

# **La fisica delle particelle (e dei raggi cosmici) a Firenze**

Oscar Adriani

[adriani@fi.infn.it](mailto:adriani@fi.infn.it)

055 4572653

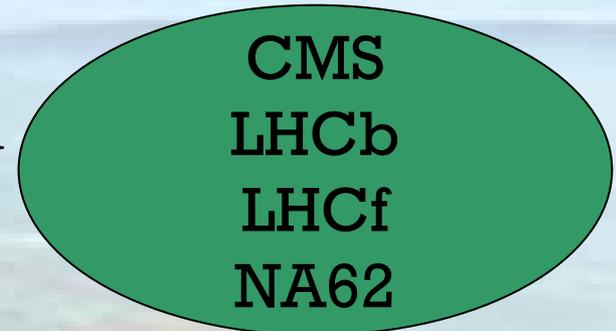
# Diagramma di flusso di un tipico esperimento....



# Le varie attività a Firenze

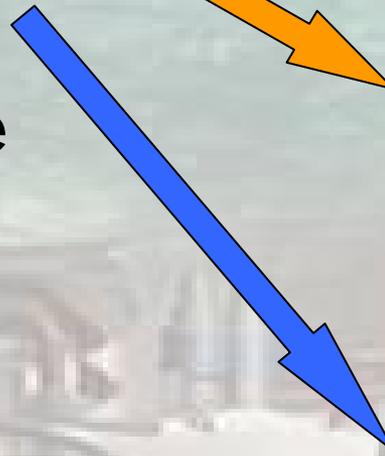
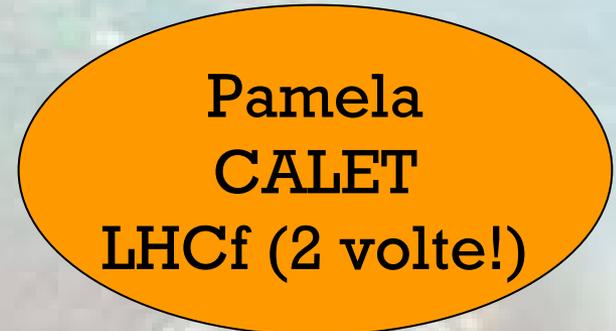
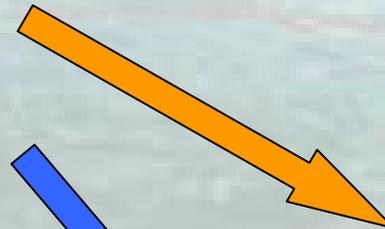
- Campi di Ricerca:

- Acceleratori
- Raggi cosmici
- (Fisica applicata)



- Attività hardware

- Rivelatori
- Elettronica
- DAQ



- Attività software

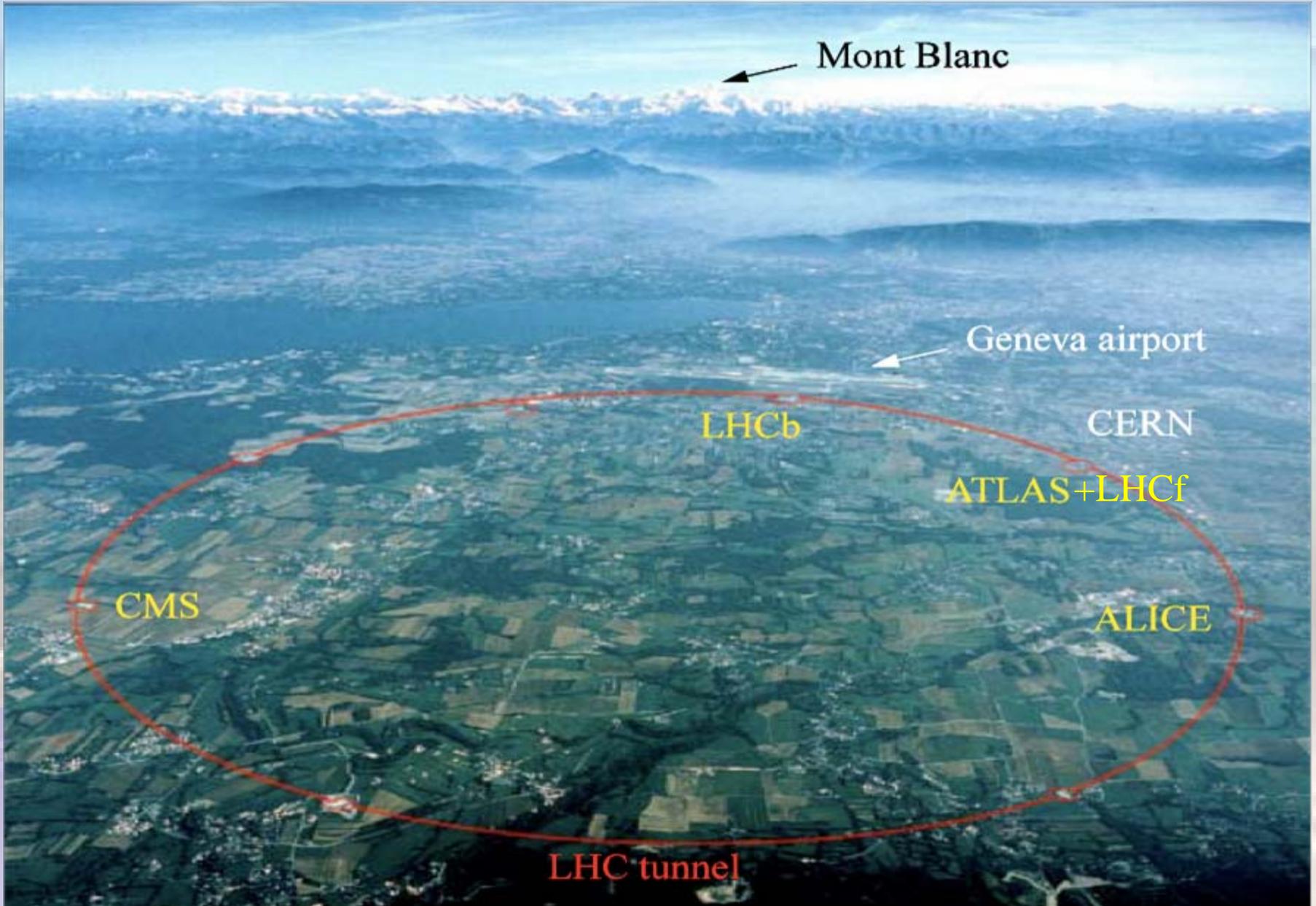
- Simulazione
- Analisi dati

Disponibilità di tesi triennali e specialistiche in tutti i campi

# Acceleratori

A large particle accelerator tunnel, likely the Large Hadron Collider (LHC), is shown. The tunnel is a long, cylindrical structure with a circular track visible in the distance. The track is illuminated with a blue and red glow. The tunnel is surrounded by various structures and equipment, including a large circular structure in the foreground. The background shows a vast, open landscape with mountains in the distance.

