

# L'affascinante mondo dei raggi cosmici

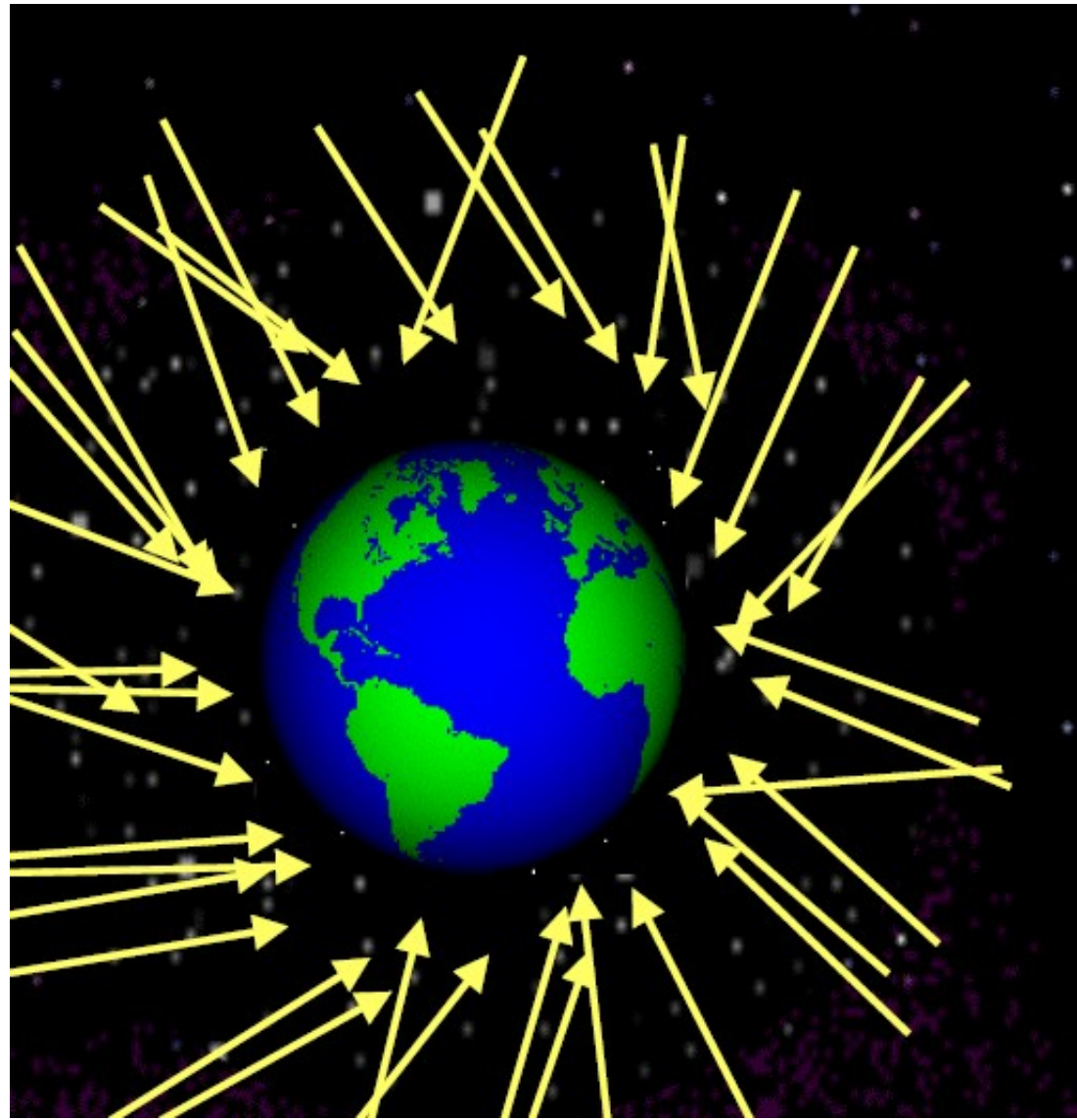


# ***OUTLINE***

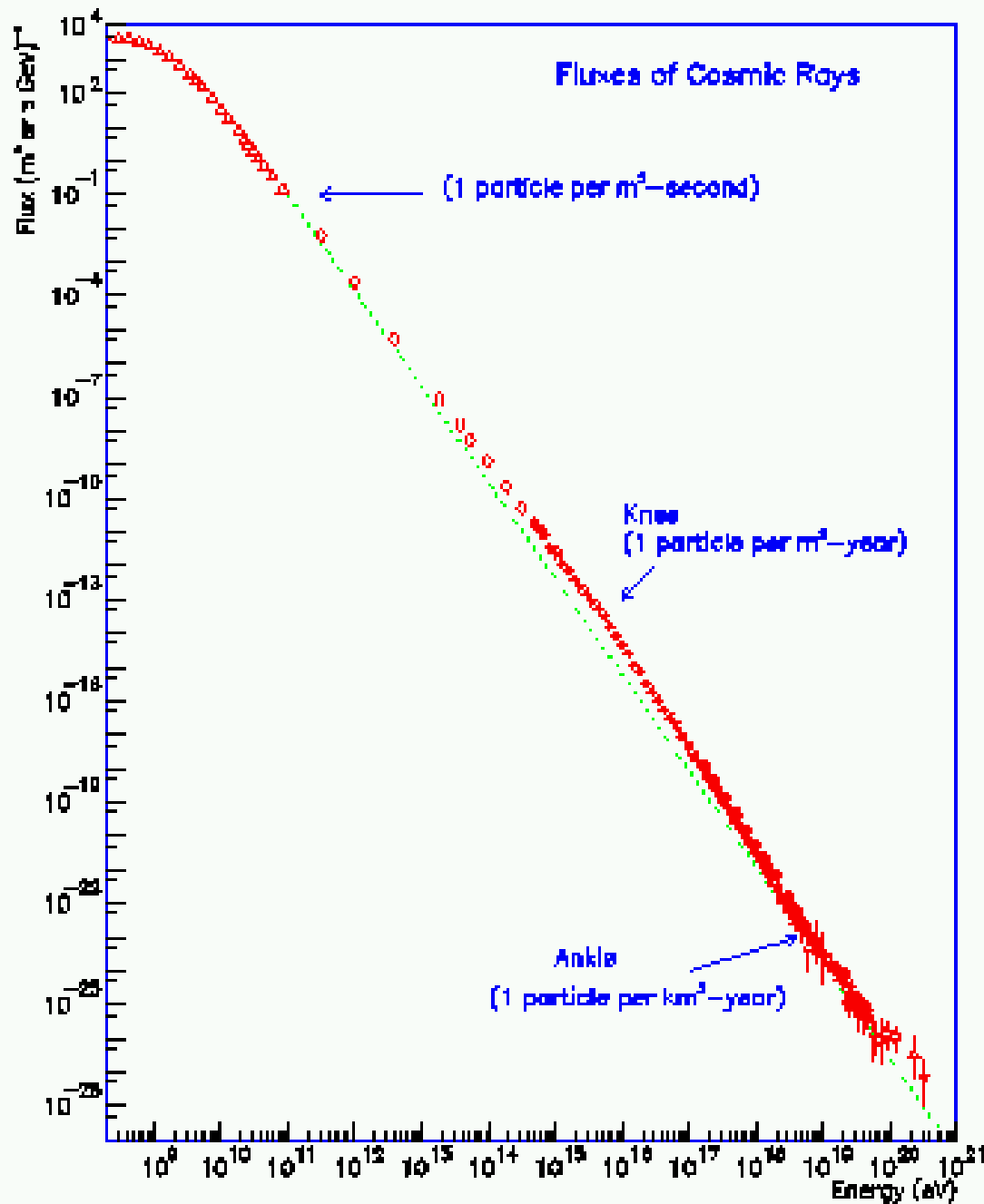
- ***Cos'è un raggio cosmico?***
- ***La storia: dalla fine del 1800 ai giorni nostri***
- ***Le domande in cerca di risposta***
- ***Come si costruisce un rivelatore di raggi cosmici: l'esempio "tecnologico" di Adriatica***

# ***Cos'è un raggio cosmico?***

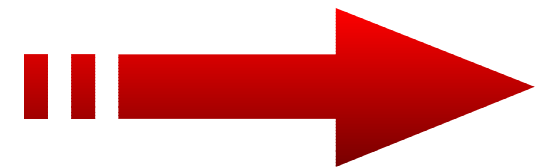
- *Fenomeno naturale che ha origine al di fuori dell'atmosfera*
- *Sconosciuti fino all'inizio del 1900*
- *Scoperti tramite studi sul fenomeno di ionizzazione dell'aria*
- *Costituiti da particelle subatomiche cariche*
- *Tra i fenomeni più energetici dell'Universo*



## • Intensità dei RC in funzione dell'energia



- ◆ Due categorie: **raggi cosmici primari e secondari**
- **Particelle PRIMARIE:**
  - ◆ viaggiano attraverso lo spazio con energie da  $10^9$  eV a  $>10^{20}$  eV e difficilmente raggiungono la terra
  - ◆ composizione = (si pensa) fondamentalmente protoni e nuclei atomici
- **Particelle SECONDARIE:**
  - ◆ risultato dell'interazione delle particelle primarie con l'atmosfera



# ... per rinfrescare la memoria ...

$$E^2 = \vec{p}^2 c^2 + m_0^2 c^4$$

$$\beta = \frac{v}{c} \quad (0 \leq \beta \leq 1) \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (1 \leq \gamma < \infty)$$

$$E = m_0 \gamma c^2 \quad p = m_0 \gamma \beta c \quad \beta = \frac{pc}{E}$$

- Energia E : misurata in eV
- Momento p : misurata in eV/c
- Mass  $m_0$  : misurata in eV/c<sup>2</sup>

**1 eV = piccola porzione di energia =  $1.6 \times 10^{-19}$  J**



- $m_{\text{bee}} = 1\text{g} = 5.8 \times 10^{32} \text{ eV}/c^2$
- $v_{\text{bee}} = 1\text{m/s} \rightarrow E_{\text{bee}} = 10^{-3} \text{ J} = 6.25 \times 10^{15} \text{ eV}$
- $E_{\text{LHC}} = 14 \times 10^{12} \text{ eV}$

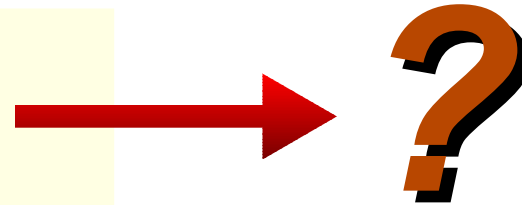
Energia del fascio storta in LHC =  $10^{14}$  protoni \*  $14 \times 10^{12} \text{ eV} \sim 10^8 \text{ J}$

- $m_{\text{truck}} = 100\text{T}$
- $v_{\text{truck}} = 120 \text{ km/h}$



# La lunga storia dei raggi cosmici

- **Fine 18° sec : Coulomb dimostra che l'aria presenta una debole conducibilità elettrica**
- **Fine Ottocento:**
  - 1879: raggi catodici (W. Crookes)
  - 1895: raggi X (W.C. Röntgen)
  - 1896: radioattività naturale (H. Becquerel)
  - 1897: elettrone (J. Thomson)
  - 1899: raggi  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  (E. Rutherford)
- **Il rivelatore di riferimento: l'elettrometro**

