



• *I Raggi Cosmici*

Daniele Martello

Università del Salento e INFN Lecce



**UNIVERSITÀ
DEL SALENTO**



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

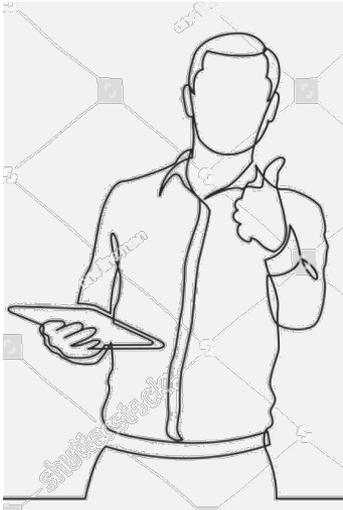
Discover Cosmic Rays

INTERNATIONAL COSMIC DAY

FAQ

1. *Cosa sono i raggi cosmici?*
2. *Come possiamo misurarli?*
3. *Da dove provengono?*
4. *A cosa servono?*

1. Cosa sono i Raggi Cosmici



Eh, Questa mi sa che la so....

Cosa sono i Raggi Cosmici

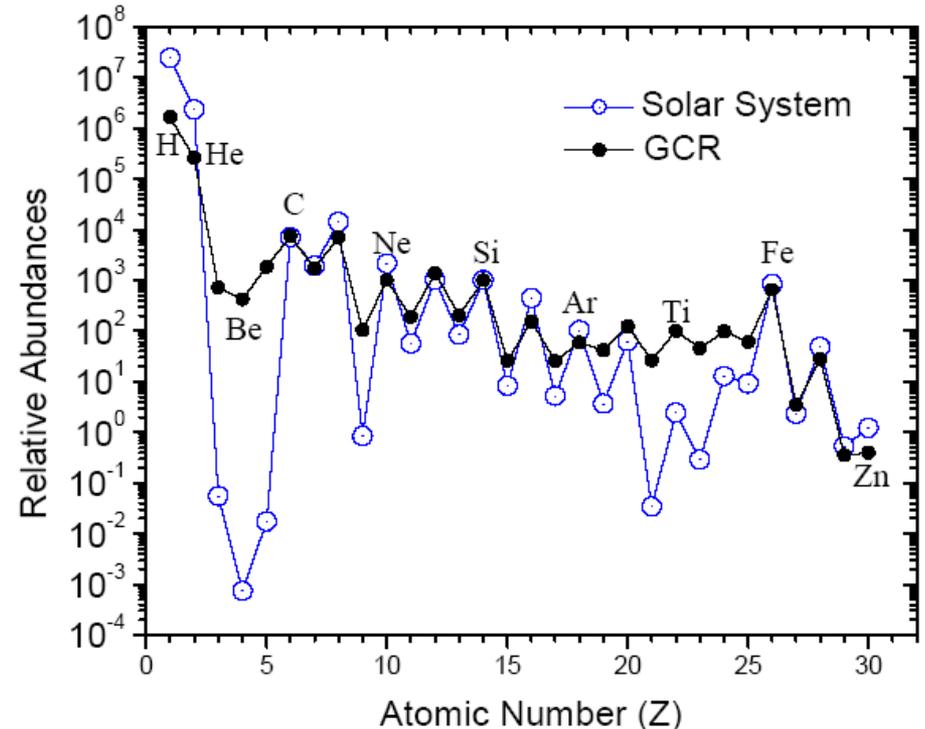
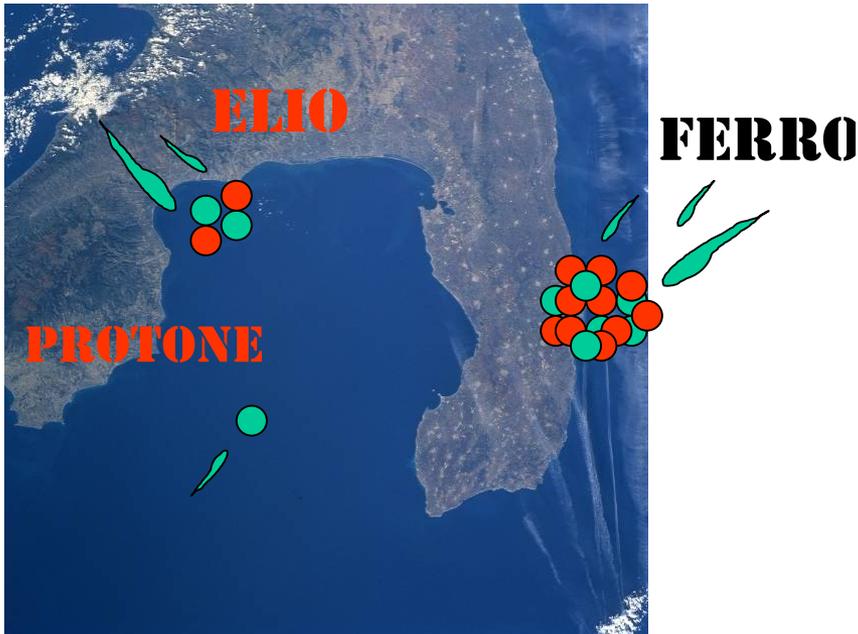
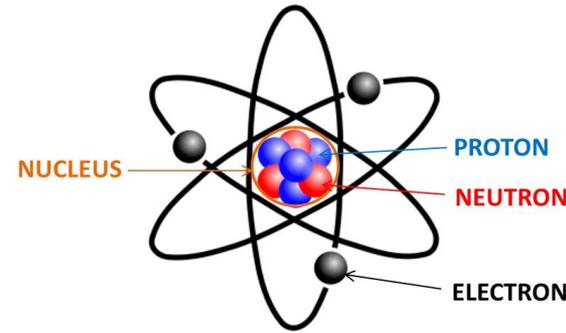


La risposta della Marvel

Quattro esseri umani, *trasformati da raggi cosmici nati dallo spazio* in qualcosa di più che semplicemente umano

1. Cosa sono i Raggi Cosmici

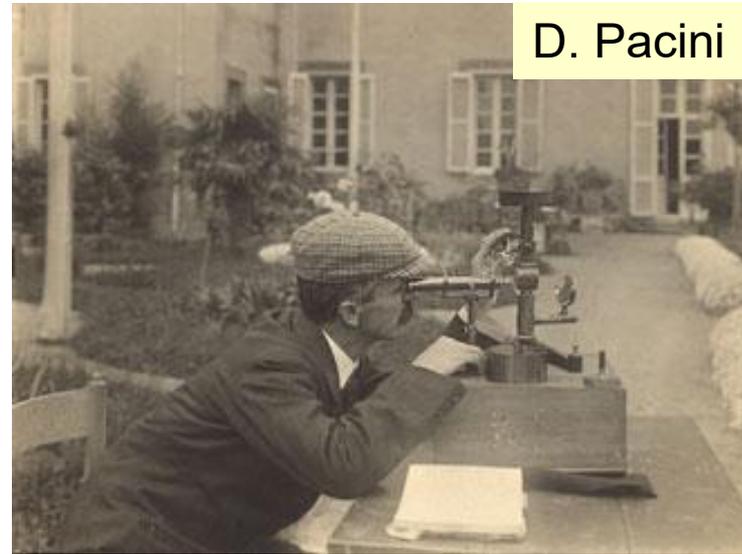
Sotto il nome di raggi cosmici sono classificate tutta una serie di particelle e nuclei di elementi più o meno pesanti che bombardano in maniera pressoché uniforme la Terra.



Victor F. Hess: the 1912 flight (5350 m)



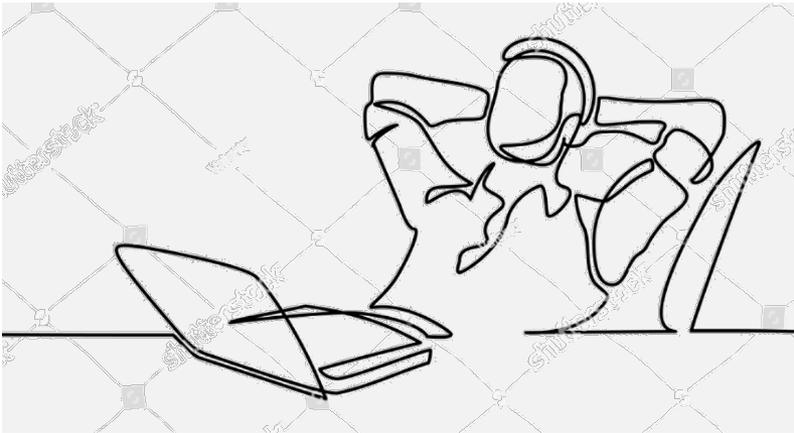
6am August 7, 1912
Aussig, Austria



L'opera più importante di Domenico Pacini è senz'altro lo studio della "radiazione penetrante", ossia lo studio delle particelle dotate di energie relativistiche (soprattutto protoni e particelle alfa) che giungono sulla Terra dallo spazio esterno e che sono note col nome di "raggi cosmici". Questa scoperta è attribuita di solito al fisico austriaco Victor Franz Hess, che nel 1936 ottenne il Premio Nobel per la fisica proprio per i suoi studi sui raggi cosmici. In realtà si pervenne alla loro scoperta e alla spiegazione della loro origine grazie soprattutto (vi furono anche contributi minoritari) agli studi, contemporanei e complementari fra di loro, svolti da Pacini e da Hess

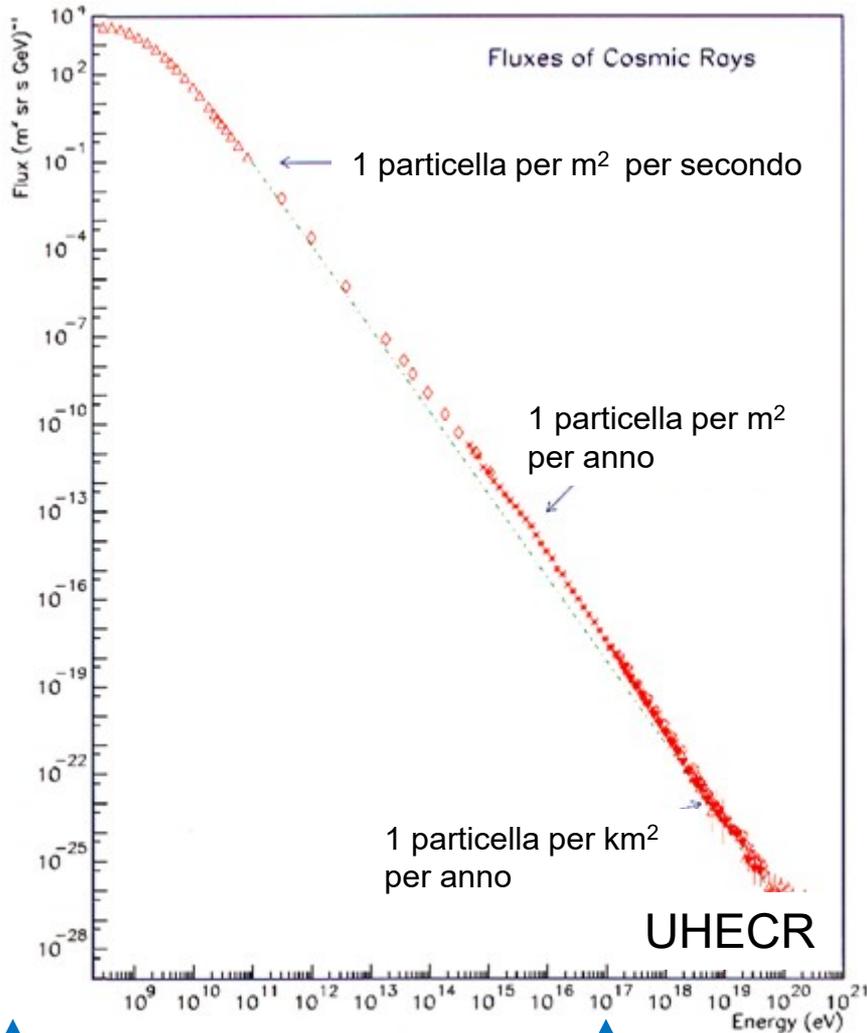
I raggi cosmici provengono dallo spazio (flusso aumenta con la quota)

2. Come possiamo misurarli



Anche con questa mi sa che me la cavo!

Cosa conosciamo dei Raggi Cosmici: Le energie



Il flusso dei raggi cosmici che investono la Terra si estende per svariate decadi in energia e diminuisce esponenzialmente con questa.

In prima approssimazione il flusso può essere rappresentato da una legge di potenza.

$$\text{LHC} = 10^{11} \text{ radiografie}$$

$$\text{UHECR} = 10^3 \text{ LHC}$$

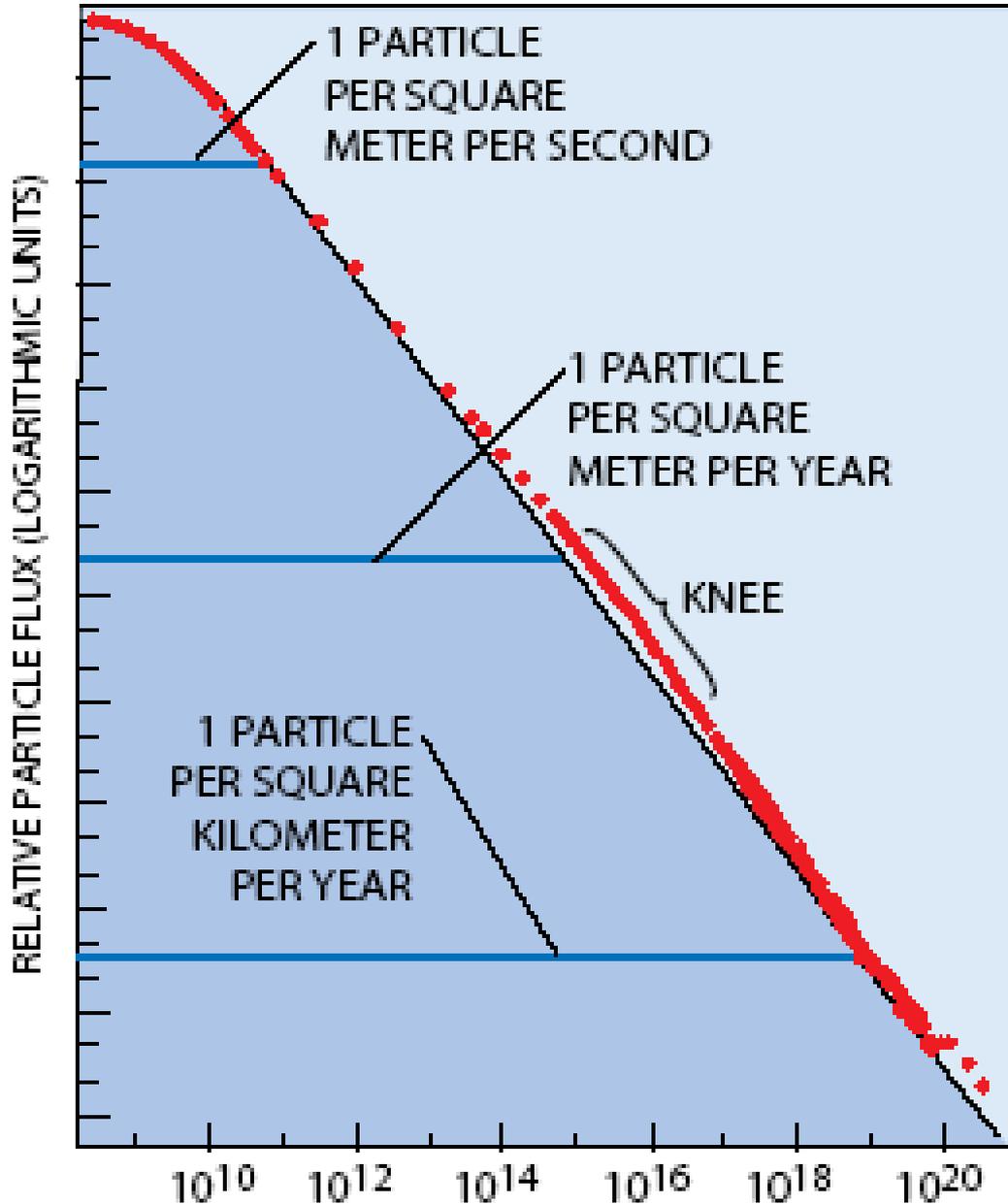
Una radiografia

LHC

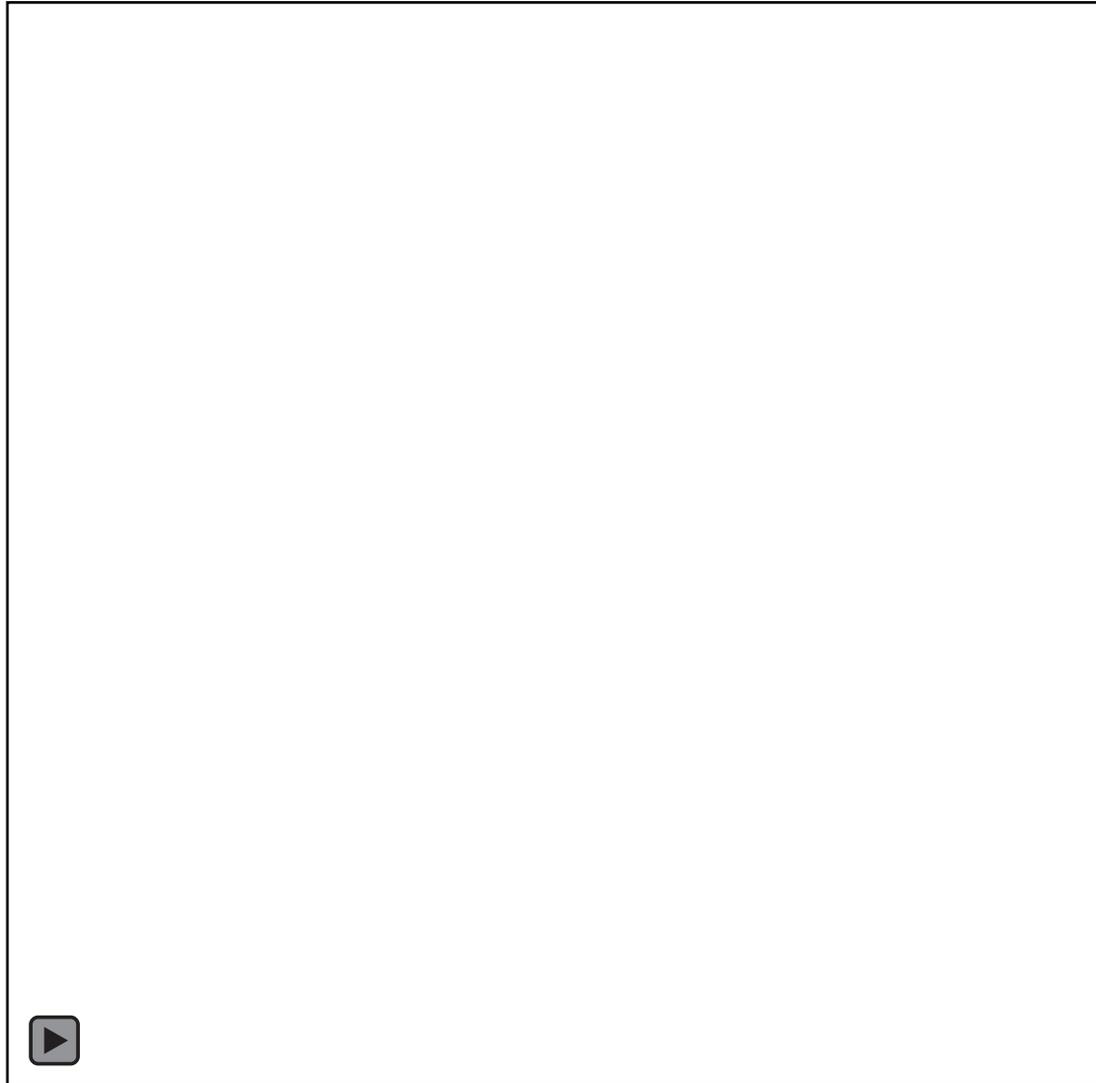
Come possiamo misurarli

I Raggi Cosmici vengono dallo spazio quindi potrei misurarli nello spazio.

