

Aurelio Tonachini

L'osservatorio Pierre Auger

Risultati recenti e prospettive



Congressino INFN 2008

Sommario

- L'osservatorio Pierre Auger
- La calibrazione dei rivelatori
- Risultati recenti

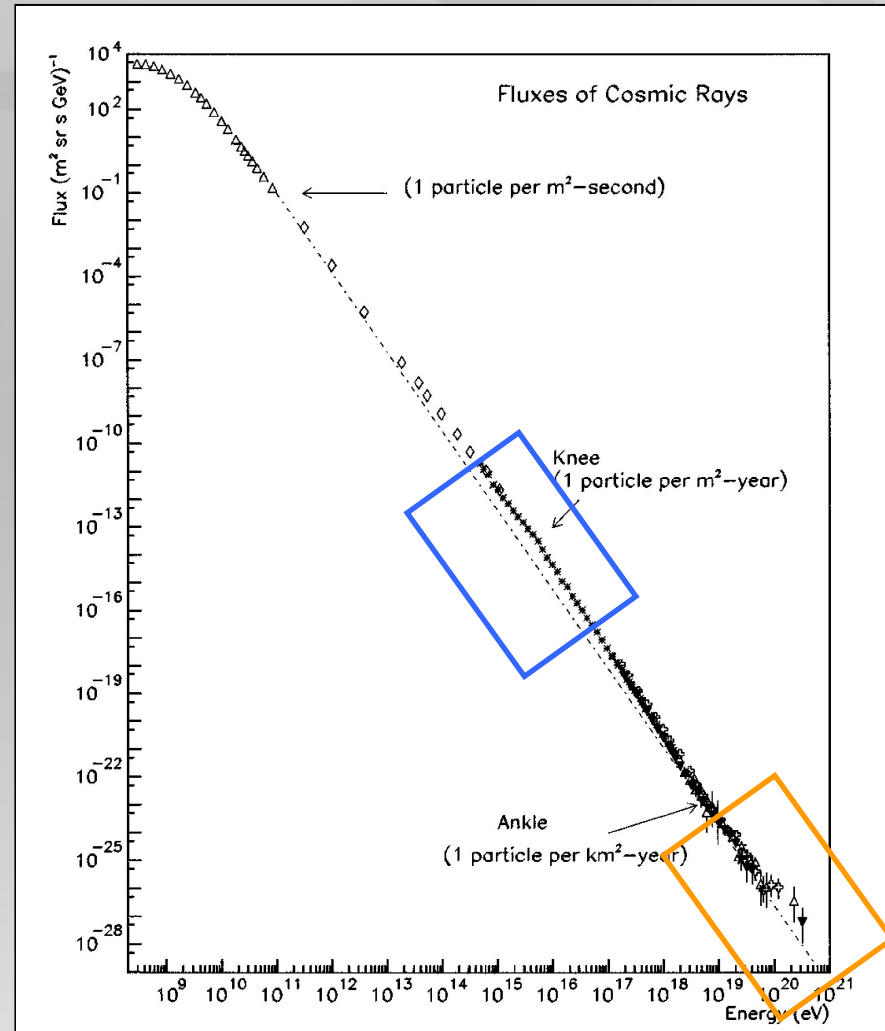


Raggi Cosmici di Energia Ultraelevata

Il flusso dei RC segue una legge di potenza $\sim E^{-2.7}$

La pendenza cambia:
ginocchio, **caviglia**

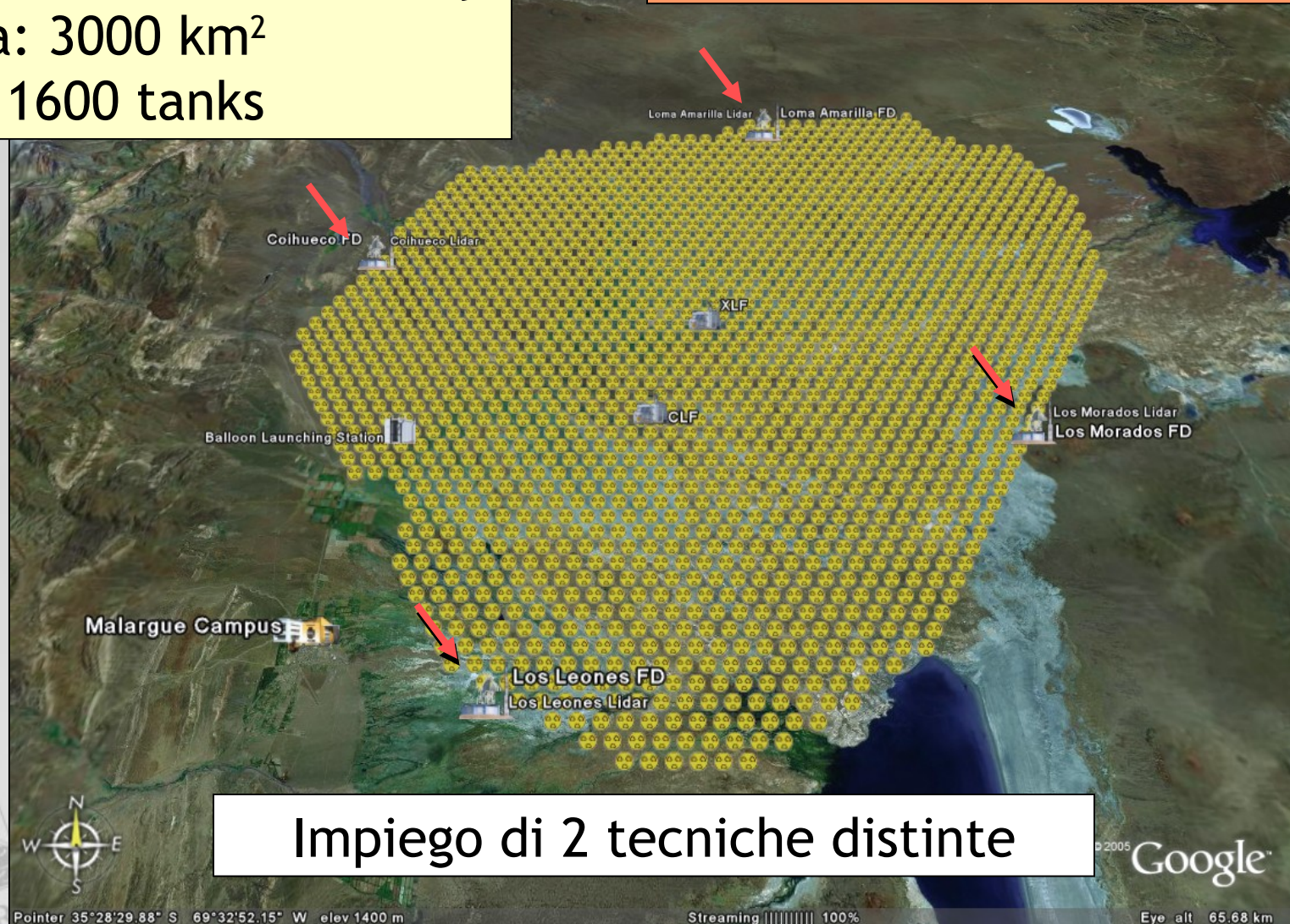
A energie $> 10^{18}$ eV
il flusso è molto basso:
1 particella per km²-anno



Auger SUD

Surface Detector Array
area: 3000 km²
con 1600 tanks

4 Fluorescence Detectors
6 optical bays per sito
FOV: 180° x 30°

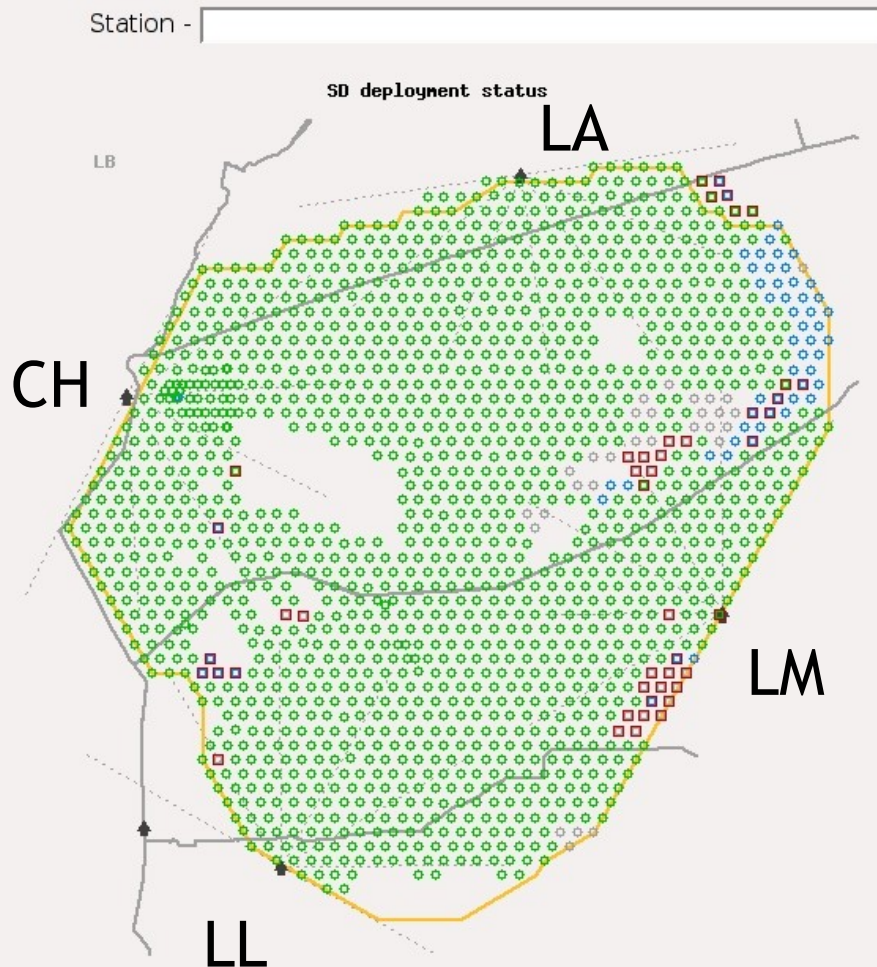






Impiego di 2 tecniche distinte

Auger SUD: stato corrente

SD Deployment Status

There are 1592 tanks deployed, 1540 with water and 1481 with electronics



-  Tank operativa
-  Tank non operativa
-  Tank non operativa
-  Tank non operativa

Surface Detector (SD)

