



# L'affascinante mondo dei raggi cosmici



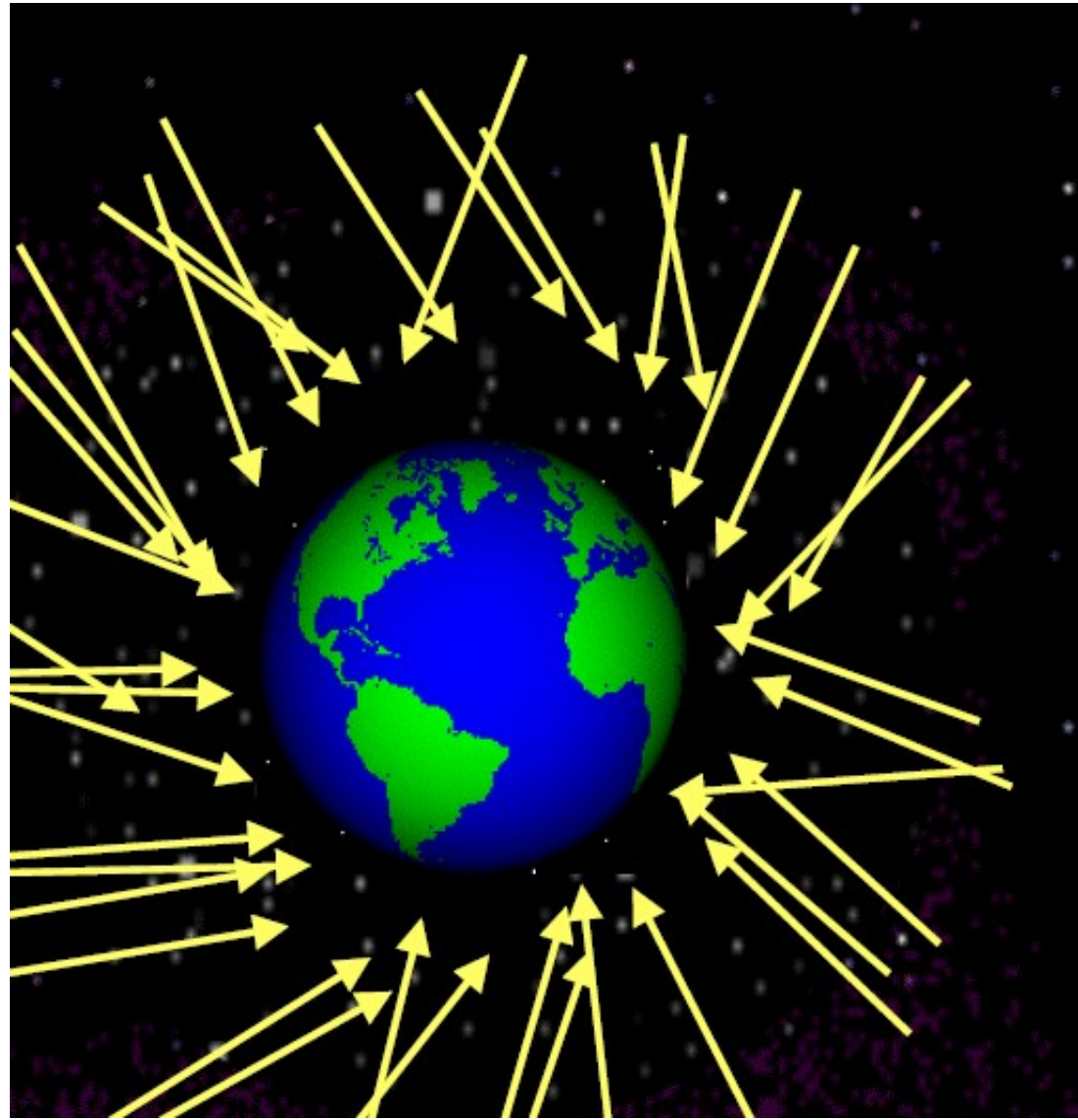


# ***OUTLINE***

- ***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***

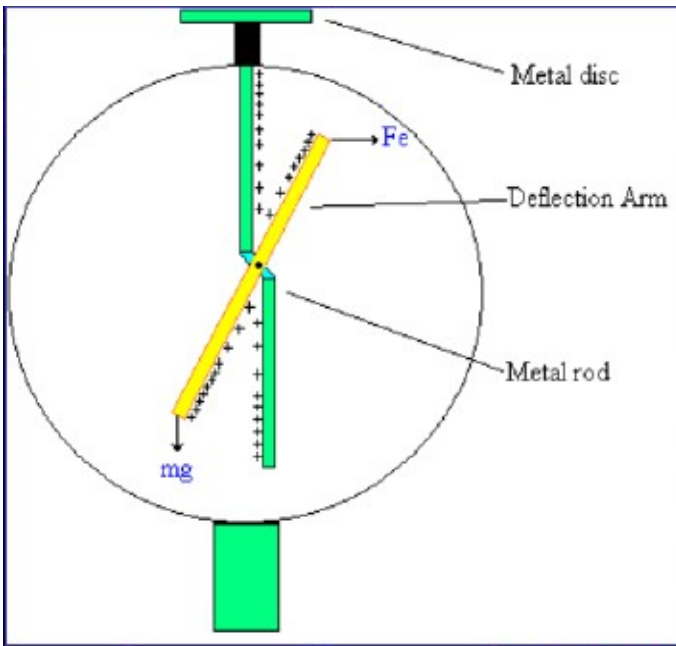
**1900**



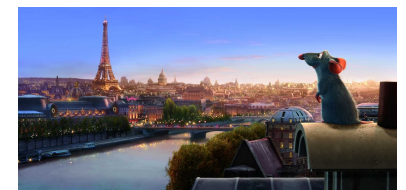
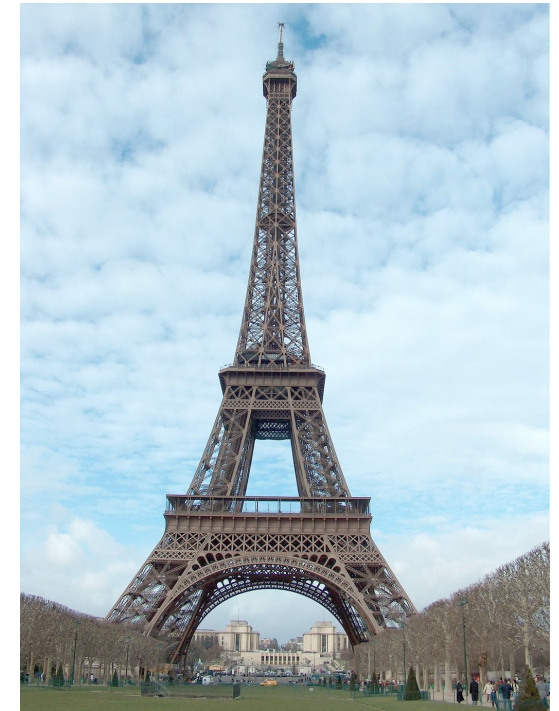
*L'aria è ionizzata dai "raggi" originati dalla radiazione naturale emessa dal nostro pianeta*



# 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**

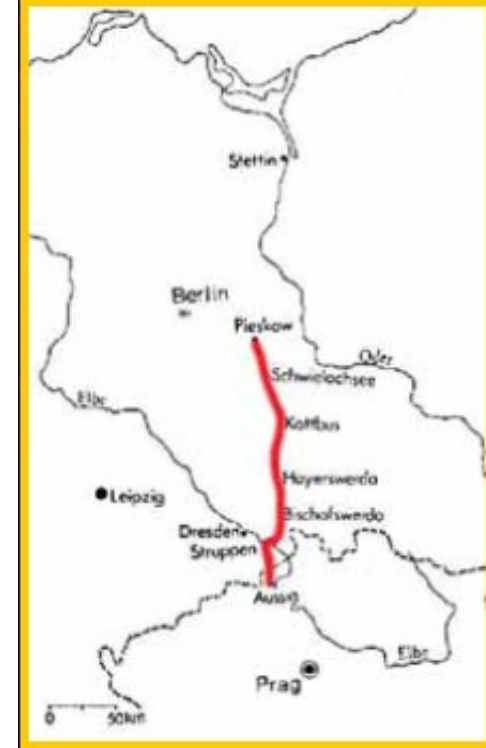


# La scoperta

Nel 1912 il fisico **Viktor Hess** compie esperimenti sulla radioattività ambientale misurata durante ascensioni con palloni aerostatici arrivando fino a 5350m dal suolo

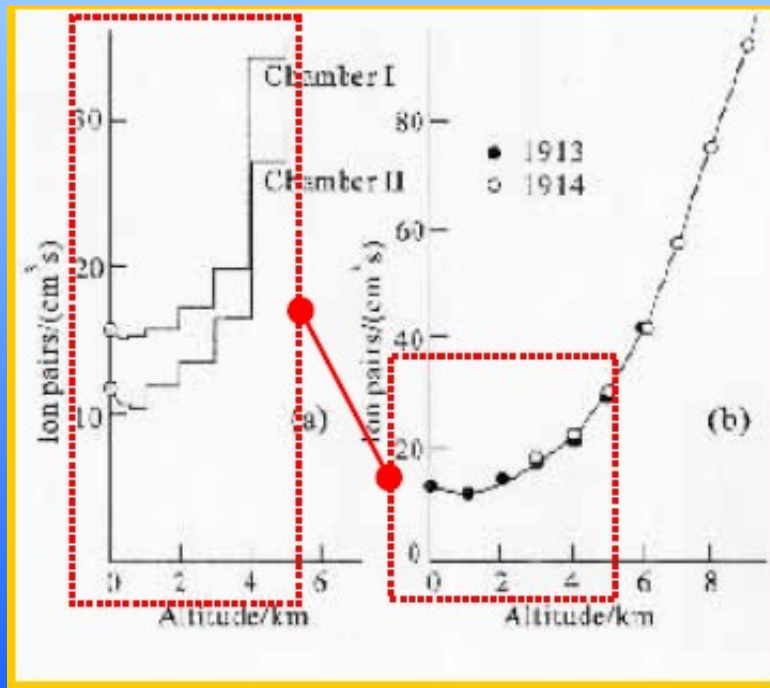
Scopre che:

