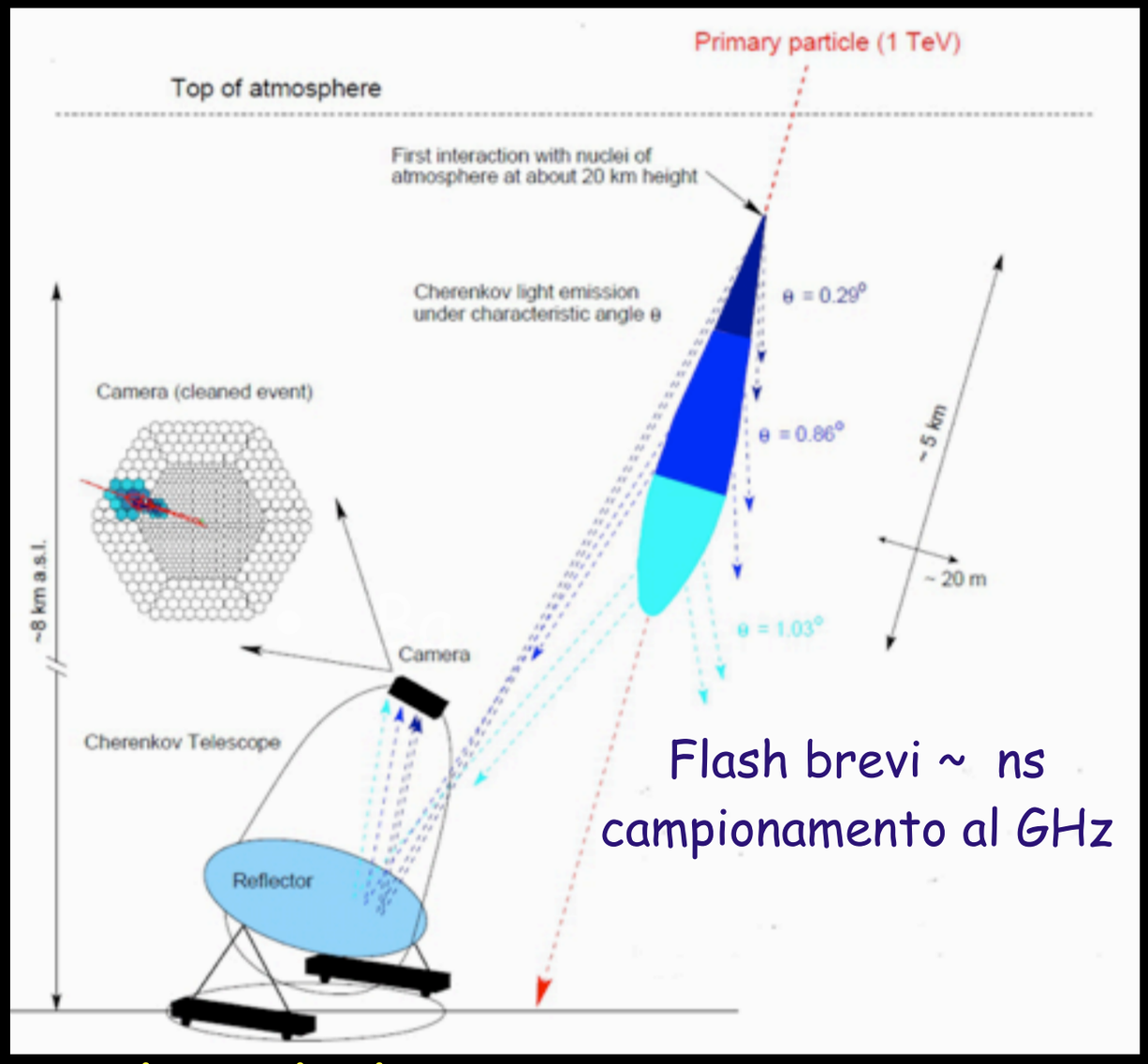


Rivelazione IACT



Isolare la luce degli sciami dal fondo cielo

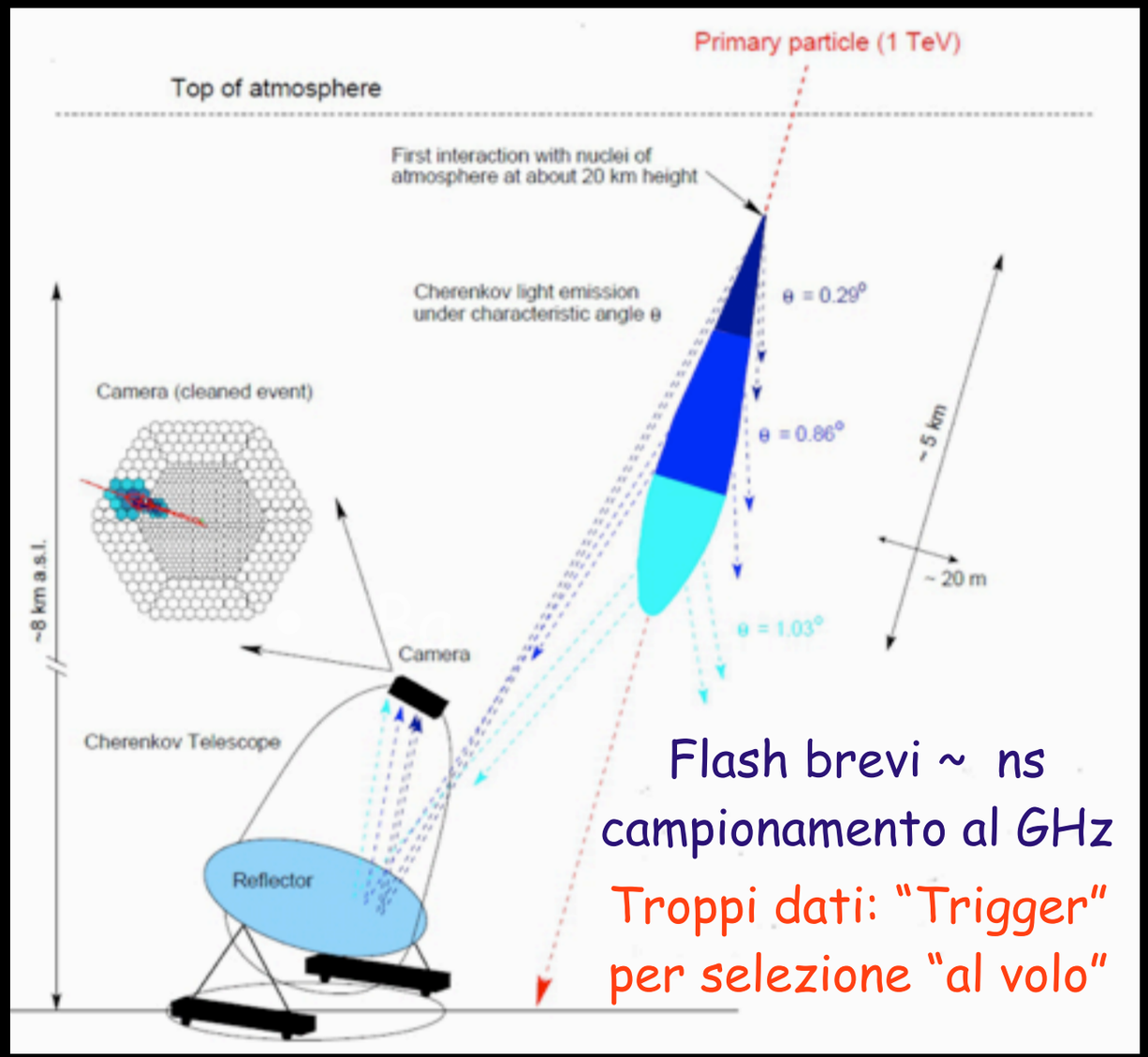
Rivelazione IACT



Flash brevi ~ ns
campionamento al GHz

Isolare la luce degli sciami dal fondo cielo

Rivelazione IACT

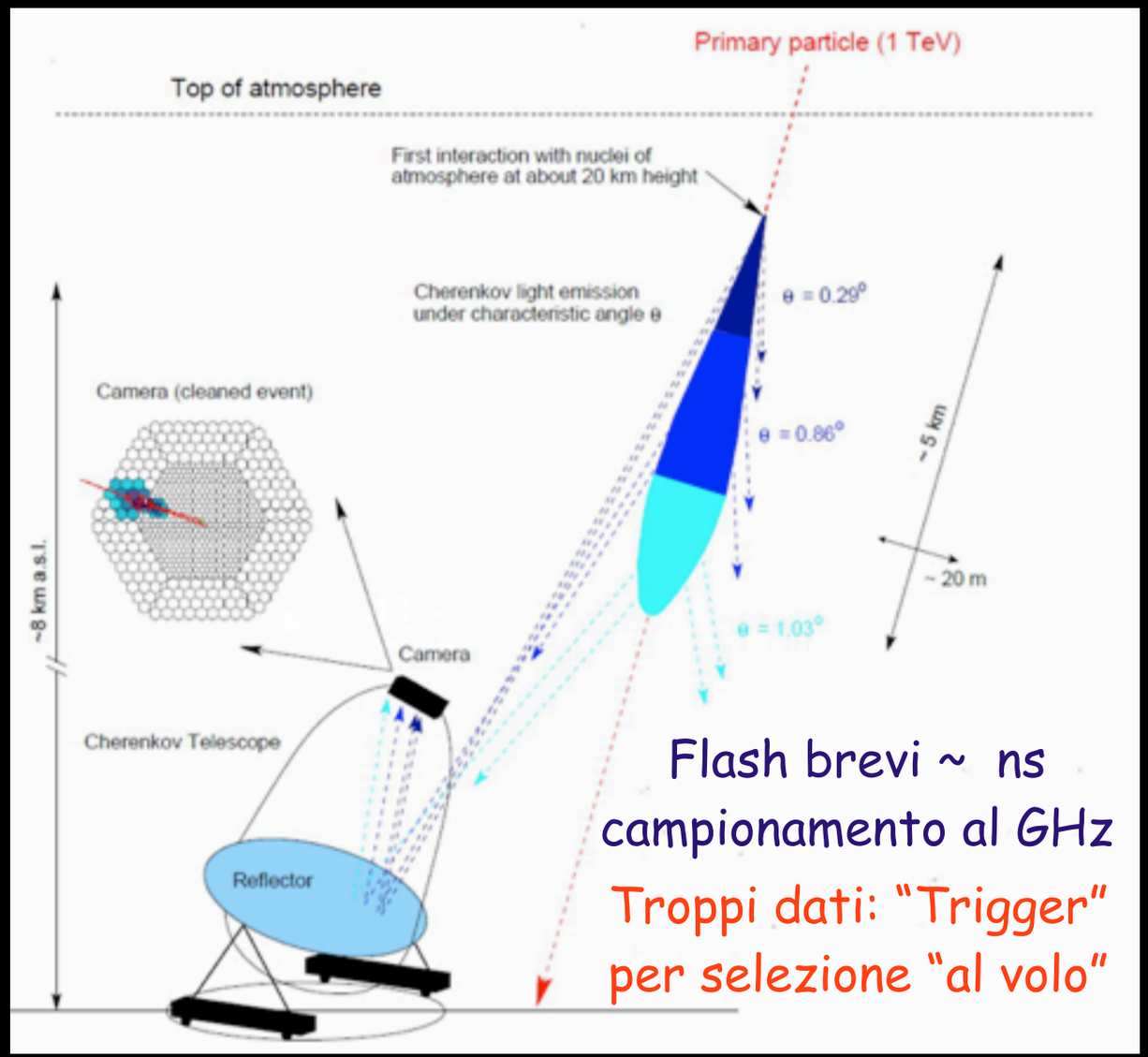


Flash brevi ~ ns
campionamento al GHz

Troppi dati: "Trigger"
per selezione "al volo"

Isolare la luce degli sciami dal fondo cielo

Rivelazione IACT



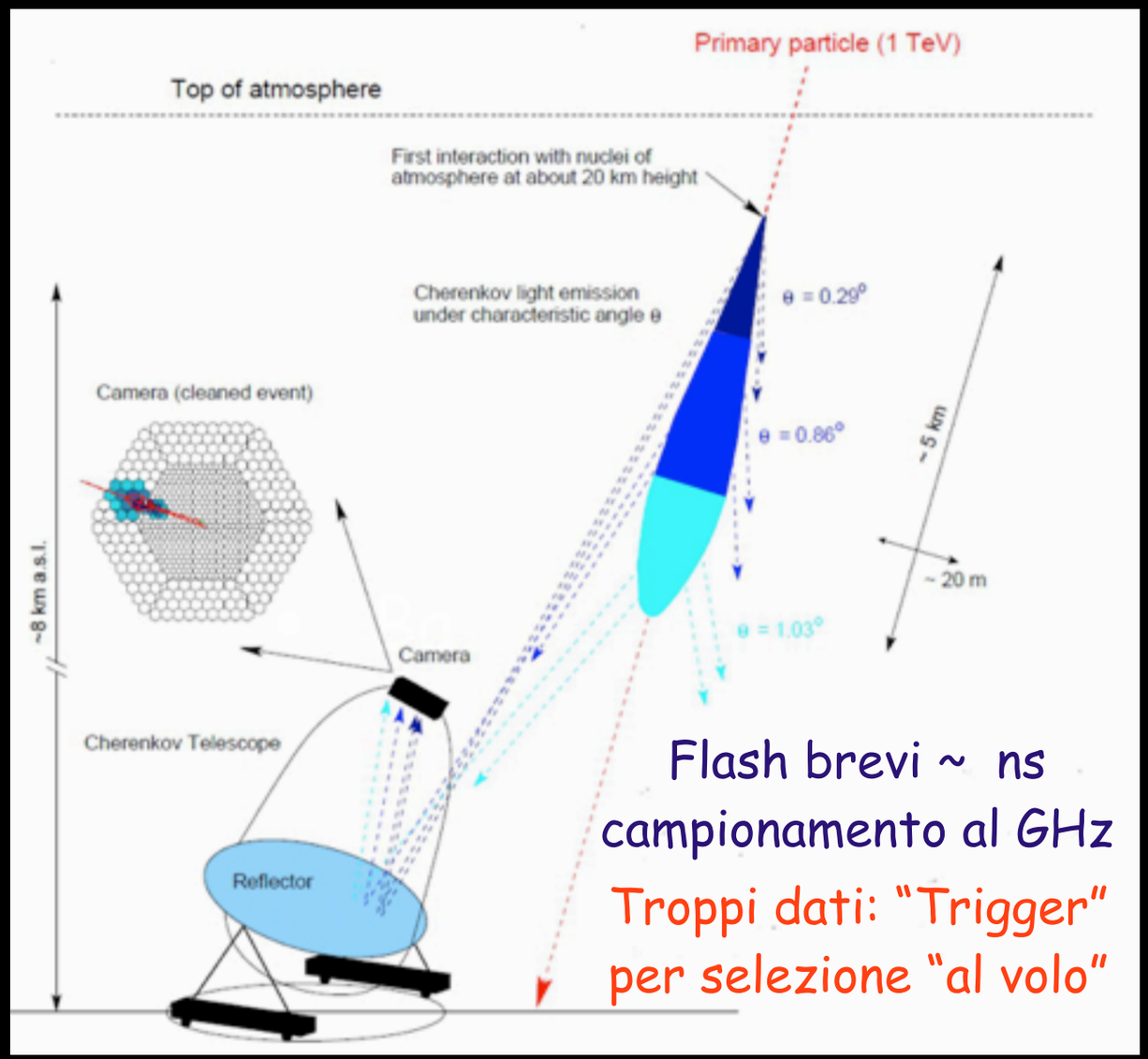
Flash brevi ~ ns
campionamento al GHz

Troppi dati: "Trigger"
per selezione "al volo"

Isolare la luce degli sciami dal fondo cielo

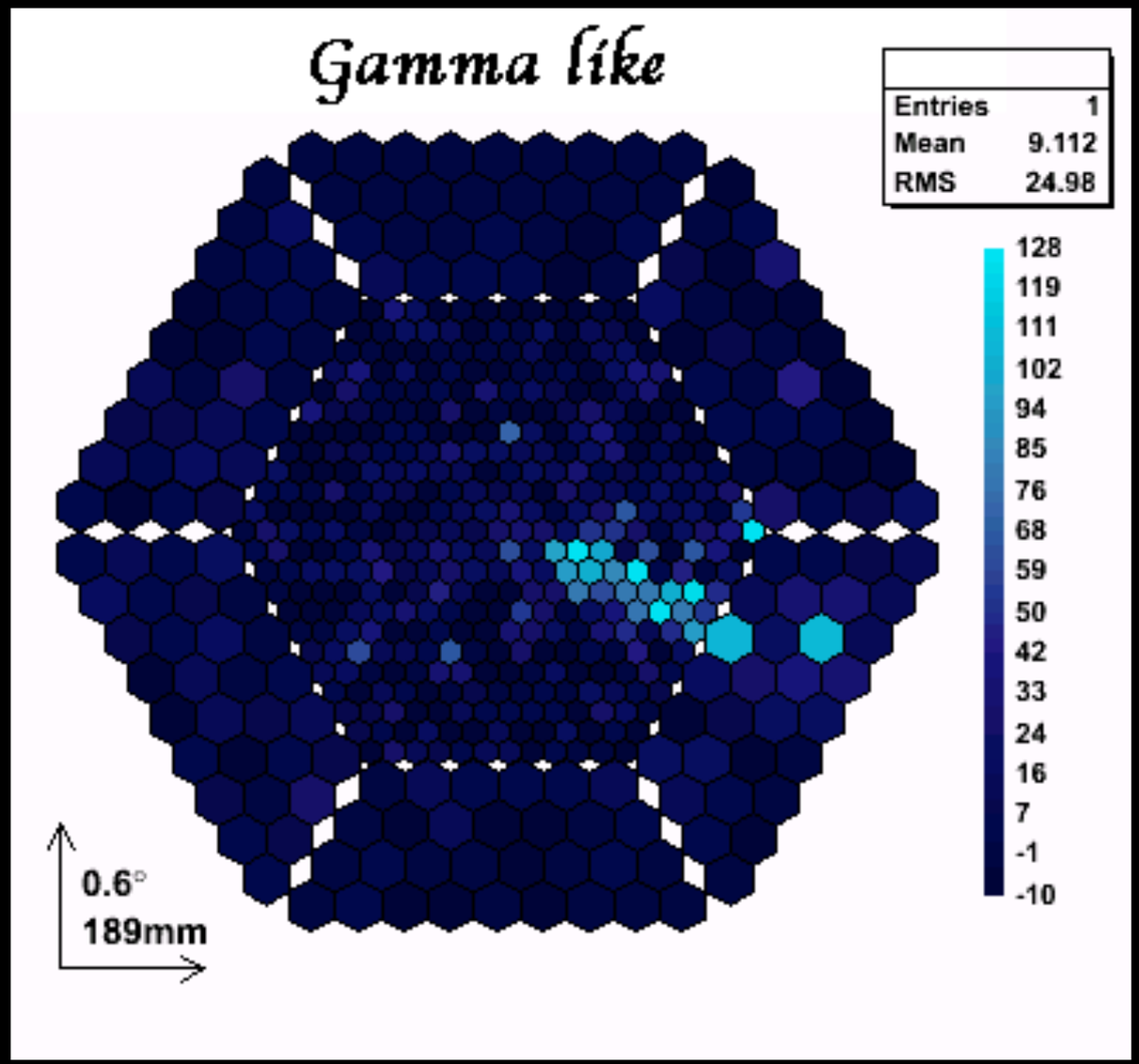
Distinguere i fotoni dagli adroni e dai muoni

Rivelazione IACT



Flash brevi ~ ns
campionamento al GHz

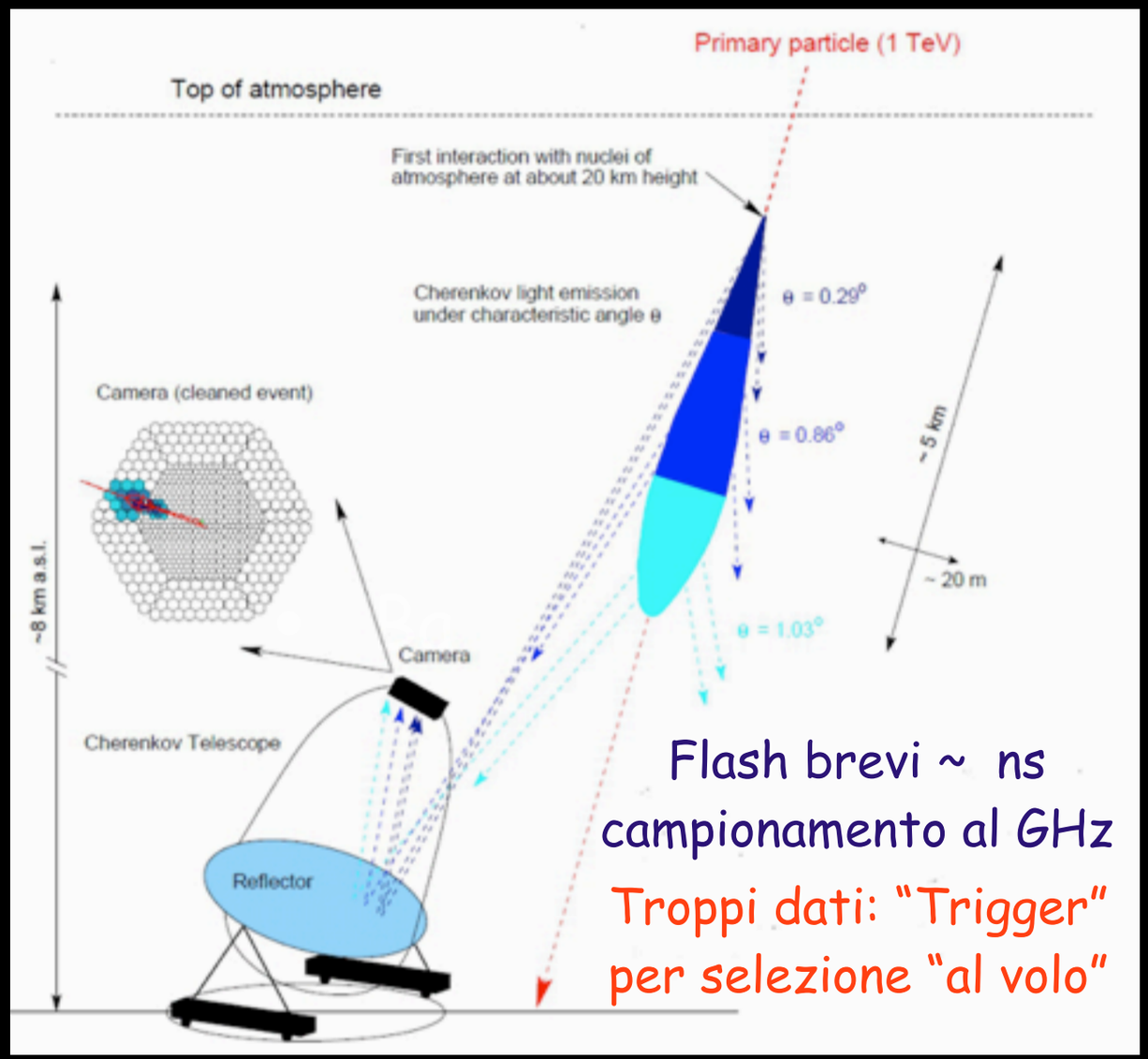
Troppi dati: "Trigger"
per selezione "al volo"



Isolare la luce degli sciami dal fondo cielo

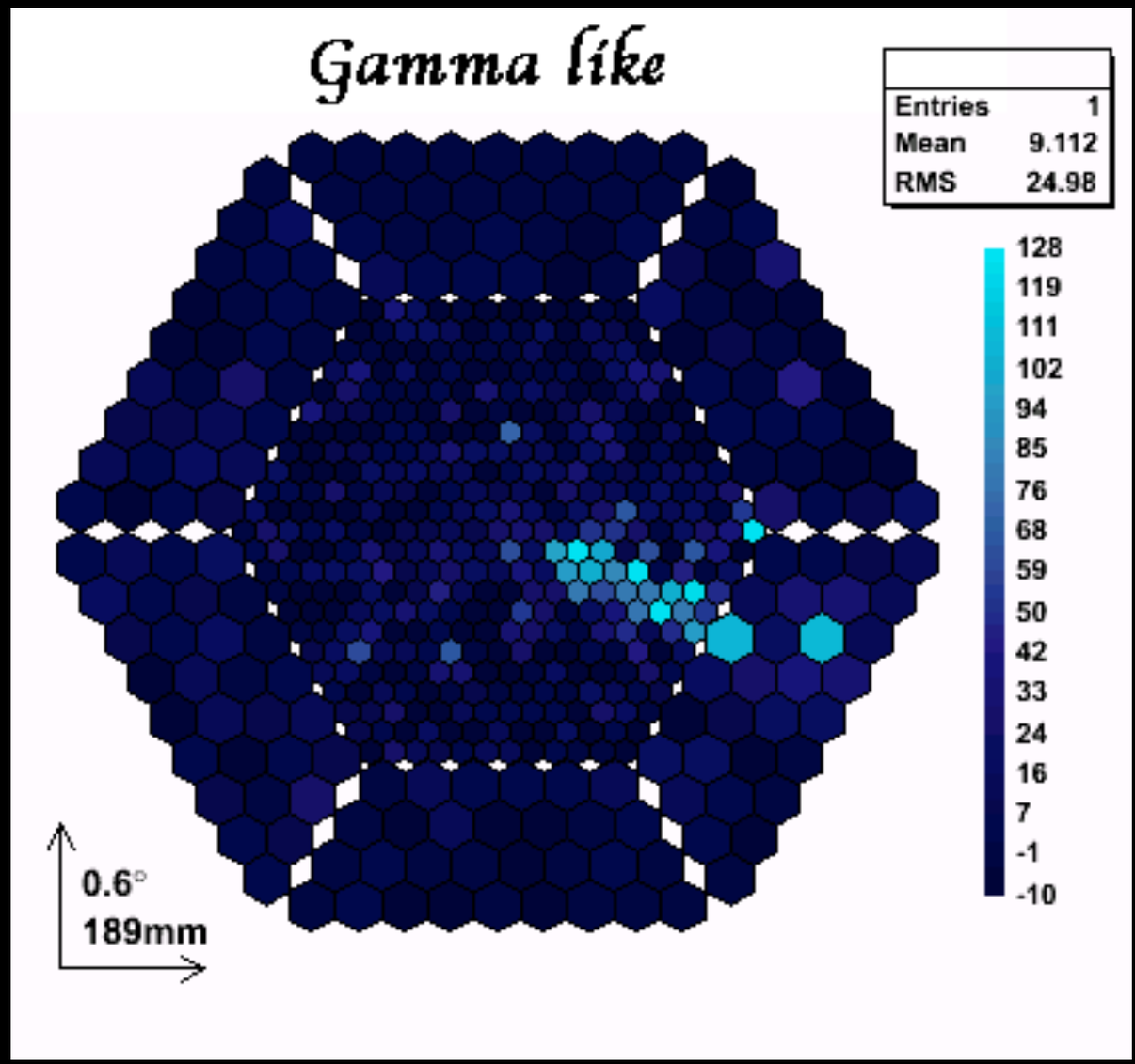
Distinguere i fotoni dagli adroni e dai muoni

Rivelazione IACT



Flash brevi ~ ns
campionamento al GHz

Troppi dati: "Trigger"
per selezione "al volo"

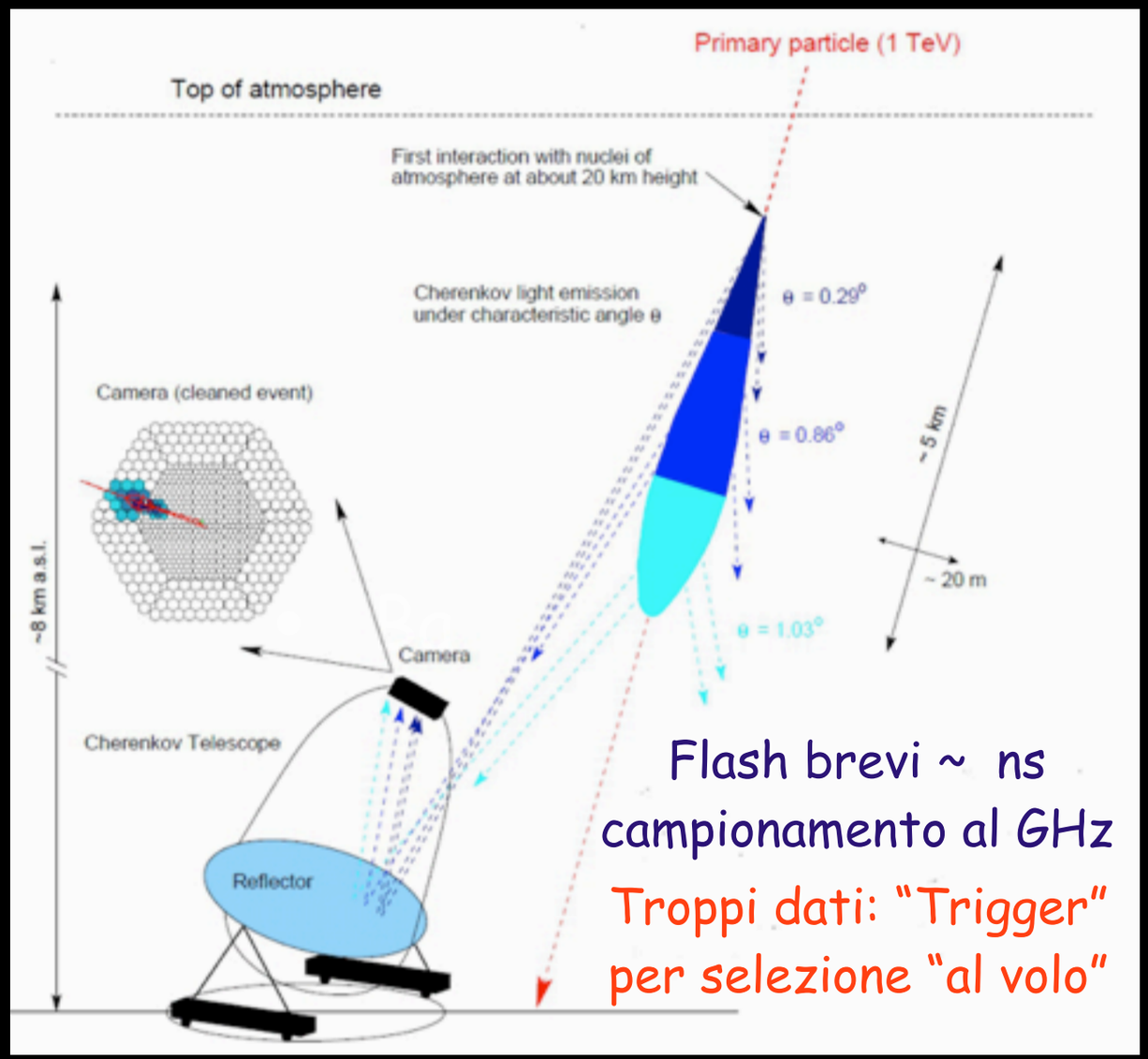


Isolare la luce degli sciami dal fondo cielo

Ricostruire direzione di volo (posizione)

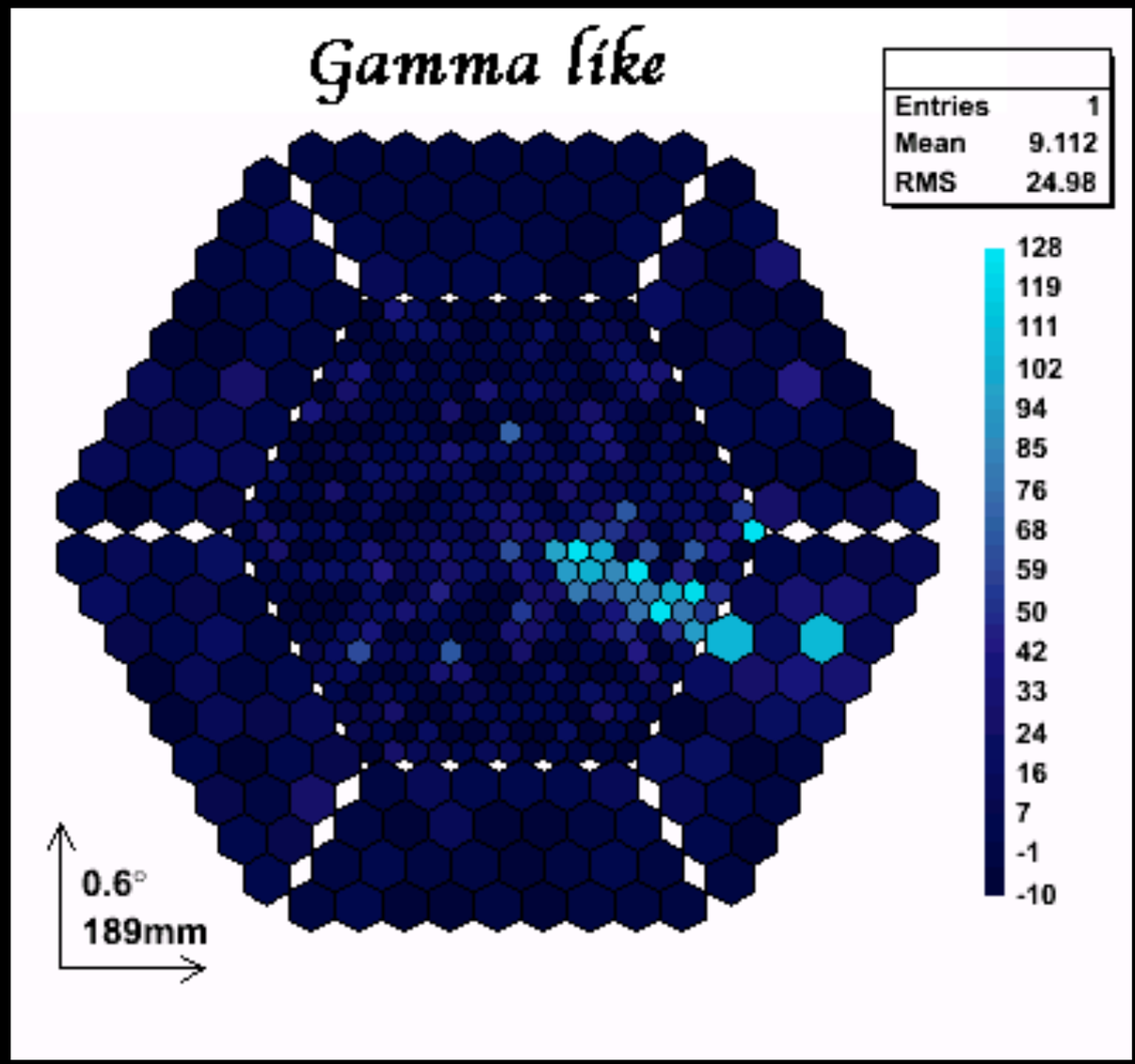
Distinguere i fotoni dagli adroni e dai muoni

Rivelazione IACT



Flash brevi ~ ns
campionamento al GHz

Troppi dati: "Trigger"
per selezione "al volo"



Isolare la luce degli sciami dal fondo cielo

Ricostruire direzione di volo (posizione)

Ricostruire energia (spettro d'energia)

Distinguere i fotoni dagli adroni e dai muoni

Astronomia TeV con Telescopi Cherenkov

- Telescopi MAGIC (2 x 17 m) @ Roque de los Muchachos (La Palma, Canari
- Sensibili dai 30 GeV ai 50 TeV
- Flussi minimi rivelabili: ~ 1/100 del flusso della Crab Nebula in 50h
- risoluzione angolare 0.1° (in ottico, raggi X , siamo sotto il secondo d'arco, circa 500 volte meglio)

A caccia di Gamma Ray Bursts

http://app.uni-dortmund.de/~backes/media/MAGICmovements.m1v
http://app.uni-dortmund.de/~backes/media/MAGICmovementsII.m1v

I MAGIC riescono a cambiare puntamento in 20"!!!
65 tonnellate di massa mobile

Telescopi IACT in attività

MAGIC

VERITAS

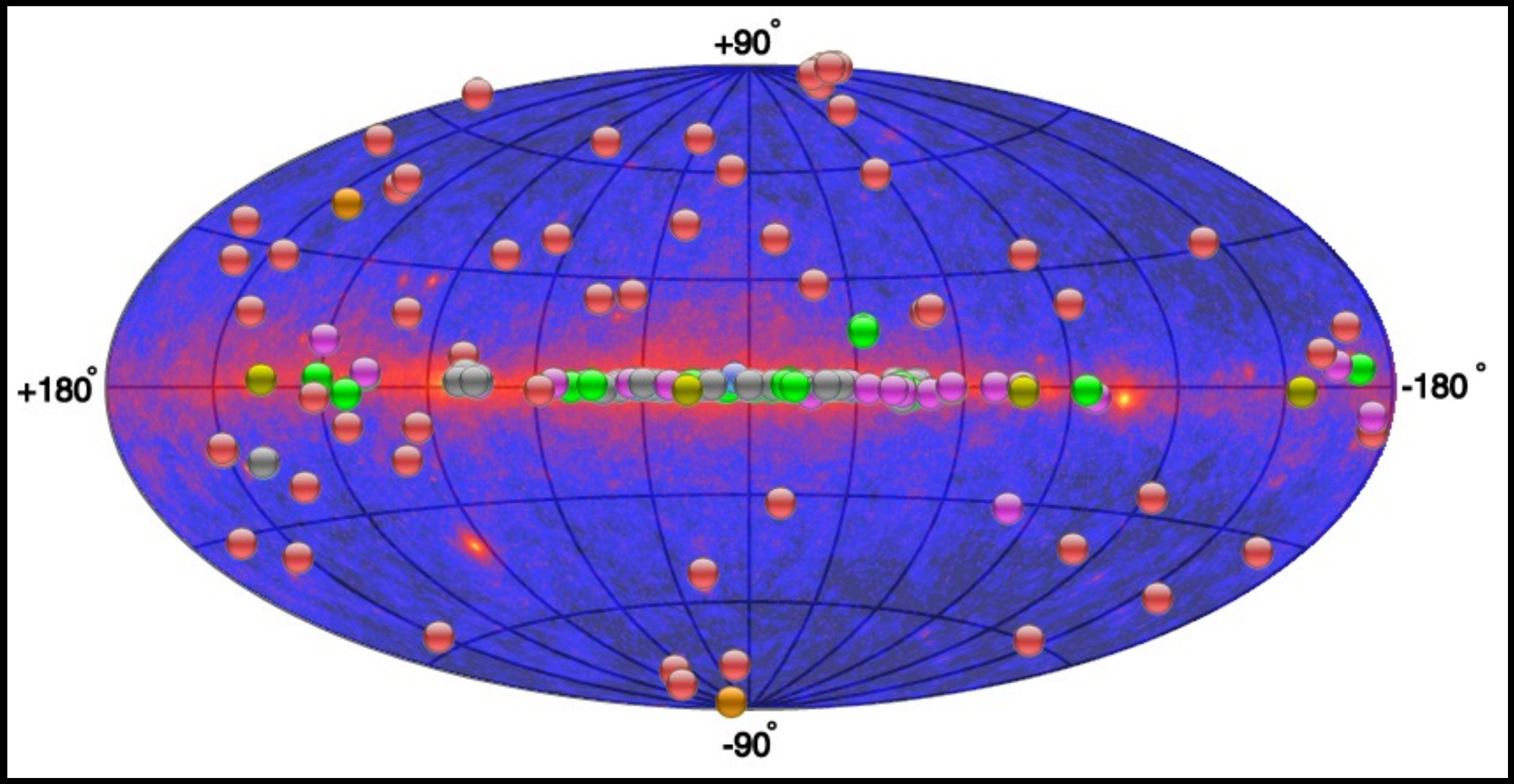
HESS

CANGAROO III

2 - 4 Telescopes*
500-1000 pixel cameras*
3.5 - 5.0° FoV
~0.1° angular res.
~15% energy res.