Area: 10 m^2

Altezza: 1.2 m

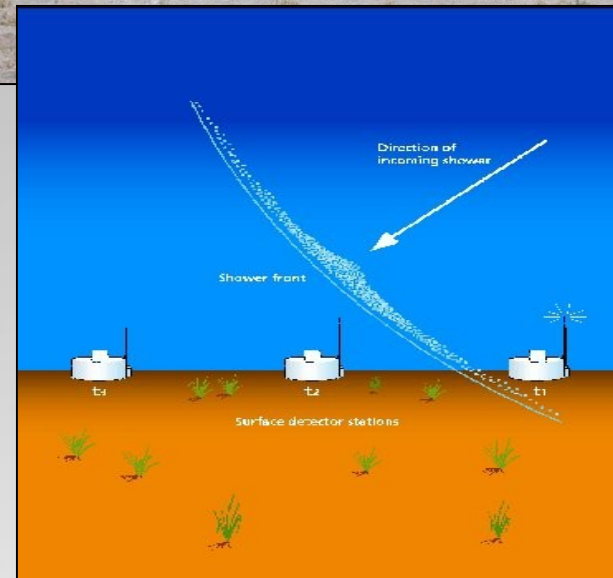
Elettronica di campionamento
locale (freq. 40 MHz)

Ricevitore GPS

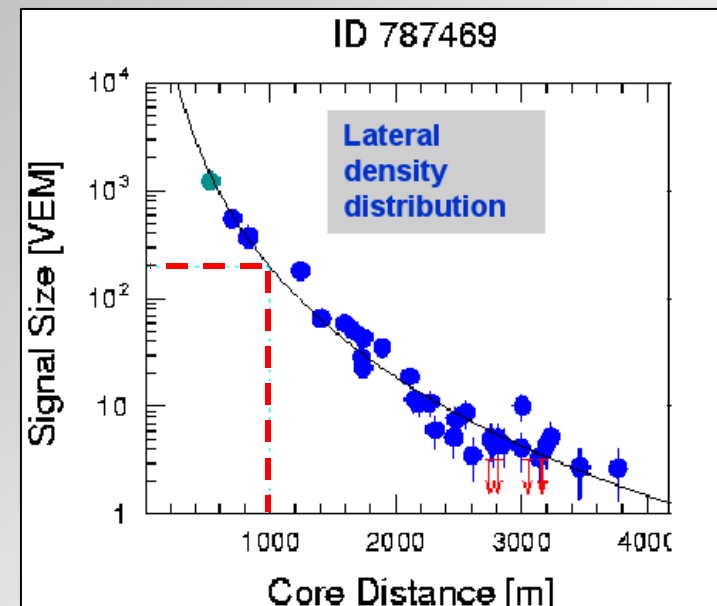
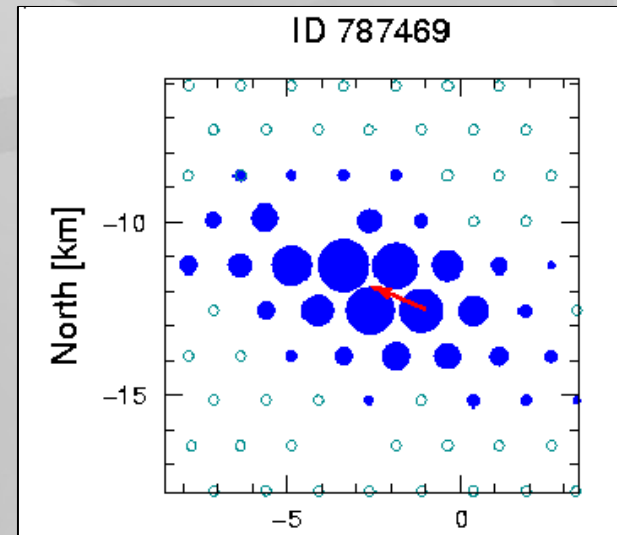
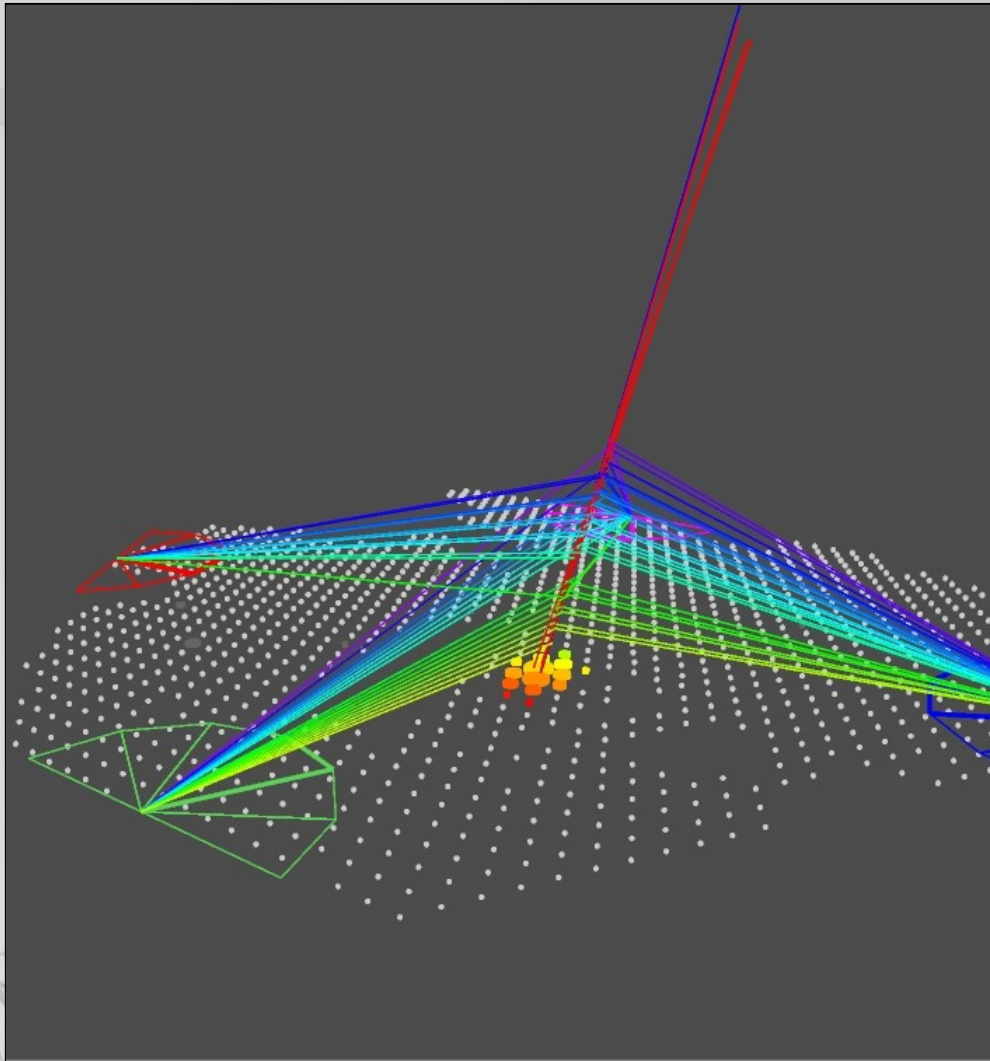
Sistema di comunicazione radio

- Geometria dello sciame dai tempi di arrivo del fronte dello sciame rilevati da più cisterne.
- Parametro proporzionale all'energia dello sciame, $S(1000)$

Duty cycle: 100%



Surface Detector (SD)



Fluorescence Detector (FD)

Rivela la luce di fluorescenza emessa isotropicamente al passaggio dello sciame

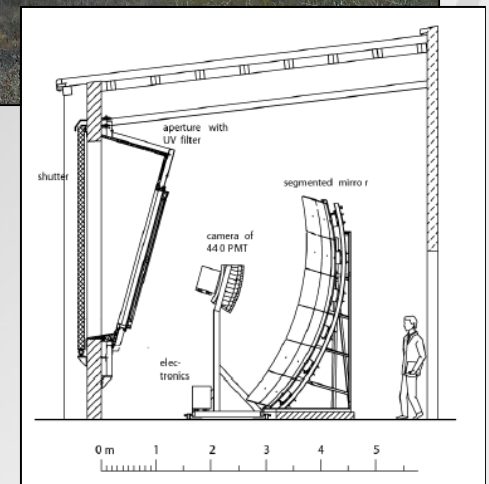
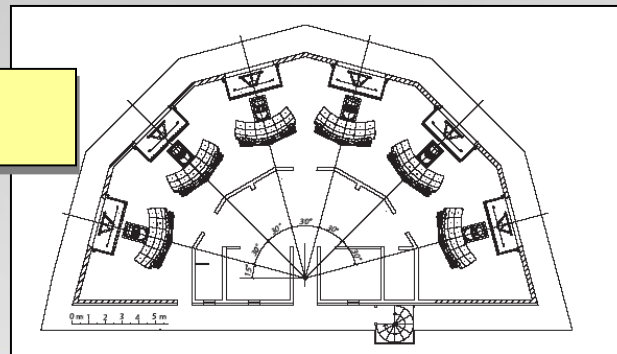
- Sviluppo longitudinale



Composizione e geometria

- Misura calorimetrica dell'energia

Duty cycle: ~10%



Fluorescence Detector (FD)