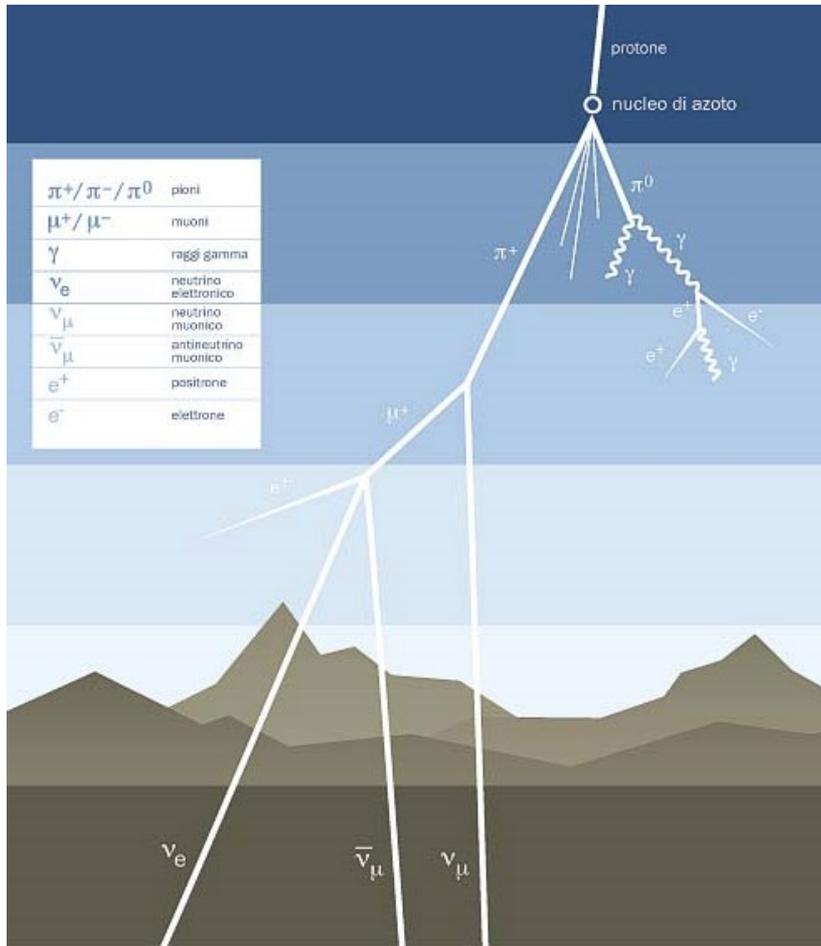
Supponendo di voler misurare le proprietà di 1000 raggi cosmici come devo organizzare il mio esperimento?



Che succede quando un R.C. investe la terra

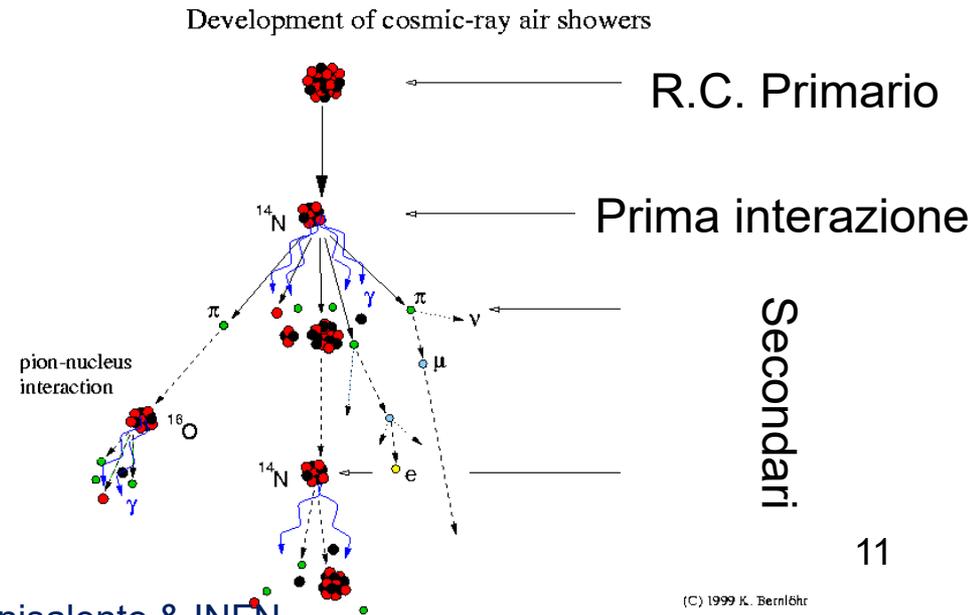


Che succede quando un R.C. investe la terra



Quando una particella carica investe l'atmosfera terrestre, interagisce con i nuclei dell'aria e innesca una cascata di particelle (Extensive Air Shower – EAS) che, **se adeguatamente energetica**, può raggiungere la superficie terrestre.

L'estensione laterale dello sciame e' legata all'energia del primario interagente e **può variare da decine di metri sino a svariati chilometri**.

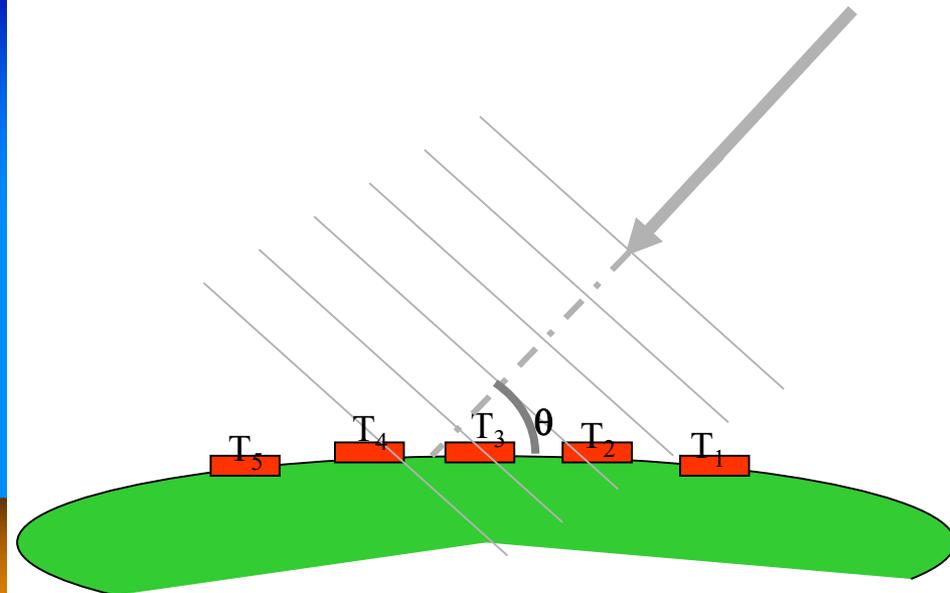
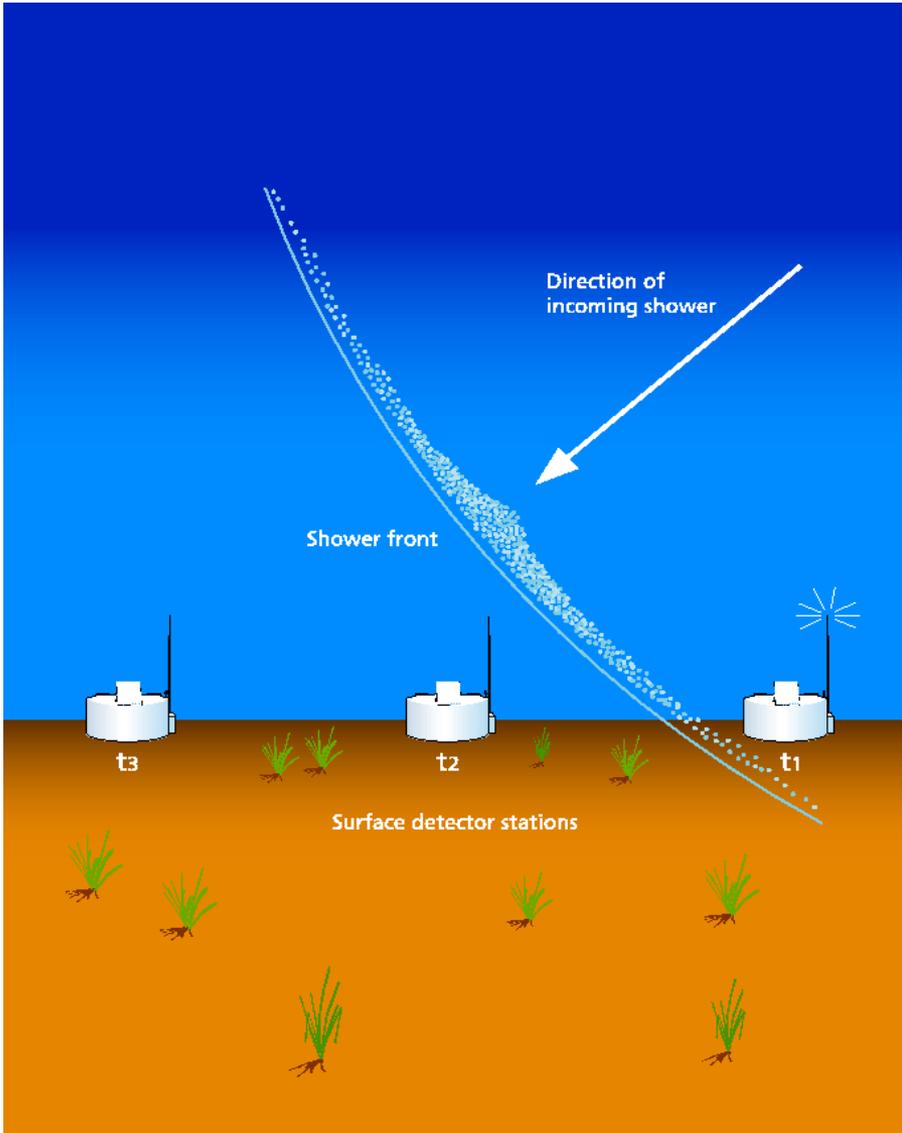


I R.C. sono particelle elementari.
Si utilizzano rivelatori di particelle.

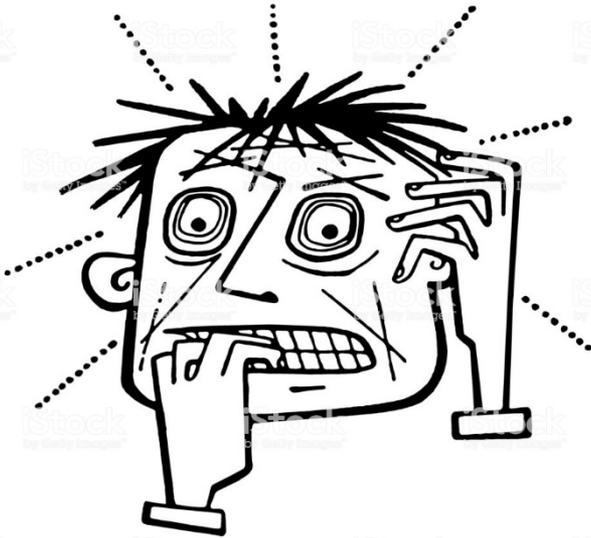
Noi siamo fisici **astroparticellari**

Come estrarre informazioni sul primario dai secondari

Uso dei tempi di arrivo per determinare la direzione di provenienza.

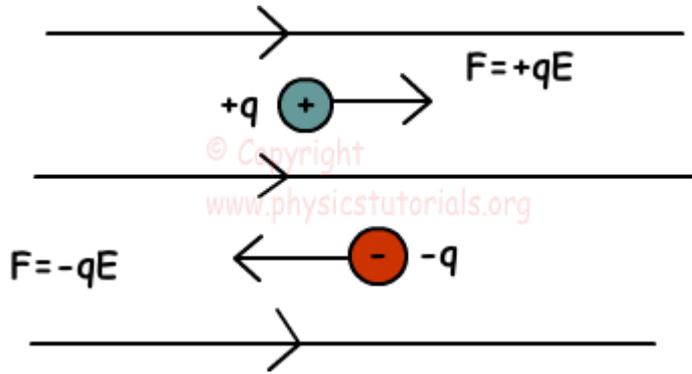


3. Da dove provengono



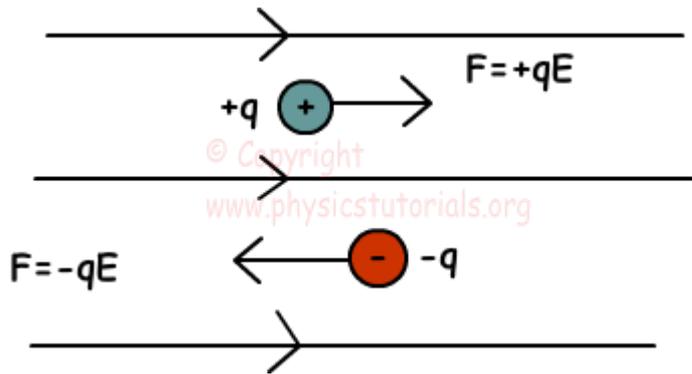
Ahia... questa non la so.....

Come accelerare particelle cariche ad energie elevatissime

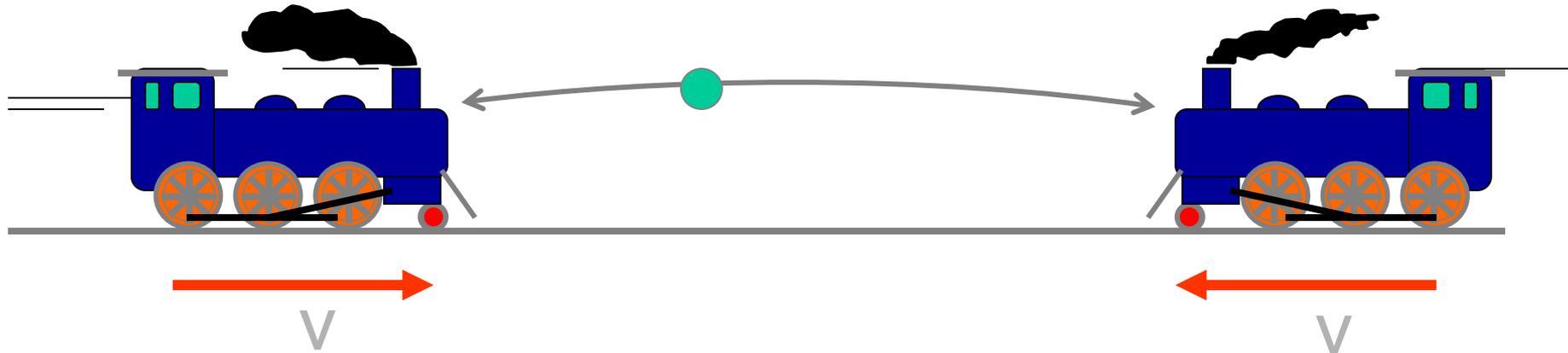


Campi elettrici statici? Difficili da realizzare, inoltre richiedono intensità ed estensione nello spazio troppo elevate per accelerare particelle alle energie richieste.

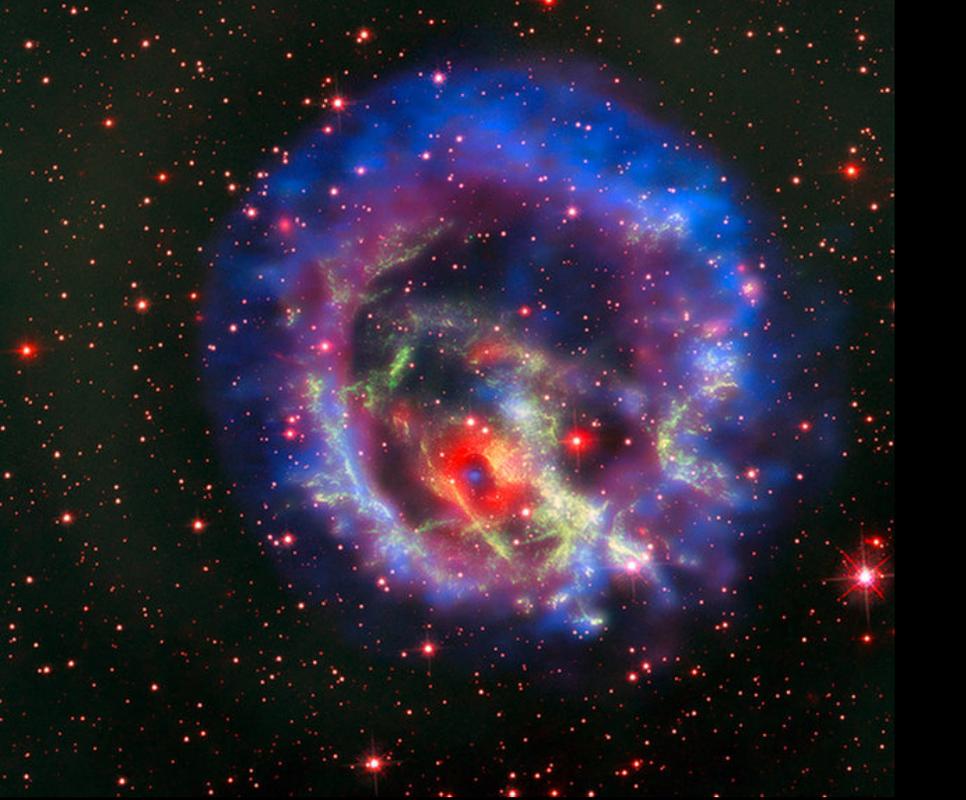
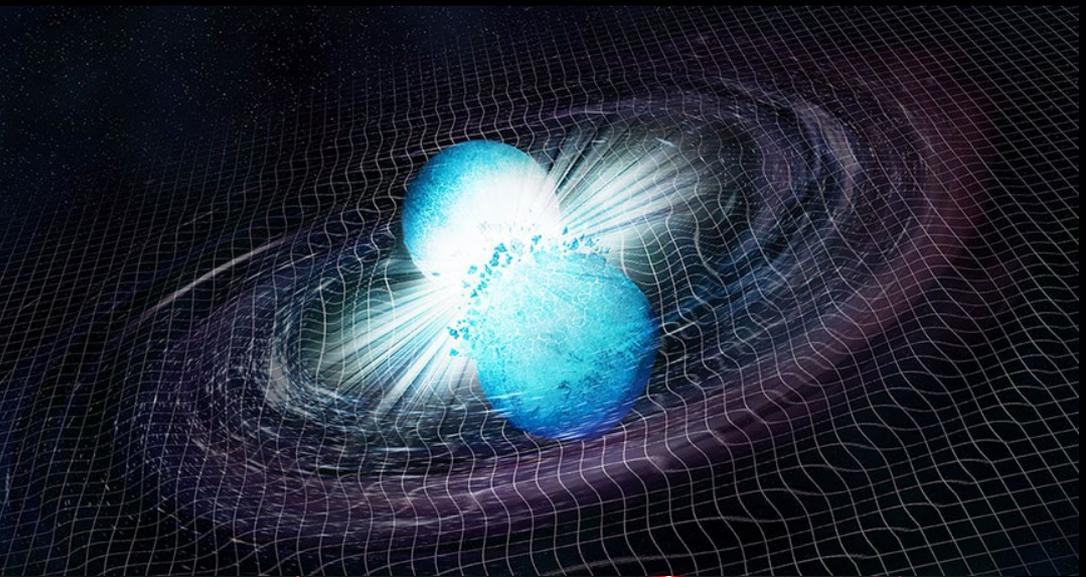
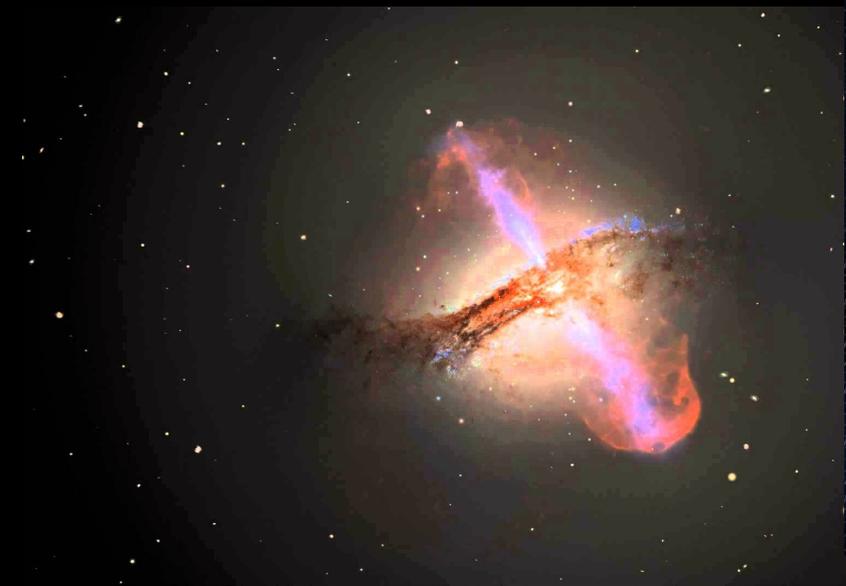
Come accelerare particelle cariche ad energie elevatissime



