

A night sky with a full moon and a particle detector array structure. The array consists of numerous thin, vertical lines (likely strings or wires) that converge towards a central point near the moon. The sky is dark, and the moon is a bright, yellowish-white disc. The bottom of the image shows a dark silhouette of trees and a building, suggesting the array is located on a hillside or in a wooded area. The overall scene is illuminated by the moon and a faint light source, possibly the sun setting or rising, creating a gradient of colors from orange to black.

Tecniche di misura dei gamma

- **Apparati su satellite**
- **Telescopi Cerenkov**
- **Particle detector Array**

Considerazioni preliminari

- L'atmosfera terrestre è circa 28 r.l. e 11 lunghezze di interazione. assorbe i gamma HE
- Il flusso dei raggi gamma dalle sorgenti astrofisiche è basso e diminuisce sensibilmente con l'energia
 - Es. Per "Vela", la sorgente gamma più forte, $\Phi(E>100\text{MeV})=1.3\times 10^{-5}$ fotoni $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ e l'indice spettrale è -1.89. Area riv. ⌚ 1000 cm^2
 $N(E>100\text{MeV})$ ⌚ 1 γ /minuto; $N(E>2\text{GeV})$ ⌚ 1 γ in 2 ore
- Il flusso dei raggi cosmici carichi è molto maggiore di quello gamma :

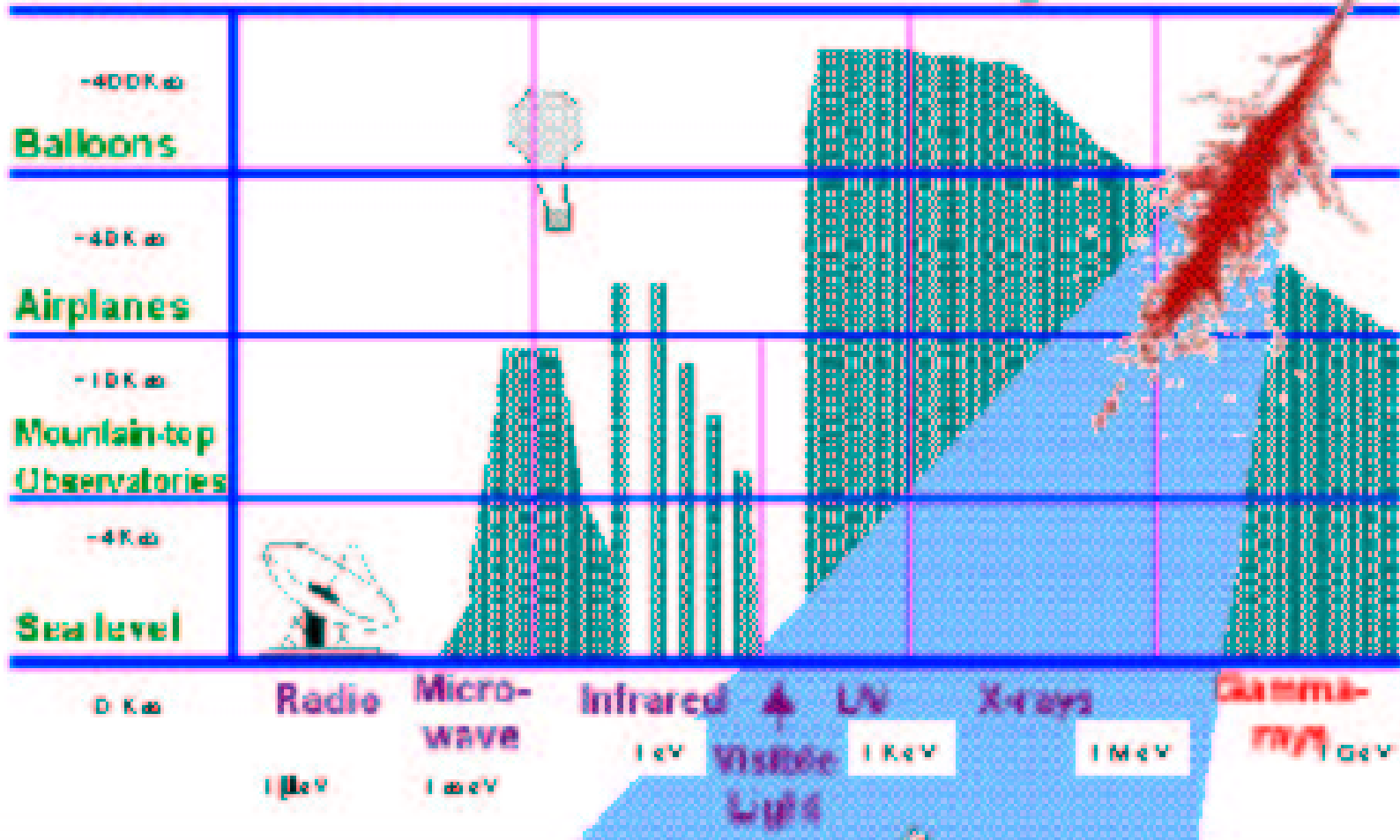
$$\frac{dN}{dE} \cong 9 \times 10^{-6} E_{\text{TeV}}^{-2.76} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1} \text{ TeV}^{-1}$$

Nomenclatura usata in astrofisica dei raggi gamma

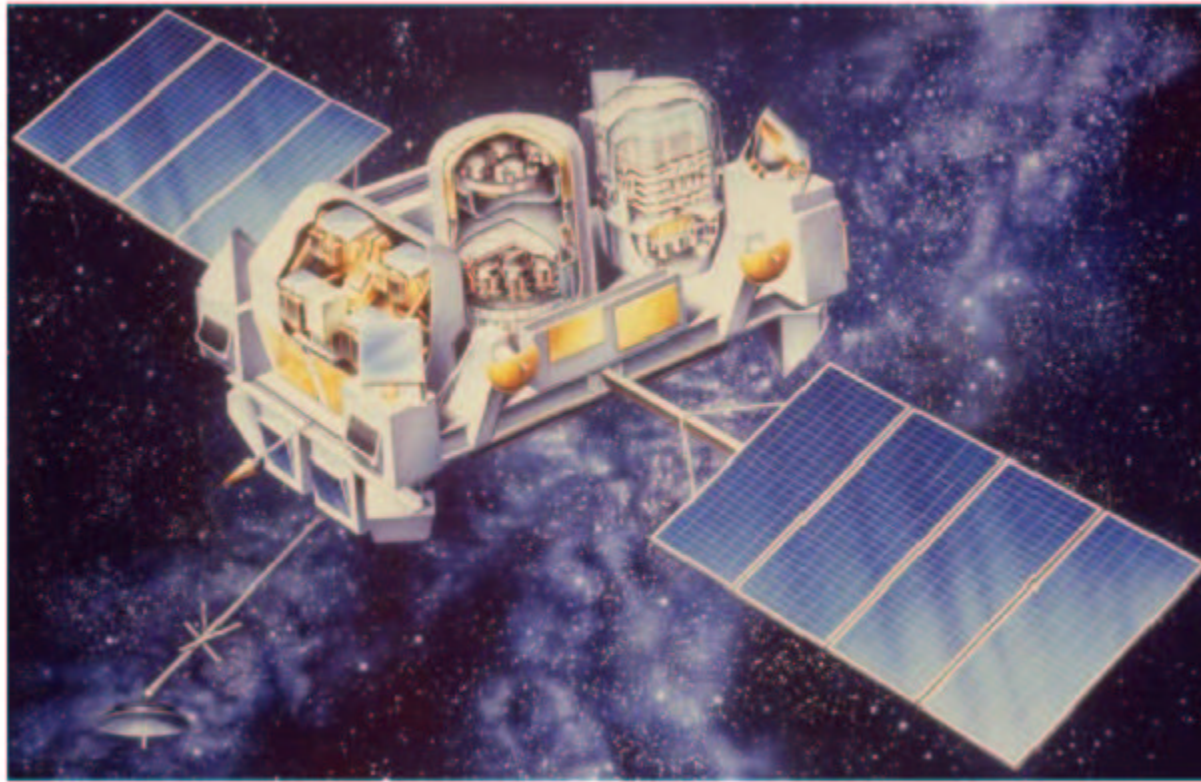
Energy range	Name	Technique
10-30 MeV	Medium	Satellite
30Mev-30Gev	High Energy (HE)	Satellite
30 GeV - 30 TeV	Very High Energy (VHE)	Cerenkov Array (g.b.)
30 Tev - 30 PeV	Ultra High Energy (UHE)	Ground Based Array
30 Pev ->	Extremely High Energy (EHE)	Ground Based