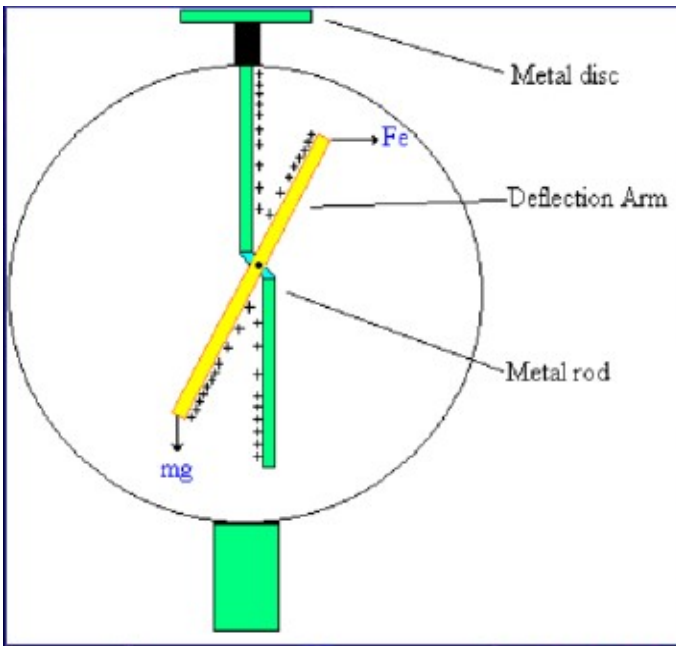


L'aria è ionizzata dai "raggi" originati dalla radiazione naturale emessa dal nostro pianeta

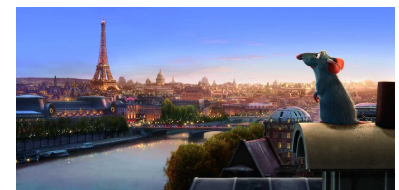
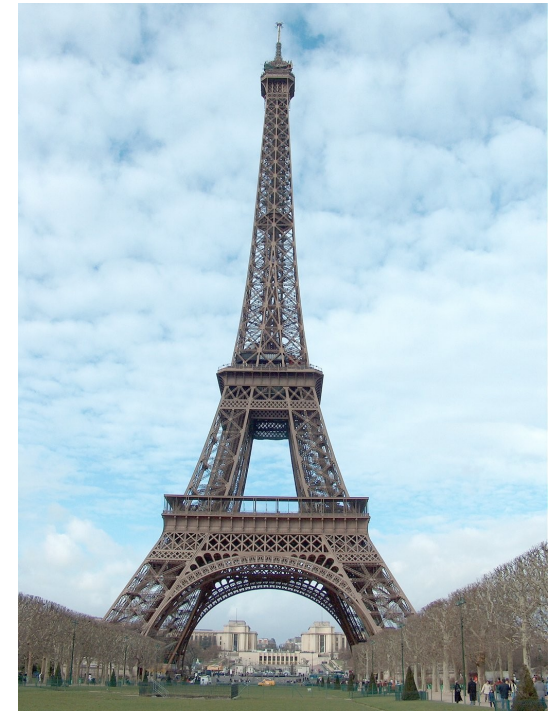
1900



# L'elettroscopio



- *I bracci dell'elettroscopio si allontanano tanto maggiore è la carica*
- *In presenza di radiazione, l'aria si ionizza parzialmente e l'elettroscopio si scarica con una velocità proporzionale all'intensità della radiazione*
- *Nel 1907 Padre Wulf → **elettrometro**: elettroscopio a fibre di quarzo + microscopio con scala graduata*
- *Nel 1910, Padre Wulf prova lo strumento sulla torre Eiffel a 300m dal suolo*



*Ci si aspettava una diminuzione esponenziale rispetto alla misura al suolo*

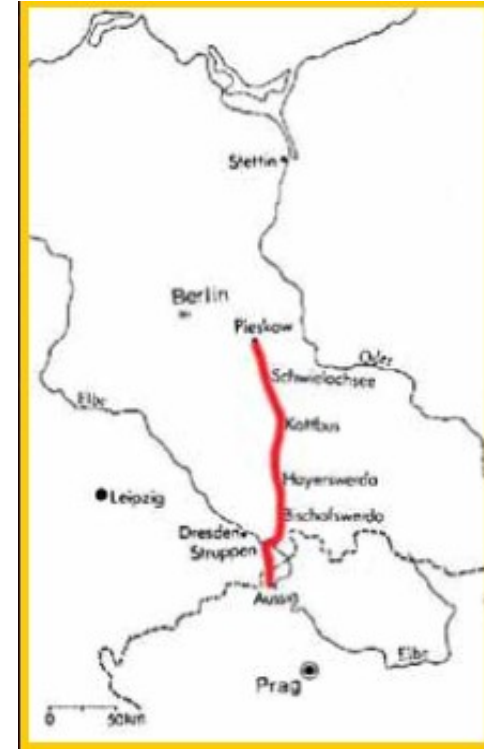
*Si misurò una diminuzione molto inferiore!*

**1910**

# La scoperta



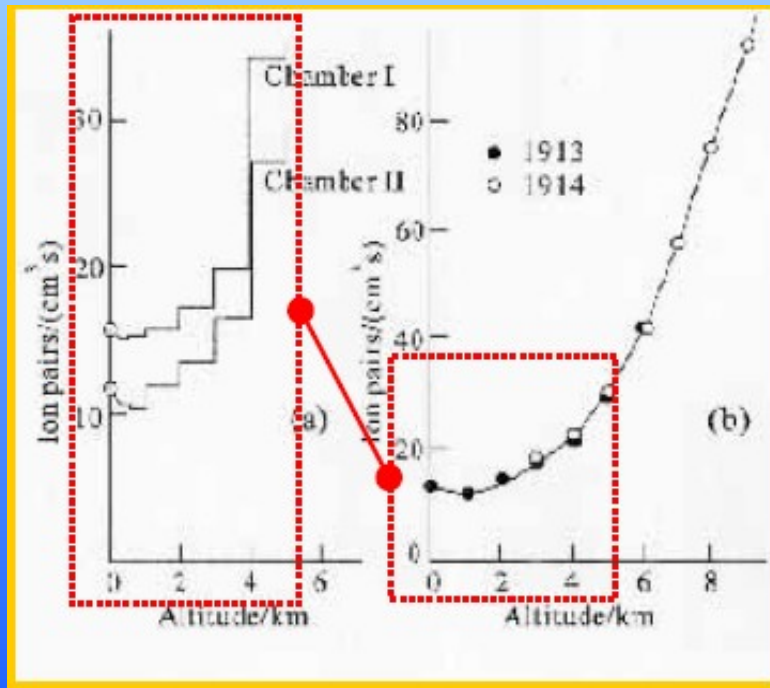
- Nel 1912 il fisico **Viktor Hess** compie esperimenti sulla radioattività ambientale misurata durante ascensioni con palloni aerostatici arrivando fino a 5350m dal suolo
- Scopre che:
  - ✓ La radioattività diminuisce molto più lentamente del previsto fino a 700m dove si stabilizza
  - ✓ A partire dai 1500m aumenta e a 5000m raggiunge un valore doppio rispetto al valore di fondo misurato al suolo
  - ✓ Il segnale non varia tra il giorno e la notte (quindi non viene dal sole)
  - ✓ Non cambia in presenza di eclissi solare
- L'interpretazione del fenomeno è che si tratti di una radiazione che proviene dalla parte alta e che viene battezzata "**raggi cosmici**" nel 1928
- Per questa (corretta) interpretazione Hess riceve il **premio Nobel nel 1936**



1912



# La conferma



**Variazione della ionizzazione con l'altezza (a=Hess (1912); b=Kolhorster (1913,1914))**

- Vari esperimenti con palloni sonda, aerei, nei laghi, in montagna, sui ghiacciai sia in Europa che negli Stati Uniti
- W. Kolhorster nel 1913-1914 raggiunge quota 9300m, conferma i risultati di Hess e misura un coefficiente di assorbimento molto inferiore a quello dei raggi gamma
- **Le prime domande fondamentali:**

★ **ORIGINE:**

- strati più alti dell'atmosfera?
- nel Sole?
- da qualche altra parte del Cosmo?

★ **NATURA:**

- raggi gamma di altissima energia?
- elettroni super veloci?

1913-14

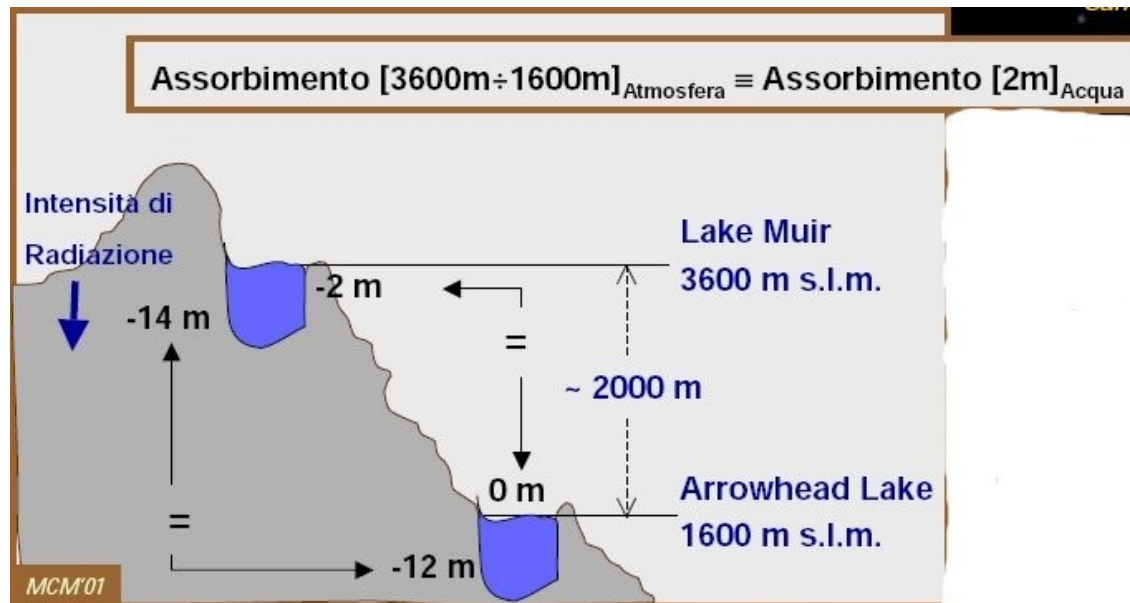
1925

# L'errore

- California 1925: R. Millikan e G. Cameron misurano la ionizzazione nelle acque di due laghi di montagna alimentati dallo scioglimento delle nevi
- Conclusero che:
  - ★ la radiazione penetrante esiste
  - ★ La radiazione è di origine cosmica
- Millikan era convinto che si trattasse di raggi gamma



