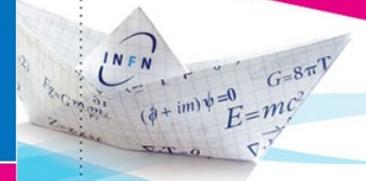


FISICA  
IN BARCA

2011



# L'affascinante mondo dei raggi cosmici

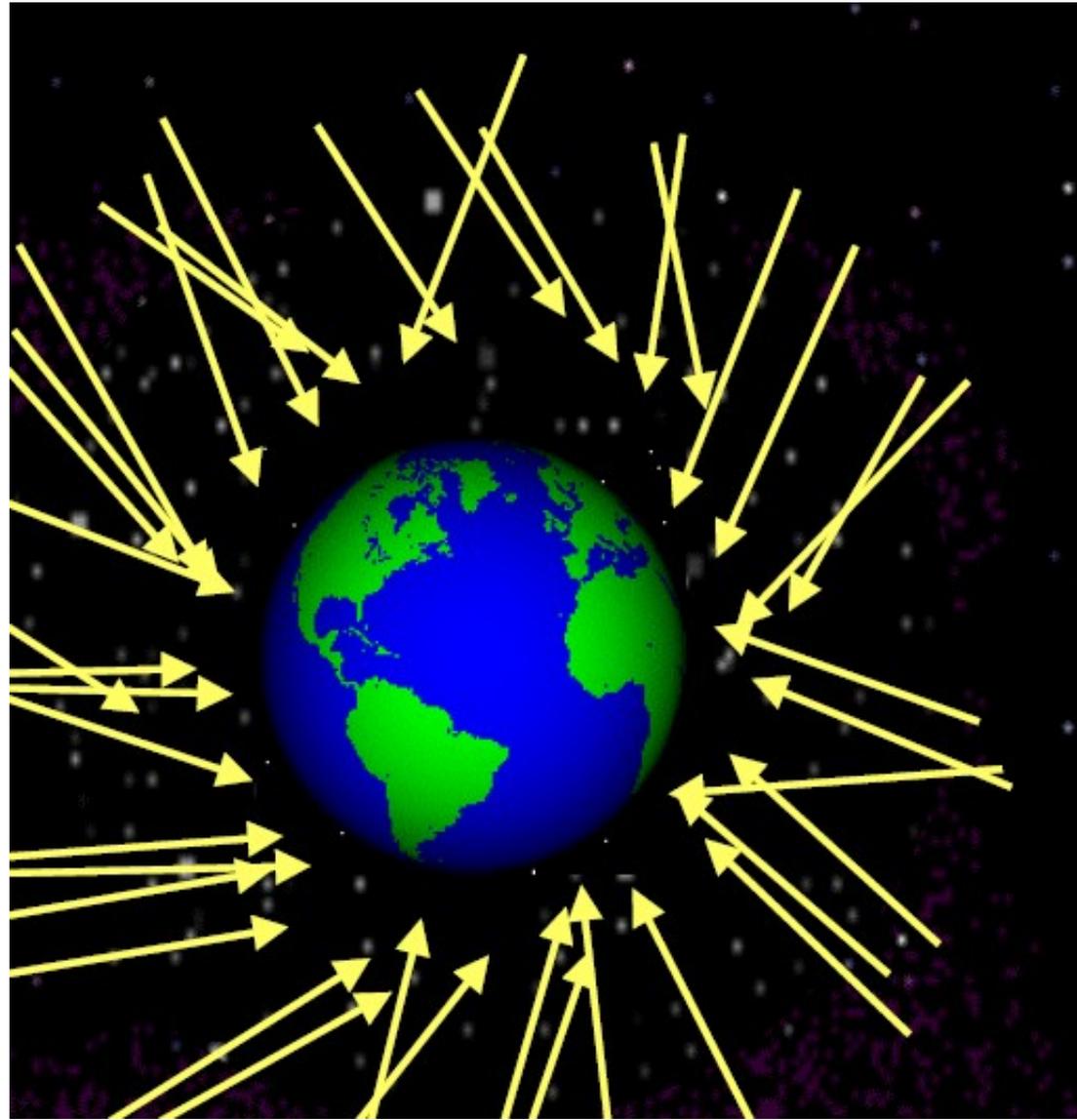


# ***OUTLINE***

- ***Cos'è un raggio cosmico?***
- ***La storia: dalla fine del 1800 ai giorni nostri***
- ***Le domande in cerca di risposta***
- ***Le misure con i raggi cosmici***

# ***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*



# ... 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 \*  $14 \times 10^{12}$  eV  $\sim 10^8$  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*

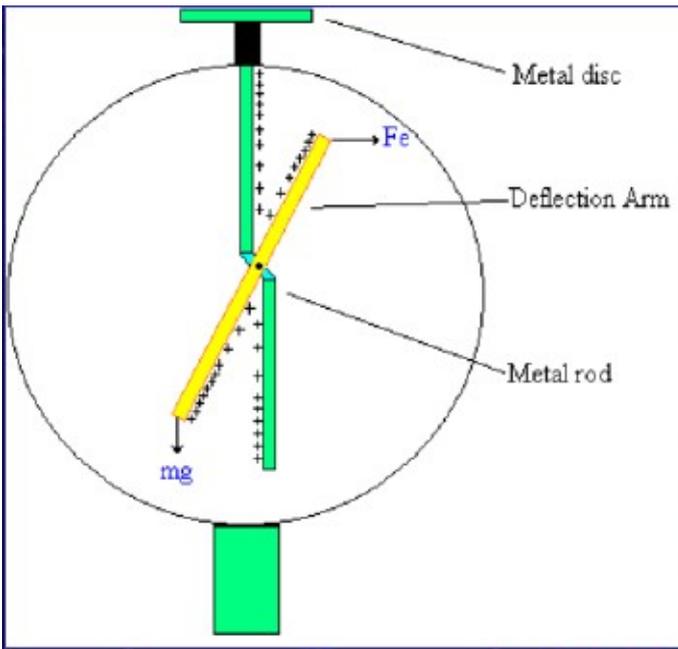


*L'aria è ionizzata dai "raggi" originati dalla radiazione naturale emessa dal nostro pianeta*

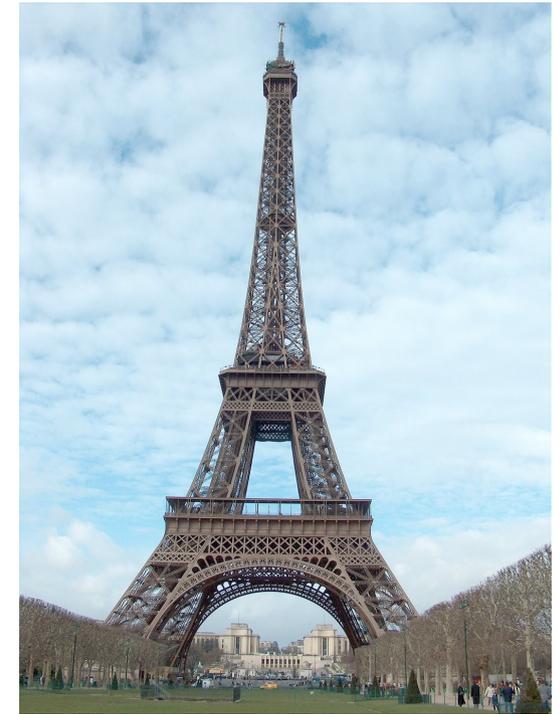
**1900**



# 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!*

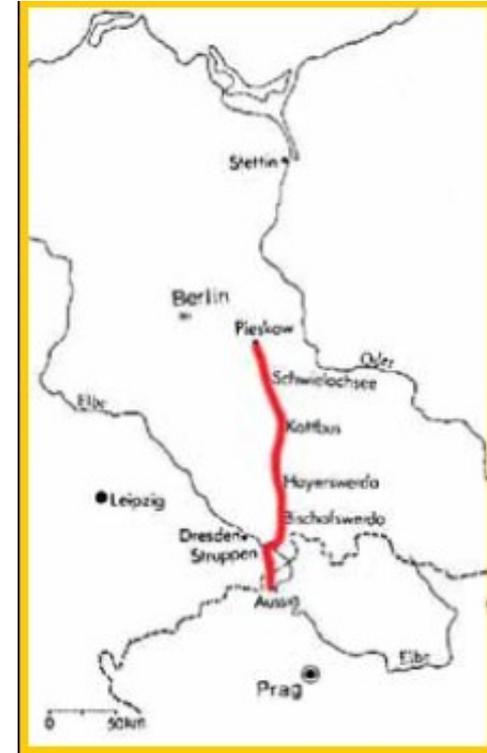
**1910**

# 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

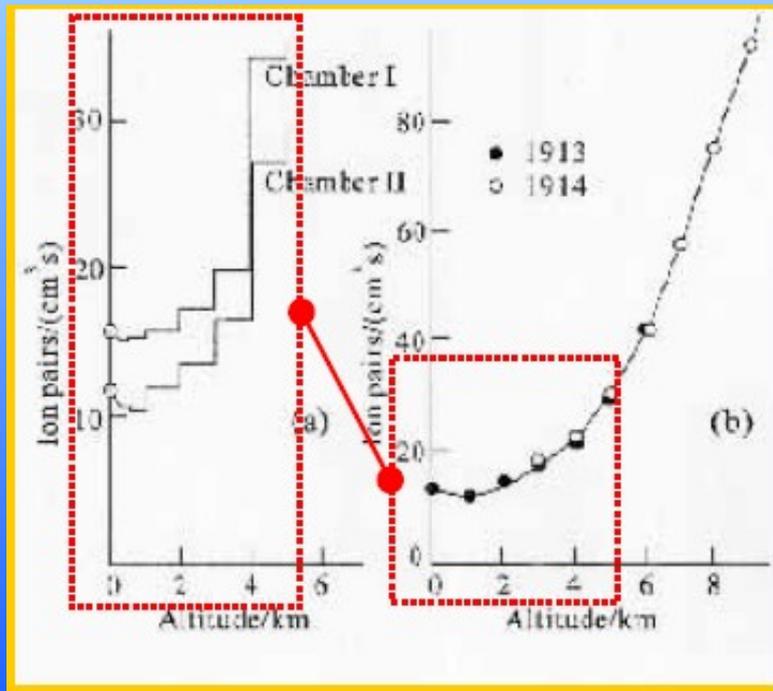
Scopre che:

- 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?