Gamma ray attenuation

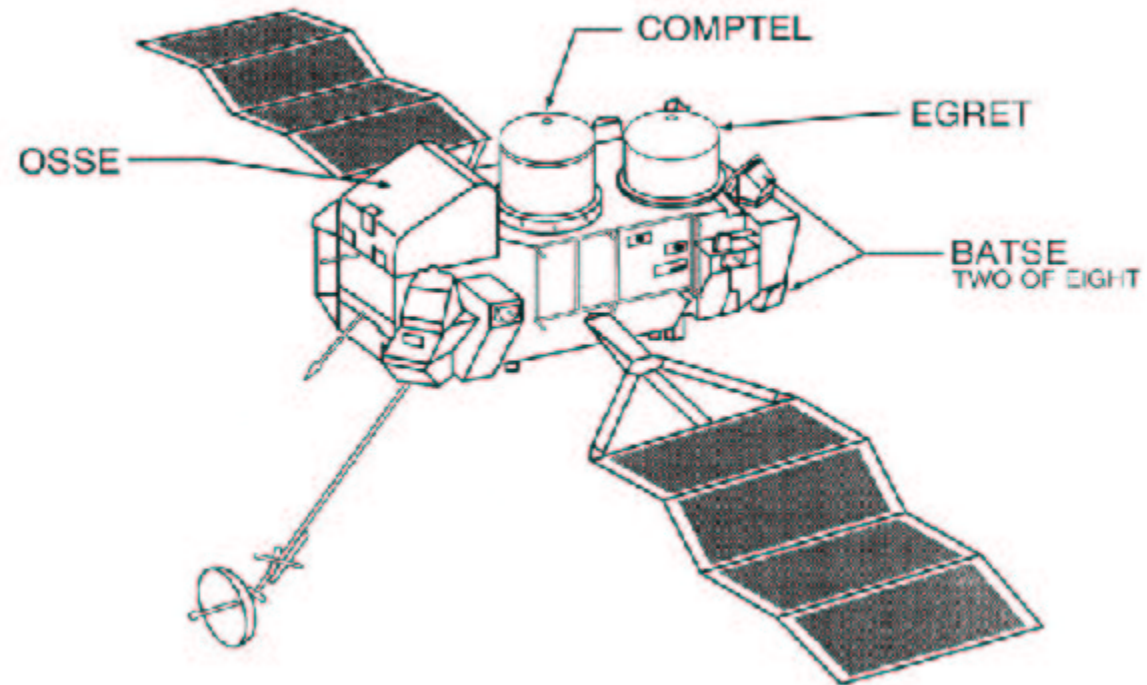
Rockets & Satellites



Compton Gamma Ray Observatory (CGRO)



COMPTON OBSERVATORY INSTRUMENTS



■ Rivelatori su satellite

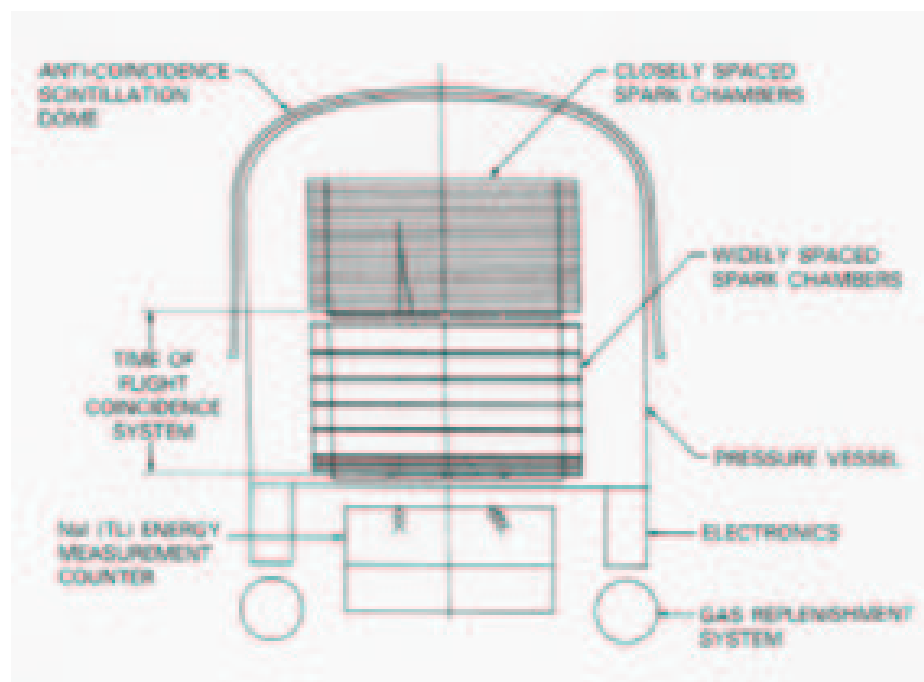
- Rivelano il fotone primario
- Anticoincidenza
- Tracking detector
- Calorimetro

Area Efficace

$$A_{\text{eff}}(E) = \frac{N}{\phi(E)T}$$

convoluzione dell'area
geometrica con la efficienza
di rivelazione

EGRET



CARATTERISTICHE DI EGRET			
E_{γ} (MeV)	$\Delta E/E$ FWHM	$\Delta \theta$ (FWHM) gradi	A_{eff} (cm ²)
100	26%	5.5	930
500	20%	2	1570
1,000	19%	1.2	1300
10,000	26%	0.4	690

EGRET è lo strumento di maggiore sensibilità e vola a bordo del Compton Gamma Ray Observatory (CGRO) dal 5 aprile 1991.