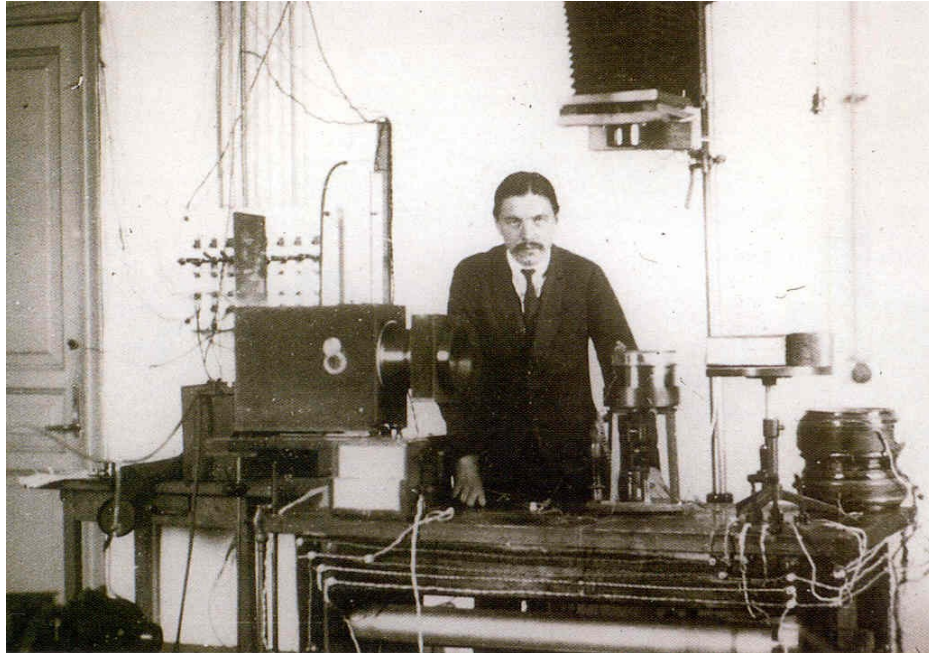
**RAGGI  
COSMICI**



**Camera a ionizzazione**

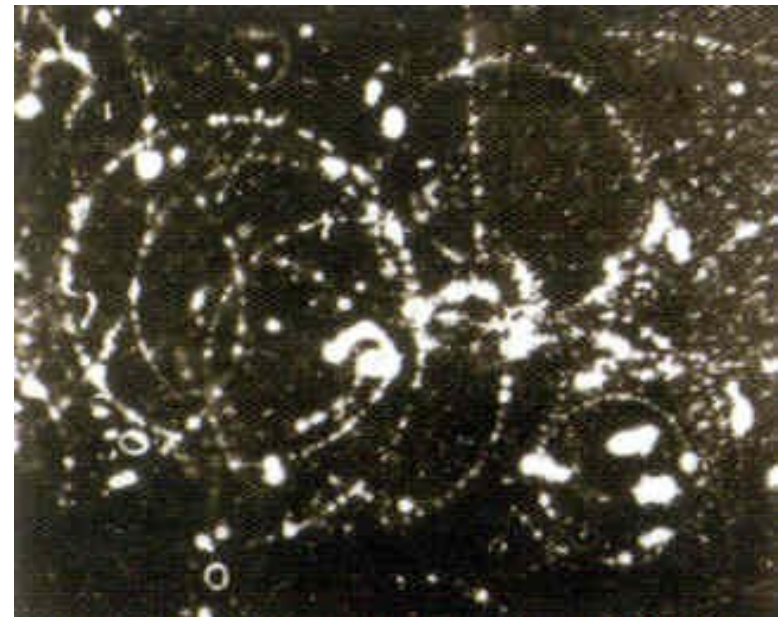
# 1927

# La vera natura

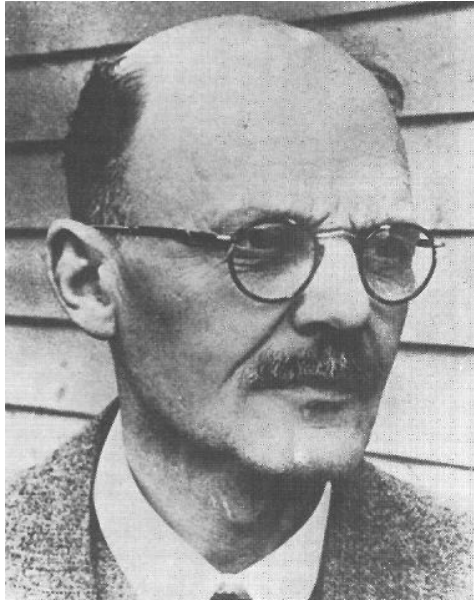


Il fisico russo **Dmitry Skobel'tzyn** nel 1927 a Leningrado, mediante delle **camere a nebbia**, osserva le tracce dei raggi cosmici, notando che vengono curvate pochissimo dai campi magnetici usati normalmente per osservare la radioattività naturale

- Non solo sono carichi ma anche veloci!
- Molteplicità tipica = 3-4
- Sono prodotti dall'interazione dei raggi cosmici con l'atmosfera



# ***I rivelatori ti cambiano la vita ....***



**Hans Geiger**

- Nel 1928 Hans Geiger e Walther Muller perfezionano il **contatore Geiger** (inventato nel 1908) che diventerà il "**cavallo da tiro**" della fisica nucleare per i successivi 30 anni a venire (fino a venire utilizzati ancora oggi per monitoraggio ambientale)
- Nel 1929 **Bothe e Kohlhorster** sviluppano un **sistema a "coincidenza"** di contatori Geiger per eliminare gli eventi "accidentali" dovuti alla radioattività ambientale

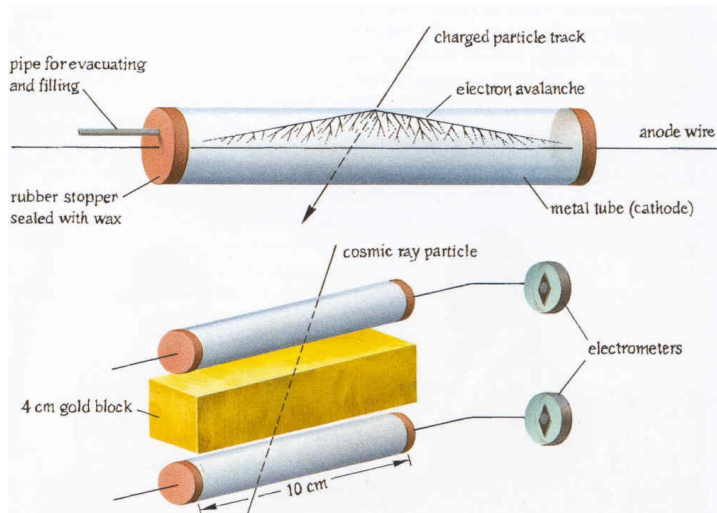


***Contatori Geiger***

**1928**

# .... in modo esponenziale!

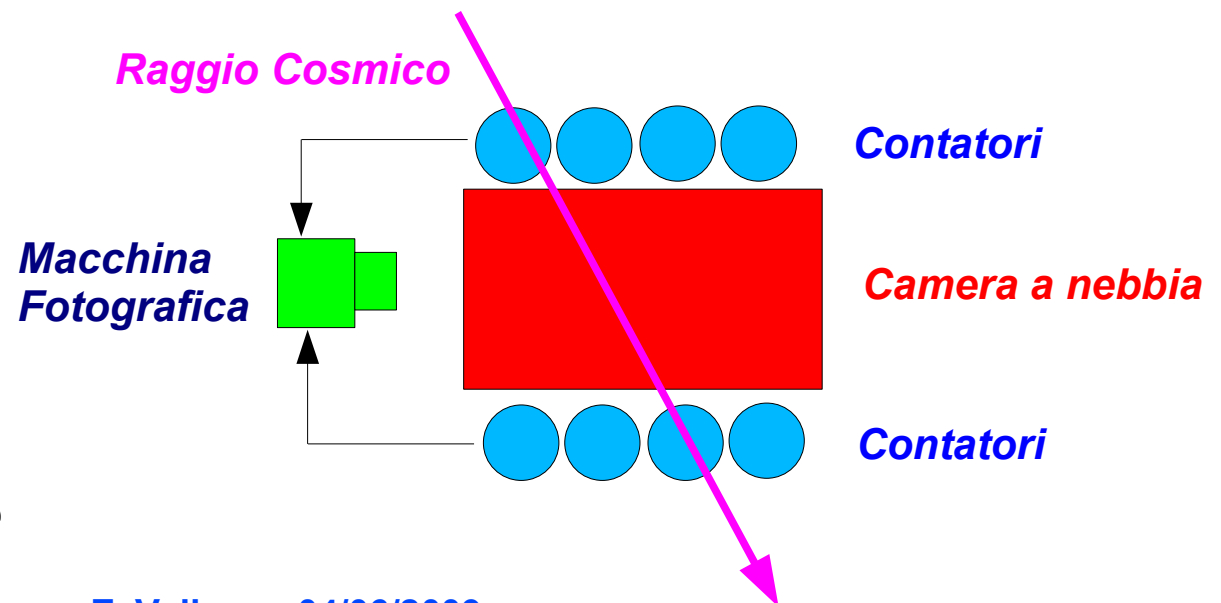
1930



- ✓ Il sistema delle coincidenze viene perfezionato da **Bruno Rossi**, allora studente a Firenze che lo realizza con tubi elettronici
- ✓ Con tale sistema vengono realizzati dei **sistemi di "trigger"** in cui i contatori Geiger attivano l'otturatore di una macchina fotografica che fotografa una camera a nebbia per "selezionare" solo gli eventi interessanti