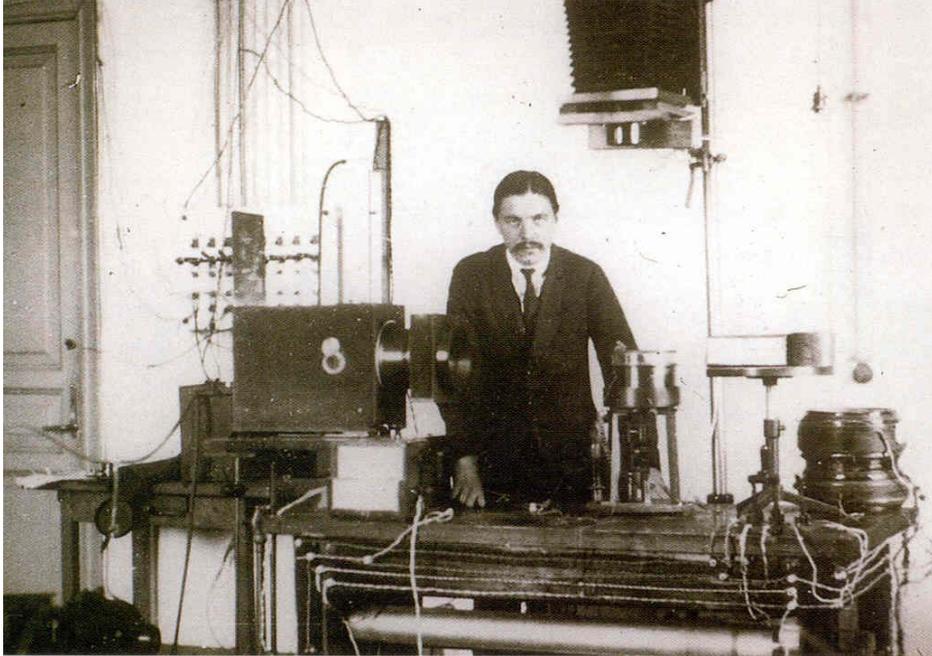
**NATURA:**

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

1913-14

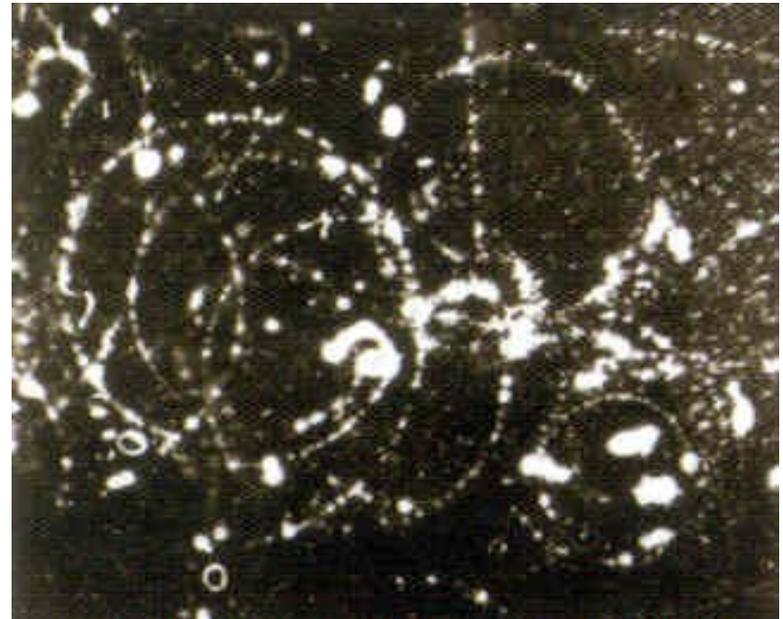
# 1927

## ***La vera natura***

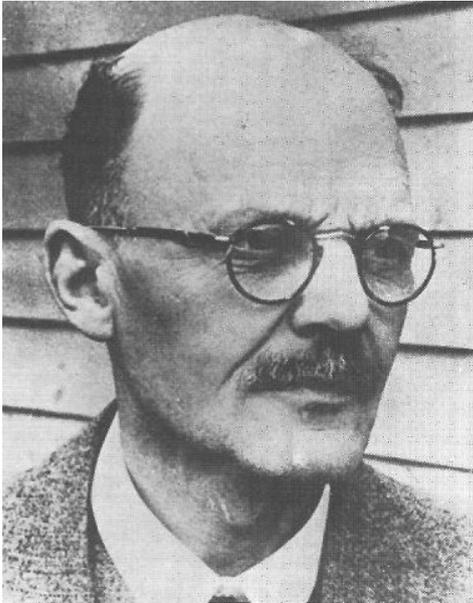


Il fisico russo ***Dmitry Skobel'tzyn*** nel 1927 a Leningrado, mediante delle ***camere a nebbia***, osserva le tracce dei raggi cosmici, notando che vengono curvate pochissimo dai campi magnetici usati normalmente per osservare la radioattività naturale

- 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

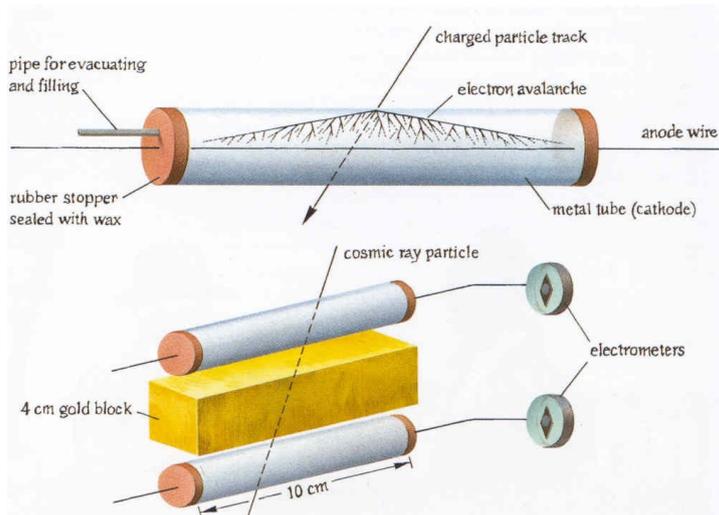


**Contatori Geiger**

**1928**

# .... in modo esponenziale!

# 1930

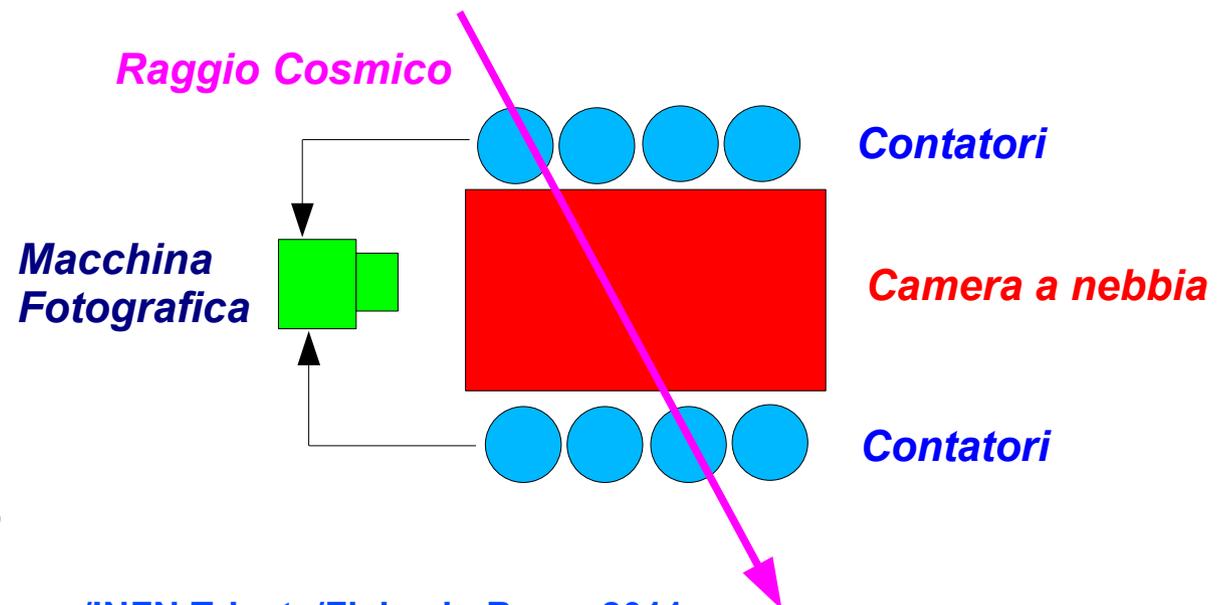


Il sistema delle coincidenze viene perfezionato da **Bruno Rossi**, allora studente a Firenze che lo realizza con tubi elettronici