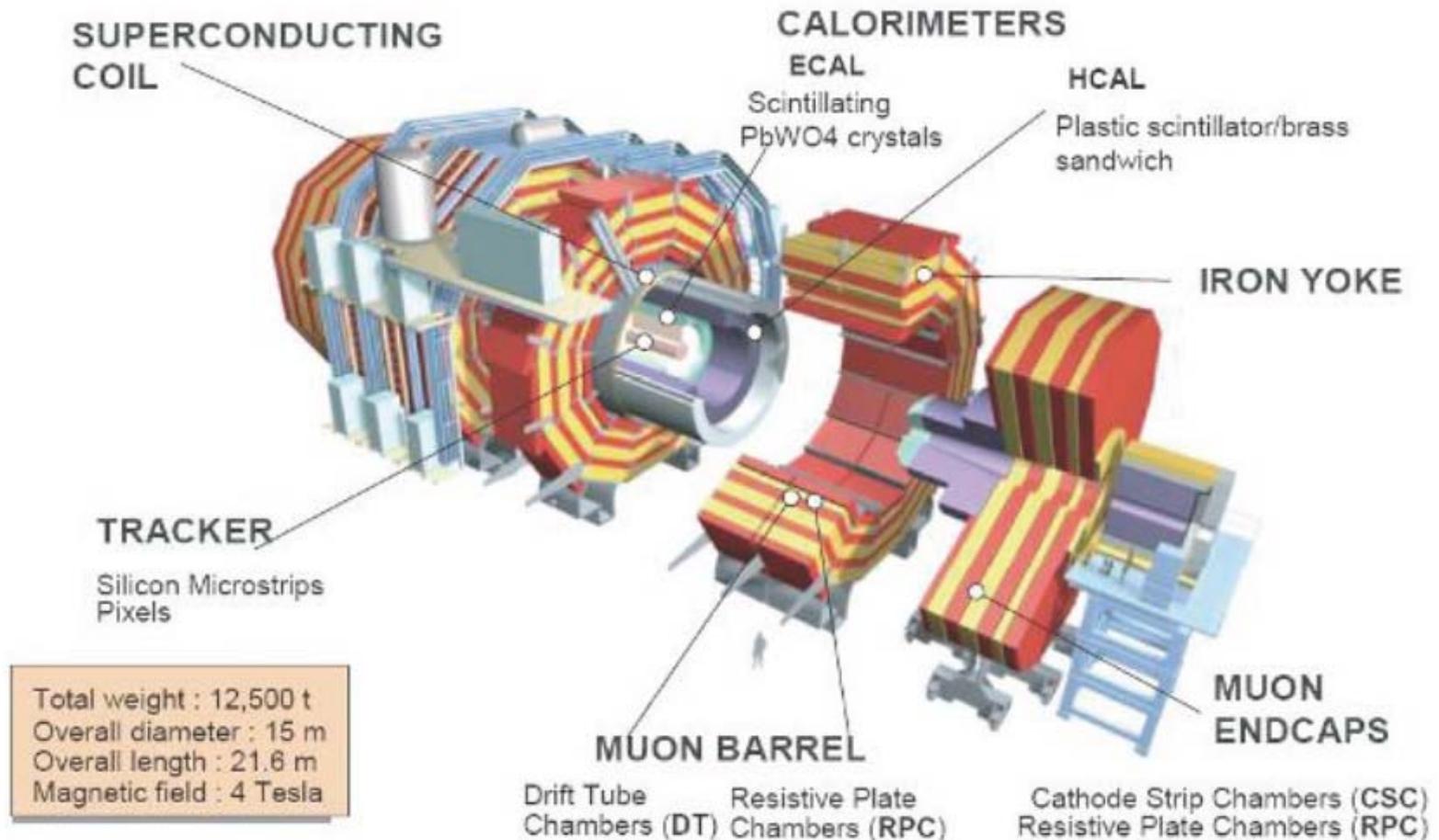
# LHC: collider pp, 7 TeV + 7 TeV, 2009-2010



# CMS - Compact Muon Solenoid

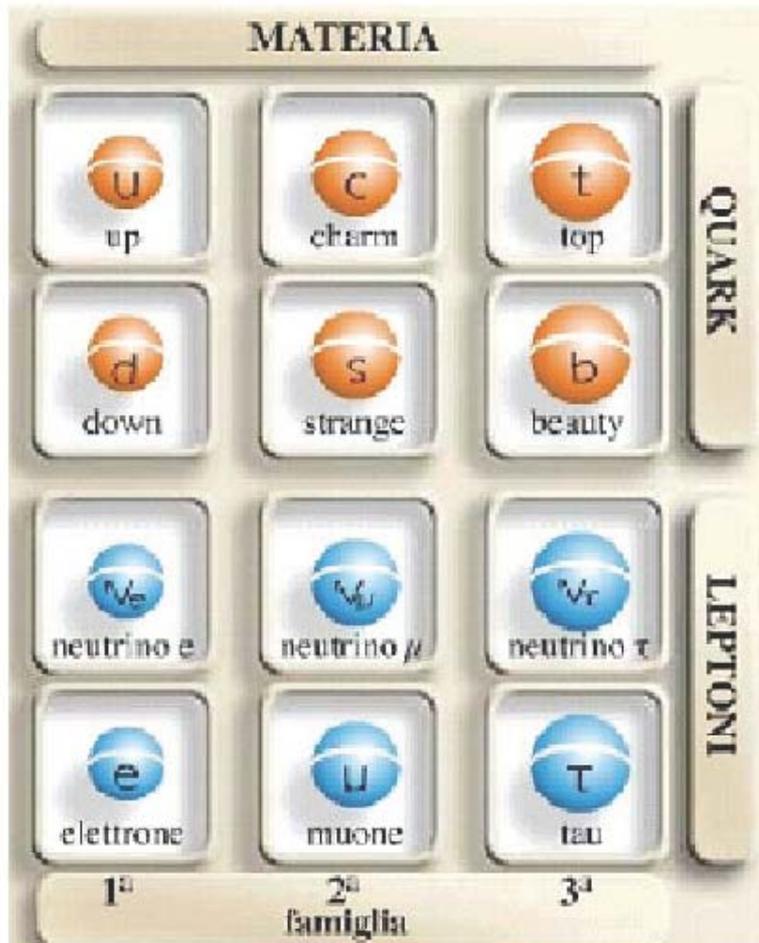
- Magnete solenoidale superconduttore 4 T
- Tracciatore al silicio
- Calorimetro elettromagnetico

- Calorimetro adronico
- Camere a muoni



# Obiettivi di fisica

## Lo stato dell'arte: il Modello Standard

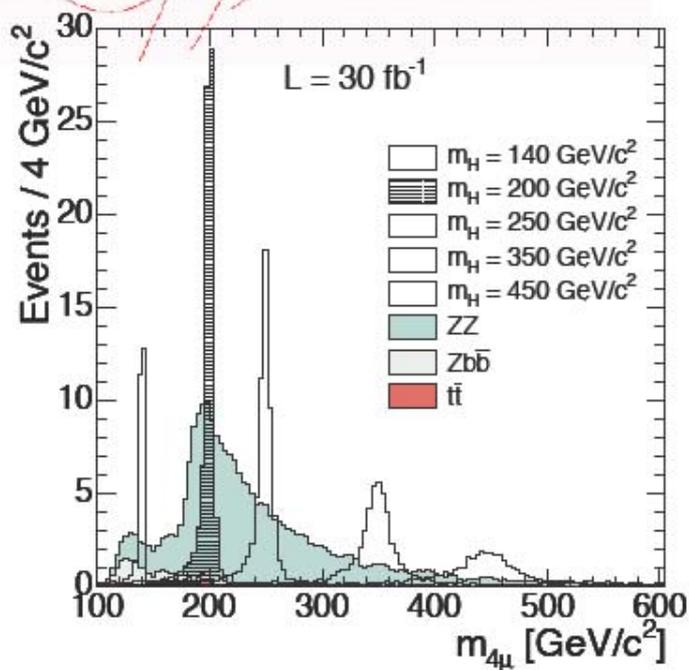
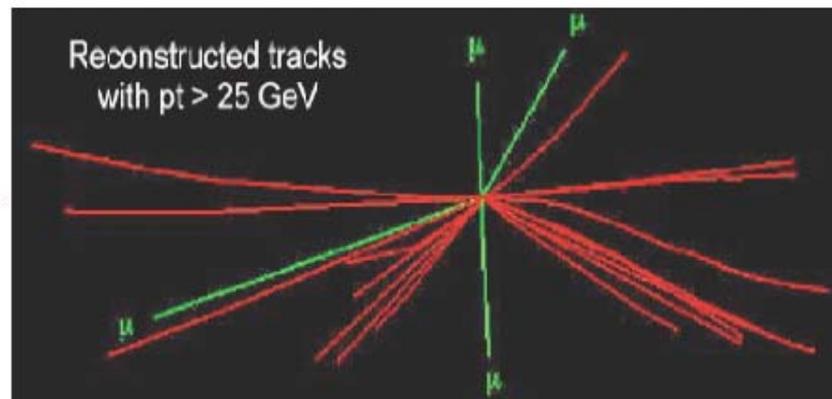
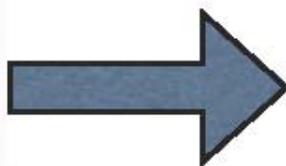
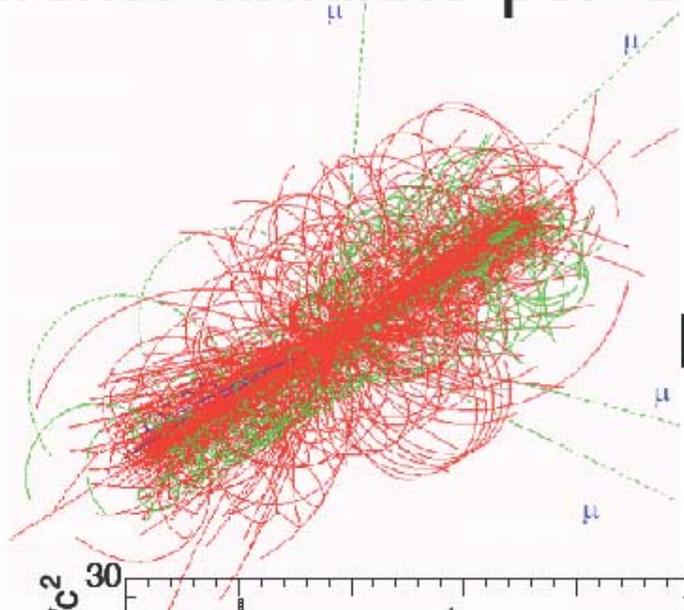