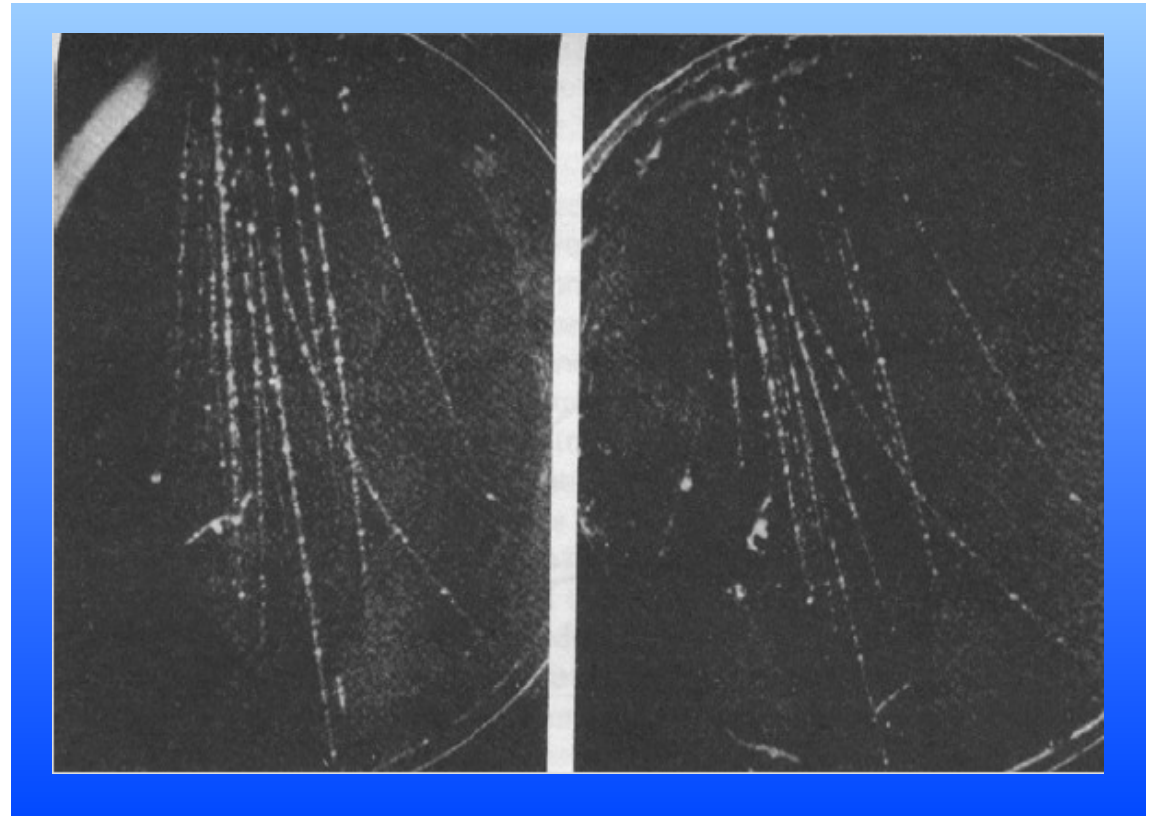
**Bruno Rossi negli anni 30 a Firenze**



1933

# ***Gli sciami***

- ***P. Blackett e G. Occhialini usano lo schema di Rossi per acquisire raggi cosmici***
- ***Acquisiscono una foto ogni 2 minute trovando particelle di alta energia nell'80% dei casi***
- ***Fotografie di gruppi di particelle "contemporanee" →***  
***SCIAMI (SHOWER)***



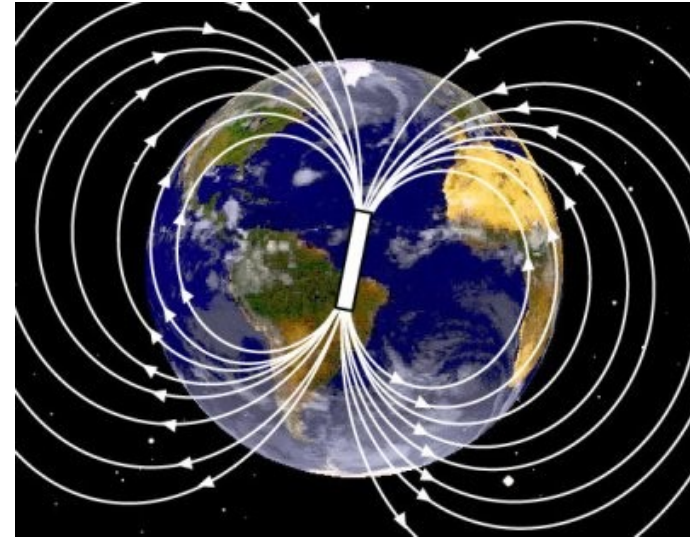
***Scoperta del muone, del  
pione, .....***

A painting of a dense tropical jungle. The scene is filled with various types of trees and plants, including large, broad-leafed plants in the foreground and tall, thin trees in the background. The lighting is soft, creating a sense of depth and atmosphere. The colors are primarily greens and browns, with some hints of blue in the sky.

***"Se avessi potuto ricordare il nome di tutte queste particelle sarei diventato un botanico", E. Fermi, circa 1950***

# La natura dei raggi cosmici

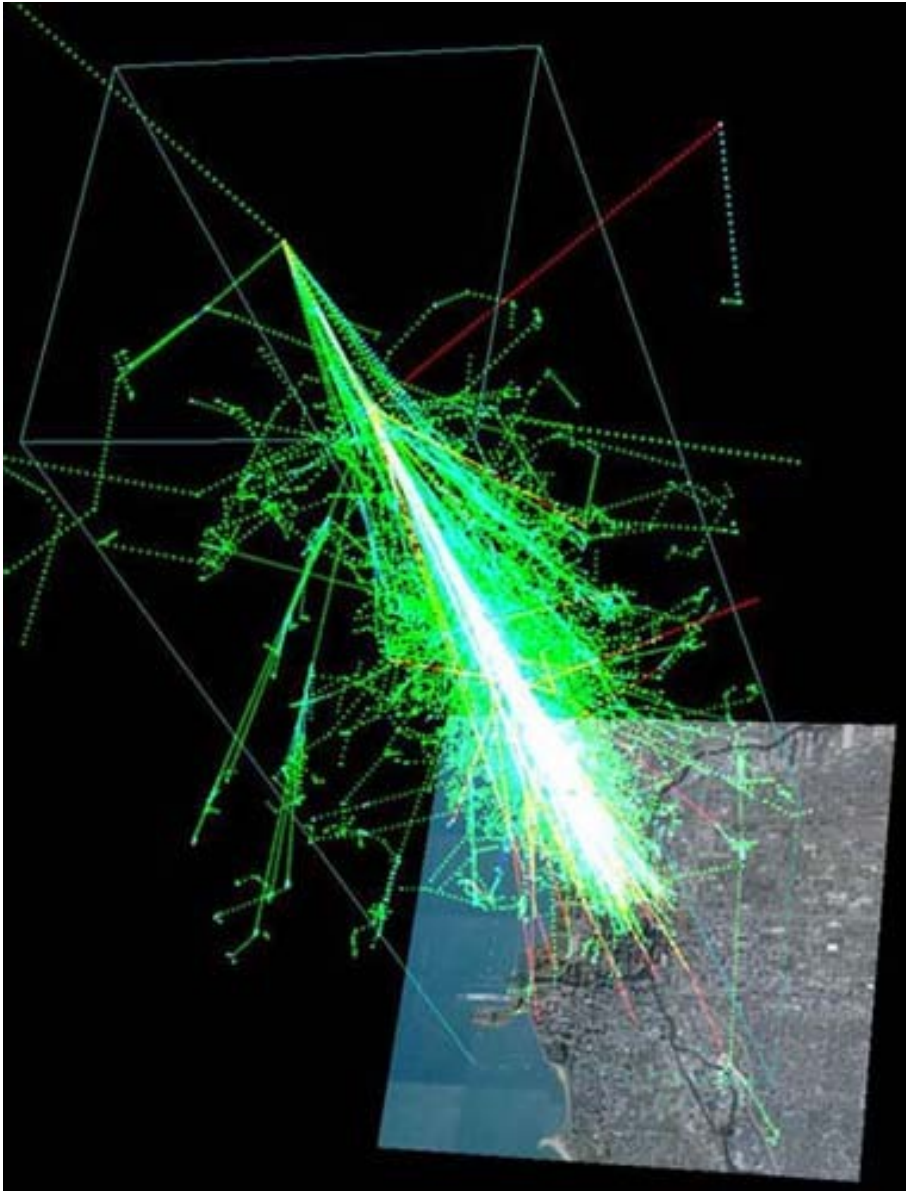
- 1927 - J. Clay: l'intensità dei raggi cosmici dipende dalla latitudine (+ debole all'equatore) → **effetto di latitudine geomagnetica (quindi sono particelle cariche!)**
- 1929 – W. bothe e W. Kolhorster: raggi cosmici = particelle cariche (elettroni di altissima energia)
- 1930 – B. Rossi: effetto est-ovest con una prevalenza dei corpuscoli da est (se di carica negativa) o da ovest (se di carica positiva)
- 1930 – A.H. Compton: campagna di misura a diverse latitudini e altitudini → natura corpuscolare, effetto di latitudine dovuto al campo magnetico terrestre, variazione di intensità con l'altezza
- 1933 – L. Alvarez e A. Compton: misura indipendente dell'effetto est-ovest previsto da Rossi → sono prevalentemente **PARTICELLE CARICHE POSITIVE (PROTONI)**



Le 81 postazioni per lo studio geografico dei RC (1933)



# ***Noi oggi sappiamo che:***



***I raggi cosmici sono costituiti soprattutto da protoni (dal 50% a oltre il 90% in funzione dell'energia), nuclei, elettroni, positroni, fotoni, neutrini, particelle esotiche .....***

# ***Gli sciami***

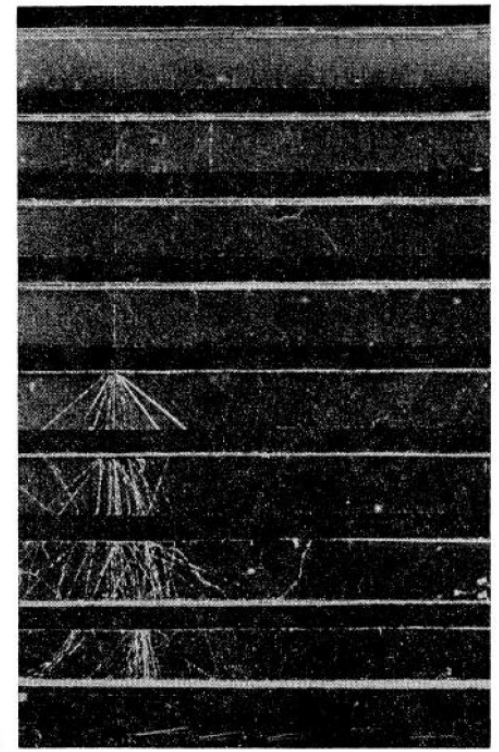
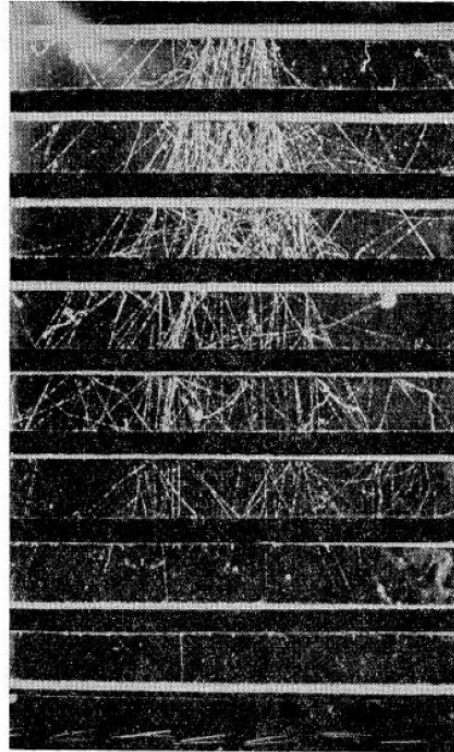
- **1938 - P. Auger e R. Maze: a Parigi usano dei contatori Geiger per dimostrare che contatori a diversi metri di distanza registrano dati contemporaneamente → sono particelle secondarie provenienti da una stessa sorgente**
- **Esperimenti ulteriori sulle Alpi (Pic du Midi e Jungfraujoch) con contatori anche a distanza di 200m**