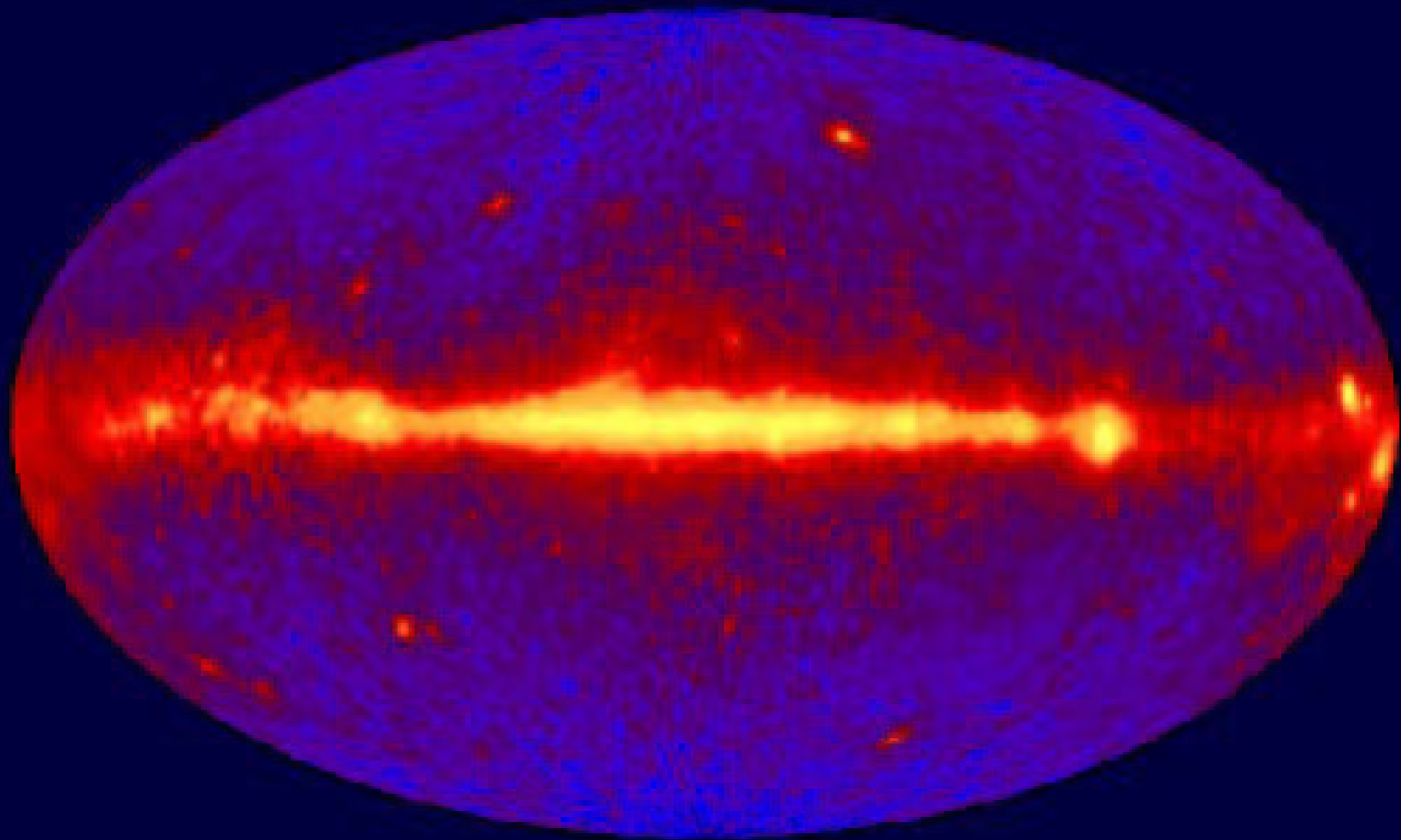
EGRET è formato da una “spark chamber” multistrato con convertitori al tantalio.

L'energia viene misurata da un calorimetro a Ioduro di Sodio di 8 r.l.

Un sistema di tempo di volo seleziona le particelle che vengono dall'alto (?)

Il flusso minimo di fotoni di energia maggiore di 100 MeV, rivelabile da EGRET è circa 5×10^{-8} fotoni/cm²/s in una presa dati di due settimane.

EGRET All-Sky Gamma-Ray Survey Above 100 MeV



Come rivelare i gamma VHE(*)?

- I gamma da sorgenti sono rari ($<10^{-4}$ del flusso dei RC)
- Rivelatori di grandi dimensioni $O(10^3\text{m}^2)$
- Rivelatori di sciame (EAS) - In concorrenza con gli EAS da carichi
- Rivelatori sufficientemente grandi da misurare la direzione e stimare l'energia iniziale del gamma
- Non si possono usare anticoincidenze!

(*) 30 GeV - 30 TeV

Extensive Air Shower (EAS)

I gamma VHE interagiscono con gli atomi dell'atmosfera. A terra si rivelano i prodotti di tali interazioni.

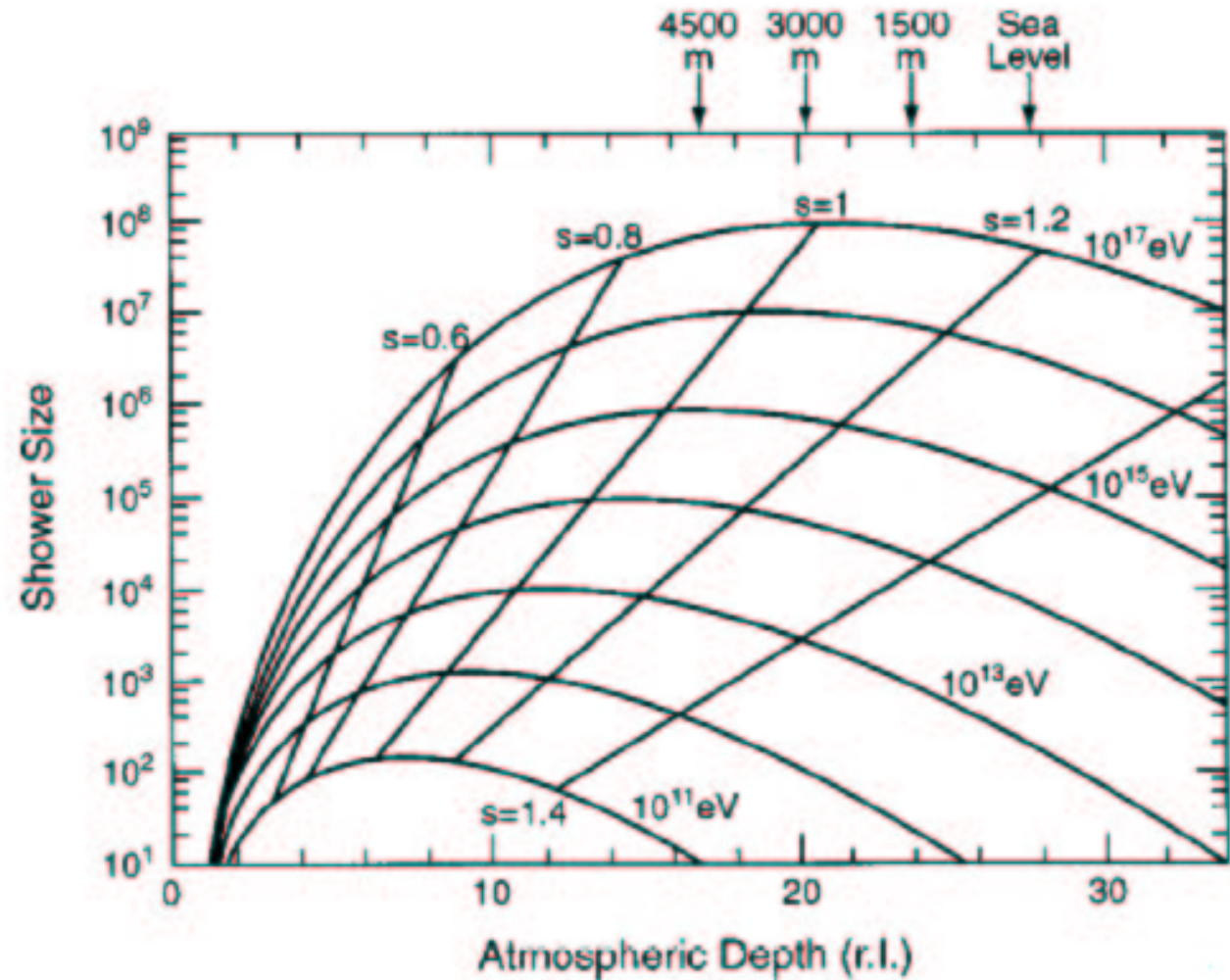
La sezione d'urto γ -p è stata misurata fino ad energie $E_\gamma = 20$ TeV. Le estrapolazioni necessarie sono ritenute affidabili.

Sviluppo dello sciame con $E_c = 80$ MeV

Sviluppo longitudinale dello sciame. Shower size = n. di e+ ed e-. Il max @ $\ln(E/E_c)$ r.l.