- **Forza Forte:**
  - È responsabile dell'energia di legame di protoni e neutroni
- **Forza Debole:**
  - È responsabile del decadimento  $\beta$  in radioattività
- **Forza Elettromagnetica:**
  - È responsabile dell'interazione coulombiana tra particelle cariche
- **Forza gravitazionale:**
  - È responsabile dell'attrazione fra le masse

# Obiettivi di fisica - Bosone di Higgs

Evento simulato per CMS:

$$pp \rightarrow H \rightarrow ZZ \rightarrow \mu^+ \mu^- \mu^+ \mu^-$$

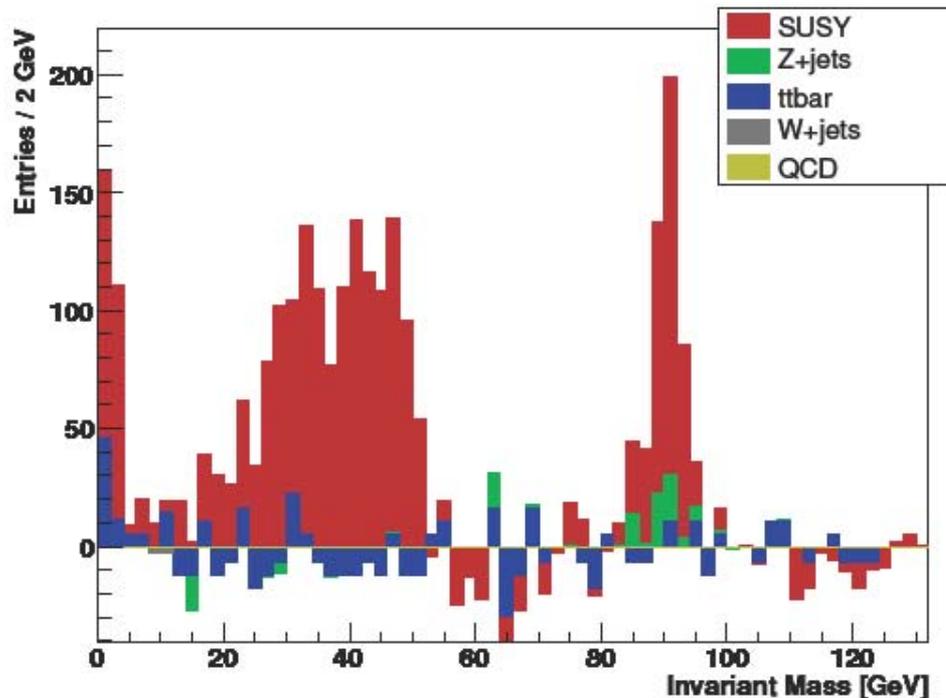


Distribuzione di massa invariante ricostruita per 4 muoni, per una luminosità integrata di  $30 \text{ fb}^{-1}$  (corrispondenti ad un anno e mezzo di presa dati alla luminosità nominale). Sono mostrati il background (istogrammi colorati) e segnali dell'Higgs per diversi possibili valori di massa

# Obiettivi di fisica - SUSY

- Supersimmetria:

Secondo questa teoria, per ogni particella nota dovrebbe esistere una corrispondente super-particella, con stessi numeri quantici eccetto lo spin, che differisce per 1/2 (quindi a fermioni corrispondono bosoni e viceversa) e massa molto maggiore. Il partner supersimmetrico del neutrino, il “neutralino” sarebbe stabile e potrebbe essere un candidato per spiegare la materia oscura dell’universo.



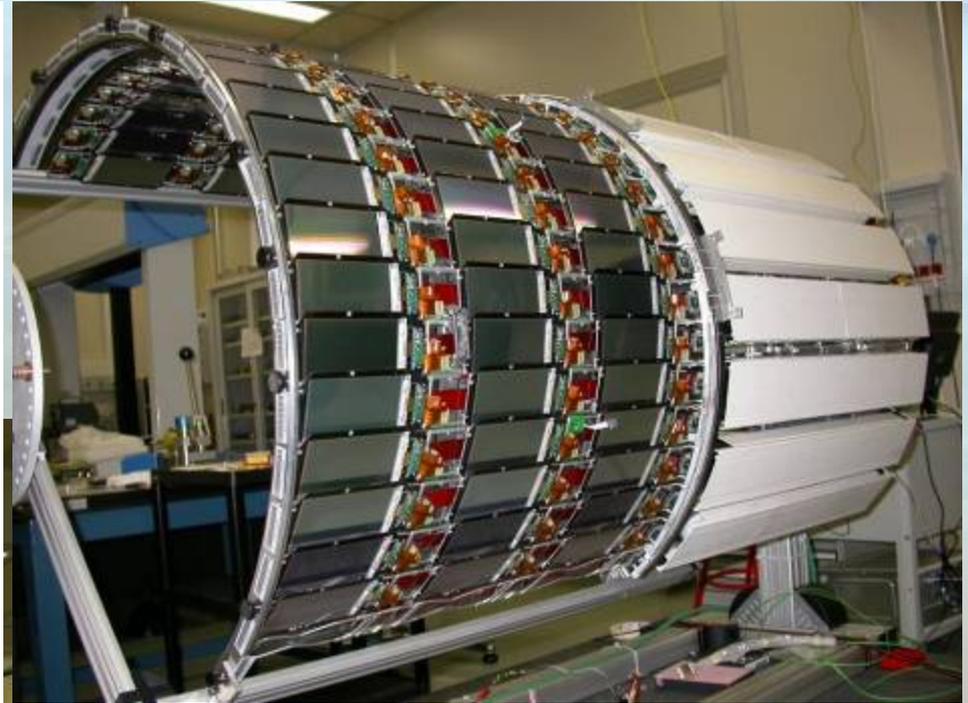
Selezione di segnale SUSY a CMS e confronto con il fondo dopo la selezione. Secondo questo studio la massa prevista per il neutralino è:

$$M = 50.28 \pm 0.64 \text{ GeV}/c^2$$

Il plot è relativo ad una luminosità integrata di  $20 \text{ fb}^{-1}$  (un anno di presa dati alla luminosità nominale)

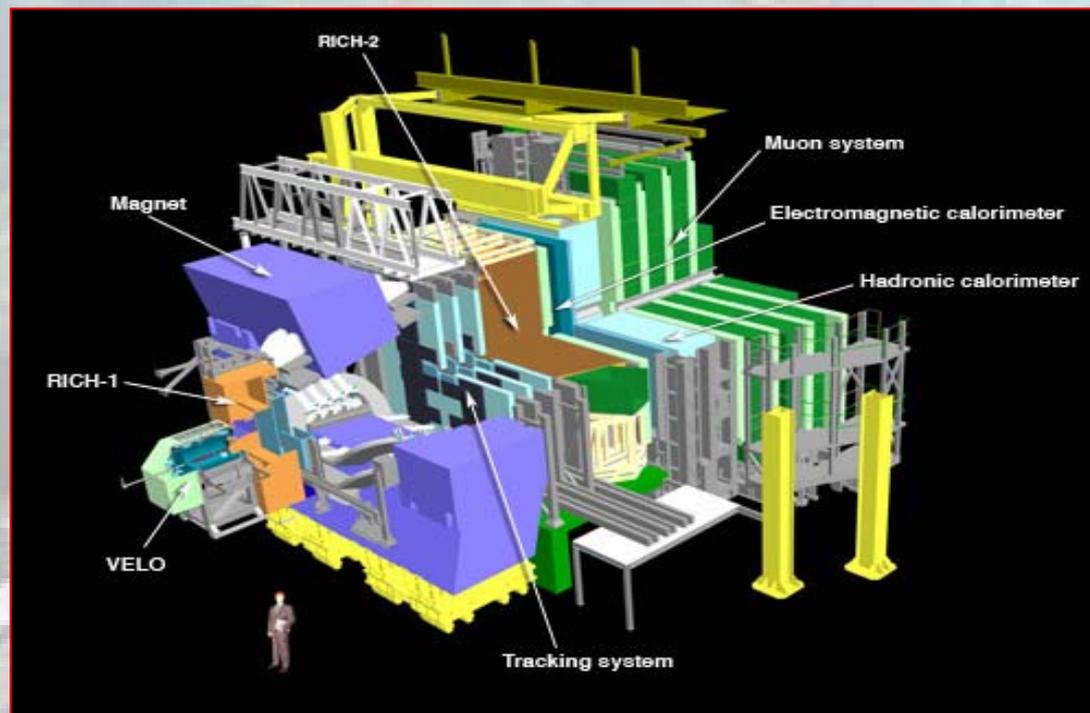
# CMS e i rivelatori al silicio

- Le strutture sono state assemblate a Firenze, ora tutto funzionante nella caverna dell'esperimento
- Molta attività di sviluppo di algoritmi per la ricostruzione dei dati e di procedure per il controllo della qualità dei dati.
- Commissioning e fisica nel 2008!