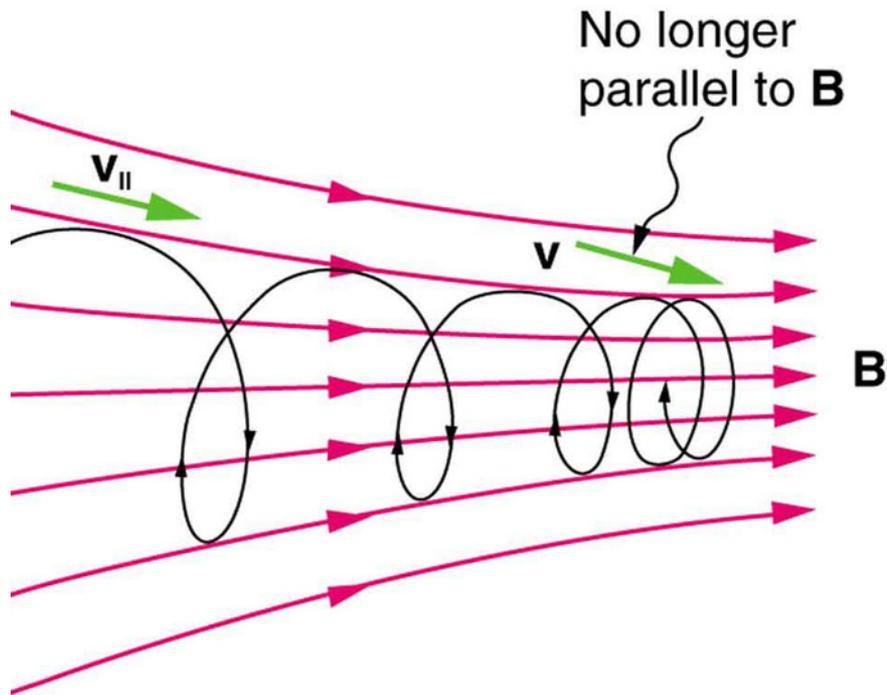
Campi elettrici statici? Difficili da realizzare, inoltre richiedono intensità ed estensione nello spazio troppo elevate per accelerare particelle alle energie richieste.



Il meccanismo proposto da Fermi nel 1949 resta tutt'ora il più attendibile. I Raggi Cosmici sono accelerati in nubi di gas in rapida espansione attraverso un processo stocastico. L'universo è violento e non mancano i fenomeni che innescano fronti di gas in rapida espansione.

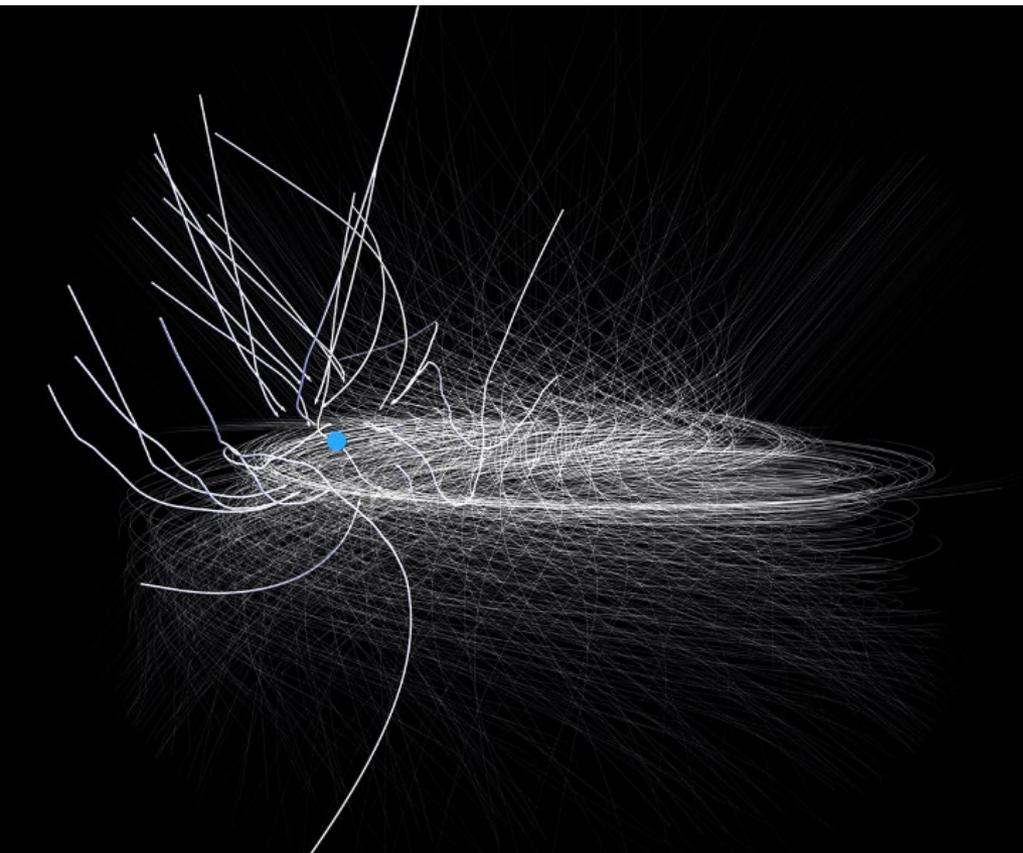


Come identificare gli acceleratori cosmici



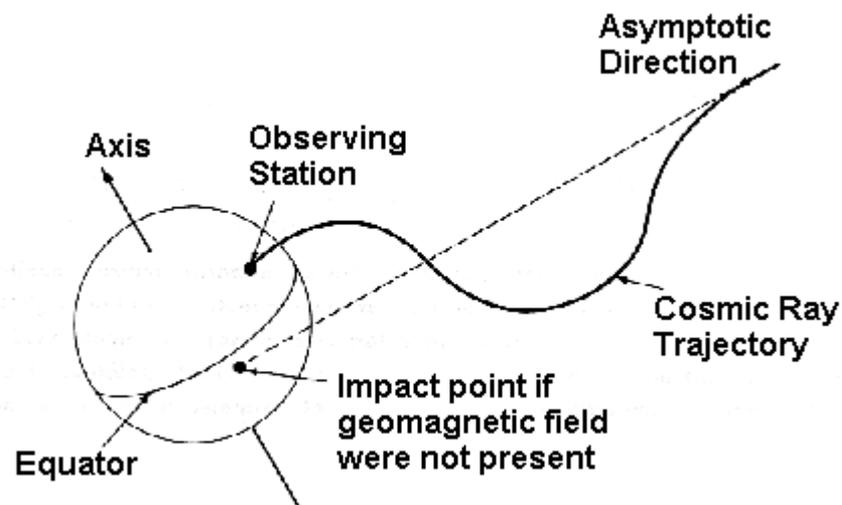
I Raggi Cosmici sono particelle cariche e come tutte le particelle cariche sono deflessi in campi magnetici.

Come identificare gli acceleratori cosmici



Simulazione NASA di possibili traiettorie di Raggi Cosmici nella nostra galassia a causa dei campi magnetici esistenti

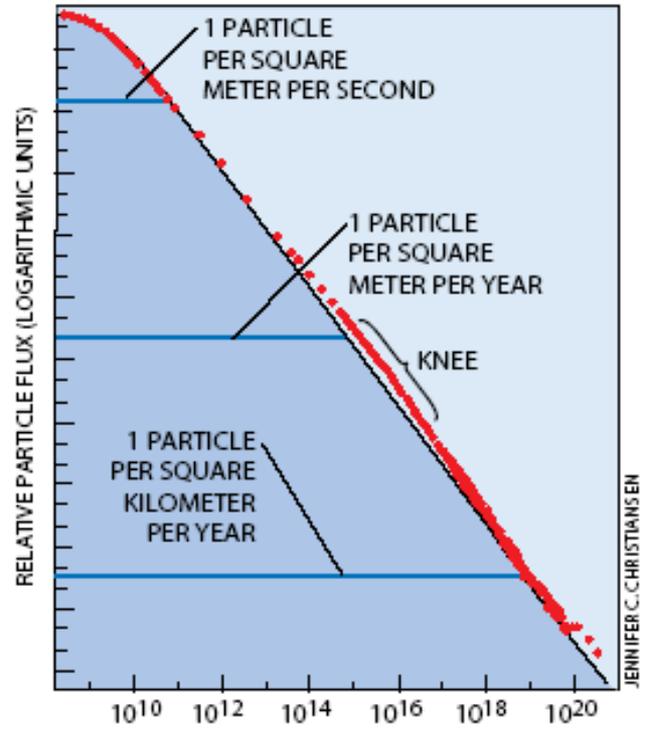
I Raggi Cosmici sono particelle cariche e come tutte le particelle cariche sono deflessi in campi magnetici.



Come identificare gli acceleratori cosmici

L'Osservatorio Pierre Auger

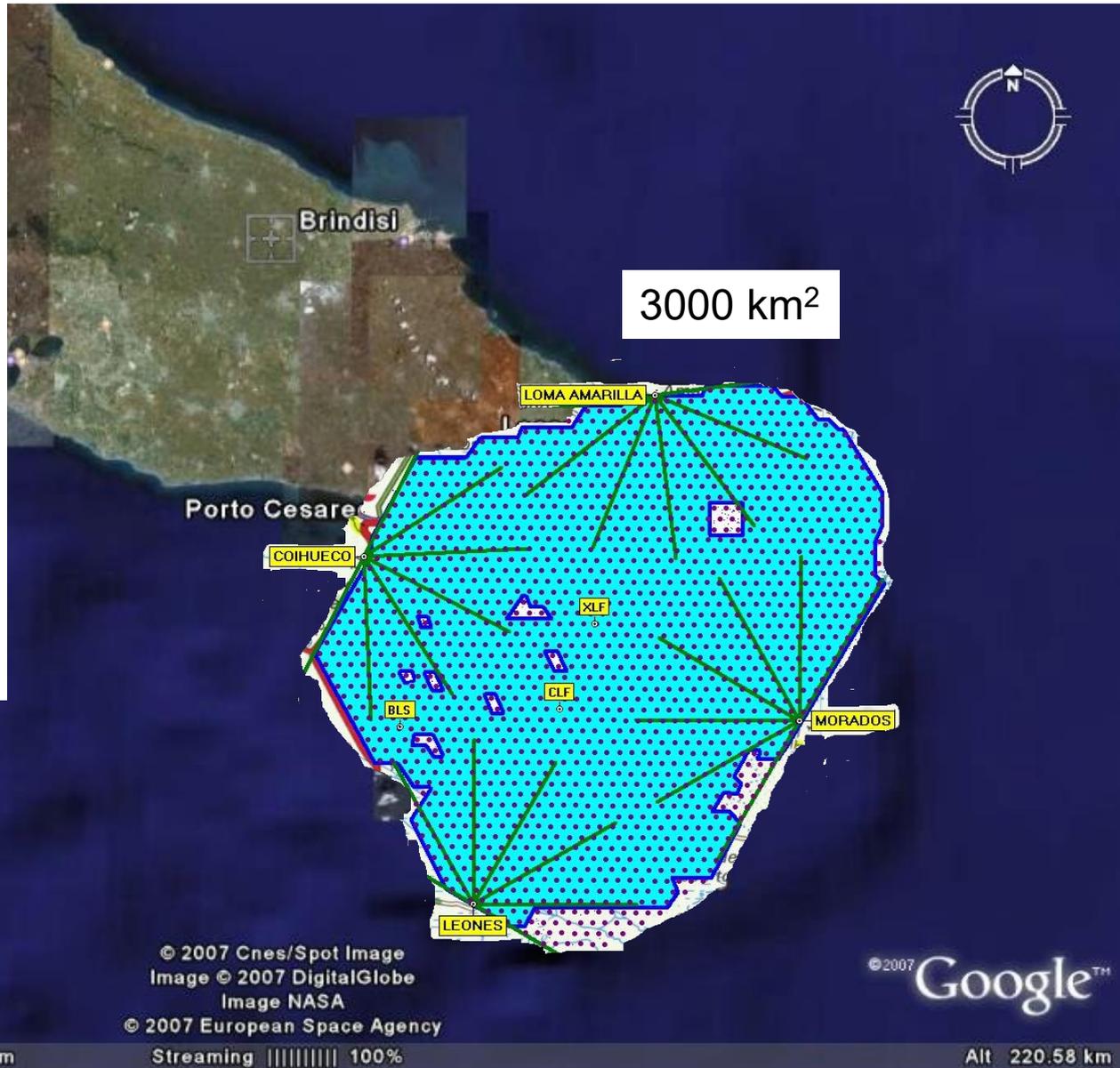
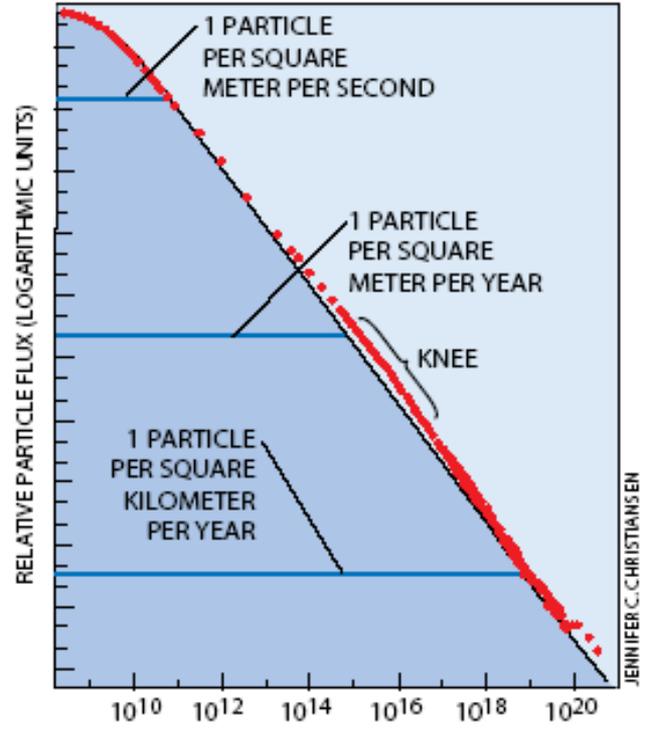
Scientific American, (c) 1998



Come identificare gli acceleratori cosmici

L'Osservatorio Pierre Auger

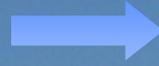
Scientific American, (c) 1998



L'Osservatorio Pierre Auger

Studio della radiazione cosmica
di altissima energia
(10^{17} - 10^{21}) eV

Flusso ad $E > 10^{19.5}$ eV molto basso



Apparato di grandi dimensioni:
3000 km² (Pampa Argentina)



4. *A cosa servono*

4. *A cosa servono*

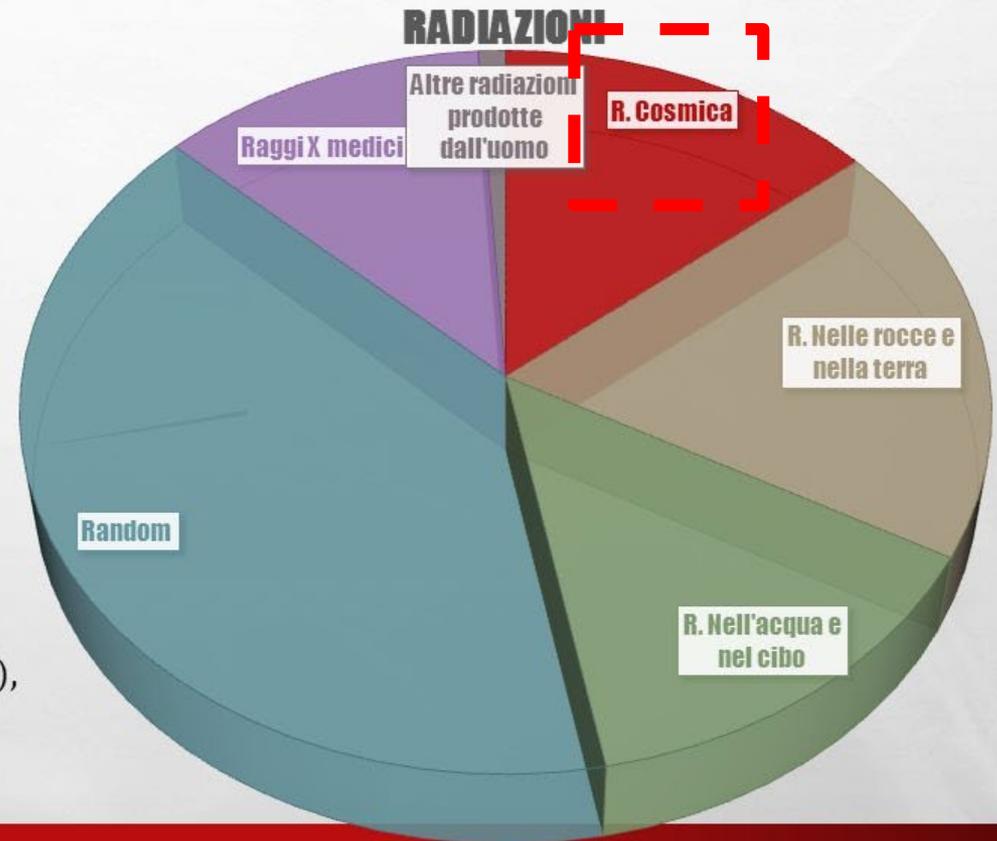


Ma perché diammine mi sono fatto questa domanda...