- 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:**

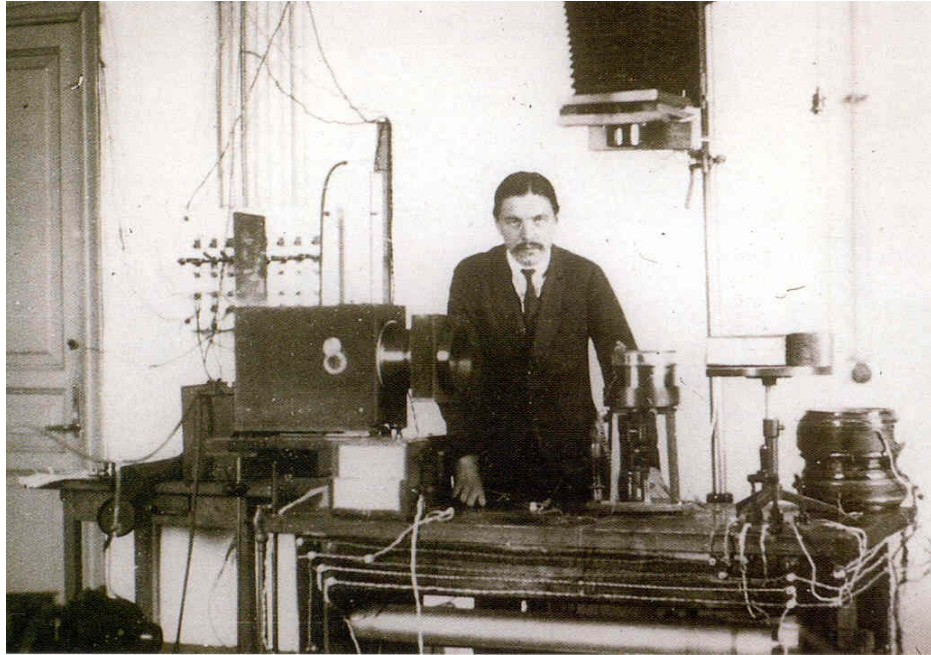
- raggi gamma di altissima energia?
- elettroni super veloci?

1913-14



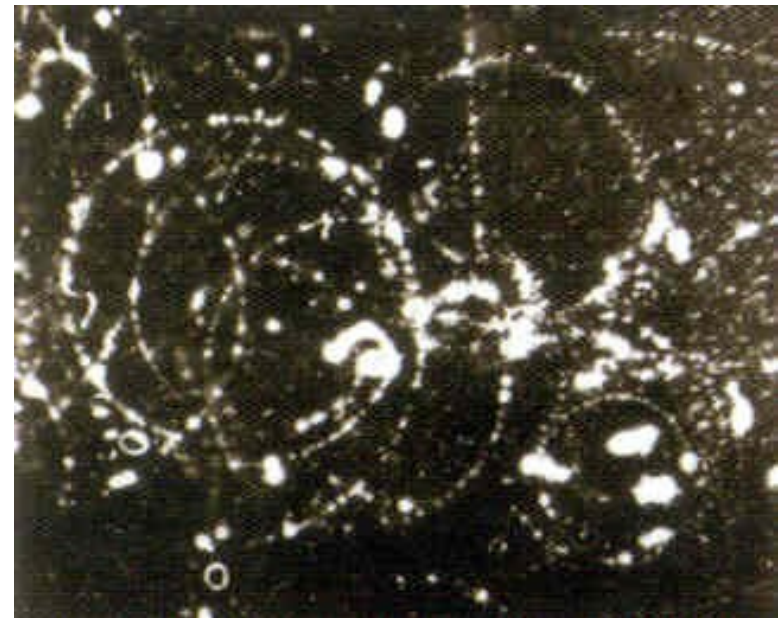
# 1927

## *La vera natura*

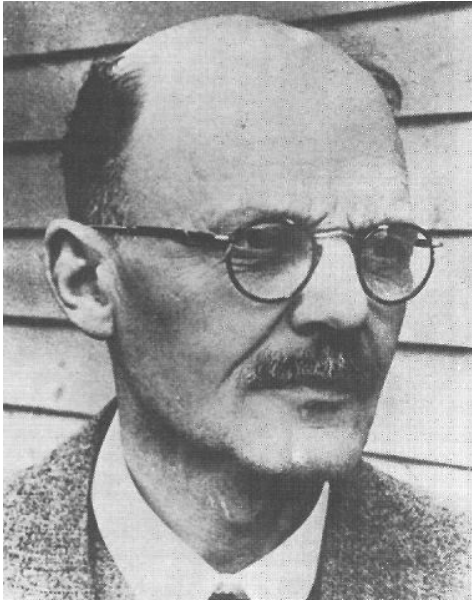


Il fisico russo russo **Dmitry Skobel'tzyn** nel 1927 a Leningrado, mediante delle **camere a nebbia**, osserva le tracce dei raggi cosmici, notando che vengono curvate pochissimo dai campi magnetici usati normalmente per osservare la radioattività naturale

- 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



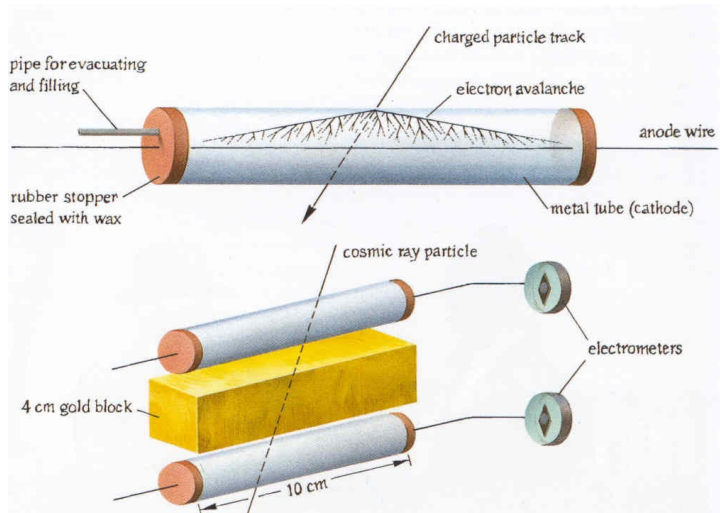
**Contatori Geiger**

**1928**



# .... in modo esponenziale!

# 1930

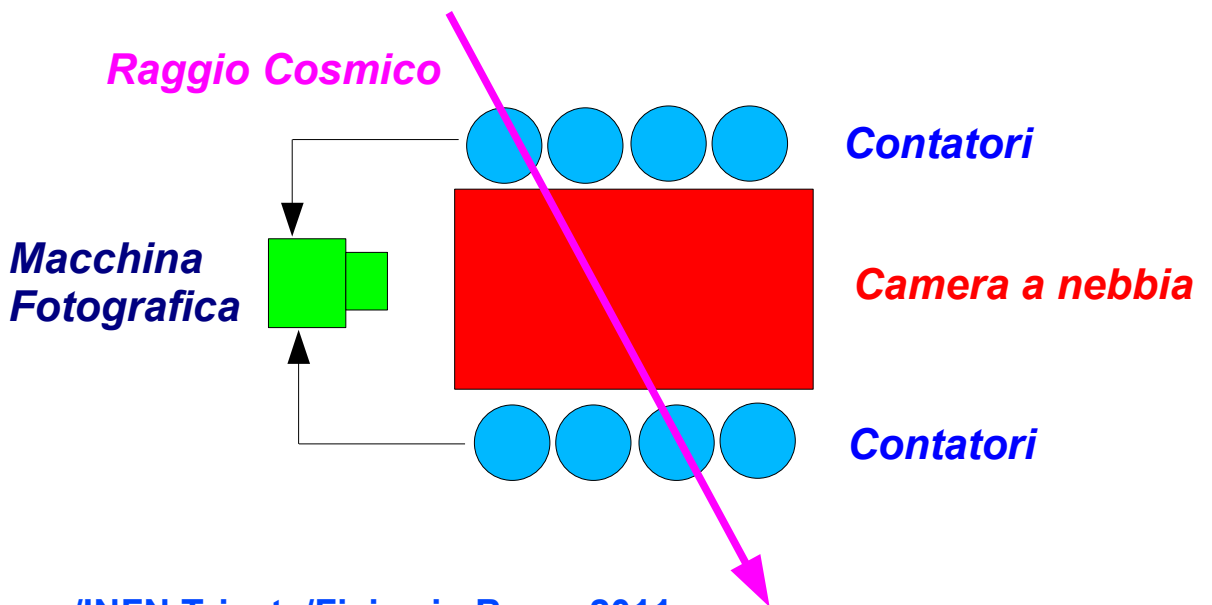


Il sistema delle coincidenze viene perfezionato da **Bruno Rossi**, allora studente a Firenze che lo realizza con tubi elettronici