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



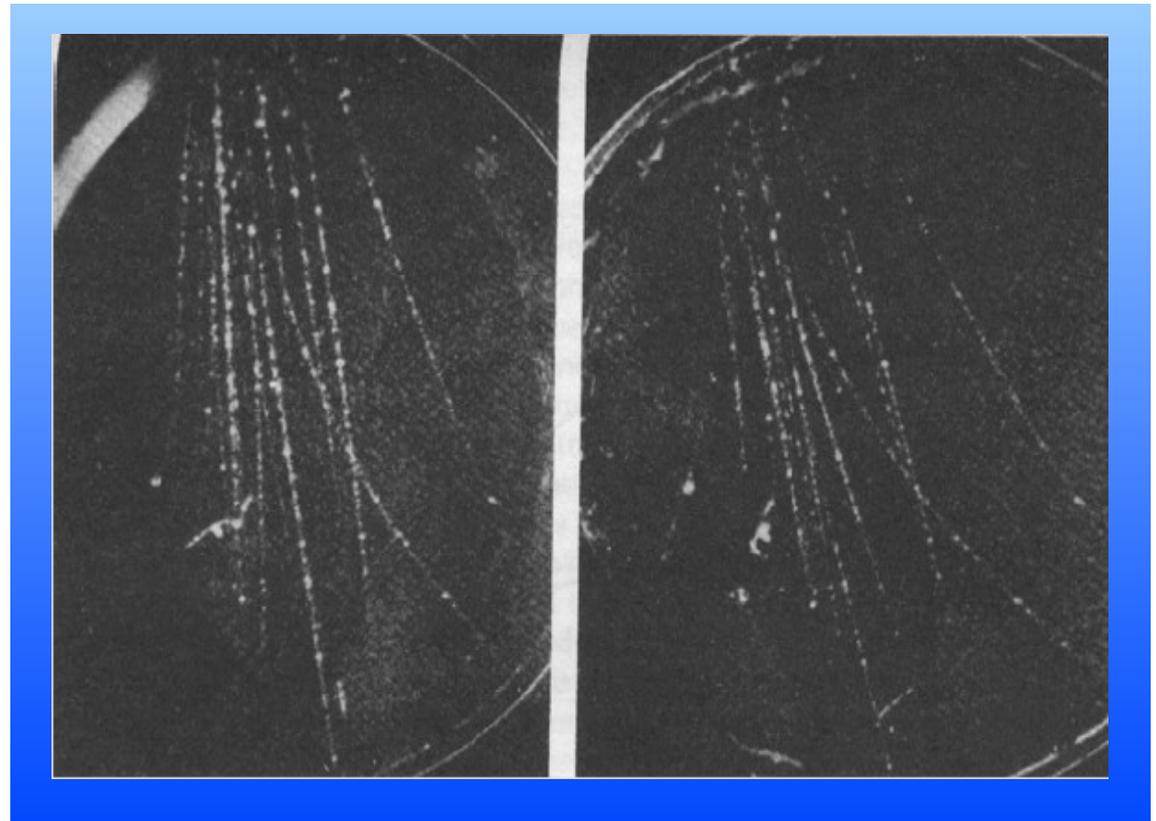
**Bruno Rossi negli anni 30 a Firenze**



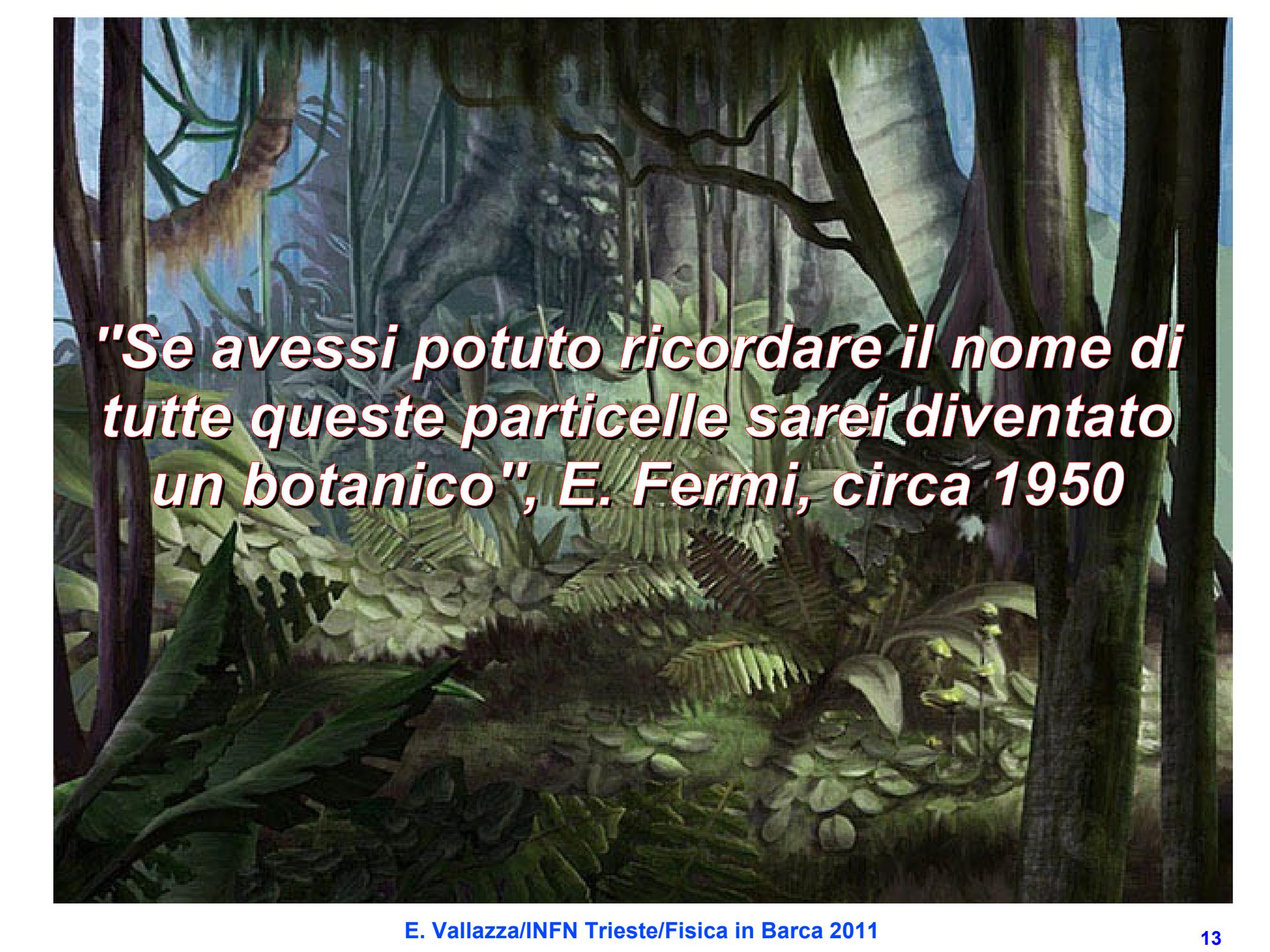
1933

# ***Gli sciami***

- ***P. Blackett e G. Occhialini usano lo schema di Rossi per acquisire raggi cosmici***
- ***Acquisiscono una foto ogni 2 minuti 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 green leaves, ferns, and thick tree trunks. The lighting is soft, creating a sense of depth and a lush atmosphere. The colors are primarily greens and browns, with some blue and purple tones in the background.

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

# La natura dei raggi

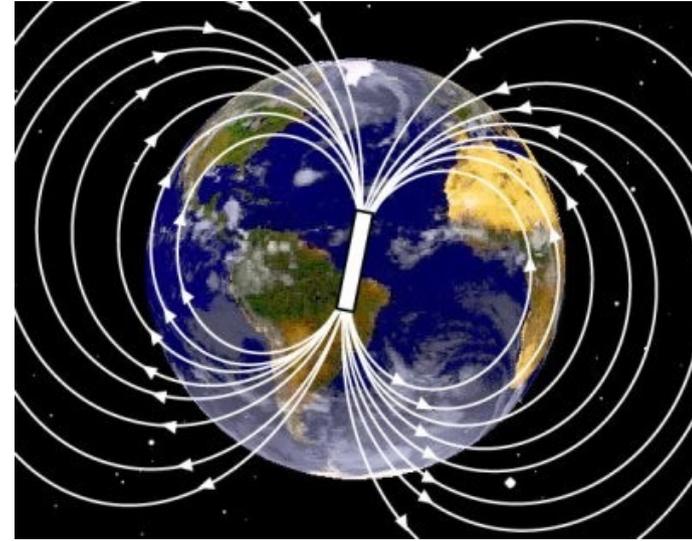
1927 - J. Clay: l'intensità dei raggi cosmici dipende dalla latitudine (+ debole all'equatore) → **effetto di latitudine geomagnetica (quindi sono particelle cariche!)**

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)

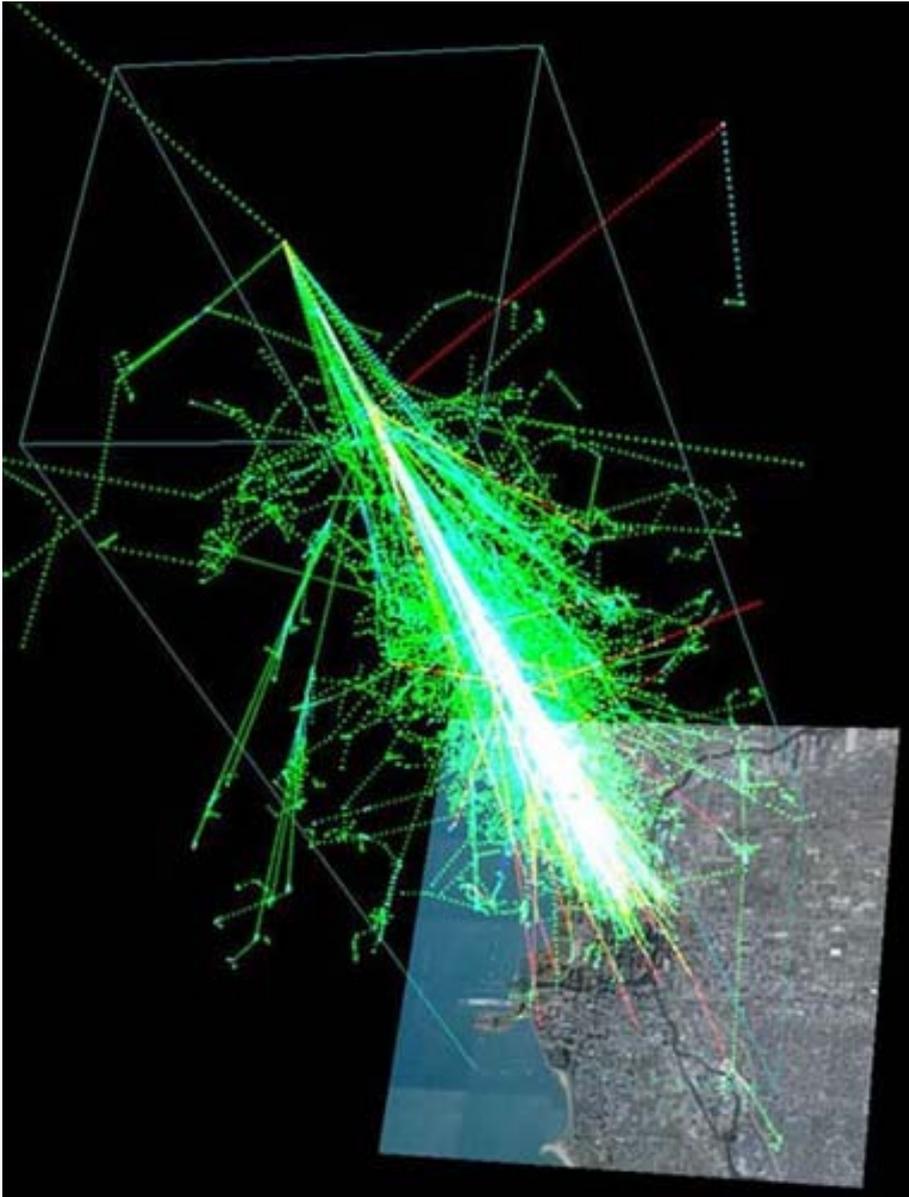
1930 – A.H. Compton: campagna di misura a diverse latitudini e altitudini → natura corpuscolare, effetto di latitudine dovuto al campo magnetico terrestre, variazione di intensità con l'altezza