aperture box

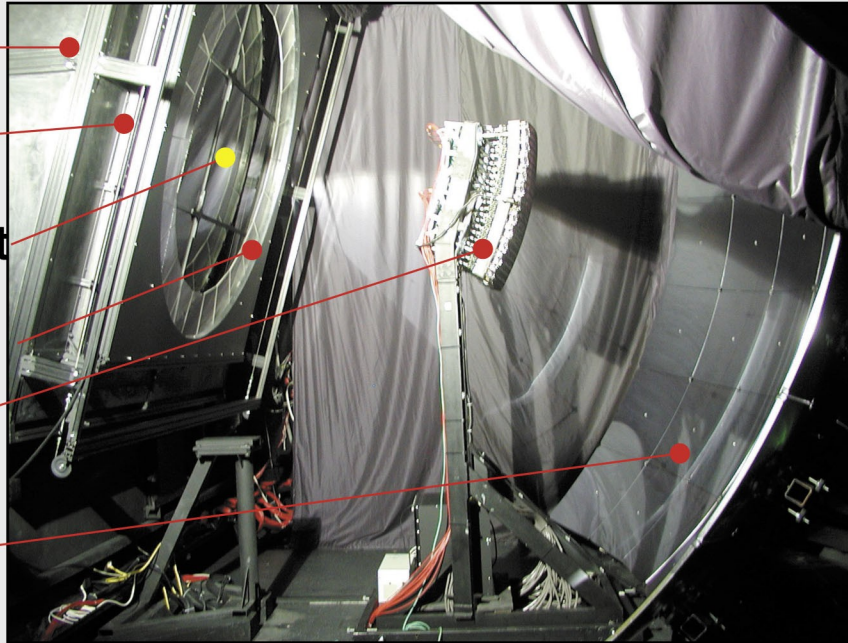
filter

reference point

corrector ring

camera

mirror system

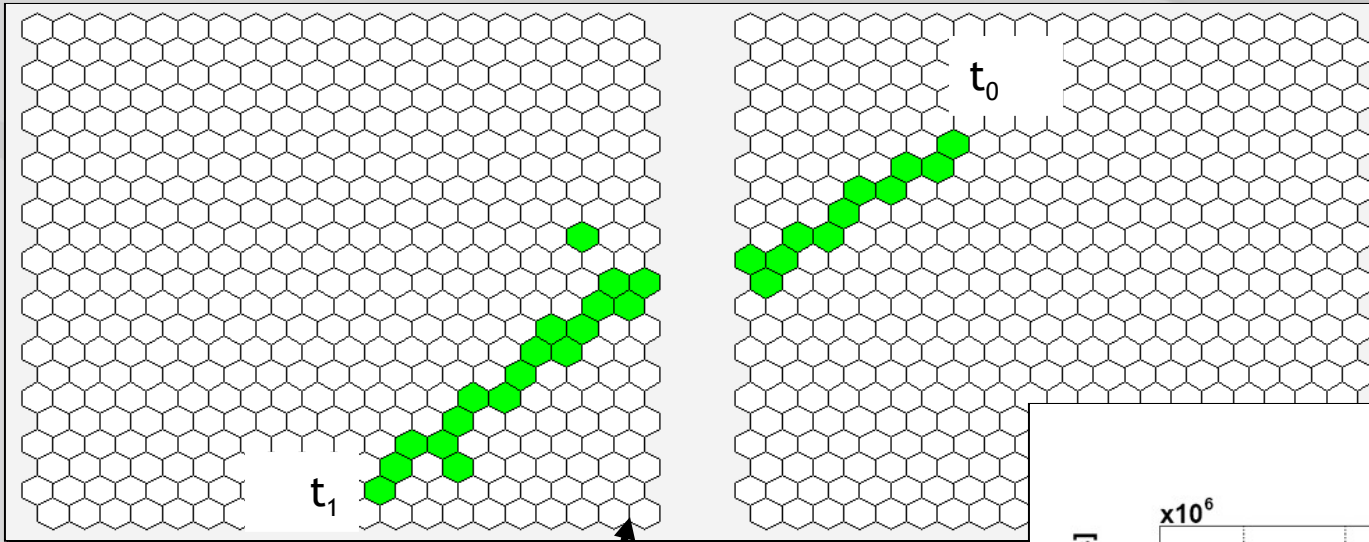


20 x 22 PMT esagonali
(diametro: 1.5°)

Campionamento a 100 MHz

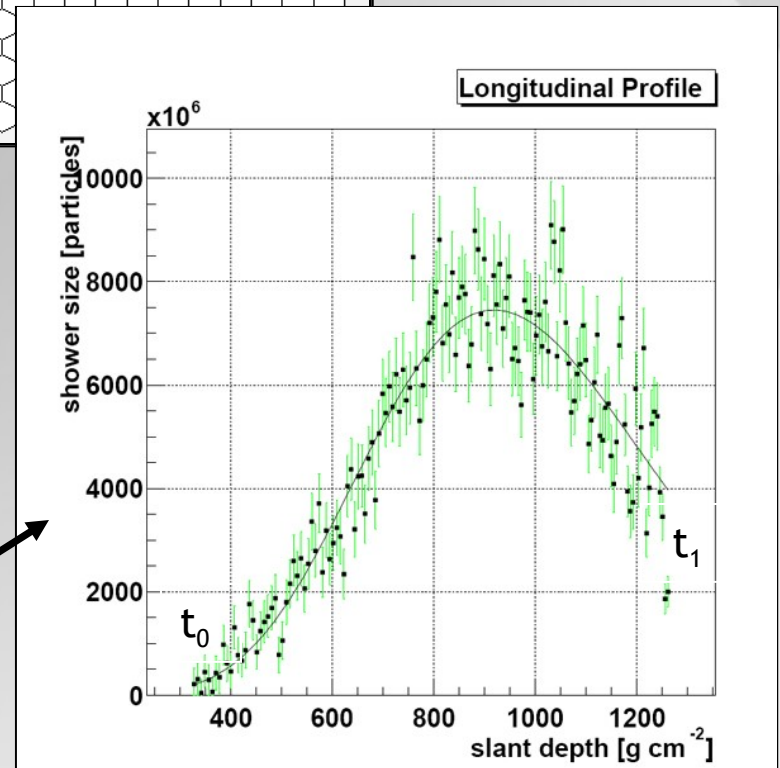


Rivelazione FD



RC visto da due baie

L'intensità luminosa è convertita in numero di particelle in funzione della profondità atmosferica



Vantaggi di un sistema “ibrido”

SPETTRO

SD: S(1000), ampia area di rivelazione, 24/24h di funzionamento, apertura facilmente calcolabile

FD: conversione $S(1000) \Rightarrow E$

ANISOTROPIA

FD+SD: direzione di arrivo con alta precisione \Rightarrow controllo direzioni calcolate con solo SD; risoluzione angolare SD

COMPOSIZIONE

FD: misura diretta di X_{max}

FD+SD: studio di nuovi parametri legati alla massa dei primari

Incertezze sistematiche

Sorgente	Incertezza sistematica
Fluorescence Yield (FY)	14%
Effetti sul FY di P,T, e umidità	7%
Calibrazione	9.5%
Ricostruzione, Atmosfera	11%
Energia invisibile	4%
TOTALE	22%

Incertezze sistematiche nella determinazione dell'energia con il metodo ibrido. Sforzi sono ora in corso per ridurre le principali incertezze legate al FY, alla calibrazione assoluta, al metodo di ricostruzione e alle condizioni atmosferiche (aerosol, nuvole).

Monitoraggio atmosferico

L'atmosfera è una parte essenziale del nostro sistema di rivelazione

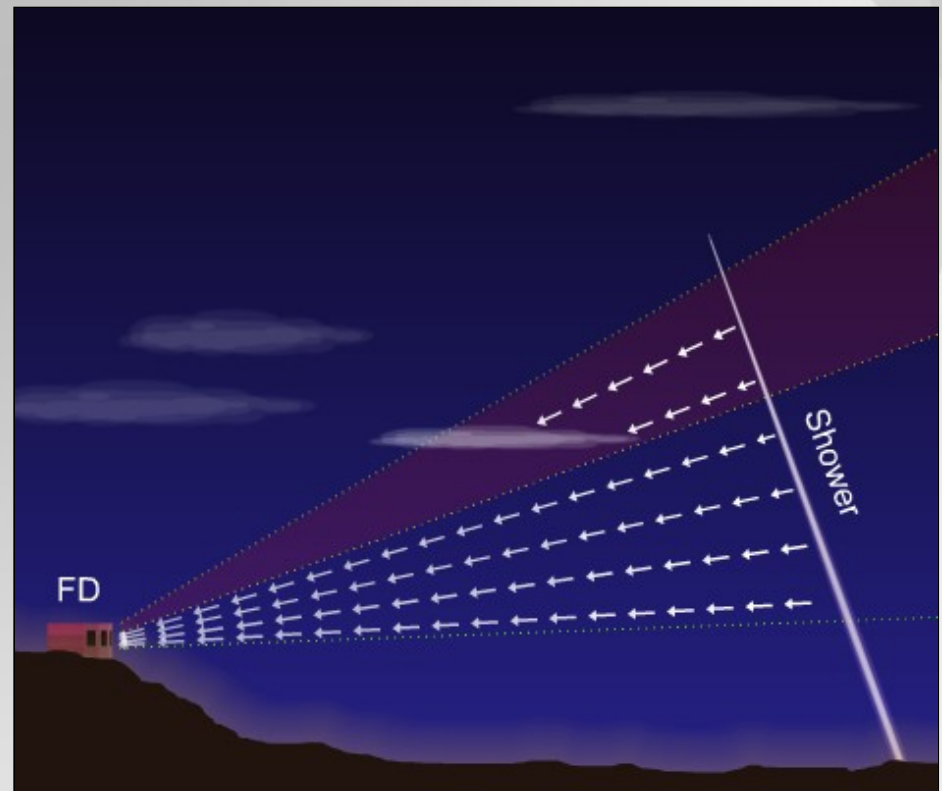


Le sue proprietà vanno attentamente monitorate

$$N_{em}(x) \propto \frac{N_{ph}^{FD}(x) \cdot R(x)^2}{T(x)}$$

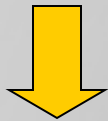
Effetti principali:

- Assorbimento delle nuvole
- Scattering causato da molecole e aerosol



Componente molecolare

Le proprietà della componente molecolare sono più stabili nel tempo



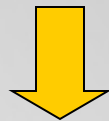
- Lanci di palloni mensili
 $\rho(h)$, $P(h)$, $T(h)$
- Stazioni meteorologiche
(velocità e direzione del vento,
temperatura, pressione, umidità)



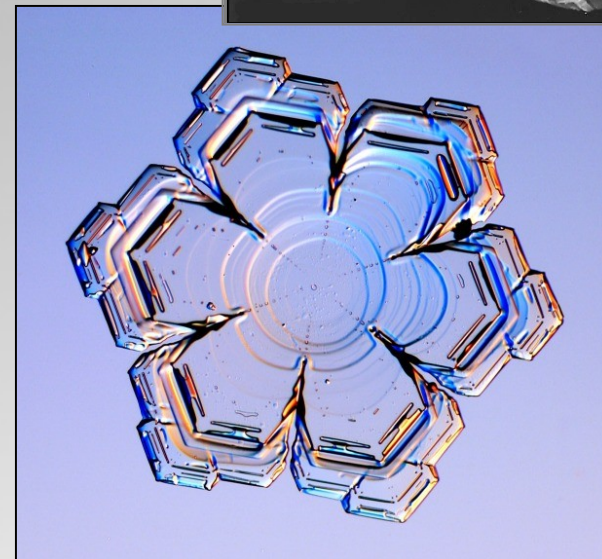
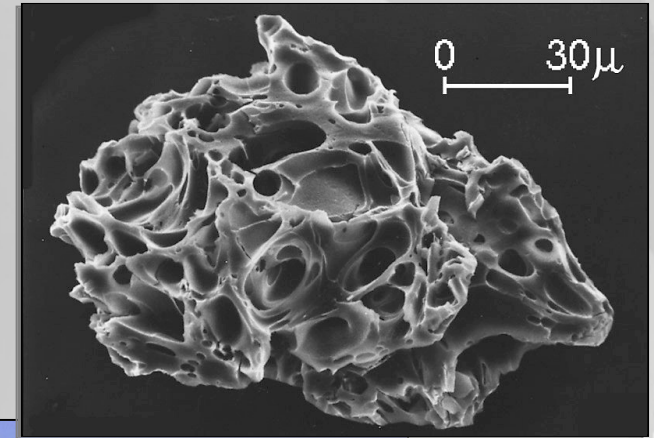
Il particolato

L'intensità dello scattering dovuto al particolato dipende da:

- dimensione e forma del diffusore
 - indice di rifrazione
 - lunghezza d'onda della luce incidente
 - densità di particolato
-
- *Molto difficile da modellare*
 - **Brusche variazioni** durante la notte



Costante monitoraggio durante la notte.