*Pre Upgrades

Il cielo VHE



http://tevcat.uchicago.edu

Sorgenti gamma

Galattiche

- Resti di Supernova
- Pulsar Wind Nebulae
- Binarie a raggi X / micro-quasar
- Pulsar

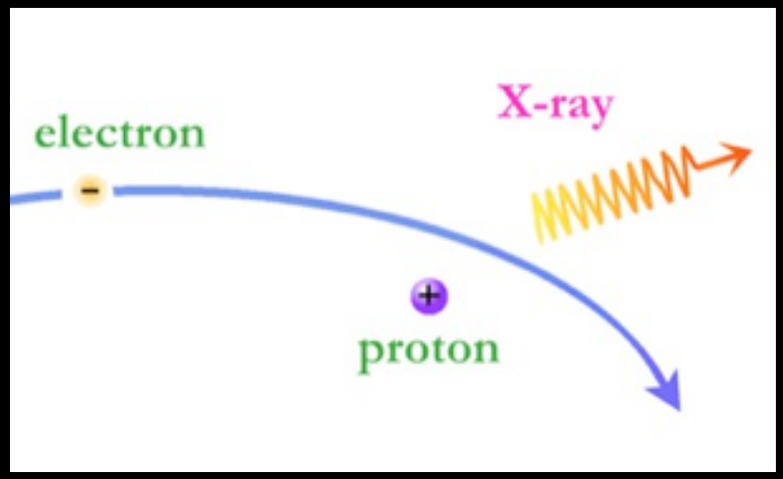
Extra-Galattiche

- Blazar e radiogalassie
- Gamma ray bursts
- Galassie "starburst"

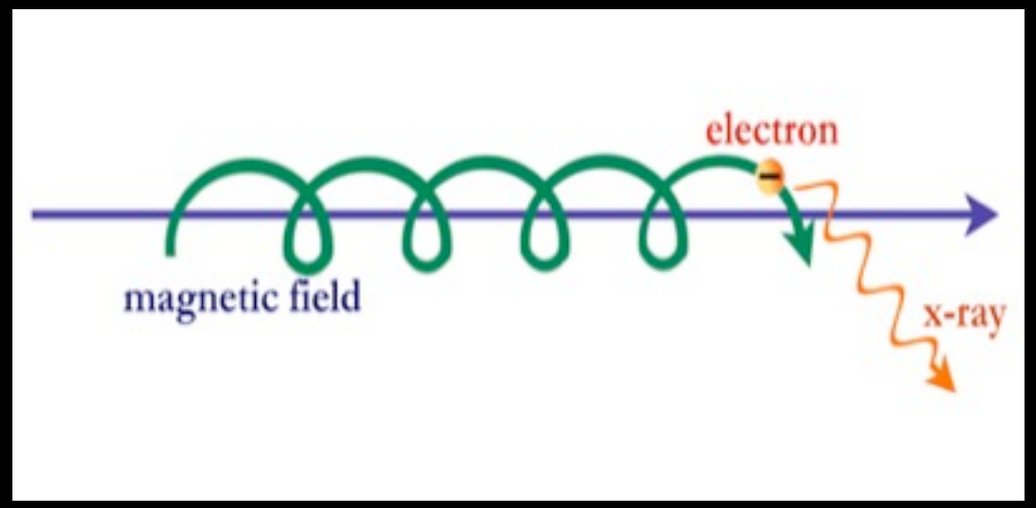
- Dark Matter (?)

Processi radiativi

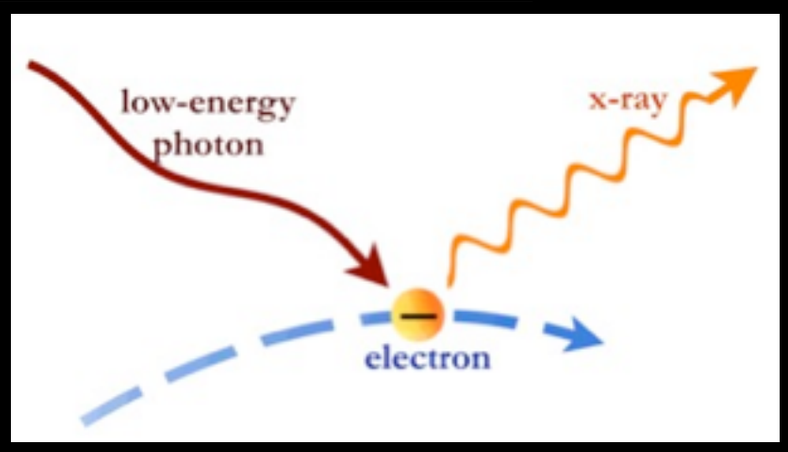
Bremsstrahlung (frenamento)



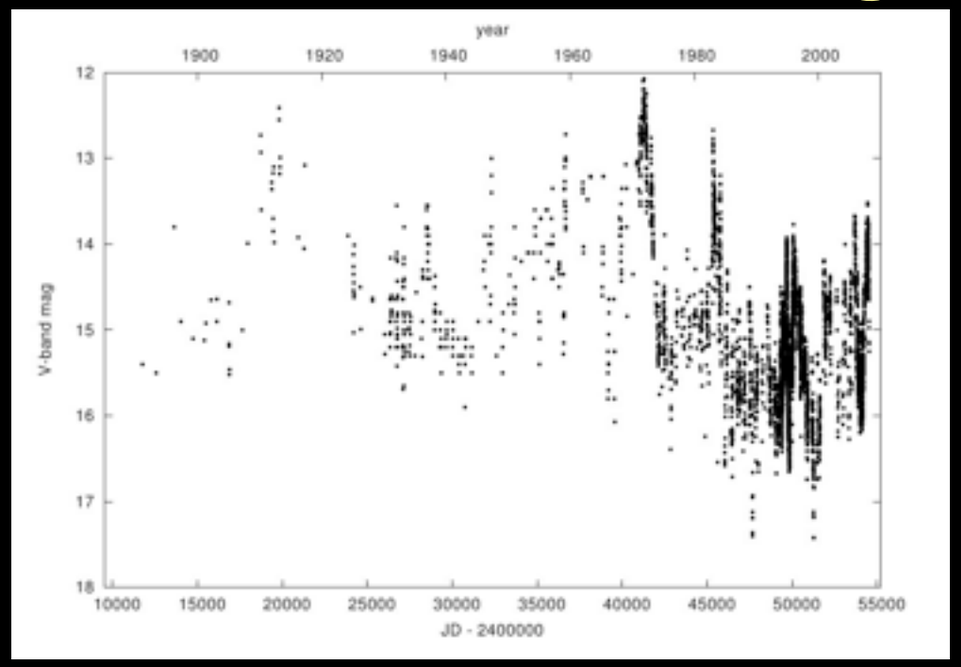
Sincrotrone

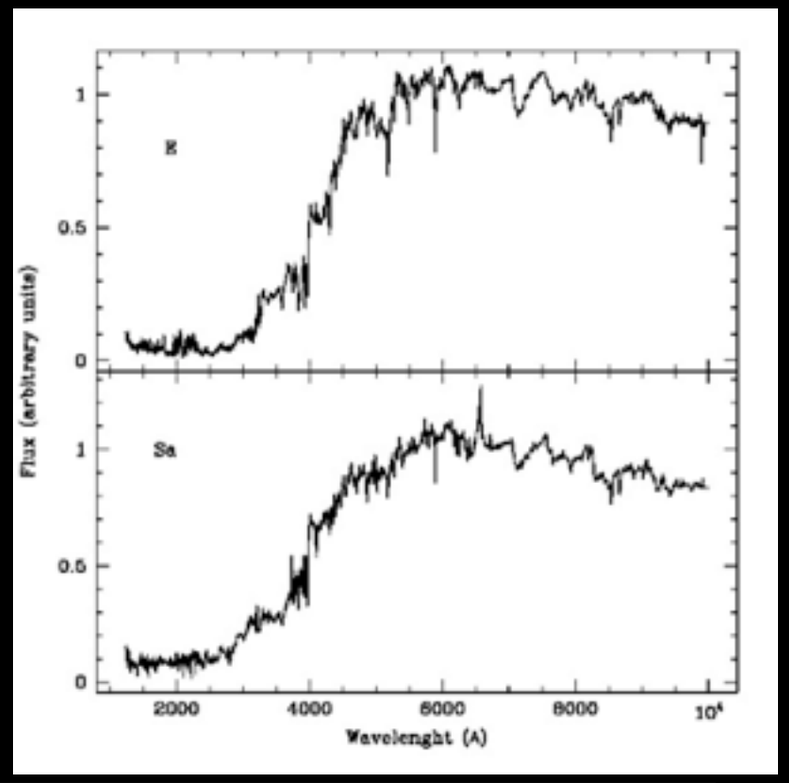


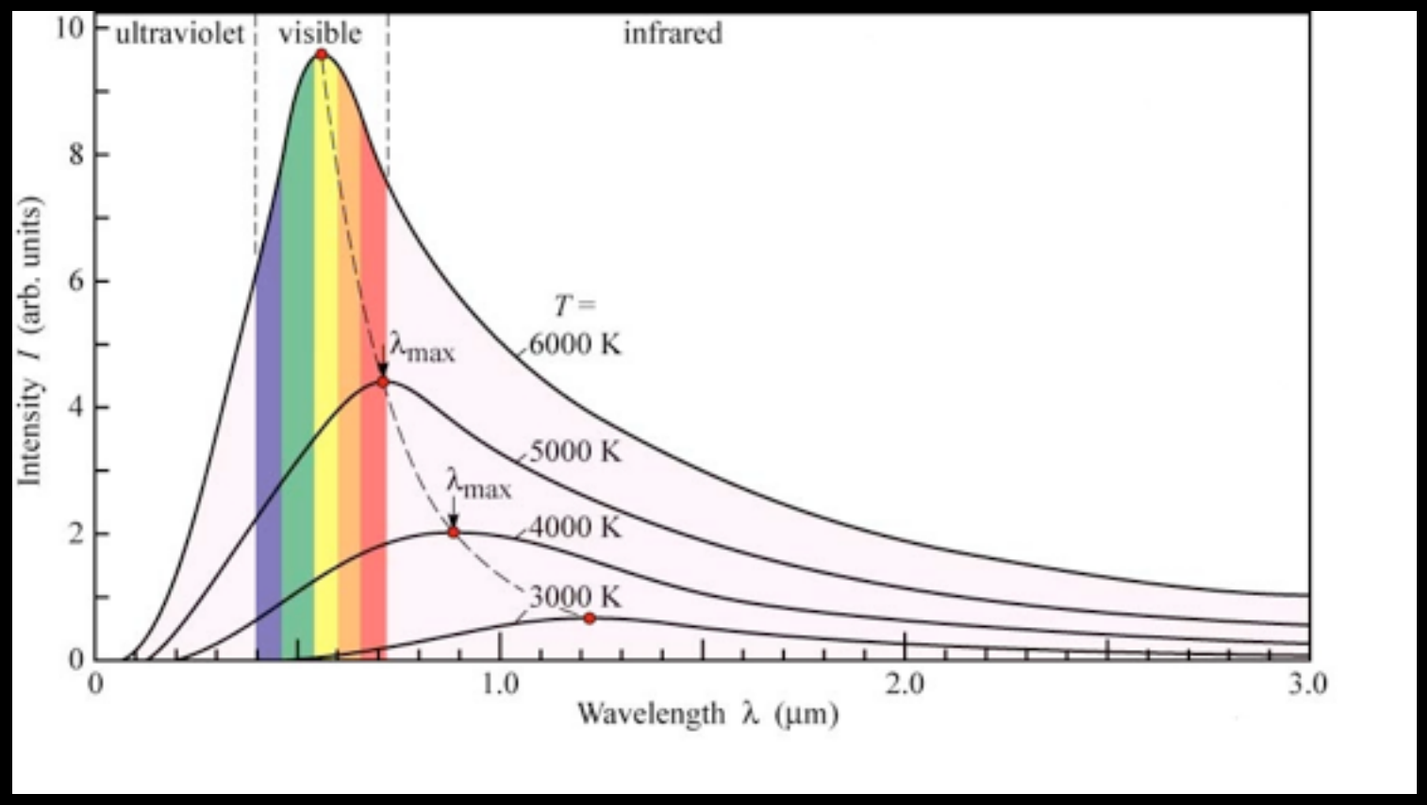
Compton inverso

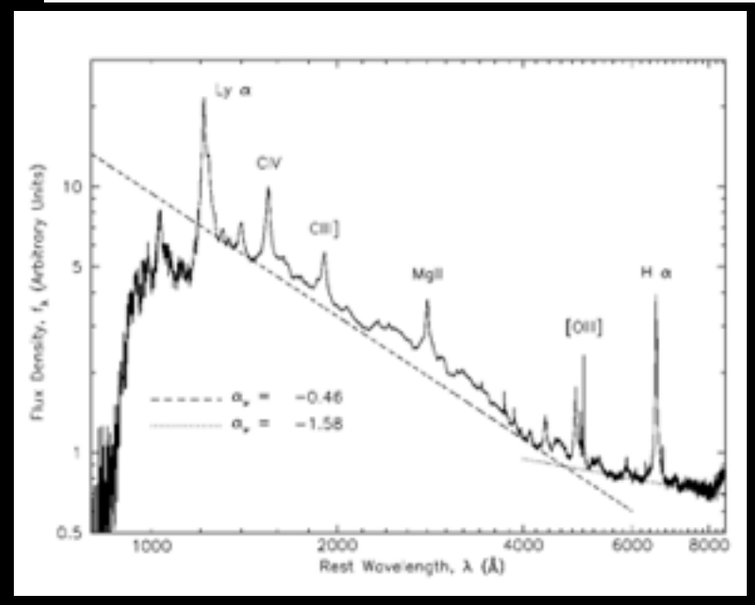


non stelle, non galassie...

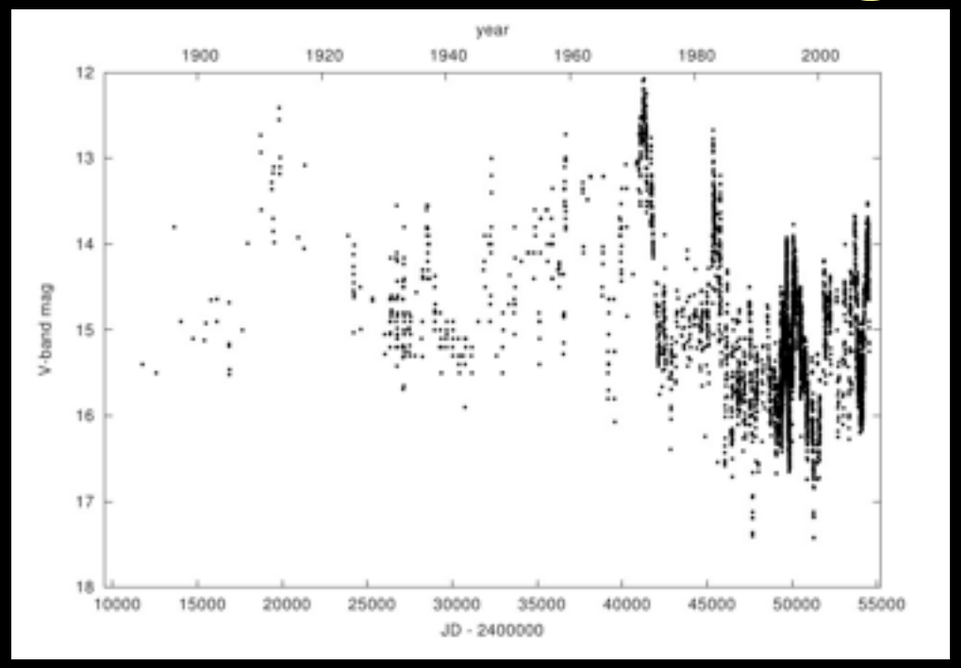


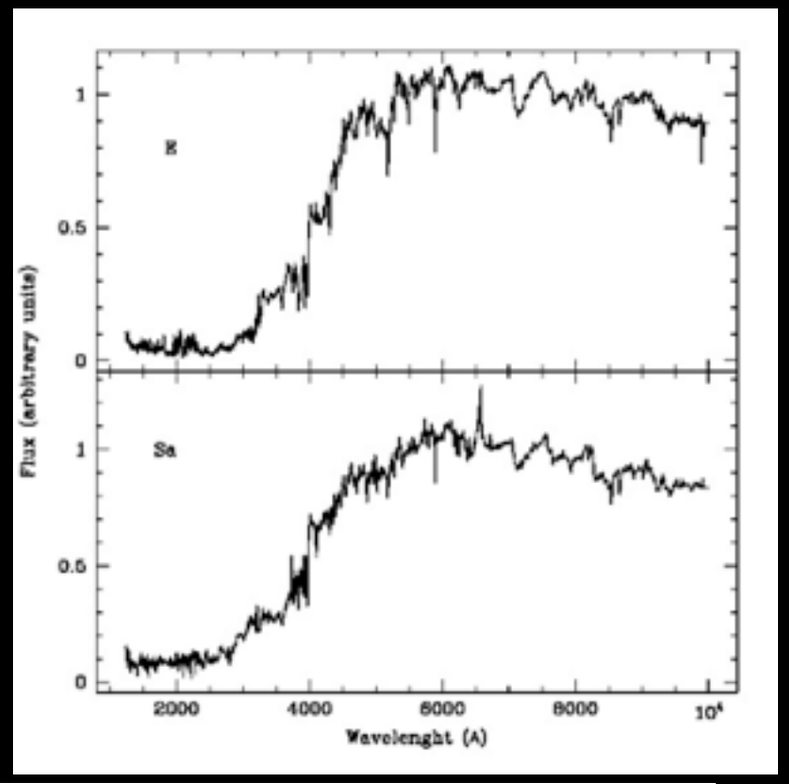


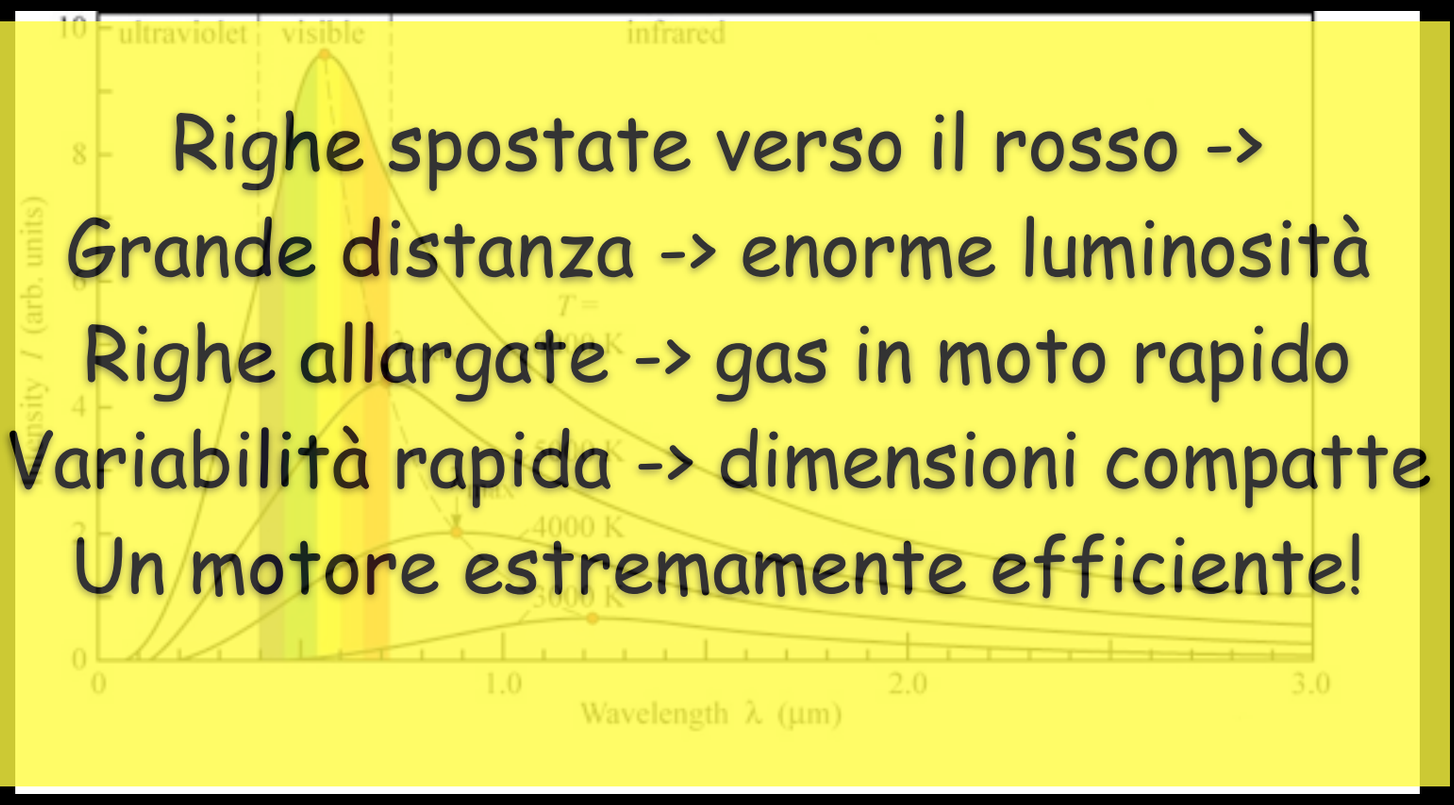




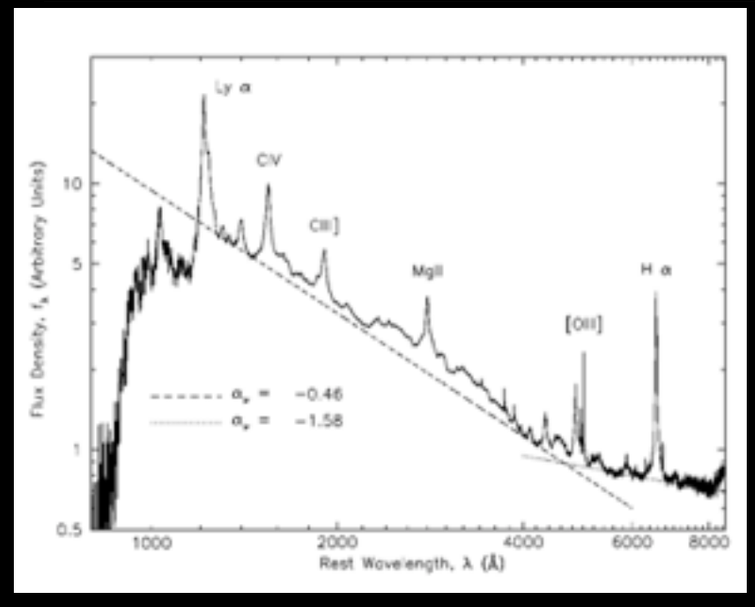
non stelle, non galassie...



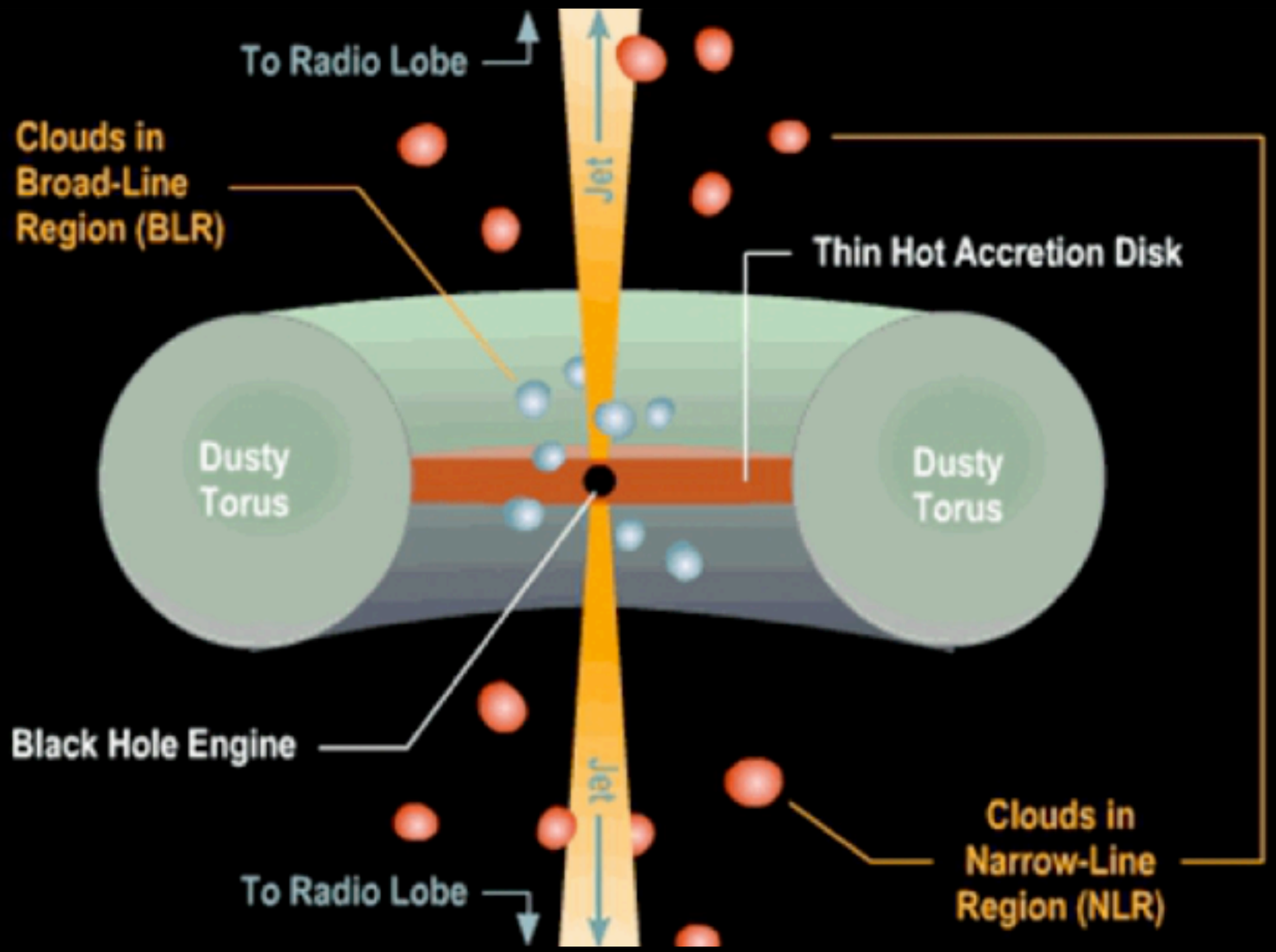




Righe spostate verso il rosso ->
Grande distanza -> enorme luminosità
Righe allargate -> gas in moto rapido
Variabilità rapida -> dimensioni compatte
Un motore estremamente efficiente!