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



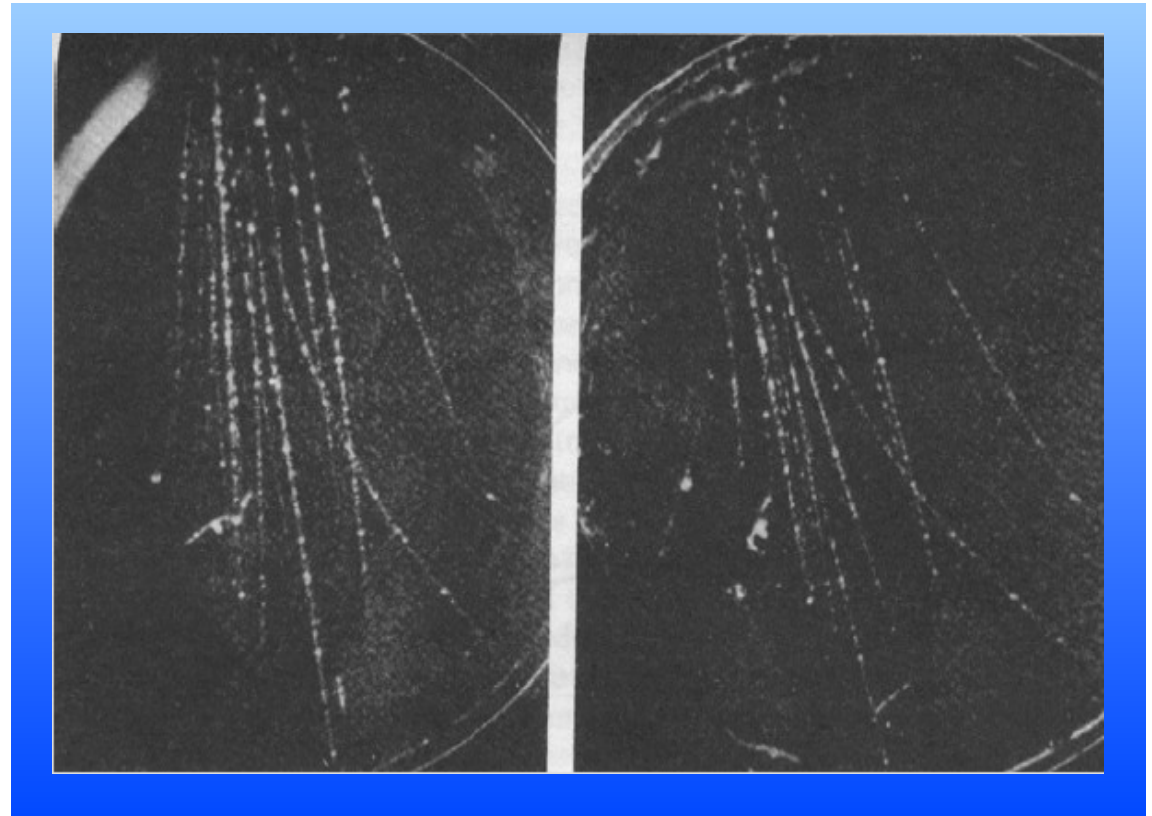
**Bruno Rossi negli anni 30 a Firenze**



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 detailed painting of a lush tropical jungle. The scene is filled with various types of trees and dense foliage. In the foreground, there are large, dark green leaves and ferns. The middle ground shows a thick canopy of smaller plants and trees. In the background, taller, more slender trees rise up, with some light filtering through the leaves. The overall color palette is dominated by greens, with some browns and blues in the shadows and sky.

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



# La natura dei raggi

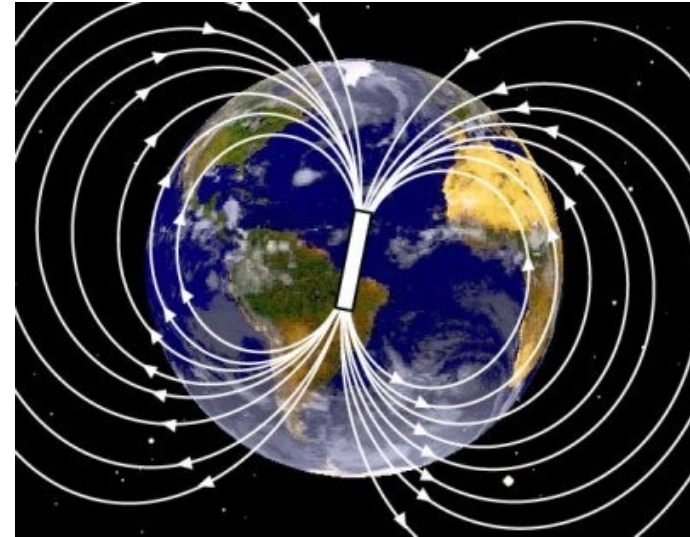
1927 - J. Clay: l'intensità dei raggi cosmici dipende dalla latitudine (+ debole all'equatore) → **effetto di latitudine geomagnetica (quindi sono particelle cariche!)**

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)

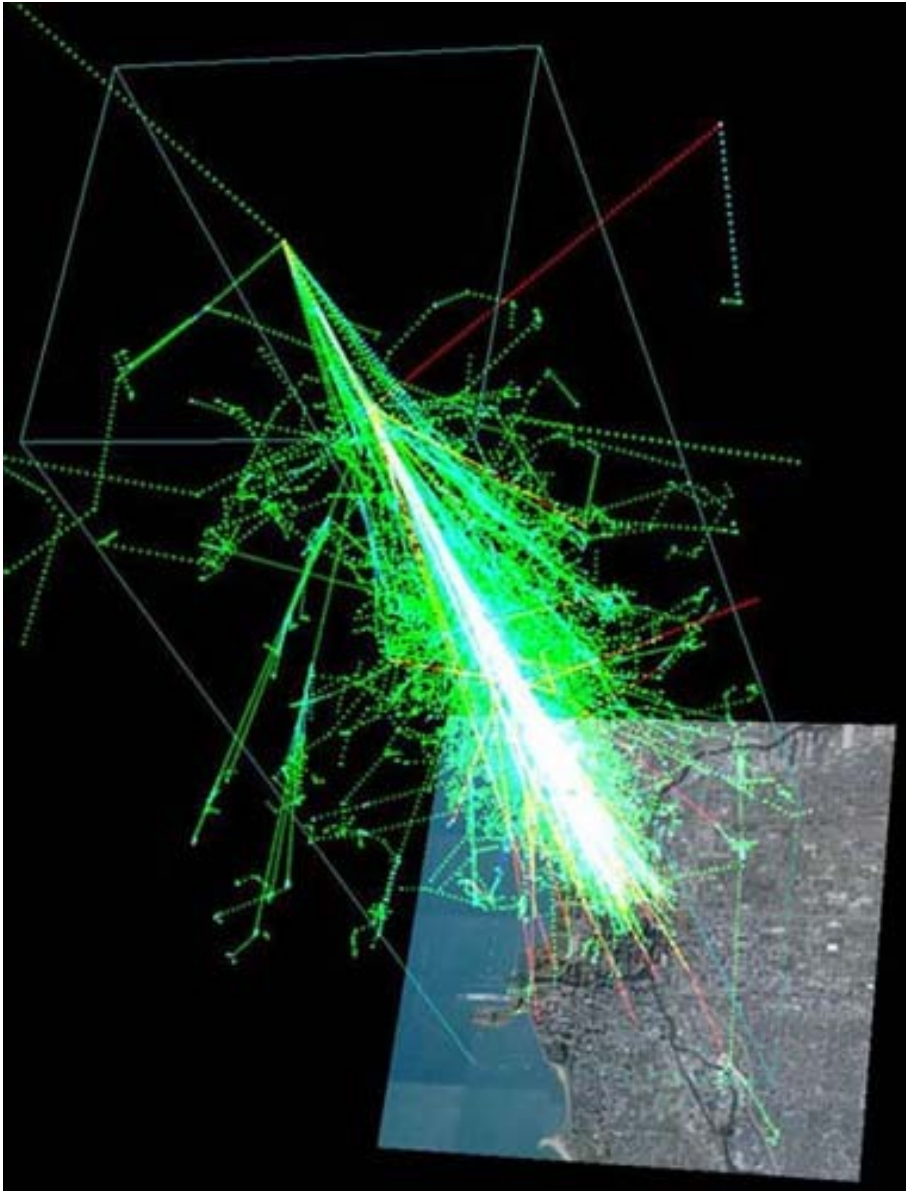
1930 – A.H. Compton: campagna di misura a diverse latitudini e altitudini → natura corpuscolare, effetto di latitudine dovuto al campo magnetico terrestre, variazione di intensità con l'altezza

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***

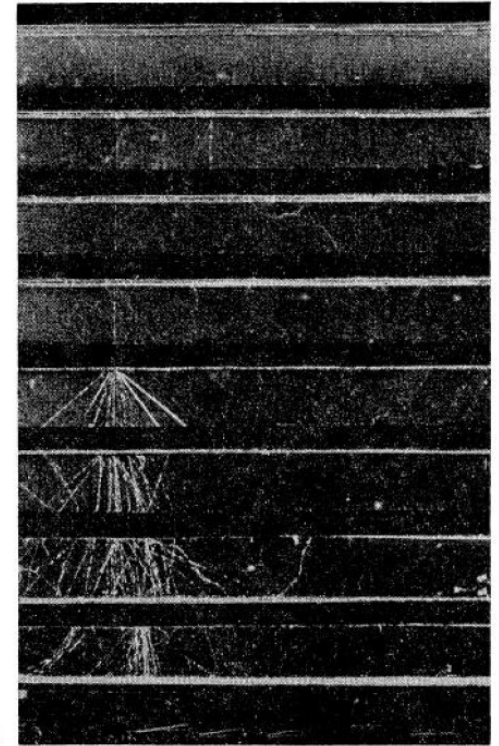
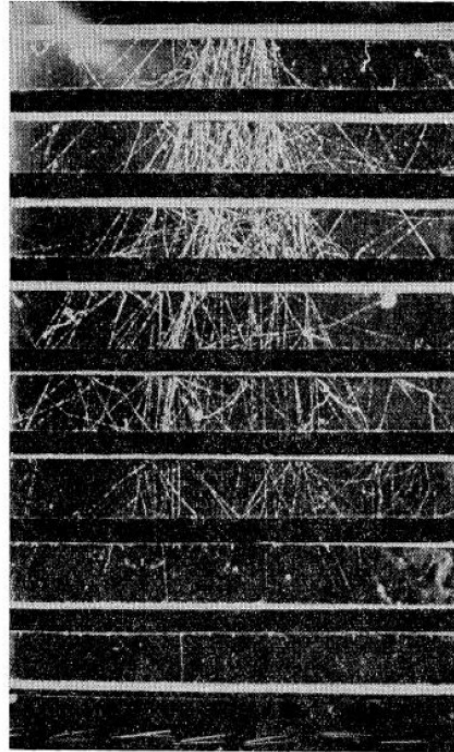
**1938 - P. Auger e R. Maze: a Parigi usano dei contatori Geiger per dimostrare che contatori a diversi metri di distanza registrano dati contemporaneamente → sono particelle secondarie provenienti da una stessa sorgente**  
**Esperimenti ulteriori sulle Alpi (Pic du Midi e Jungfraujoeh) con contatori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