Unità per il monitoraggio

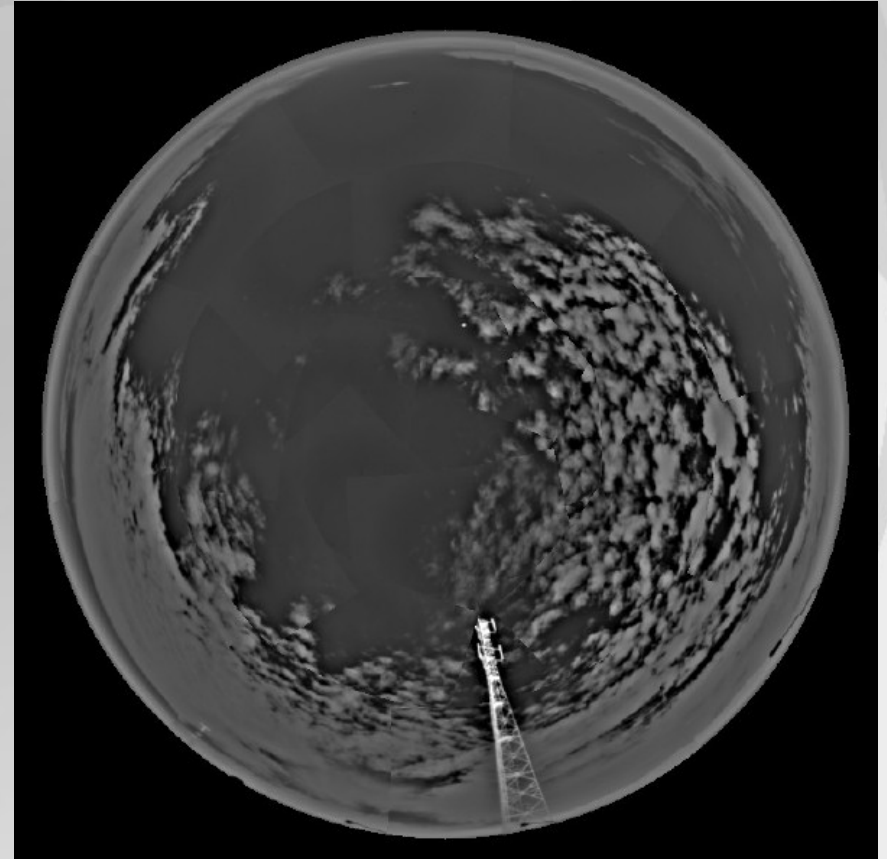
Infrared cloud cameras

Una per ogni FD

Fornisce un'immagine:

- di tutto il cielo ogni 15 minuti
- del FOV ogni 5 minuti

Altezza e spessore delle nuvole non nota;
Nuvole sopra gli 8 km non visibili.



Unità per il monitoraggio

● CLF + XLF

sorgente laser orientabile rivelato dagli FD

Misurazioni di attenuazione luminosa
(tecnica adottata anche da HiRes)

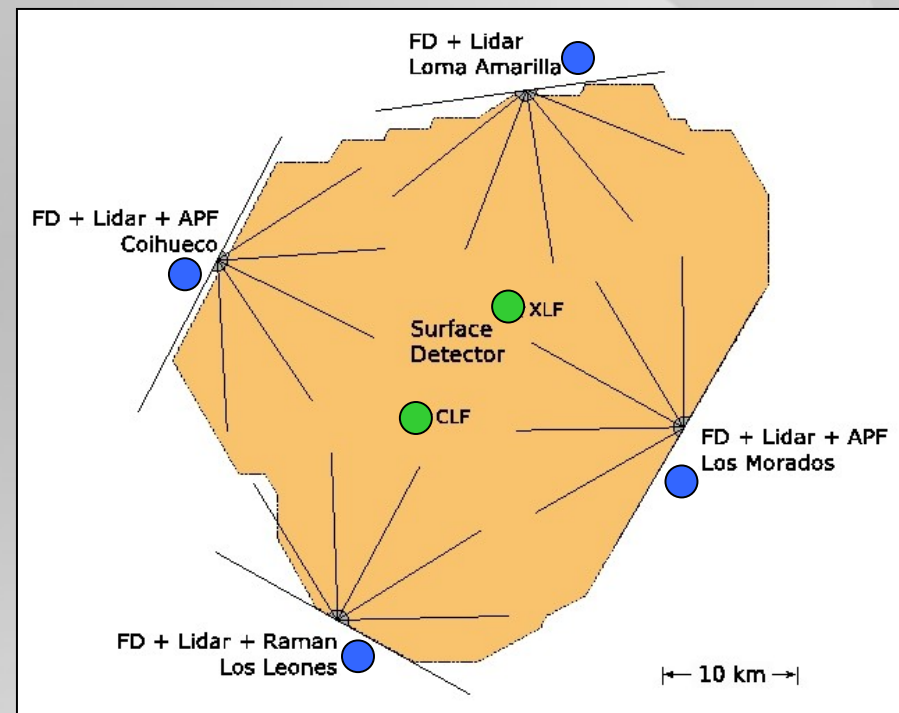


● 4 LIDAR

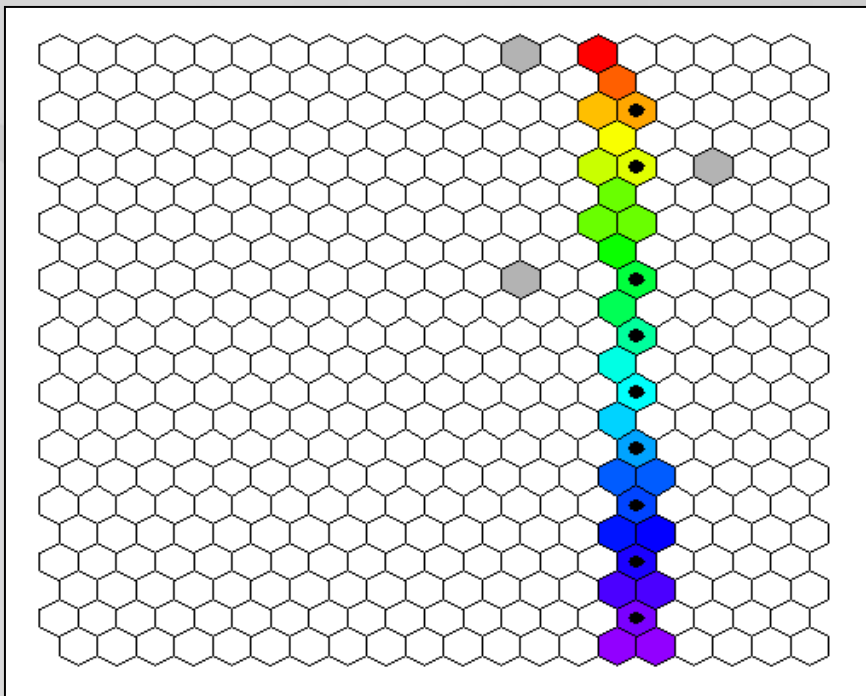
(Light Detection and Ranging)

telescopi direzionabili che effettuano

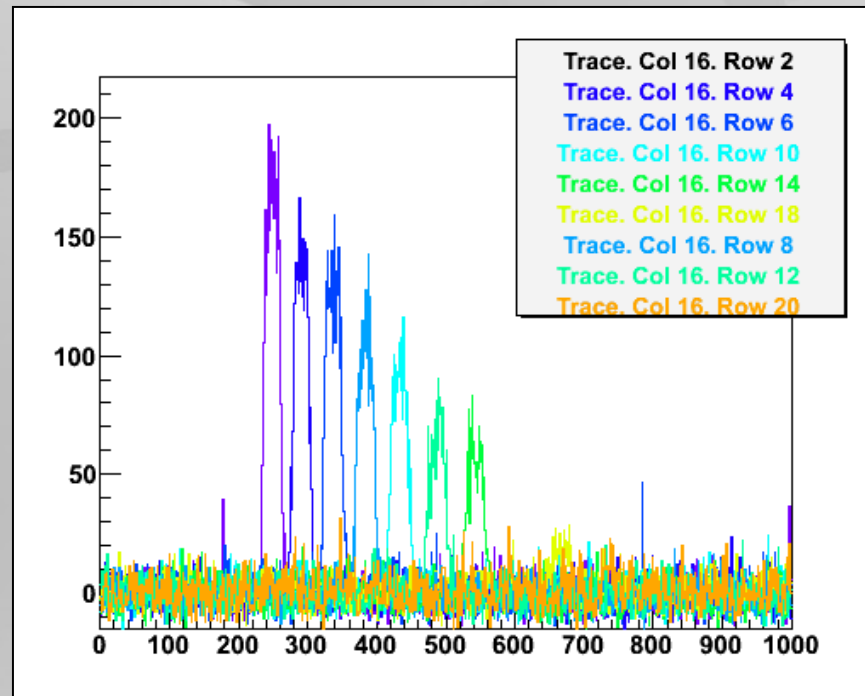
- 1) misure al di fuori del FOV
- 2) scansioni degli sciami di più elevata energia



Central laser facility (CLF)



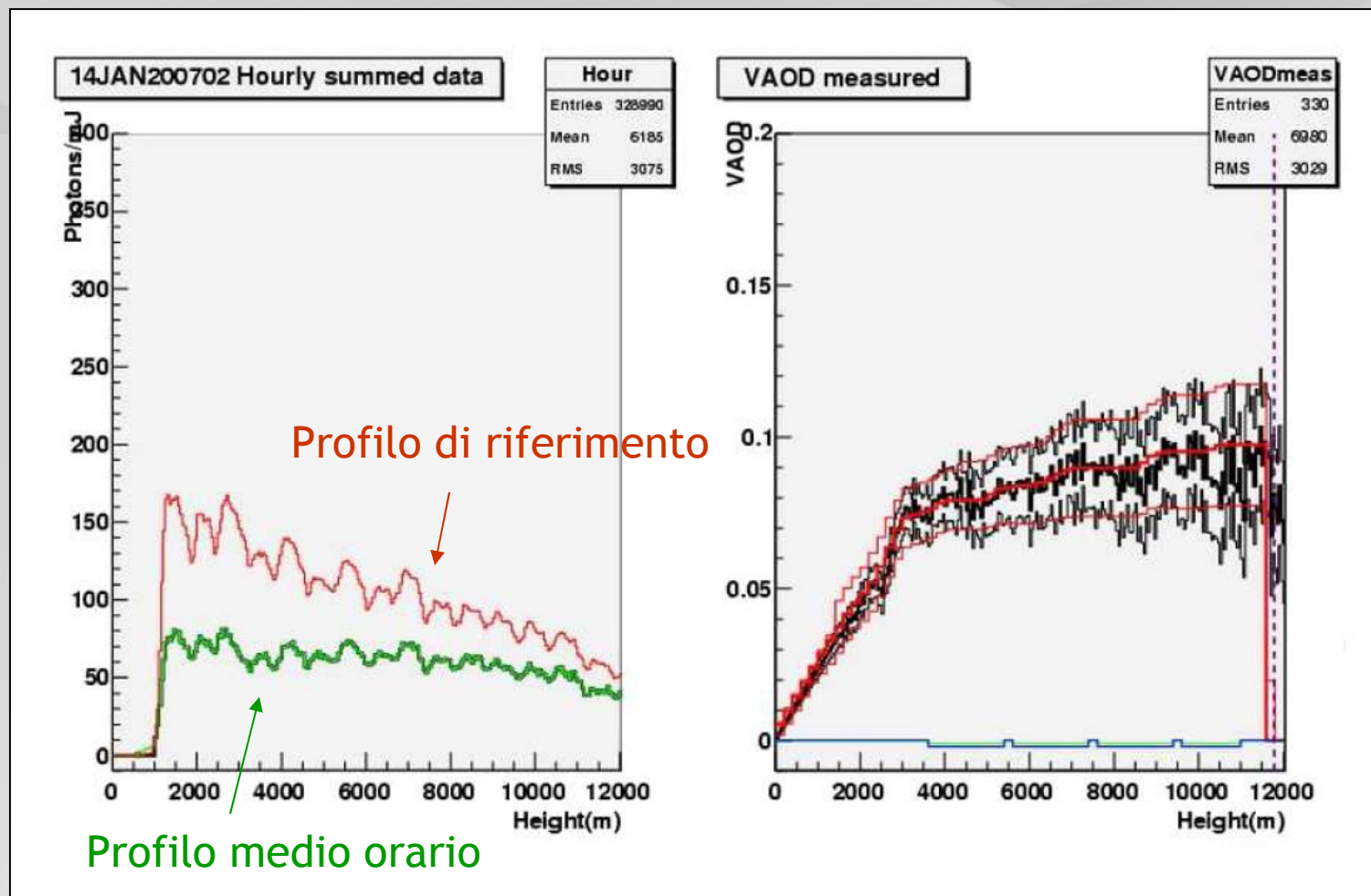
Il laser del CLF viene rivelato dagli FD