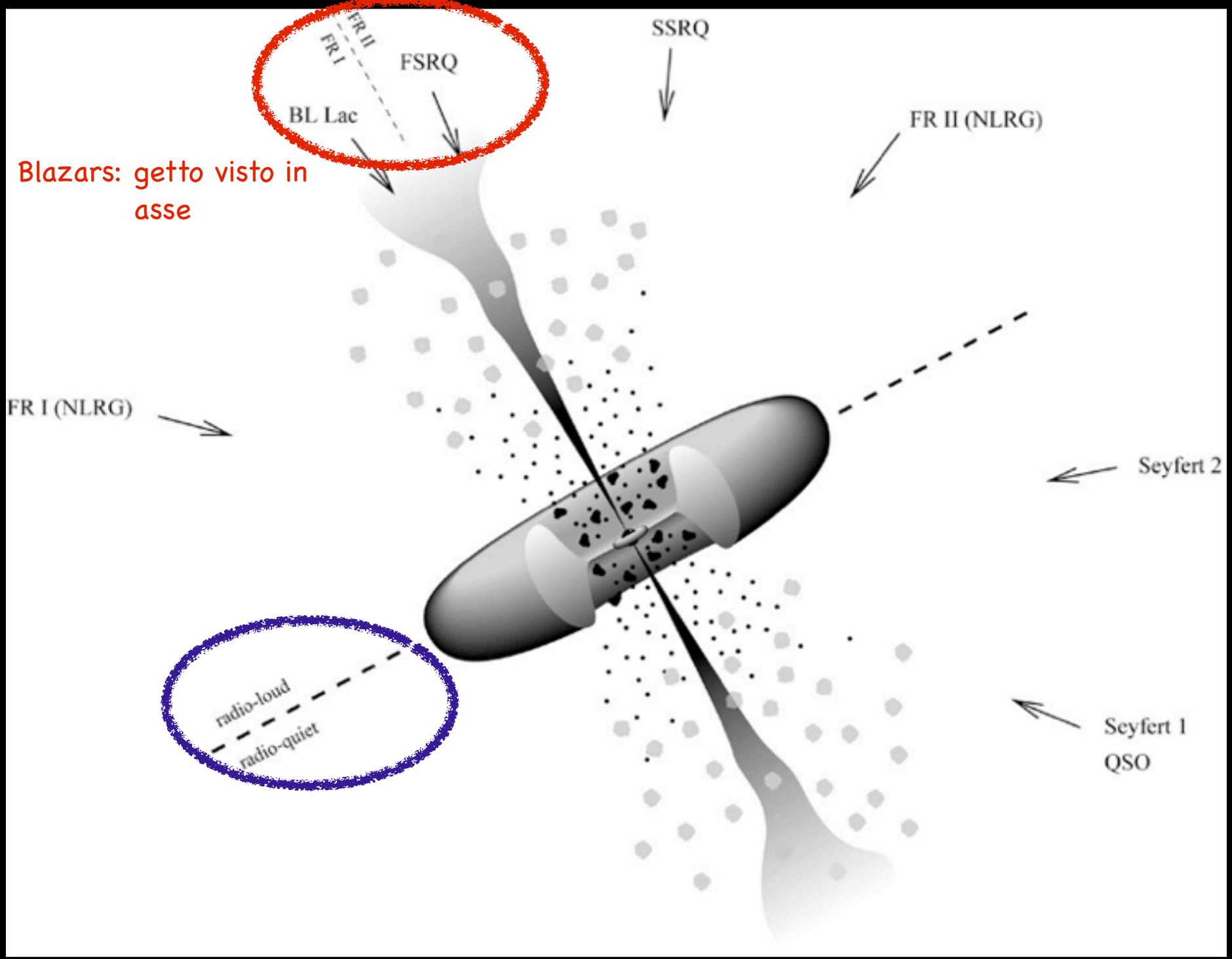


Motore centrale dei Nuclei Galattici Attivi (AGN)

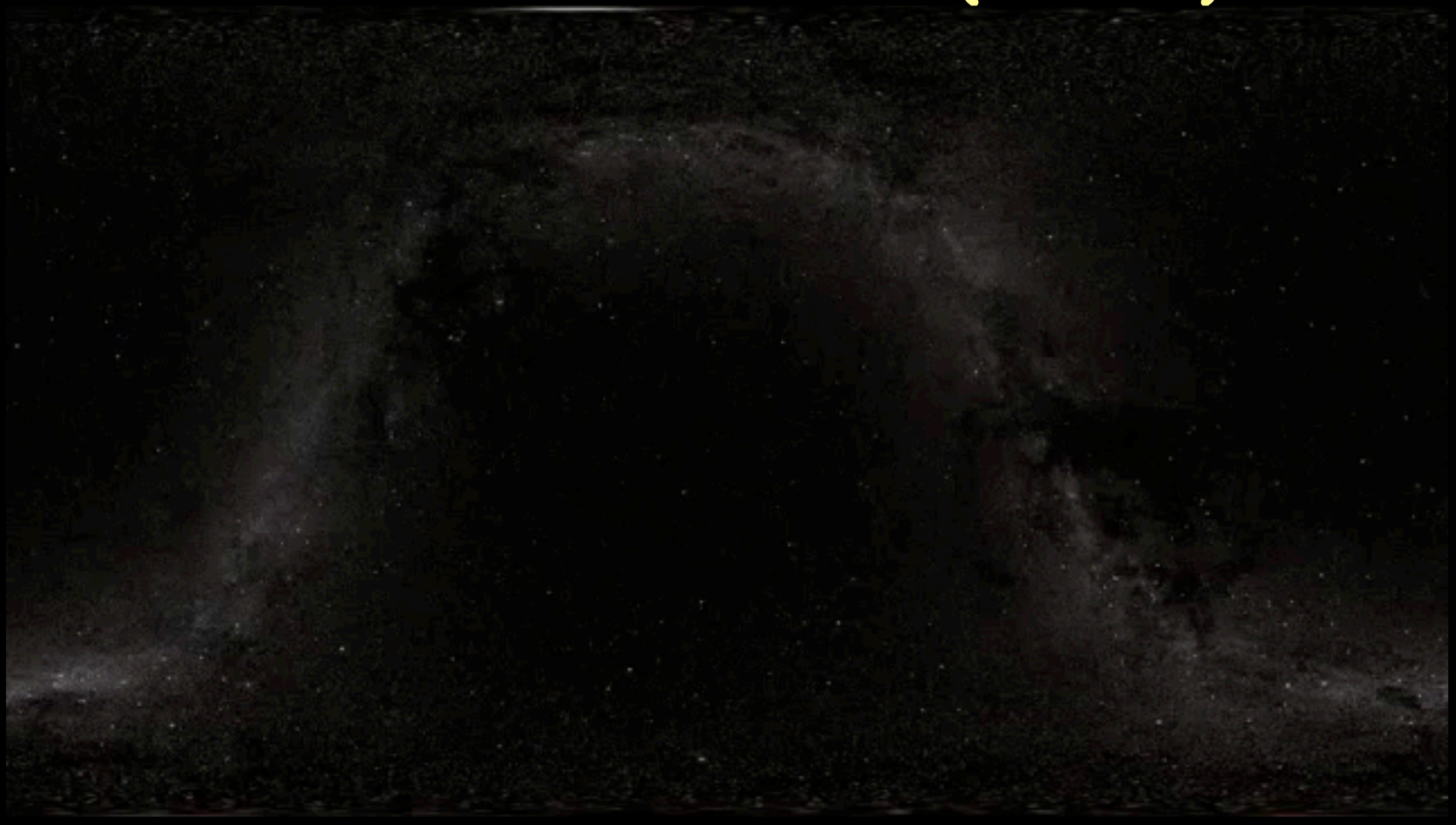


Modello unificato

Blazars: getto visto in asse



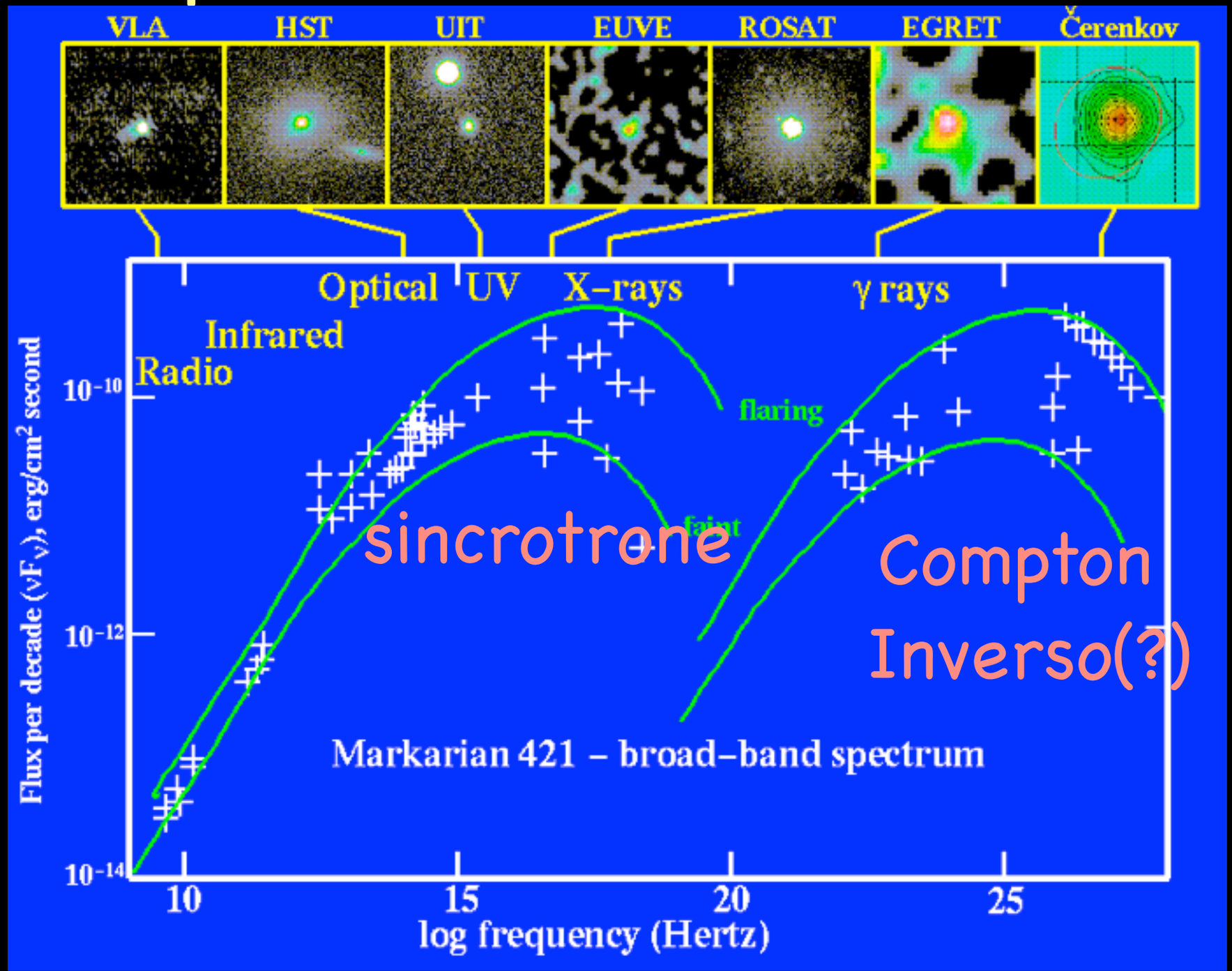
Getti relativistici da Nuclei Galattici Attivi (AGN)



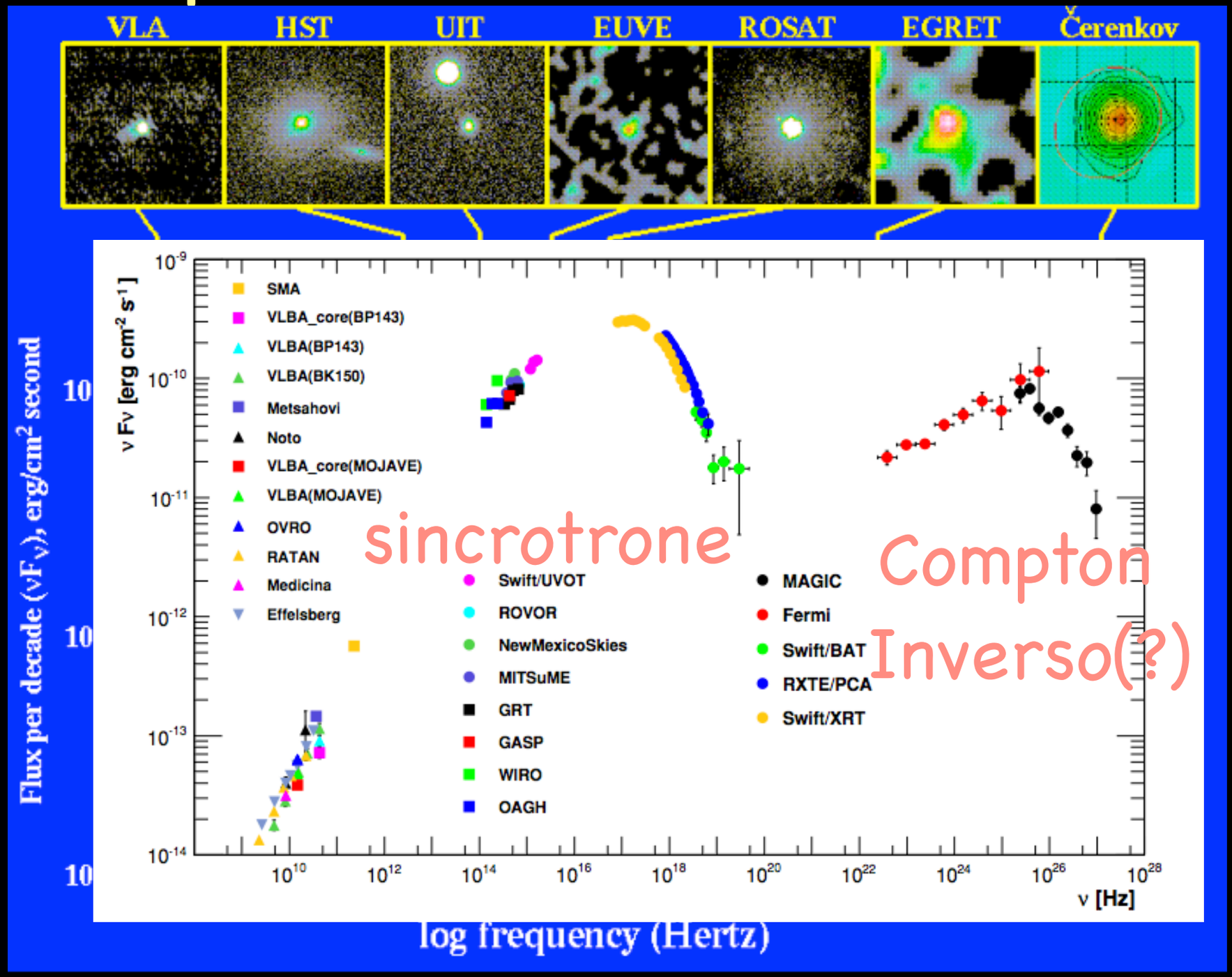
Binarie X / μ-quasars

L'analogo in miniatura: un oggetto compatto di massa stellare cannibalizza la stella compagna

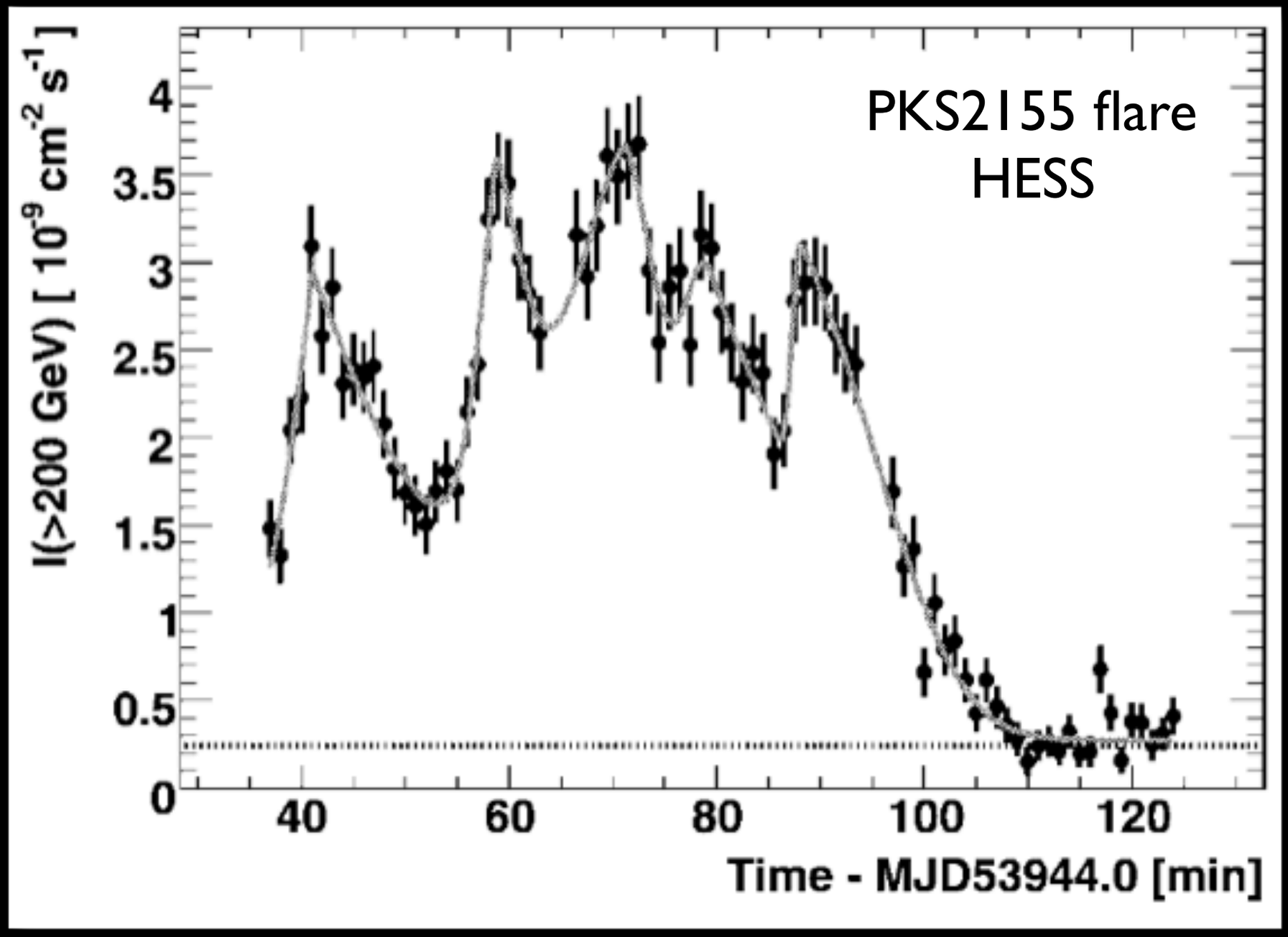
Distribuzione spettrale di energia per il blazar Mrk 421



Distribuzione spettrale di energia per il blazar Mrk 421

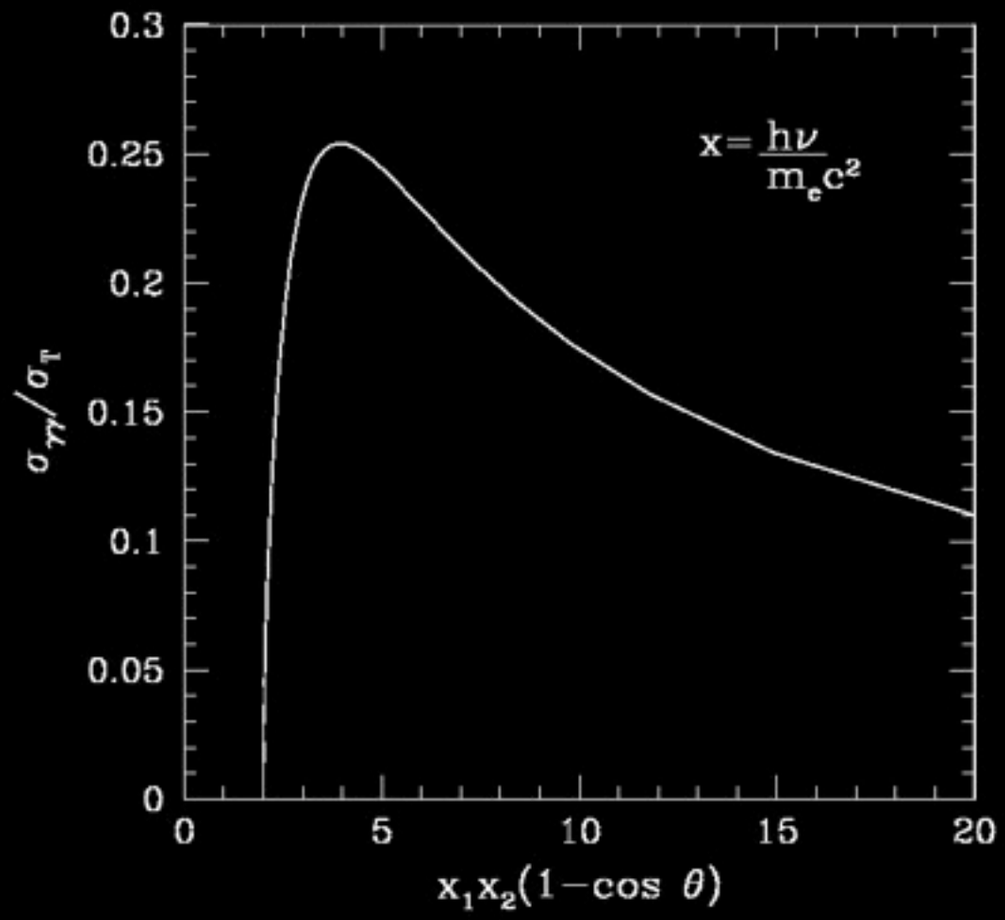


Brillamenti intensi e rapidi



Assorbimento dei raggi gamma

$$\gamma + \gamma \rightarrow e^+ + e^-$$

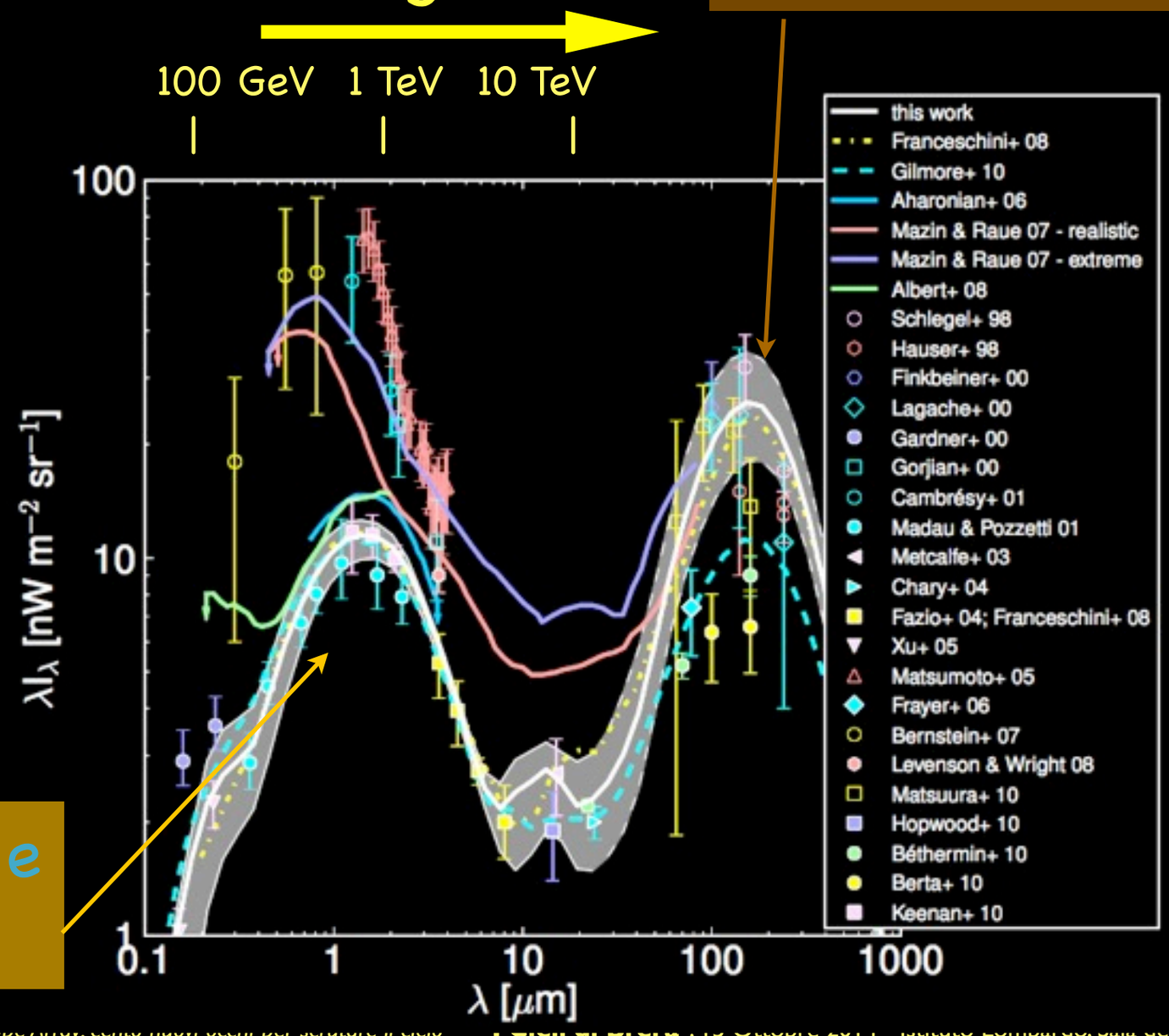


Produzione di coppie particella antiparticella
E' l'inversa della annichilazione

Fondo diffuso extra-galattico

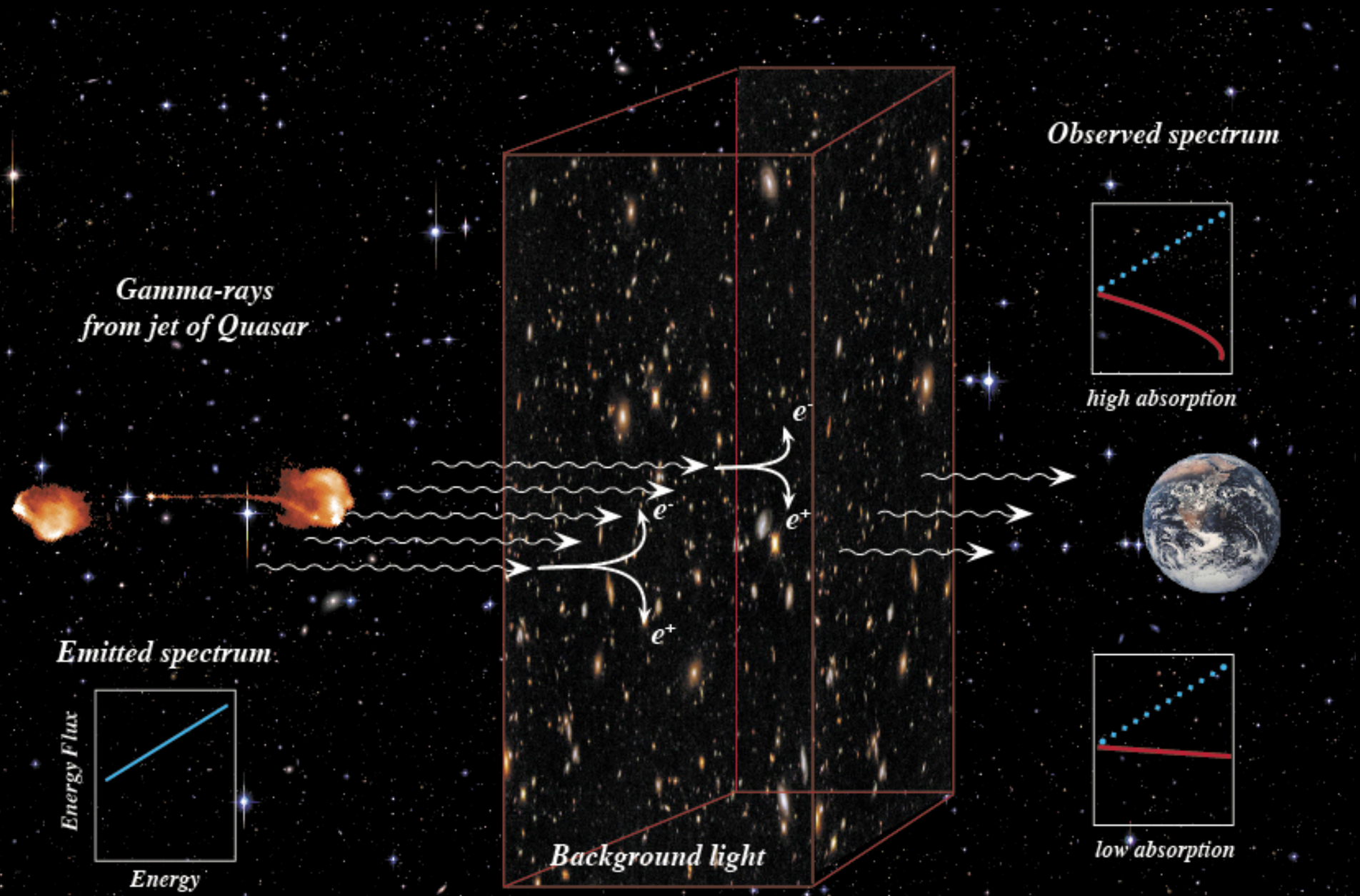
L'universo contiene ovunque fotoni bersaglio

Polvere nell' infrarosso lontano

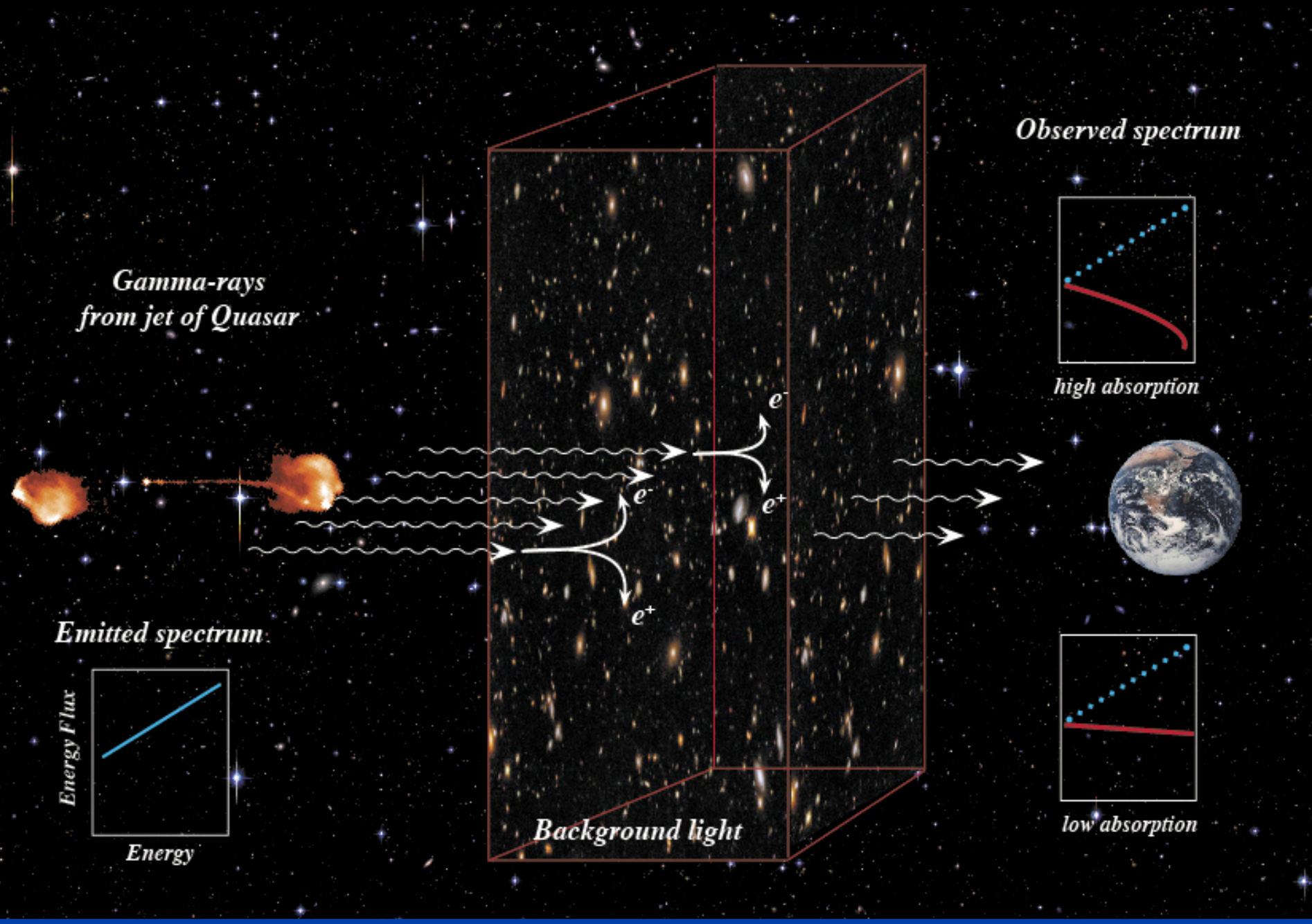


Stelle nel visibile e vicino infrarosso

Propagazione dei fotoni (E > 100 GeV)

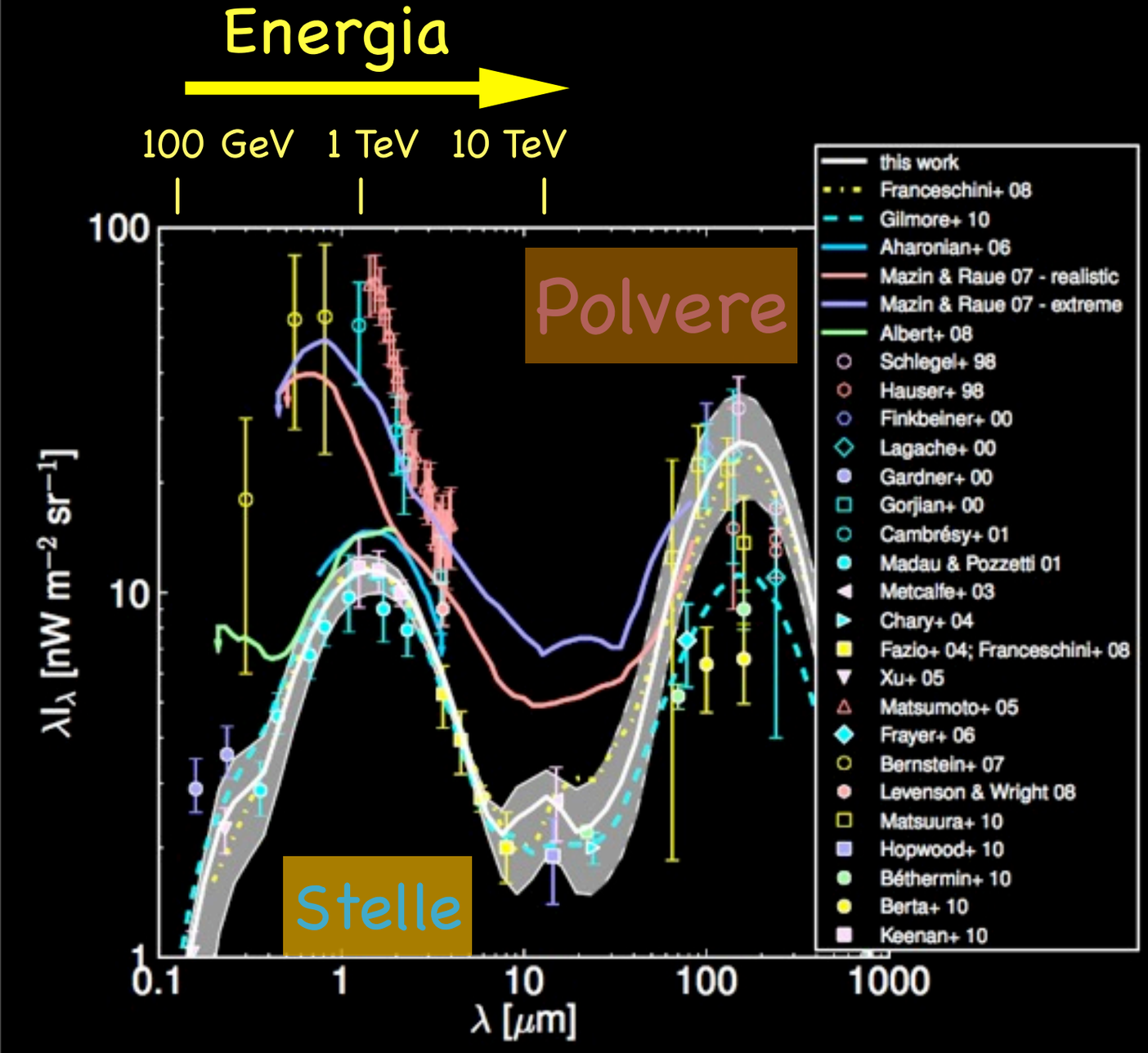


Propagazione dei fotoni (E > 100 GeV)