# LHCb: LHC beauty experiment

- Esperimento dedicato alla scoperta di nuovi fenomeni fisici nelle interazioni tra i quark ad LHC.
- Si studiano principalmente i decadimenti dei mesoni B



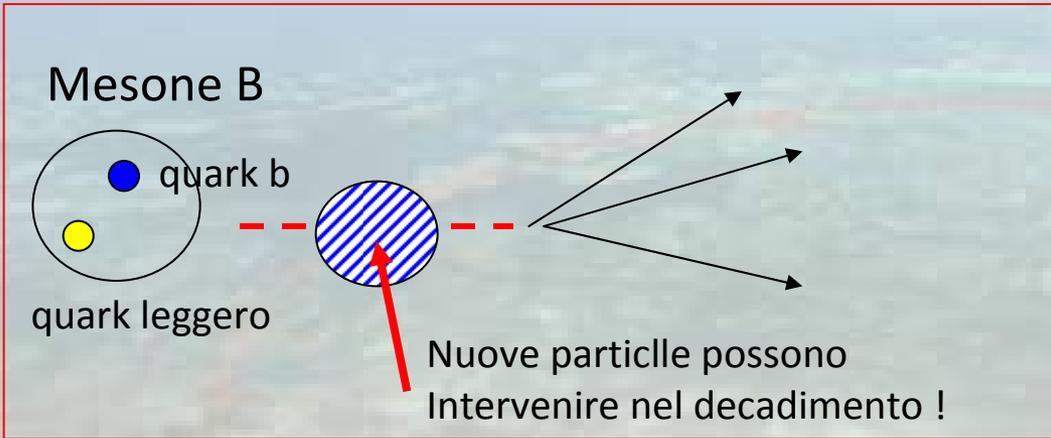
<http://cern.ch/lhcb-public>

[http://lhcb.web.cern.ch/lhcb/News%20of%20pit8/Pictures/LHCbVirtualTour/cern\\_flash.htm](http://lhcb.web.cern.ch/lhcb/News%20of%20pit8/Pictures/LHCbVirtualTour/cern_flash.htm)

# Fisica ad LHCb

- Sappiamo che probabilmente il Modello Standard e' una ottima approssimazione, ad energie "basse" ( $< \sim 1 \text{ TeV}$ ), di una teoria delle particelle elementari piu' generale valida ad una scala di energia dell'ordine dei TeV.
- Molti modelli teorici piu' generali del Modello Standard (ad es. la Supersimmetria) prevedono l'esistenza di nuove particelle. Queste si possono scoprire in due modi
  - diretto: in collisioni ad altissima energia (Atlas, CMS)
  - indiretto: in esperimenti ad altissima intensita' studiando ad esempio decadimenti rarissimi :**LHCb**

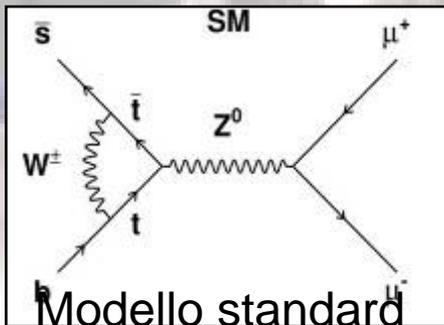
# Scoperta di nuove particelle in modo indiretto



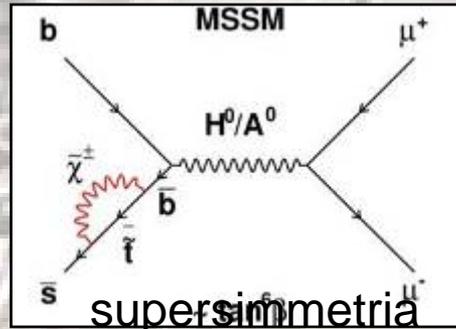
Esempio: decadimento di un mesone.  
 La previsione dell'ampiezza di decadimento fatta con il Modello Standard (= con la fisica che conosciamo) puo' essere "sbagliata" se nei diagrammi di Feynman intervengono nuove particelle !

Esempio: decadimento del mesone  $B_s$  in  $\mu^+\mu^-$

Modello Standard:  
 $Br = 10^{-9}$



+

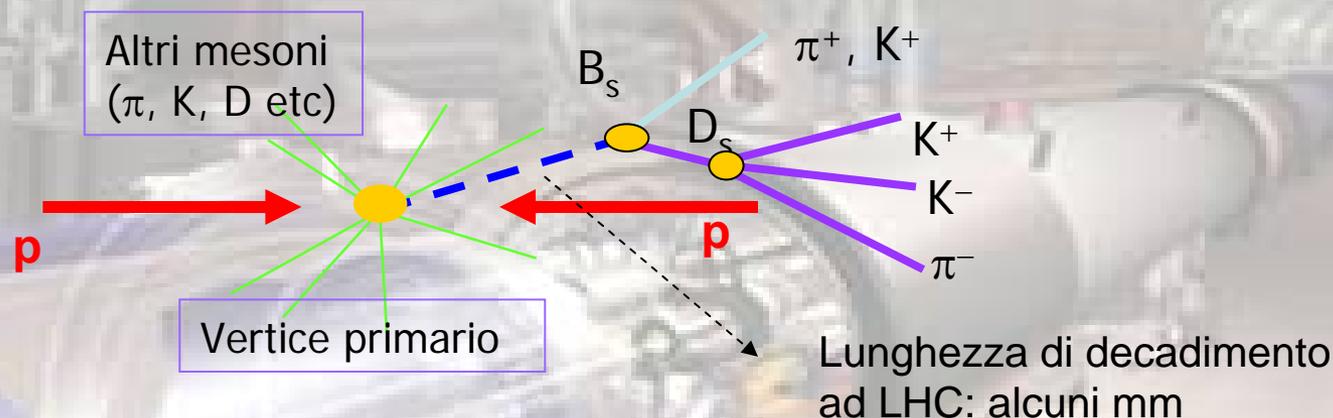


Supersimmetria  
 $Br > 10^{-8}$  ?

# Perche' i mesoni B ?

## Perche' LHCb studia i mesoni B per fare scoperte "indirette"?

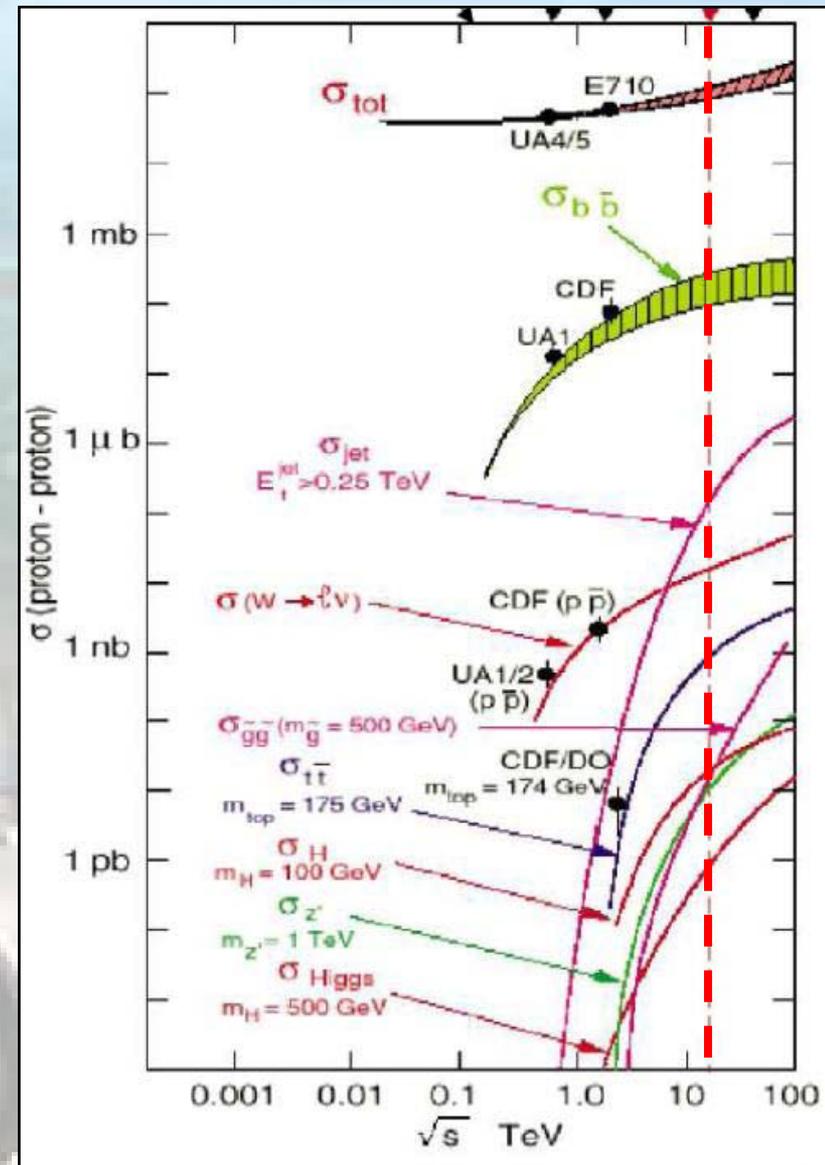
- Le previsioni teoriche sono abbastanza precise  $\Rightarrow$  confronto Modello Standard  $\Leftrightarrow$  nuove teorie piu' accurate!
- I mesoni B sono "facili" da identificare perche' hanno vita media lunga ( $\sim 1.5$  ps)