Lo sciame arriva a terra in un fronte spesso alcuni metri. (10 ns)

La distribuzione laterale è bene descritta dalla formula NKG (Nishimura Kamata Greisen)



$$\rho_N(r, t) = \frac{N_e(t)}{r_1^2} \cdot \left(\frac{r}{r_1}\right)^{s-2} \cdot \left(1 + \frac{r}{r_1}\right)^{s-4.5} \quad r_1 = \frac{E_s}{E_C} X_0 \approx 9.3 \text{ g/cm}^2$$

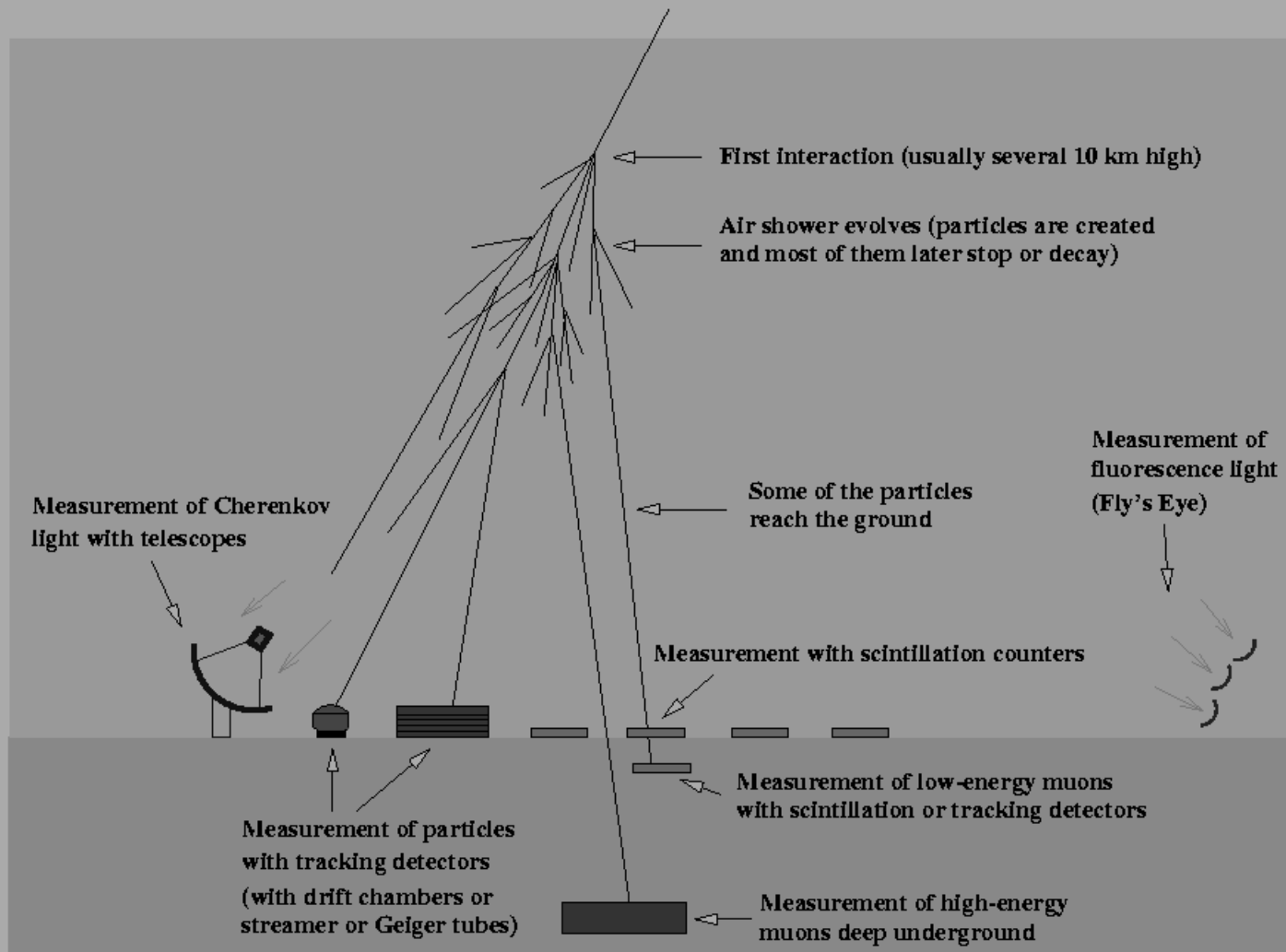
Sciame adronici. Stesso principio di quelli e.m.

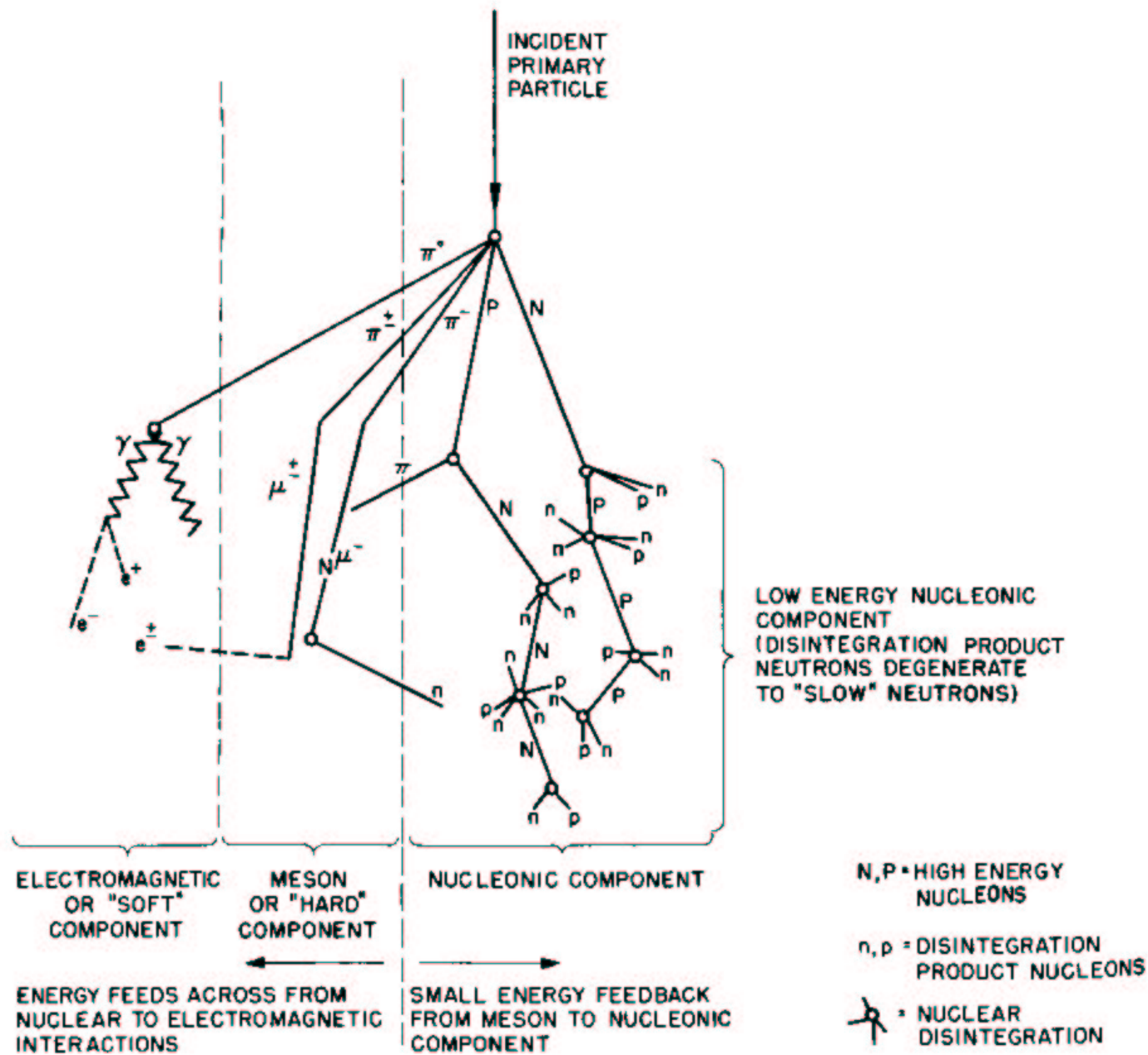
Produzione di pioni carichi (μ e ν) neutri (γ)