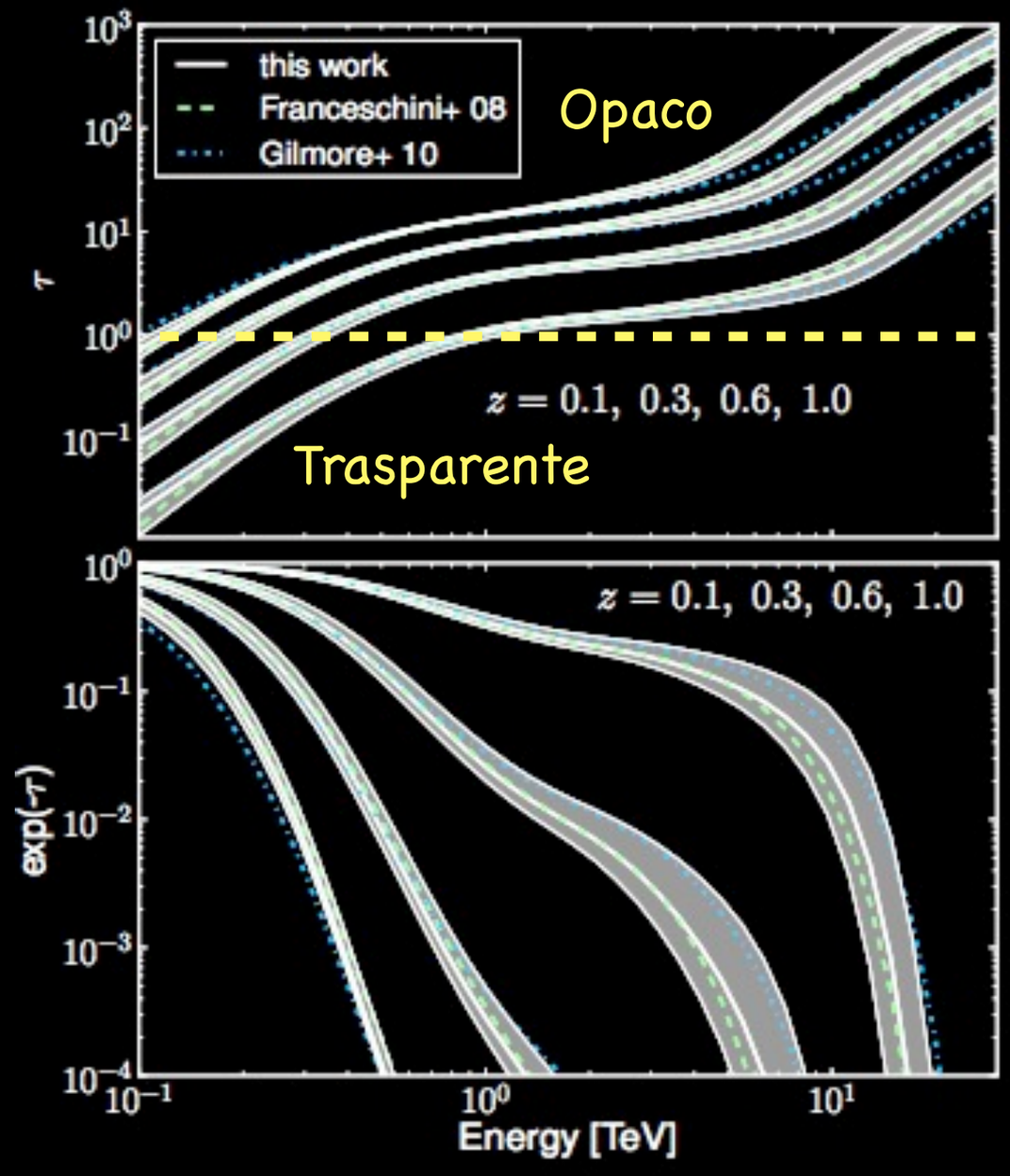


L'osservazione dei blazar nella banda VHE permette misura del fondo infrarosso: importante per l'evoluzione delle galassie e la cosmologia

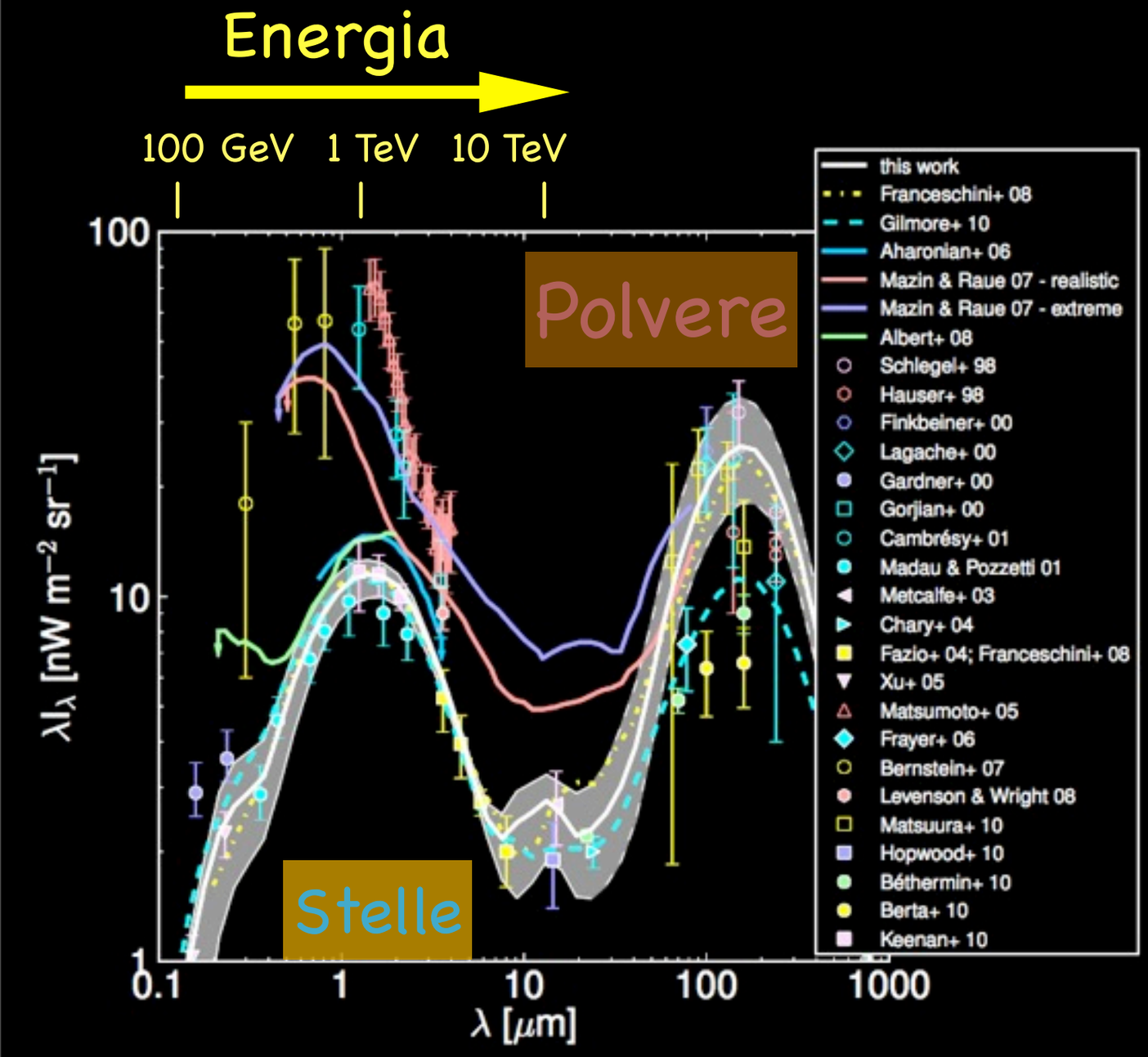
Fondo diffuso extra-galattico



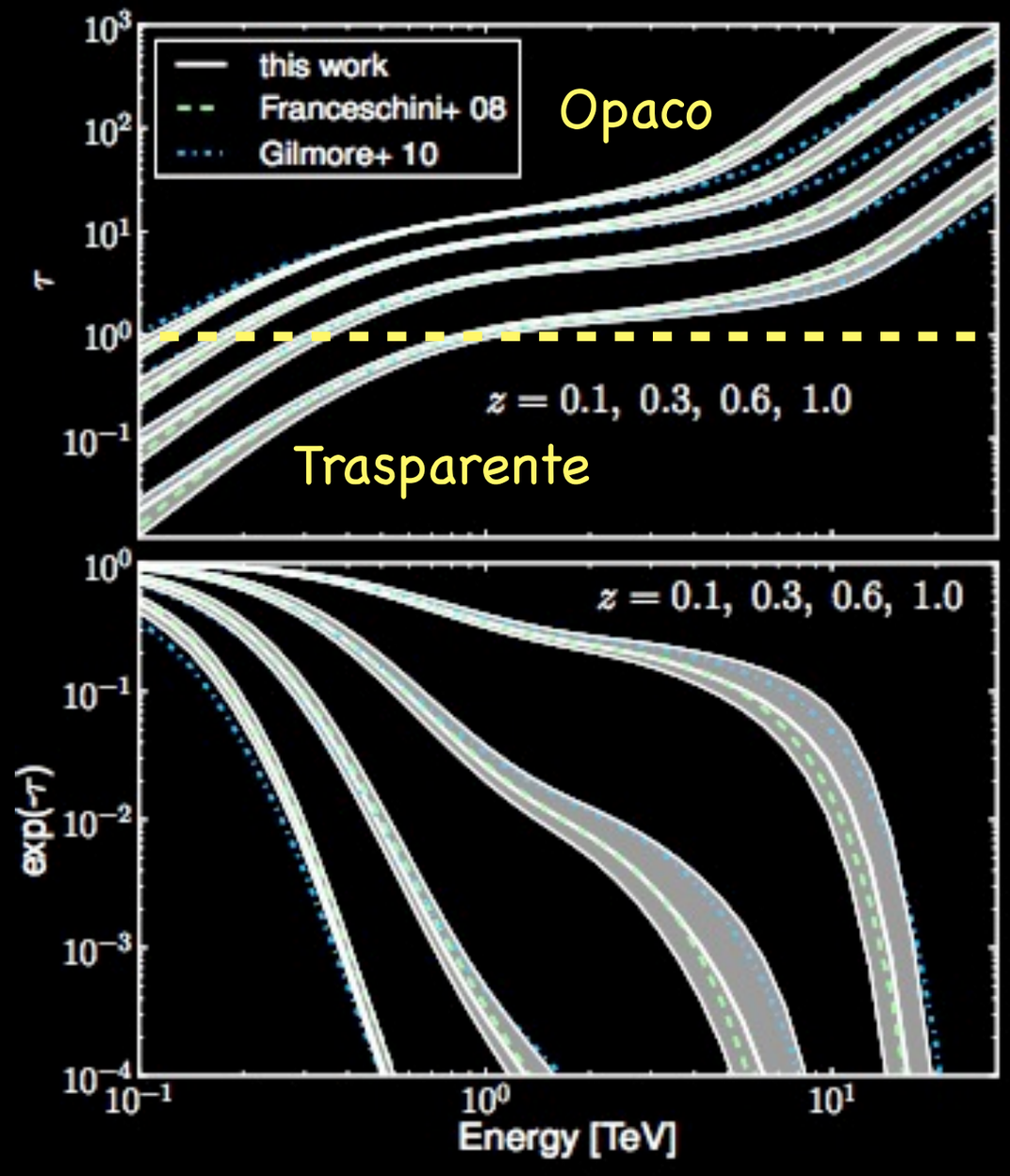
Dominguez-Diaz et al. 2010



Fondo diffuso extra-galattico



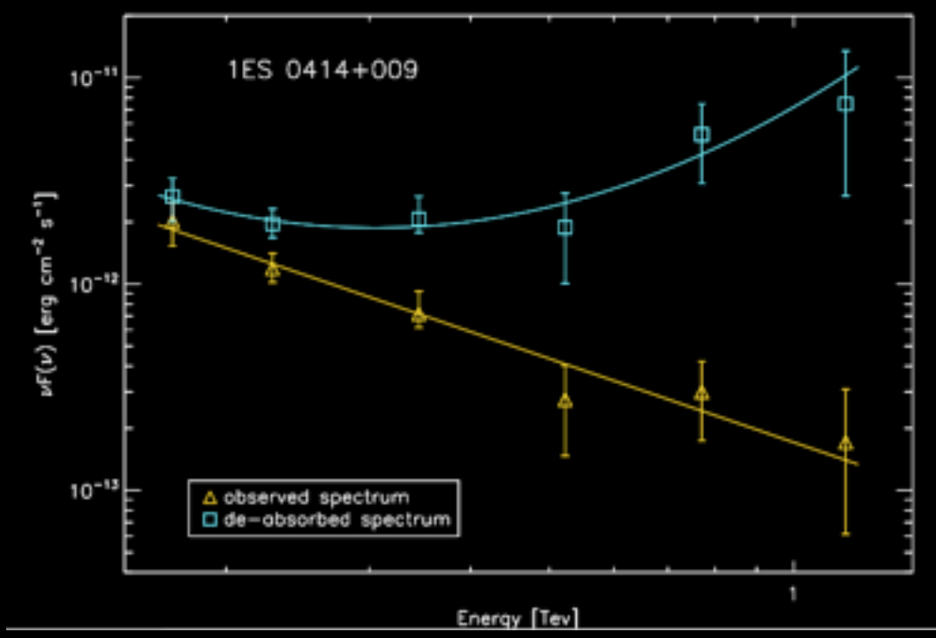
Dominguez-Diaz et al. 2010



L'assorbimento produce un orizzonte oltre cui non vedo i fotoni VHE

Un Universo troppo trasparente?

3C 279 a z=0.536 segnale fino a 600 GeV



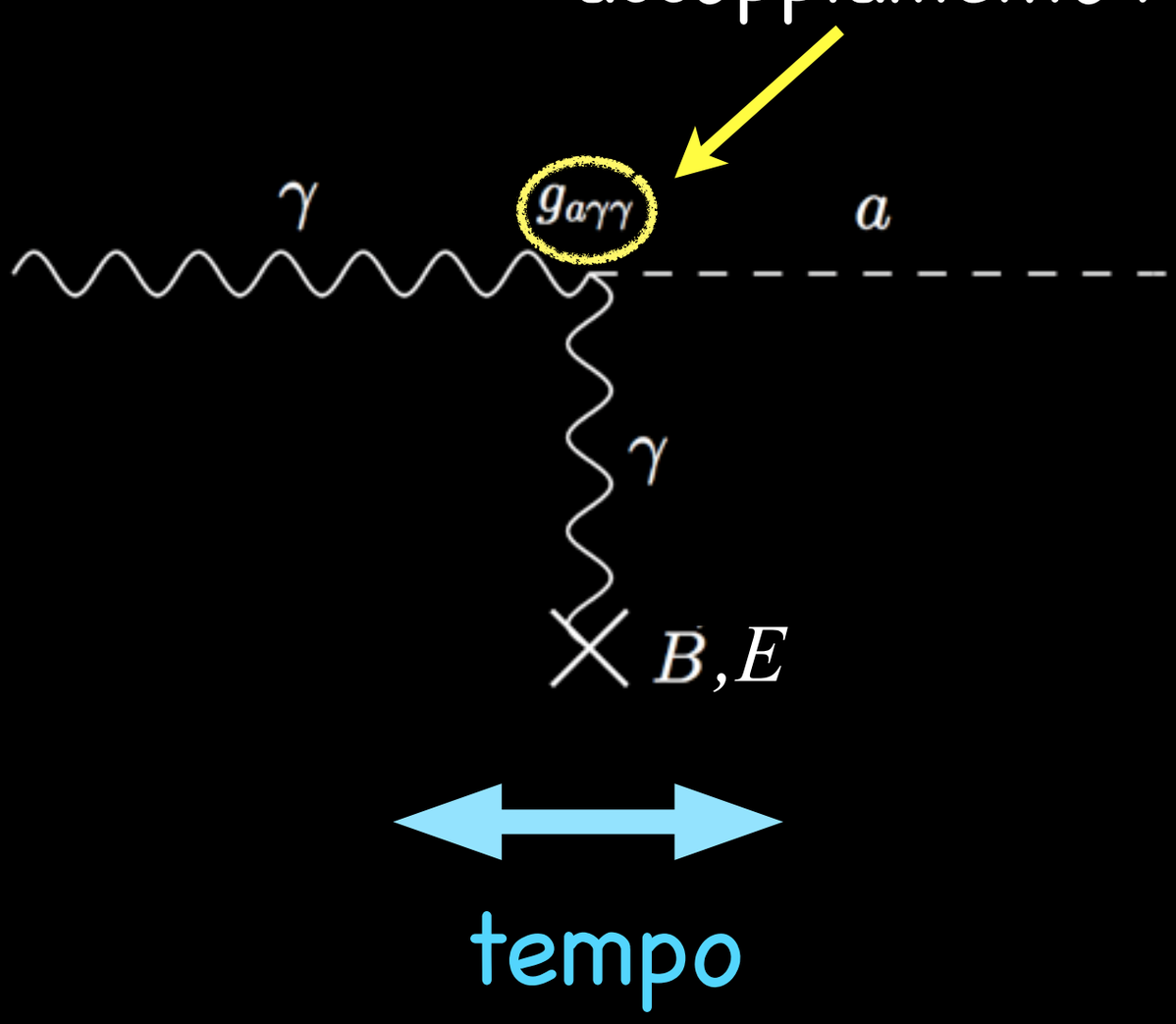
Molti altri blazar hanno uno spettro TeV troppo intenso se correggiamo la radiazione che vediamo con l'assorbimento che ci aspettiamo:

sovrastimiamo il fondo EBL?

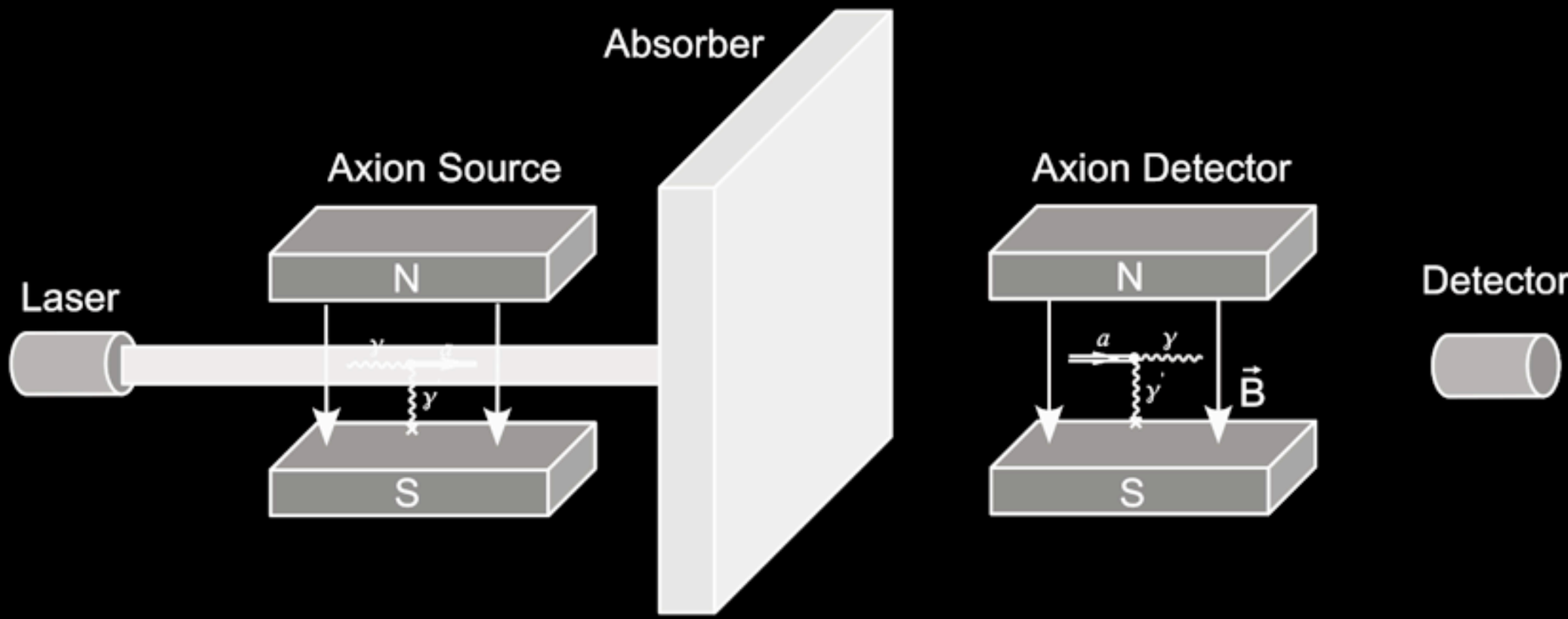
Oscillazioni fotone-assione?

Assioni e particelle Axion-like (ALP)

ALP interagiscono a 2 fotoni



"La luce che attraversa i muri"



ALPS@DESY (Hamburg)

Il sole come sorgente di ALP

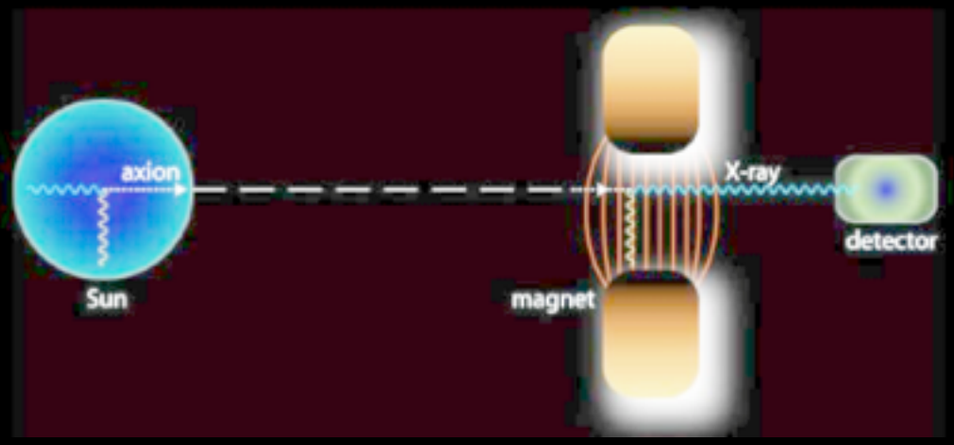
Fotoni convertiti in ALP

↓

Attraversamento del muro

↓

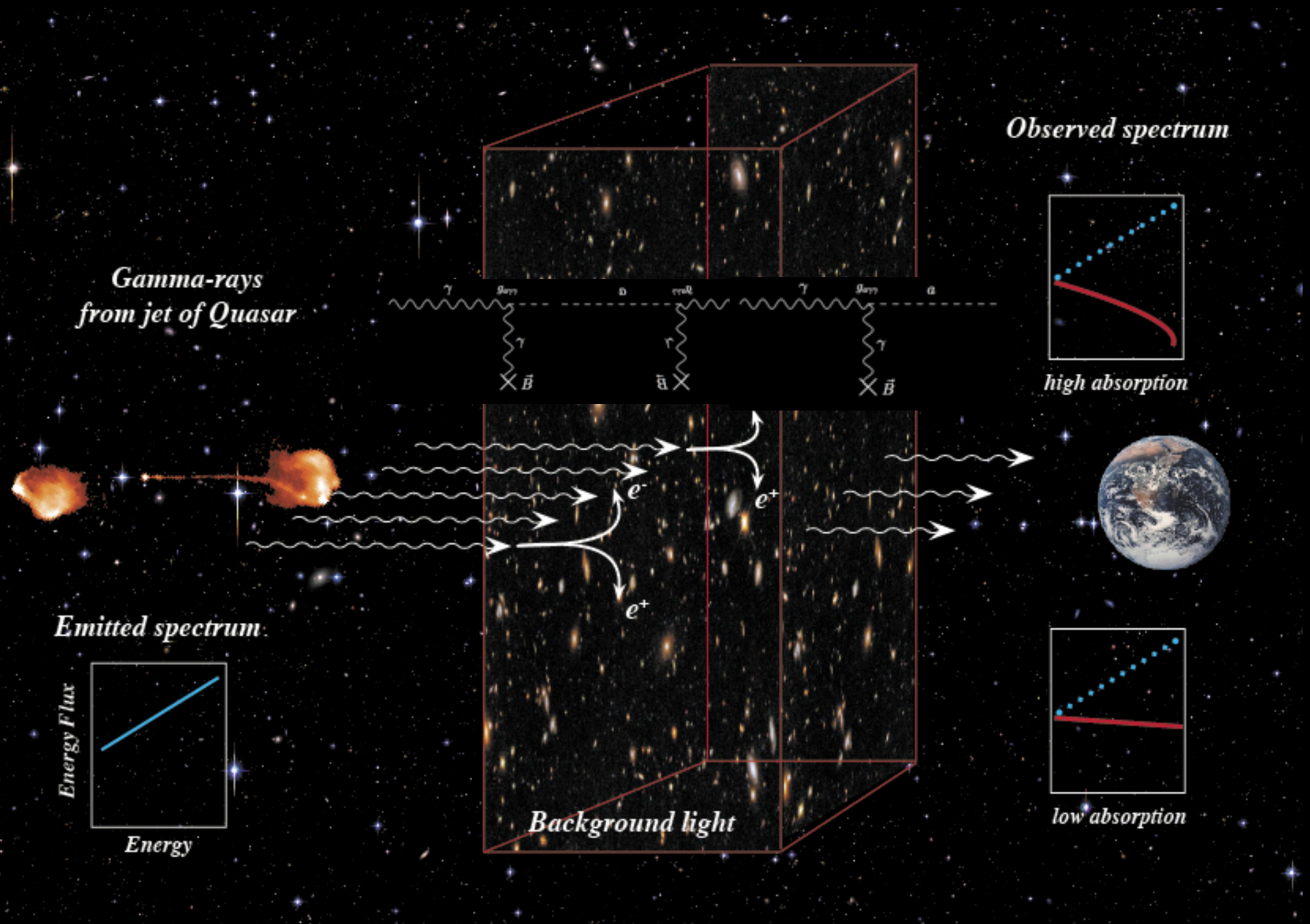
Riconversione in fotoni X
~8 keV (dipende dal campo magnetico)



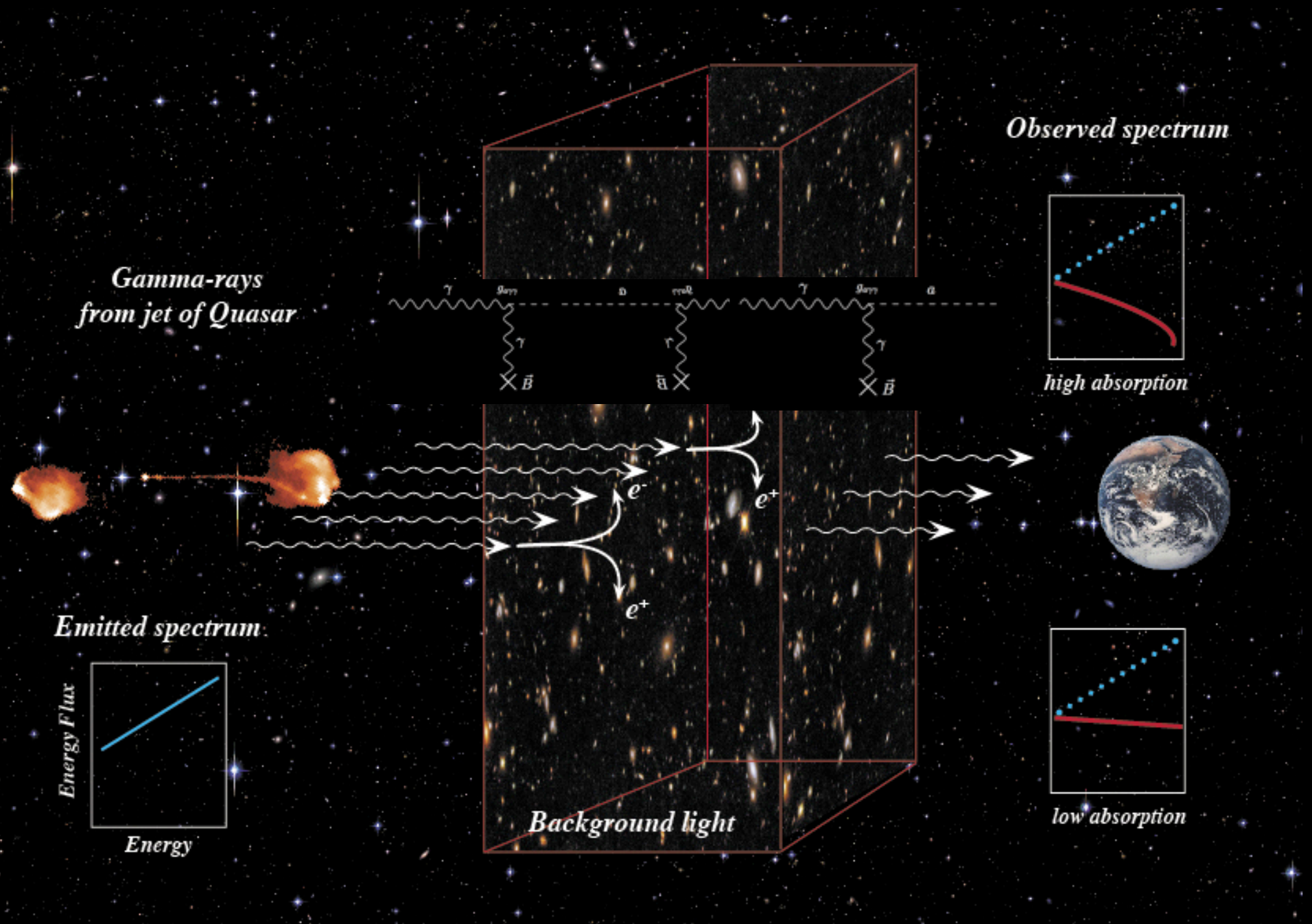
CAST@CERN

"Assionoscopio"

Illuminare al di là dal muro....



Illuminare al di là dal muro....



Alternativa: trasparenza anomala da violazioni dell'invarianza di Lorentz (QG)

Il futuro:

Cherenkov Telescope Array

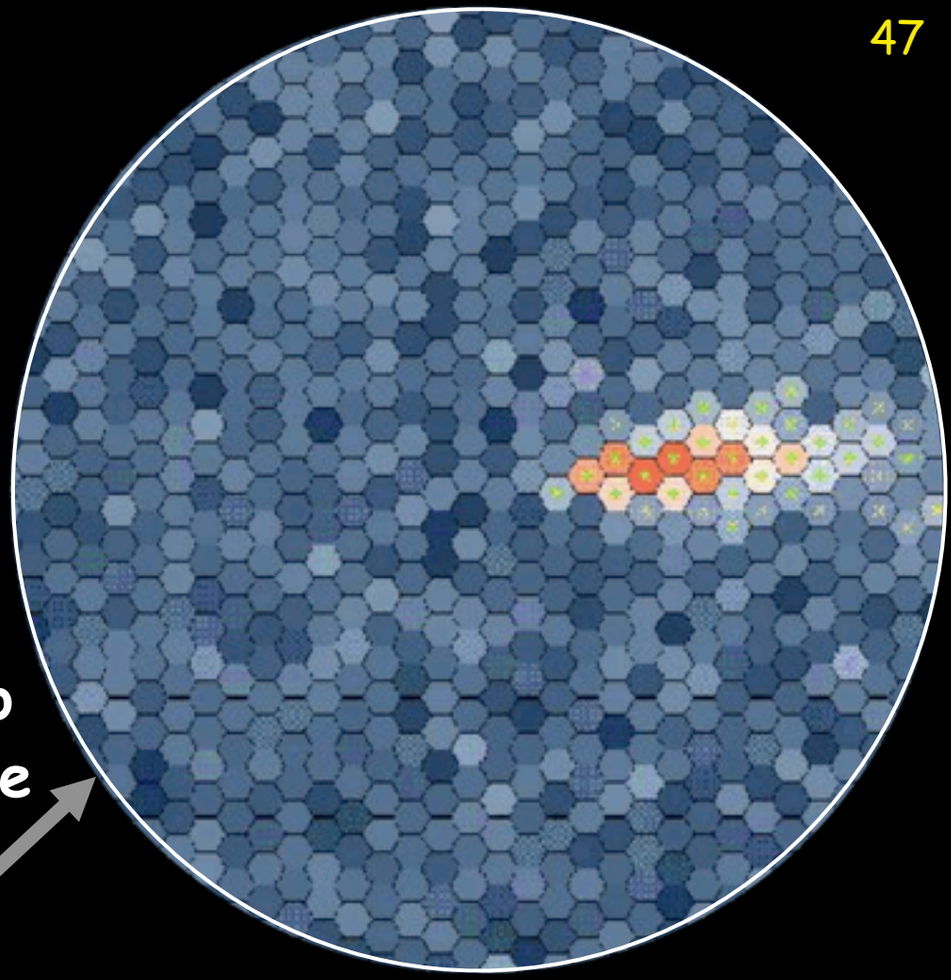
Il metodo

Fotone γ primario

~ 10 km

Sciame di particelle

Piano Focale



~ 100 m

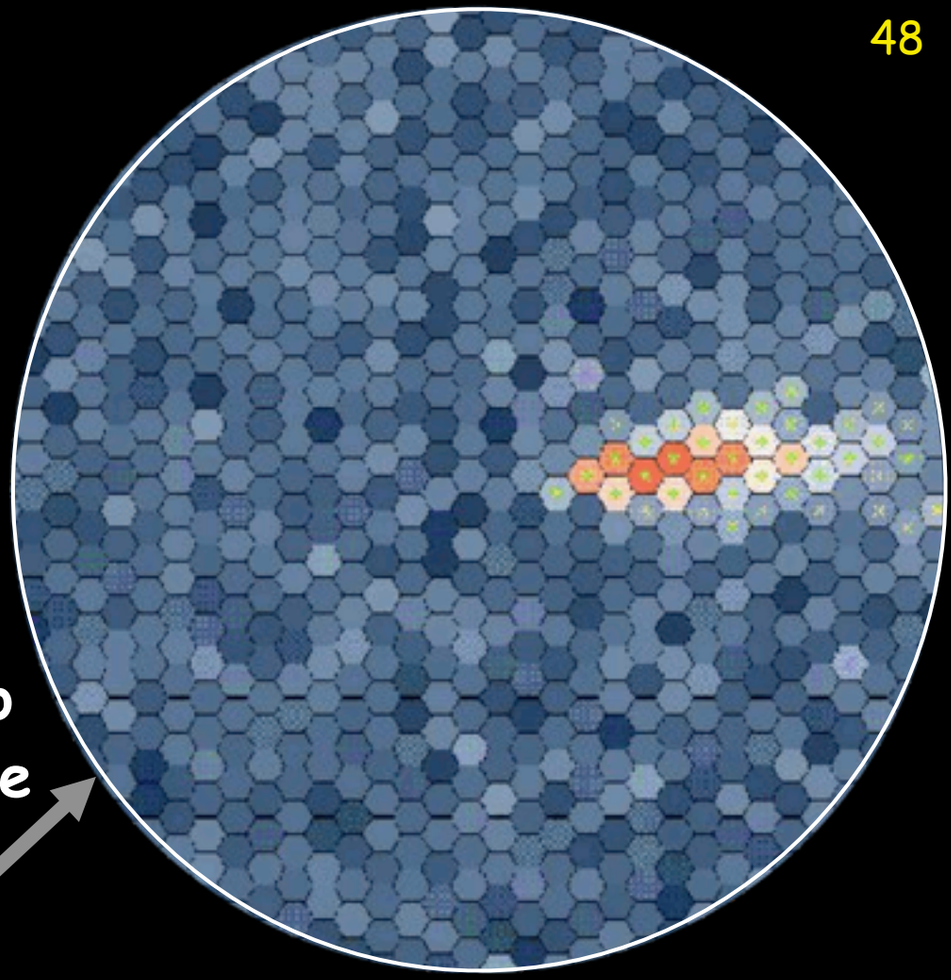
Il metodo

Fotone γ primario

~ 10 km

Sciame di particelle

Piano Focale



~ 100 m

Dall' analisi delle immagini:

→ Reiezione del fondo

→ Energia dei fotoni

→ Direzione di arrivo

Area efficace ~10^5 m^2
Risoluzione energetica ~ 20%

NB: ~10^{-12} erg cm^{-2} s^{-1} =
0.2 photons/m^2/year @1 TeV

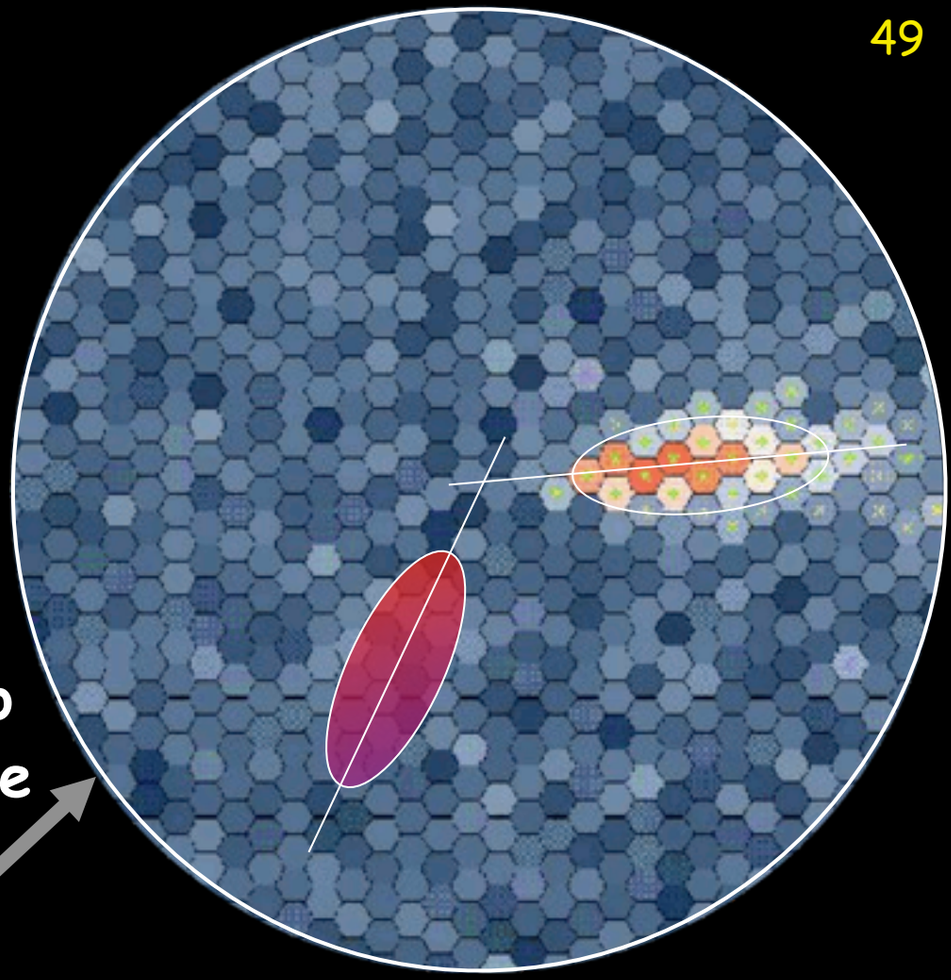
Il metodo

Fotone γ primario

~ 10 km

Sciame di particelle

Piano Focale



~ 100 m

Dall' analisi delle immagini:

→ Reiezione del fondo

→ Energia dei fotoni

→ Direzione di arrivo

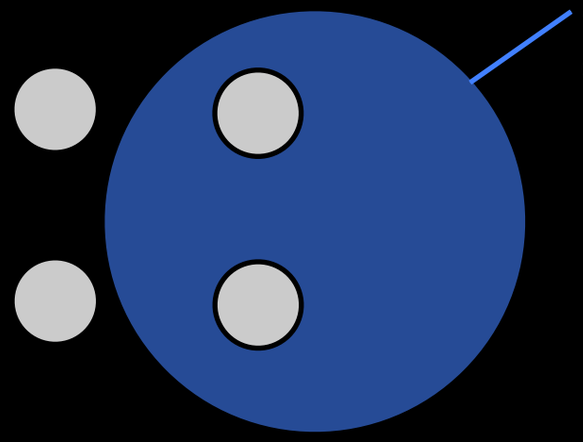
Vista stereoscopica migliora:

→ la reiezione del fondo

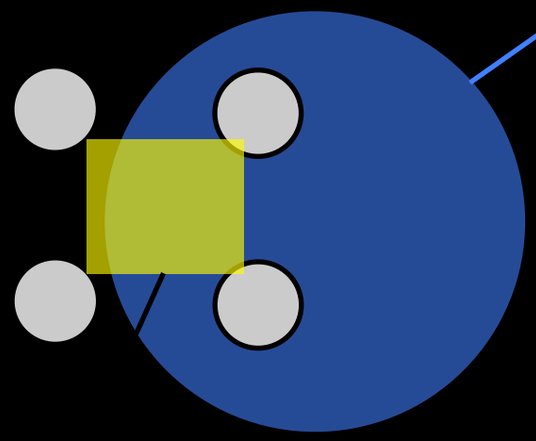
→ la risoluzione angolare

→ la risoluzione energetica

L'appetito vien mangiando....