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***

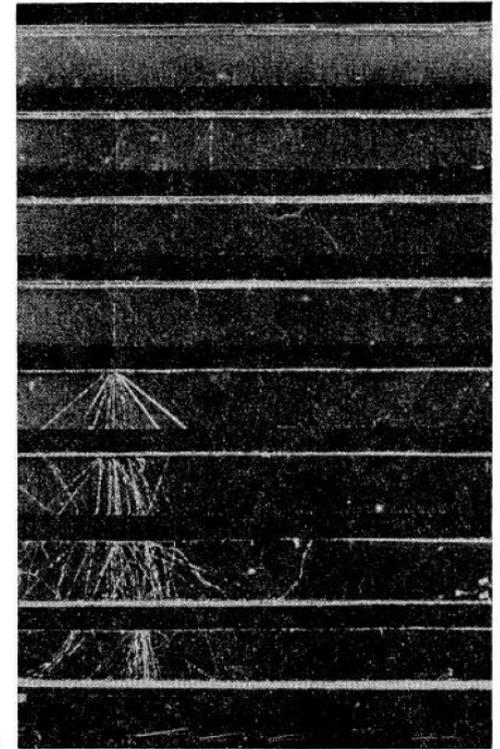
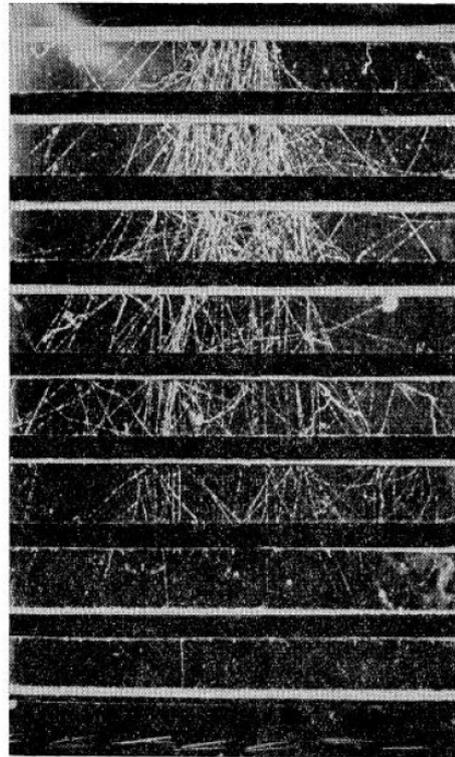
**1938 - P. Auger e R. Maze: a Parigi usano dei contatori Geiger per dimostrare che contatori a diversi metri di distanza registrano dati contemporaneamente → sono particelle secondarie provenienti da una stessa sorgente**  
**Esperimenti ulteriori sulle Alpi (Pic du Midi e Jungfraujoeh) con contatori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



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



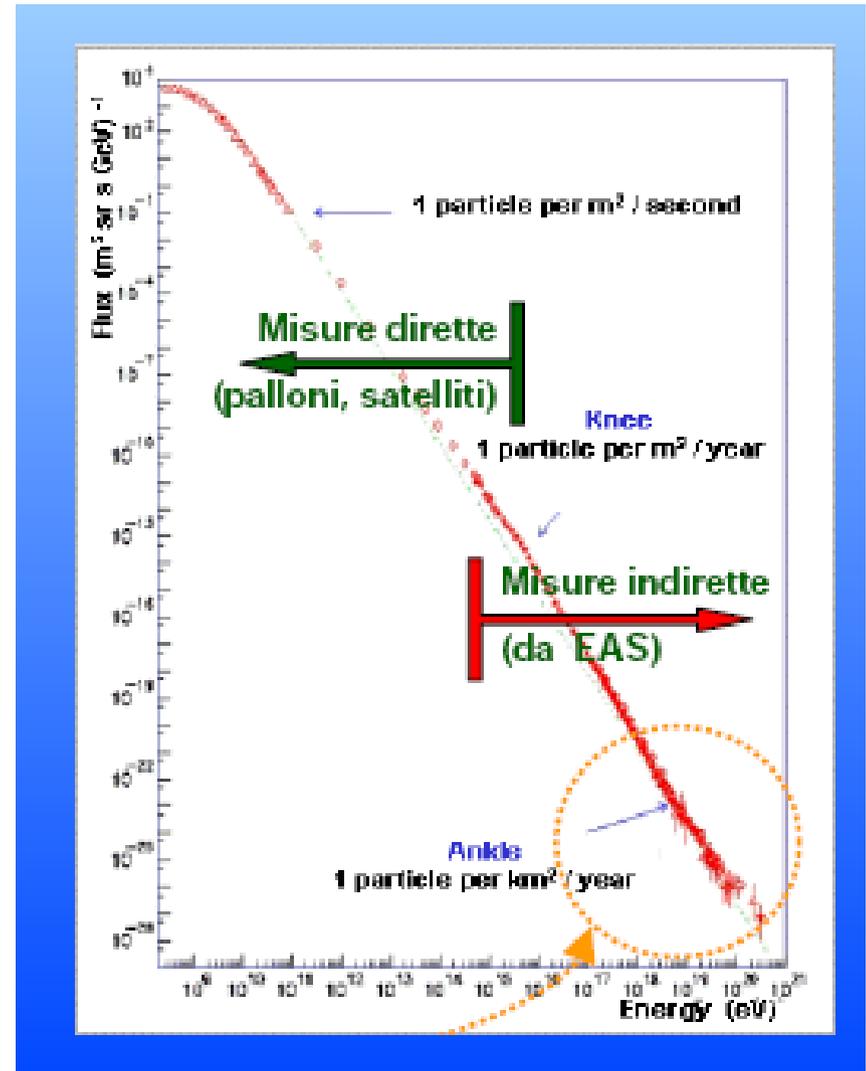
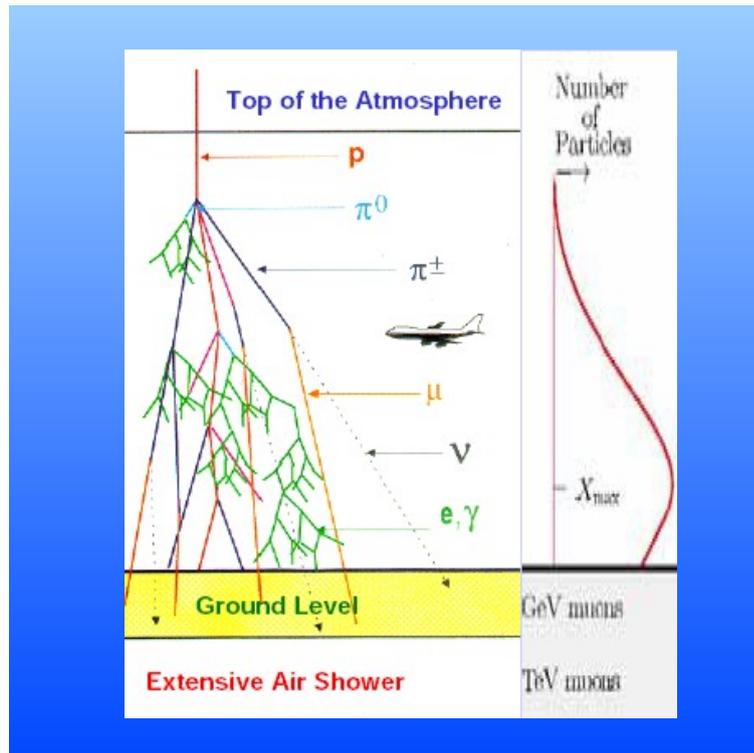
**Cascata di particelle secondarie e nuclei prodotti da particelle primarie che collidono con le molecole d'aria**