A terra arrivano e^+ e^- e γ (come negli sciame e.m.) e μ

A parte i μ gli sciame adroni ed e.m. sono molto simili

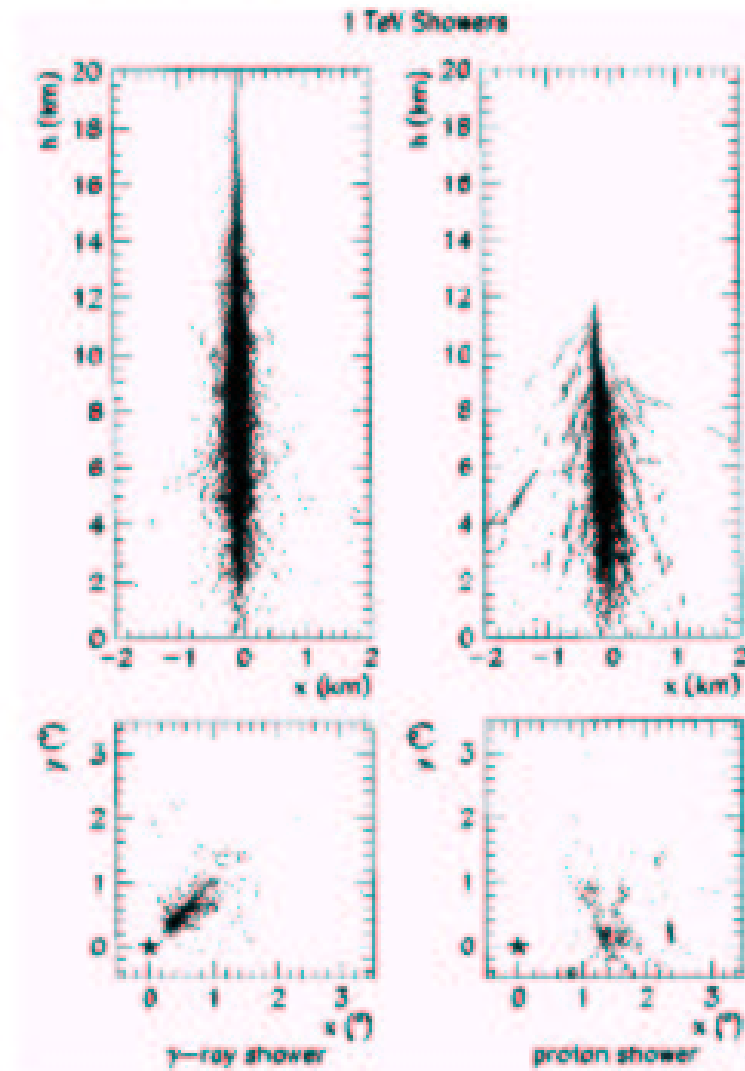
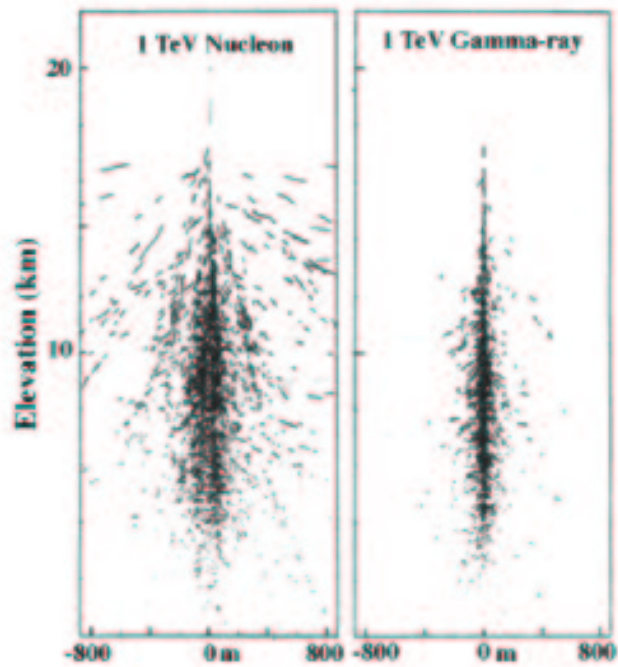
Measuring cosmic-ray and gamma-ray air showers



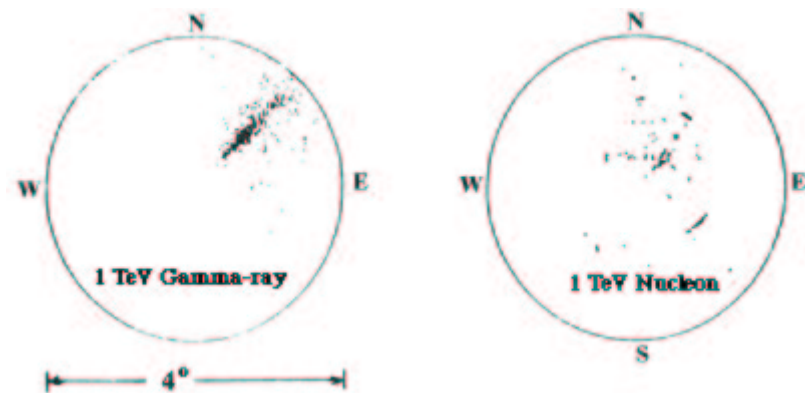
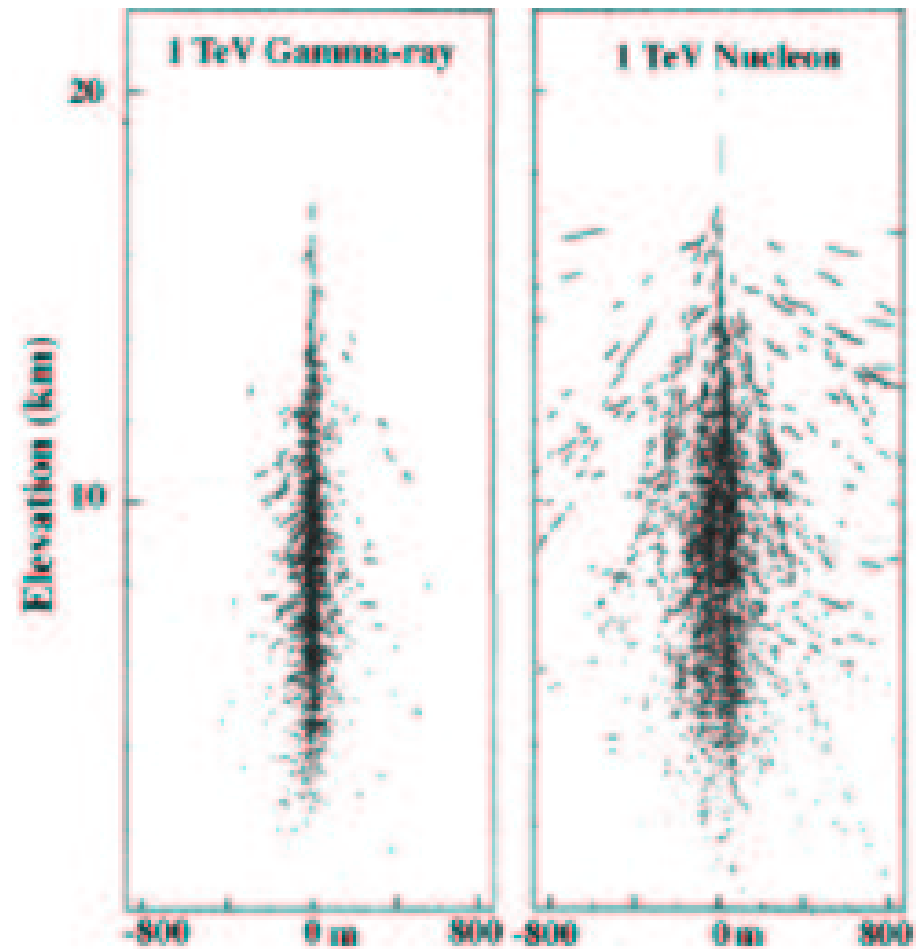