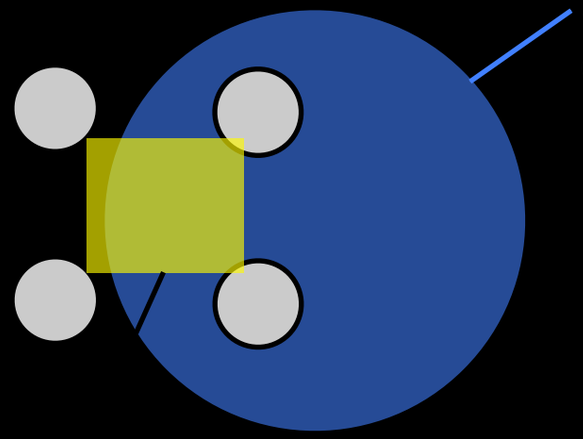


L'appetito vien mangiando....



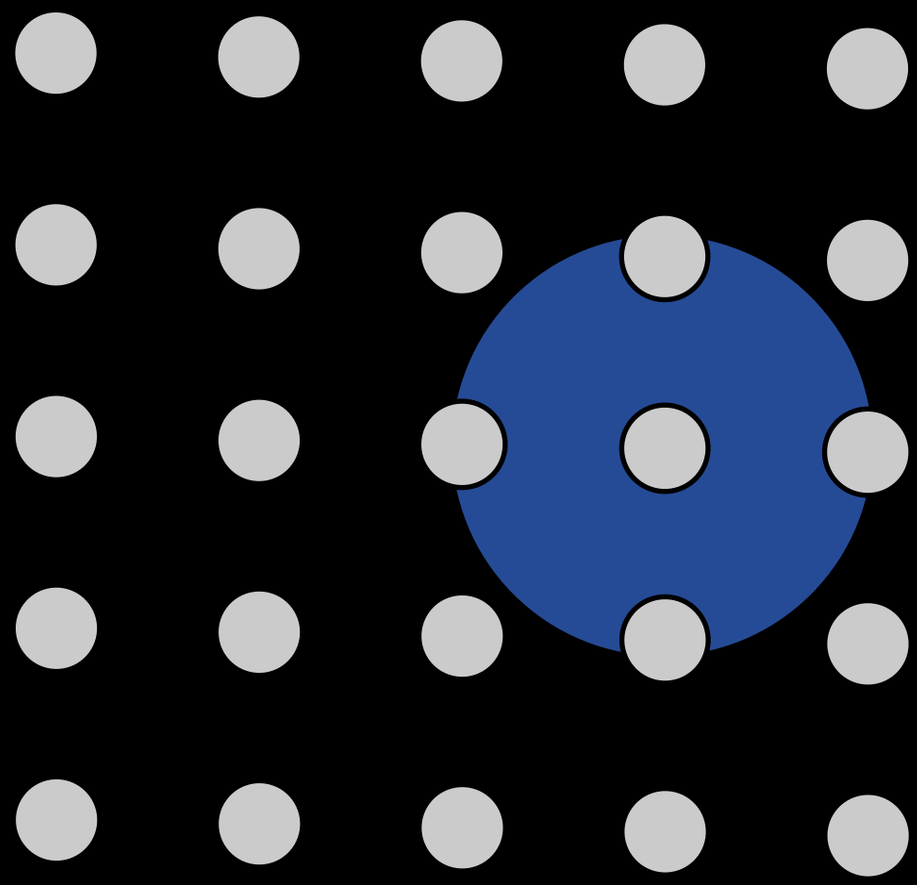
Per interessare tutti i 4 telescopi lo sciame
deve puntare alla zona gialla
la maggior parte degli sciami non lo fa!

L'appetito vien mangiando....

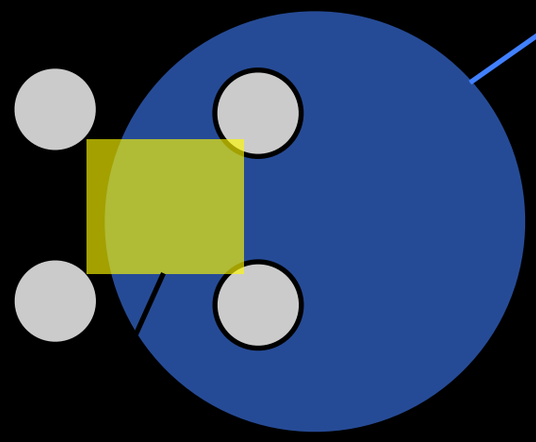


Per interessare tutti i 4 telescopi lo sciame deve puntare alla zona gialla

la maggior parte degli sciami non lo fa!

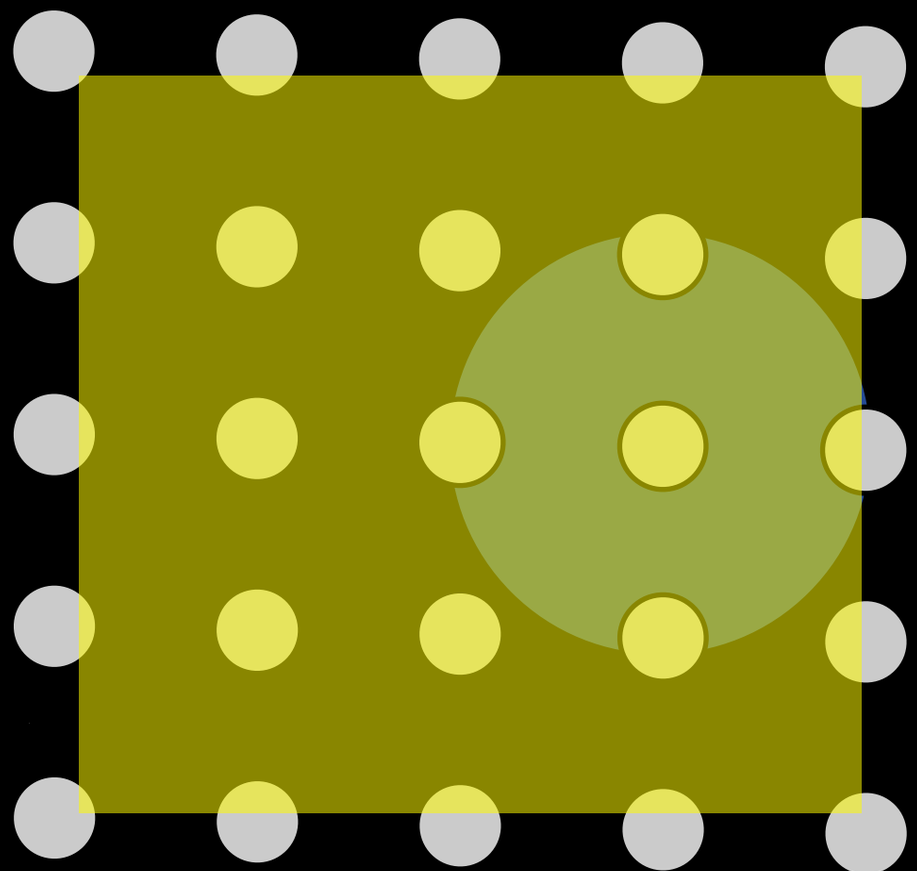


L'appetito vien mangiando....



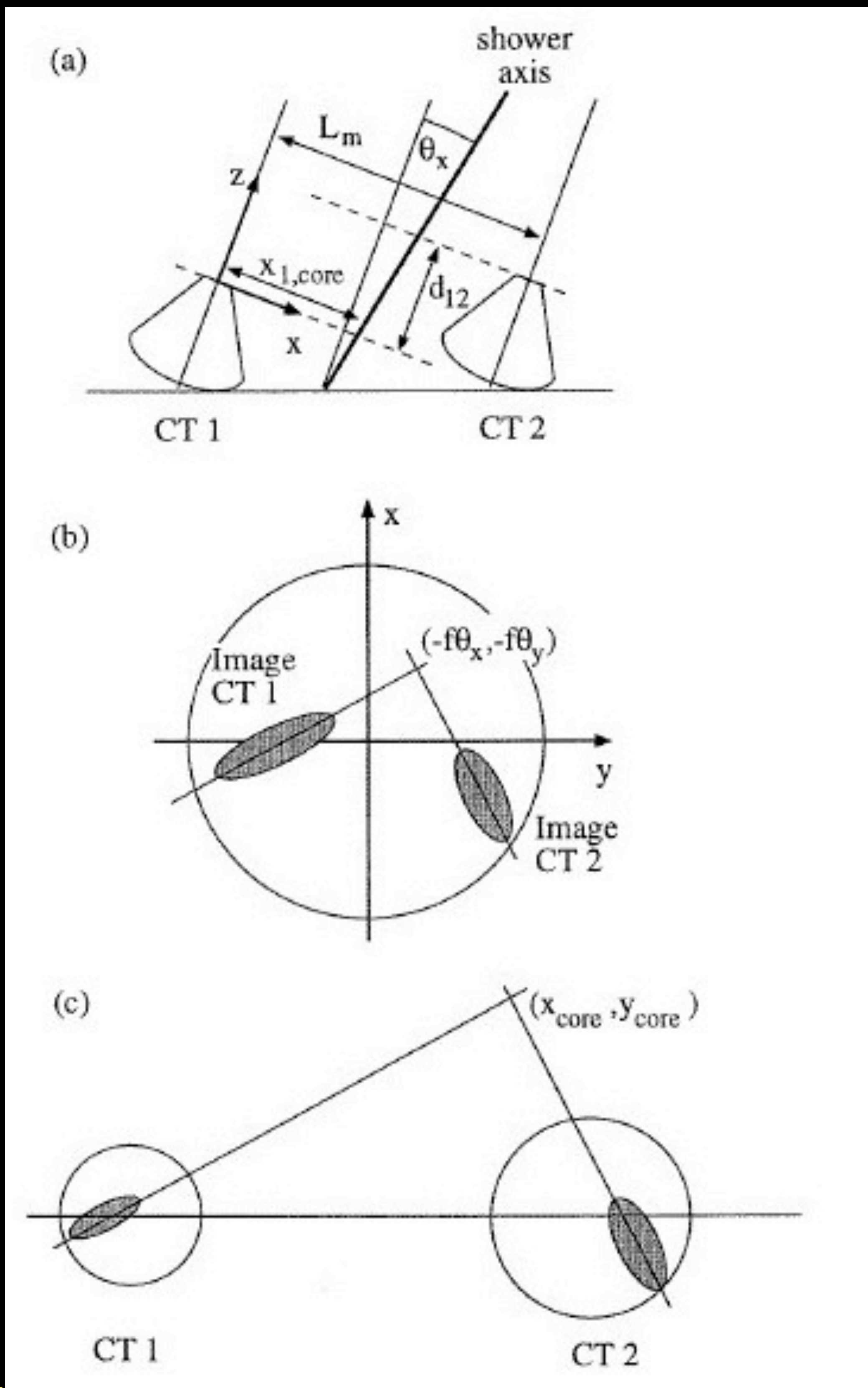
area illuminata
R ≈100-150 m
distanza tipica tra i telescopi è leggermente inferiore

Per interessare tutti i 4 telescopi lo sciame deve puntare alla zona gialla
la maggior parte degli sciami non lo fa!

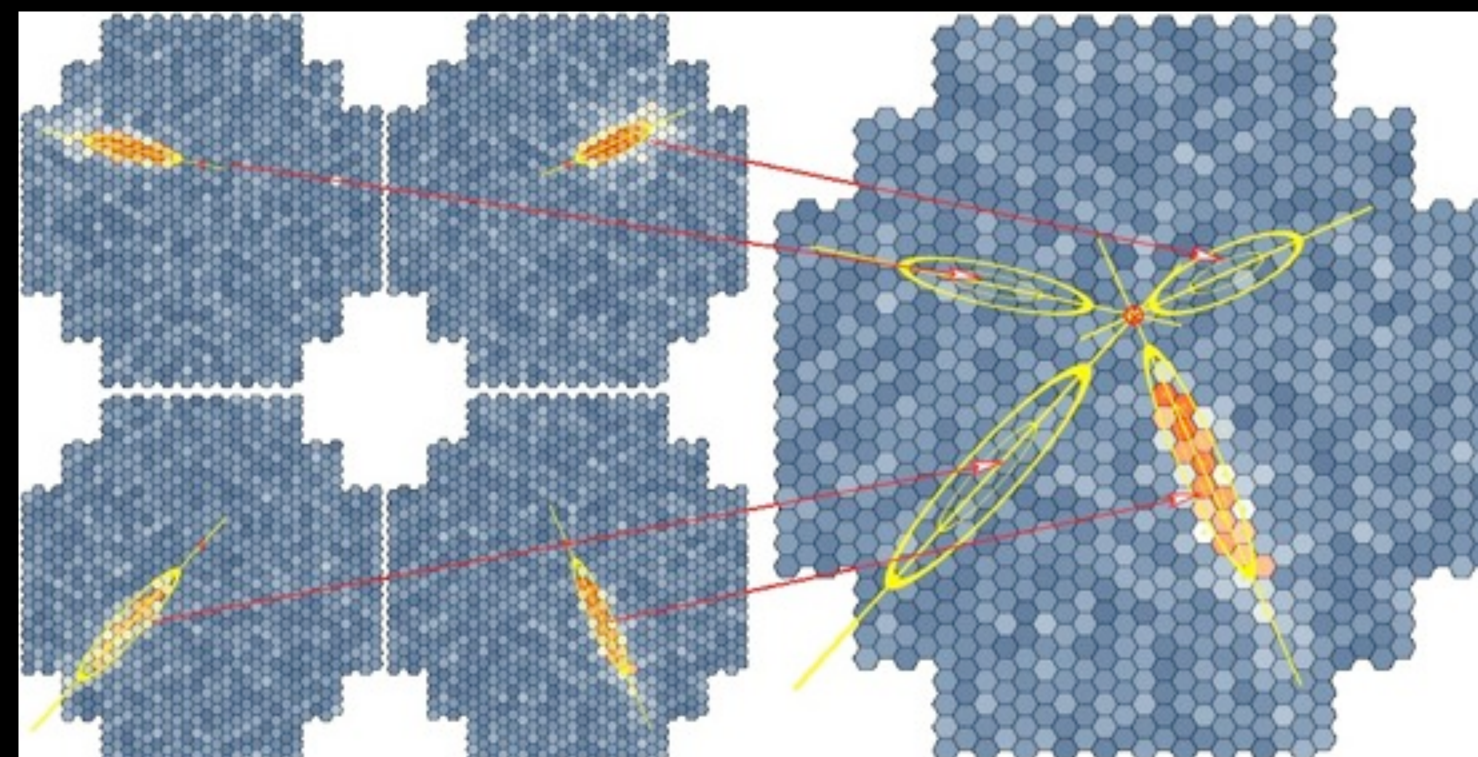


molti telescopi, grande area
più immagini per ogni sciame
soglia energetica bassa

Ricostruzione stereo



L'intersezione degli assi delle ellissi sulla volta celeste posiziona accuratamente la sorgente



L'intersezione delle proiezioni al suolo degli assi così come li vede ciascun "occhio" individua con precisione il parametro d'impatto dello sciame. Questo è determinante per ricostruire correttamente l'energia del fotone primario

Cosa uno vorrebbe:

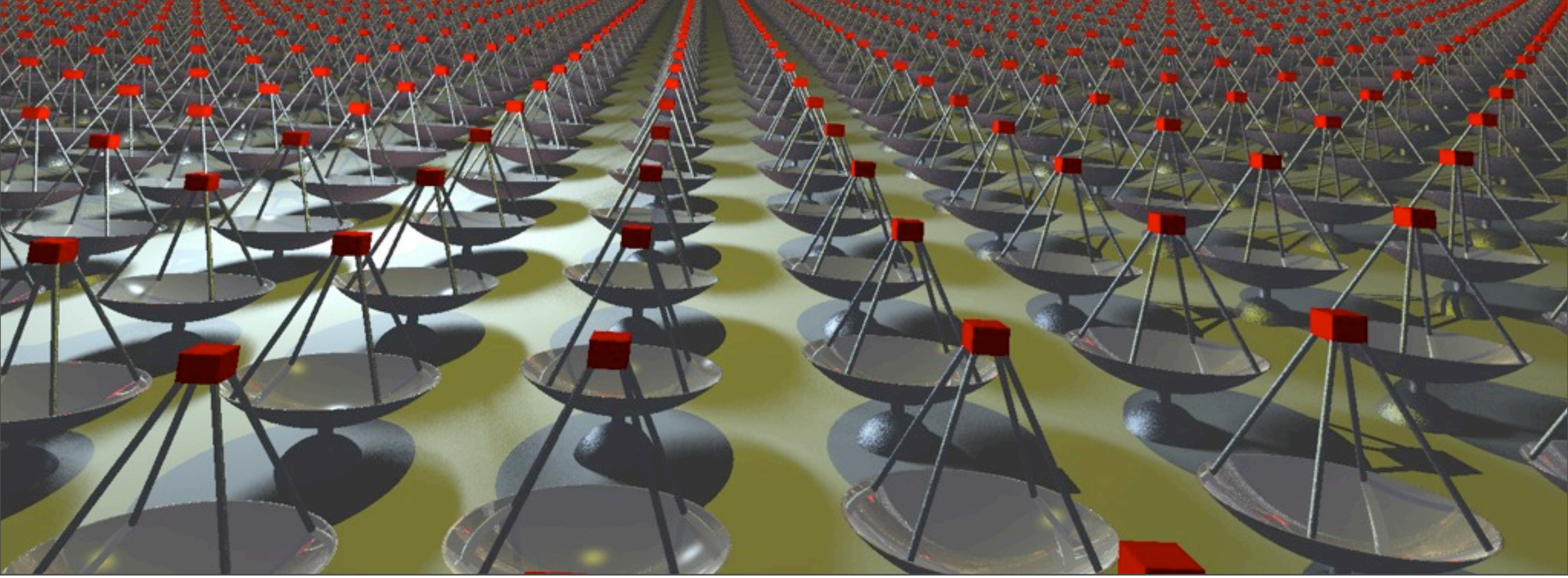
Cosa uno vorrebbe:

Prestazione limitata solo dalle fluttuazioni statistiche nello sviluppo dei singoli sciami

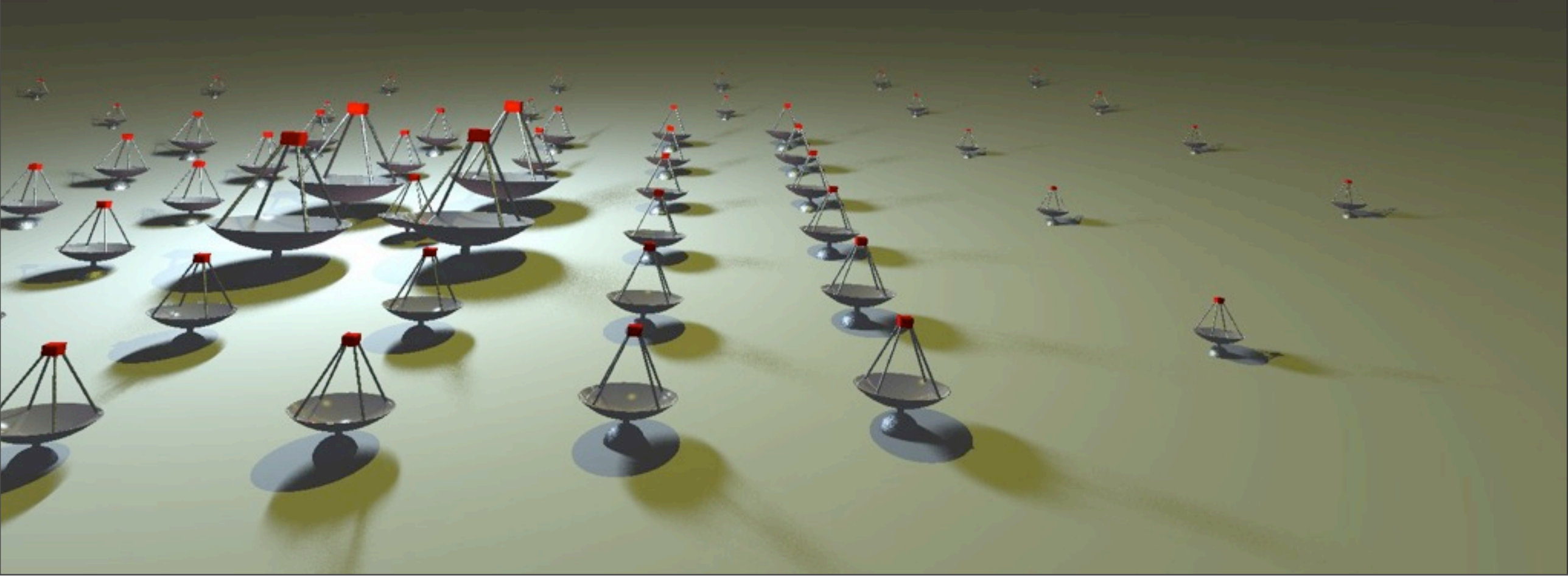
➜

risoluzione angolare 25"@ 1 TeV

7" @ 10 TeV



Cosa potremo permetterci:



(una) configurazione possibile

Sito Australe, 100 M€ (prezzi 2006)

Basse energie:

4 x 23 m tel. (LST)

- parabolici
- FOV: 4-5°

soglia a 10-20 GeV

(una) configurazione possibile

Sito Australe, 100 M€ (prezzi 2006)

Basse energie:

4 x 23 m tel. (LST)

- parabolici
- FOV: 4-5°

soglia a 10-20 GeV

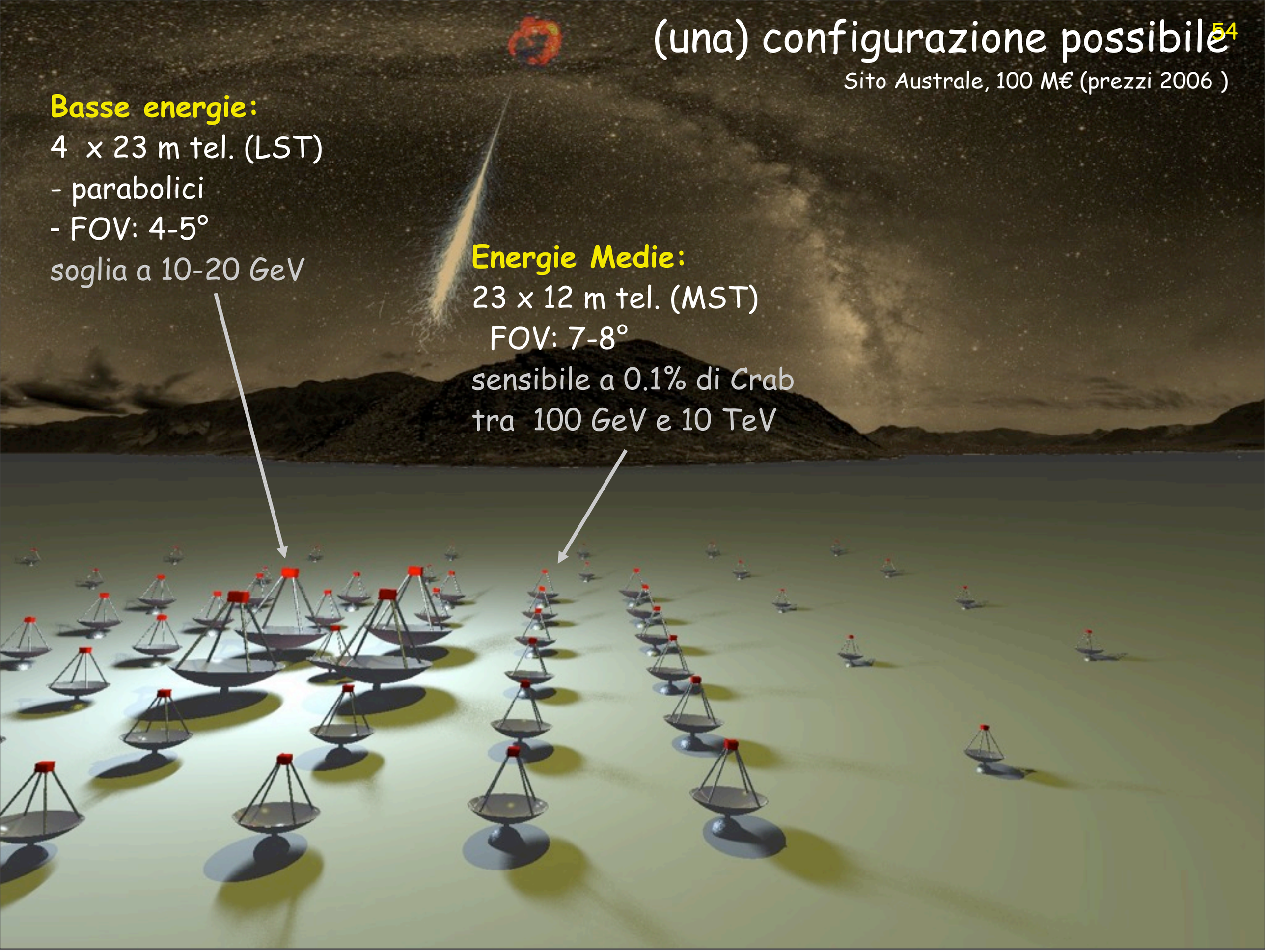
Energie Medie:

23 x 12 m tel. (MST)

FOV: 7-8°

sensibile a 0.1% di Crab

tra 100 GeV e 10 TeV



(una) configurazione possibile

Sito Australe, 100 M€ (prezzi 2006)

Basse energie:

4 x 23 m tel. (LST)

- parabolici
- FOV: 4-5°

soglia a 10-20 GeV

Energie Medie:

23 x 12 m tel. (MST)

FOV: 7-8°

sensibile a 0.1% di Crab

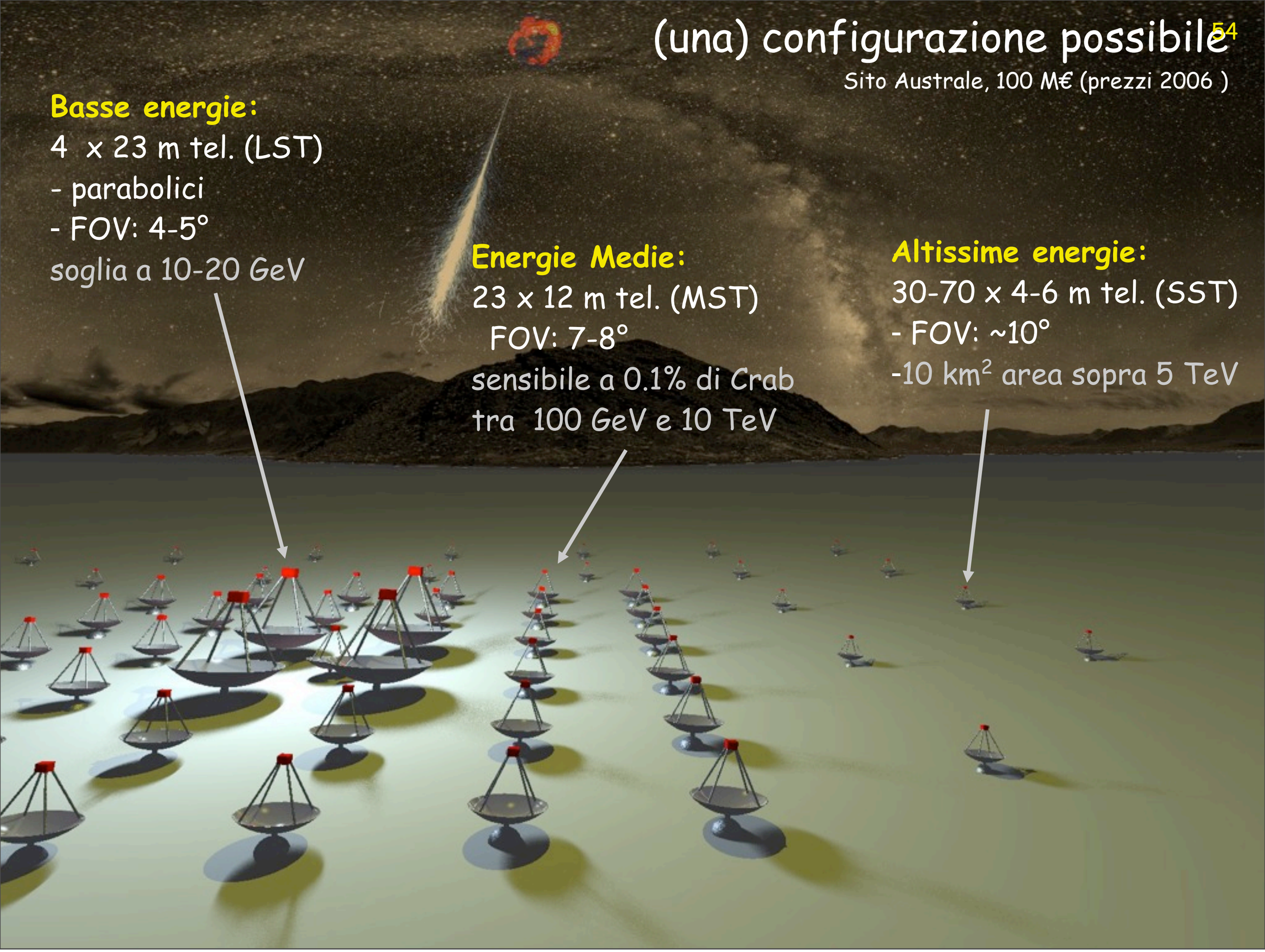
tra 100 GeV e 10 TeV

Altissime energie:

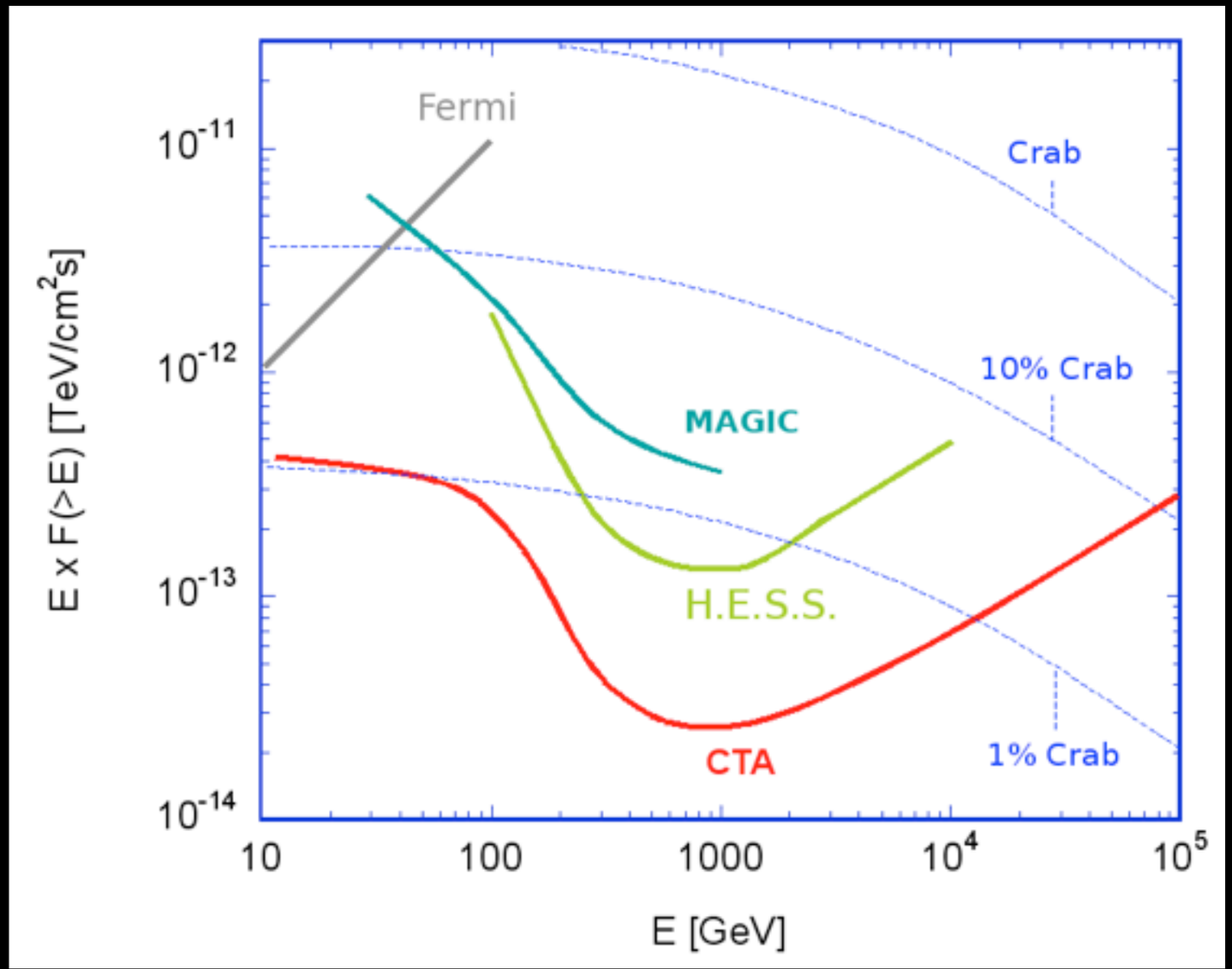
30-70 x 4-6 m tel. (SST)

- FOV: ~10°

-10 km^2 area sopra 5 TeV



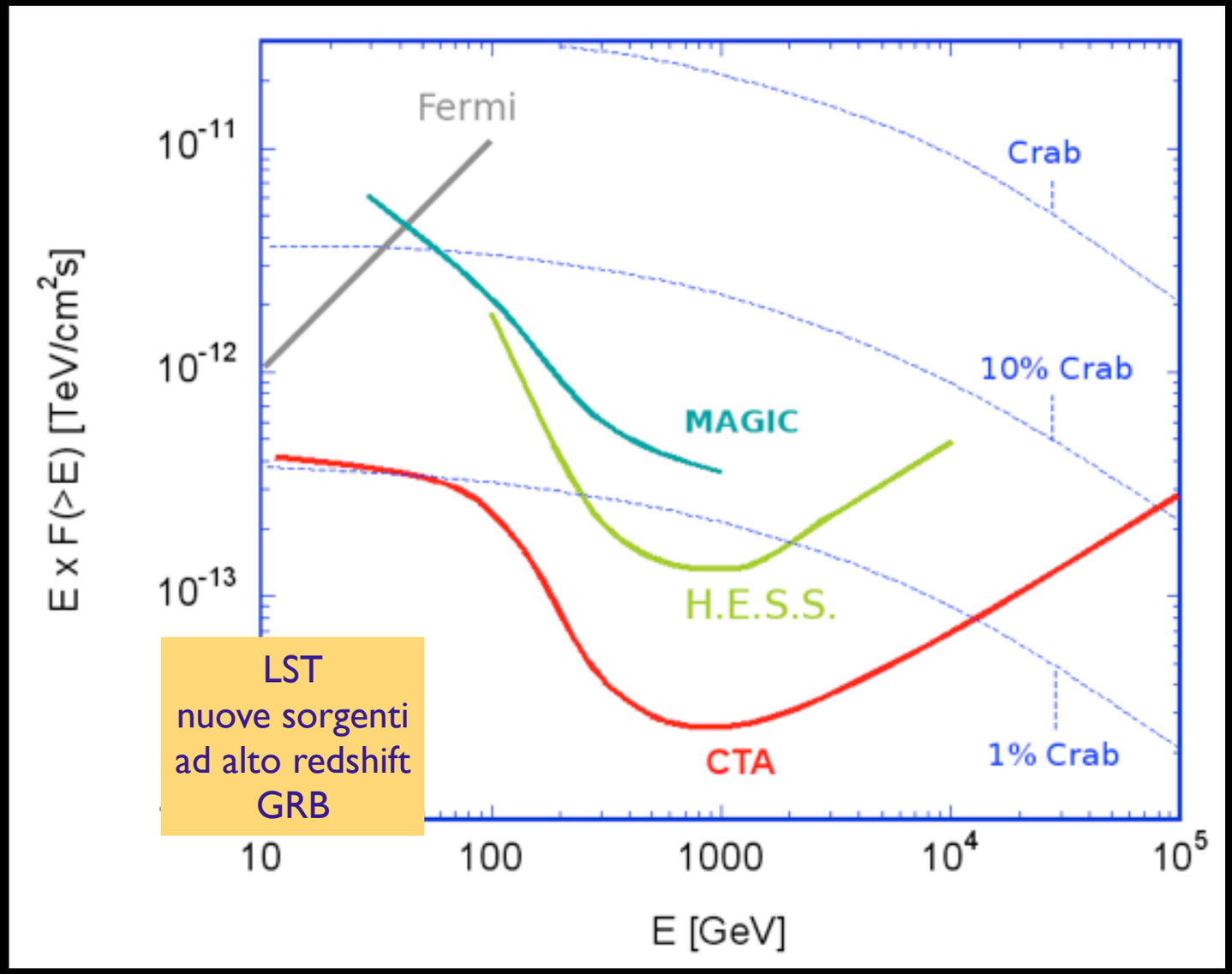
Curva di Sensibilità



Sensibilità a flussi dell'ordine di 1/1000 del flusso della Crab Nebula

Possibile osservare sorgenti ~ 10 volte più deboli dei telescopi attuali!!

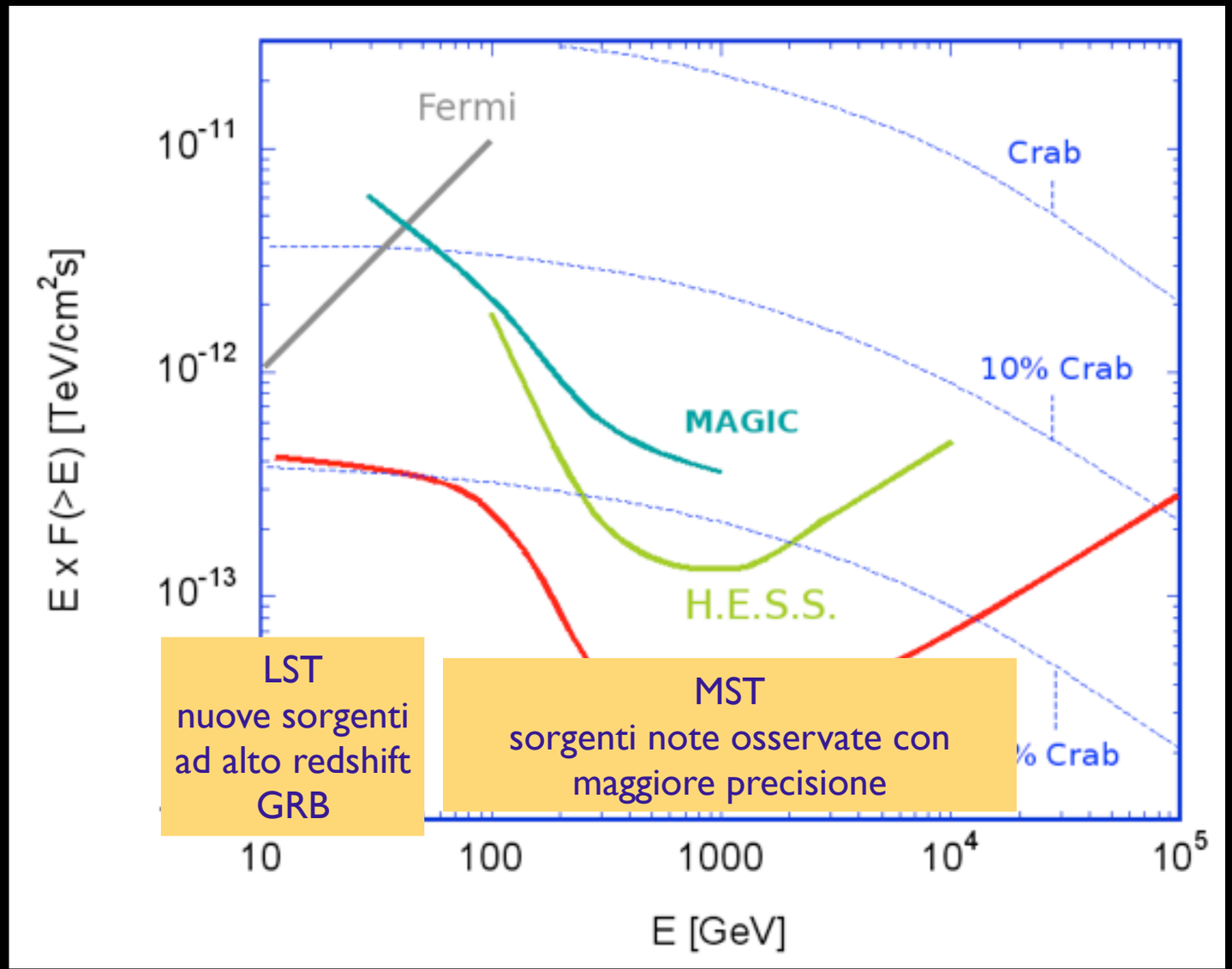
Curva di Sensibilità



Sensibilità a flussi dell'ordine di 1/1000 del flusso della Crab Nebula

Possibile osservare sorgenti ~ 10 volte più deboli dei telescopi attuali!!

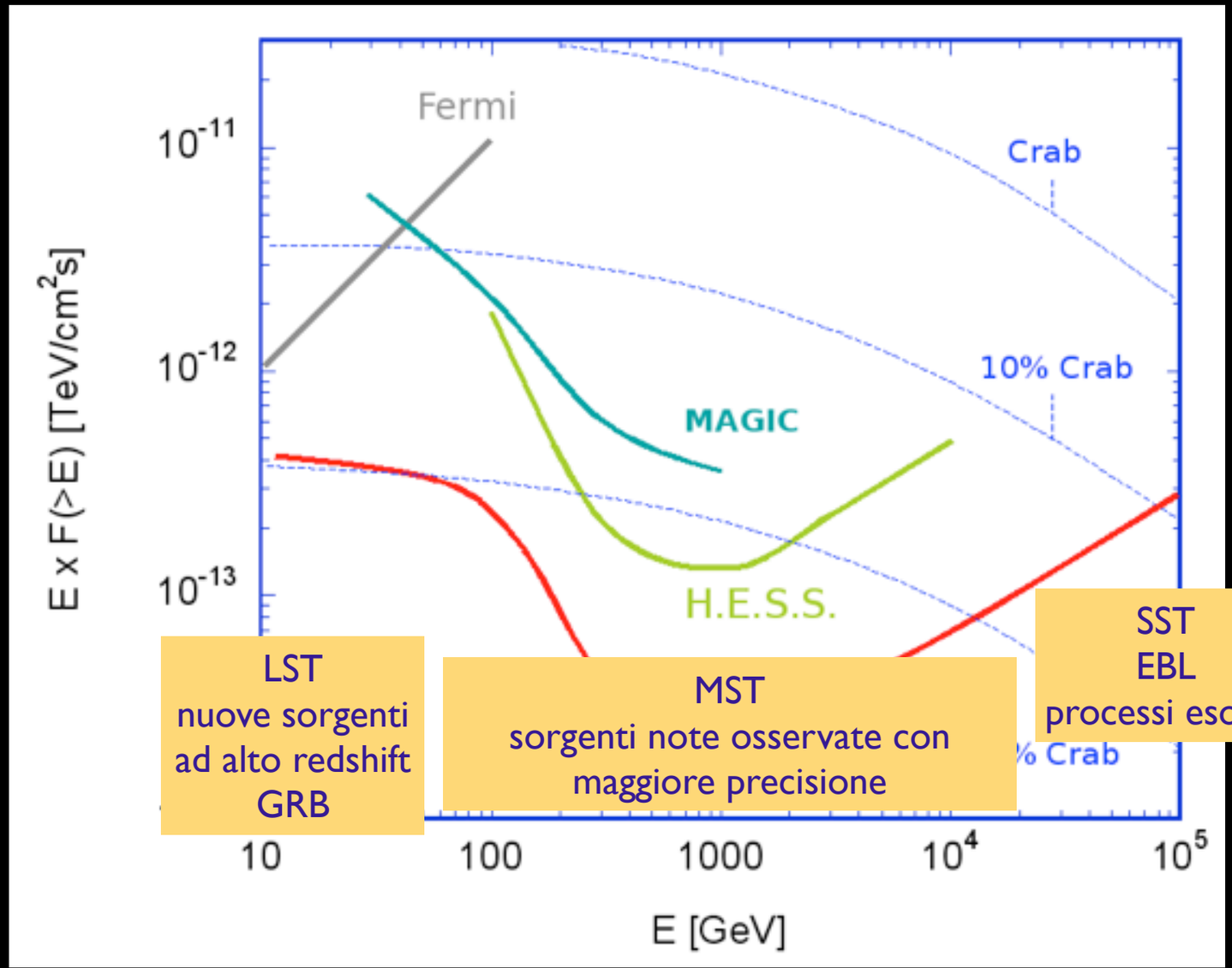
Curva di Sensibilità



Sensibilità a flussi dell'ordine di 1/1000 del flusso della Crab Nebula

Possibile osservare sorgenti ~ 10 volte più deboli dei telescopi attuali!!

Curva di Sensibilità



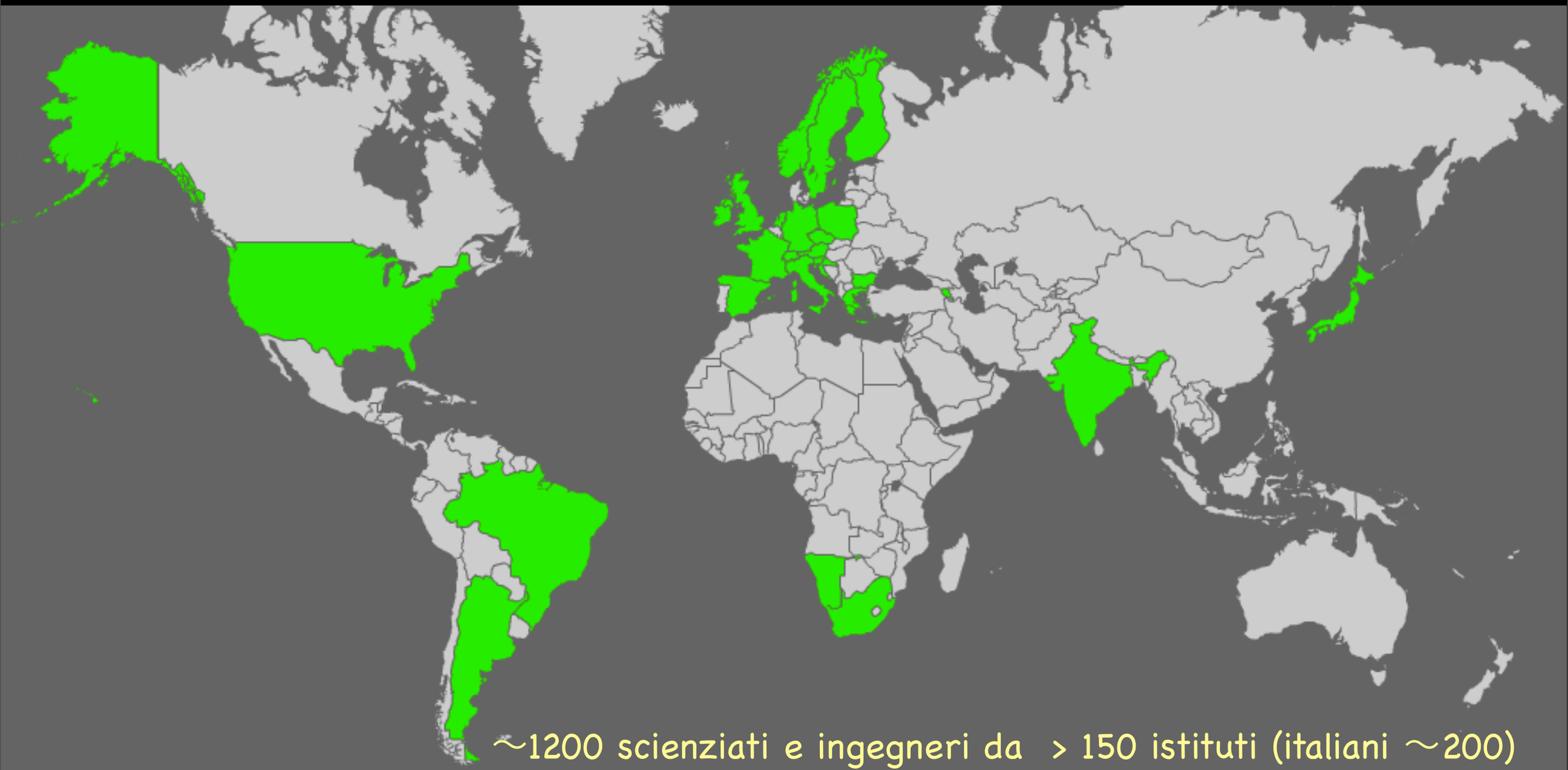
Sensibilità a flussi dell'ordine di 1/1000 del flusso della Crab Nebula

Possibile osservare sorgenti ~ 10 volte più deboli dei telescopi attuali!!

~ 70 anni dopo.....

CTA come **OSSERVATORIO**, non PIU' ESPERIMENTO

Membri CTA: 29 Paesi

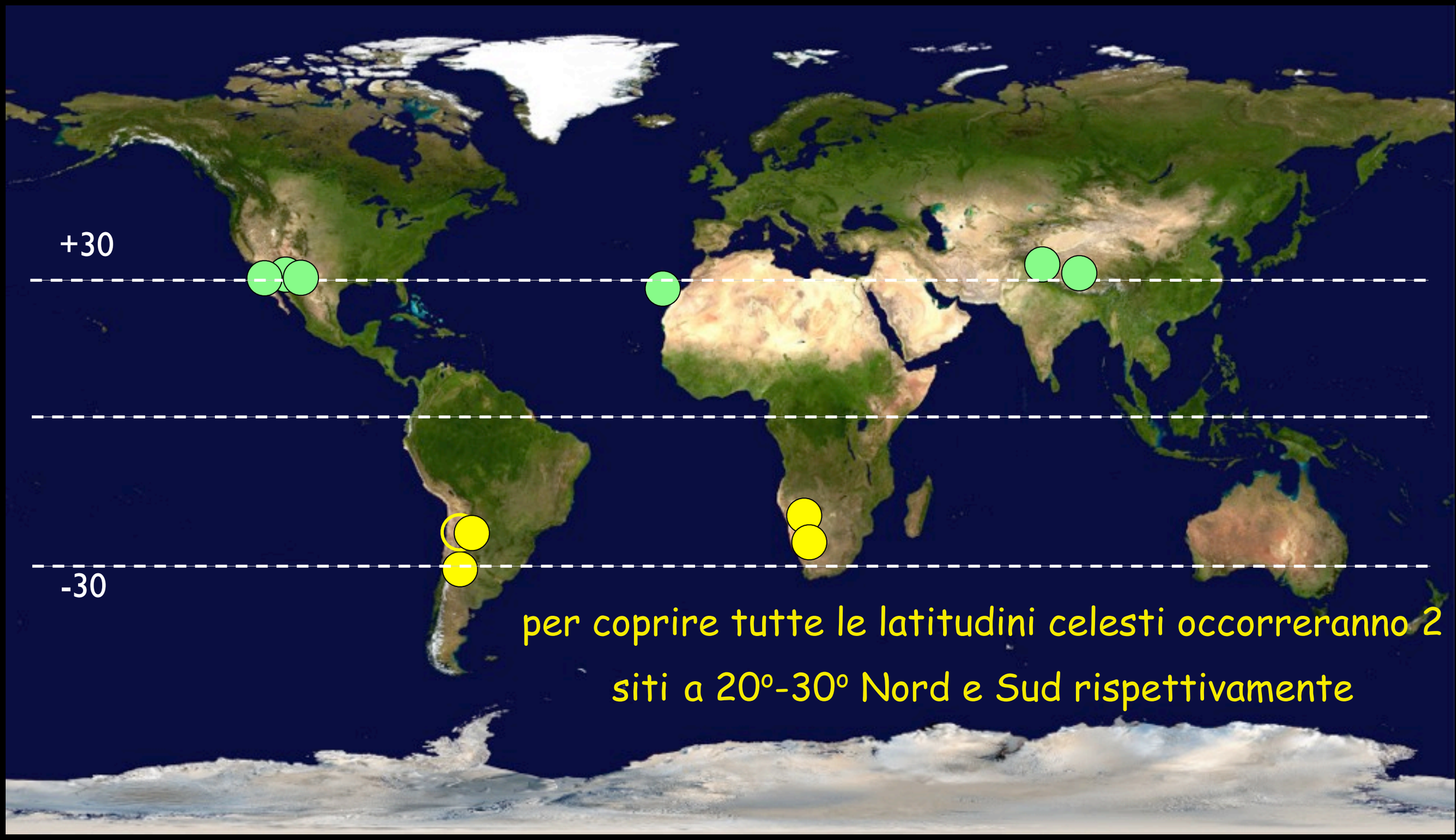


~1200 scienziati e ingegneri da > 150 istituti (italiani ~200)

Argentina, Armenia, Austria, Brazil, Bulgaria, Czech Republic, Croatia, Finland, France, Germany, Greece, India, Italy, Ireland, Japan, Namibia, Netherlands, Norway, Poland, Slovenia, Spain, South Africa, Sweden, Switzerland, UK, USA

Dove COSTRUIRLO?

Siti candidati



L'Italia (e OAB) in CTA:

il progetto ASTRI

Il progetto ASTRI

Principal Investigator G. Pareschi

Co-PIs O. Catalano & S. Vercellone
Program Manager M. Fiorini
System Engineer L. Stringhetti
INAF/CTA Responsible P. Caraveo

INAF Institutions

IASF Milano
IASF Bologna
IASF Palermo
INAF HQ Roma
OA Brera
OA Torino
OA Padova
OA Bologna
OA Arcetri
OA Roma
OA Capodimonte
OA Catania

University Partners

Univ. of Padova
Univ.. of Perugia

Il progetto ASTRI

Principal Investigator G. Pareschi

Co-PIs O. Catalano & S. Vercellone
Program Manager M. Fiorini
System Engineer L. Stringhetti
INAF/CTA Responsible P. Caraveo

INAF Institutions

IASF Milano
IASF Bologna
IASF Palermo
INAF HQ Roma
OA Brera
OA Torino
OA Padova
OA Bologna
OA Arcetri
OA Roma
OA Capodimonte
OA Catania

University Partners

Univ. of Padova
Univ.. of Perugia

Il progetto ASTRI

Principal Investigator G. Pareschi

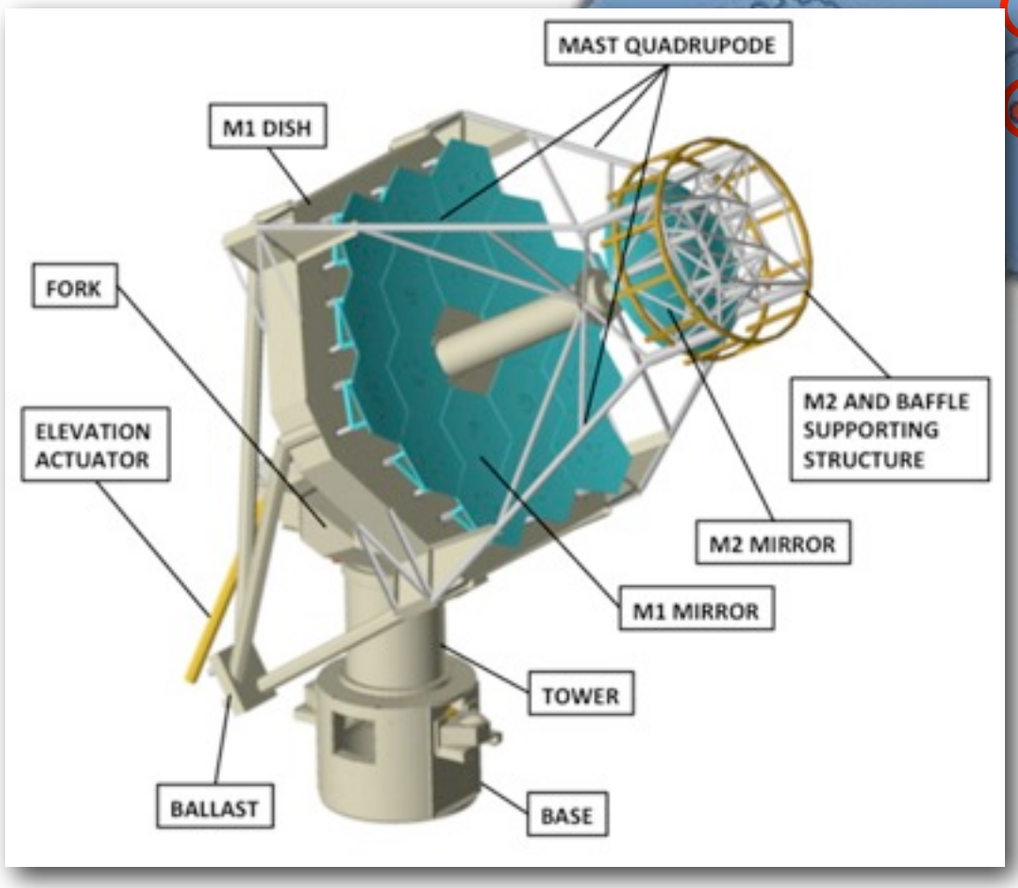
Co-PIs O. Catalano & S. Vercellone
Program Manager M. Fiorini
System Engineer L. Stringhetti
INAF/CTA Responsible P. Caraveo

INAF Institutions

IASF Milano
IASF Bologna
IASF Palermo
INAF HQ Roma
OA Brera
OA Torino
OA Padova
OA Bologna
OA Arcetri
OA Roma
OA Capodimonte
OA Catania

University Partners

Univ. of Padova
Univ.. of Perugia



ASTRI SST-2M ***concept***:
doppio specchio (Schwarschild-Couder)
grande campo (9.6°) con PSF costante

Il progetto ASTRI

Principal Investigator G. Pareschi

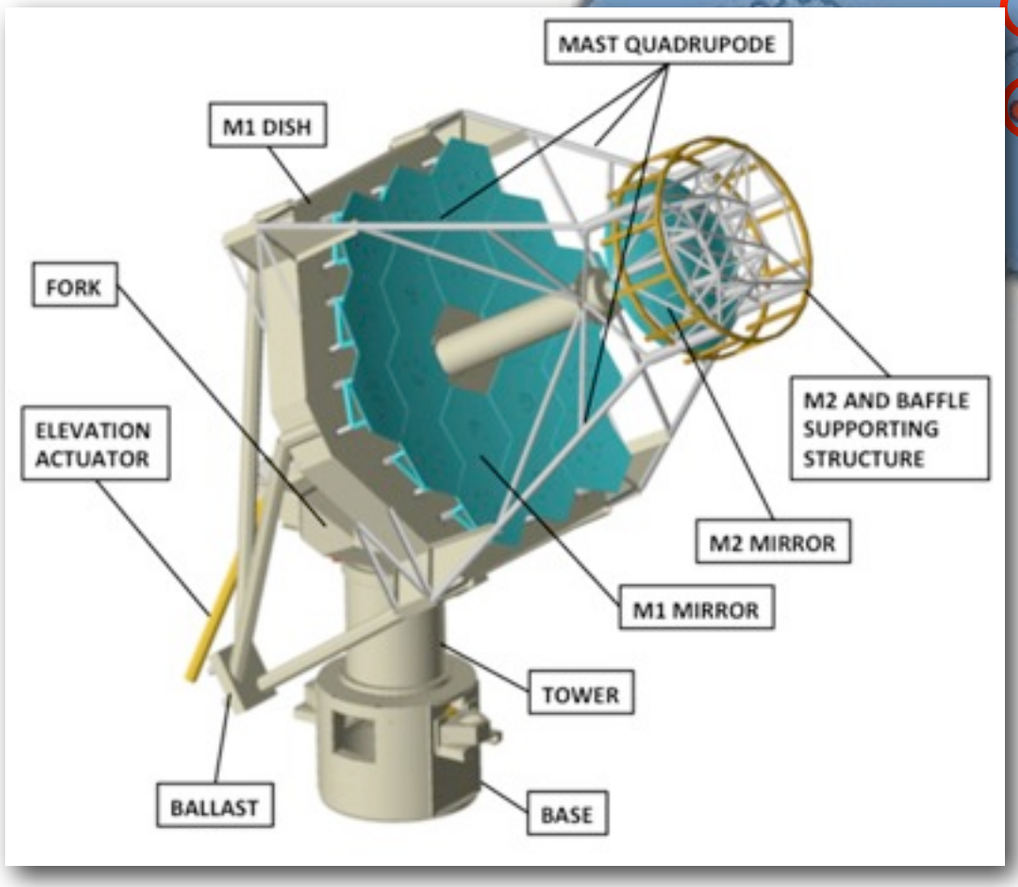
Co-PIs O. Catalano & S. Vercellone
Program Manager M. Fiorini
System Engineer L. Stringhetti
INAF/CTA Responsible P. Caraveo

INAF Institutions

IASF Milano
IASF Bologna
IASF Palermo
INAF HQ Roma
OA Brera
OA Torino
OA Padova
OA Bologna
OA Arcetri
OA Roma
OA Capodimonte
OA Catania

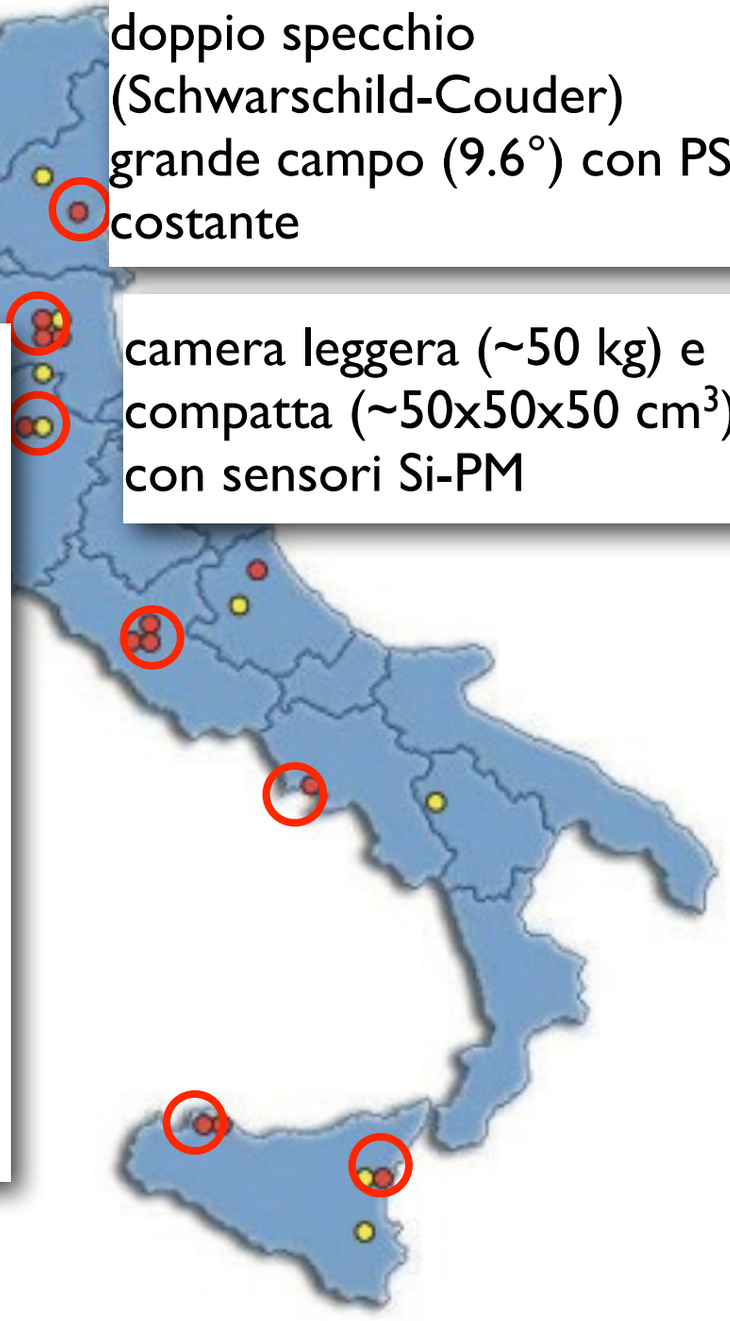
University Partners

Univ. of Padova
Univ.. of Perugia



ASTRI SST-2M ***concept***:
doppio specchio (Schwarschild-Couder) grande campo (9.6°) con PSF costante

camera leggera (~50 kg) e compatta (~50x50x50 cm^3) con sensori Si-PM



Il progetto ASTRI

Principal Investigator G. Pareschi

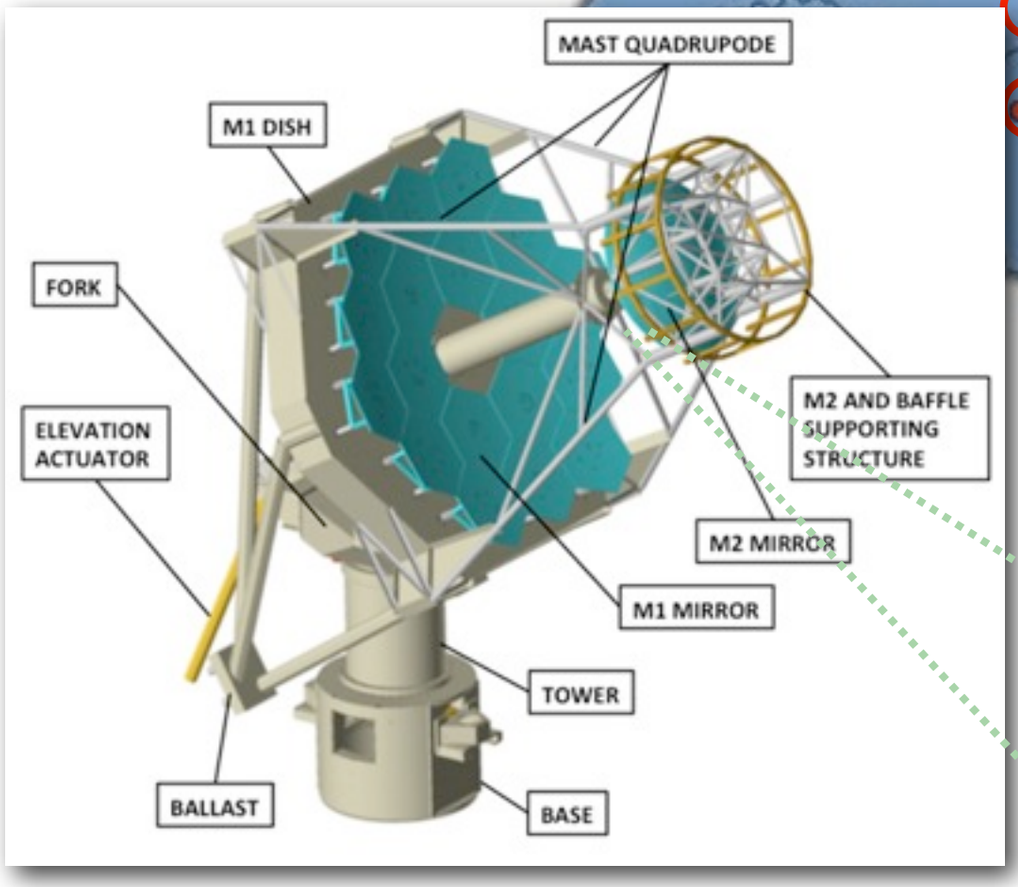
Co-PIs O. Catalano & S. Vercellone
Program Manager M. Fiorini
System Engineer L. Stringhetti
INAF/CTA Responsible P. Caraveo