***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**)



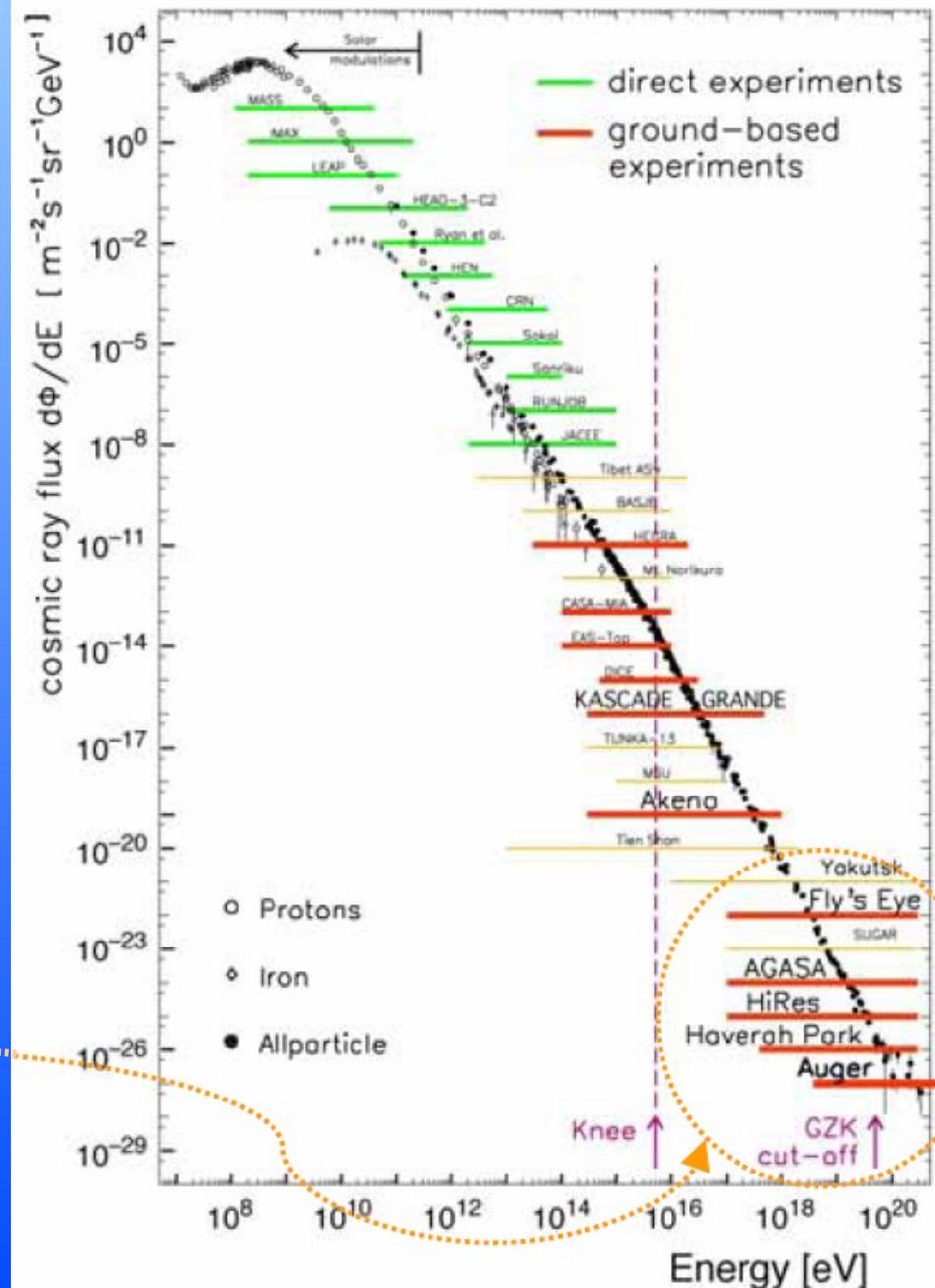
# ***Dove si misurano?***

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

**SUOLO:** secondari

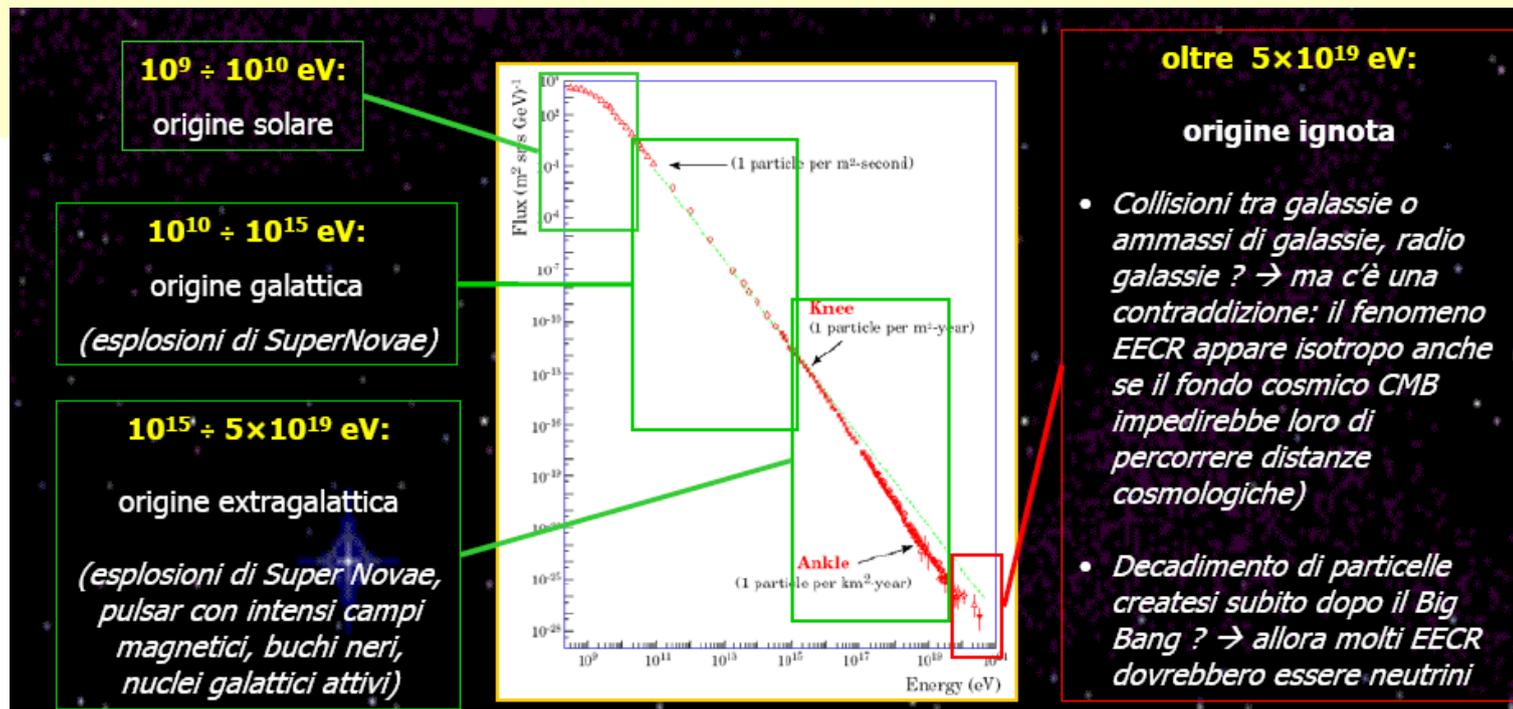
**Laboratori sotterranei:**  
particelle a bassa sezione  
d'urto (particelle rare,  
neutrini)