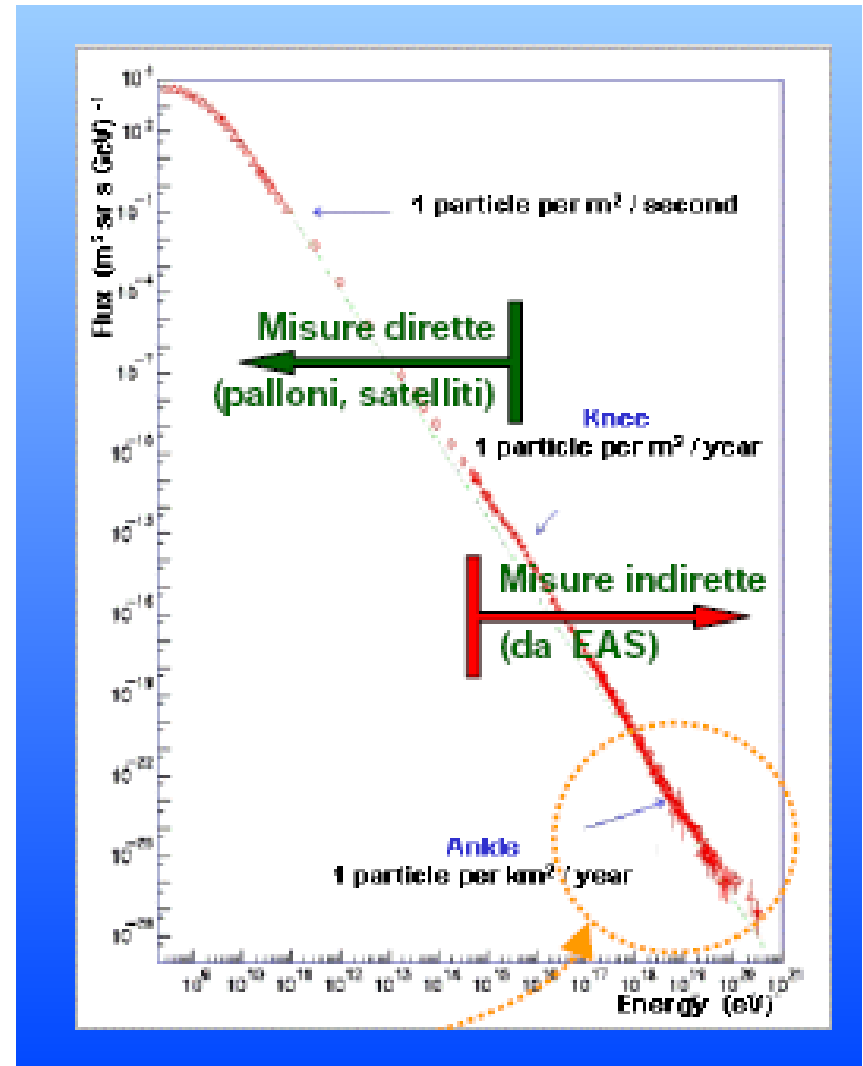
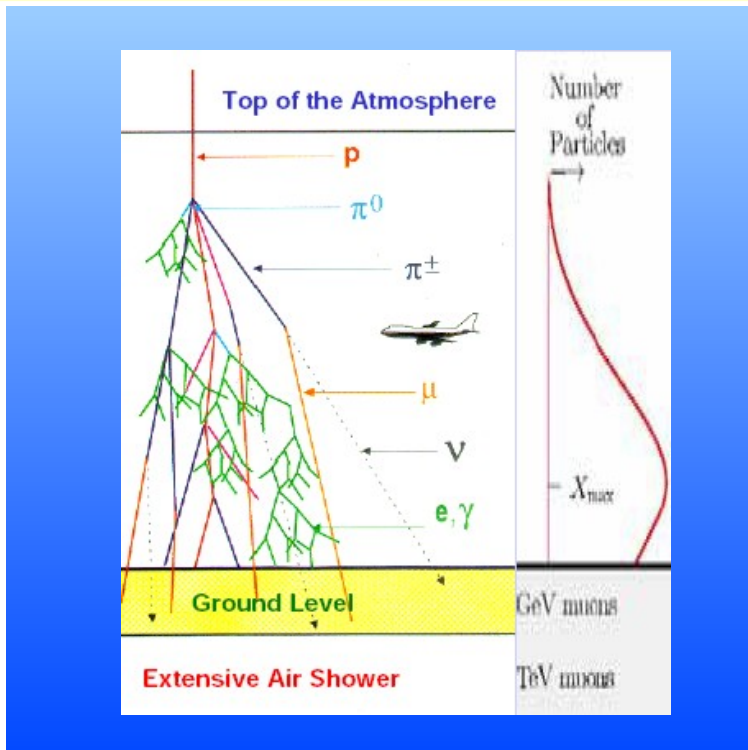


***Stiamo parlando di primari con energie di  $10^{15}$  eV!!!!***



# 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**)



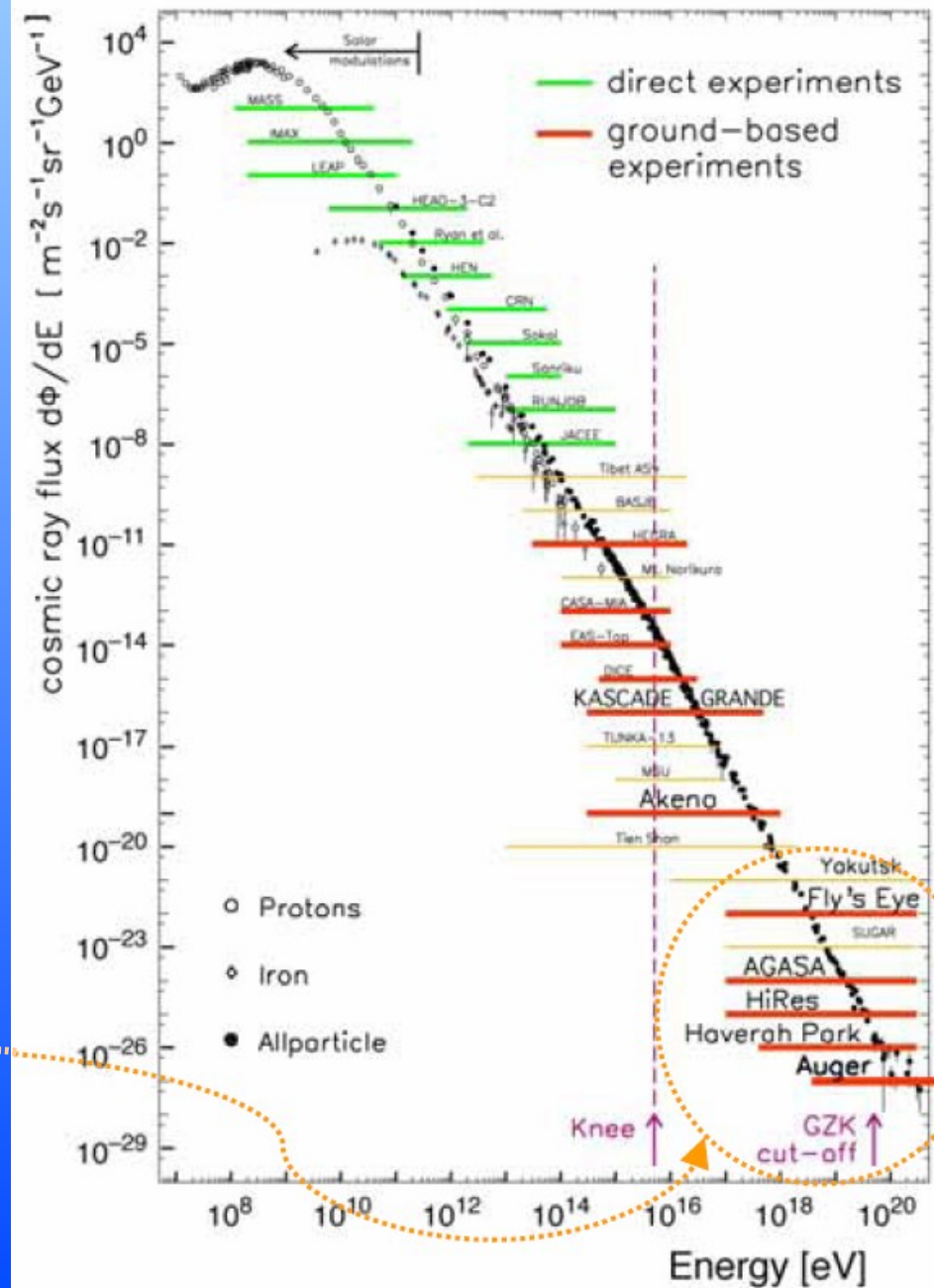
# Dove si misurano?