***Extensive Air Showers (EAS)***



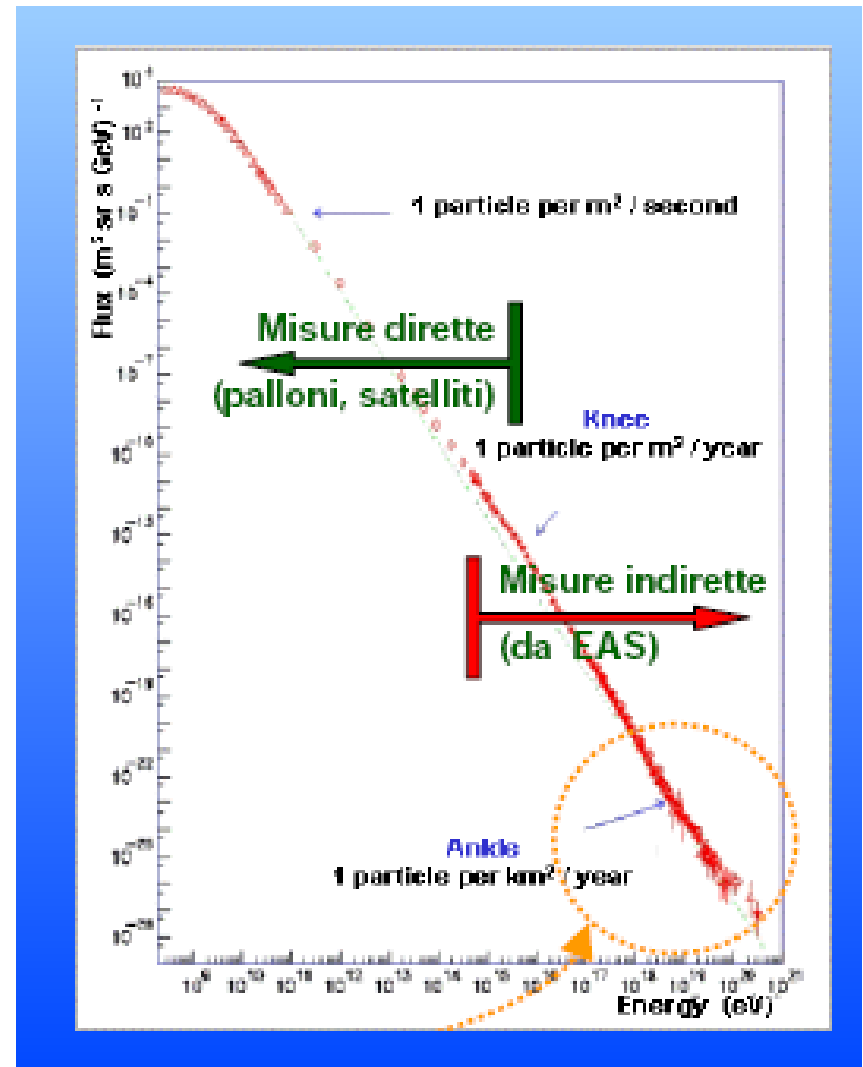
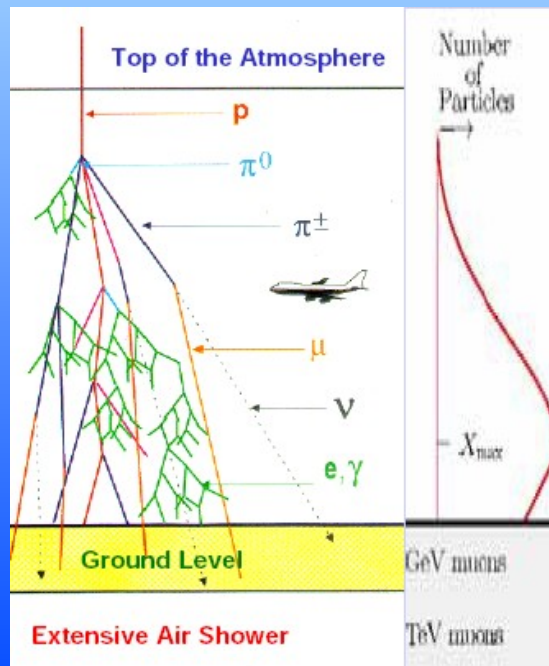
***Cascata di particelle secondarie e nuclei prodotti da particelle primarie che collidono con le molecole d'aria***



***Stiamo parlando di primari con energie di  $10^{15}$  eV!!!!***

# Come si rivelano i raggi cosmici

- Ad energie inferiori al knee, il flusso dei primari è alto a sufficienza per essere misurato **DIRETTAMENTE** con palloni e satelliti
- Salendo in energia, diminuisce il nr e quindi la possibilità di osservazioni dirette
- In tal caso si ricorre alle misure degli sciami (misure **INDIRETTE**)



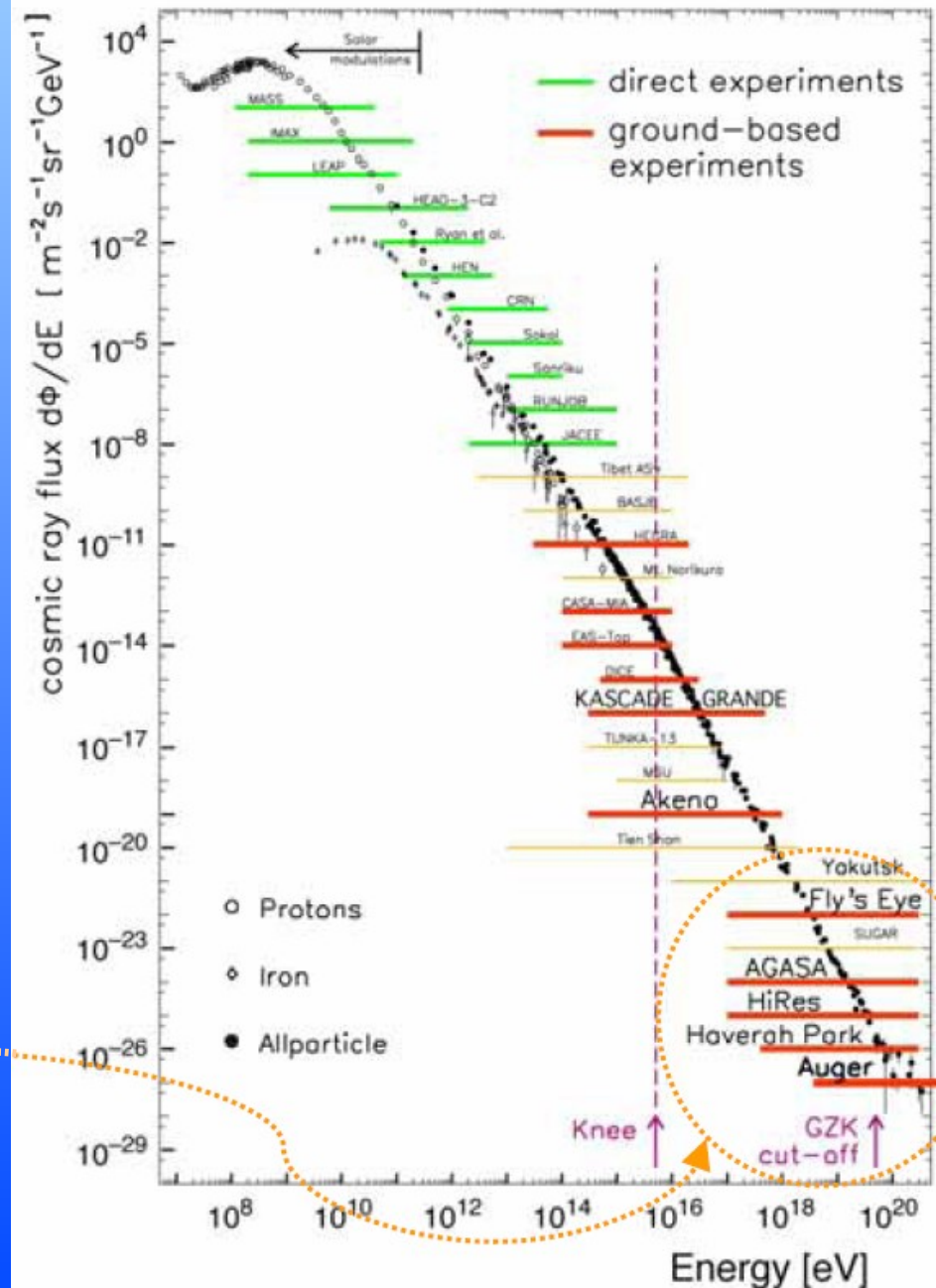
# Dove si misurano?

**SPAZIO:** primari ( $<10^{15}$  eV),  
secondari

**SUOLO:** secondari

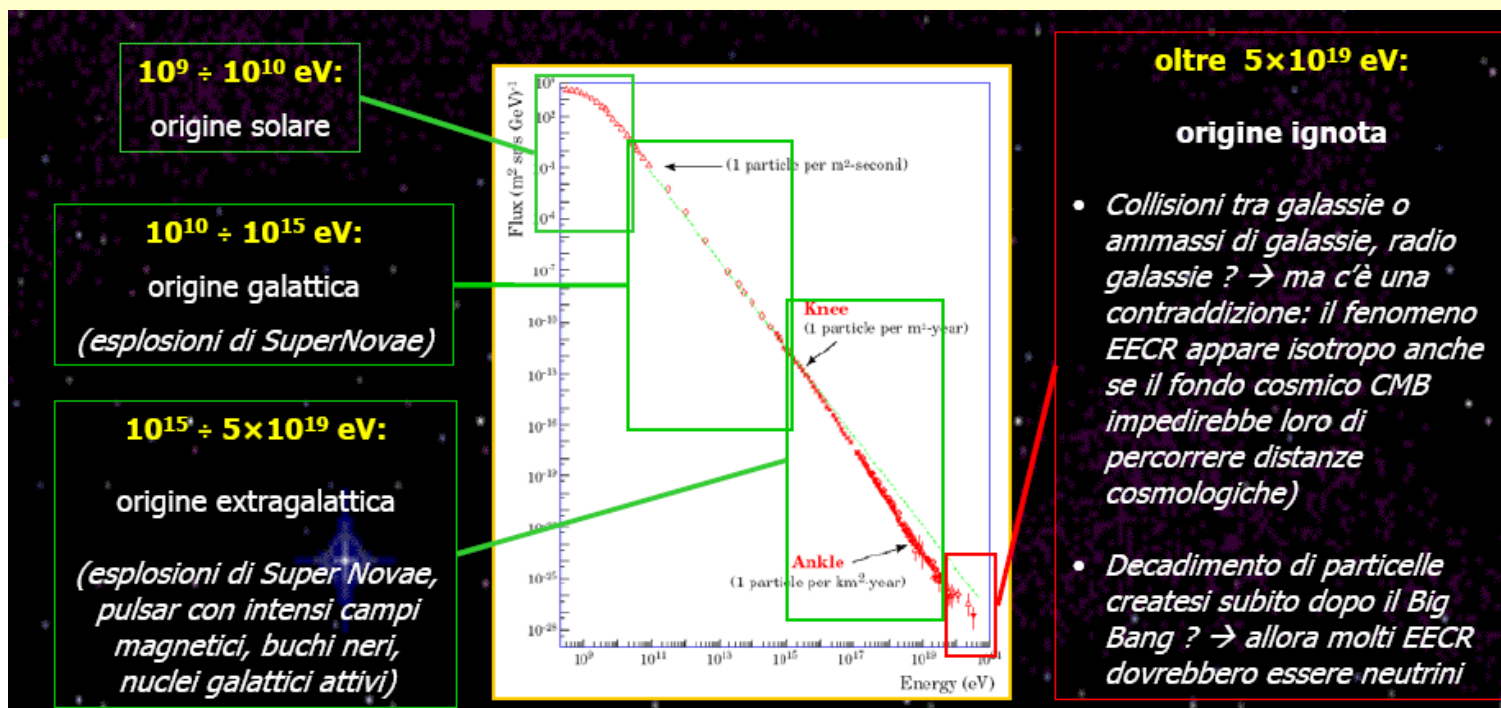
**Laboratori sotterranei:**  
particelle a bassa sezione  
d'urto (particelle rare,  
neutrini)