*Altissime energie,  
esperimenti  
ground based*

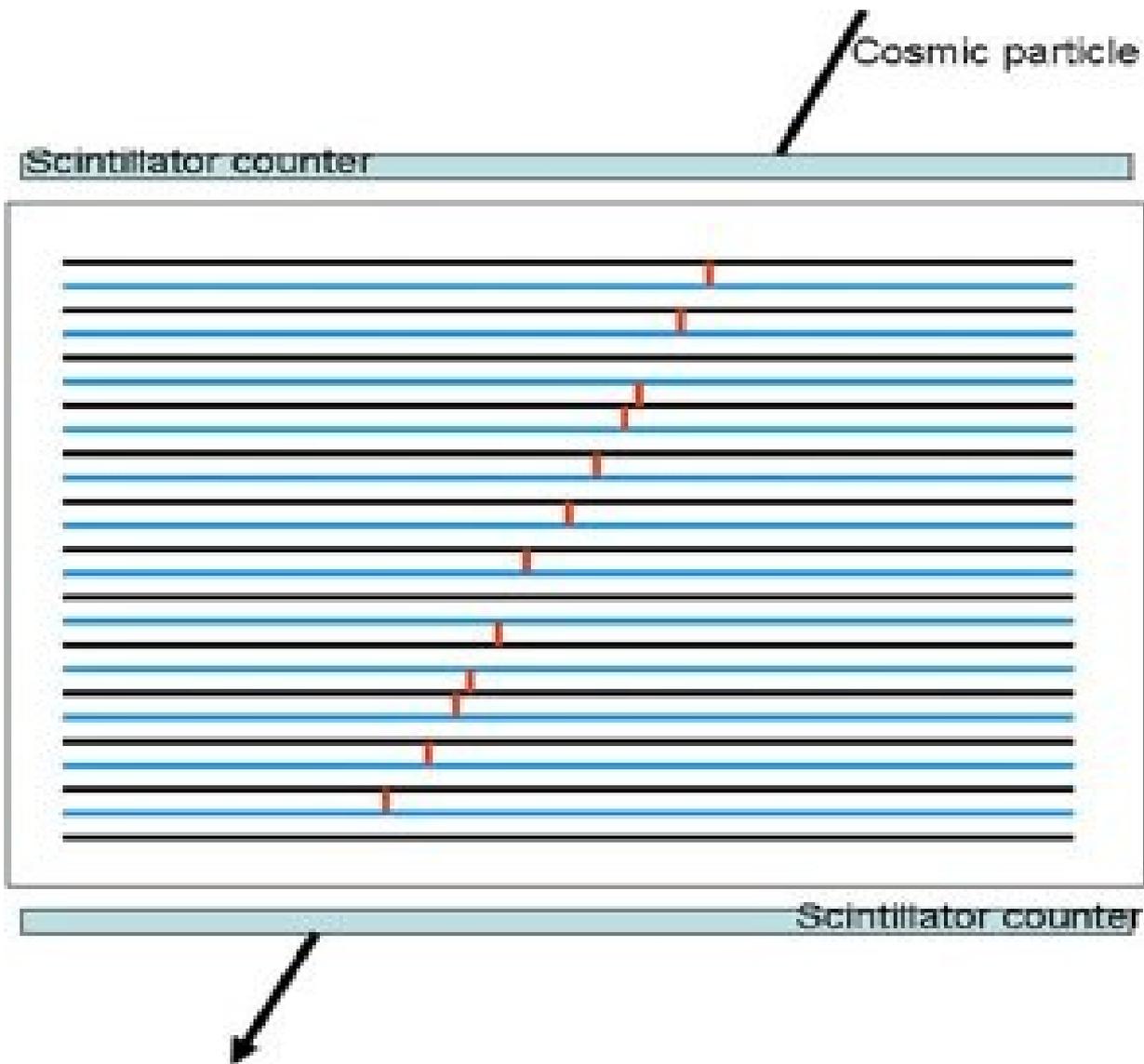


# I misteri ancora aperti

- **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**



# La Spark Chamber (1948)



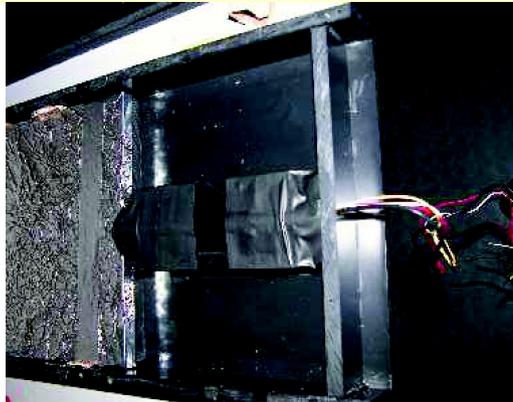
- *Inventata alla fine degli anni 40 e soppiantata da rivelatori piu' moderni alla fine degli anni 70*
- *Grandi scoperte e premi Nobel: Steinberger, Lederman e Schwartz osservano con le enormi camere mostrate qui sotto l'esistenza di un secondo tipo di neutrino (Premio Nobel 1988)*
- *Ancora oggi usata a scopo didattico*



# Come funziona ?

- La camera a scintilla è “triggerata” da due scintillatori plastici
- Un circuito elettronico di coincidenza applica l'alta tensione solo al momento del passaggio delle particelle
- Sul cammino delle particelle (dove c'è stata la ionizzazione) scocca la scintilla
- Design NIKHEF (Dr. H. Tiecke) e realizzata dall'INFN di Trieste (R. Bacconi, D. Iugovaz, G. Orzan, S. Reia, E. Vallazza)

**FLUSSO ATTESO  
A TERRA:  
 $1.1 \times 10^2$  muoni/(sec sr m<sup>2</sup>)**

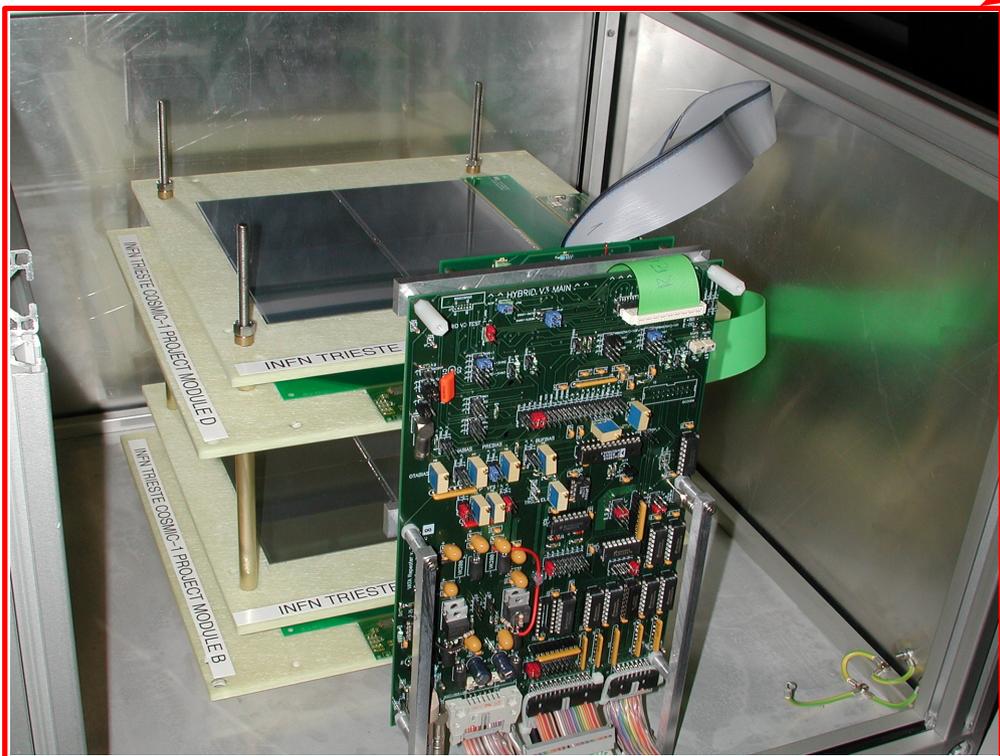
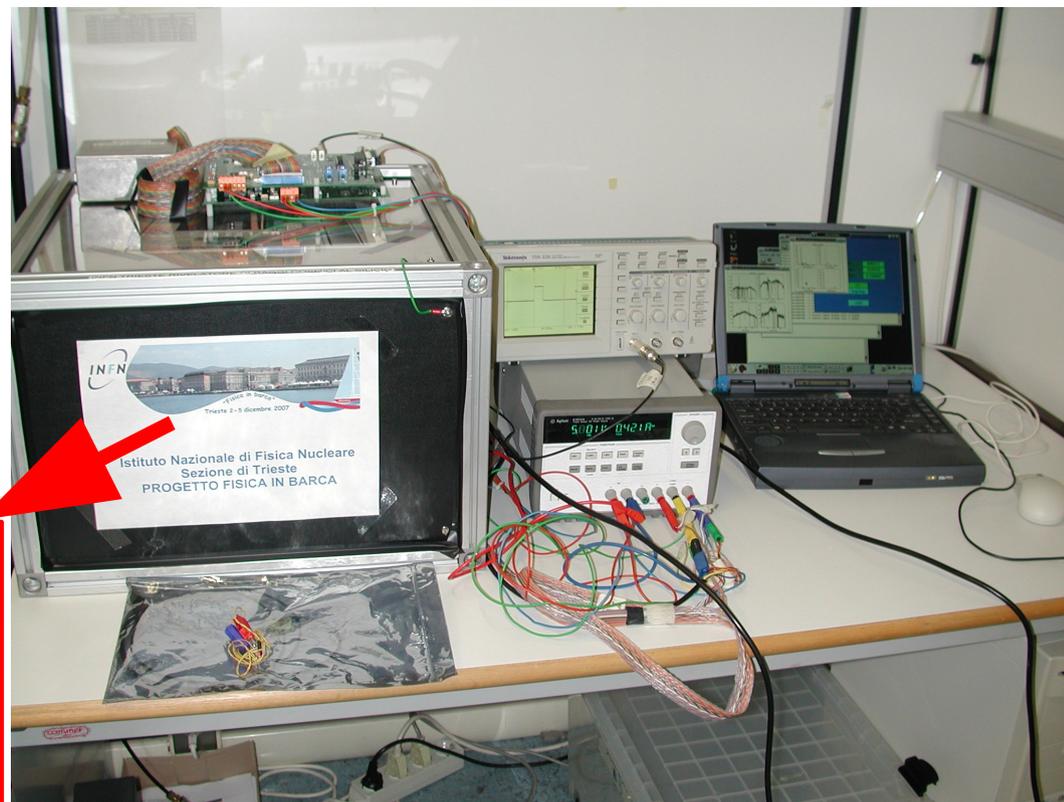


- 2 scintillatori plastici NE102 letti da fotomoltiplicatori SensTech P30CW5
- Scatola nera di isolamento dalla luce