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

**SUOLO:** secondari

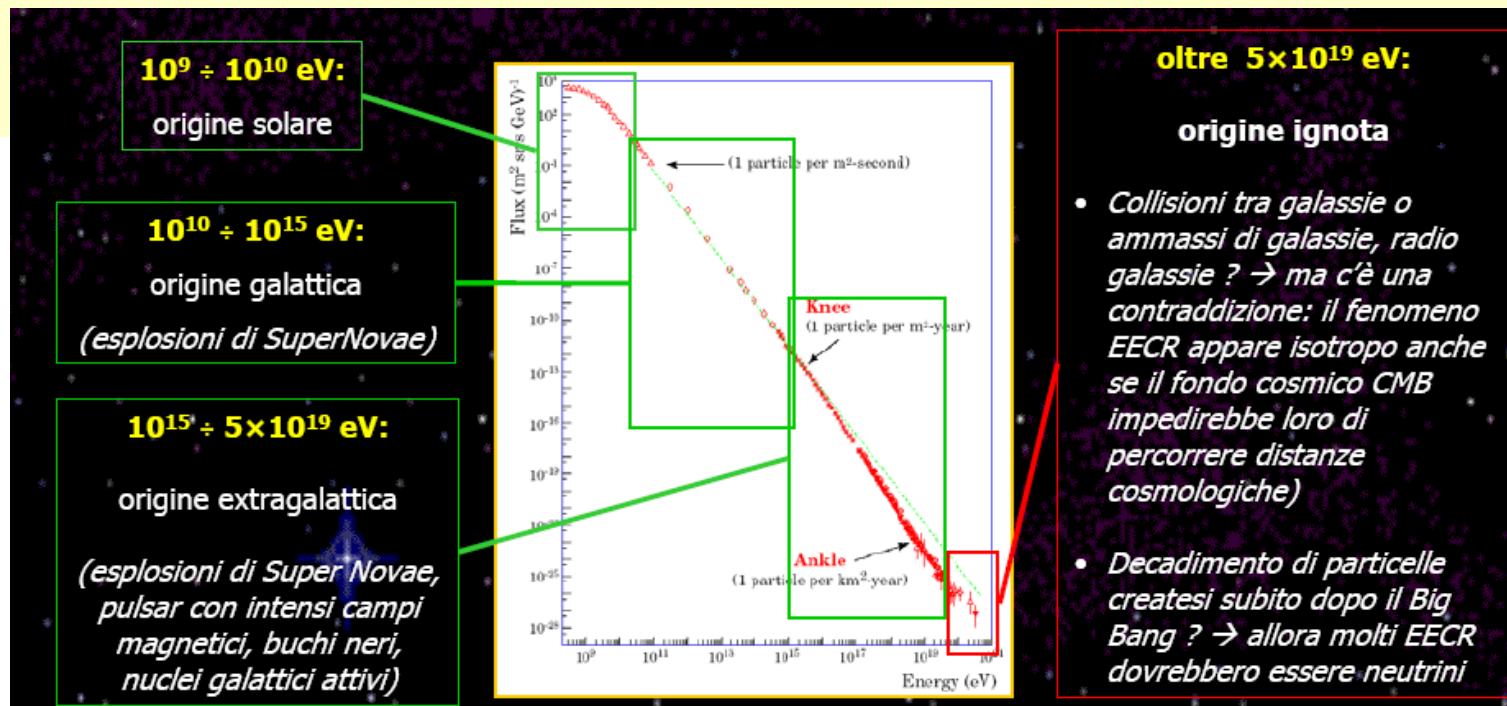
**Laboratori sotterranei:**  
particelle a bassa sezione  
d'urto (particelle rare,  
neutrini)

*Altissime energie,  
esperimenti  
ground based*



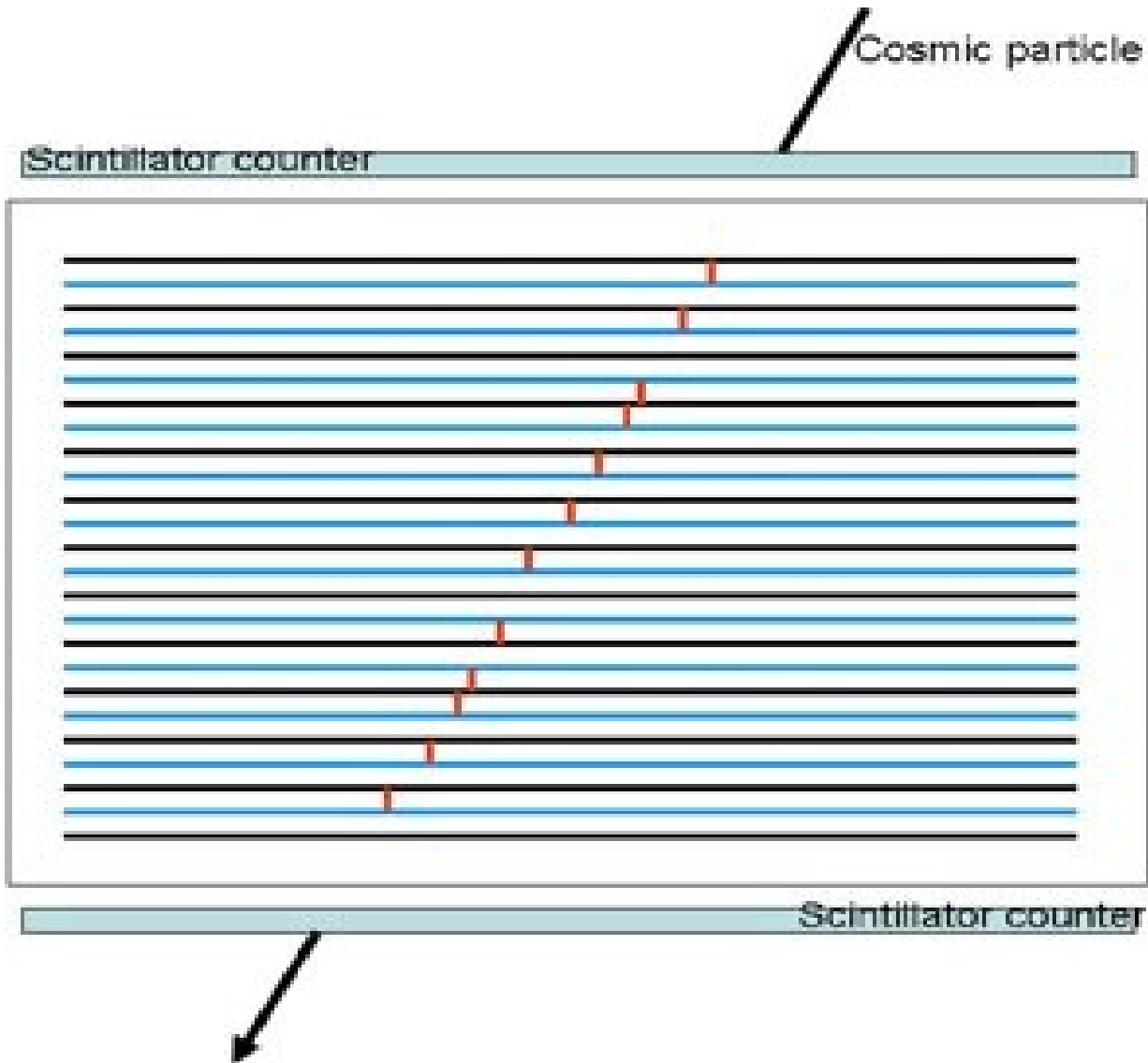
# I misteri ancora aperti

- **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)



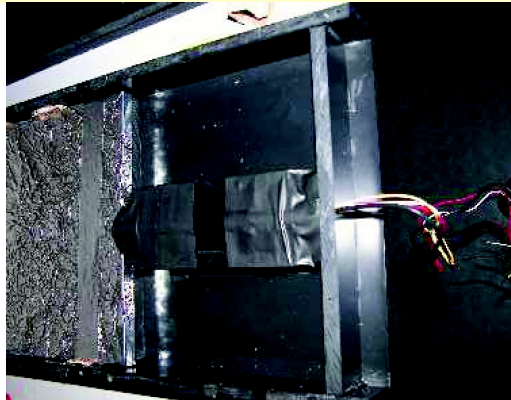
- *Inventata alla fine degli anni 40 e soppiantata da rivelatori piu' moderni alla fine degli anni 70*
- *Grandi scoperte e premi Nobel: Steinberger, Lederman e Schwartz osservano con le enormi camere mostrate qui sotto l'esistenza di un secondo tipo di neutrino (Premio Nobel 1988)*
- *Ancora oggi usata 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. Baccomi, D. Iugovaz, G. Orzan, S. Reia, E. Vallazza)

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



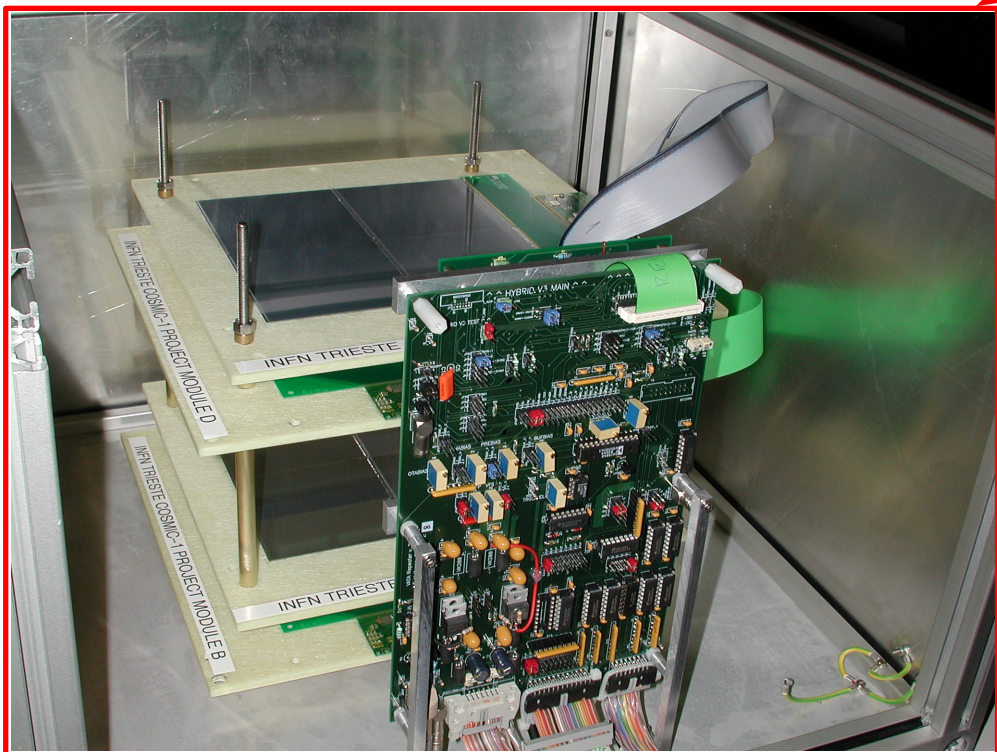
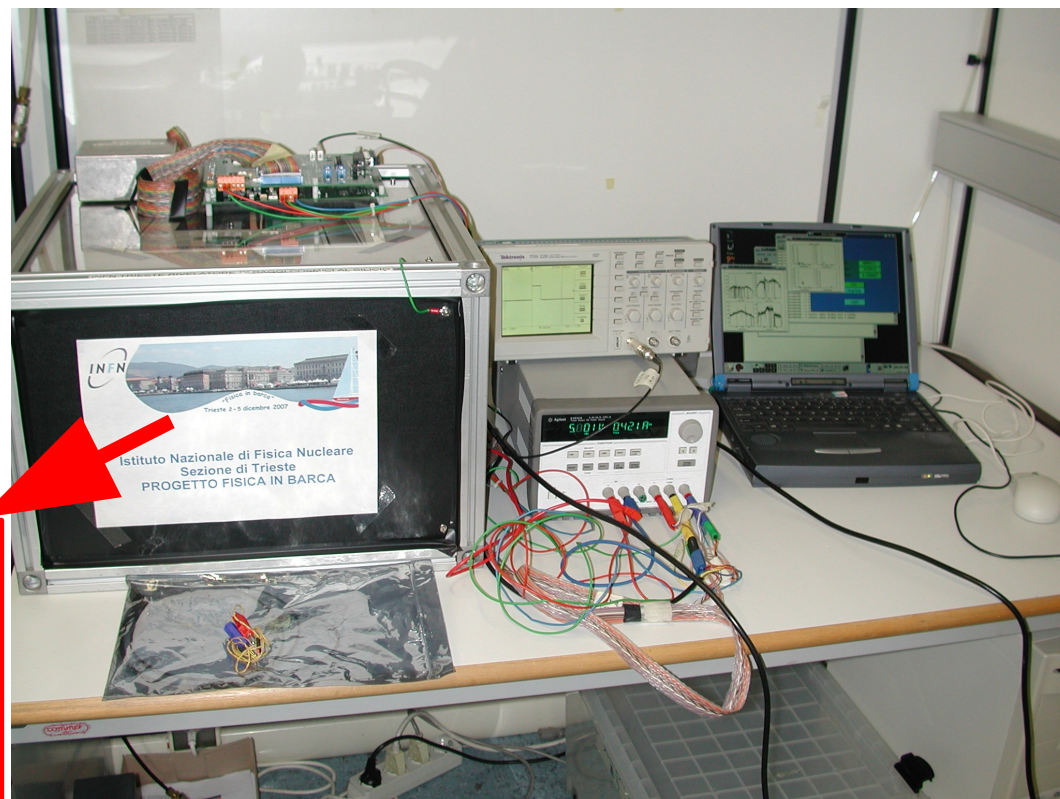
- 2 scintillatori plastici NE102 letti da fotomoltiplicatori SensTech P30CW5
- Scatola nera di isolamento dalla luce