Intensità dal laser in funzione del tempo (altezza)

Il CLF spara ogni 15 minuti nel FOV dei rivelatori di fluorescenza.

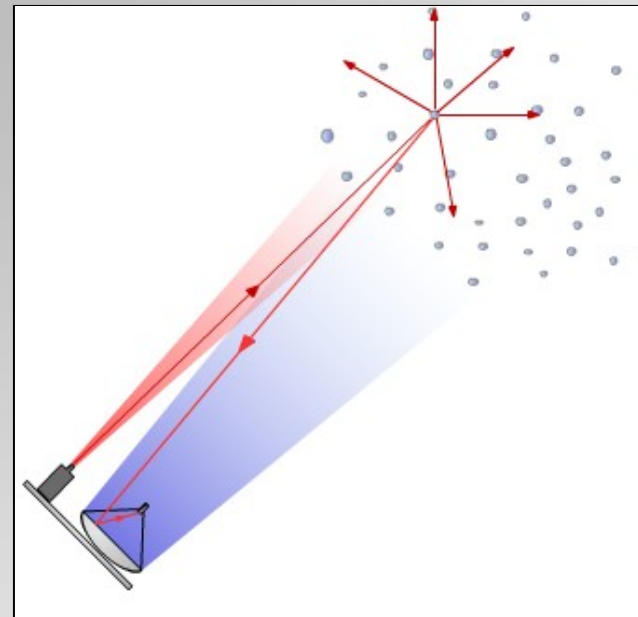
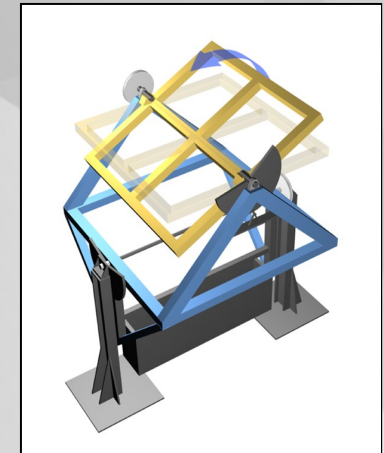
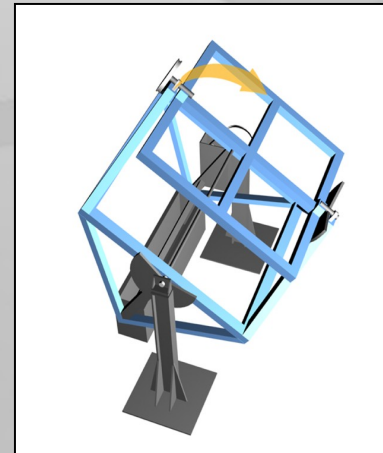
Central laser facility (CLF)



LIDAR

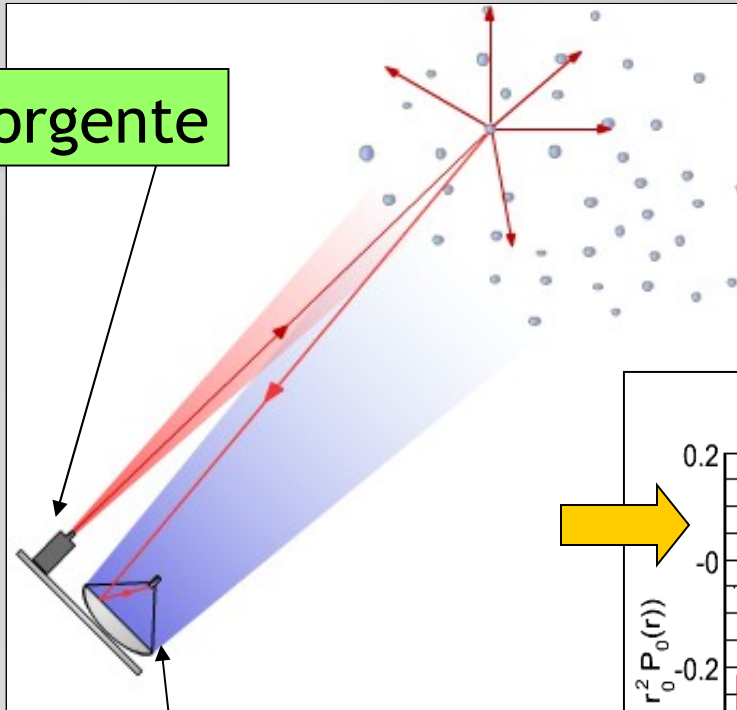
I nostri lidar possono puntare
in qualsiasi direzione del cielo

Tre ricevitori e una sorgente laser
ad alta ripetizione (333 Hz, 351 nm)



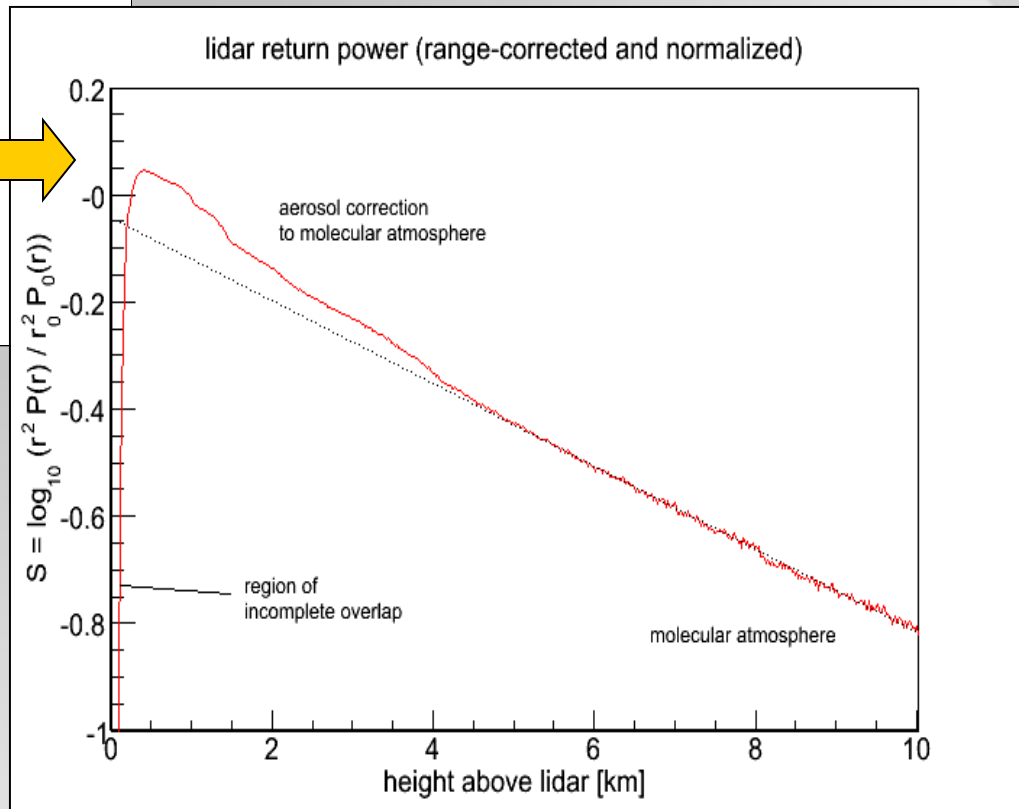
LIDAR

Sorgente



Ricevitore

Il LIDAR misura la quantità di luce di *backscattering* in funzione del tempo (della distanza)