Schematic Diagram of Cosmic Ray Shower

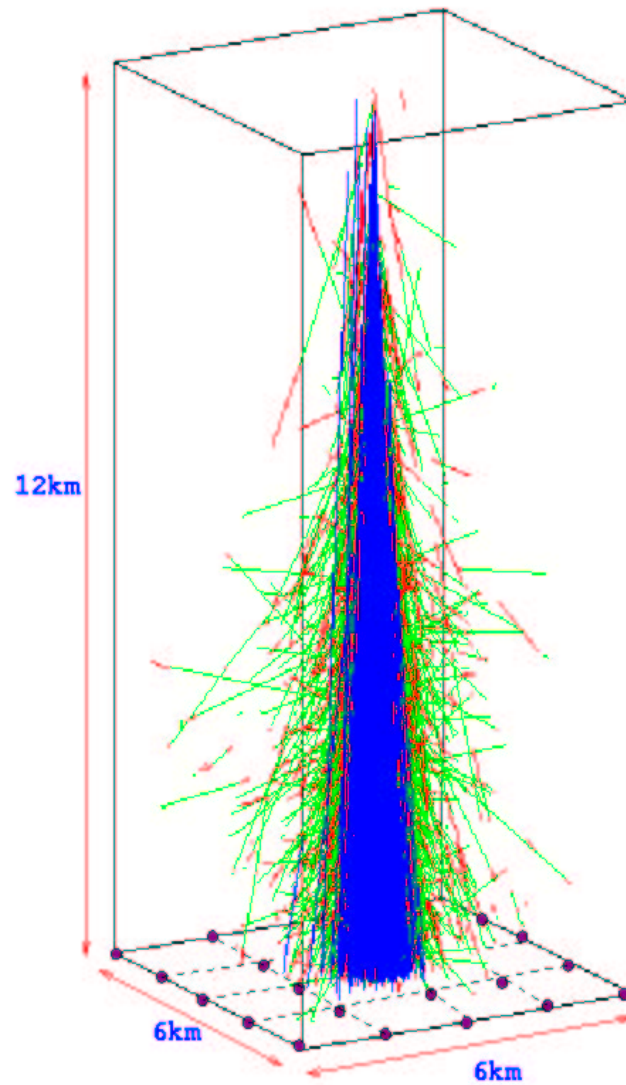
Confronto fra sciame
e.m. ed adronici



Confronto fra sciami
e.m. ed adronici



A 10 EeV Extensive Air Shower (EAS)



100 billion particles at sea level

photons, electrons (99%), muons (1%)

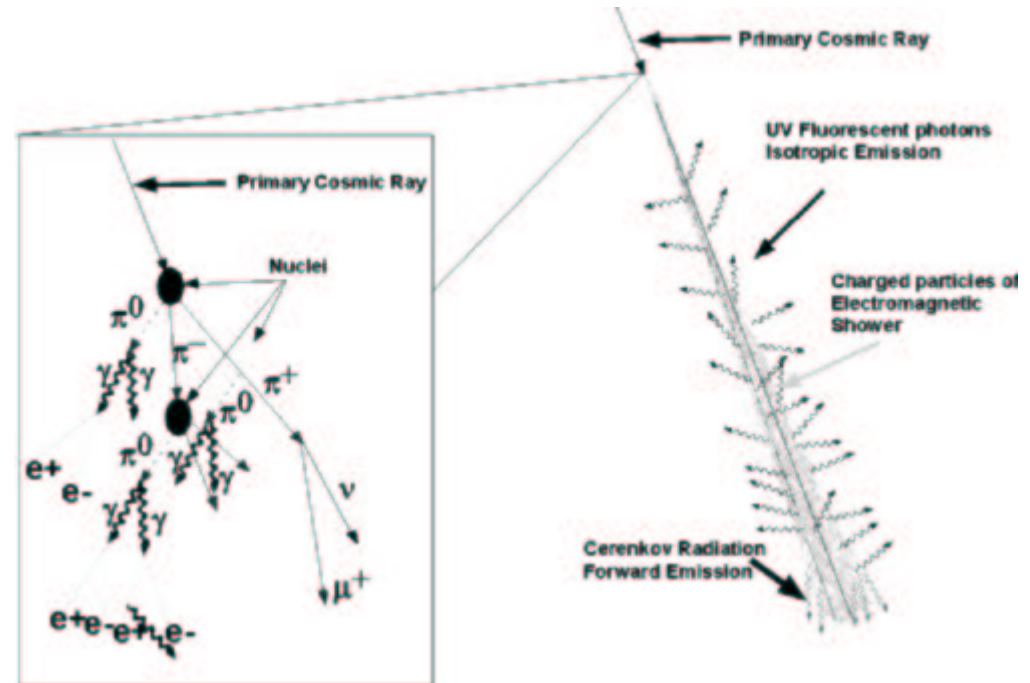
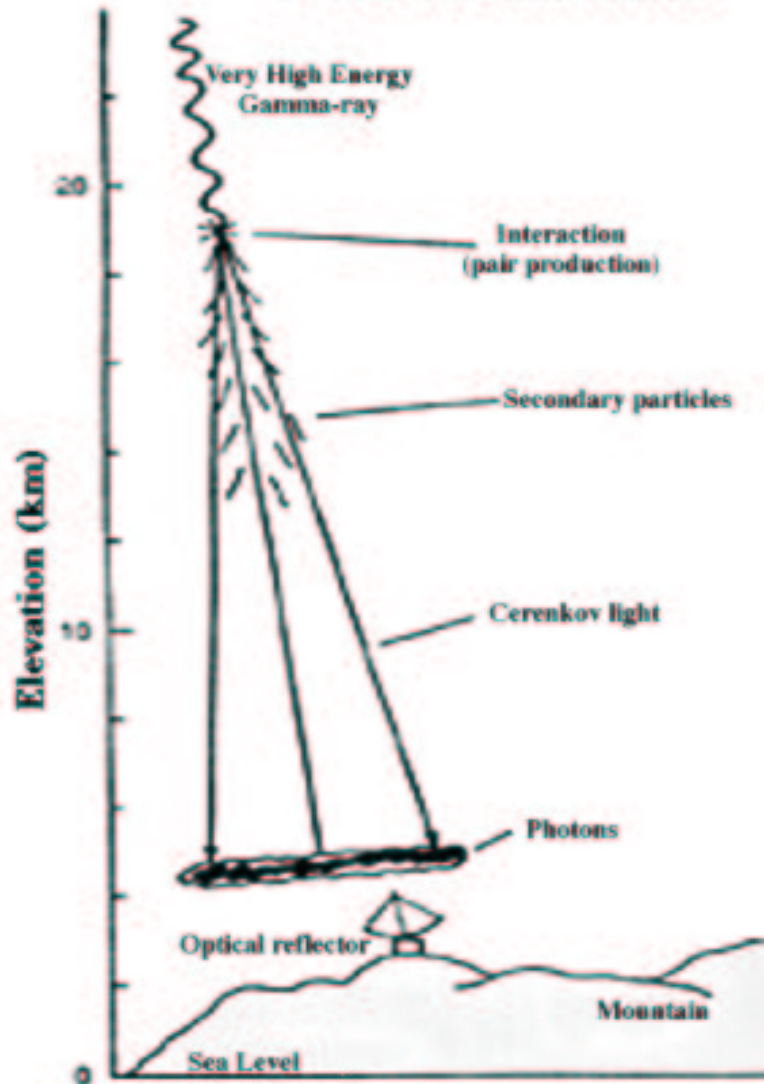
● Ground Array stations