# 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)***

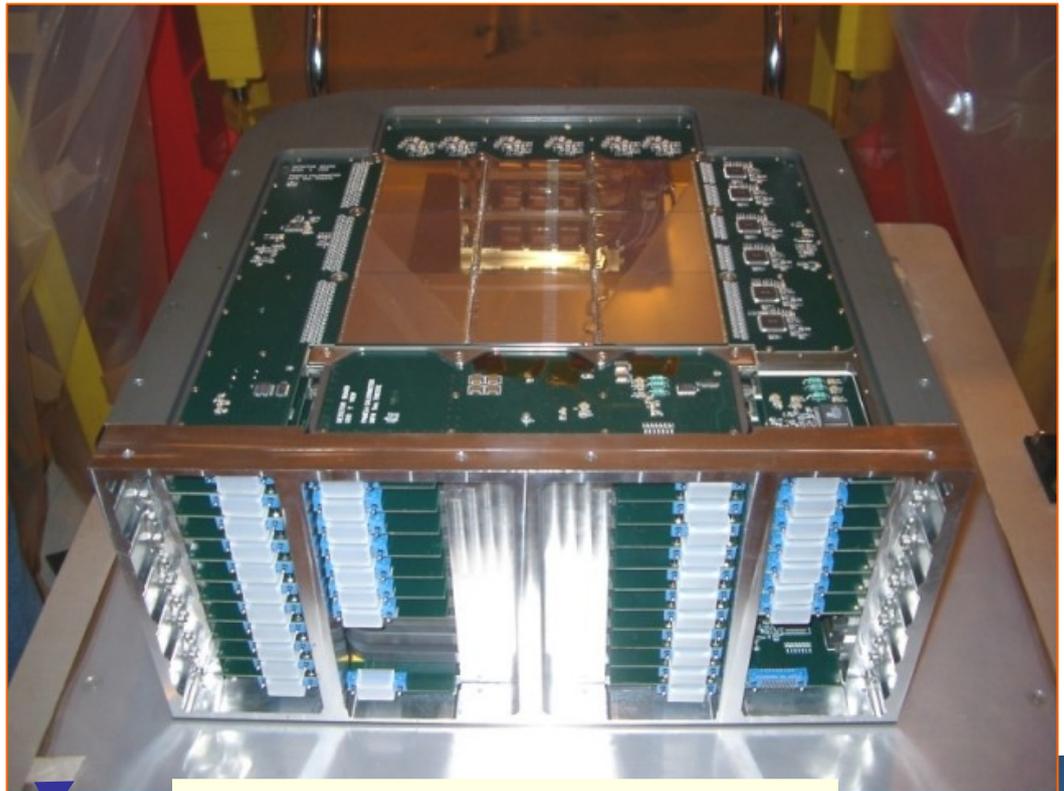
***11/06/2008***

***FERMI Gamma Ray  
Telescope***

# PAMELA



Piano del calorimetro



Calorimetro assemblato

*Misura del flusso di positroni e antiprotoni*

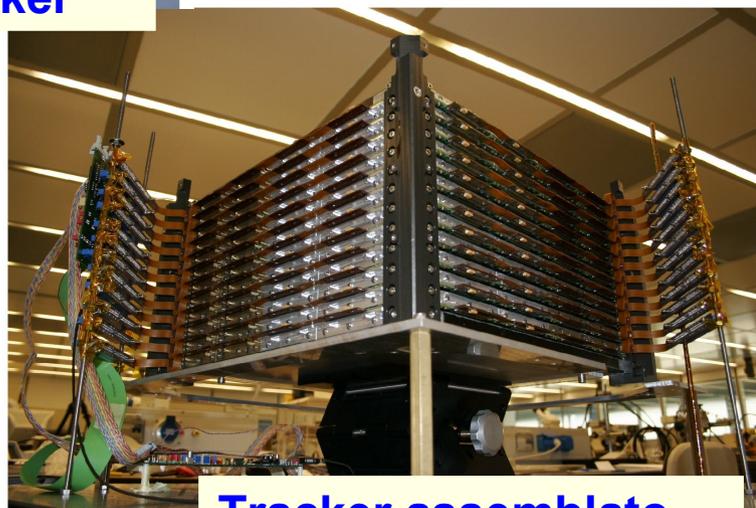
*Ricerca dell'antimateria*



# AGILE



Vassoio del tracker



Tracker assemblato

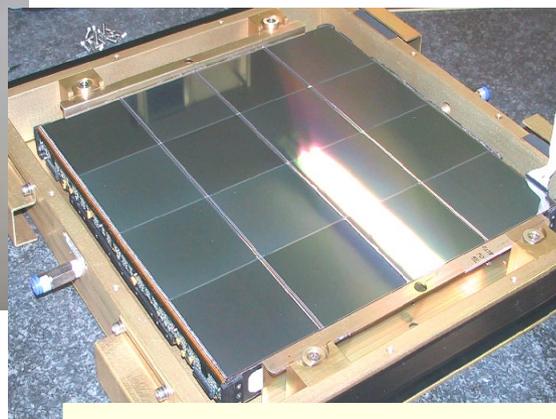
- Raggi gamma  $E < 100$  GeV difficili da vedere a terra
- Sorgenti non identificate
- Comprensione dell'emissione diffusa e extragalattica
- Gamma ray burst
- AGNs e Supernova remnants
- Pulsar



# FERMI



Il payload nel missile



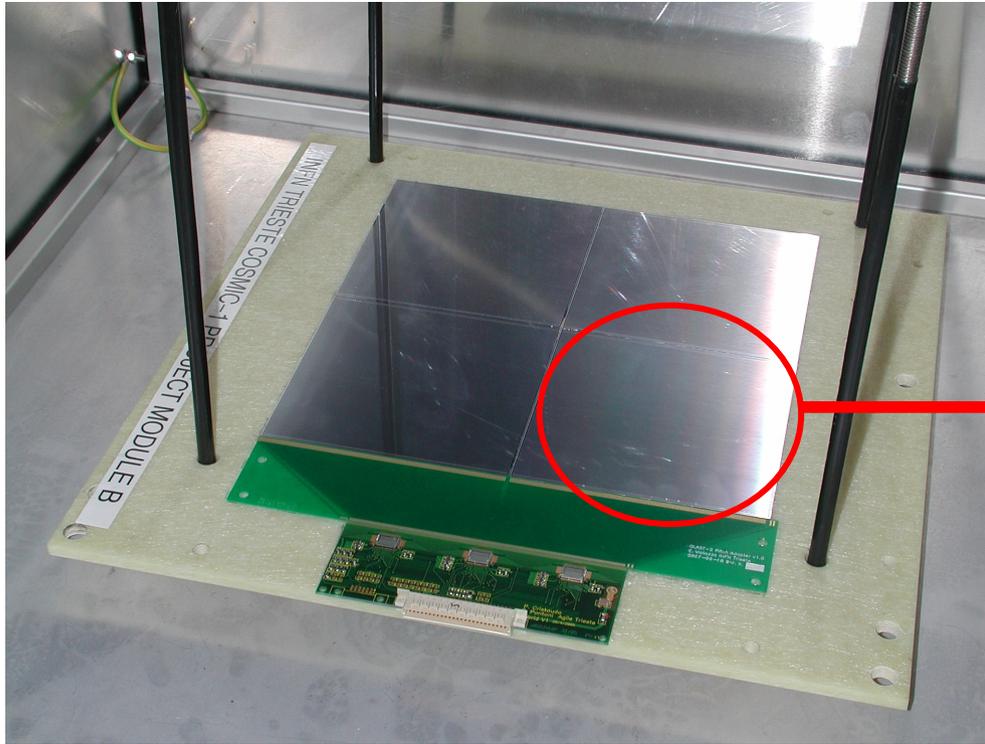
Vassoio del tracker



Cape Canaveral

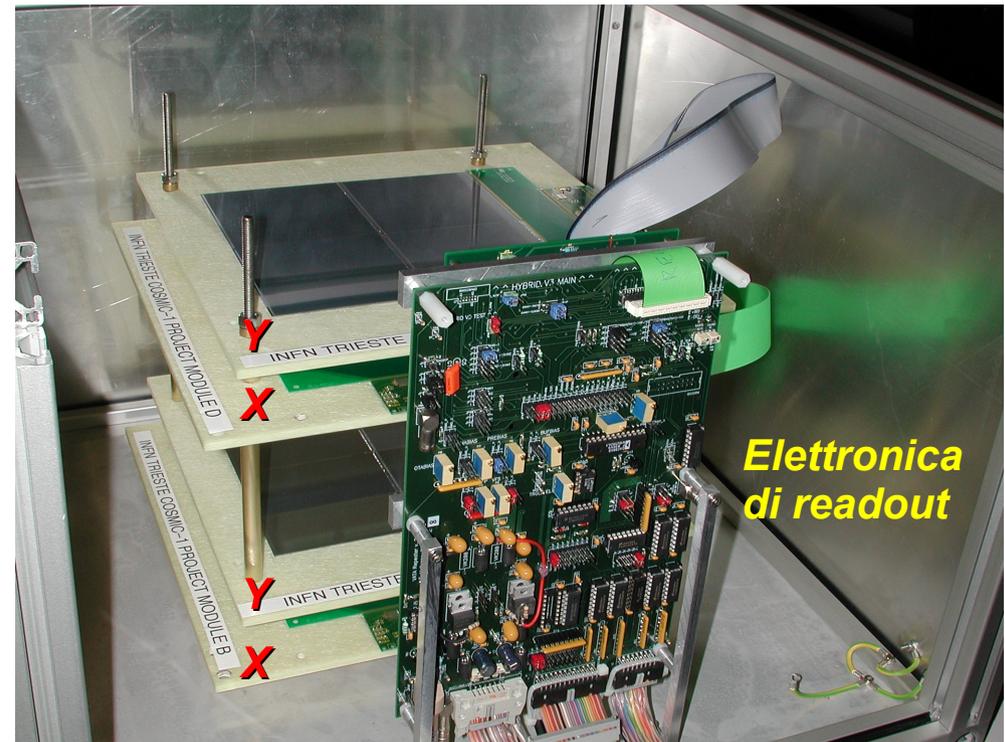
- *Trovare le risposte per le domande aperte dalle pulsar ai raggi cosmici*
- *I gamma ray burst*
- *Nuova fisica*
- *Scoprire come i buchi neri accelerano immensi jet di materiali a velocità vicino a quelli della luce*