# 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)***

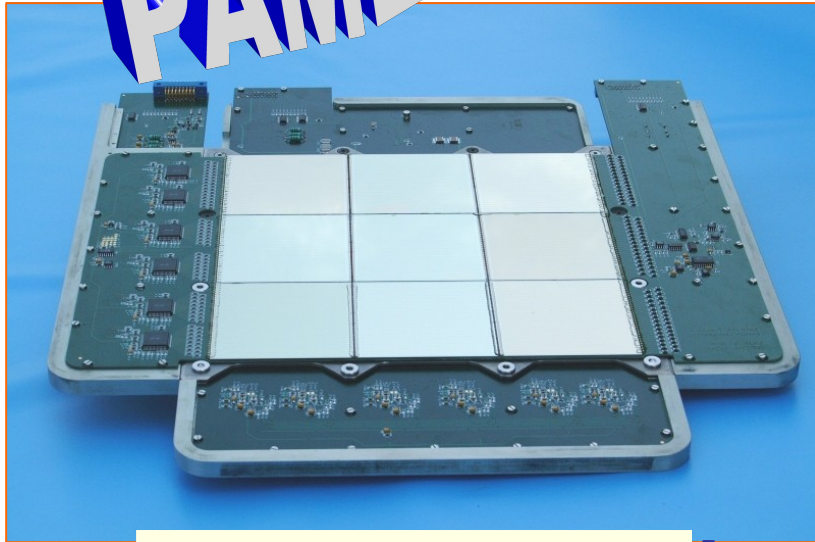
***23/04/2007***

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

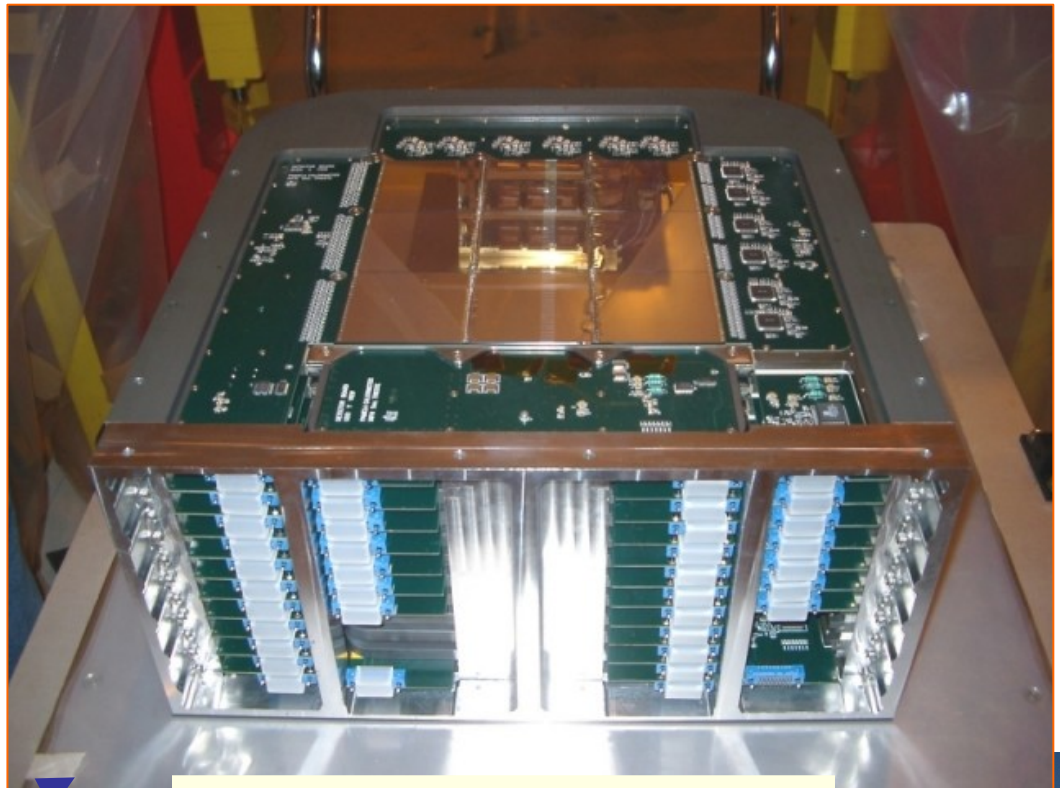
***11/06/2008***

***FERMI Gamma Ray  
Telescope***

# PAMELA



Piano del calorimetro



Calorimetro assemblato

*Misura del flusso di positroni e antiprotoni*

*Ricerca dell'antimateria*

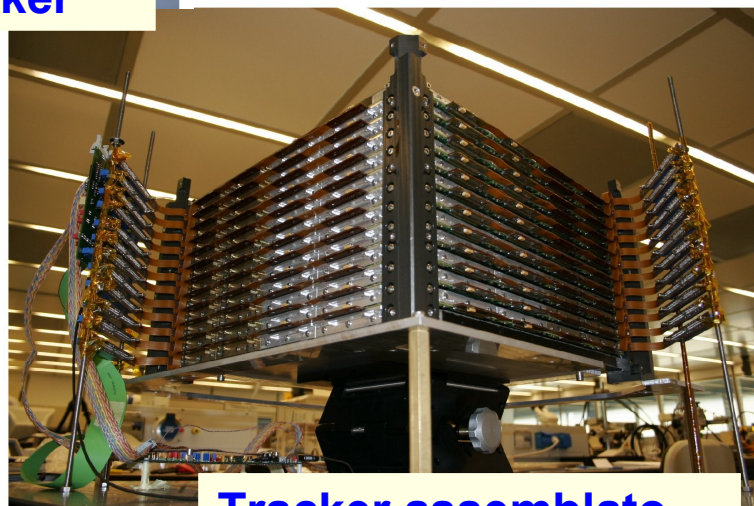




# AGILE



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