Modalità di scansione

1 - AUTOSCAN

- **Spari orizzontali**

Omogeneità orizzontale

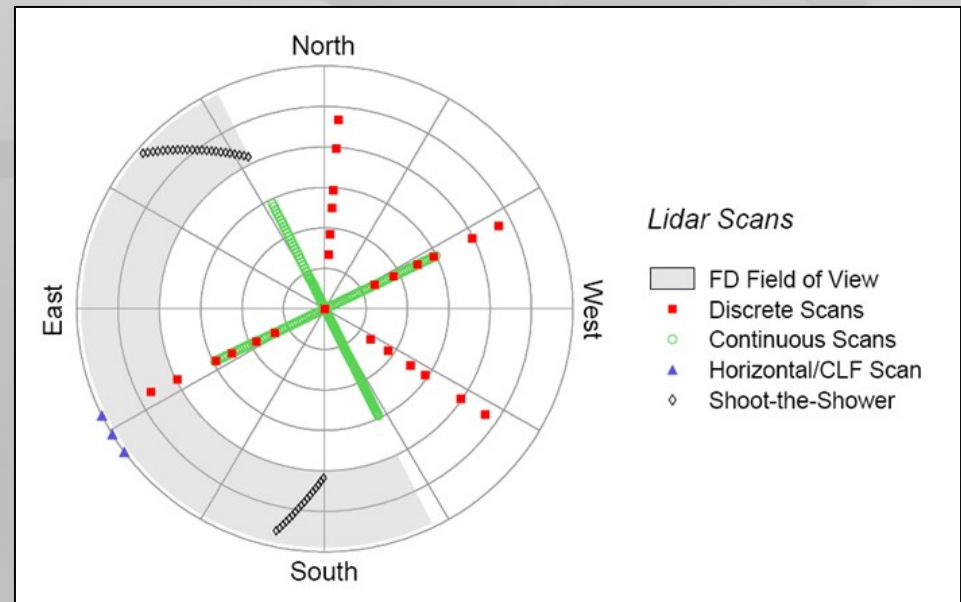
- **Scansioni continue**

Copertura nuvolosa

- **Scansioni discrete**

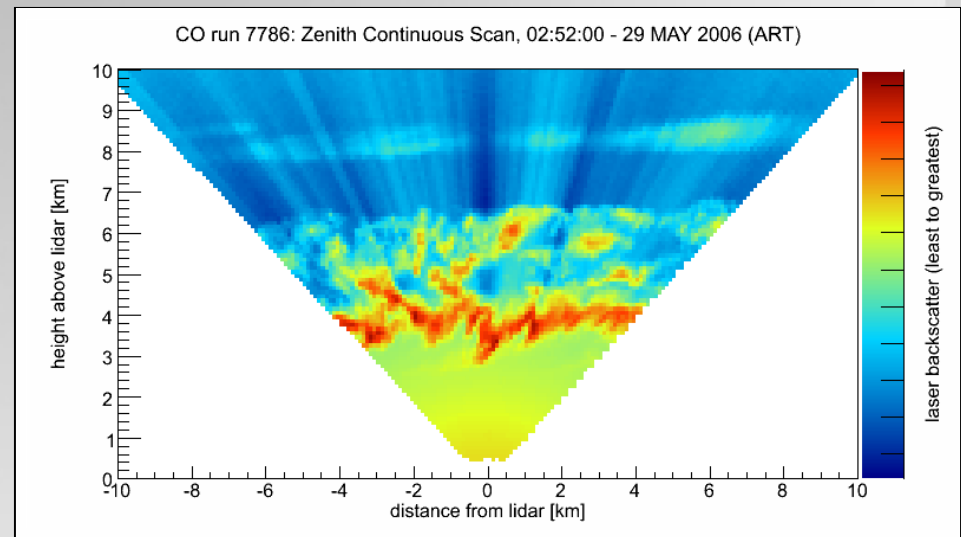
Risoluzione più alta.

Trasparenza atmosferica con tecniche multiangolari



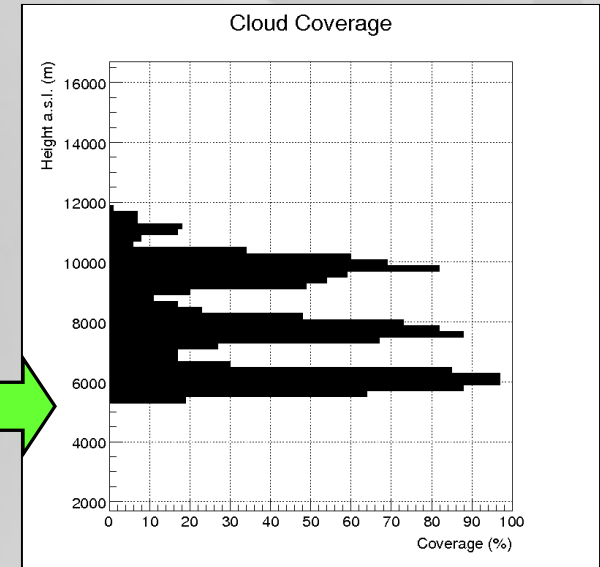
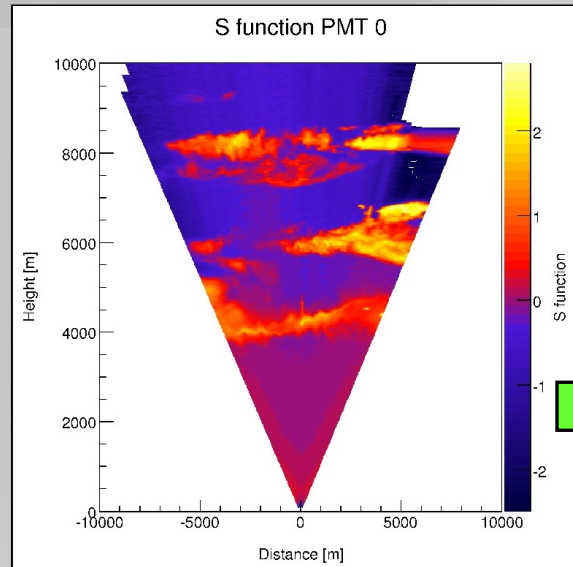
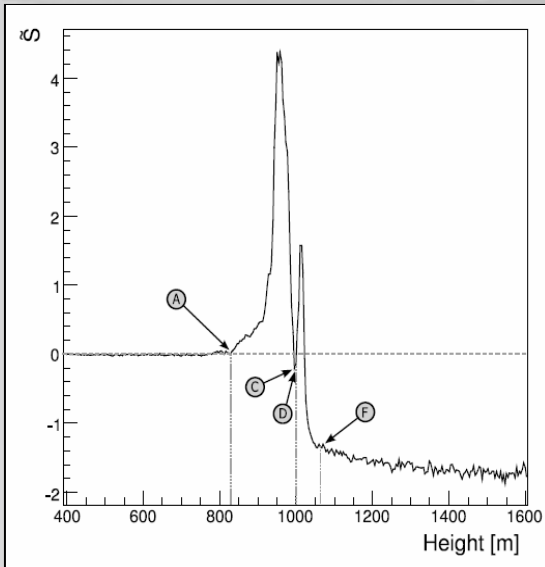
2 - SHOOT THE SHOWER

Scansione dettagliata per gli scami più energetici.



Analisi LIDAR

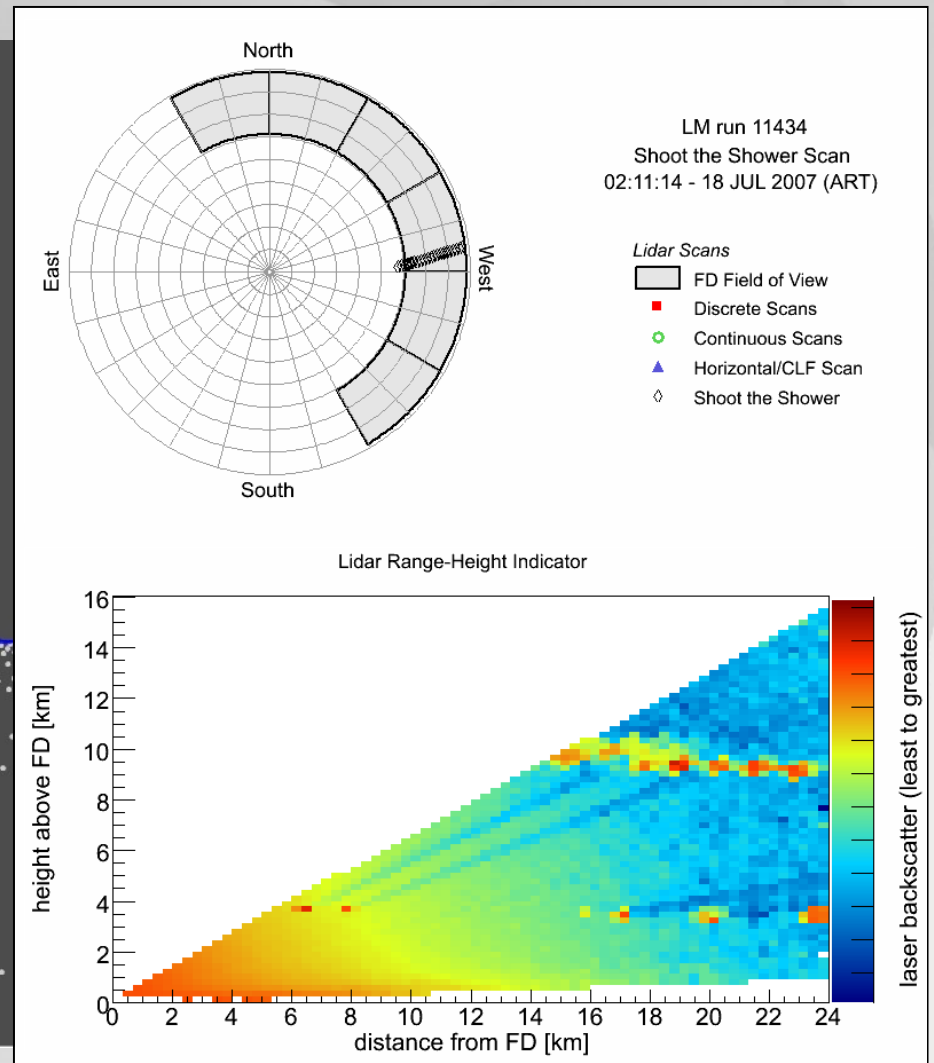
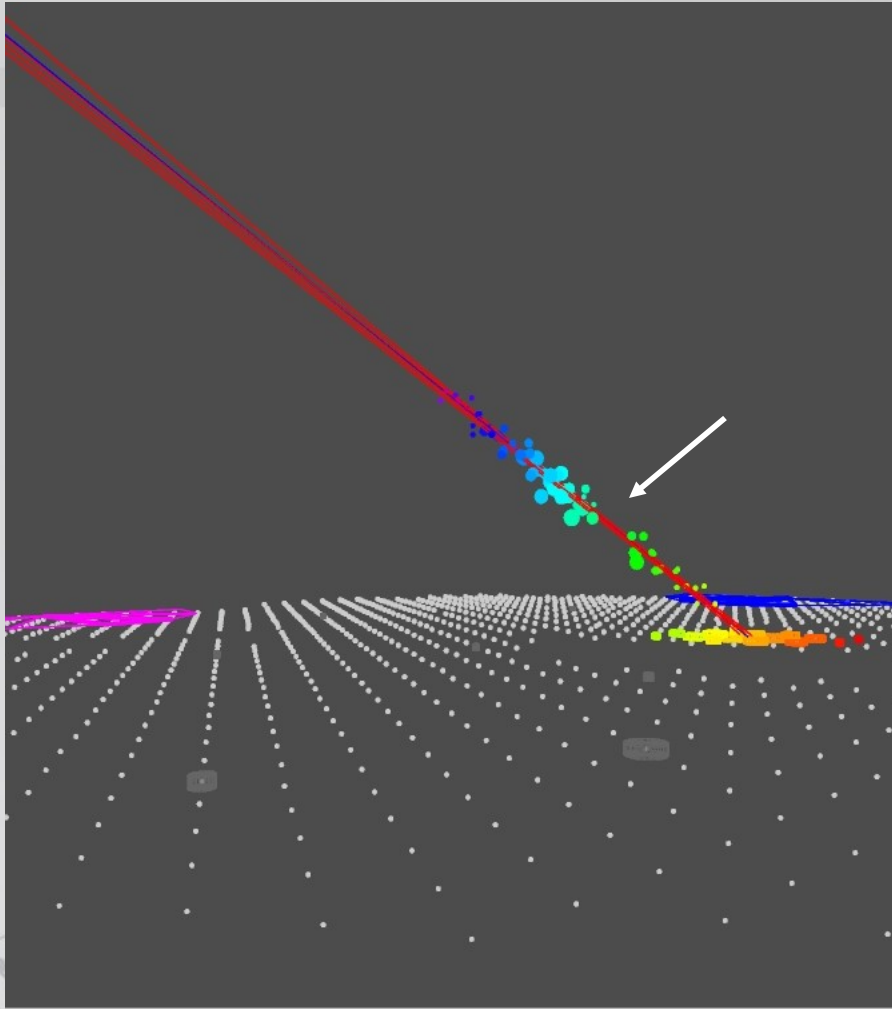
COPERTURA NUVOLOSA