Air Cerenkov

- Lo sviluppo degli EAS genera fotoni Cerenkov
- I fotoni Cerenkov illuminano una zona di raggio 130 m ad una quota di 2000 m s.l.m.
- La densità dei fotoni visibili è 200 a m² per un EAS da 1 TeV. Sufficientemente uniforme
- Il numero dei fotoni visibili è proporzionale alla energia iniziale
- La luce di fondo del cielo notturno definisce l'energia di soglia di rivelazione. Le osservazioni vanno eseguite durante le notti serene e senza luna. 6-15% duty cycle
- Il telescopio deve essere puntato sulla sorgente
- Discriminazione gamma/adroni dal pattern

La tecnica Air Cerenkov Telescope (ACT)

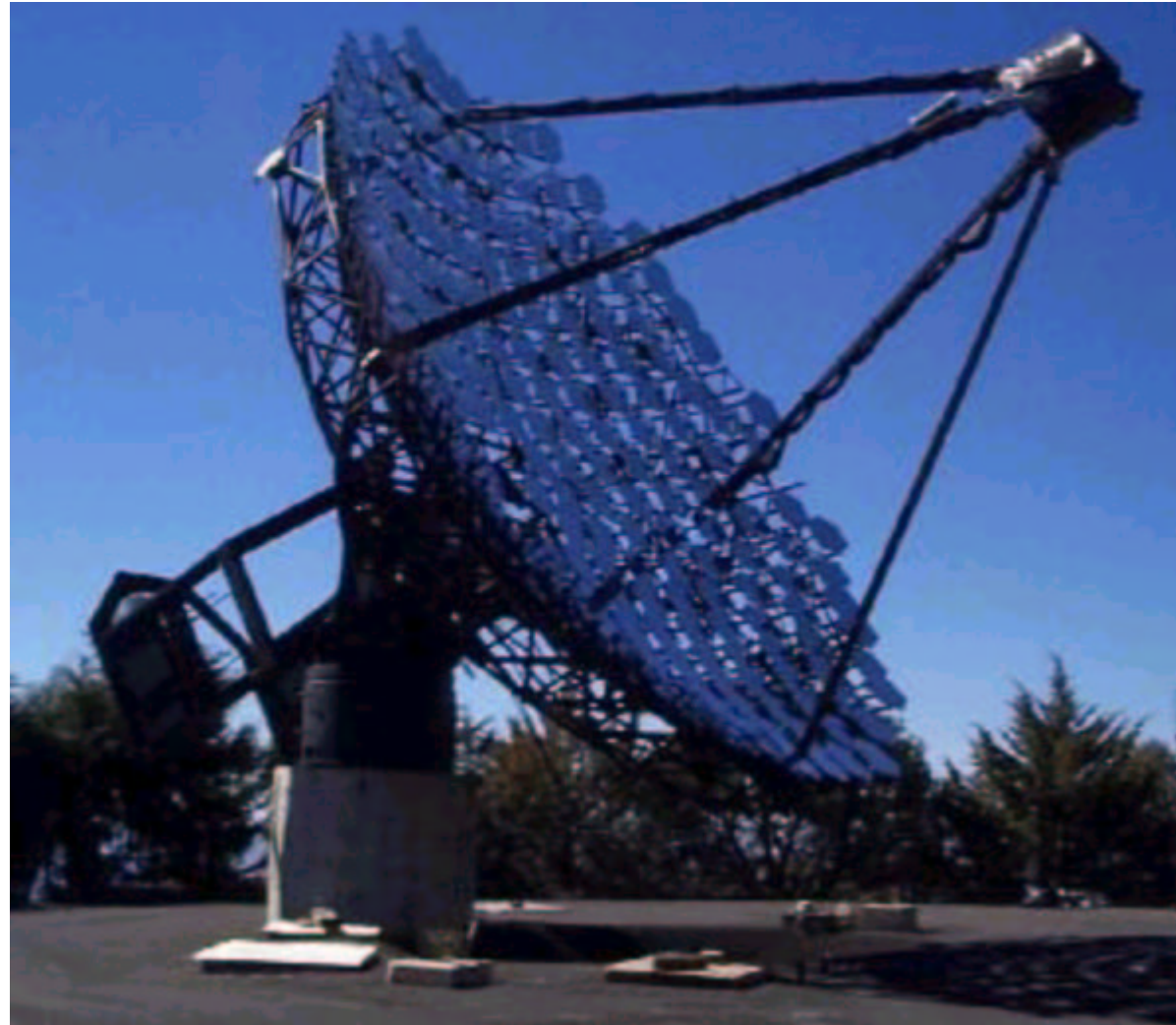
Top of the atmosphere



I principali parametri dei più importanti ACT (Air Cerenkov Telescope)

Telescope	Whipple	CAT	HGRA	TA	TACTIC	CANGAROO	Durham	CrAO
Site	Mt. Hopkins	Themis	La Palma	Dugway	Mt. Abu	Woomera	Narrabi	Crimea
Longitude	-110°	-2.0°	-17.8°	-113.0°	+72.7°	+136.8°	+149.8°	+34°
Latitude	31.4°N	42.5°N	28.8°N	40.33°N	24.6°N	31.1°S	0,5 °S	45°N
Elevation m	2300	1650	2200	1600	1300	160	200	600
N. of telesc.	1	1	4	3	4	1	1(3 dishes)	2X6 dishes
Thersh. GeV	250	300	500	600	700	1000	250	900
Sensyt. cm⁻²s⁻¹	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹	4x10 ⁻¹¹	(?) 10 ⁻¹¹	(?) 10 ⁻¹¹	4x10 ⁻¹²	5x10 ⁻¹¹	5x10 ⁻¹²