INAF Institutions

IASF Milano
IASF Bologna
IASF Palermo
INAF HQ Roma
OA Brera
OA Torino
OA Padova
OA Bologna
OA Arcetri
OA Roma
OA Capodimonte
OA Catania

University Partners

Univ. of Padova
Univ.. of Perugia



ASTRI SST-2M ***concept***:
doppio specchio (Schwarschild-Couder) grande campo (9.6°) con PSF costante

camera leggera (~50 kg) e compatta (~50x50x50 cm^3) con sensori Si-PM

Il sito osservativo

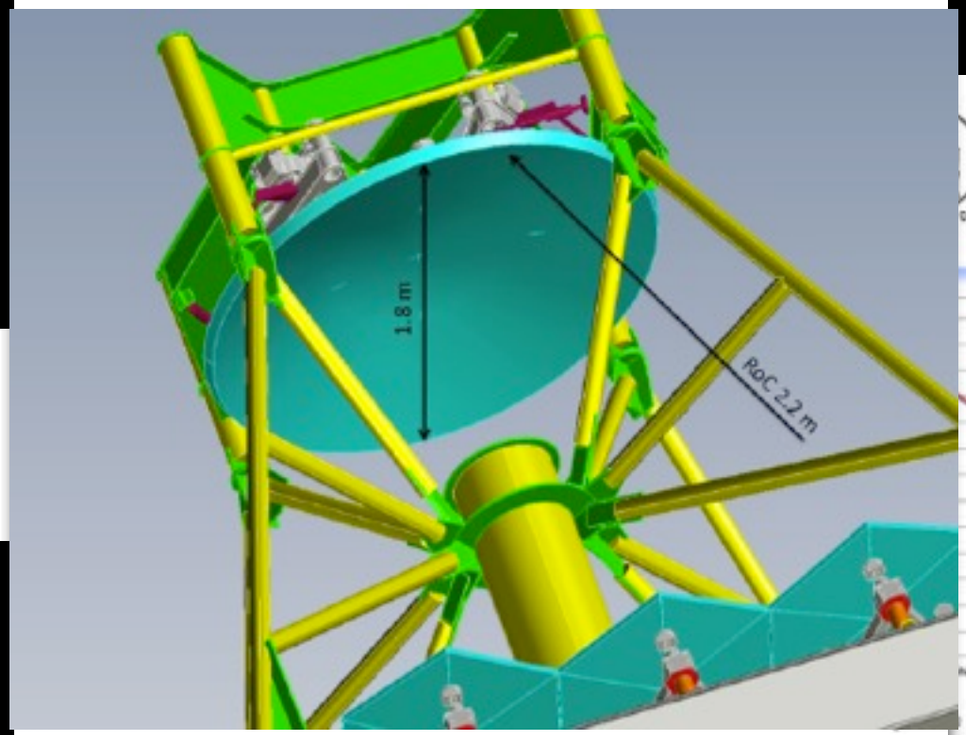
INAF - Osservatorio Astrofisico di Catania

Sede osservativa "M. G. Fracastoro" - Serra La Nave (Mt. Etna)

Altitudine: 1735 m

Longitudine: +14° 58'.4; Latitudine +37° 41'.5

ASTRI SST-2M: gli specchi



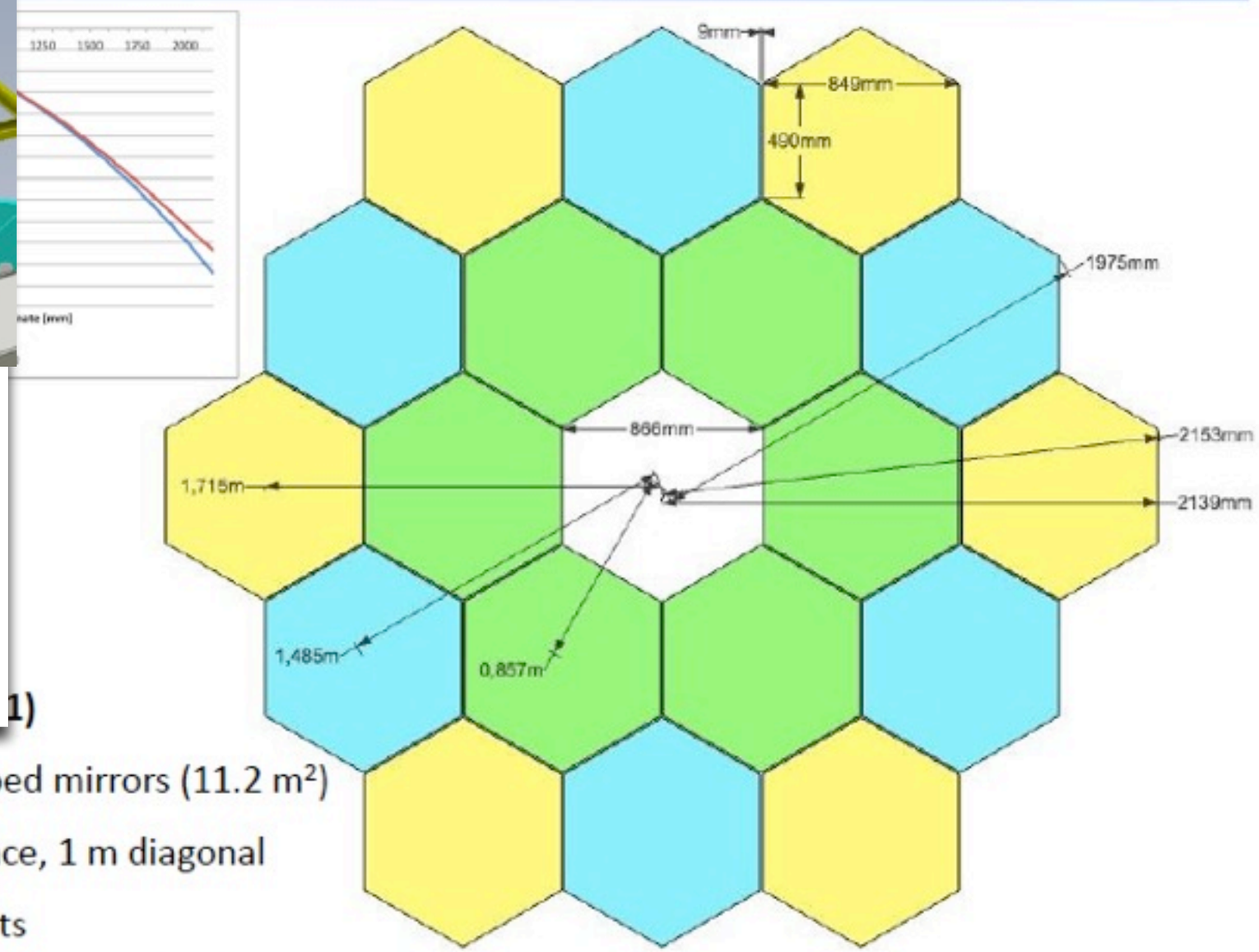
Specchio secondario (M2)

Monolitico

3 attuatori: tip-tilt e pistone per allineamento e messa a fuoco

Status of the 4m SC layout

Mirrors



1)

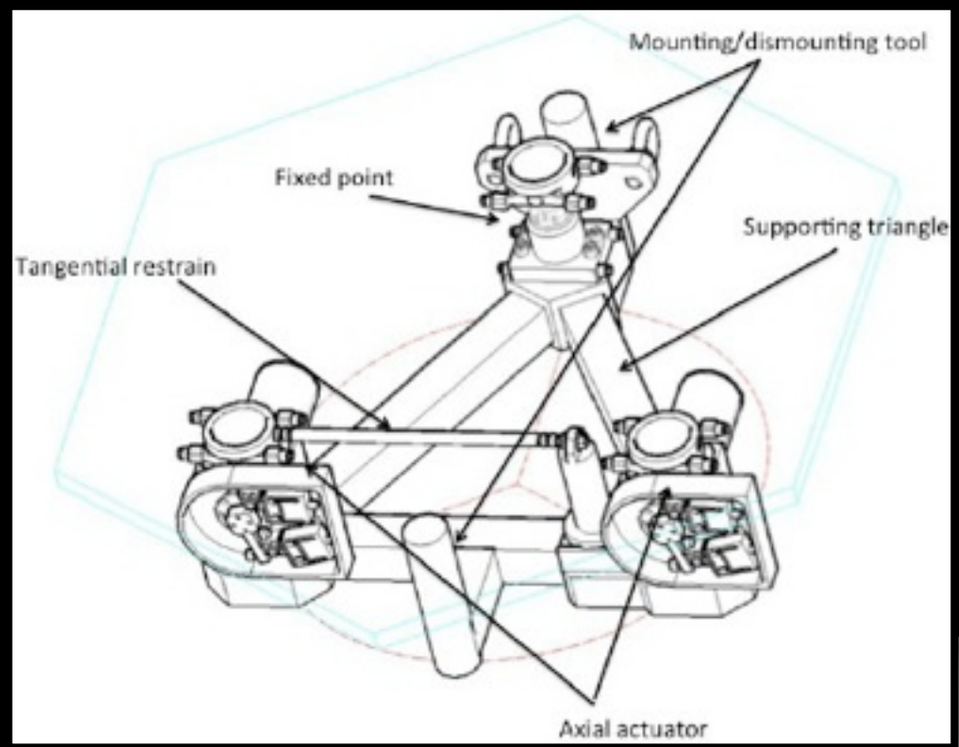
18 hexagonal shaped mirrors (11.2 m²)

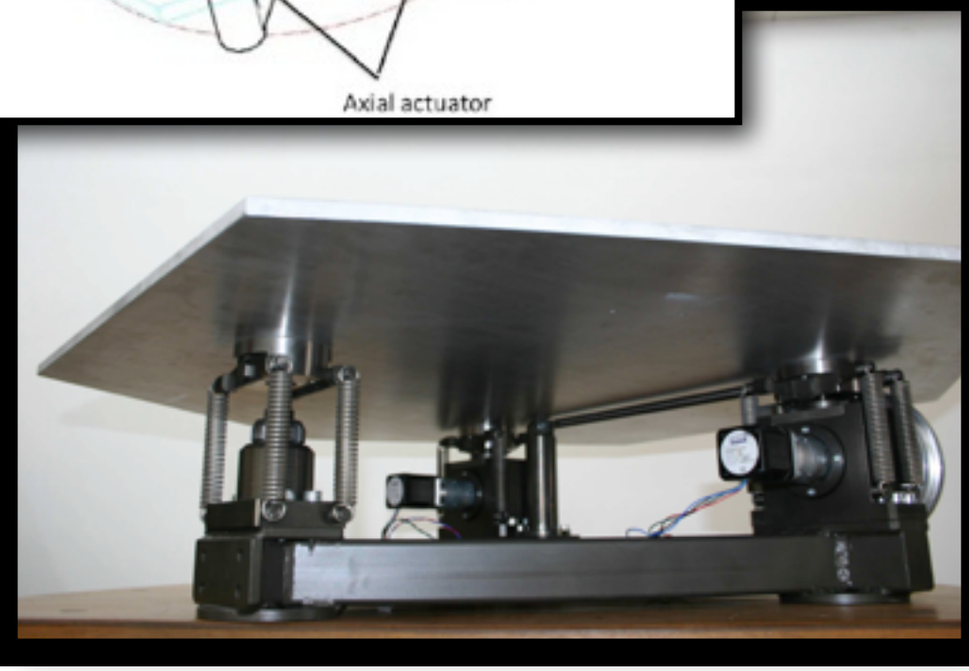
850 mm face-to-face, 1 m diagonal

3 types of segments

2 actuators + 1 fixed point: tip-tilt corrections for alignment purposes

ASTRI SST-2M: lo specchio primario

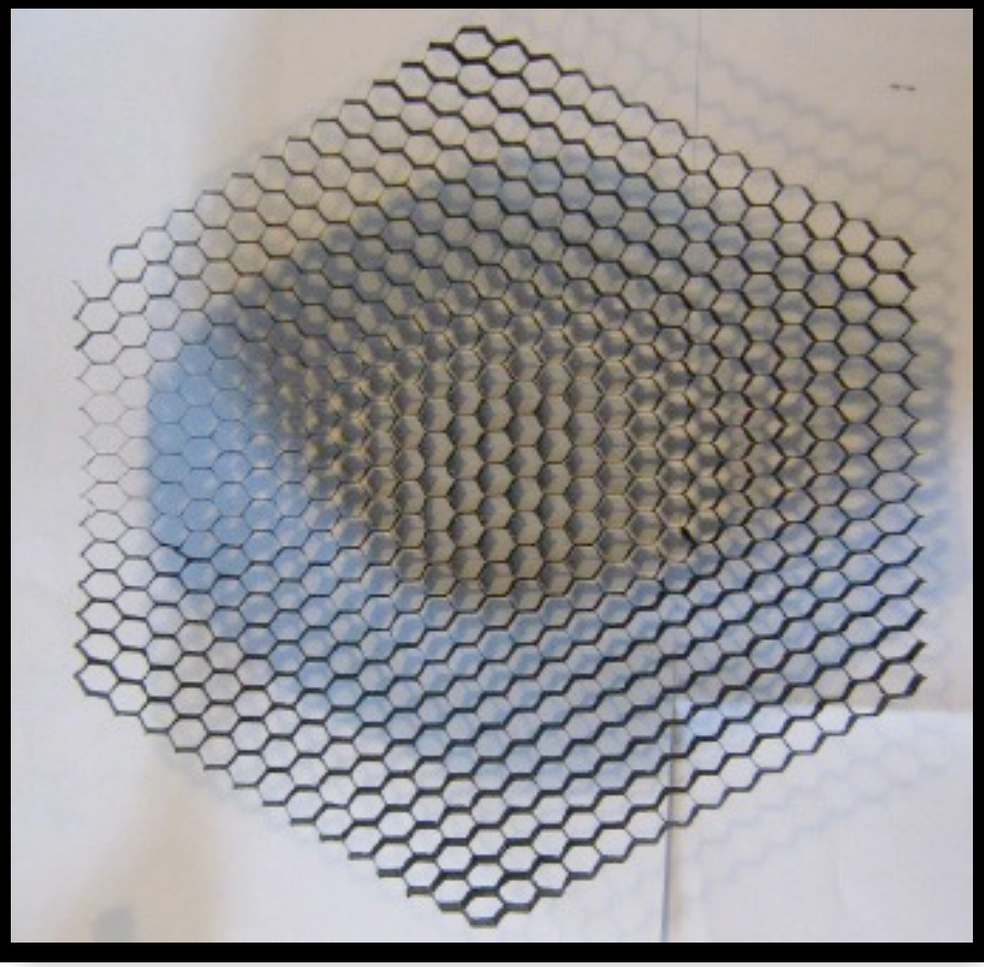




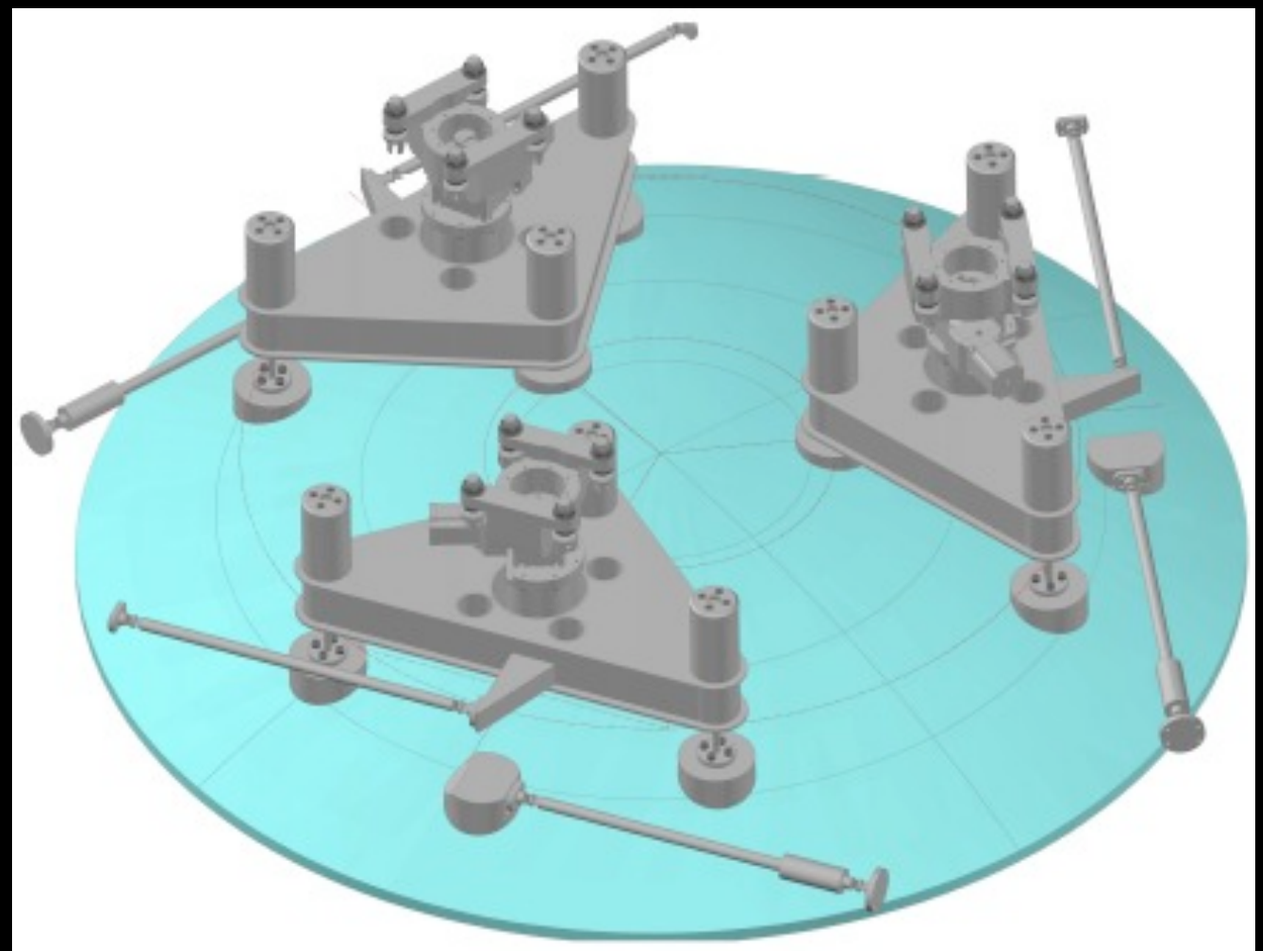
- curvatura ottenuta "a freddo"
- deposito riflettente multistrato per privilegiare la banda dall'UV al blu (dove è intenso il segnale Cherenkov) rispetto a quella rossa (dove è intenso il disturbo dato dalla luce di fondo cielo.

Triangolo di supporto, con 2 attuatori, punto fisso, vincolo tangenziale, sistema di allineamento

ASTRI SST-2M: lo specchio secondario

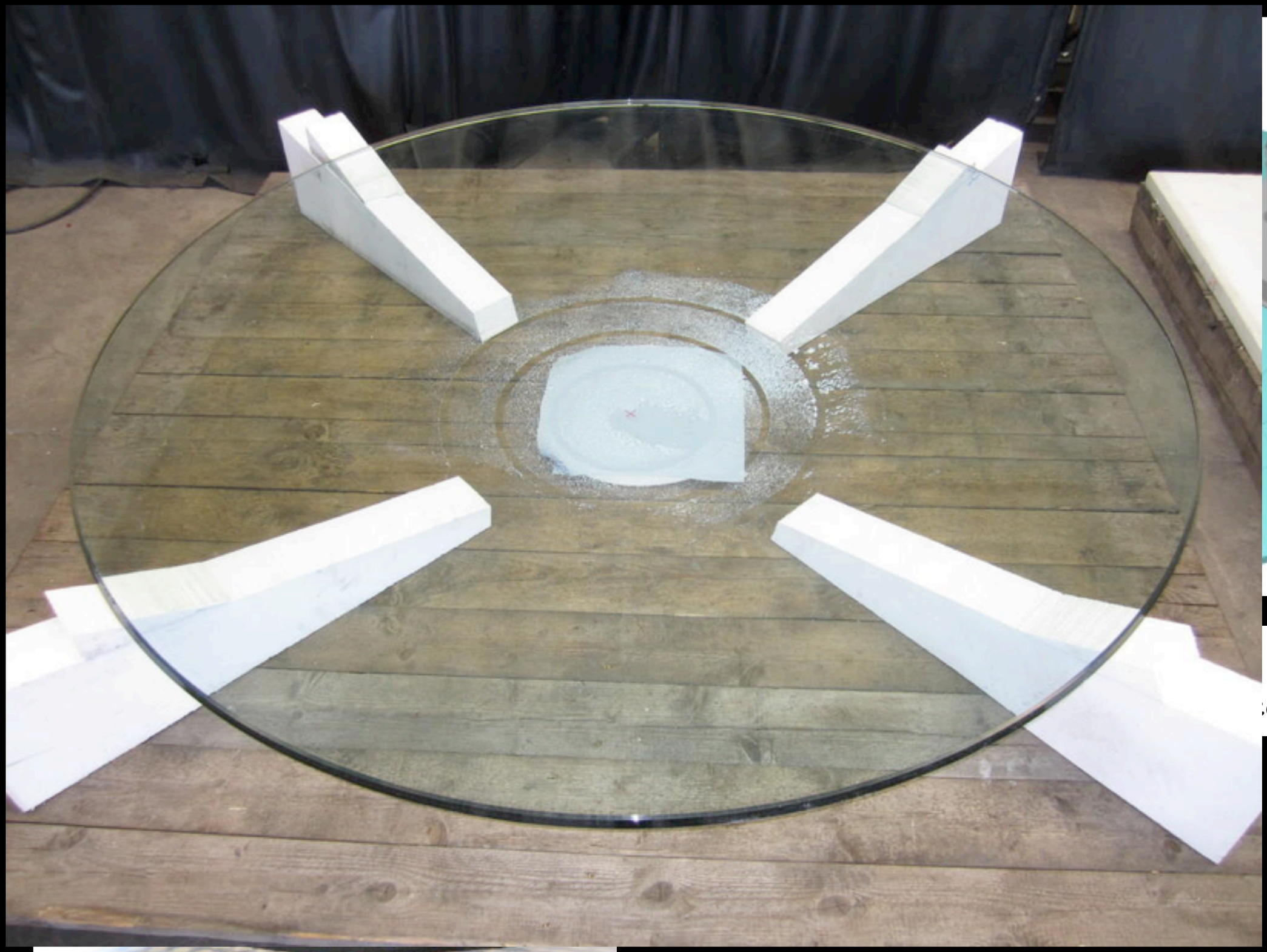


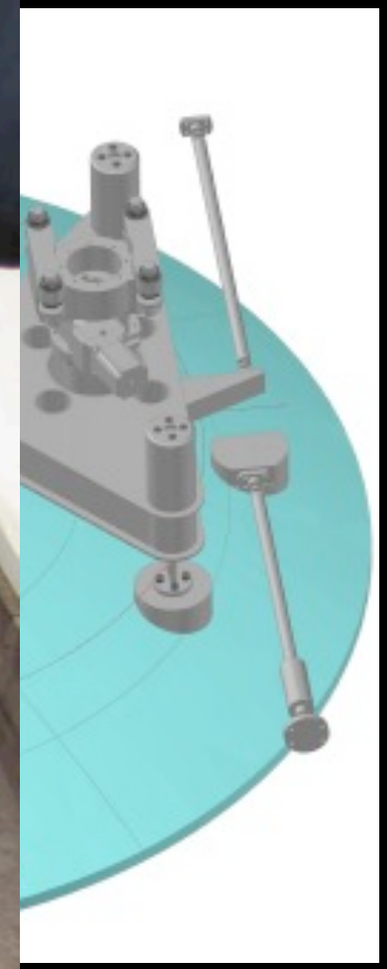
Prototipo in scala della struttura in nido d'ape d'alluminio per il secondario di ASTRI



Disegno tridimensionale CAD del sistema di supporto e allineamento del secondario

ASTRI SST-2M: lo specchio secondario





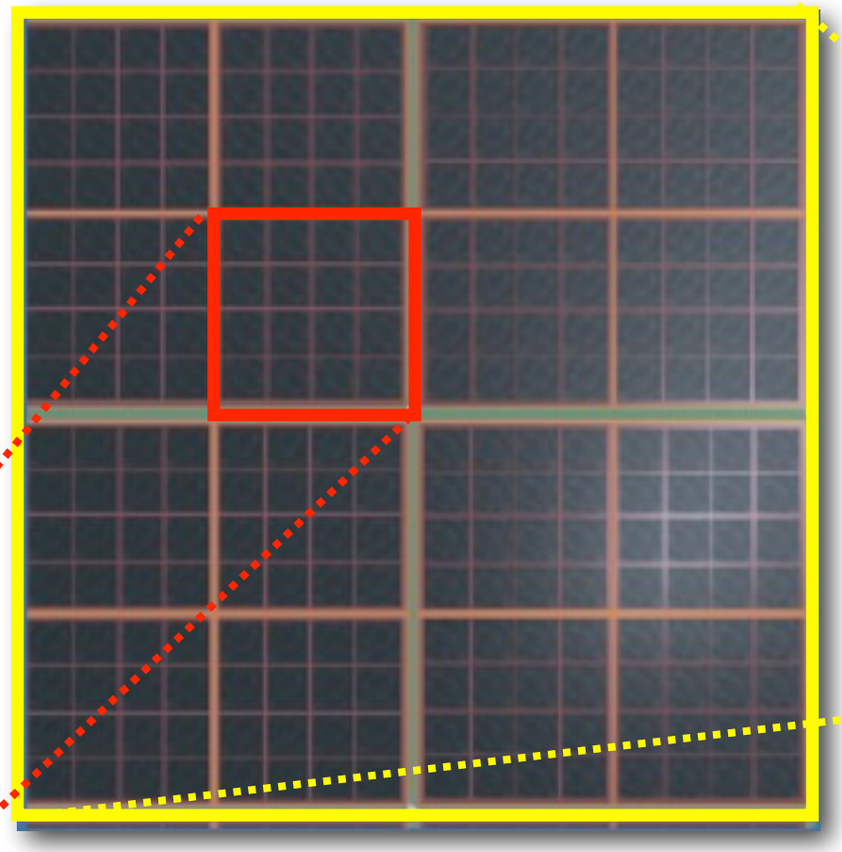
sistema di
condario

ASTRI SST-2M: lo specchio secondario

ASTRI SST-2M: lo specchio secondario

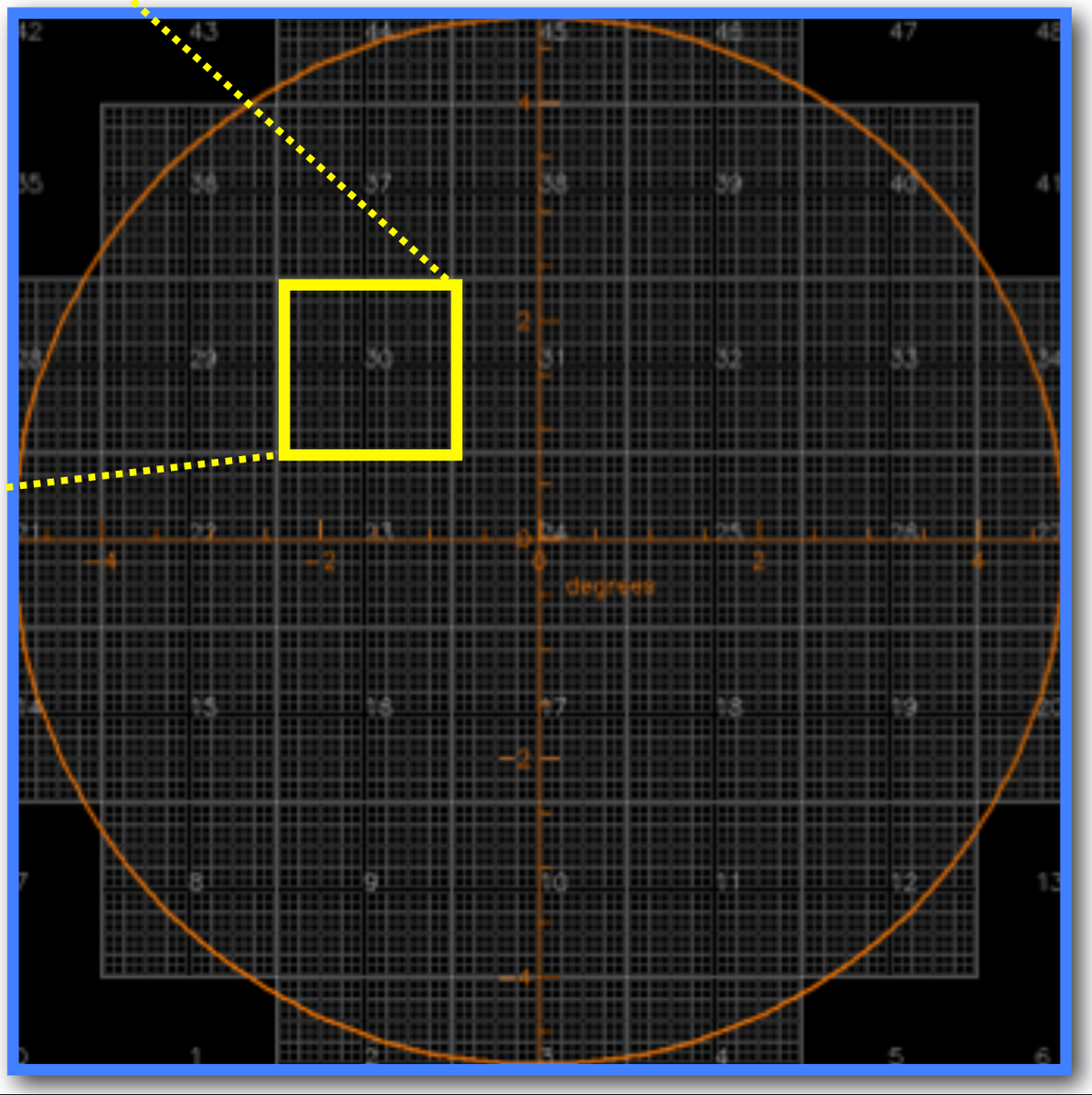
ASTRI SST-2M: Sensori innovativi

Superficie focale di ASTRI SST-2M
37 PDMs
Diametro del campo di vista: 9.6°



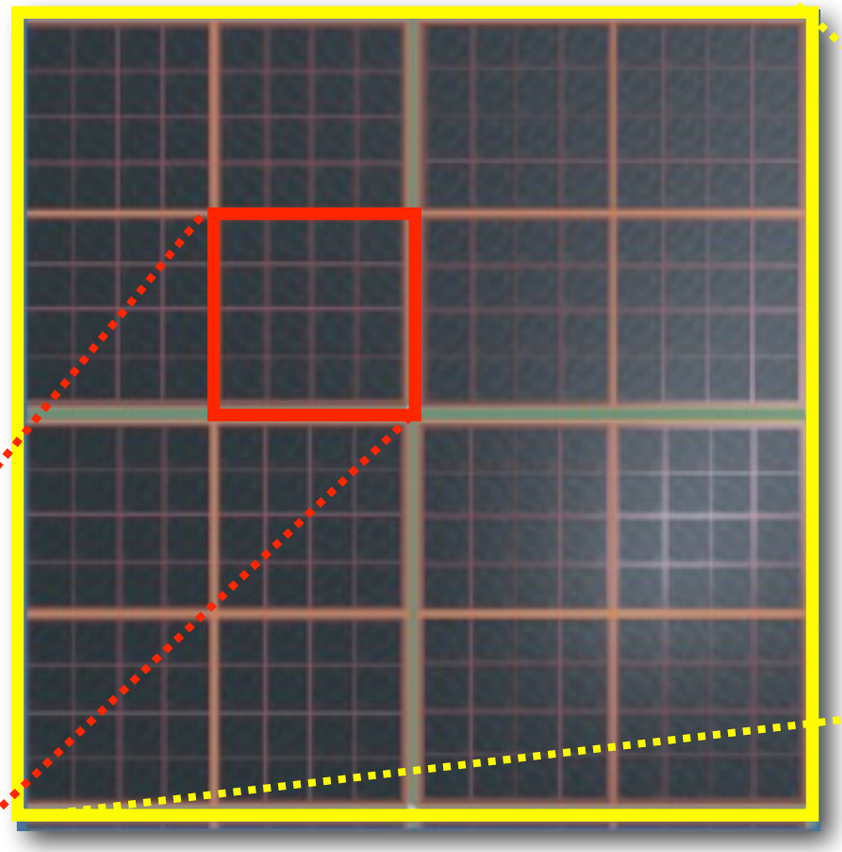
1 Photon Detection Module
(PDM) = 4x4 Unità