# Nel nostro piccolo: i raggi cosmici visti in barca

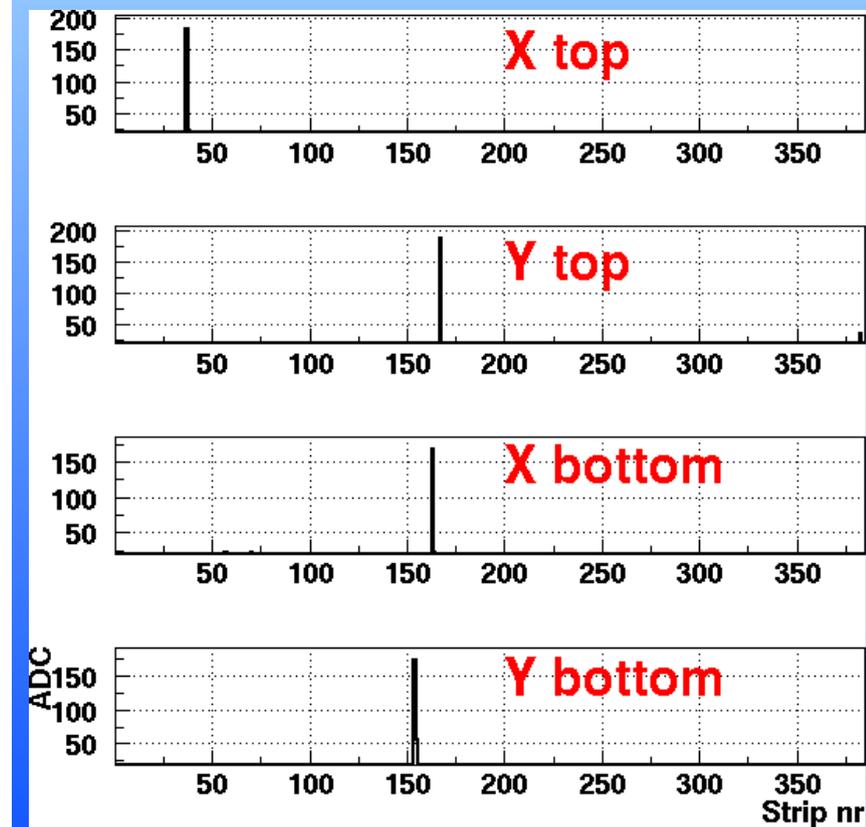
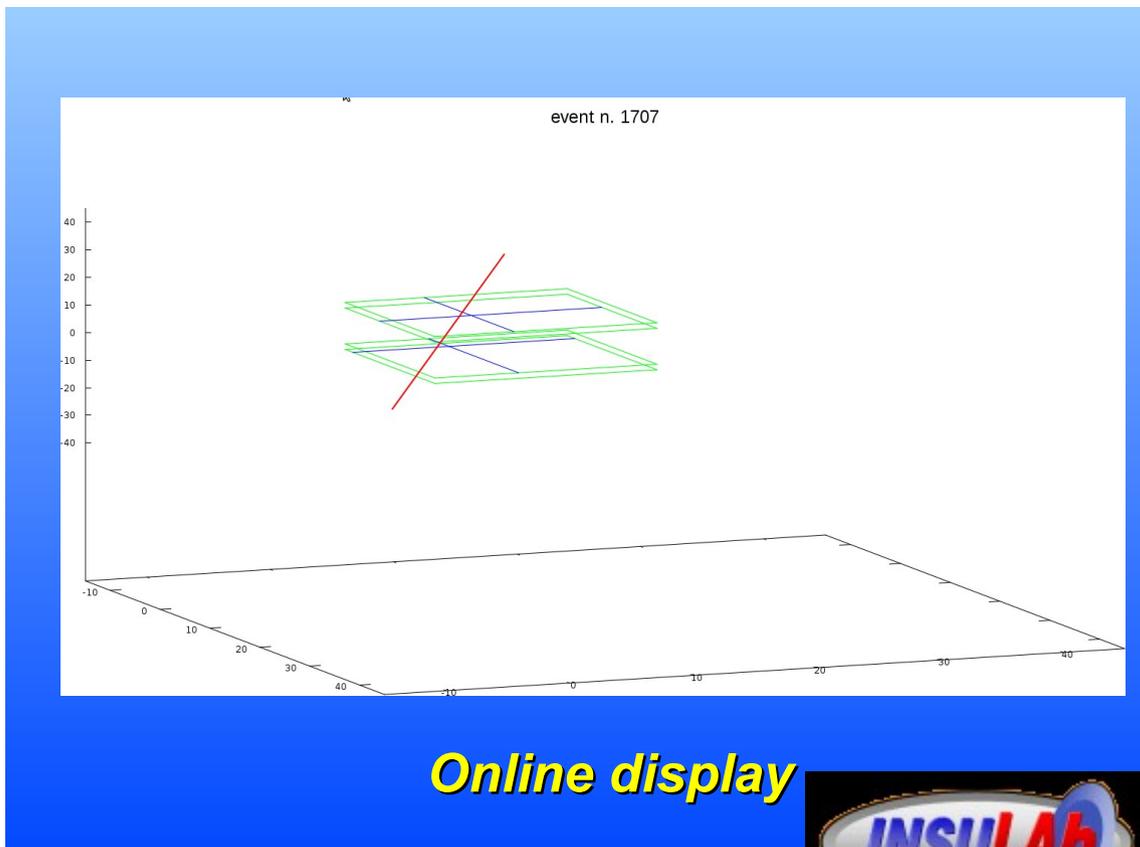


- 4 piani di 4 rivelatori al silicio (quelli di Fermi) di  $8.9 \times 8.9 \text{ cm}^2$  collegati a 2 a 2 (a formare delle mini-ladder)
- I 4 piani sono organizzati in modo x-y
- Ogni mini-ladder ha 384 strip con passo di  $208 \mu\text{m}$  e lunghezza di  $17.8 \text{ cm}$
- Ogni mini-ladder è letta 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

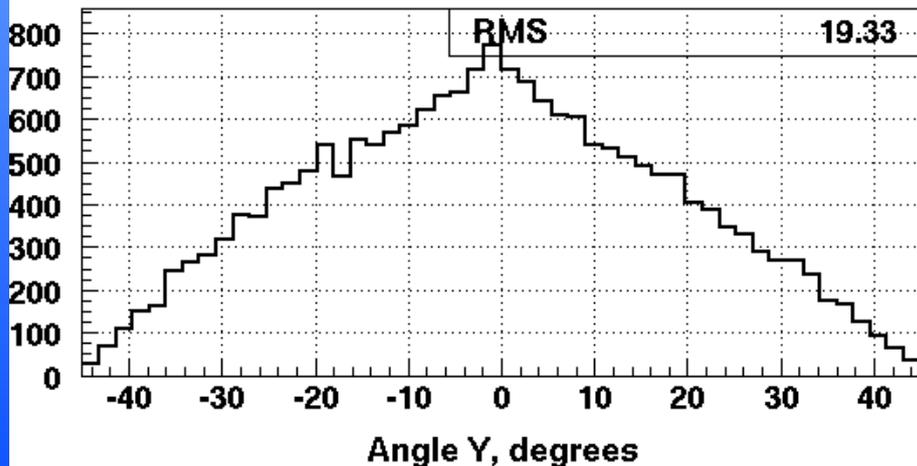
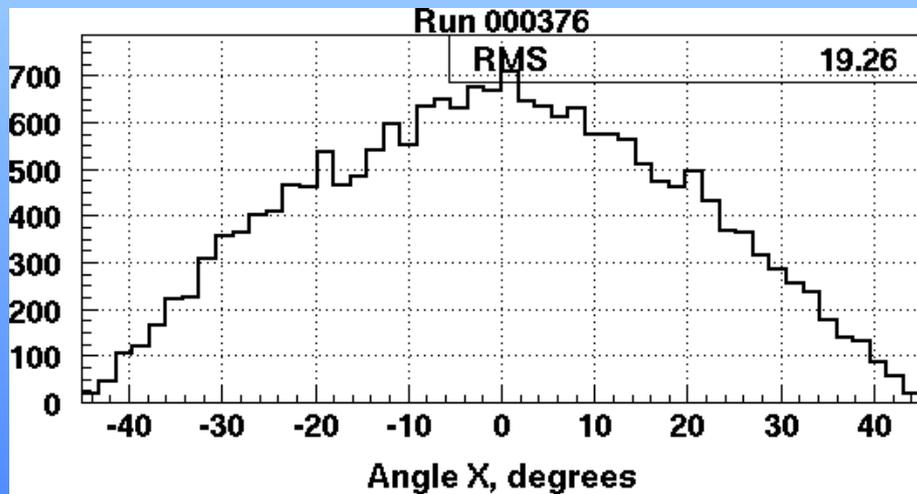


# E li vediamo proprio!

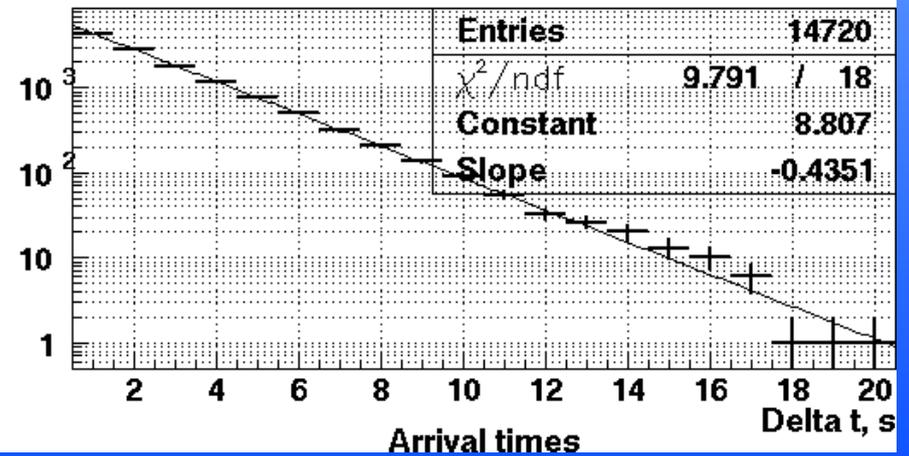
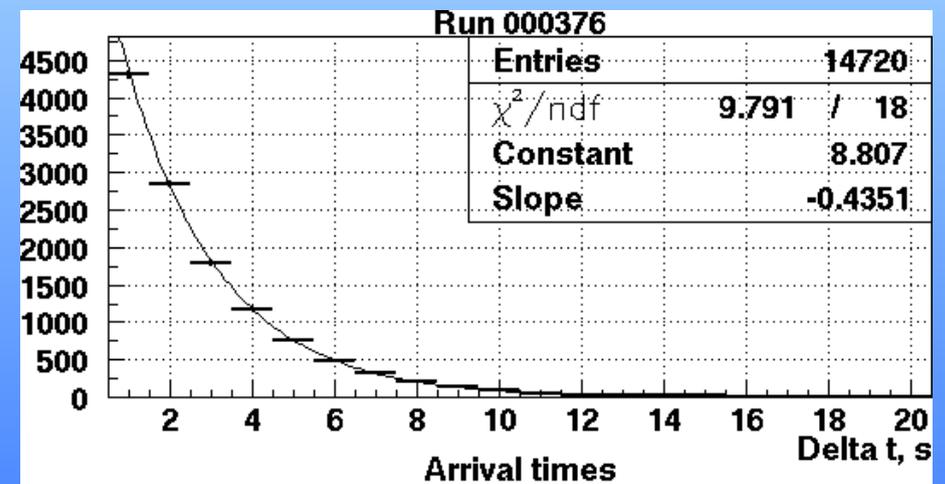


**Hit nei diversi piani**

# 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 anni di storia alle spalle***



**<http://wwwusers.ts.infn.it/~vallazza/fib2011/>  
[erik.vallazza@ts.infn.it](mailto:erik.vallazza@ts.infn.it)**