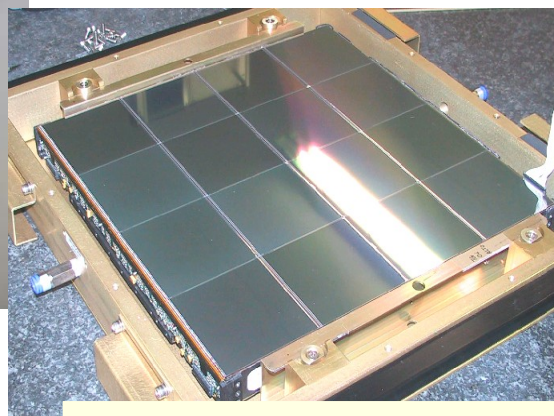




# FERMI



**Il payload nel missile**



**Vassoio del tracker**

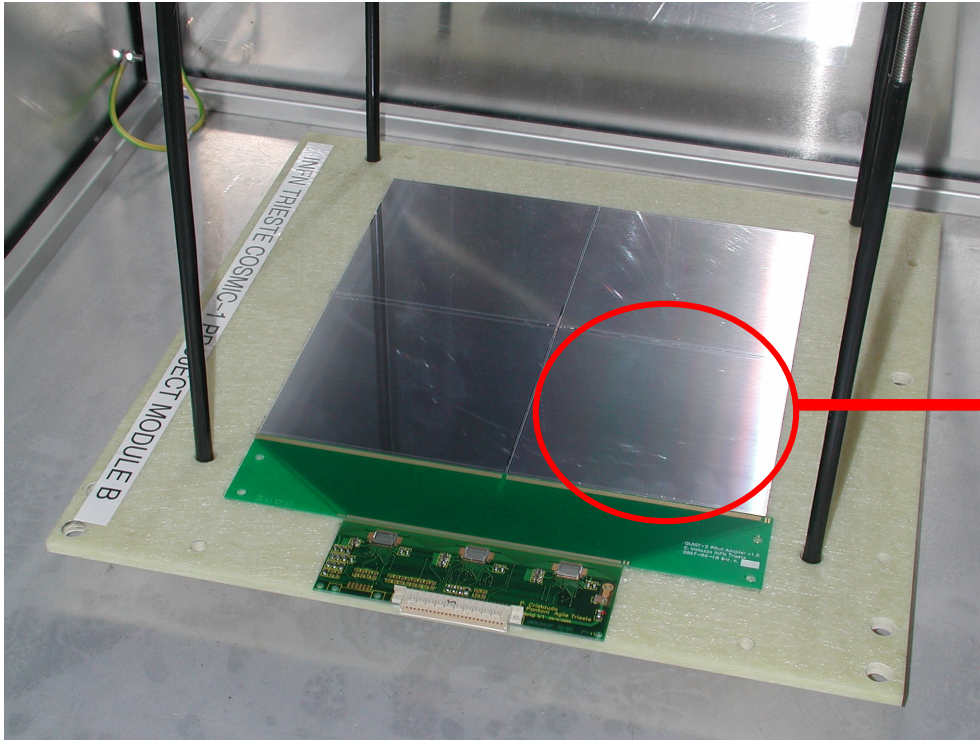


**Cape Canaveral**

- *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*

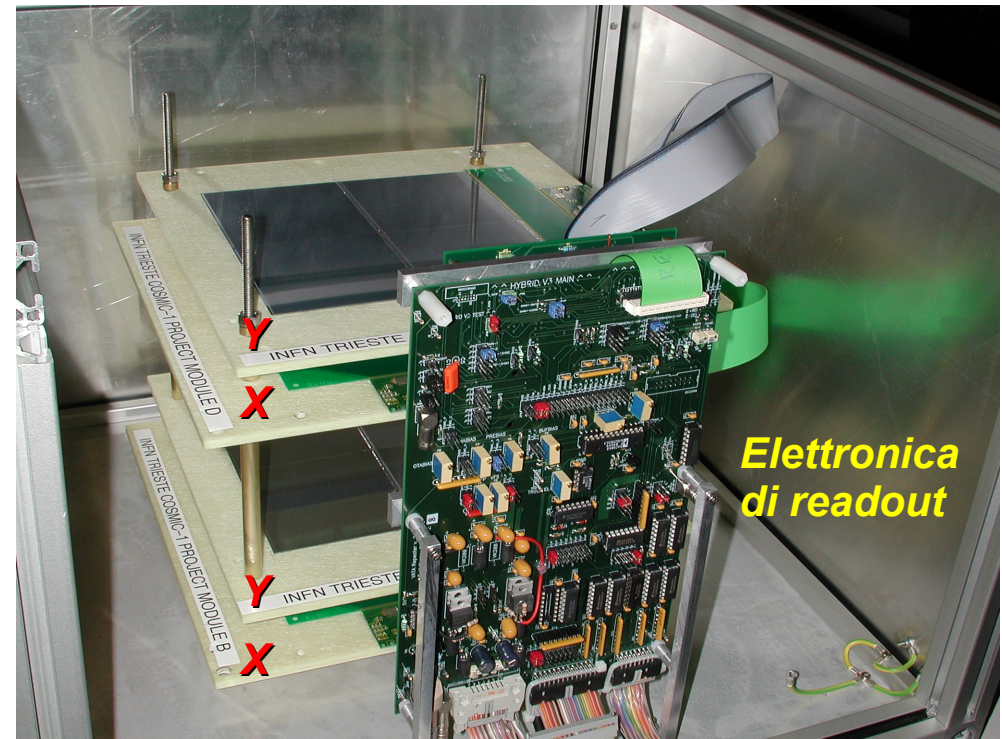
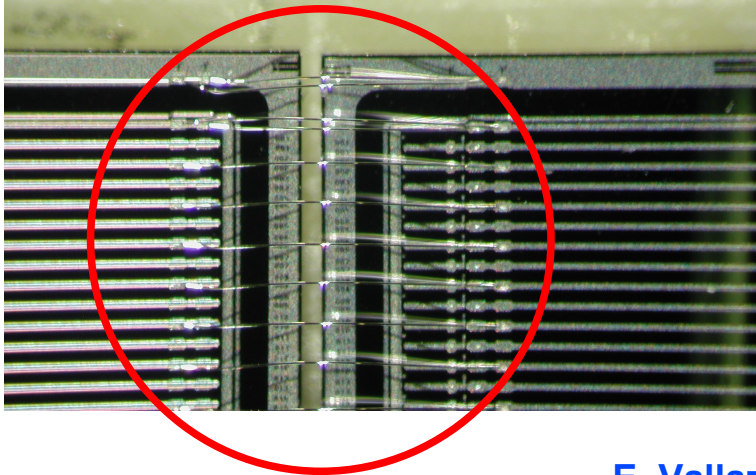


# Nel nostro piccolo: i raggi cosmici visti in barca

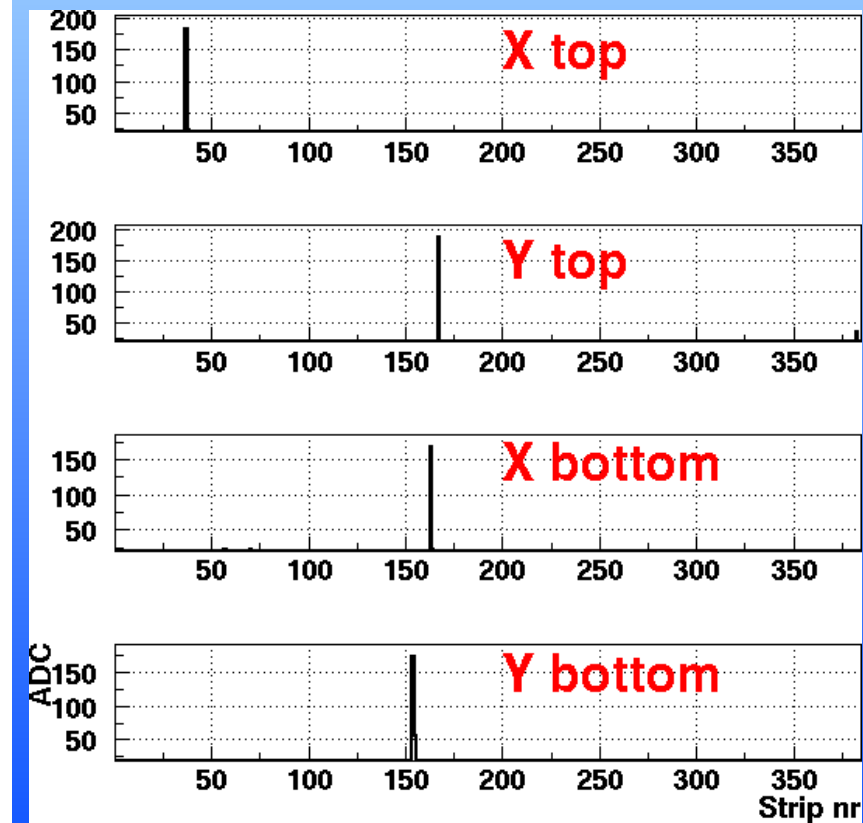
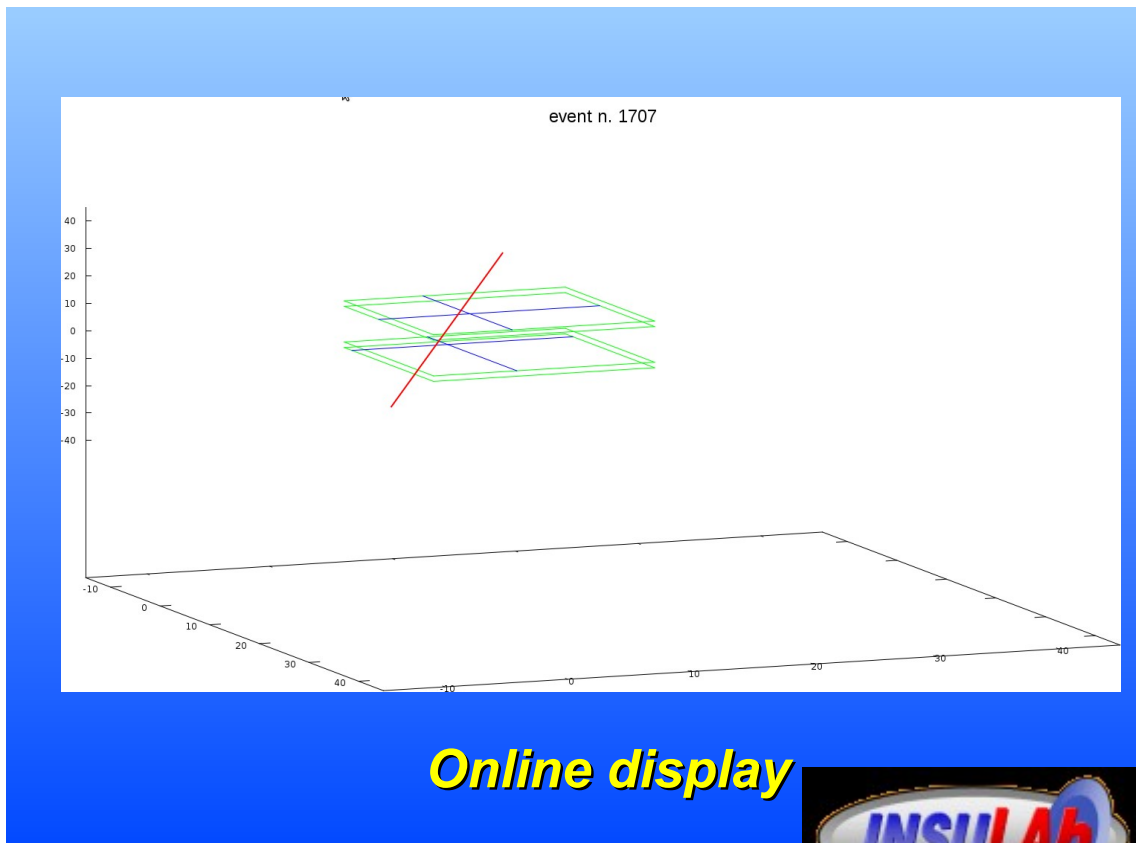