Il Telescopio Whipple



HESS : Very high energy Gamma-ray
astrophysics above 100 GeV

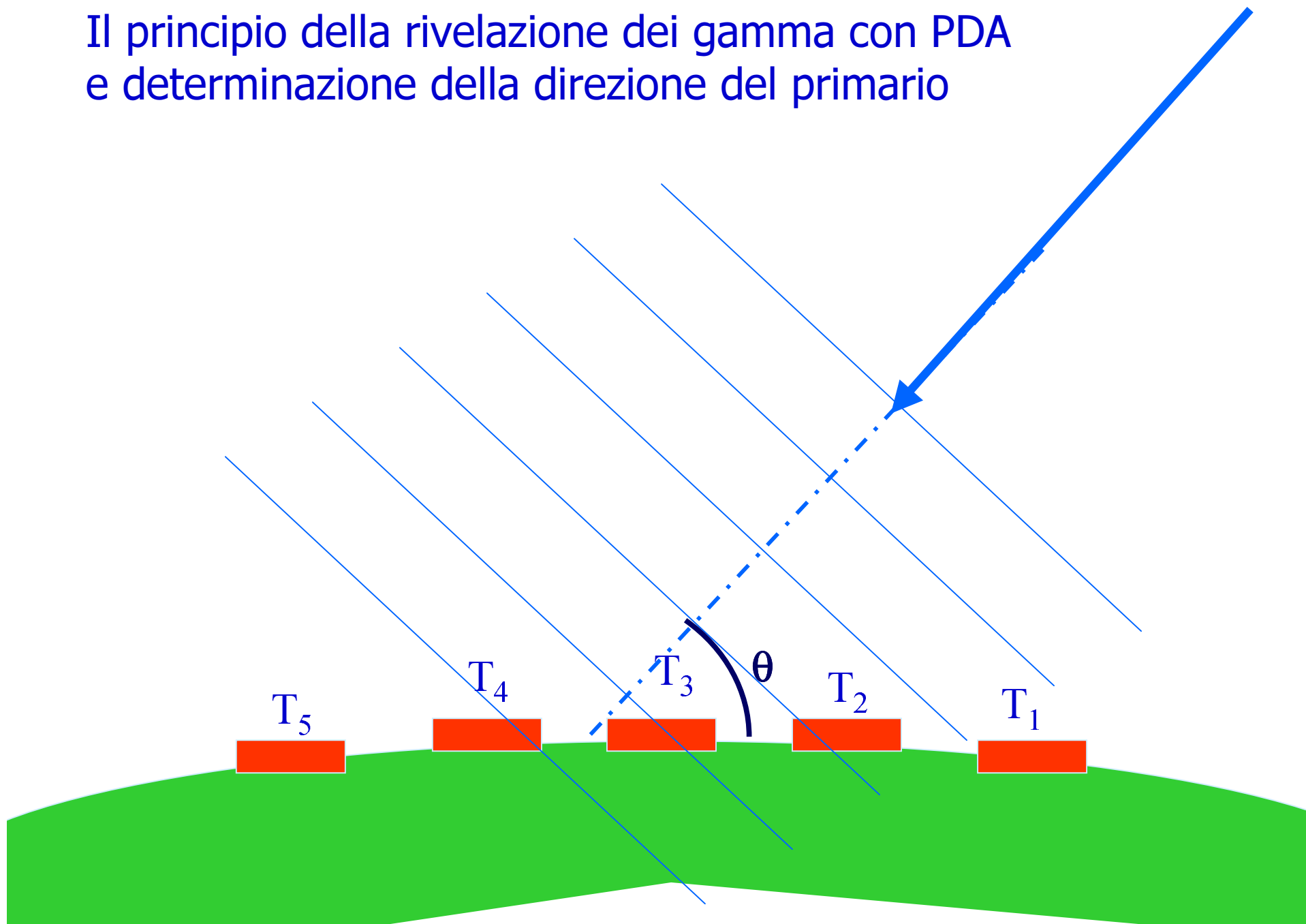


Extensive Air Shower Particle Detector Array EAS - PDE

Caratteristiche degli EAS - PDA

- Tipo di radiazione cui sono sensibili (sampling)
- Superficie totale
- Soglia energetica - Non bene definita
- Risoluzione angolare
- Risoluzione energetica
- Discriminazione gamma/adroni

Il principio della rivelazione dei gamma con PDA e determinazione della direzione del primario



La direzione del primario è ricostruita dalla misura dei tempi di arrivo sui contatori. La risoluzione angolare può essere espressa da una relazione del tipo

$$\sigma_{\theta} = \frac{K\sigma_t}{N\Delta}, \quad K \approx 1,$$

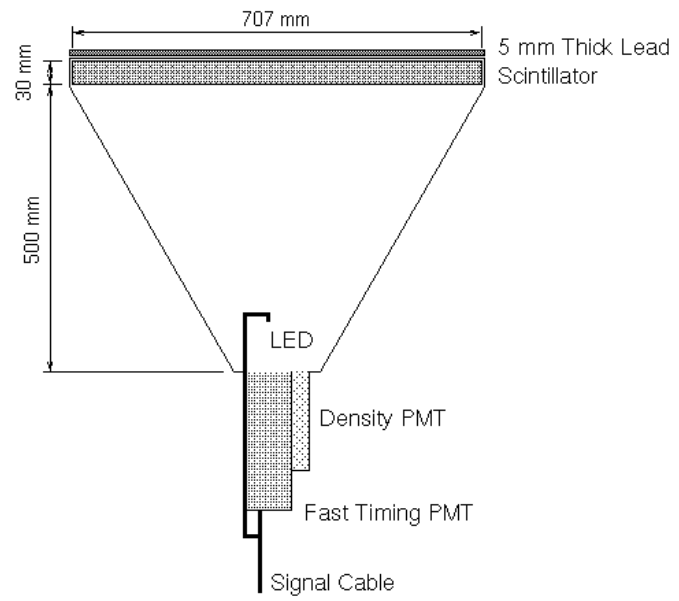
Dove $K \approx 1$, N è il numero dei contatori, Δ la loro separazioni in metri, e σ_t la risoluzione temporale in ns

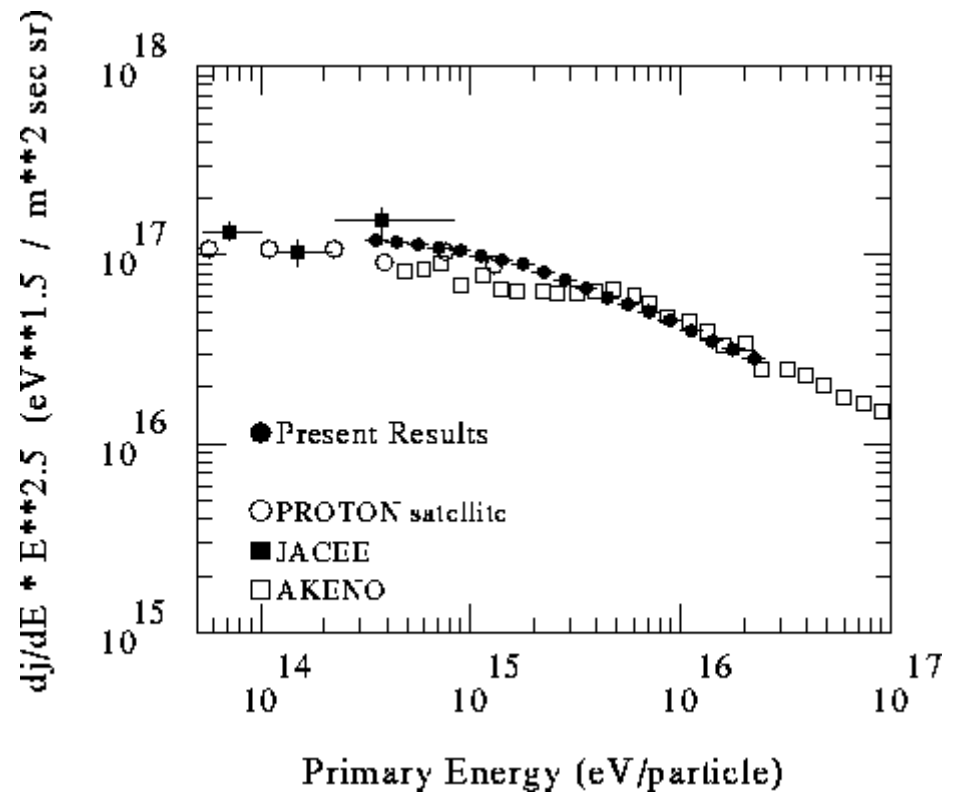
Controllo con l'ombra della luna e del sole(!)

Particle Detector Array recenti

Group	Location	Area(sqm)	n. det.	Ep (TeV)	Mu area(sqm)	rate (Hz)	Years
CASA-MIA	Utah	230400	1089	110	2500	20	1991-96
CYGNUS	Los Alamos	86000	204	50	120	5	1986-96
HEGRA	La Palma	41000	257	50	150	12	1992-
SPASE	South Pole	10000	24	100		1	1987-92
Tibet	YBJ	8000	49	8	0	5	1990-93
		44000	221	8	0	230	1995-
		5000	109	2	0	230	1996-







CASA-MIA Particle detector Array



Rivelatori basati sulla Terra

- Gli sciami estesi in atmosfera (Extensive air shower (EAS))