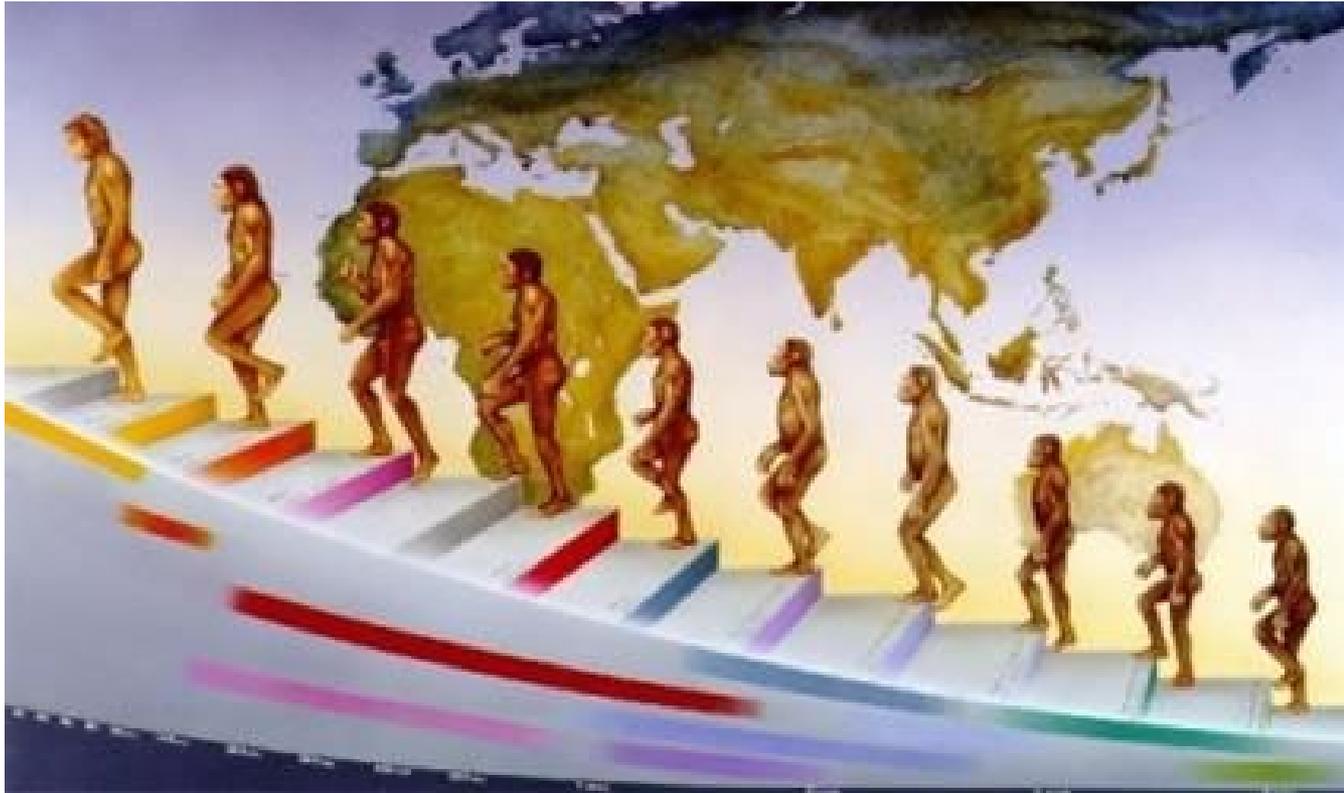
A cosa servono: Le mutazioni genetiche

CAUSE

- ESISTONO MUTAZIONI SPONTANEE DI CUI NON SI CONOSCE LA CAUSA O MUTAZIONE PROVOCATE DAGLI **AGENTI MUTAGENI**.
- I POSSIBILI AGENTI MUTAGENI POSSONO ESSERE LE **RADIAZIONI IONIZZATE** (ONDE ELETTROMAGNETICHE), IL **RADON** (GAS ,RADIOATTIVO NATURALE), L' **INQUINAMENTO ATMOSFERICO** (SCARICHI AUTOMOBILISTICI) E **AGRICOLO** (PESTICIDI), **IL FUMO DELLE SIGARETTE, ADDITIVI E COLORANTI ALIMENTARI, FARMACI E COSMETICI**



A cosa servono: Le mutazioni genetiche



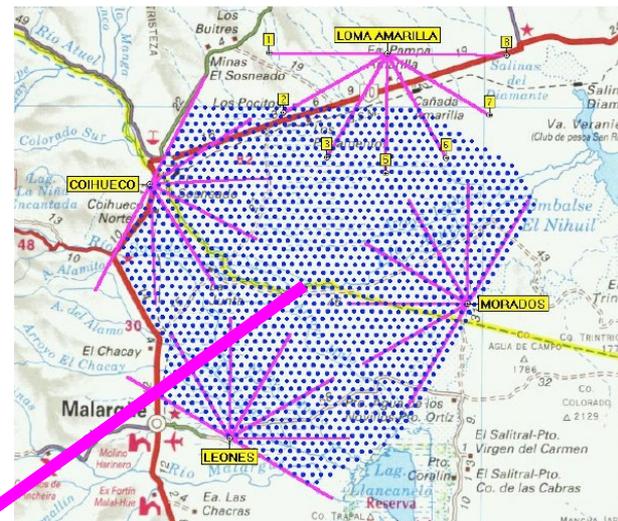
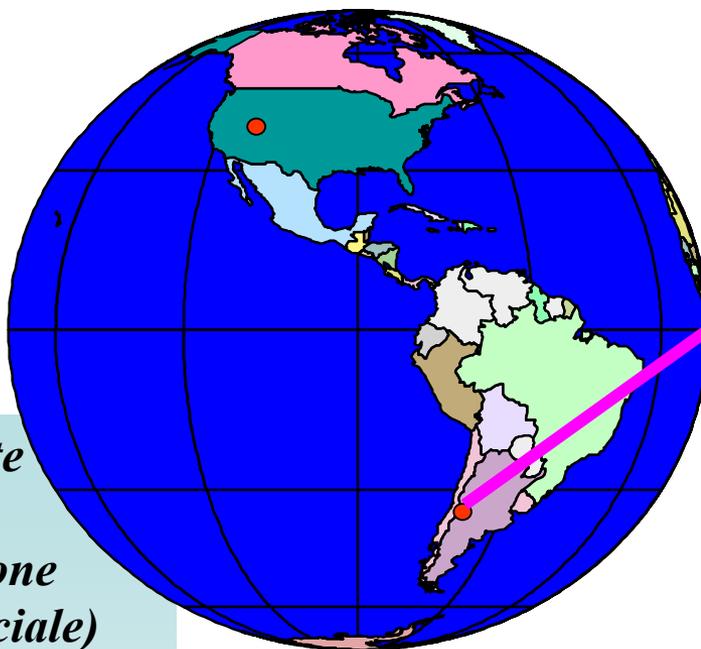
Grazie per avermi sopportato!

Cosa significa costruire un apparato di 3000 km² nella Pampa



L'Osservatorio Pierre Auger

Apparato di grandi dimensioni:
3000 km² (Auger)
un po' piu' grande di....

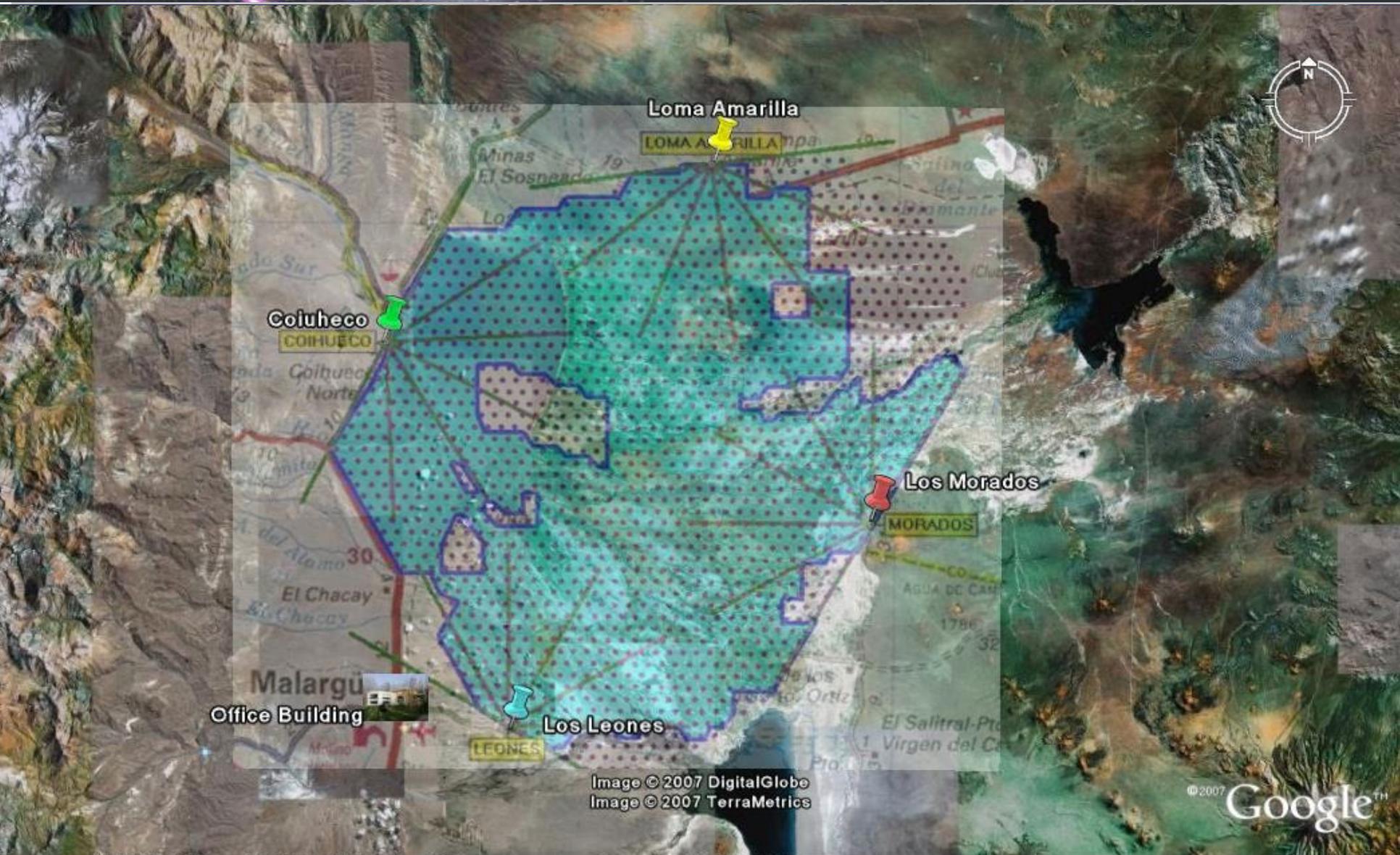


Southern hemisphere
Malargüe (Mendoza)
Argentina

35° S latitude,
69° W longitude
Altitude ≈ 1.4 km

- *Vasta regione pianeggiante*
- *Bassa densità di popolazione (scarsa illuminazione artificiale)*
- *Condizioni atmosferiche favorevoli (copertura nuvolosa, trasparenza, piogge, temperatura...)*

Vista del Sito Sud da Google Earth



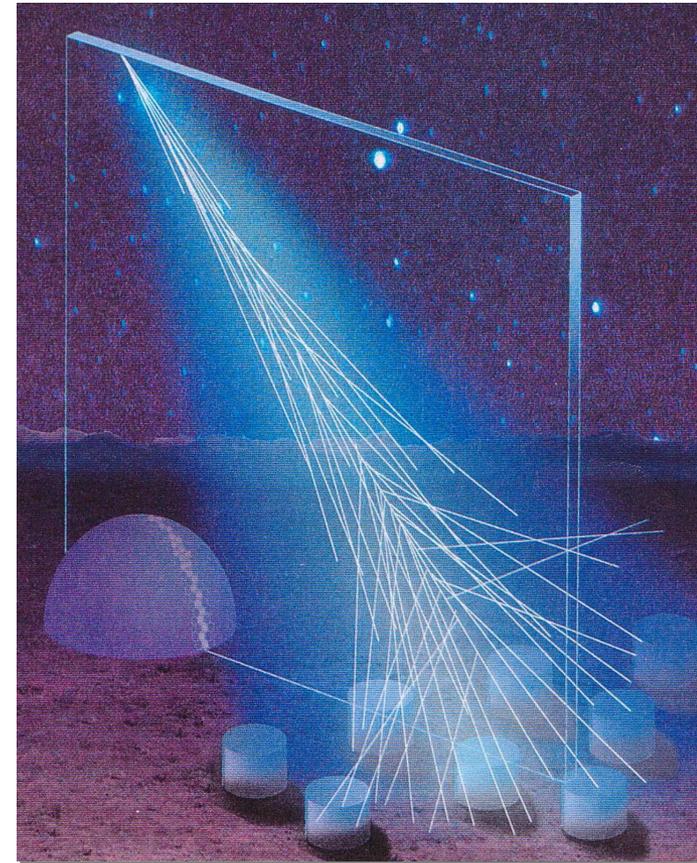
Osservatorio Pierre Auger: un rivelatore ibrido

Lo stesso sciame è misurato simultaneamente con due tecniche indipendenti:

- **un apparato di superficie** per l'osservazione delle particelle dello sciame a terra
- **un rivelatore di luce di fluorescenza** che osserva lo sviluppo longitudinale dello sciame misurando la radiazione UV prodotta in aria al passaggio delle particelle cariche dello sciame

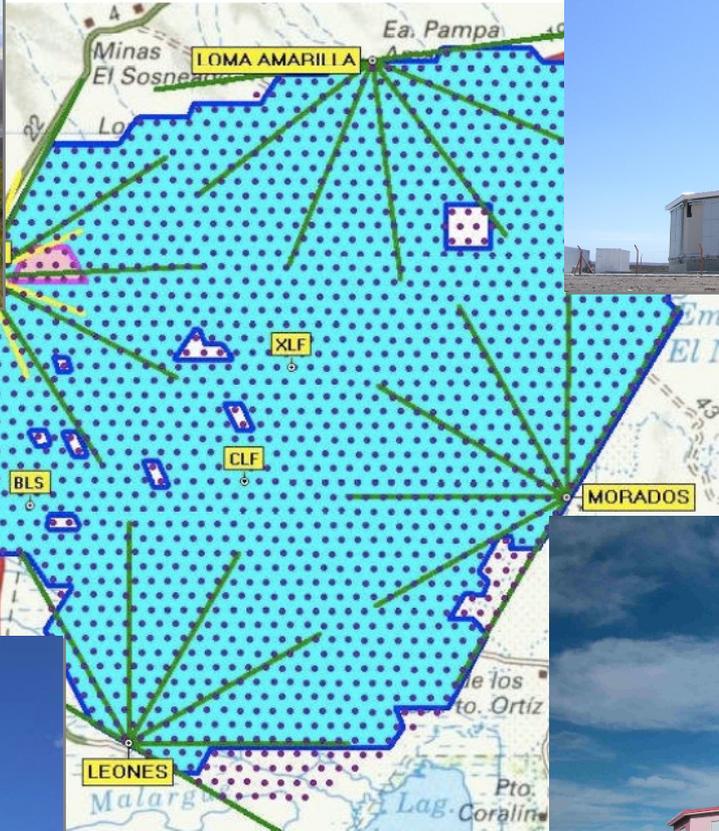
- **Determinazione accurata della direzione di arrivo degli eventi in un ampio range di energia**

- **Misura dell'energia del primario senza dipendenza dai modelli di interazione adronica**

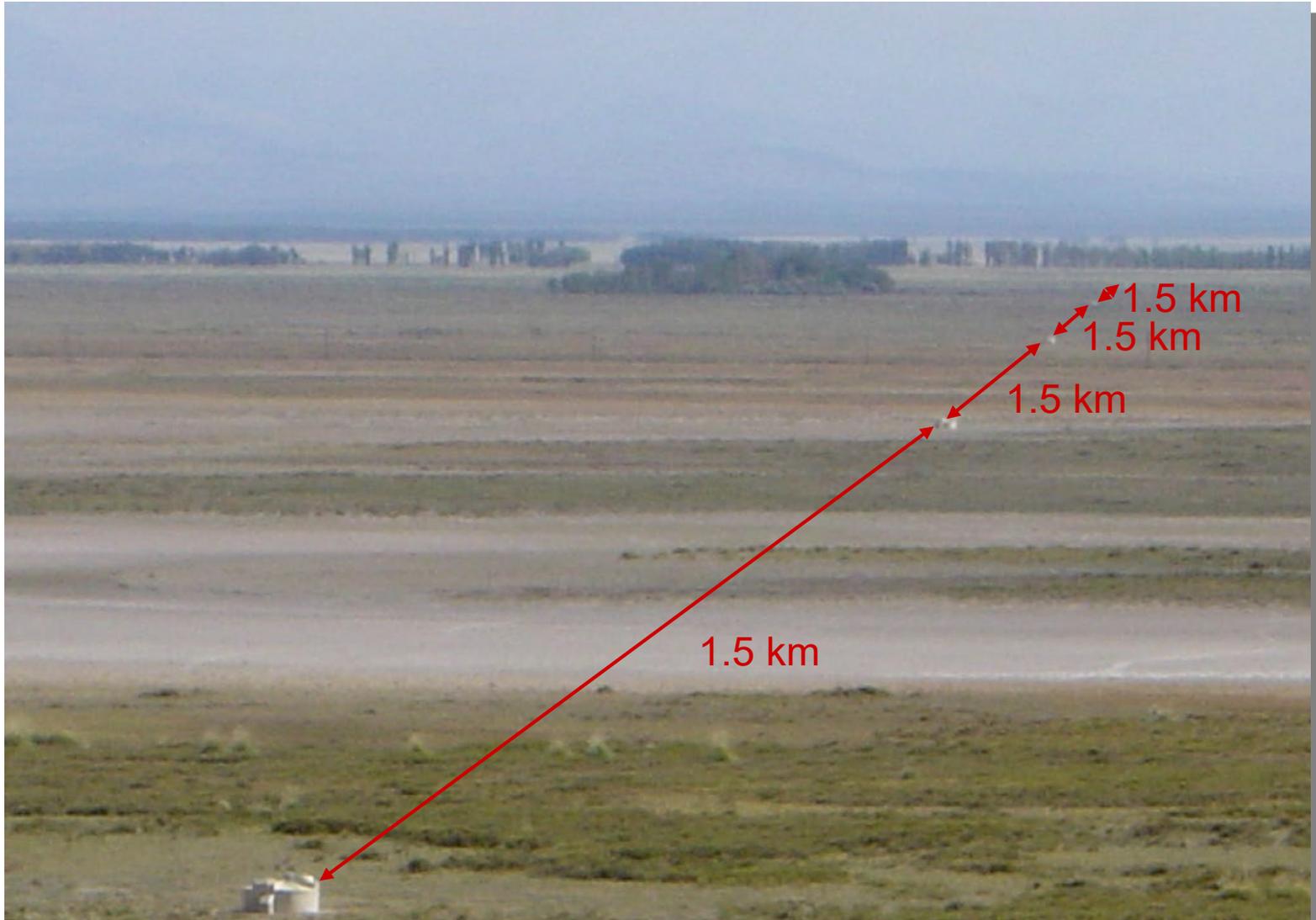


Tecnica di rivelazione ibrida

Il rivelatore di fluorescenza (FD)