# Perche' LHC ?

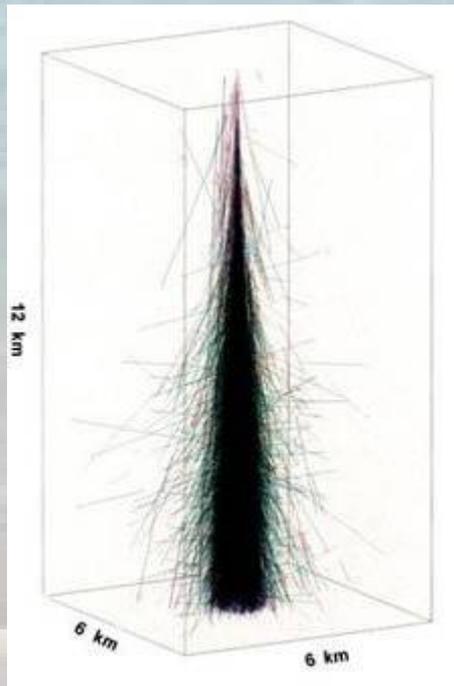
## Perche' LHCb studia i mesoni B ad LHC?

- LHC e' una perfetta b-factory!
  - Sezione d'urto pp  $\rightarrow$  bb = 0.5 mb
- **mesoni B raccolti da LHCb**  
**in un anno:  $10^{12}$  !!**



# LHCf

- Un interessante link tra la fisica agli acceleratori e la fisica dei raggi cosmici!
- Misure all'acceleratore più energetico per capire le misure dei raggi cosmici più energetici!!!
  - 7+7 TeV nel c.m. →  $10^{17}$  eV nel laboratorio

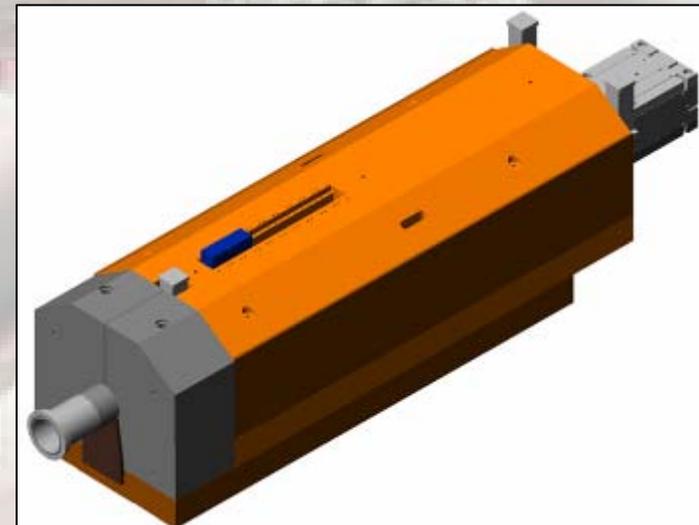
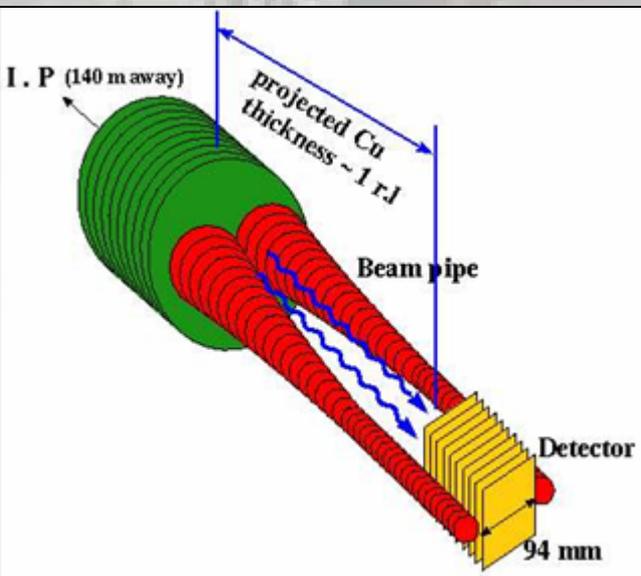


*Simulazione di uno  
sciame atmosferico  
prodotto da un protone  
di  $10^{19}$  eV*

La misura diretta della sezione d'urto di produzione di  $\pi$  a piccolissimo angolo è essenziale per stimare correttamente l'energia del raggio cosmico primario (LHC:  $10^{17}$  eV)

# Metodo sperimentale:

## 2 rivelatori indipendenti a 140 m dal punto di interazione



# I due rivelatori

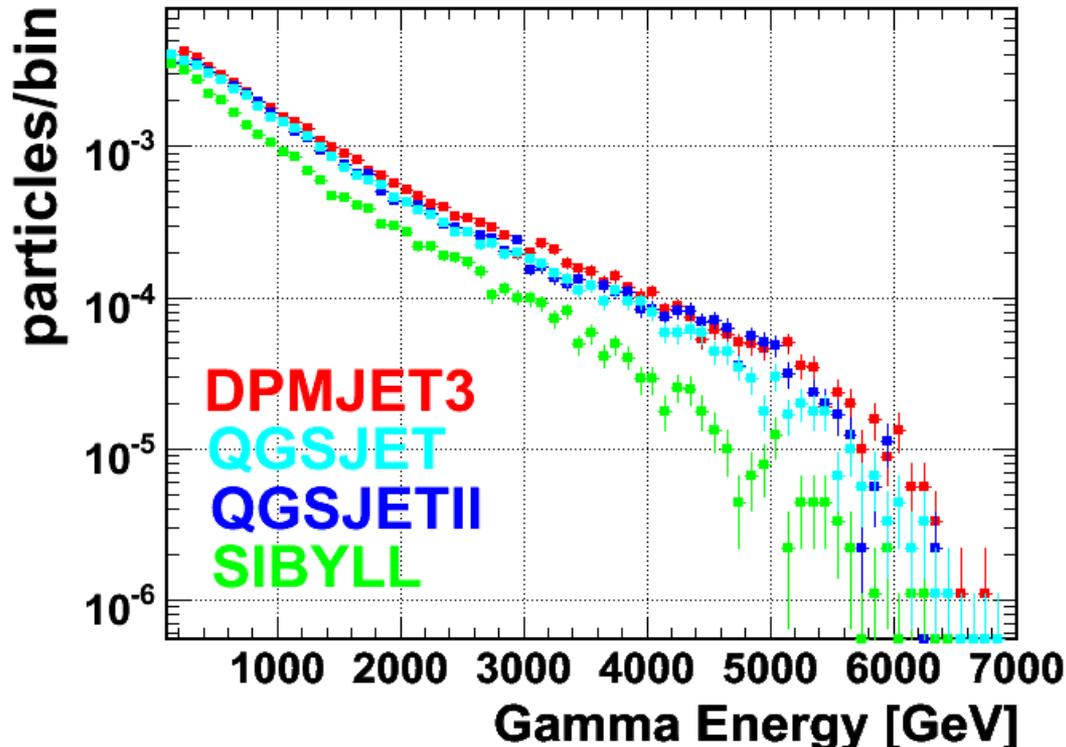


# Cosa ci si aspetta dai vari modelli per lo spettro energetico di $\gamma$ e neutroni?

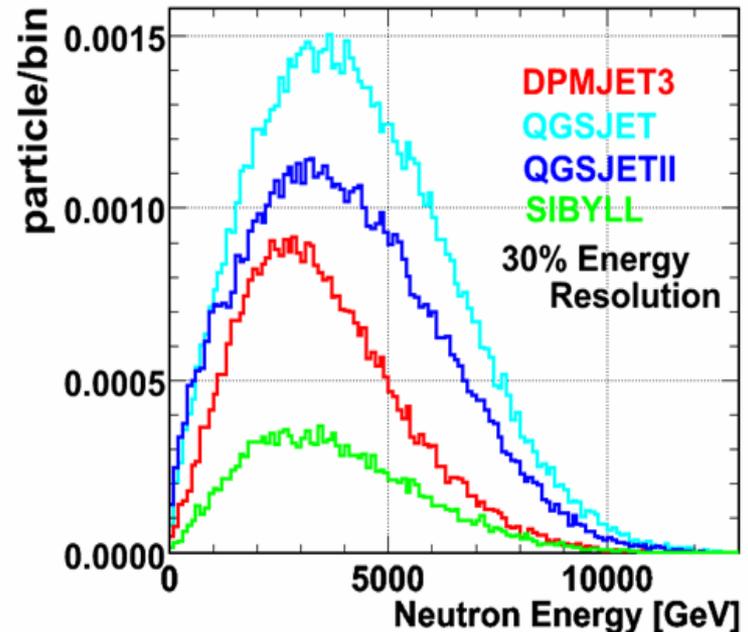
$10^6$  interazioni di LHC  $\rightarrow$