*Altissime energie,  
esperimenti  
ground based*



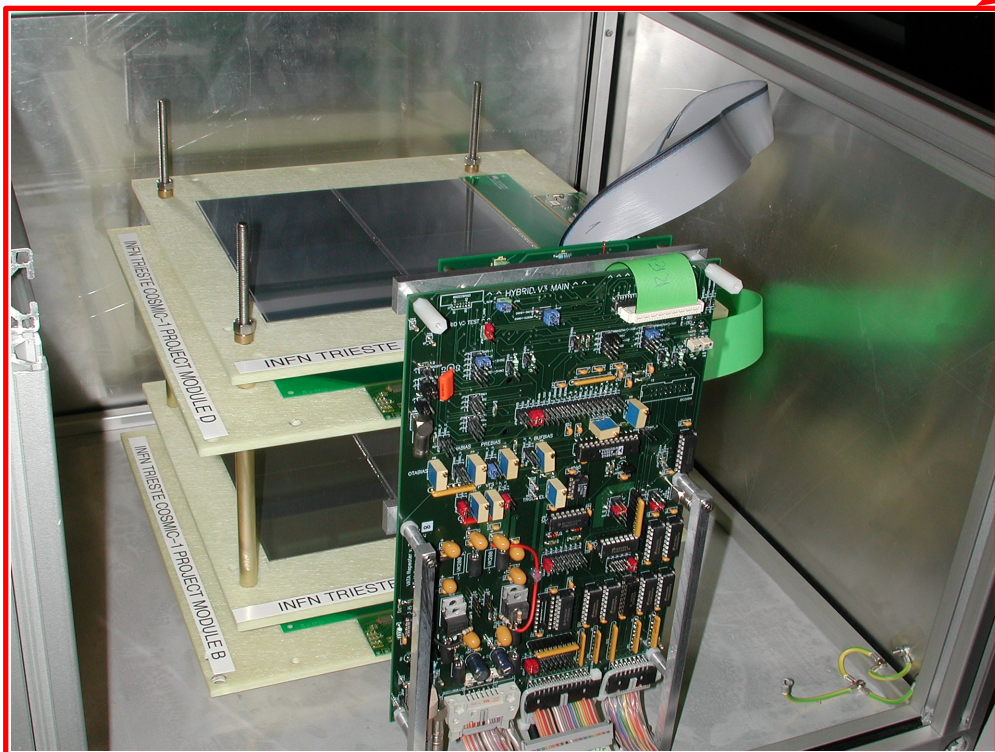
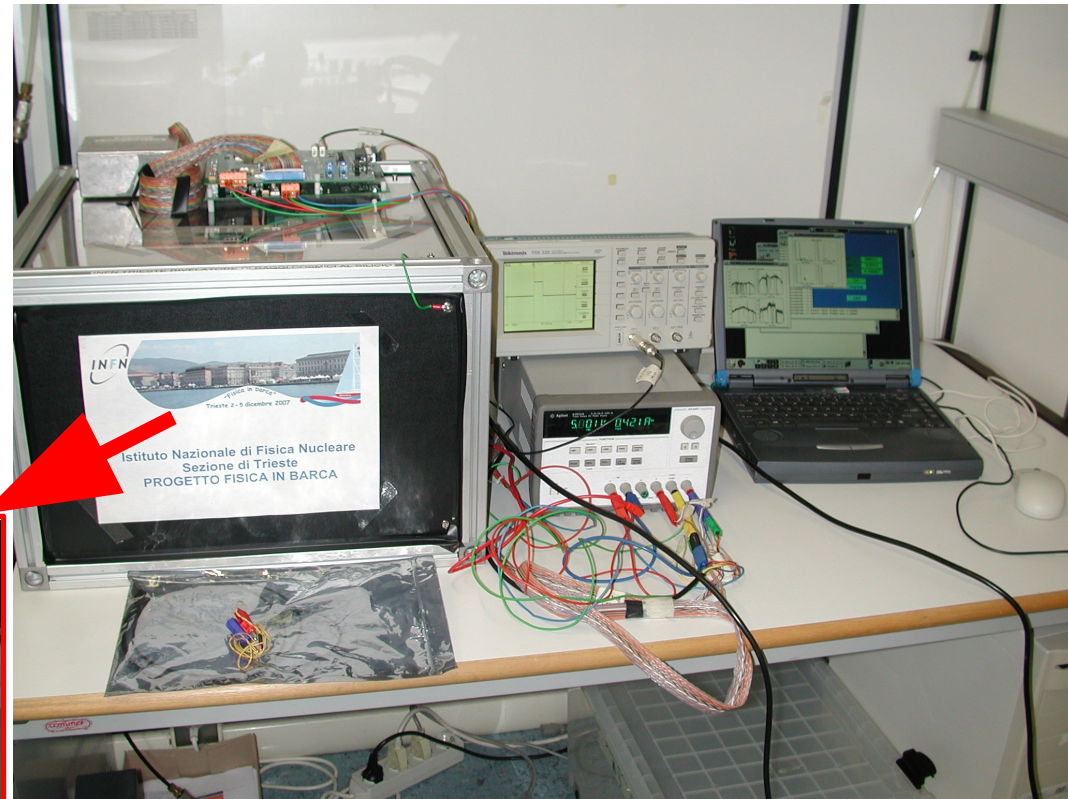
# I misteri ancora aperti

- **Domande aperte:** origine, composizione, accelerazione, propagazione, energia
- **Possibile impatto:** rivoluzione dei modelli astrofisici
- **Potente strumento scientifico:** energie molto superiori a quelle raggiungibili con gli acceleratori
- **Unici campioni diretti della materia al di fuori del sistema solare**
- **Il mistero dei raggi cosmici di altissima energia**



# Il rivelatore “tecnologico” di Adriatica

- Un rivelatore capace di ricostruire le tracce dei raggi cosmici
- Un'elettronica capace di “segnalarti” il passaggio dei raggi cosmici (auto-trigger)
- Un sistema compatto che ha bisogno di: 1PC con porta parallela e un alimentatore DC



## La Ricetta :

- ★ Rivelatori a microstrip di silicio
- ★ Elettronica VLSI
- ★ Procedure consolidate di assemblaggio e test