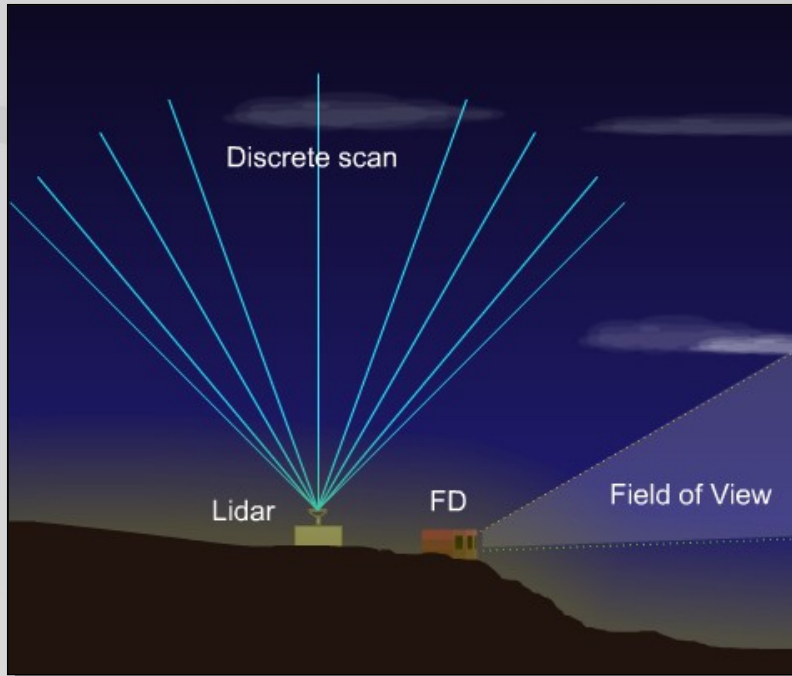
*Prossimo obiettivo:
unione informazioni LIDAR e Cloud Camera*



Analisi LIDAR



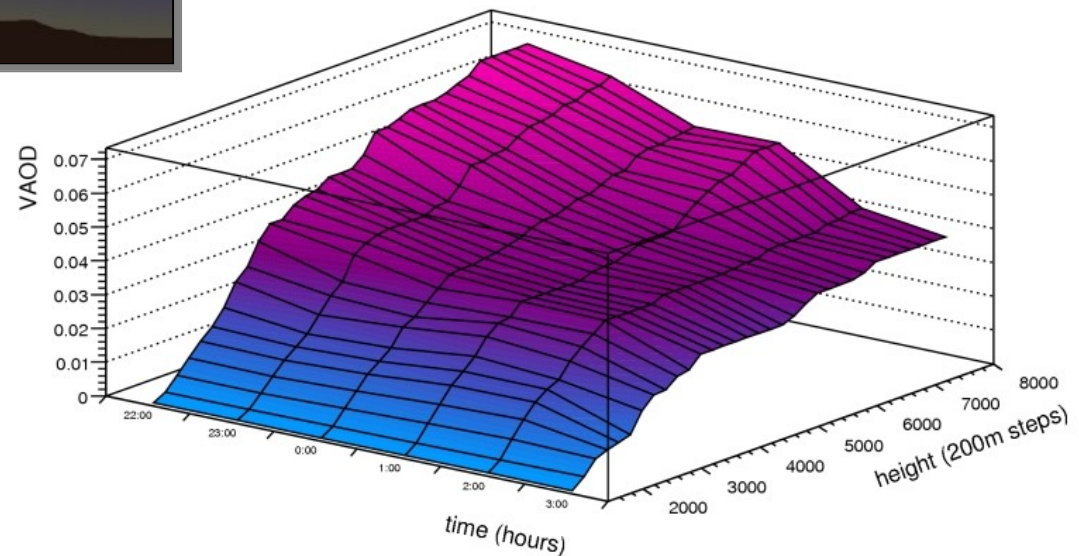
Analisi LIDAR



Trasparenza atmosferica

Ottenuta dal segnale raccolto ad angoli diversi.

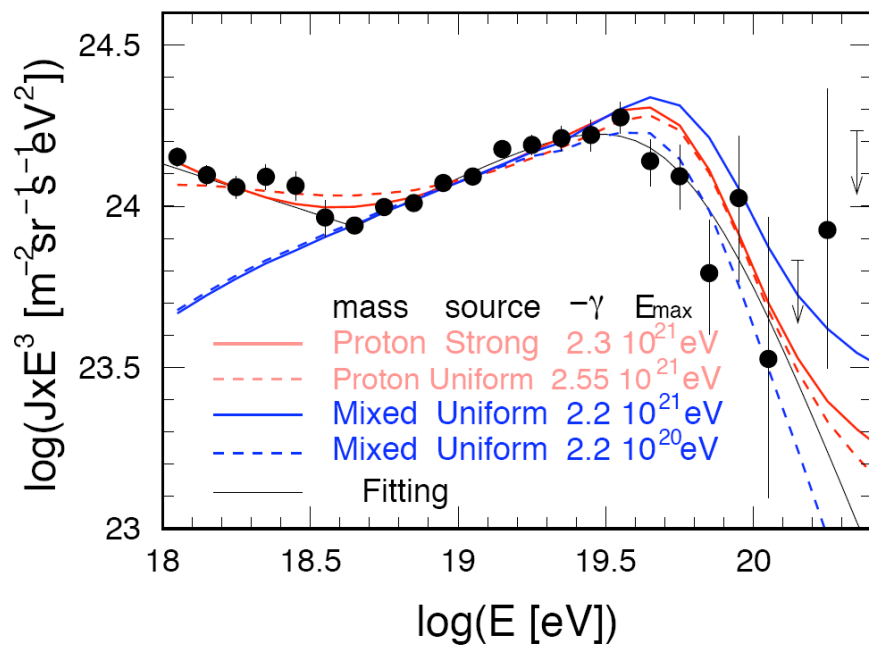
Suppone l'omogeneità orizzontale dell'atmosfera.



Risultati di Auger

Spettro

Lo scarto dell'ipotesi di andamento secondo legge di potenza è statisticamente significativo (>6 sigma).



$$J(E; E < E_{ankle}) \propto E^{\gamma_1}$$

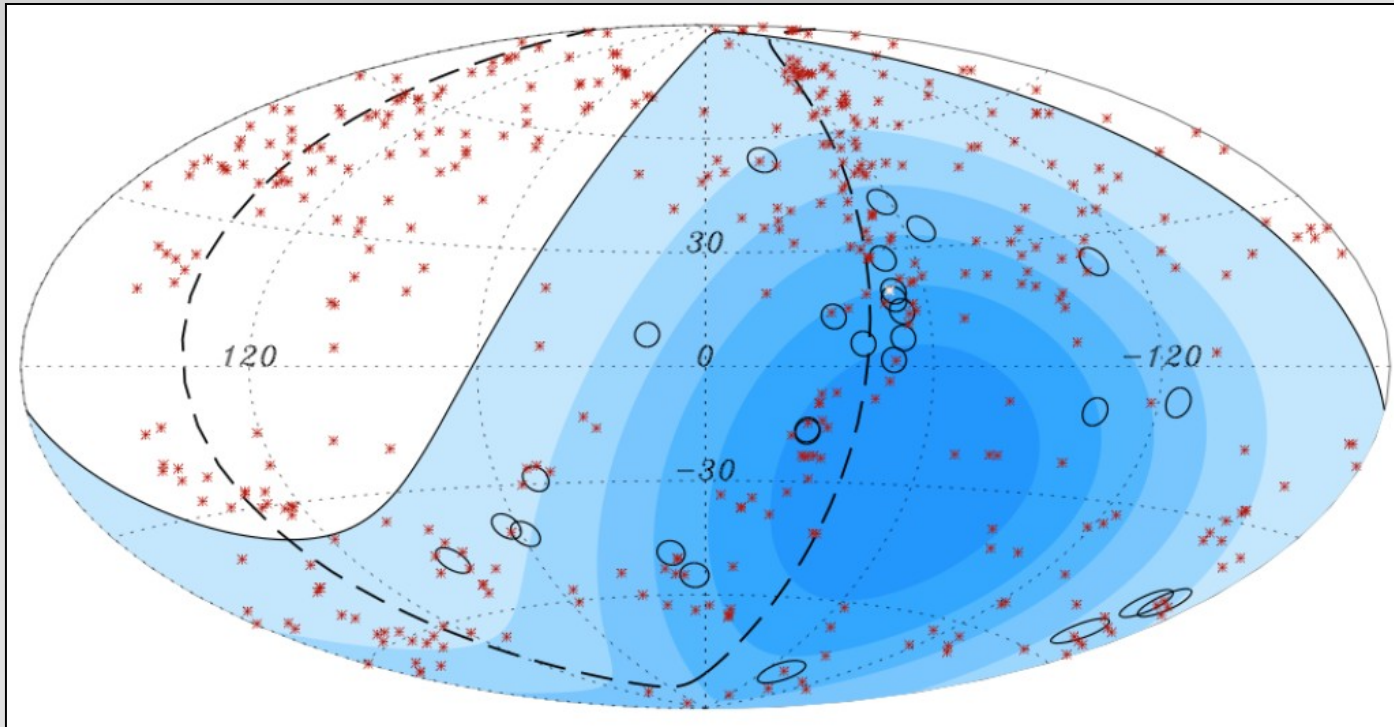
$$J(E; E > E_{ankle}) \propto E^{\gamma_2} \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{\lg E - \lg E_c}{W_c}\right)}$$

Morbidezza del cutoff

Risultati di Auger

Anisotropia

Correlazione tra i raggi cosmici di alta energia ($E > 57 \text{ EeV}$) e gli AGN più vicini ($D < 100 \text{ Mpc}$) contenuti nel catalogo di *Véron-Cetty e Véron* (12^a ed.)