1 minuto di esposizione a una luminosità di  $@10^{29} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$   
è sufficiente per discriminare i vari modelli

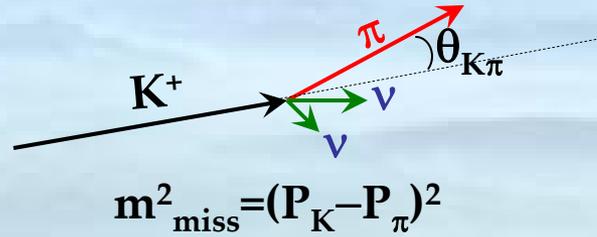
## Gamma Energy Spectrum of 20mm square at Beam Center



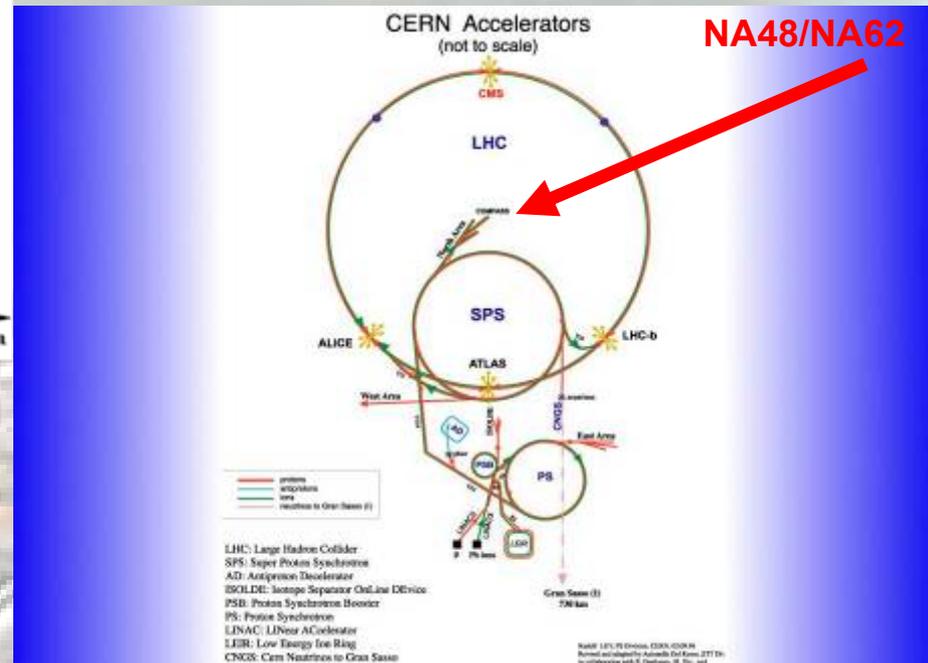
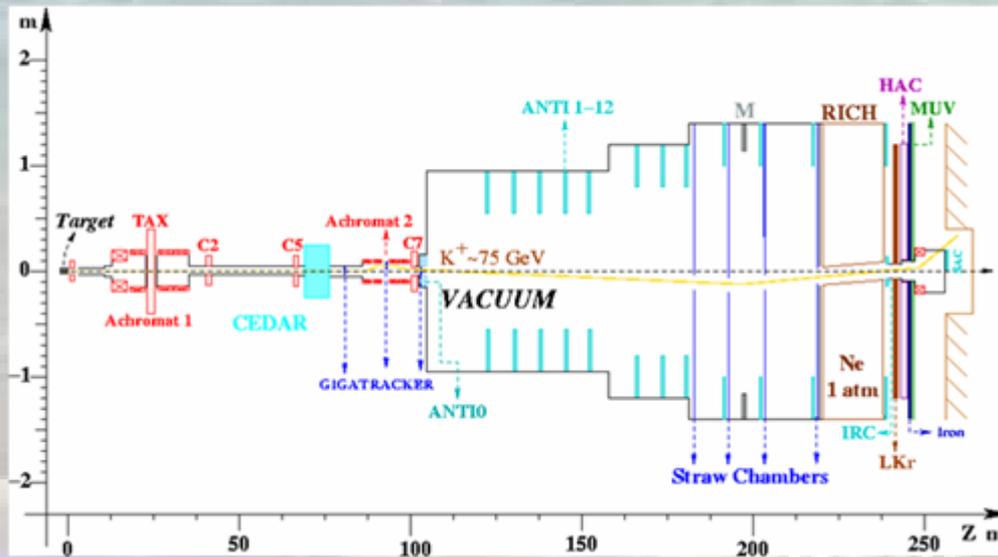
## Neutron Energy Spectrum of 20mm Calorimeter at beam center



# CERN: NA62



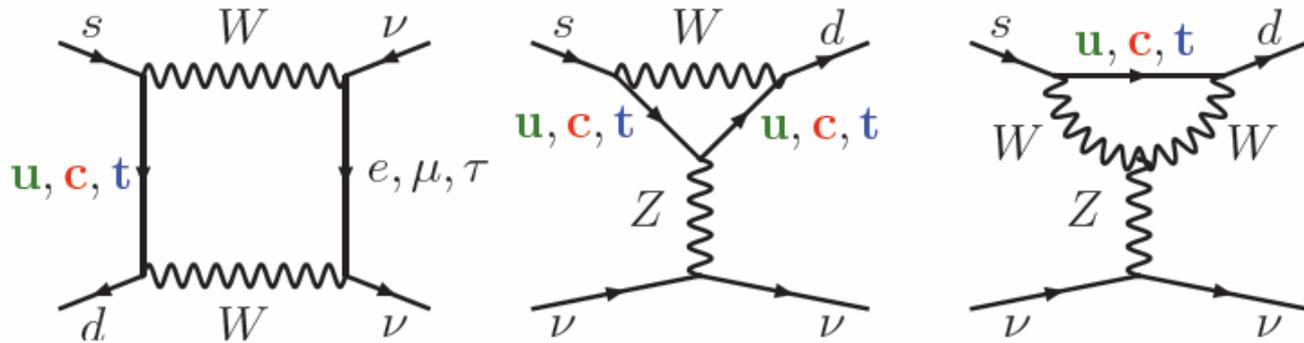
La frontiera della Fisica Ultra-rara:  
1 evento di segnale ogni  $10^{-10}$  decadimenti



# $K \rightarrow \pi \nu \nu$

$K$ : mesoni strani, con quark  $s$

$\pi$ : mesoni leggeri non strani, con quarks  $u$  e  $d$



A livello di quark:  
 $s \rightarrow u, d$

• Dominant Operator:  $Q_\nu = (\bar{s}_L \gamma_\mu d_L)(\bar{\nu}_L \gamma^\mu \nu_L)$

- Teoricamente molto pulito
- Sensibile a  $V_{td}$
- Molto sensibile a fenomeni di Nuova Fisica

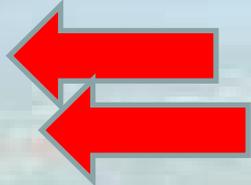
■ Attualmente (E787/949):  $BR(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu) = 1.73^{+1.15}_{-1.05} \times 10^{-10}$   
con 7 eventi

Necessità di una misura al 10% (100 events)  $\sim 10^{13}$  decadimenti di  $K^+$