# ***Gli “antennati” del rivelatore***

***15/06/2006***

***PAMELA (Payload for Antimatter-Matter Exploration and Light nuclei Astrophysics)***

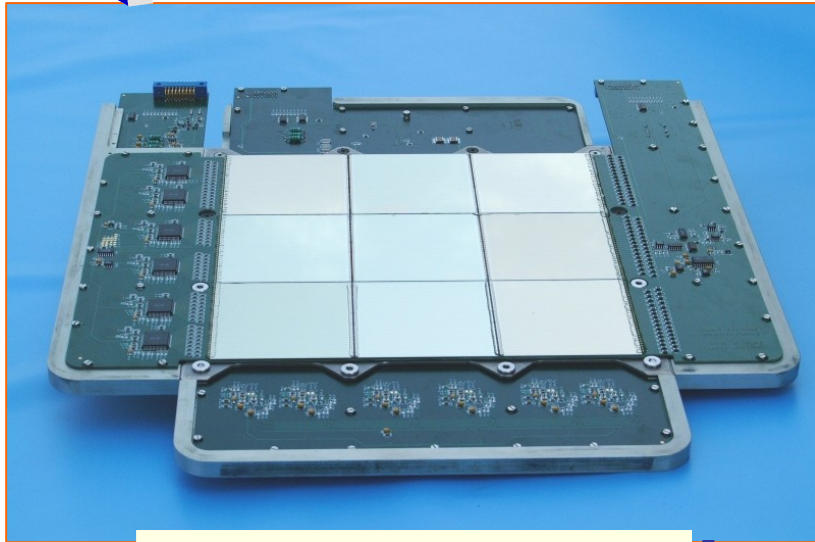
***23/04/2007***

***AGILE (Astrorivelatore Gamma a Immagini LEggero)***

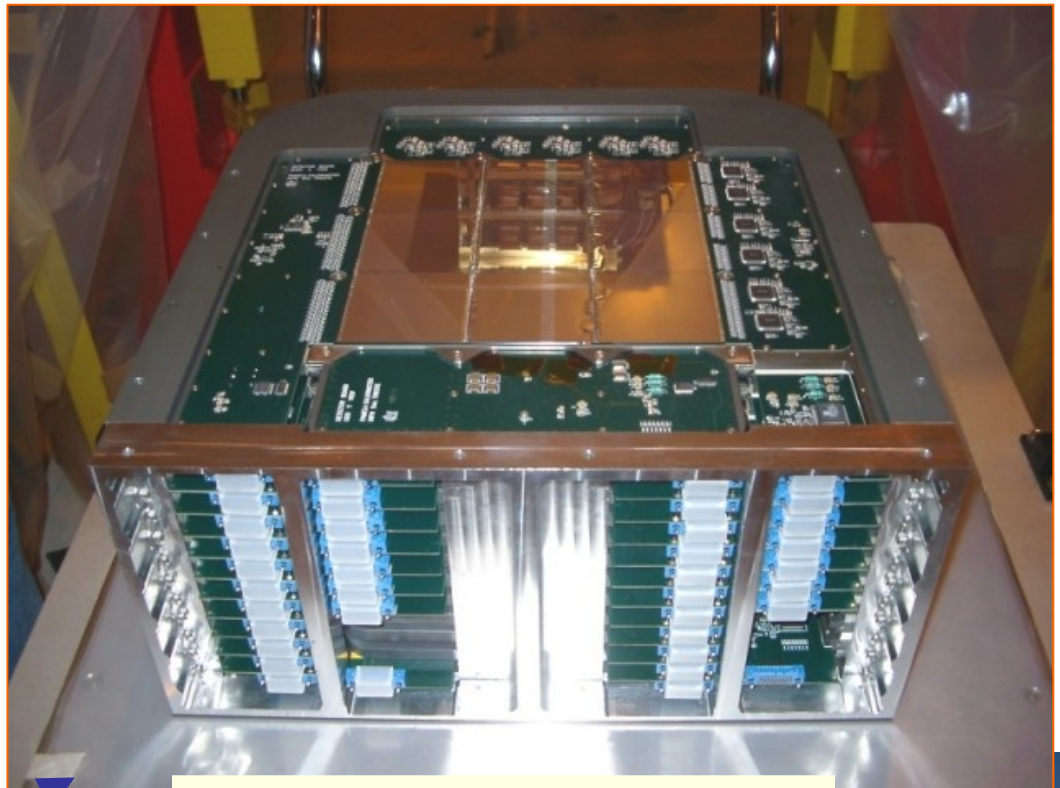
***11/06/2008***

***FERMI Gamma Ray Telescope***

# PAMELA



Piano del calorimetro



Calorimetro assemblato

- *Misura del flusso di positroni e antiprotoni*
- *Ricerca dell'antimateria*

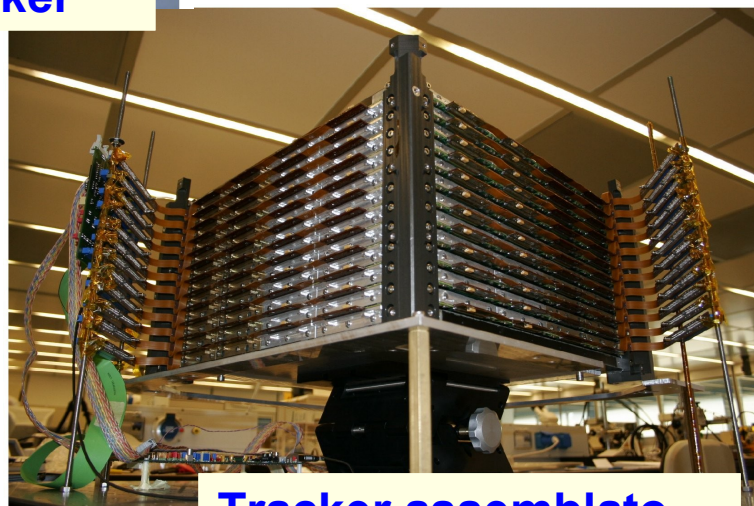




# AGILE



Vassoio del tracker



Tracker assemblato

- Raggi gamma  $E < 100$  GeV difficili da vedere a terra
- Sorgenti non identificate
- Comprensione dell'emissione diffusa e extragalattica
- Gamma ray burst
- AGNs e Supernova remnants
- Pulsar

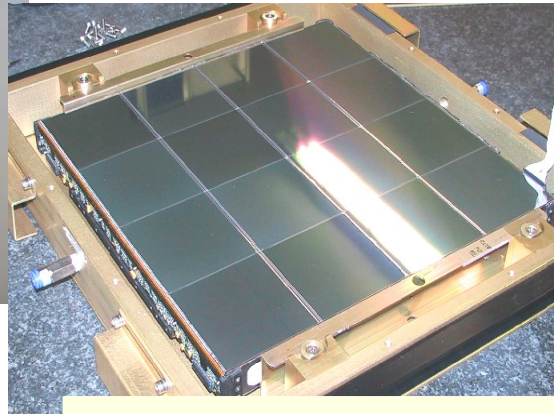


*Sriharikota*

# FERMI



**Il payload nel missile**



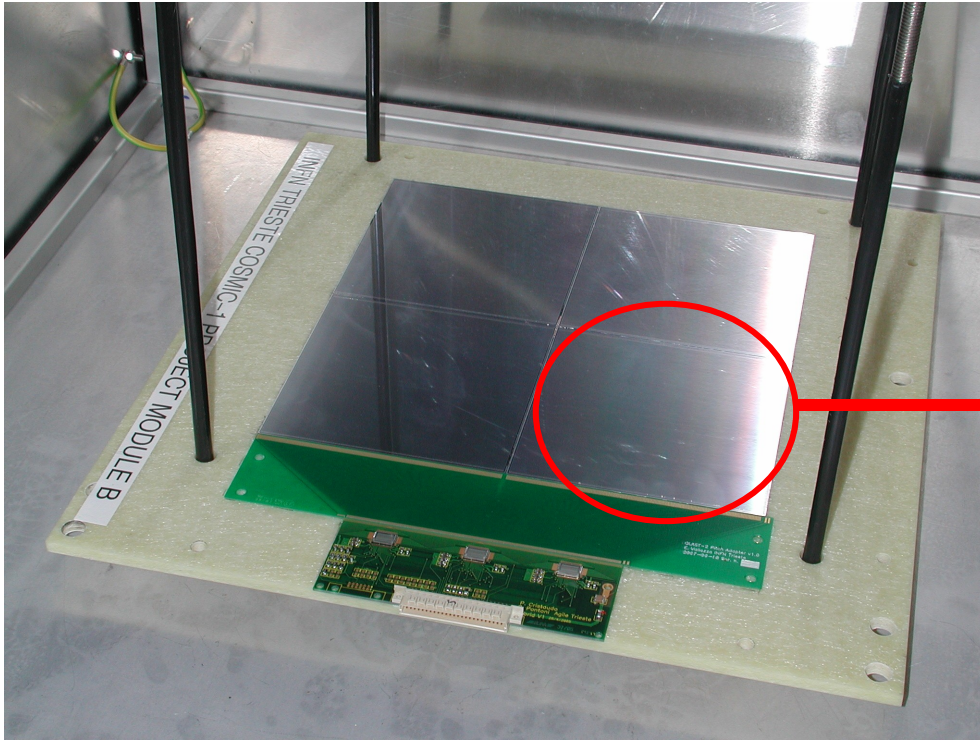
**Vassoio del tracker**



**Cape Canaveral**

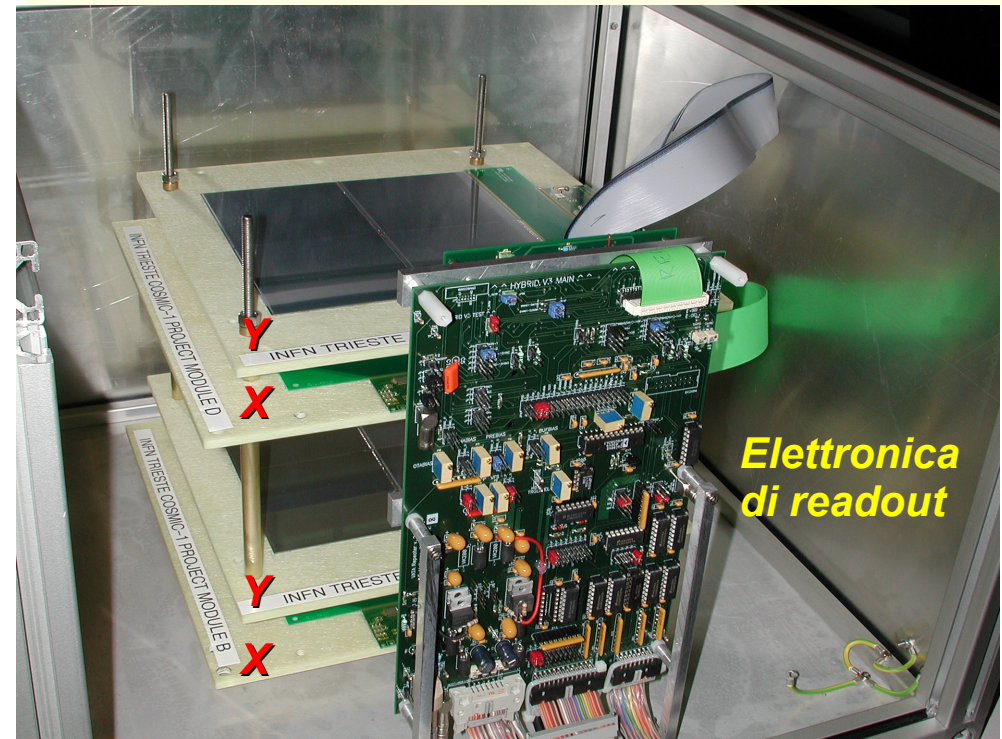
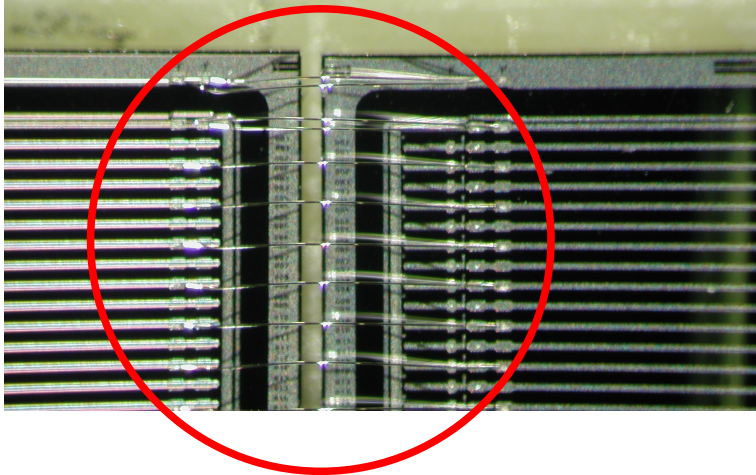
- *Trovare le risposte per le domande aperte dalle pulsar ai raggi cosmici*
- *I gamma ray burst*
- *Nuova fisica*
- *Scoprire come i buchi neri accelerano immensi jet di materiali a velocità vicino a quelli della luce*