1 Unità
4x4 pixel
1px = 3mm x 3mm

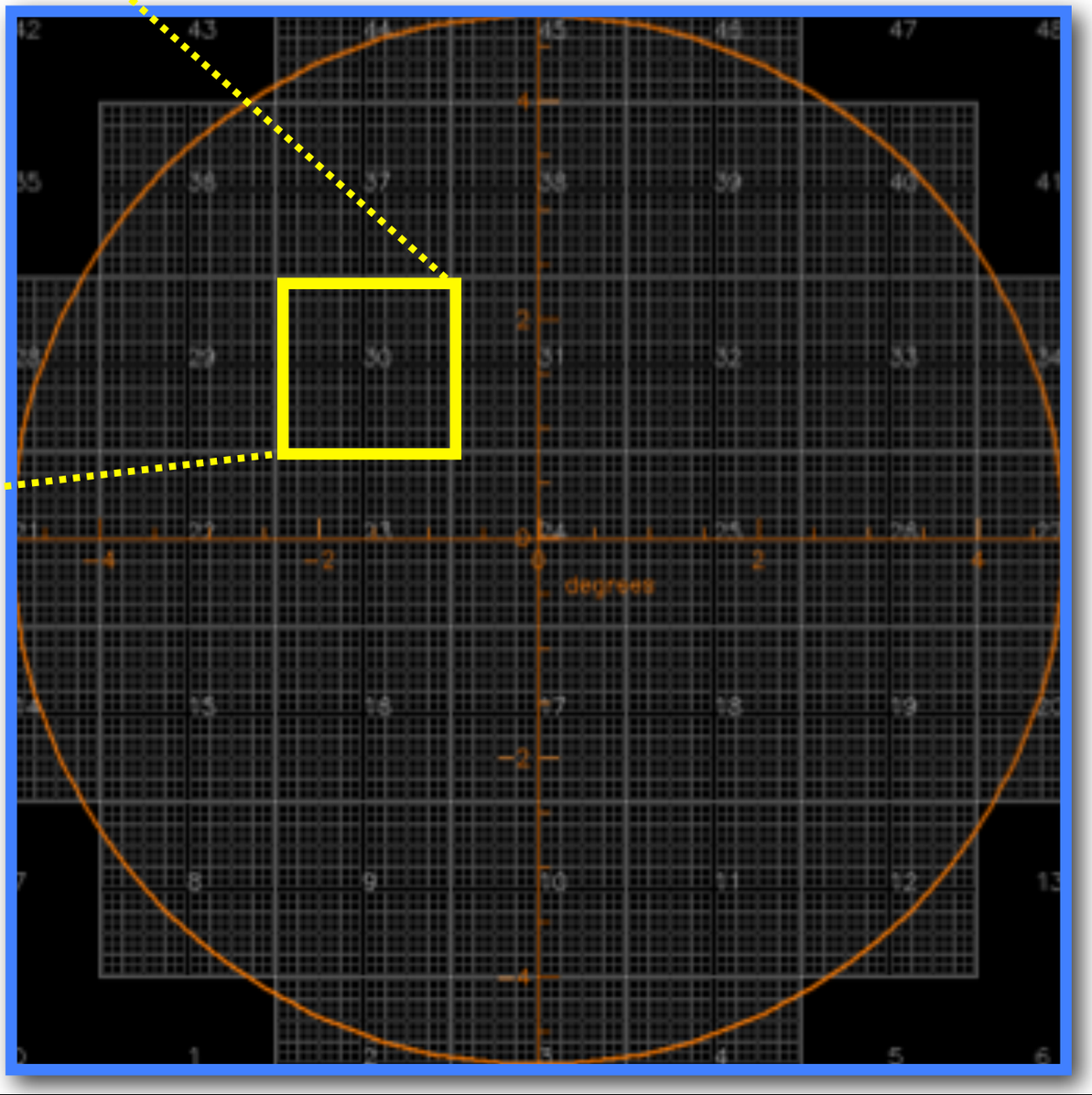


ASTRI SST-2M: Sensori innovativi

Superficie focale di ASTRI SST-2M
37 PDMs
Diametro del campo di vista: 9.6°



1 Photon Detection Module
(PDM) = 4x4 Unità



1 Unità
4x4 pixel
1px = 3mm x 3mm

Un totale di ~ 2000 pixel, con un campo osservato di 0.17°x0.17° ciascuno

24 Settembre 2014

24 Settembre 2014

Giacomo Bonnoli, INAF-OA Brera - "*Cherenkov Telescope Array: cento nuovi occhi per scrutare il cielo*" - "**I Cieli di Brera**", 15 Ottobre 2014 - Istituto Lombardo, Sala delle Adunanze - Milano, Palazzo Brera

24 Settembre 2014

Giacomo Bonnoli, INAF-OA Brera - "*Cherenkov Telescope Array: cento nuovi occhi per scrutare il cielo*" - "**I Cieli di Brera**", 15 Ottobre 2014 - Istituto Lombardo, Sala delle Adunanze - Milano, Palazzo Brera

24 Settembre 2014

Giacomo Bonnoli, INAF-OA Brera - "*Cherenkov Telescope Array: cento nuovi occhi per scrutare il cielo*" - "**I Cieli di Brera**", 15 Ottobre 2014 - Istituto Lombardo, Sala delle Adunanze - Milano, Palazzo Brera

24 Settembre 2014

Giacomo Bonnoli, INAF-OA Brera - "*Cherenkov Telescope Array: cento nuovi occhi per scrutare il cielo*" - "**I Cieli di Brera**", 15 Ottobre 2014 - Istituto Lombardo, Sala delle Adunanze - Milano, Palazzo Brera

24 Settembre 2014

Giacomo Bonnoli, INAF-OA Brera - "*Cherenkov Telescope Array: cento nuovi occhi per scrutare il cielo*" - "**I Cieli di Brera**", 15 Ottobre 2014 - Istituto Lombardo, Sala delle Adunanze - Milano, Palazzo Brera

Il sito osservativo

INAF - Osservatorio Astrofisico di Catania

Sede osservativa "M. G. Fracastoro" - Serra La Nave (Mt. Etna)

Altitudine: 1735 m

Longitudine: +14° 58'.4; Latitudine +37° 41'.5

Il sito osservativo

INAF - Osservatorio Astrofisico di Catania

Sede osservativa "M. G. Fracastoro" - Serra La Nave (Mt. Etna)

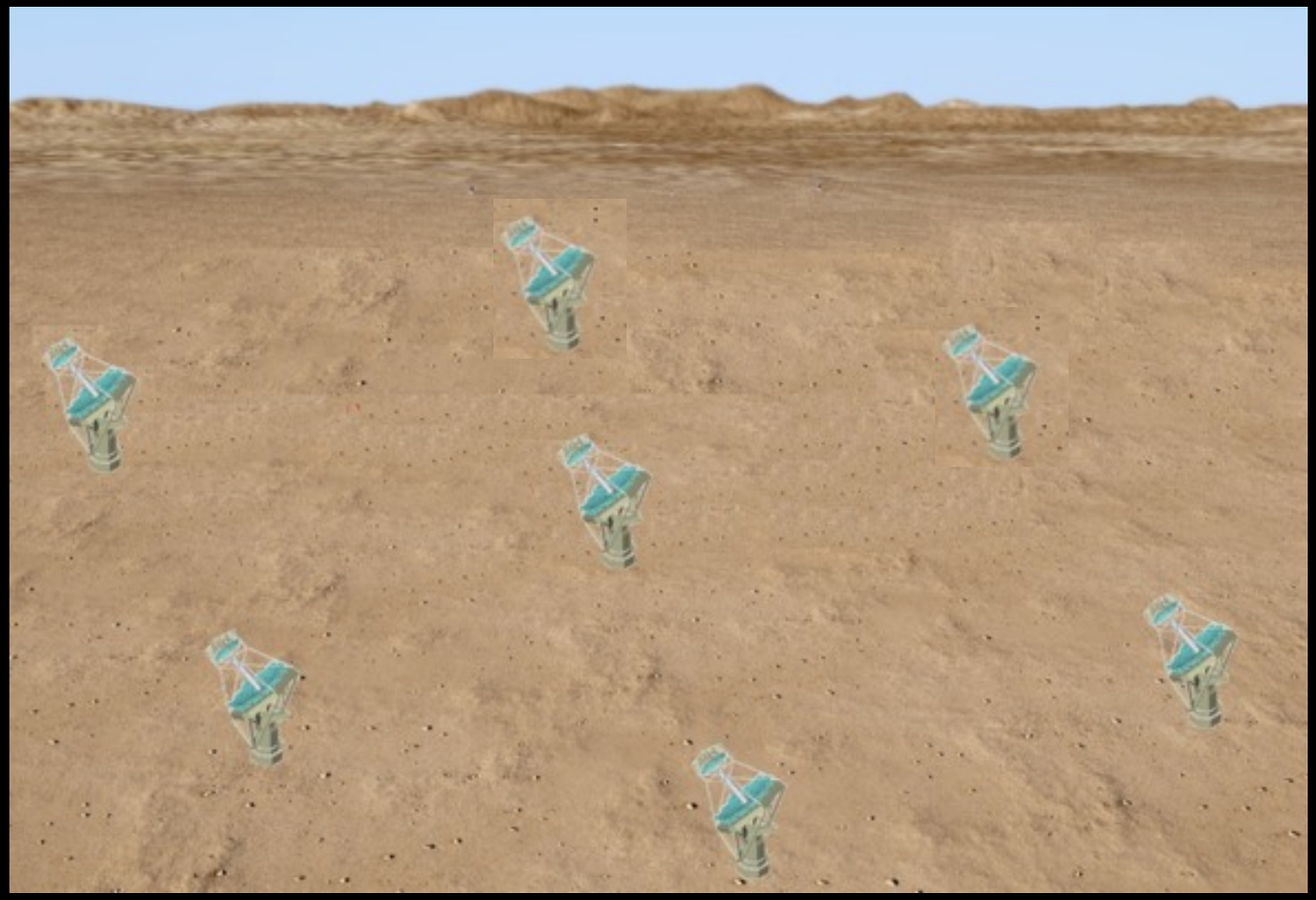
Altitudine: 1735 m

Longitudine: +14° 58'.4; Latitudine +37° 41'.5

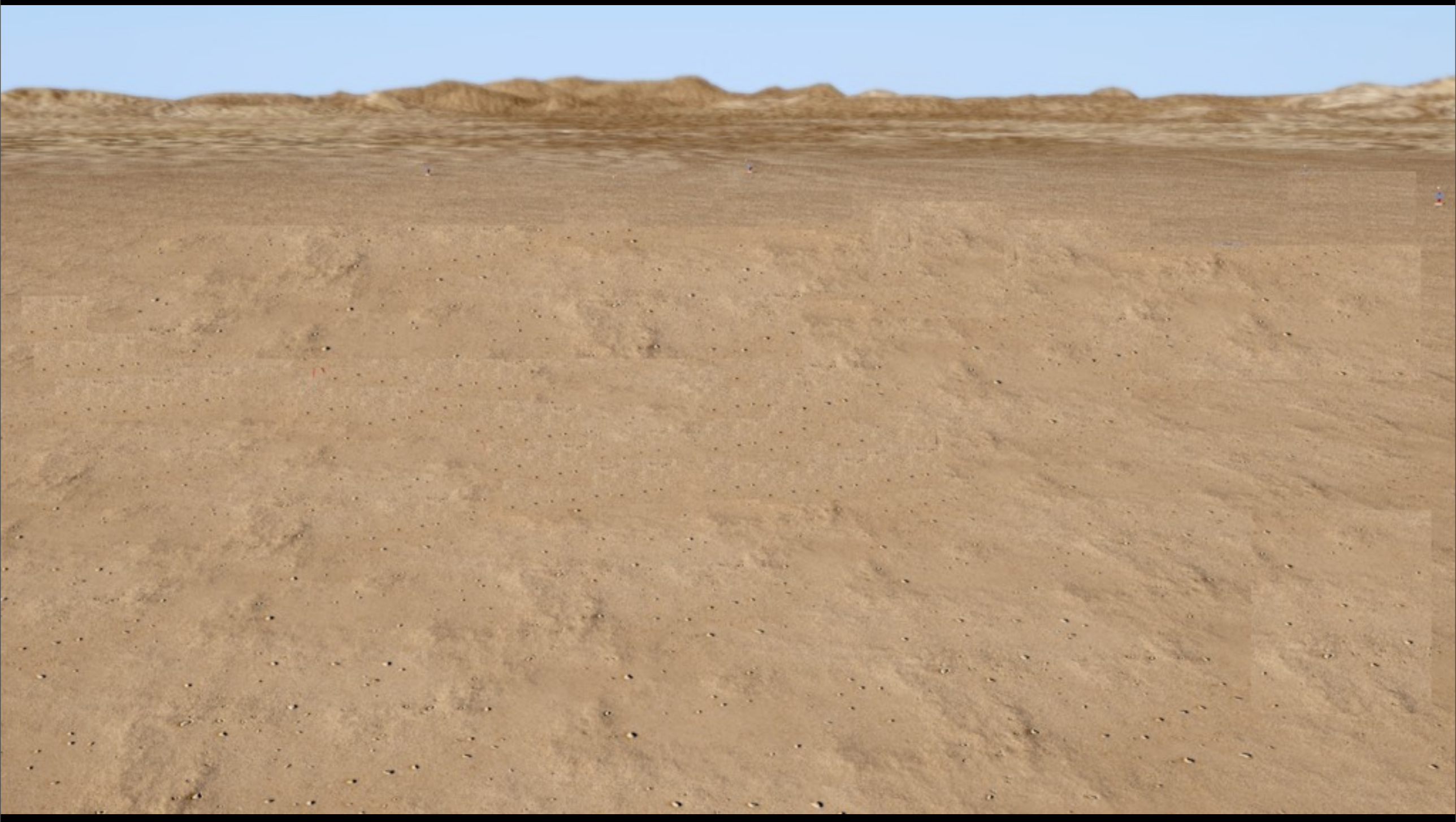
ASTRI SST-2M: il primo di molti

L'obiettivo è installare ed utilizzare un array ridotto, con 7-9 telescopi ASTRI SST-2M al sito finale di CTA-South

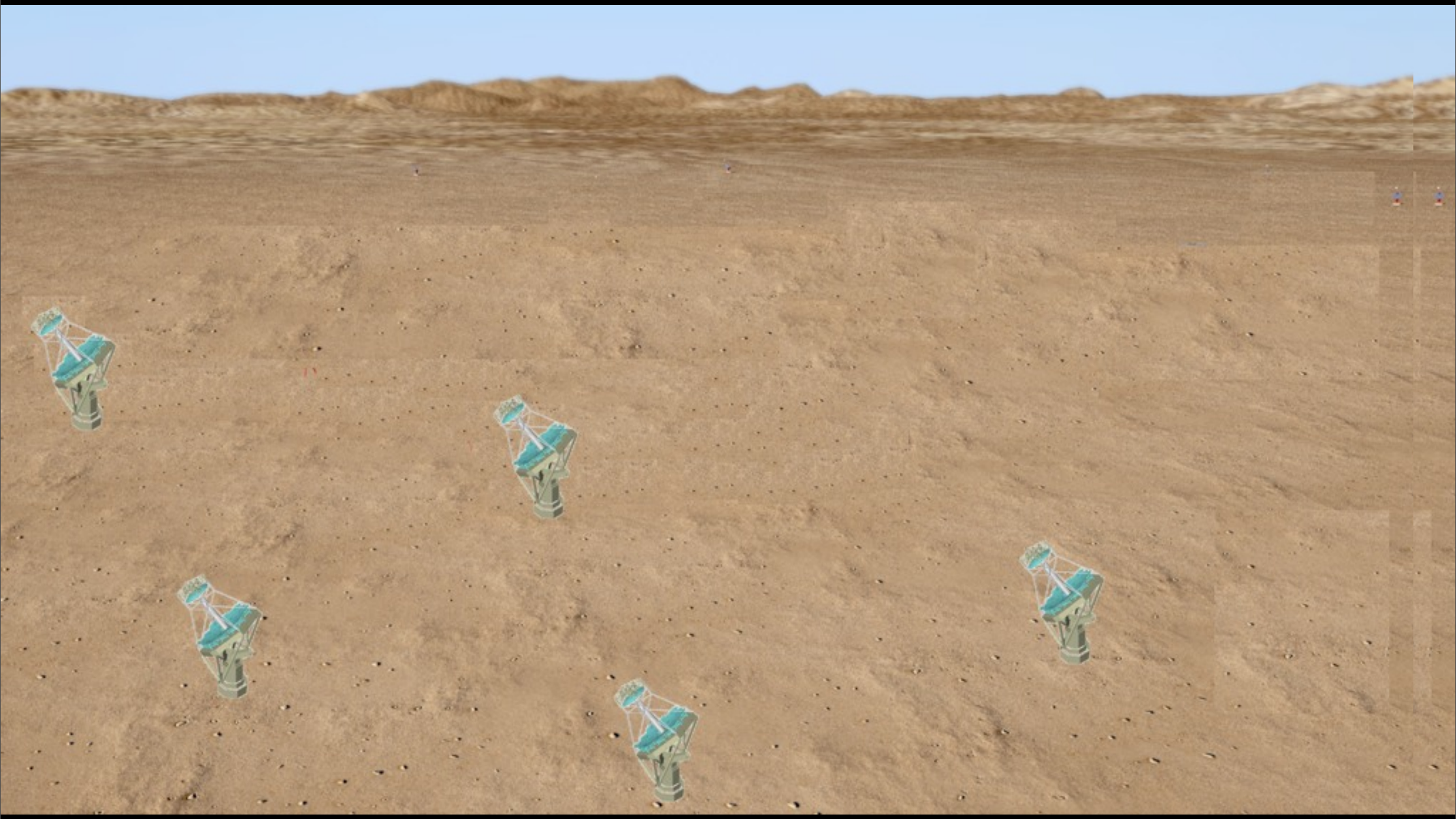
Un concetto piuttosto antico...



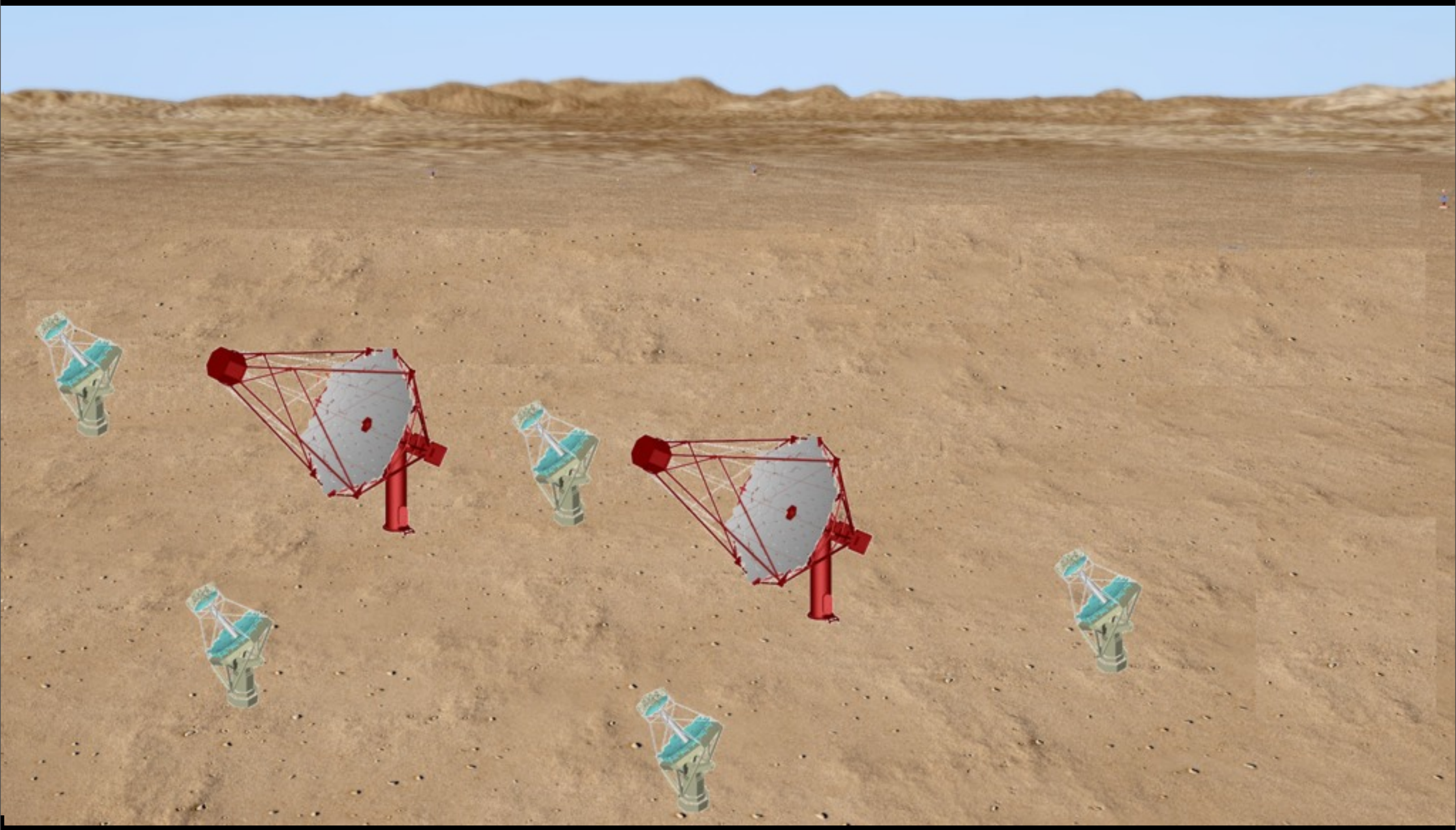
Dall'ASTRI Mini-Array al CTA-South



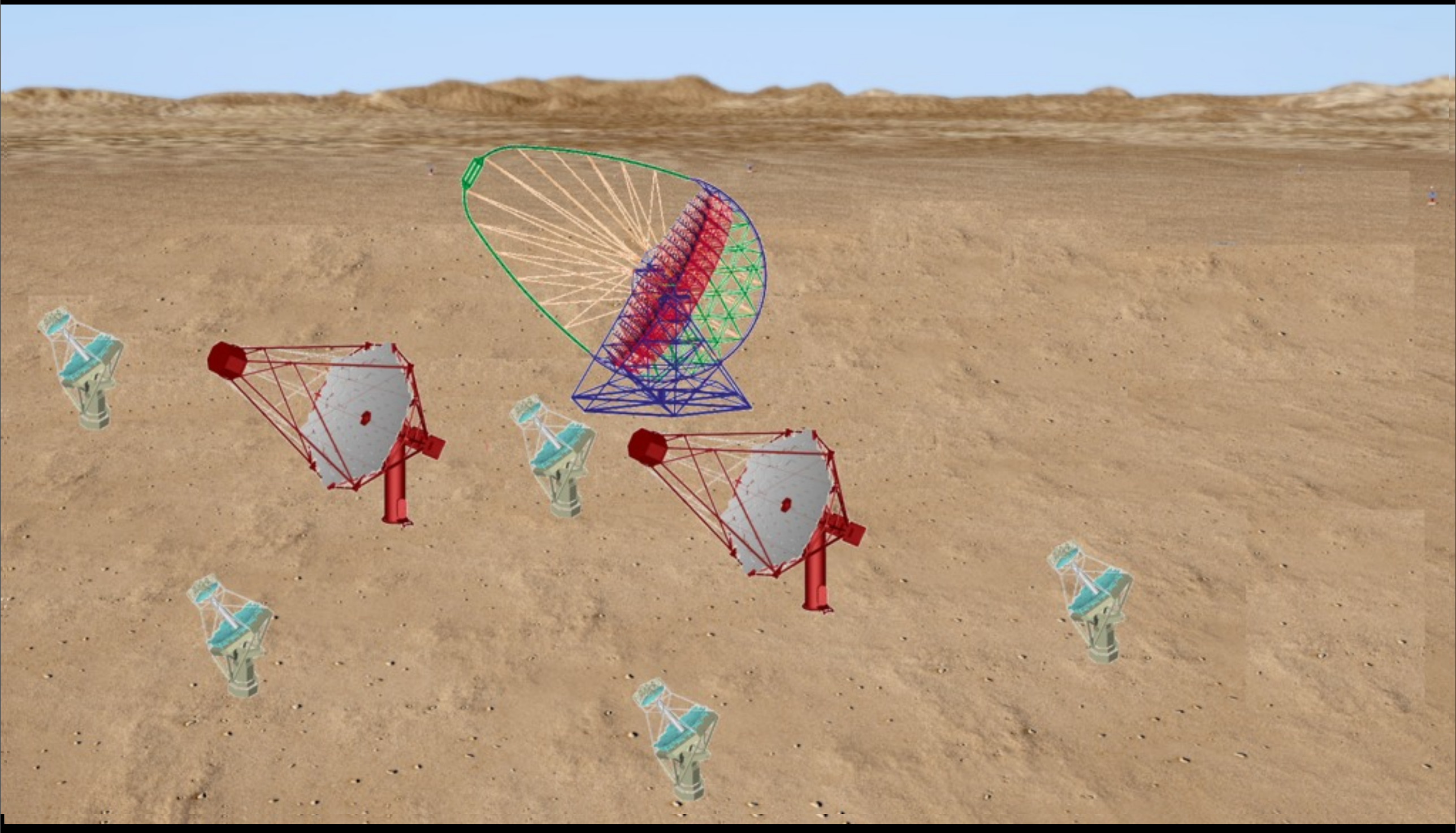
Dall'ASTRI Mini-Array al CTA-South



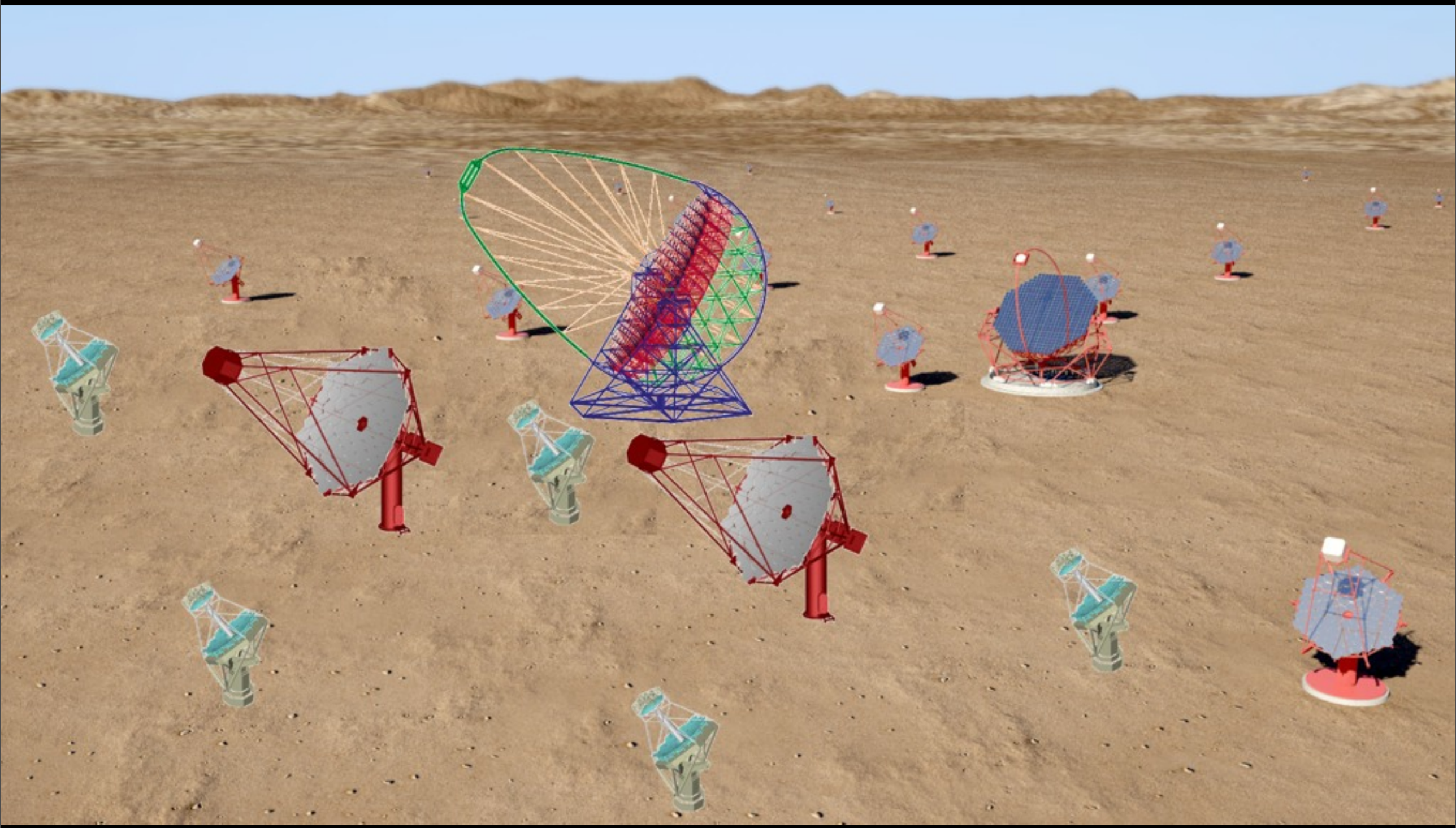
Dall'ASTRI Mini-Array al CTA-South



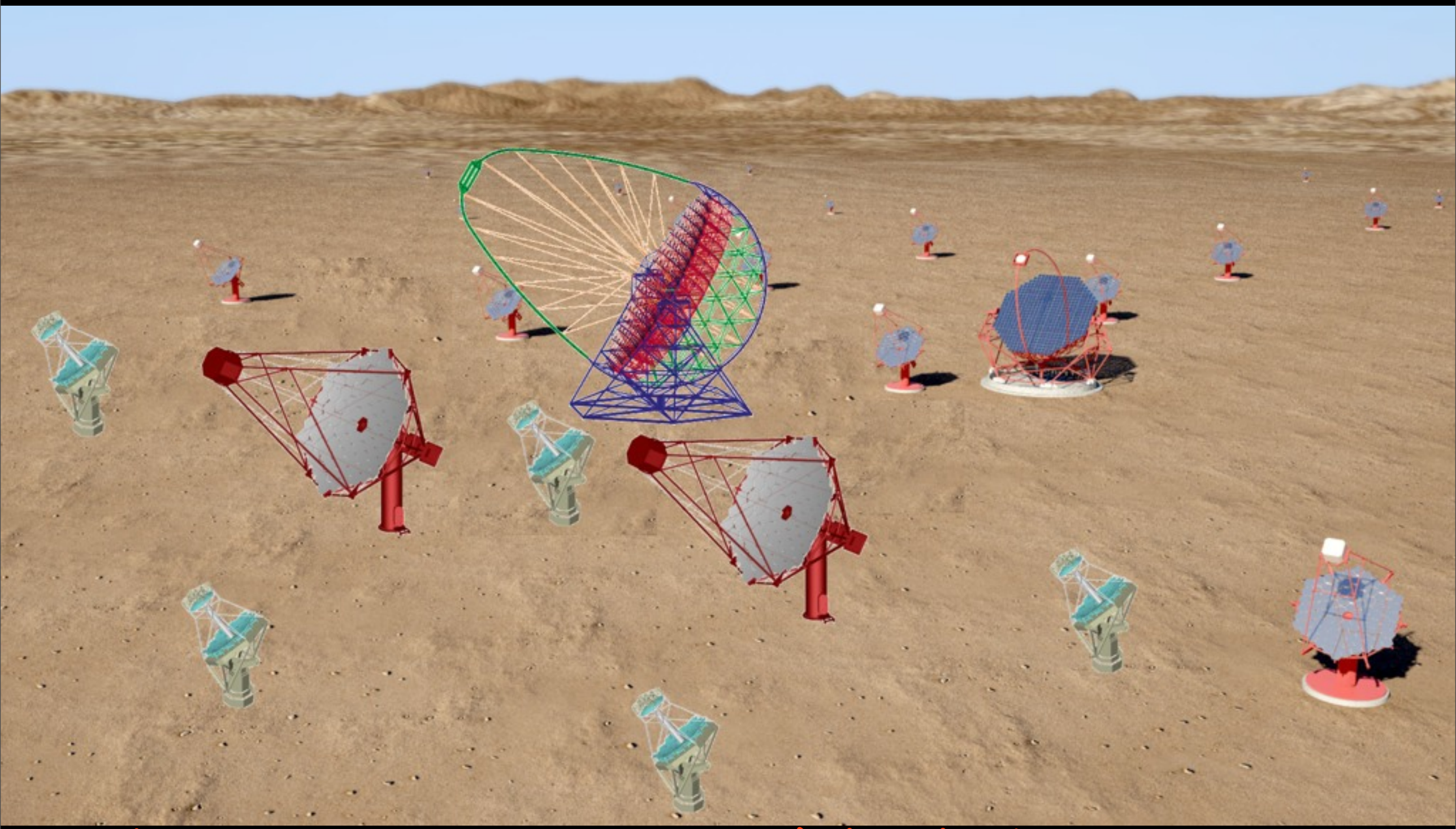
Dall'ASTRI Mini-Array al CTA-South



Dall'ASTRI Mini-Array al CTA-South



Dall'ASTRI Mini-Array al CTA-South



L'ASTRI Mini-Array rappresenterà il nucleo base attorno a cui si formerà l'intero sito Sud del Cherenkov Telescope Array

Per concludere

- Non solo stelle, pianeti e gas nell'Universo, ma un assortito bestiario di violentissimi mostri!
- La Natura ogni giorno più affascinante: motori ben più efficienti delle reazioni nucleari!
- Acceleratori di particelle naturali milioni di volte più potenti dei massimi costruibili dall'uomo (ad. es. LHC): potrebbero svelarci fenomeni di fisica fondamentale difficili o impossibili da riprodurre nei nostri laboratori. Interesse per la fisica delle particelle elementari (Materia Oscura, particelle "axion-like") la cosmologia (il fondo infrarosso, il campo magnetico intergalattico) la fisica dei plasmi.
- La dura impresa intellettuale di comprendere come funziona una macchina complessa come un blazar potendo solo far misure su un misterioso puntino luminoso lontanissimo! O quella di ricostruire energia e direzione dei fotoni gamma osservando i deboli e rapidissimi flash Cherenkov.... L'essere umano che si sforza di superare i propri limiti, con qualche brillante successo!
- Consistenti sviluppi tecnologici trasferibili su molti altri campi apparentemente non connessi e lontanissimi; che implicano a loro volta tanta fisica raffinata.
- L'Italia (e INAF, e OAB, ma anche le nostre industrie ad alta tecnologia) al passo dei migliori .... e talvolta anche un pelino avanti!

"That's all Folks!"

"That's all Folks!"
Grazie!!