- 4 piani di 4 rivelatori al silicio (quelli di Fermi) di  $8.9 \times 8.9 \text{ cm}^2$  collegati a 2 a 2 (a formare delle mini-ladder)
- I 4 piani sono organizzati in modo x-y
- Ogni mini-ladder ha 384 strip con passo di  $208 \mu\text{m}$  e lunghezza di  $17.8 \text{ cm}$
- Ogni mini-ladder è letta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



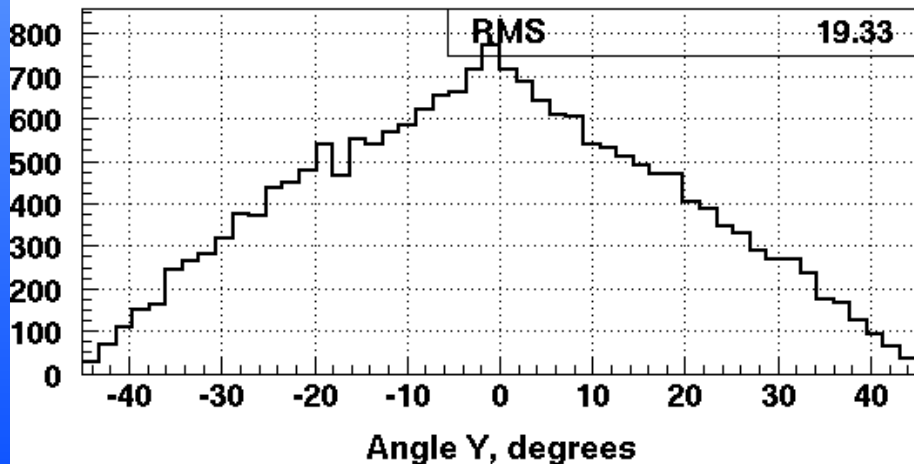
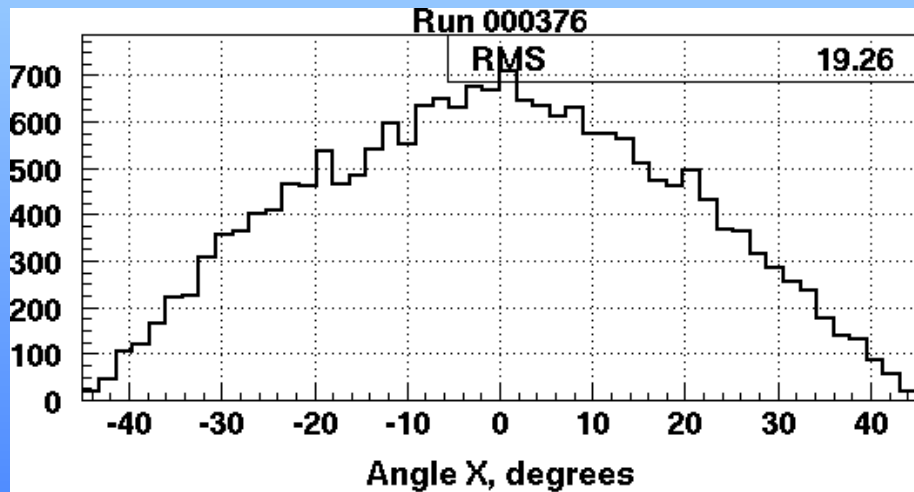
# *E li vediamo proprio!*



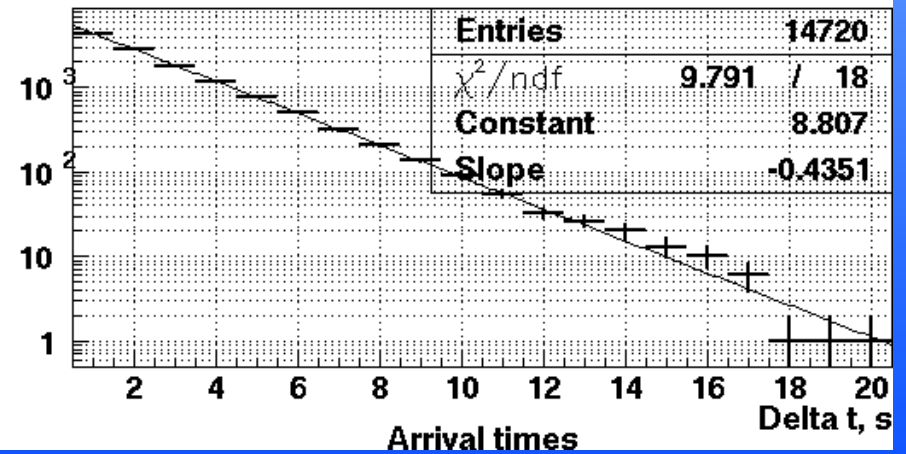
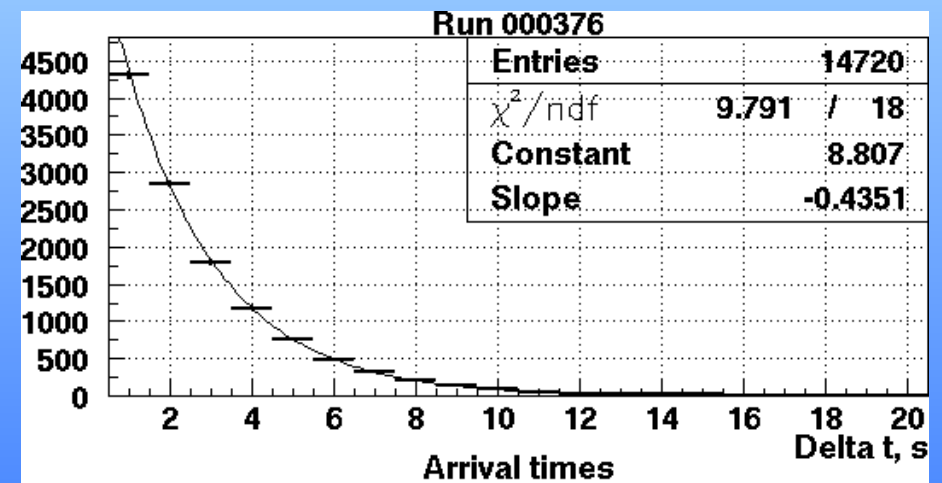
*Hit nei diversi piani*



# Alcuni risultati

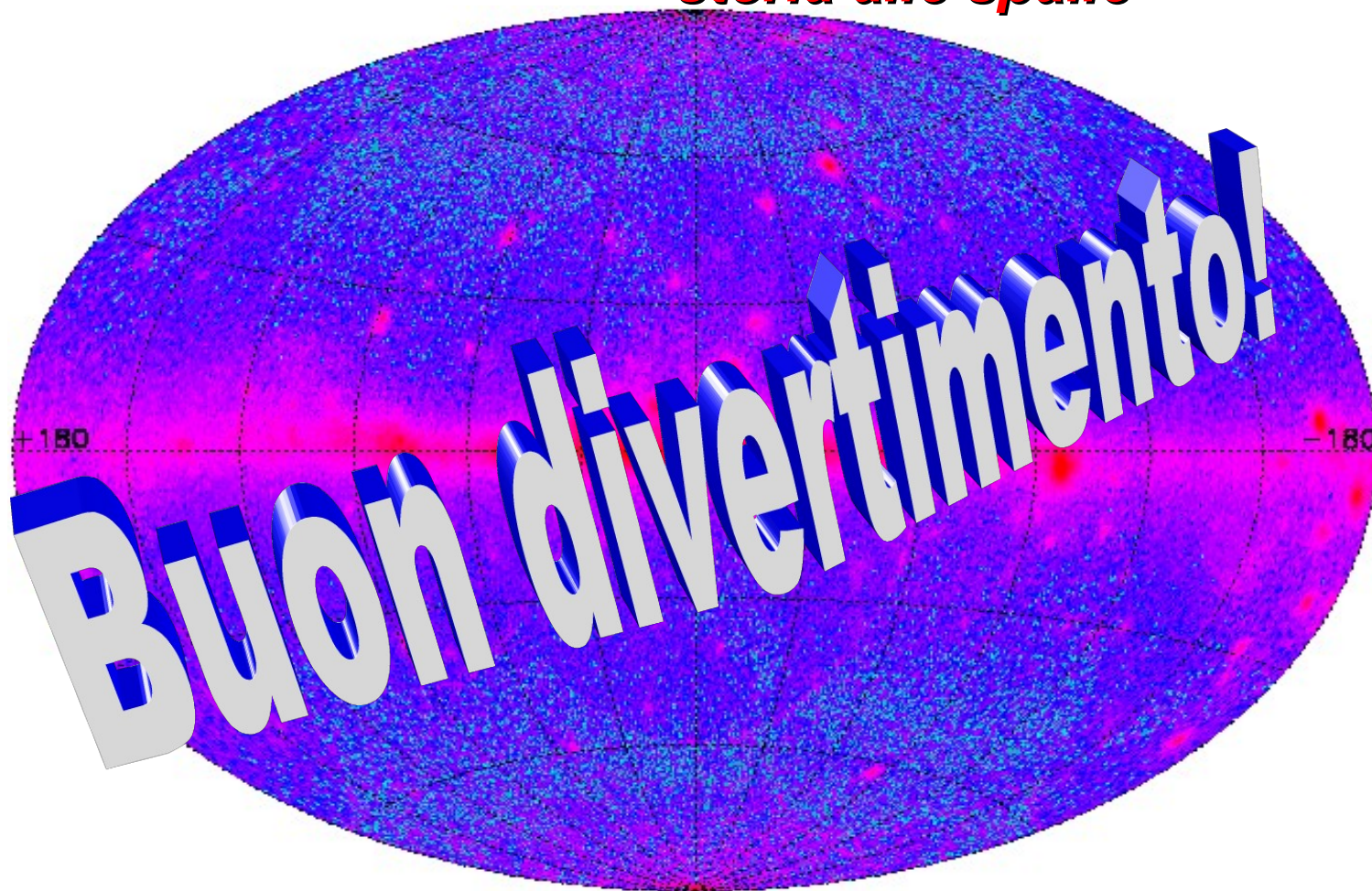


**Distribuzione angolare**



**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)**