# I fondi: decadimenti del $K^+$



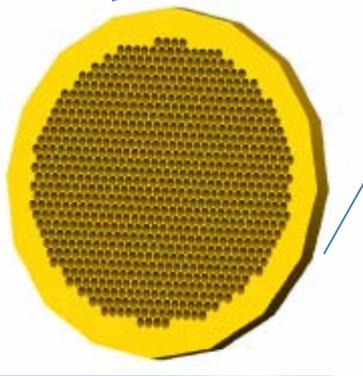
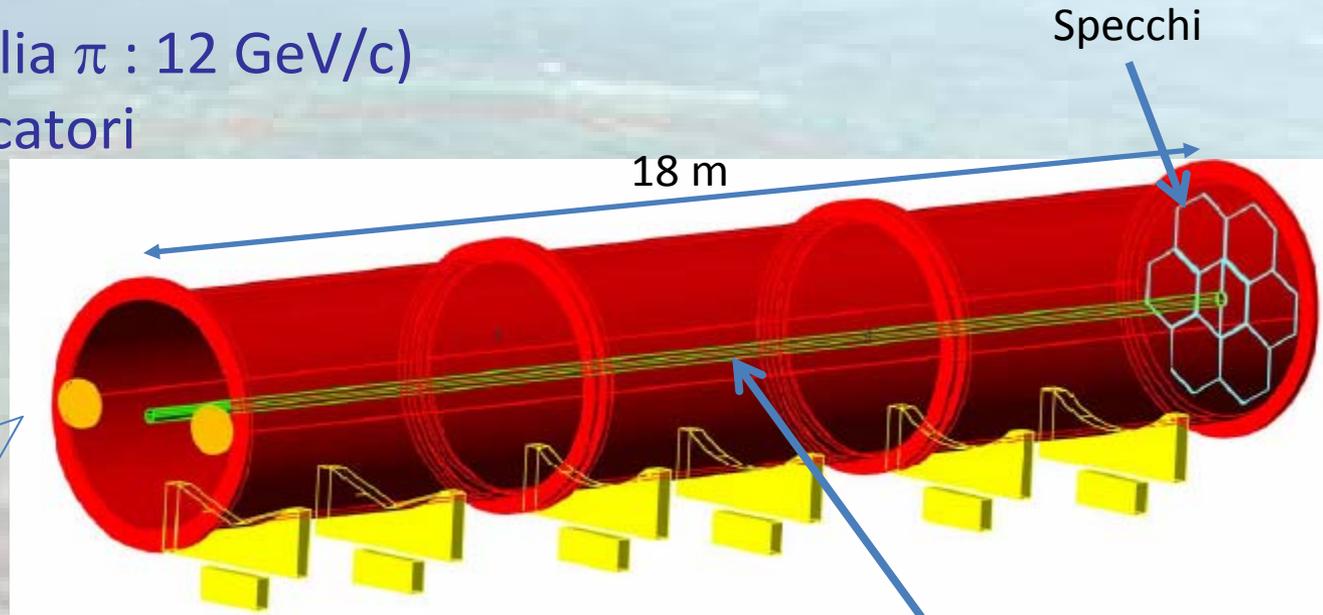
Decay	BR
$\mu^+\nu$ ( $K_{\mu 2}$ )	63.5%
$\pi^+\pi^0$ ( $K_{\pi 2}$ )	20.7%
$\pi^+\pi^+\pi^-$	5.6%
$\pi^0e^+\nu$ ( $K_{e 3}$ )	5.1%
$\pi^0\mu^+\nu$ ( $K_{\mu 3}$ )	3.3%
$\pi^+\pi^0\pi^0$	1.8%
$\mu^+\nu\gamma$ ( $K_{\mu 2\gamma}$ )	0.62%
$\pi^+\pi^0\gamma$	$2.7 \times 10^{-4}$
$\pi^+\pi^-e^+\nu$ ( $K_{e 4}$ )	$4.1 \times 10^{-5}$
$\pi^0\pi^0e^+\nu$ ( $K_{e 4}^{00}$ )	$2.2 \times 10^{-5}$
$e^+\nu$ ( $K_{e 2}$ )	$1.5 \times 10^{-5}$
$\pi^+\pi^-\mu^+\nu$ ( $K_{\mu 4}$ )	$1.4 \times 10^{-5}$



- Per ridurre i fondi occorre separare mesoni  $\pi$  da leptoni  $\mu$
- Si utilizza l'effetto Cherenkov: l'angolo della luce emessa dalla particella dipende dalla sua velocità
- Un RICH è un rivelatore Cherenkov molto avanzato

$\pi$ - $\mu$  separazione tra 15-35 GeV/c

- Neon a 1 atm (soglia  $\pi$  : 12 GeV/c)
- 2000 Fotomoltiplicatori
- 18 mm larghezza
- 100 ps



PMT: Hamamatsu R7400 U03

Tubo del fascio

Specchi

18 m

# Raggi Cosmici

1. Si studiano molto meglio nello spazio!
2. Sono un mezzo per studiare molte cose:

- **Astrofisica**
  - Produzione
  - Accelerazione
  - Trasporto
  - ...
- **Fisica fondamentale**
  - **Materia oscura???**
- **Fisica solare e Fisica terrestre**
  - Flares solari
  - Modulazione solare
  - Magnetosfera e campo magnetico terrestre