# Nel nostro piccolo: i raggi cosmici visti in barca

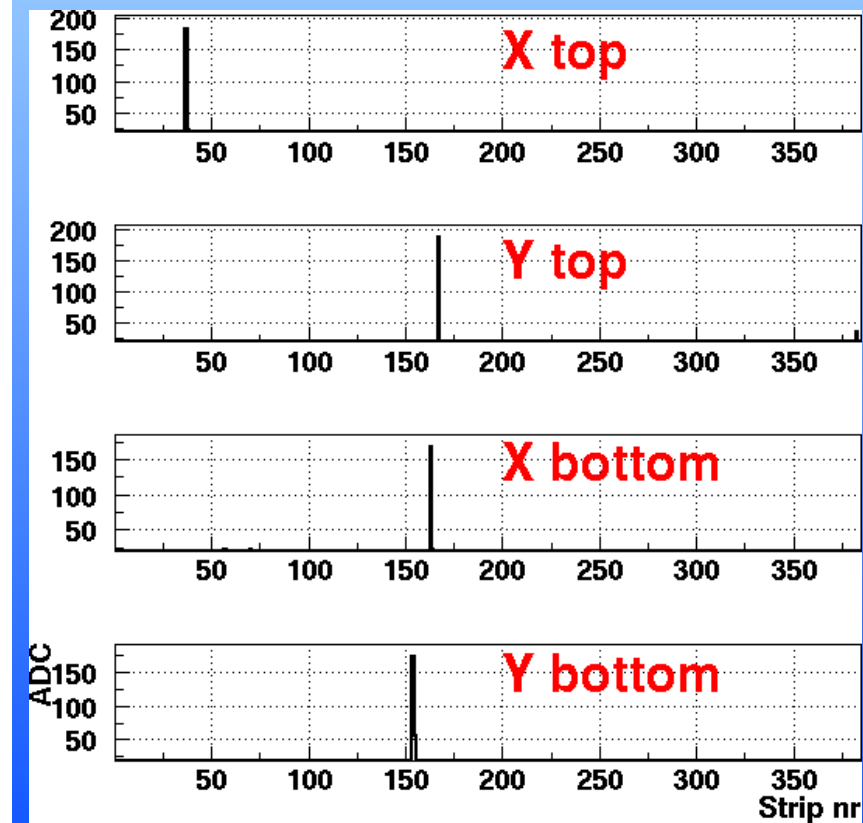
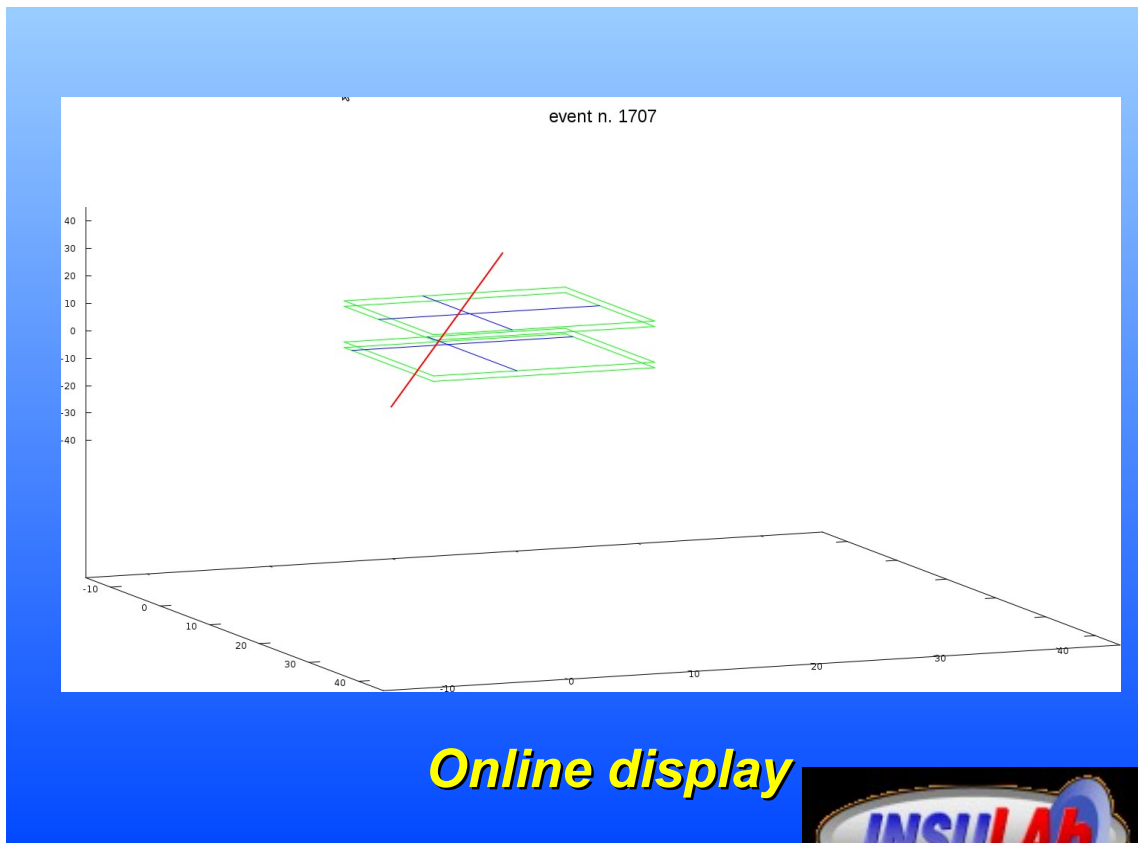


- 4 piani di 4 rivelatori al silicio (quelli di Fermi) di  $8.9 \times 8.9 \text{ cm}^2$  collegati a 2 a 2 (a formare delle mini-ladder)
- I 4 piani sono organizzati in modo x-y
- Ogni mini-ladder ha 384 strip con passo di  $208 \mu\text{m}$  e lunghezza di  $17.8 \text{ cm}$
- Ogni mini-ladder è letta da 3 ASIC TAA1 auto-triggeranti
- Il trigger può essere scelto dallo sperimentatore (and / or dei piani interi o di parti di essi)

Zona di collegamento tra i 2 silici di una mini-ladder

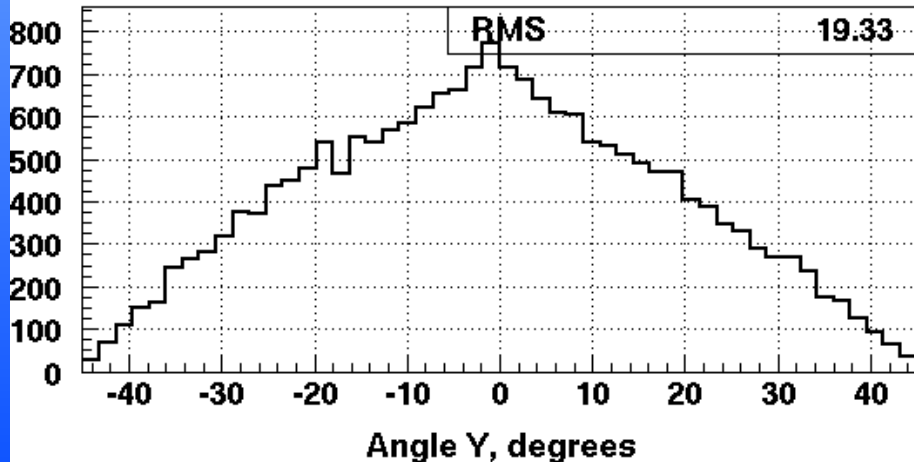
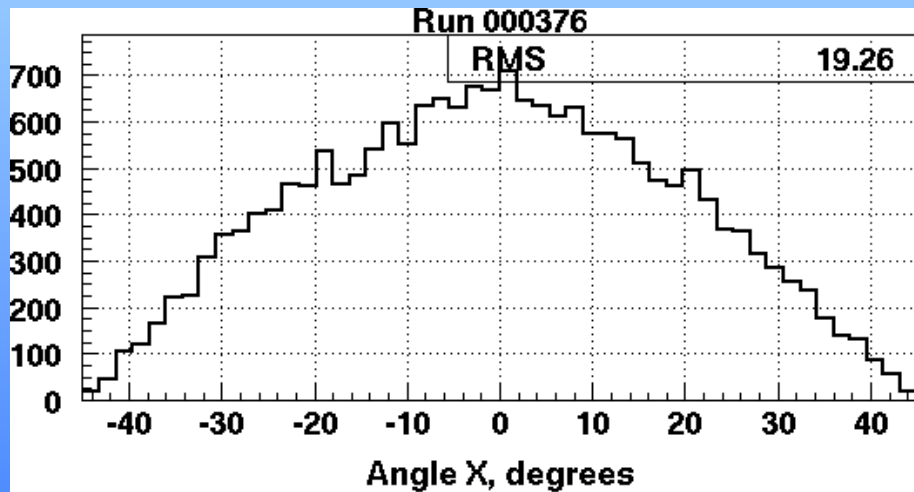


# *E li vediamo proprio!*

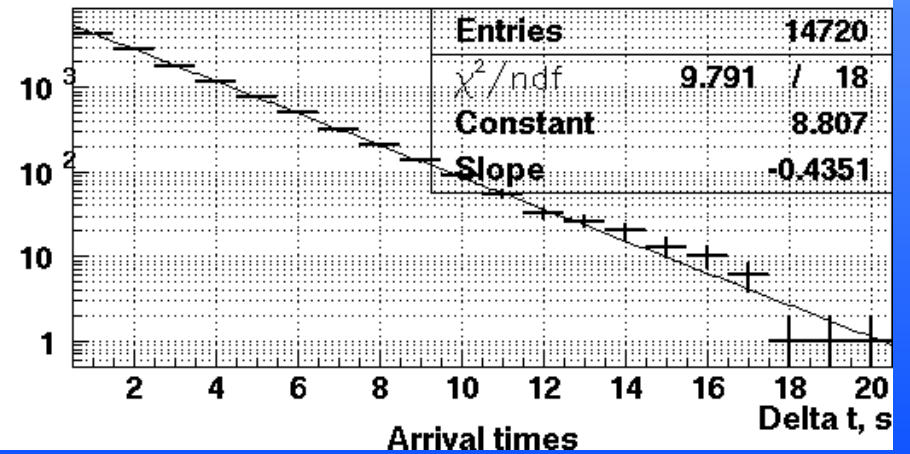
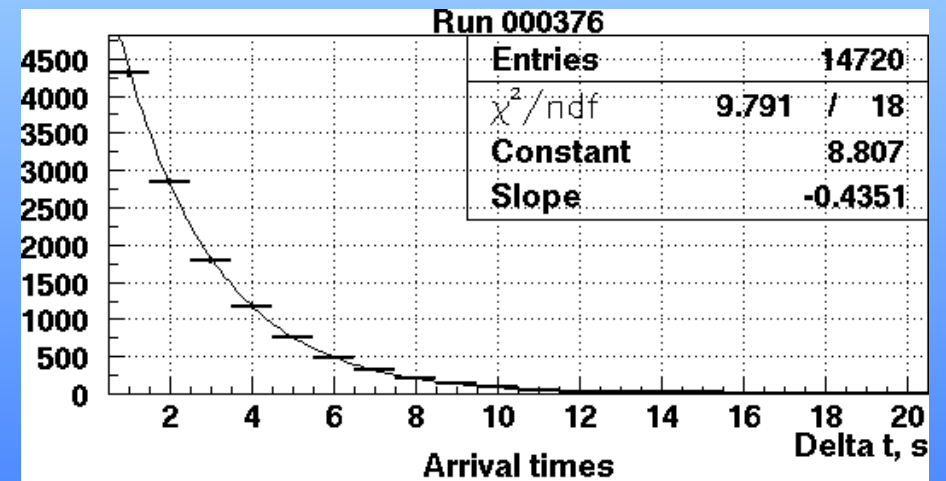


*Hit nei diversi piani*

# Alcuni risultati



**Distribuzione angolare**



**Distribuzione dei tempi di arrivo**

***I raggi cosmici e i loro irrisolti misteri ..... tante domande per un argomento affascinante che ha 100 di storia alle spalle***