Risultati di Auger

Composizione dei RC sopra i 0.4 EeV

Impiego di entrambi i rivelatori \Rightarrow misura diretta di X_{max} (slant depth)

$$\langle X_{max} \rangle = D_p [\ln (E/E_0) - \langle \ln A \rangle] + c_p$$

Elongation rate

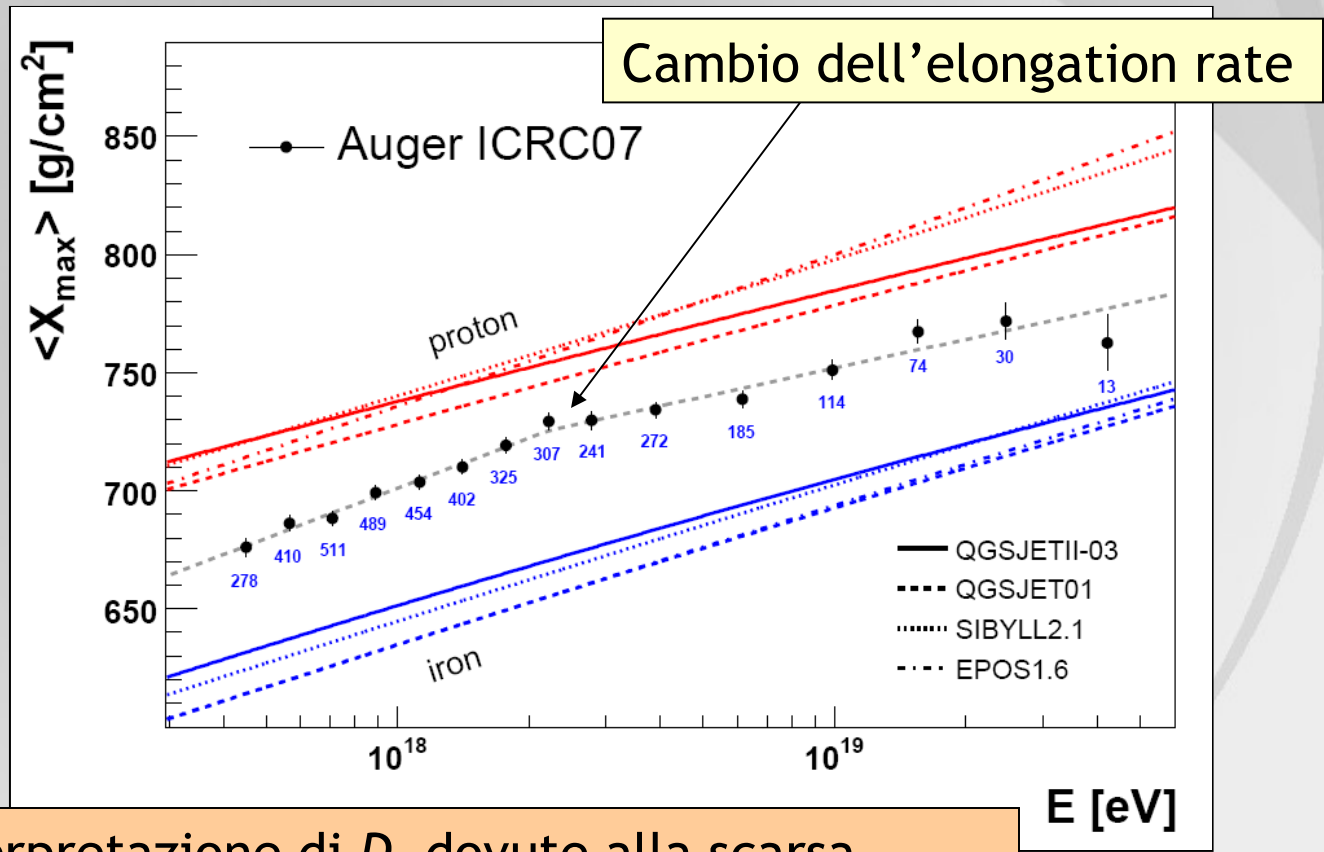
Massa logaritmica
media dei RC



Risultati di Auger

Composizione dei RC sopra i 0.4 EeV

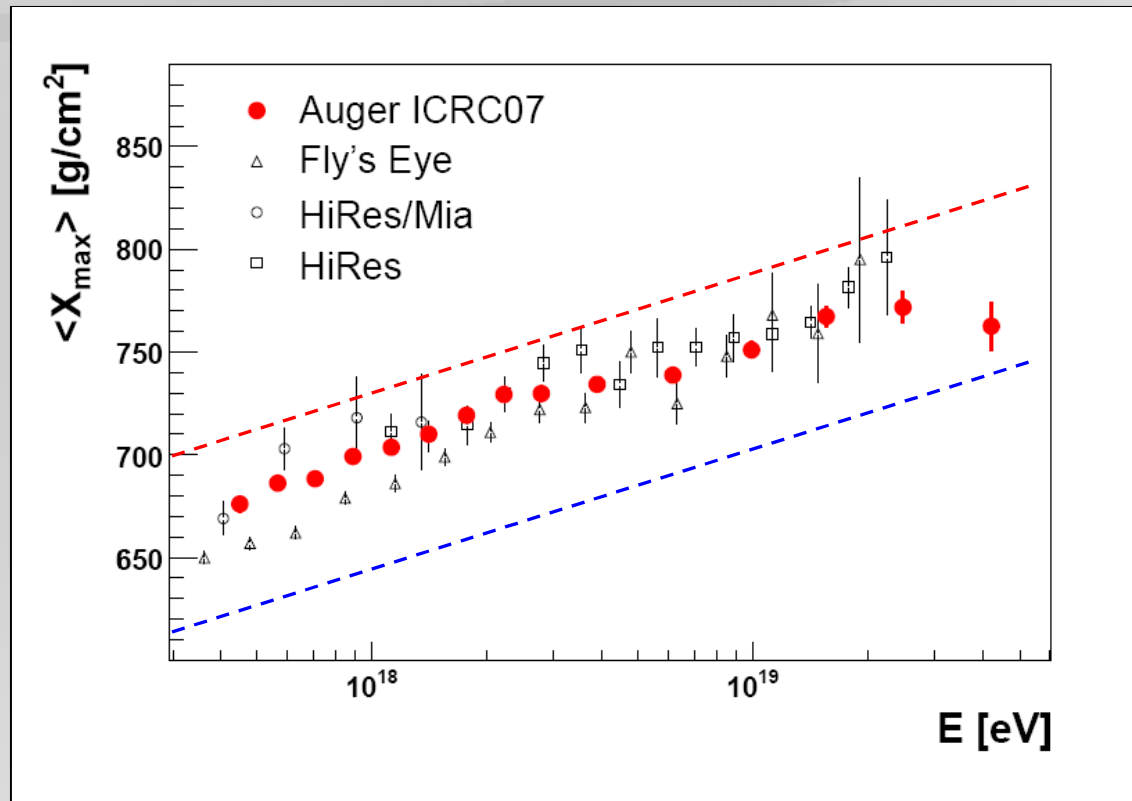
Eventi da Dicembre 2004 ad Aprile 2007 (4329 eventi)



Ambiguità sull'interpretazione di D_p dovute alla scarsa conoscenza delle interazioni adroniche ad altissime energie

Risultati di Auger

Composizione dei RC sopra i 0.4 EeV



- Accordo con gli esperimenti precedenti
- La precisione statistica di Auger è già superiore a quella degli altri esperimenti.

Grazie

Calibrazione FD

CALIBRAZIONE DIRETTA

Effettuata periodicamente col “Drum”

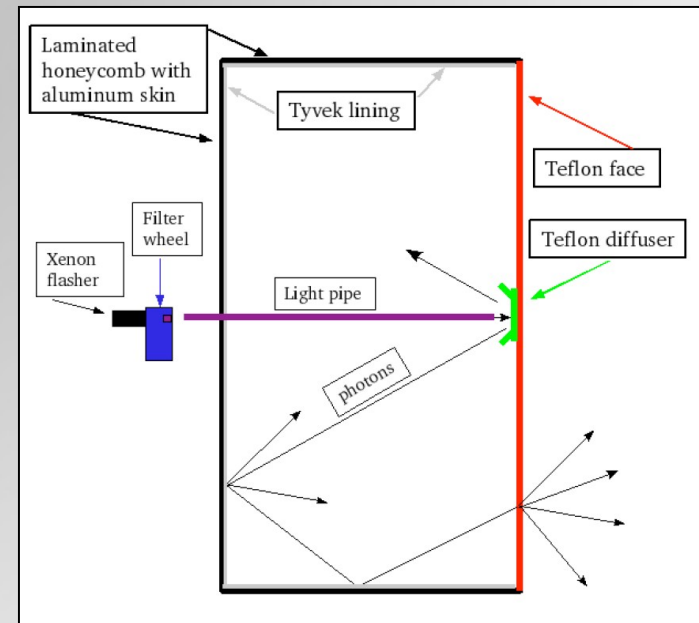
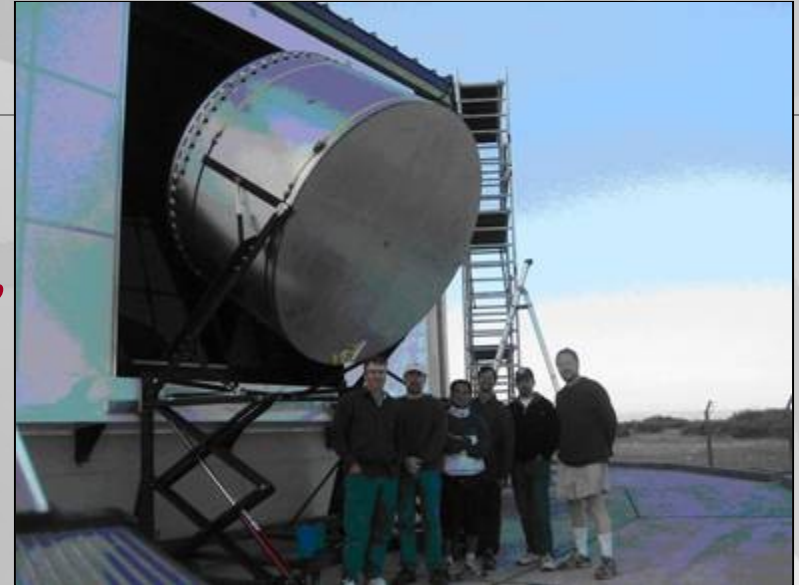
- Calibrazione assoluta a 375 nm
- Calibrazione relativa in 5 lunghezze d'onda differenti

CALIBRAZIONE NOTTE PER NOTTE

Effettuata con sorgenti luminose fisse per controllare relativi cambiamenti rispetto alla calibrazione assoluta.



Incertezza sistematica: 9.5%



Anisotropia

- Grado di correlazione calcolato in funzione di 3 parametri:

- 1) Massimo redshift degli AGN z_{max}
- 2) Massima separazione angolare ψ (min. 1°)
- 3) Minima energia di soglia per i CR, E_{th}

- Exploratory scan: dal 1 Gen 2004 al 27 Mag 2006

$$z_{max}=0.018 \text{ (75 Mpc)} , E_{th}=56 \text{ EeV} , \psi=3.1^\circ$$



Da $S(1000)$ a E