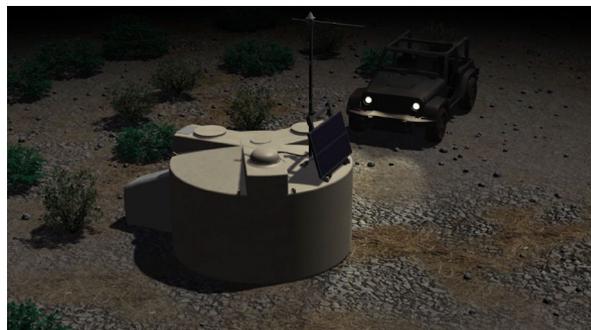
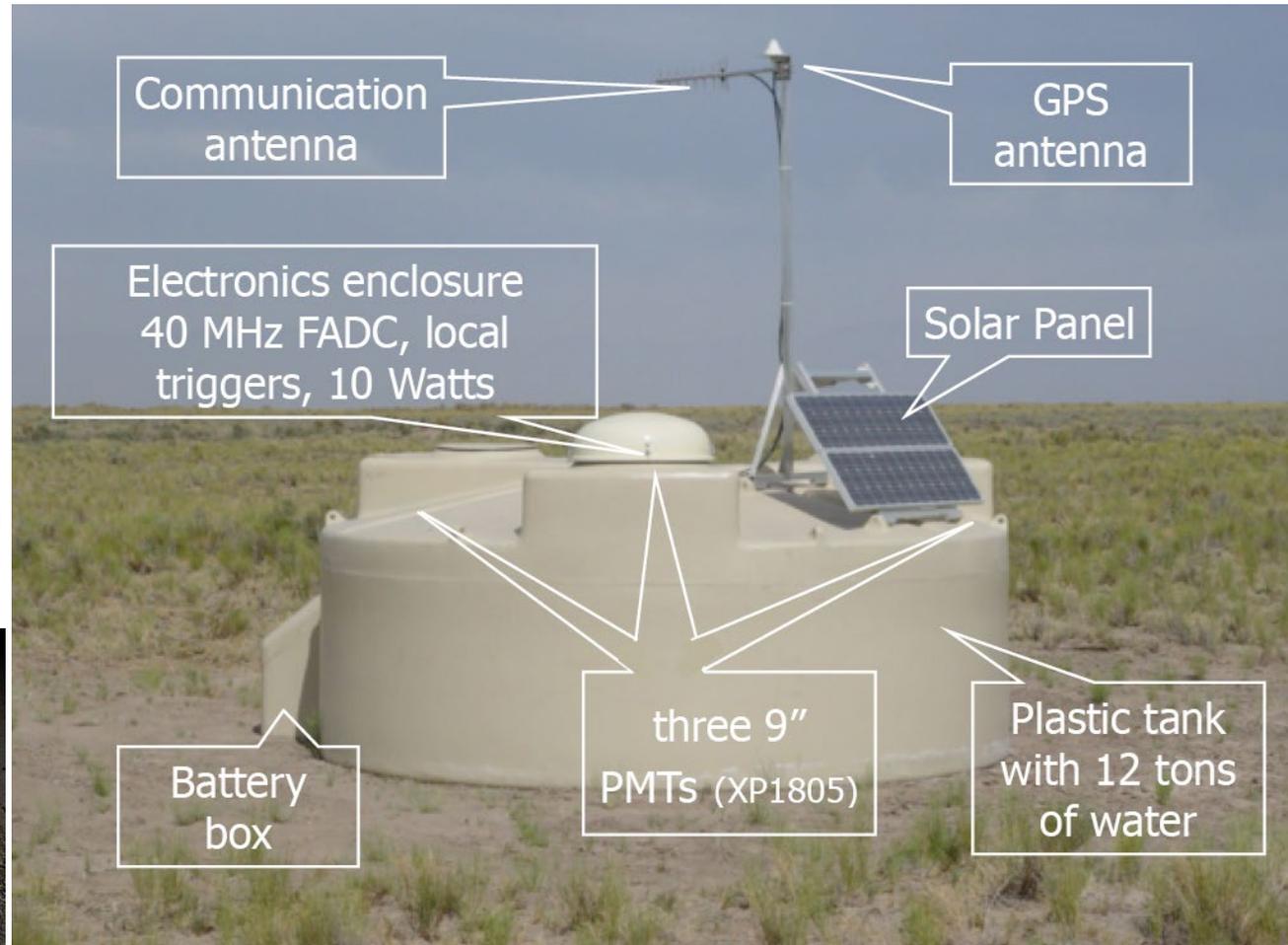


Il rivelatore di superficie (SD)

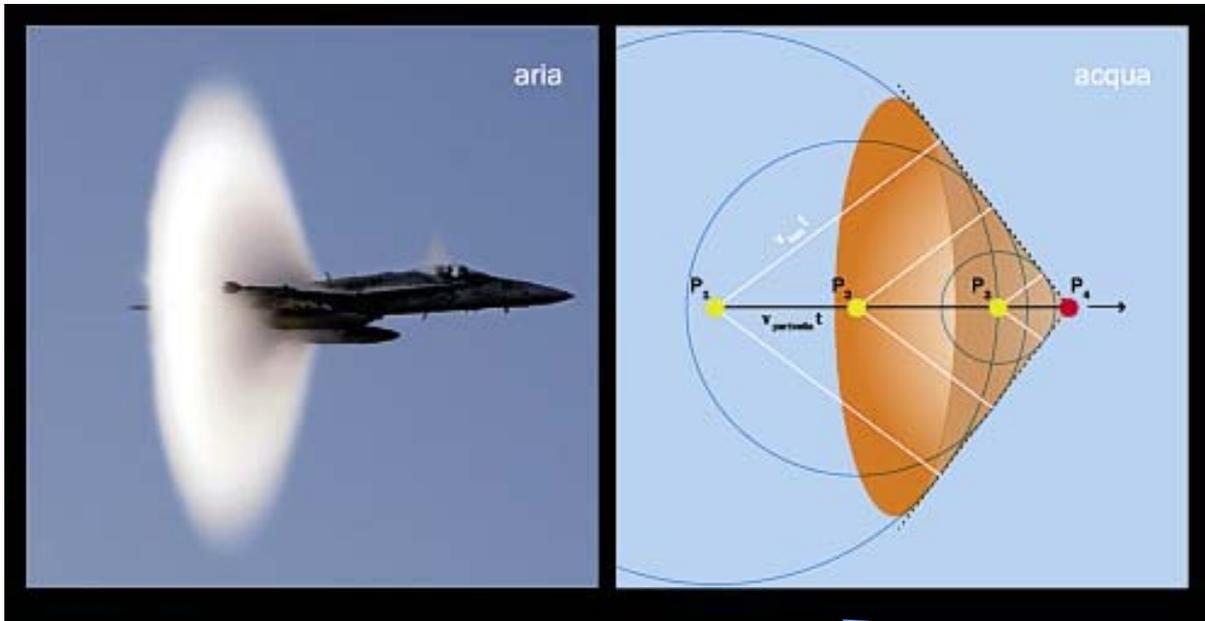


Una stazione del rivelatore di superficie

- Tank in Polietilene
- 12 m³ di acqua purificata
- Pareti altamente riflettenti
- 3 PMTs da 9"
- 2 pannelli solari e 1 batteria per una completa autonomia
- Antenna GPS
- Antenna di comunicazione con il CDAS



L'effetto Cherenkov

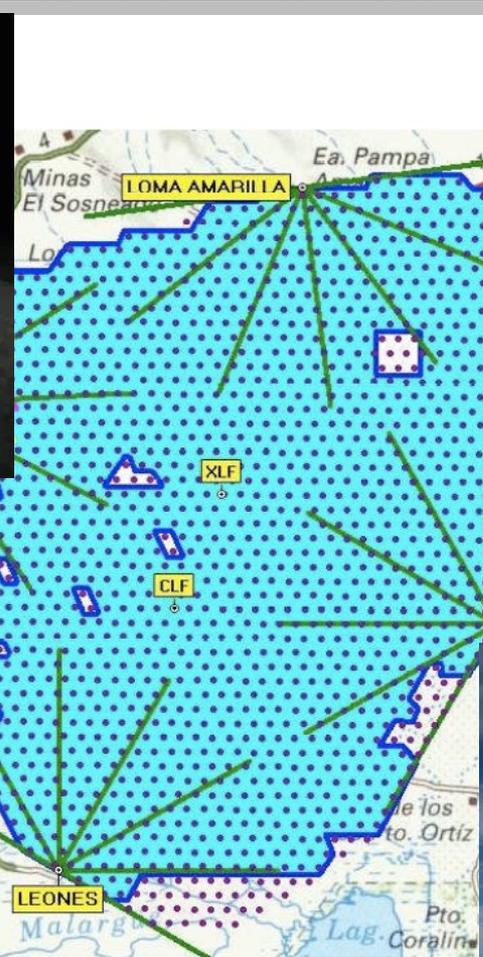


La luce Cherenkov è una sorta di onda d'urto che provoca un lampo di luce ultravioletta che i rivelatori SD possono raccogliere grazie ai fotomoltiplicatori di cui sono dotati.

Un aereo supersonico crea al suo passaggio un cono di aria condensata: l'effetto è dovuto all'onda d'urto generata dal moto dell'aereo in aria ad una velocità superiore alla velocità del suono

Effetto Cherenkov dovuto al passaggio di una particella carica in un mezzo materiale come l'acqua a una velocità superiore a quella della luce nello stesso mezzo
L'apertura del cono dipende dalla velocità della particella e dall'indice di rifrazione dell'acqua.

Il rivelatore di fluorescenza (FD)

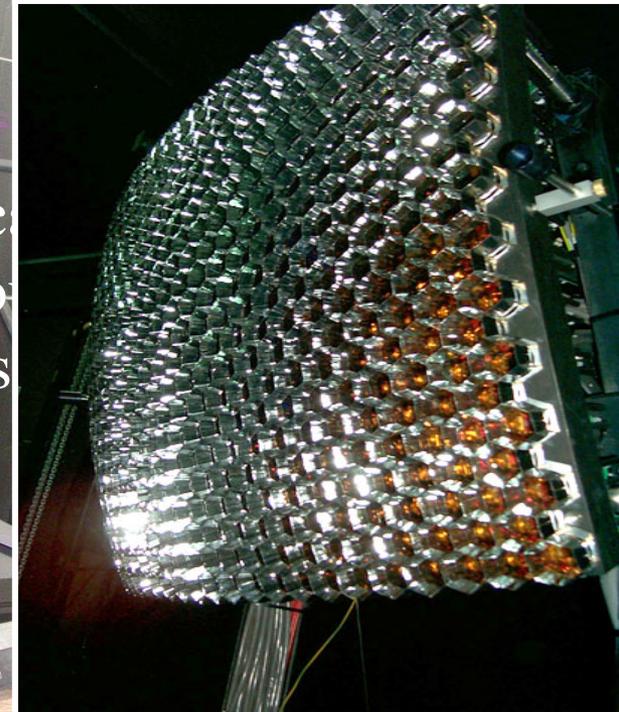
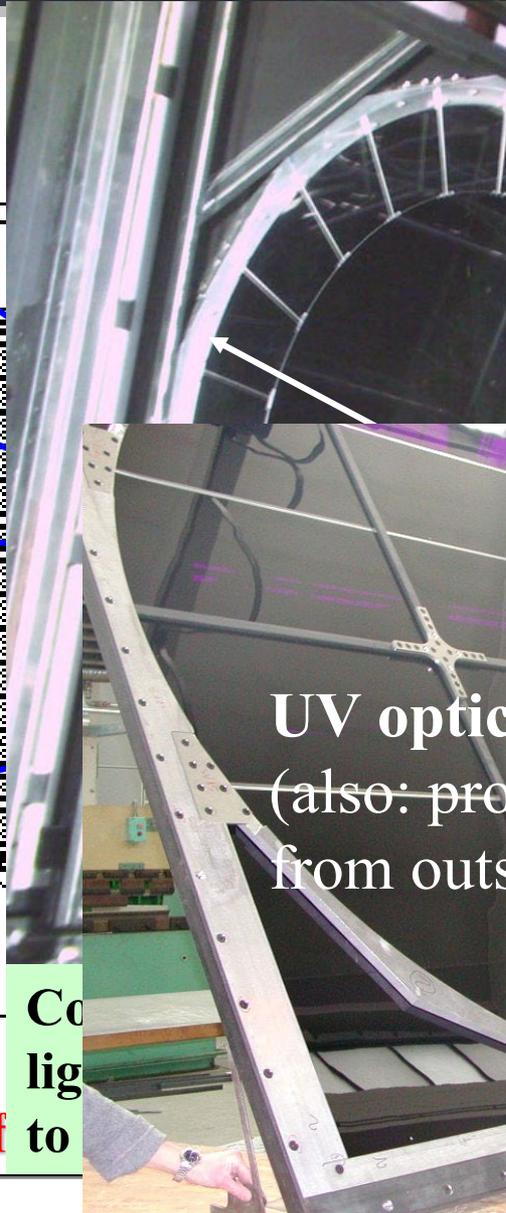


Il telescopio FD

- ✓ Diaframma + corrector ring (diametro 2.2 m)
- ✓ Filtro UV
- ✓ Specchio sferico con raggio di curvatura di 3.4m
- ✓ Camera con FOV $30^{\circ} \times 30^{\circ}$

Duty cycle 10-14%

**Opera nelle notti senza luna
e con buone condizioni atmosferiche**



UV optics
(also: pro
from outs

Co
lig
to

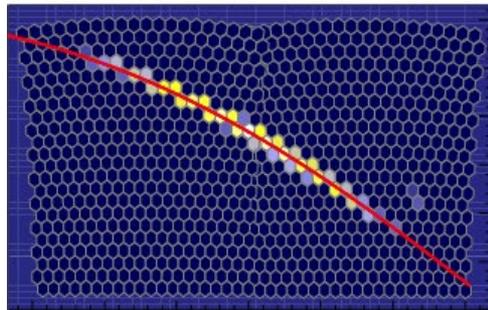
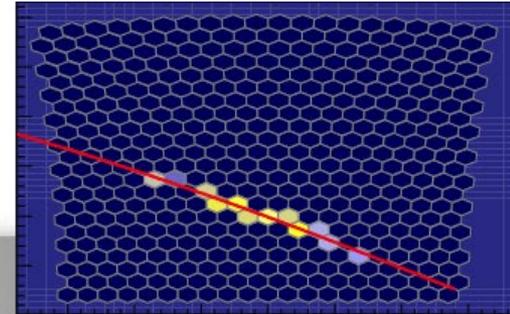
Un evento stereo ibrido

Evento: 1364365

Los Morados

$\lg(E/eV) \sim 19.2$

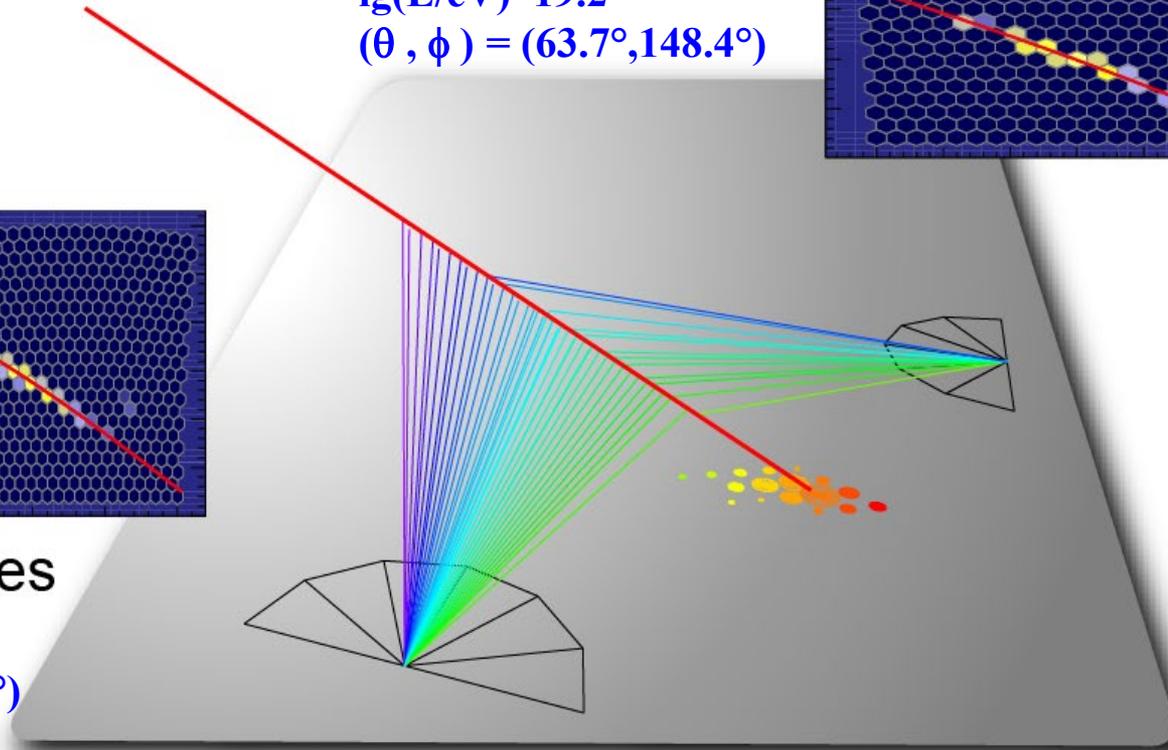
$(\theta, \phi) = (63.7^\circ, 148.4^\circ)$



Los Leones

$\lg(E/eV) \sim 19.3$

$(\theta, \phi) = (63.7^\circ, 148.3^\circ)$



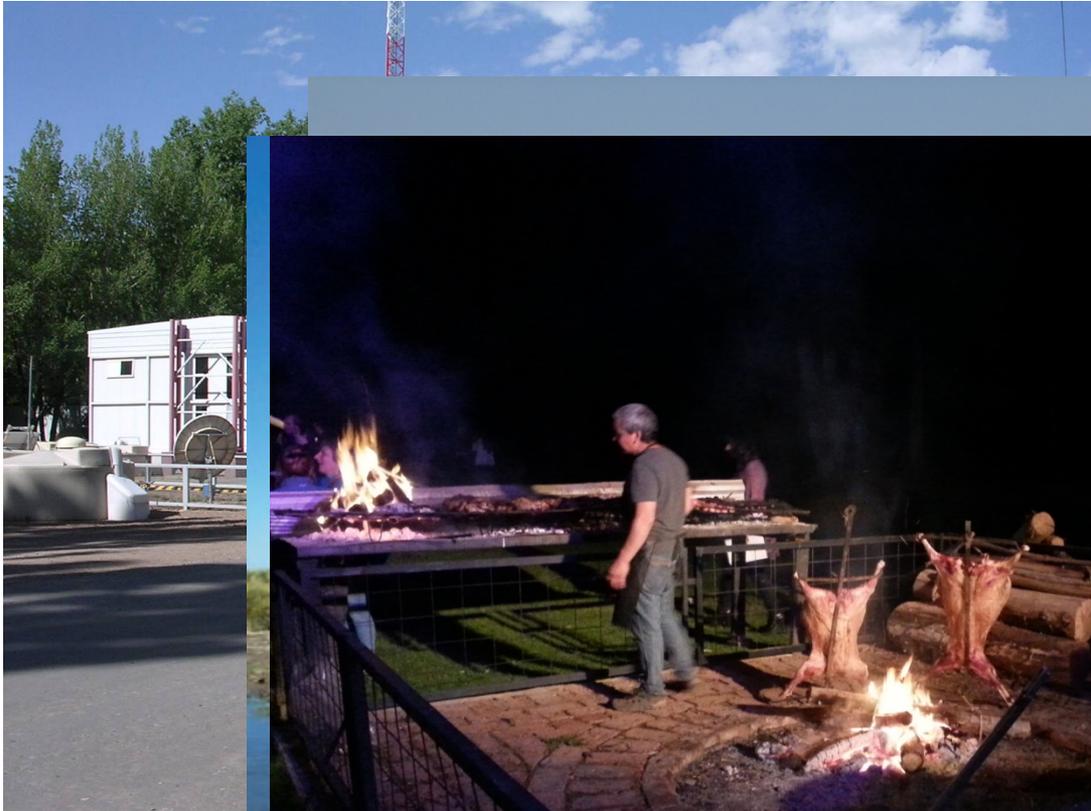
SD array

17 stazioni

$\lg(E/eV) \sim 19.1$

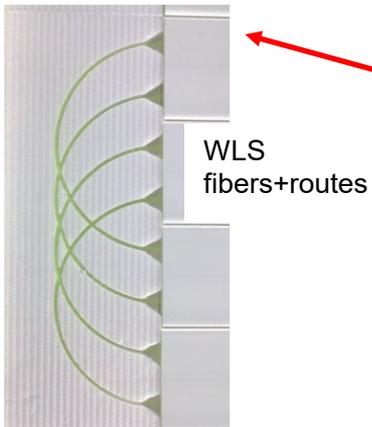
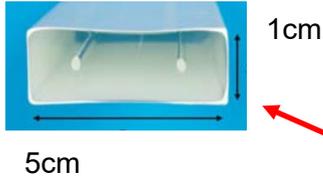
$(\theta, \phi) = (63.3^\circ, 148.9^\circ)$

Installazione delle stazioni SD

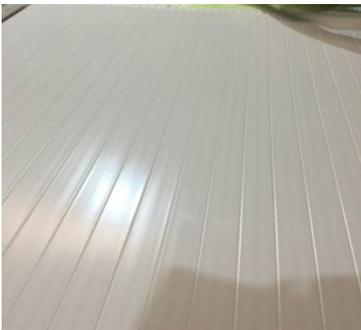


SSD:The detector

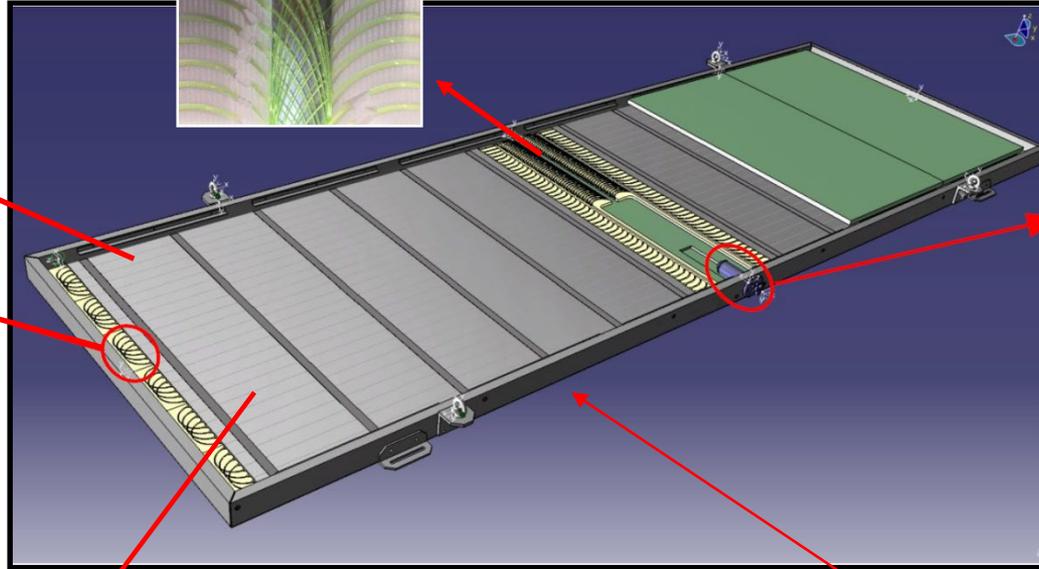
Extruded Scintillator bars with 2 holes



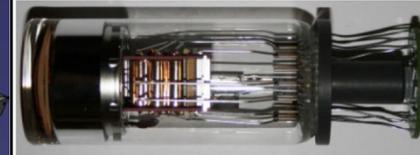
Extruded scintillator bars
160cm long



WLS fibers+routers



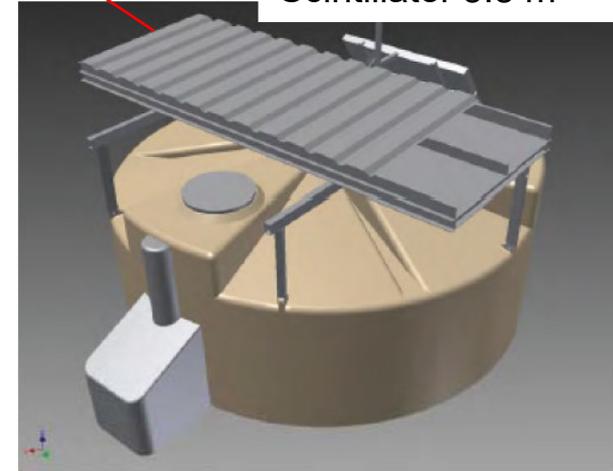
PMT



Alu Enclosure



Scintillator 3.8 m²



Note Storiche

1912 Hess scopre i Raggi Cosmici

1927 I Raggi Cosmici vengono visti in Camere a Nebbia

1932 Anderson scopre la prima anti-particella nella radi

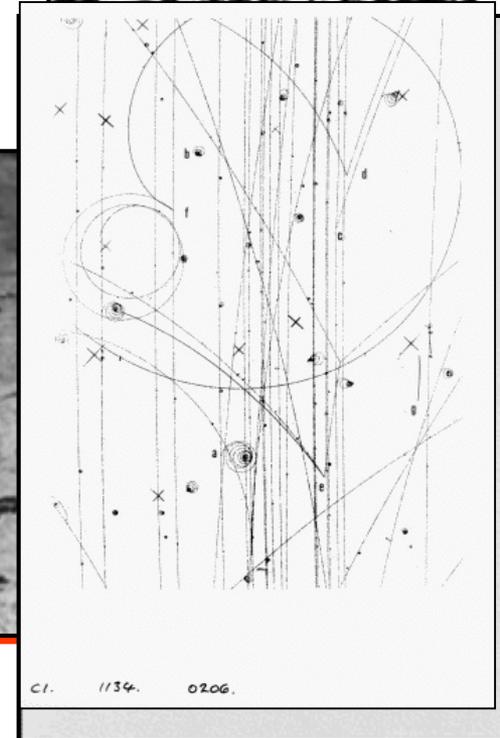
1937 Neddermeyer e Anderson scoprono i muoni

1938 Auger scopre gli EAS

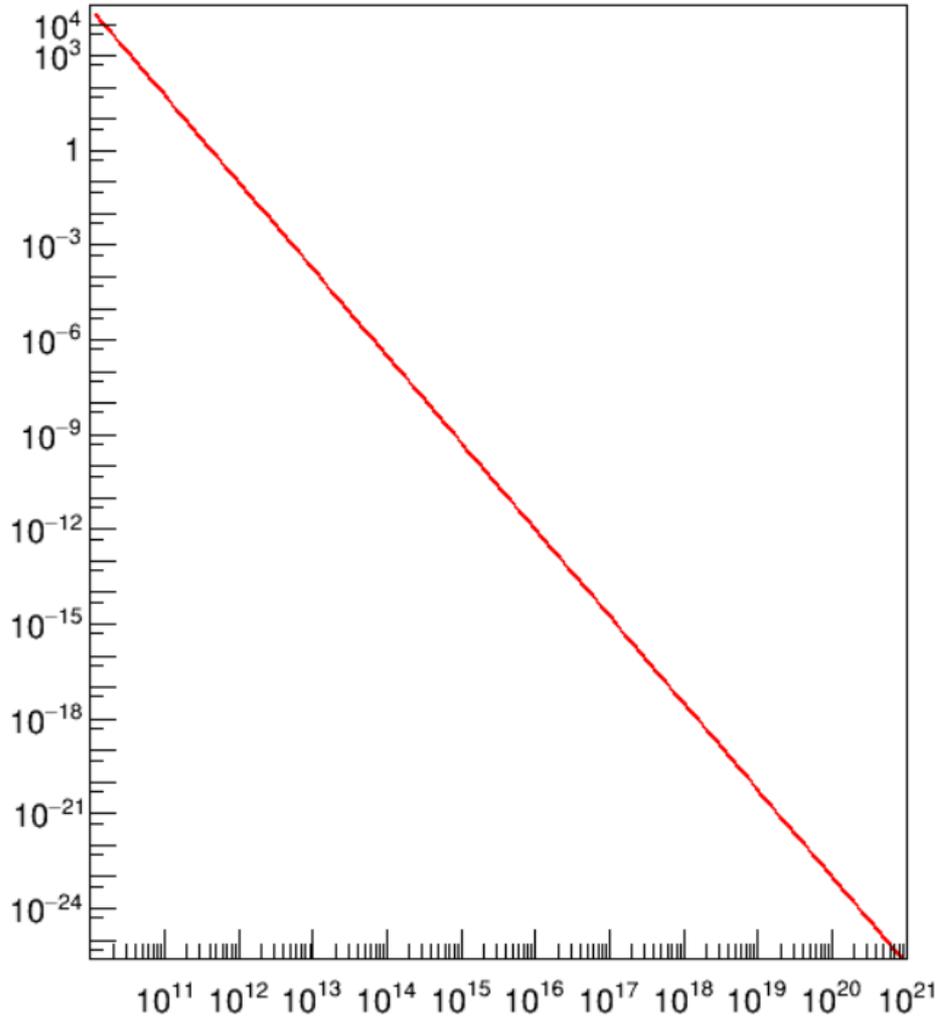
1946 Primi esperimenti per la rivelazione di EAS
Bruno Rossi (US), Georgi Zatsepin (Russia)

1949 Fermi propone una spiegazione teorica

1950 primi acceleratori di particelle



Come rivelare i Raggi Cosmici



Dimensioni tipiche di un satellite
circa un metro quadro

Tempo di vita tipico di un satellite
3 anni

1 anno = 3.1×10^7 s

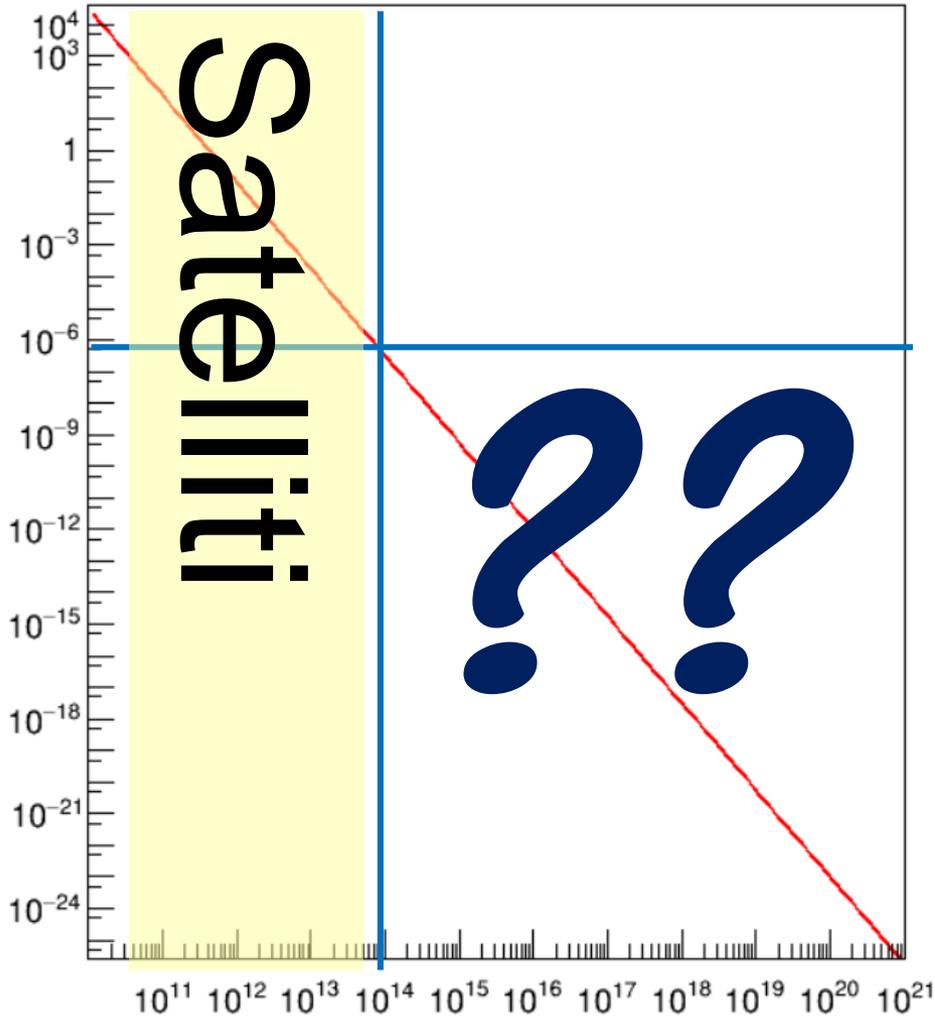
3 anni = 10^8 s

Esposizione = superficie x tempo = 10^8 m² s

N. RC = flusso x esposizione

Flusso min = N. RC minimo/esposizione =
 $= 1000/10^8 = 10^{-5}$ part m⁻² s⁻¹

Come rivelare i Raggi Cosmici



Dimensioni tipiche di un satellite
circa un metro quadro

Tempo di vita tipico di un satellite
3 anni

1 anno = 3.1×10^7 s

3 anni = 10^8 s

Esposizione = superficie x tempo = 10^8 $\text{m}^2 \text{s}$

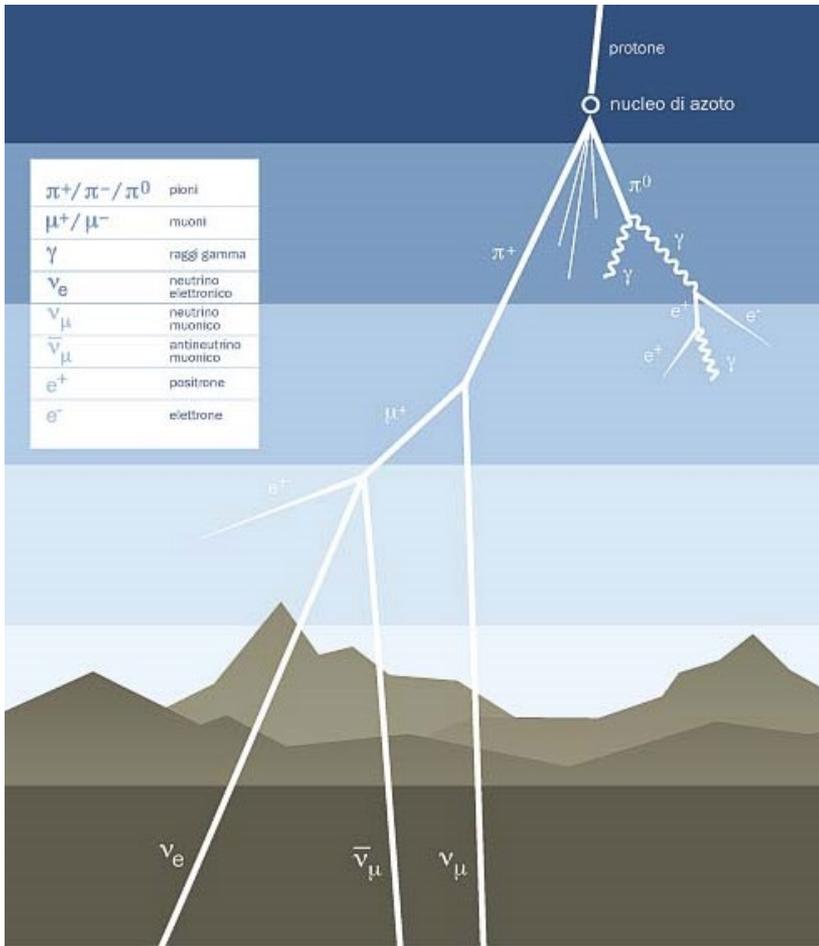
N. RC = flusso x esposizione

Flusso min = N. RC minimo/esposizione =
= $1000/10^8 = 10^{-5}$ $\text{part m}^{-2} \text{s}^{-1}$

Se investo molte risorse posso spingermi ad un limite di 3 m^2 di satellite con un tempo di vita di 10 anni guadagnando un fattore circa 10

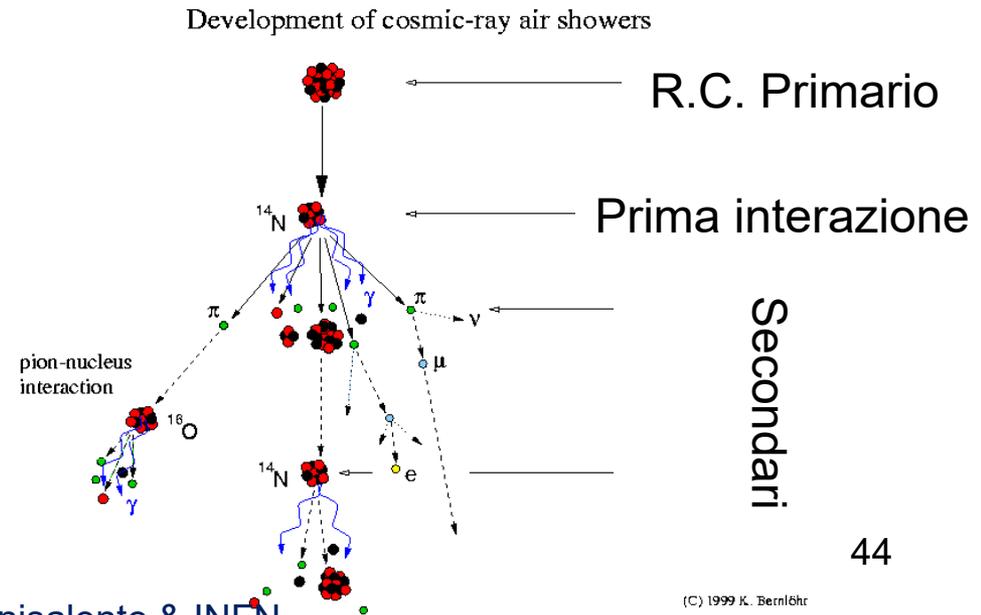
Flusso min = 10^{-6} $\text{part m}^{-2} \text{s}^{-1}$

Che succede quando un R.C. investe la terra

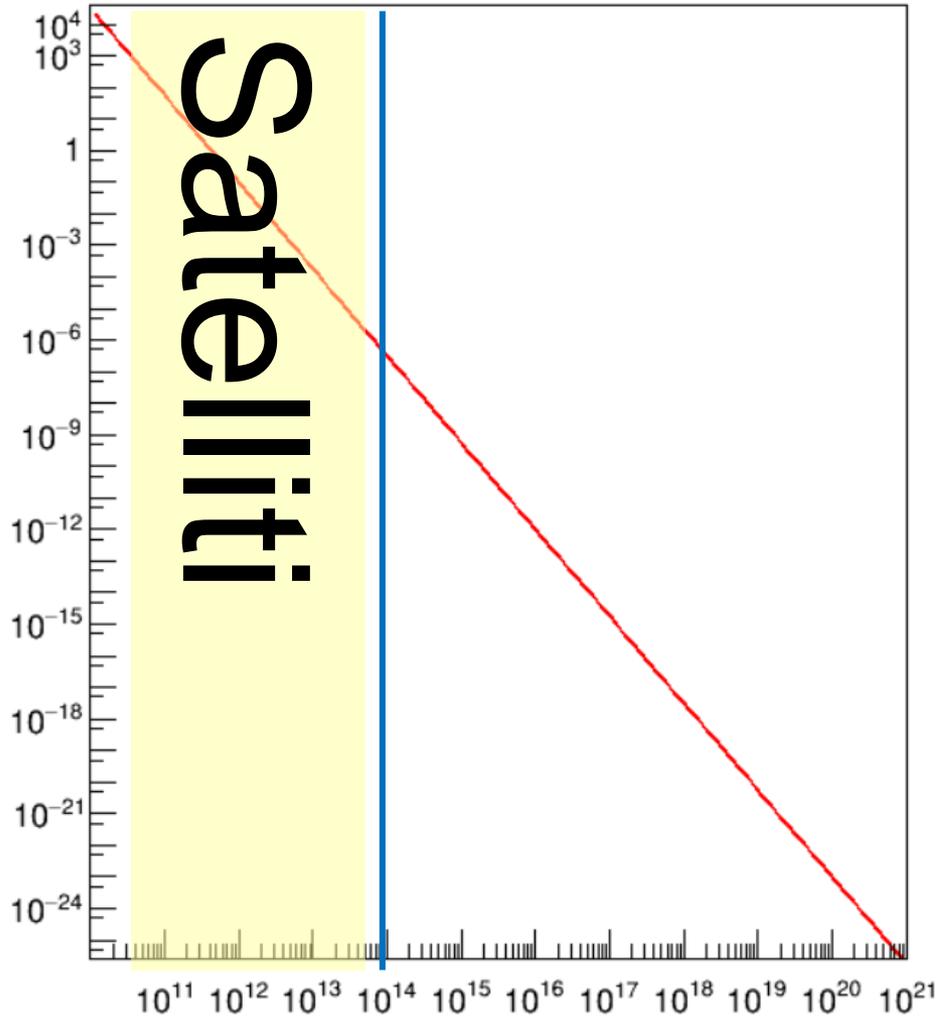


Quando una particella carica investe l'atmosfera terrestre, interagisce con i nuclei dell'aria e innesca una cascata di particelle (Extensive Air Shower – EAS) che, **se adeguatamente energetica**, può raggiungere la superficie terrestre.

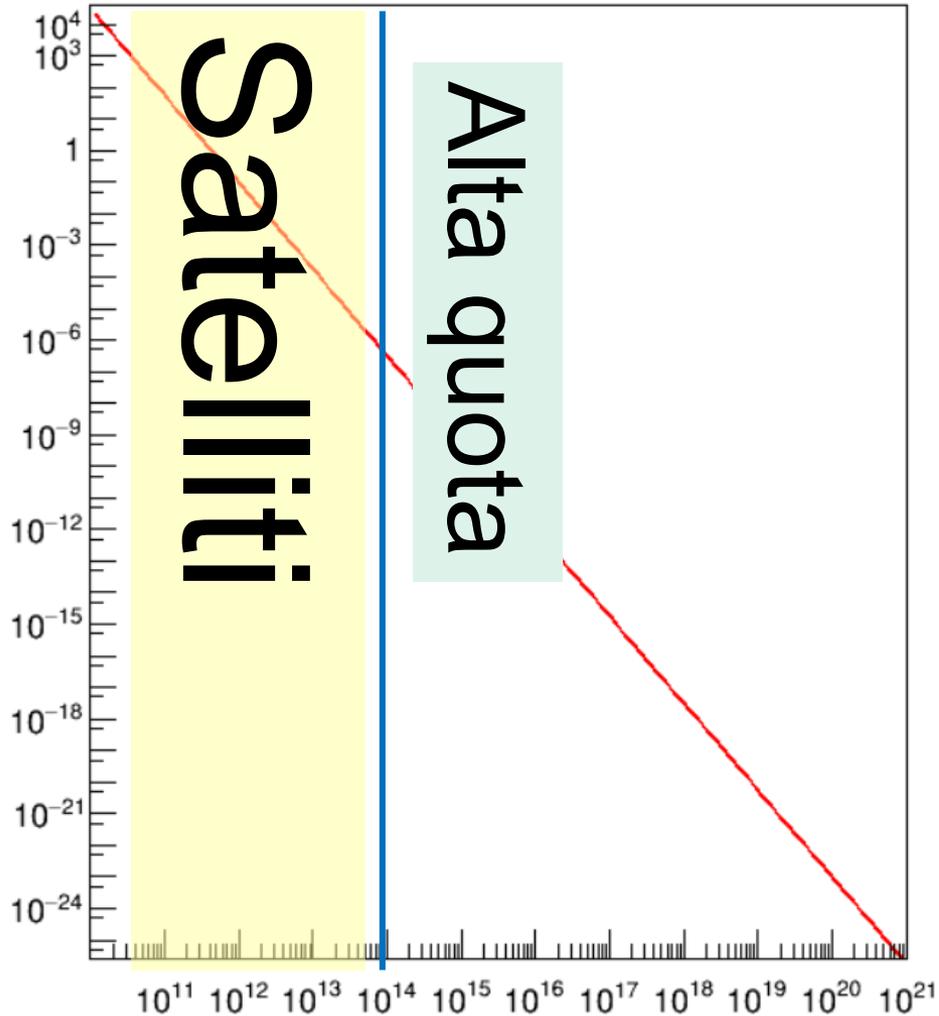
L'estensione laterale dello sciame e' legata all'energia del primario interagente e **può variare da decine di metri sino a svariati chilometri**.



Come rivelare i Raggi Cosmici



Come rivelare i Raggi Cosmici

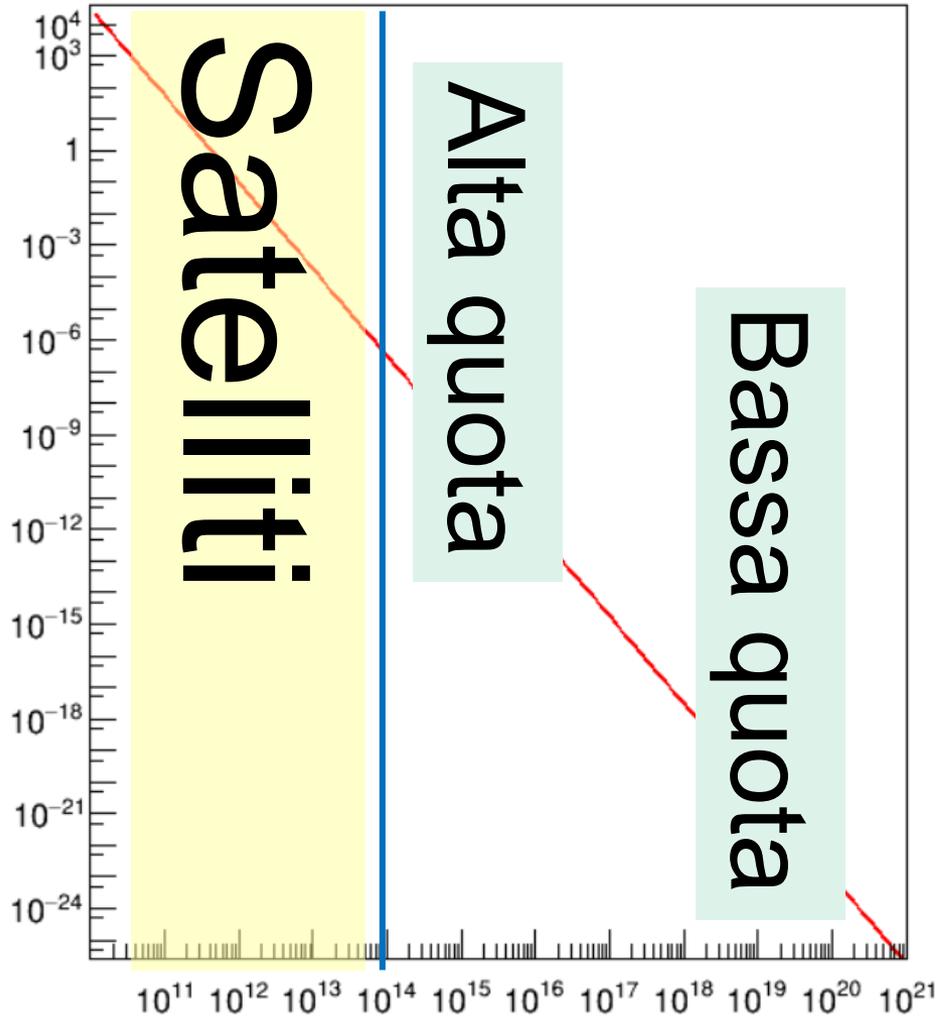


Apparati sperimentali che coprono superfici di medie dimensioni



da centinaia di metri quadri a qualche kilometro quadro

Come rivelare i Raggi Cosmici

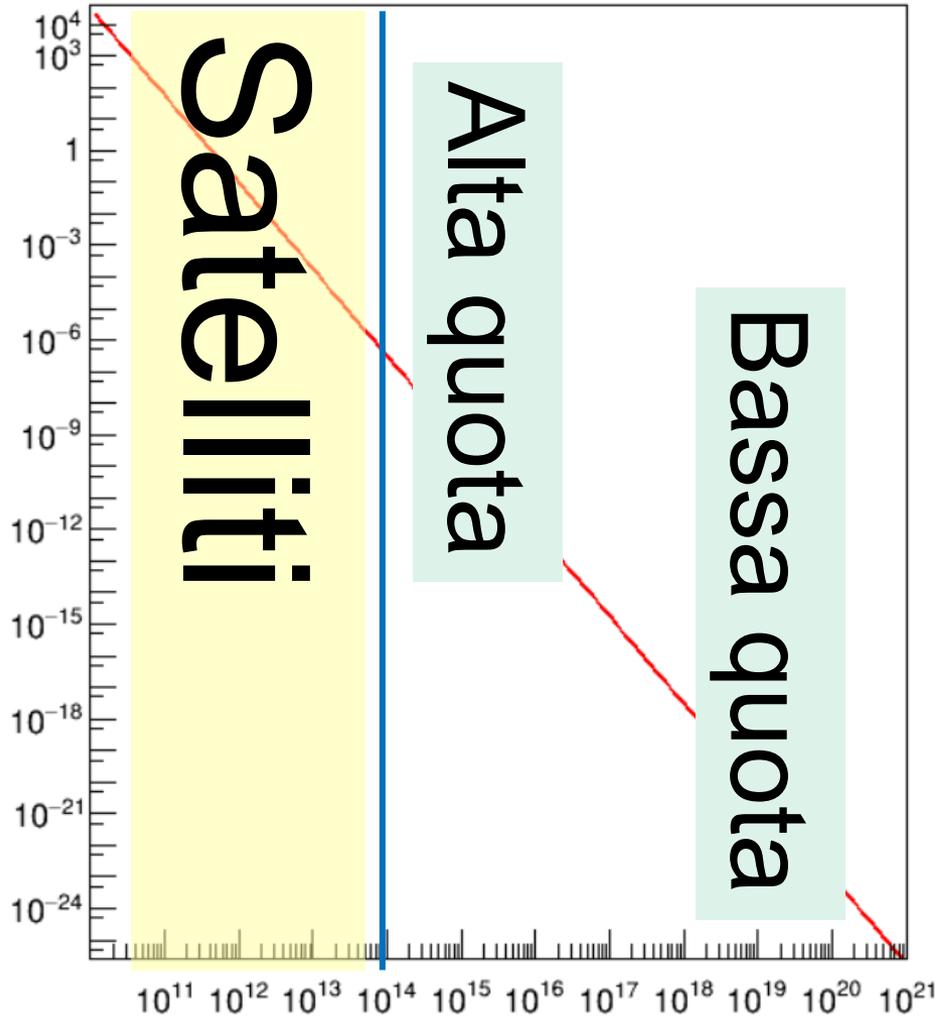


Apparati sperimentali che coprono superfici di grandi dimensioni



da decine di chilometri quadri a
migliaia di chilometri quadri!

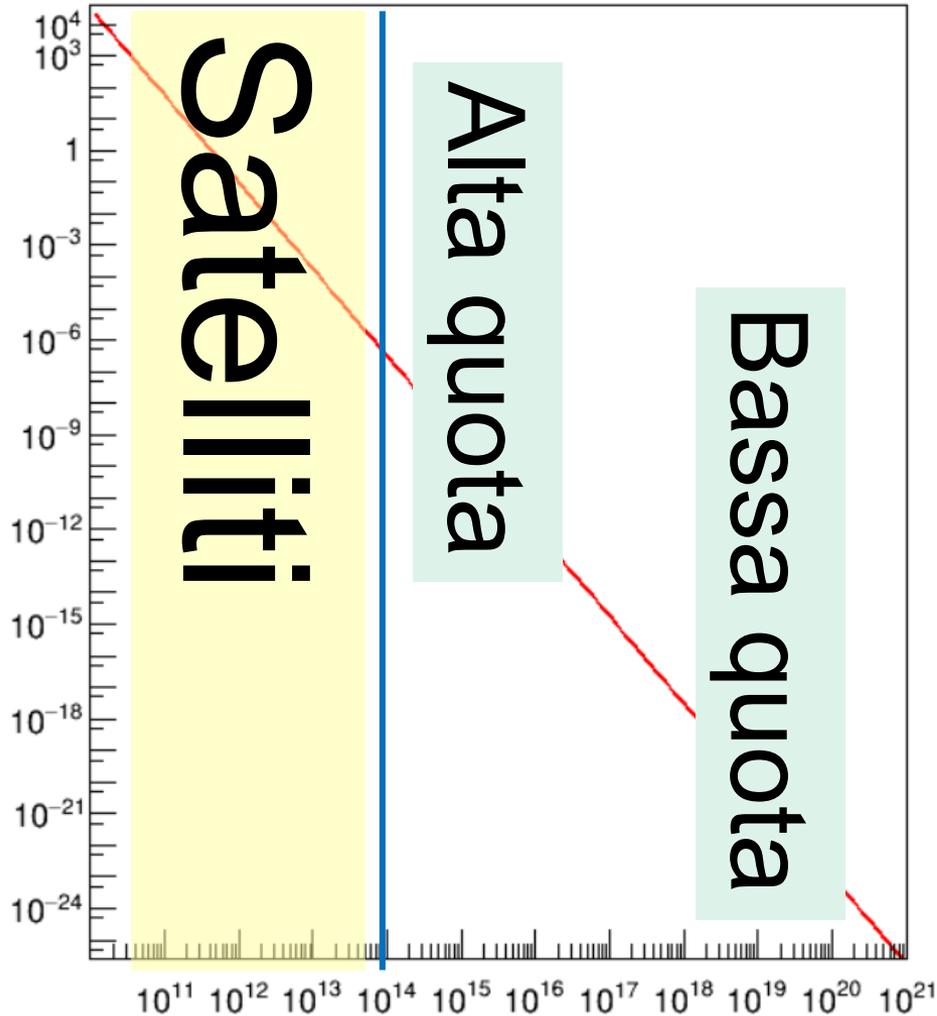
Come rivelare i Raggi Cosmici



Misura indiretta!

Dai secondari devo ricavare informazioni sul primario.

Come rivelare i Raggi Cosmici



Misura indiretta!

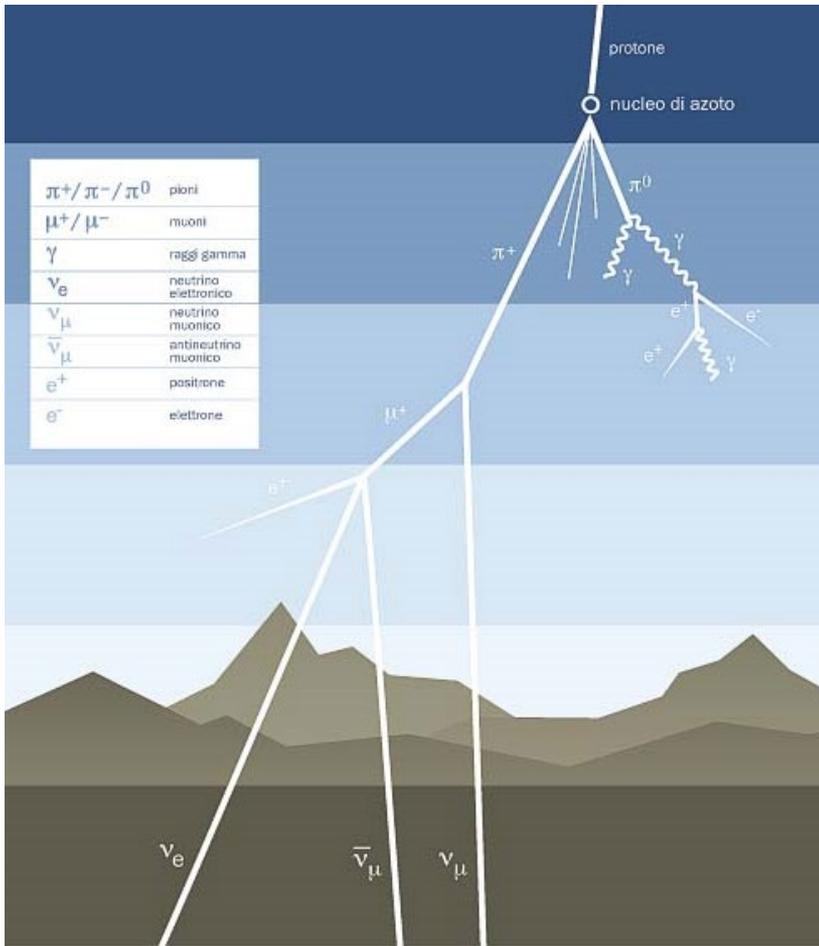
Dai secondari devo ricavare informazioni sul primario.

Cosa sono i primari e i secondari?

Come rivelarli?

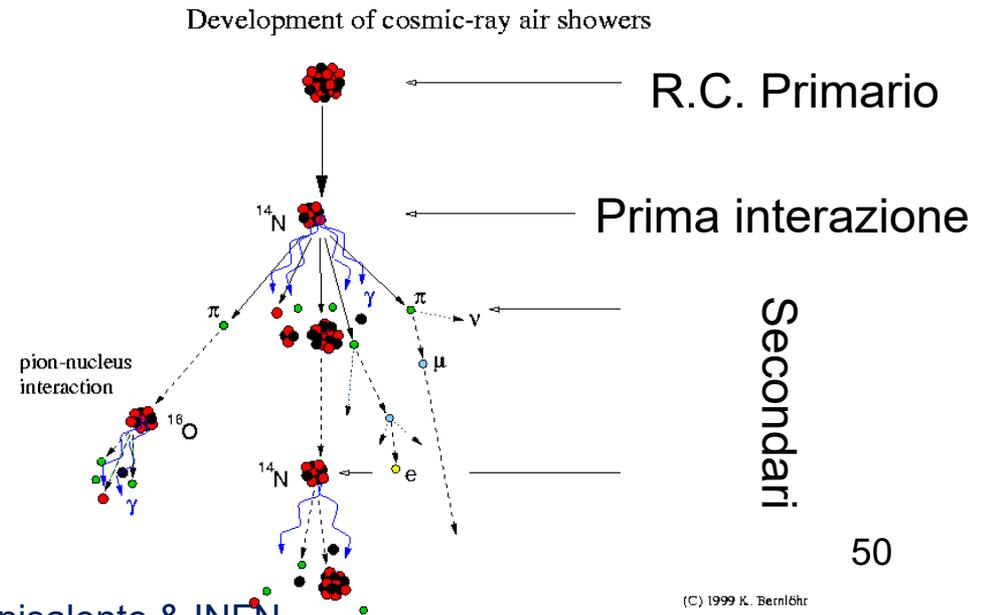
Come estrarre informazioni sul primario dai secondari?

Che succede quando un R.C. investe la terra

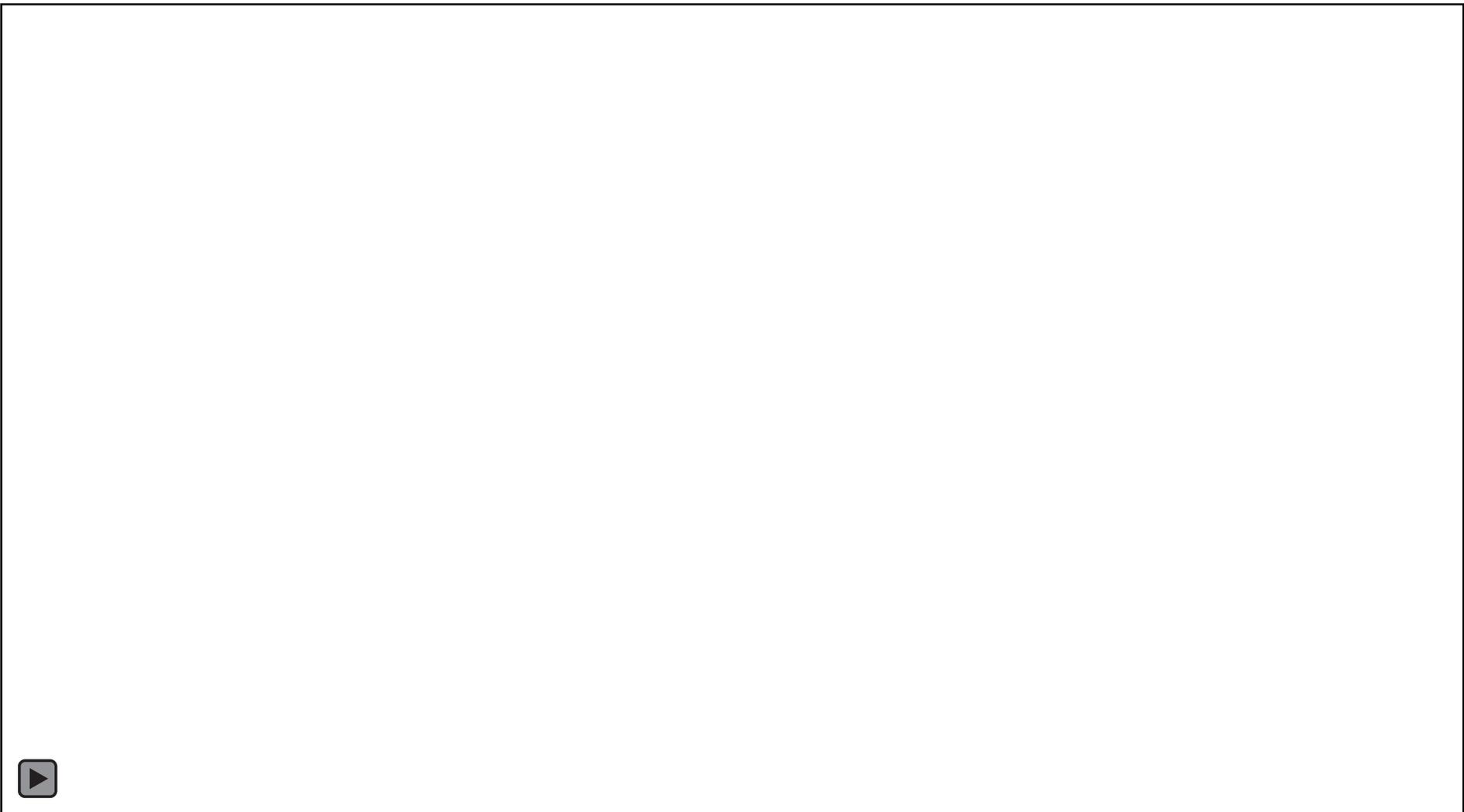


Quando una particella carica investe l'atmosfera terrestre, interagisce con i nuclei dell'aria e innesca una cascata di particelle (Extensive Air Shower – EAS) che, **se adeguatamente energetica**, può raggiungere la superficie terrestre.

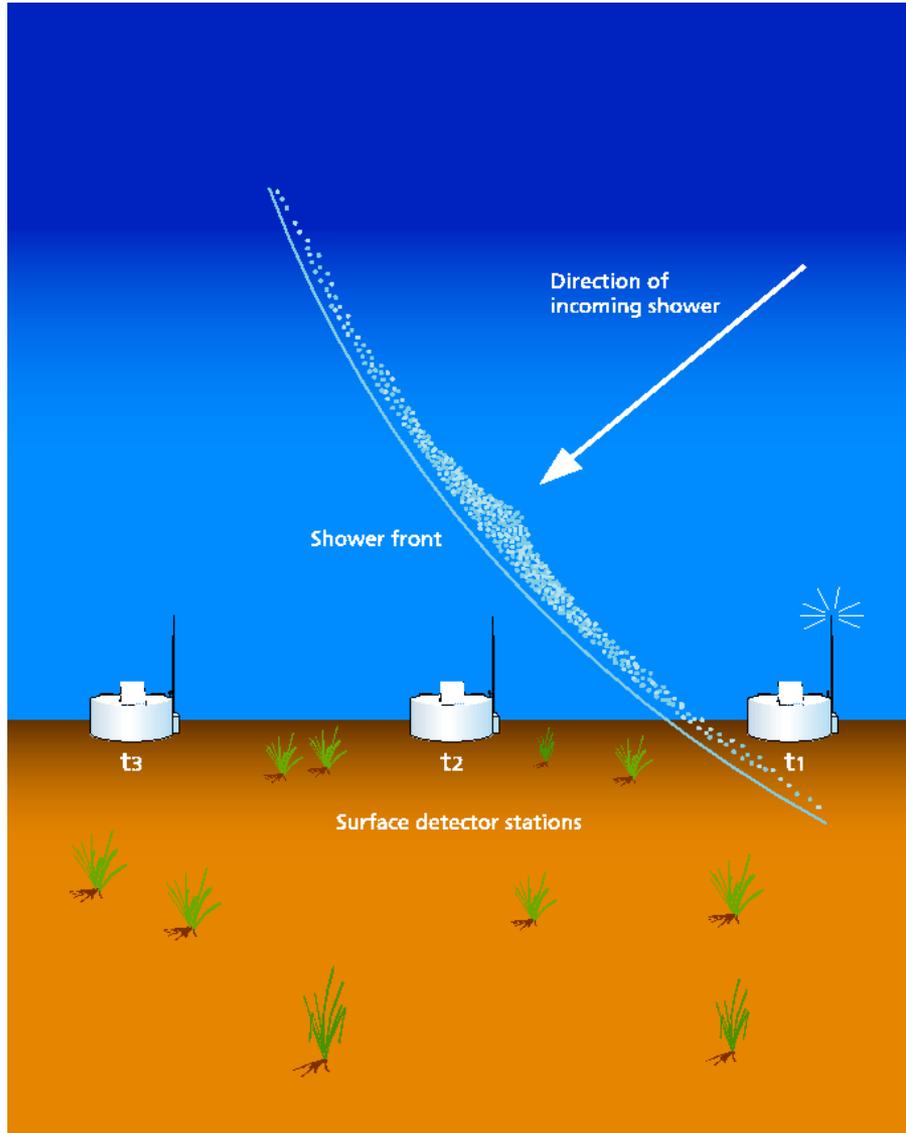
L'estensione laterale dello sciame e' legata all'energia del primario interagente e **può variare da decine di metri sino a svariati chilometri**.



Come estrarre informazioni sul primario dai secondari



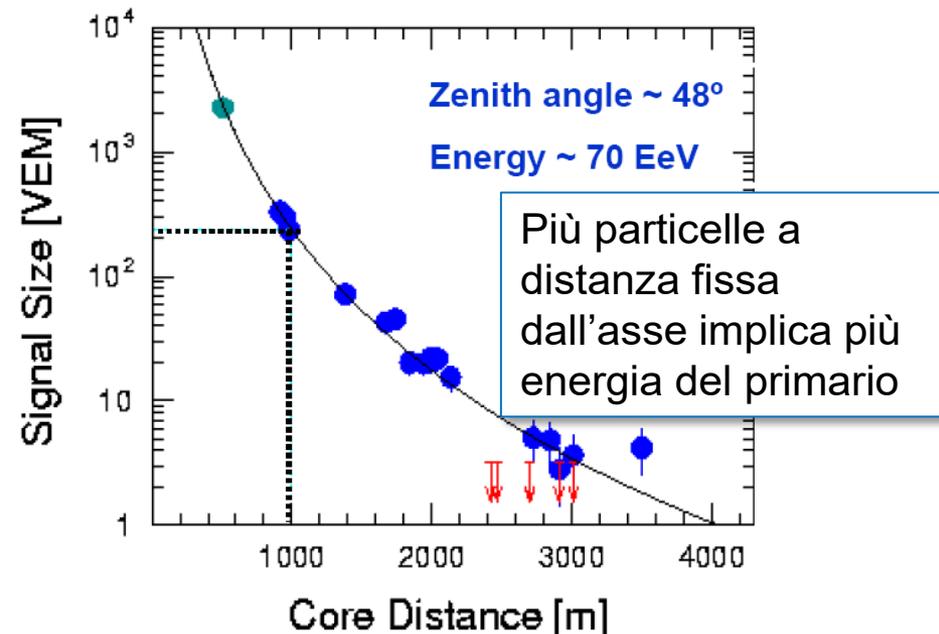
Come estrarre informazioni sul primario dai secondari



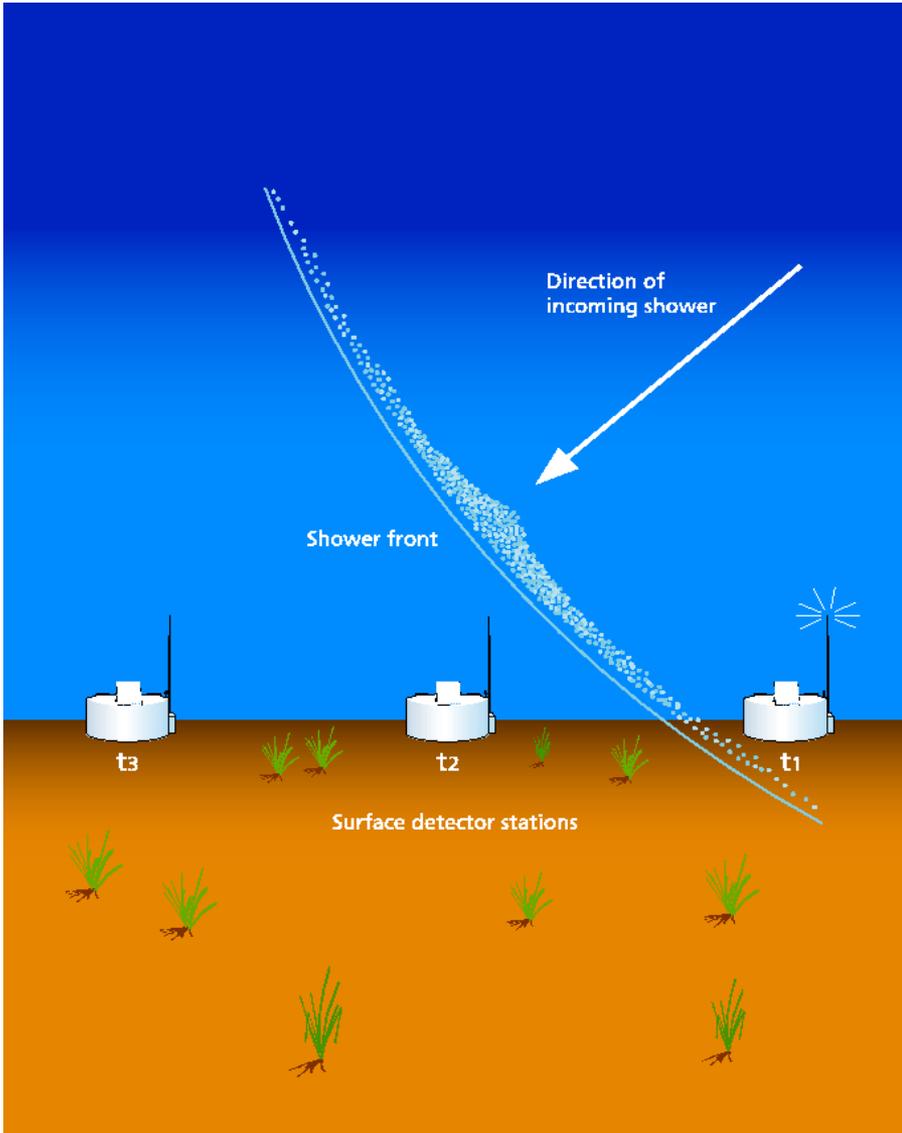
Uso dei tempi di arrivo per determinare la direzione di provenienza.

Uso della densità di particelle per determinare l'asse dello sciame e l'energia del primario

ID 762238



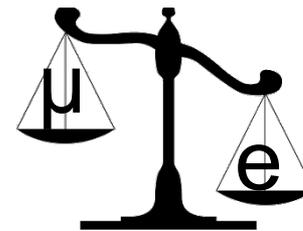
Come estrarre informazioni sul primario dai secondari



Uso dei tempi di arrivo per determinare la direzione di provenienza.

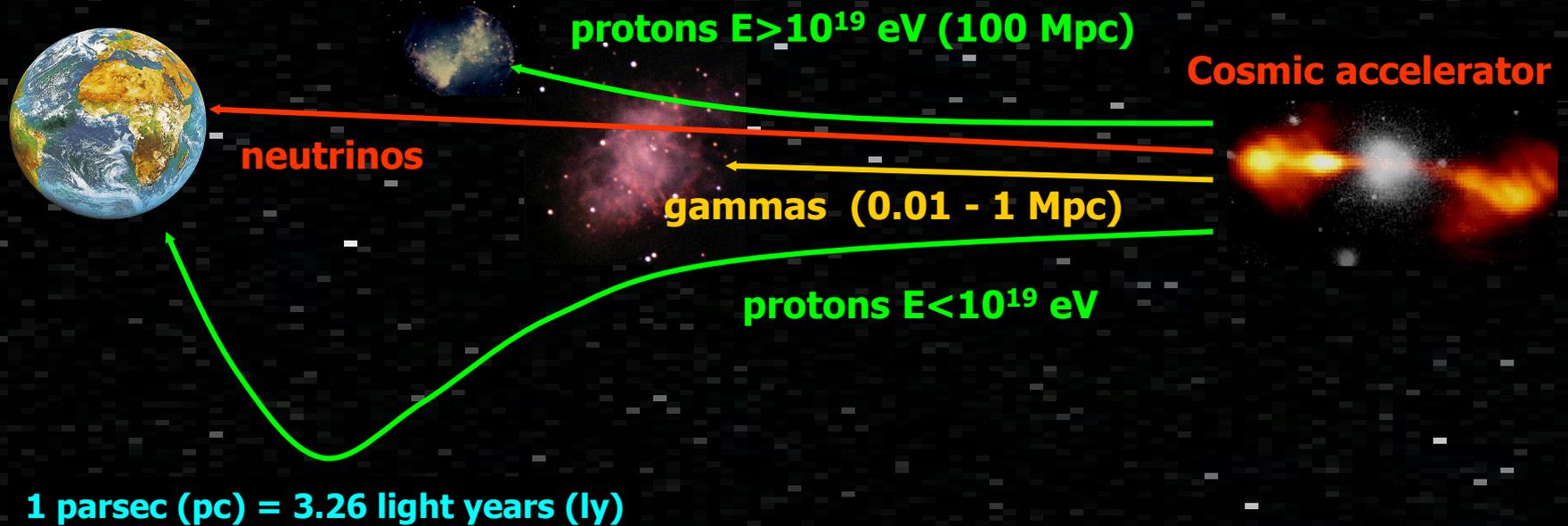
Uso della densità di particelle per determinare l'asse dello sciame e l'energia del primario

Uso delle abbondanze relative di secondari per determinare il tipo di primario



Primari leggeri (protoni)

Come identificare gli acceleratori cosmici



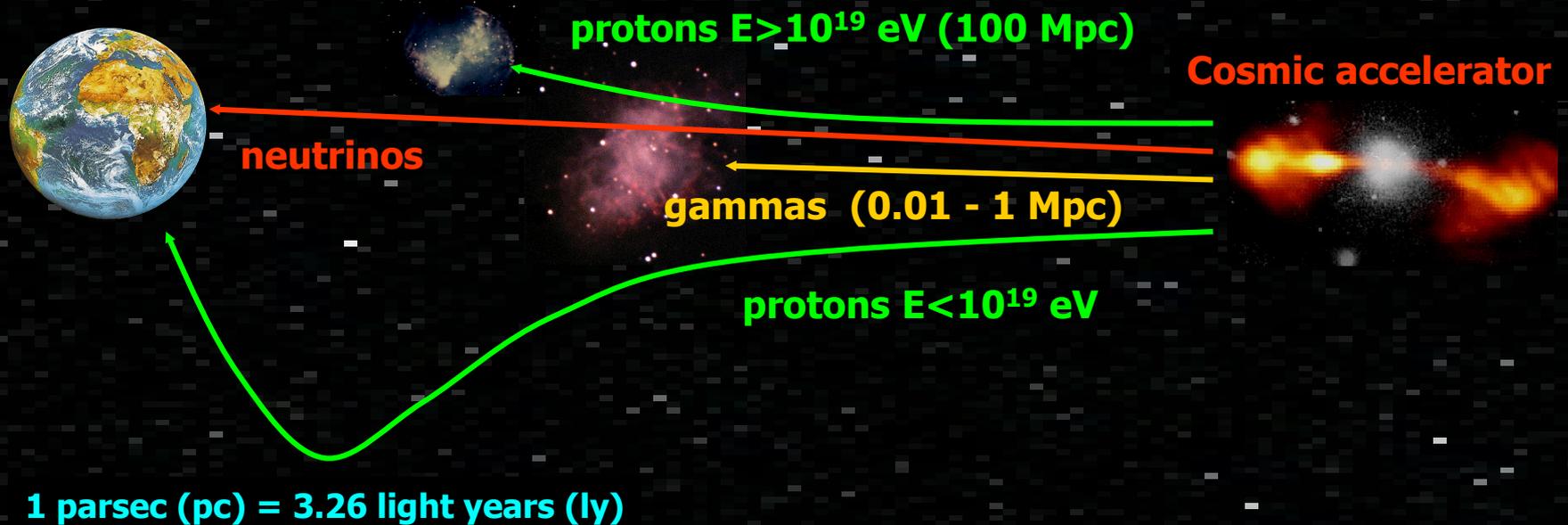
Fotoni di alta energia: abbondanti, ma assorbiti da polveri

Raggi Cosmici: direzione resa casuale dai campi magnetici

Neutrini: richiedono rivelatori di volumi enormi

UHECR: non eccessivamente deviati ma solo da universo «vicino» 54 54/51

Come identificare gli acceleratori cosmici



Fotoni di alta energia: abbondanti, ma assorbiti da polveri

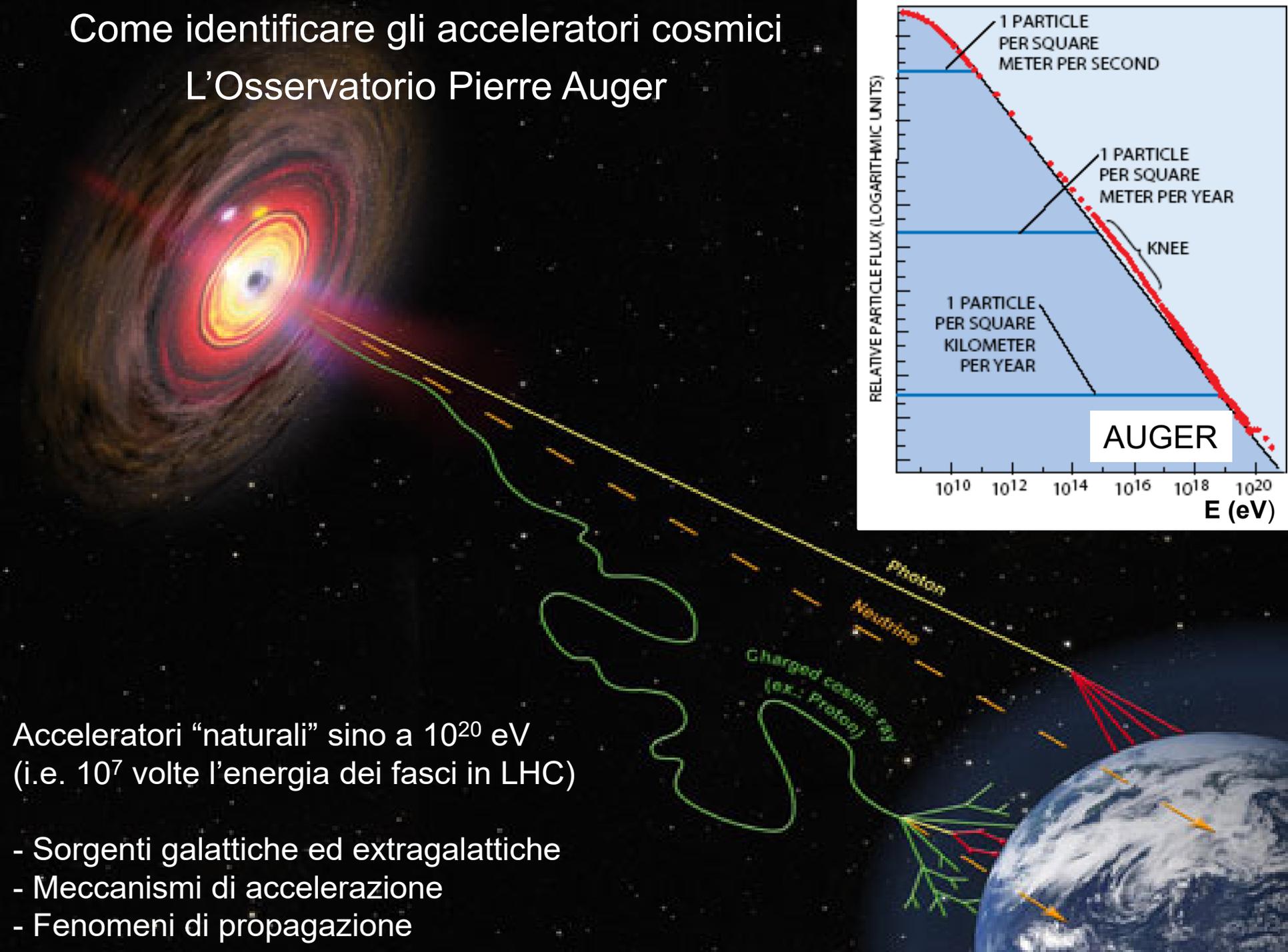
Raggi Cosmici: direzione resa casuale dai campi magnetici

Neutrini: richiedono rivelatori di volumi enormi

UHECR: non eccessivamente deviati ma solo da universo «vicino» ⁵⁵ 55/51

Come identificare gli acceleratori cosmici

L'Osservatorio Pierre Auger



Acceleratori "natural" sino a 10^{20} eV
(i.e. 10^7 volte l'energia dei fasci in LHC)

- Sorgenti galattiche ed extragalattiche
- Meccanismi di accelerazione
- Fenomeni di propagazione