# Pamela

↑  
1.2 m  
↓



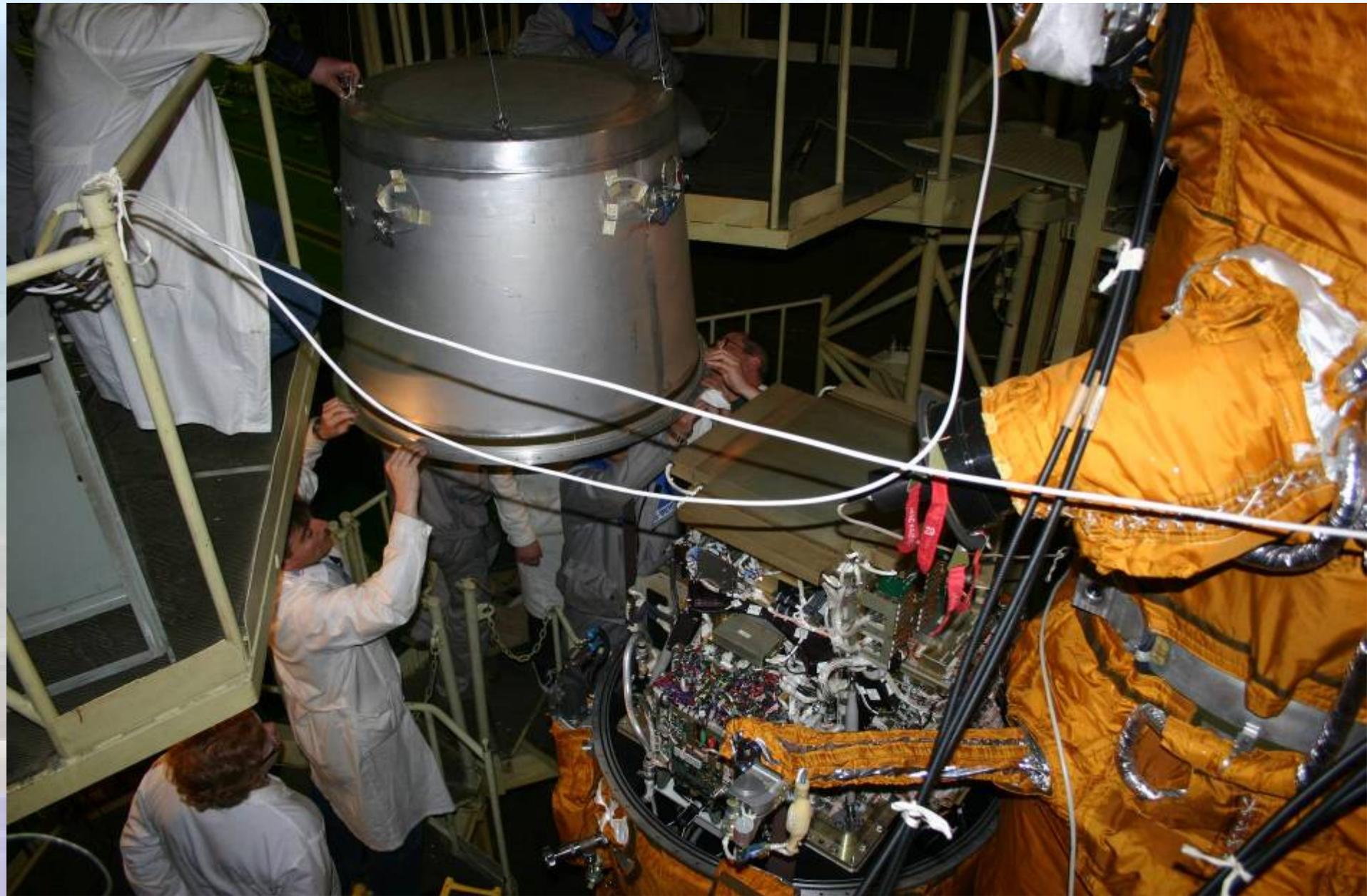
$$\frac{\bar{p}}{p} \sim O(10^{-4})$$

$$\frac{e^+}{e^-} \sim O(0.1)$$

$$\frac{p}{e^-} \sim O(200)$$

Massa ~450 kg Potenza ~360 W Fattore geometrico ~20.5 cm<sup>2</sup>sr

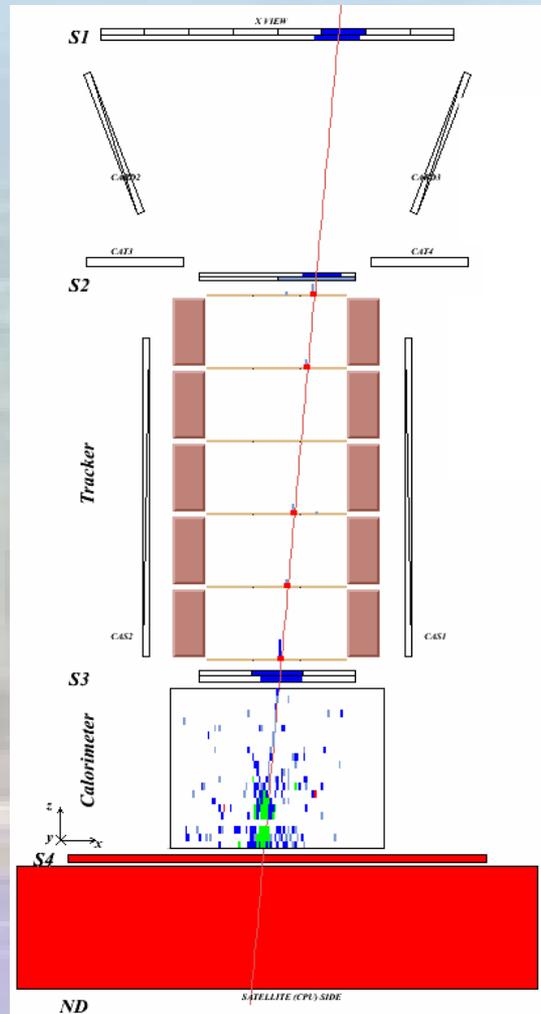




**Lancio: 15 Giugno 2006**



# Identificazione di particelle con PAMELA



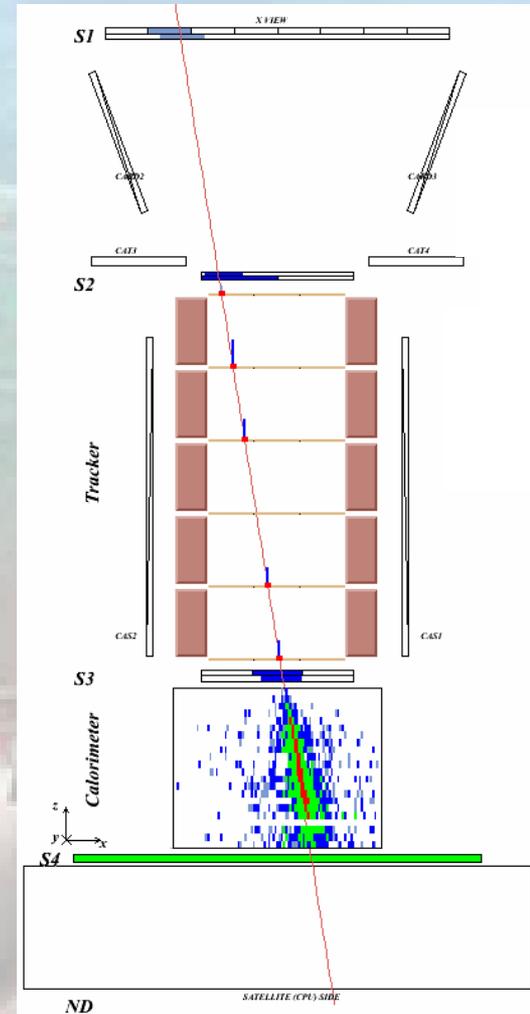
**Antiprotone**  
(NB:  $e^-/\bar{p} \sim 10^2$ )

**Tempo di volo:**  
trigger,  
eliminazione di  
particelle dal  
basso, misura  
di massa fino a  
1 GeV

**Curvatura nel  
campo B:**  
segno della  
carica

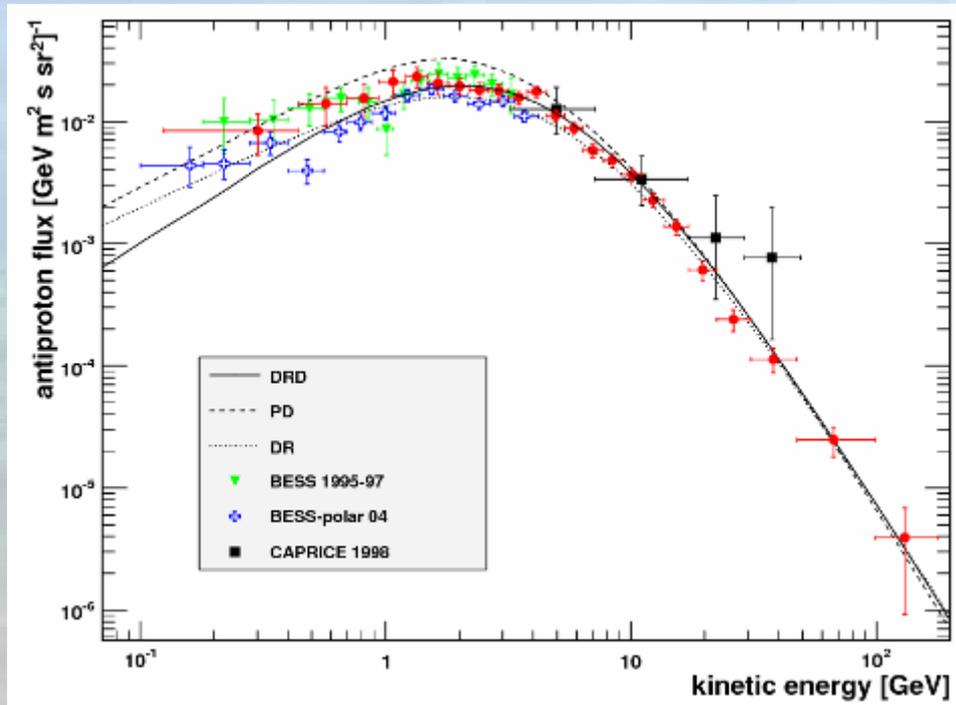
**dE/dx:**  
valore assoluto  
della carica

**Pattern di  
interazione nel  
calorimetro:**  
separazione  
elettrone-  
protone, misura  
di energia per  
elettroni



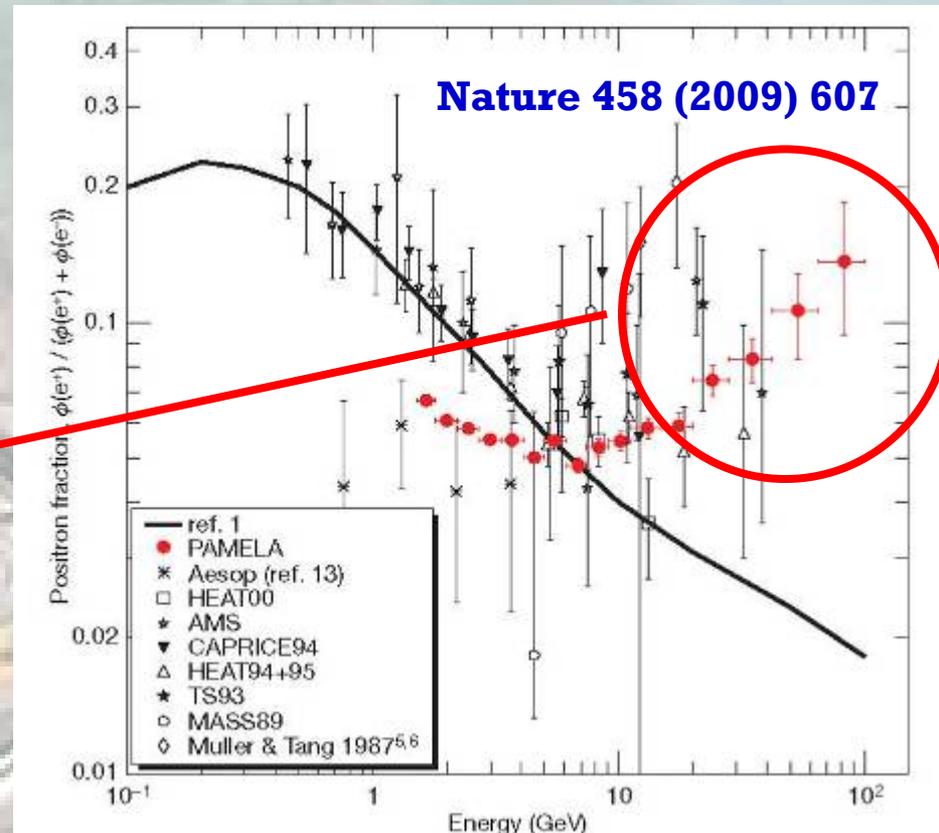
**Positrone**  
(NB:  $p/e^+ \sim 10^{3-4}$ )

# Flusso di Antiprotoni



$$e^+ / (e^+ + e^-)$$

Eccesso ad alta energia  
molto significativo ed  
importante!!!!

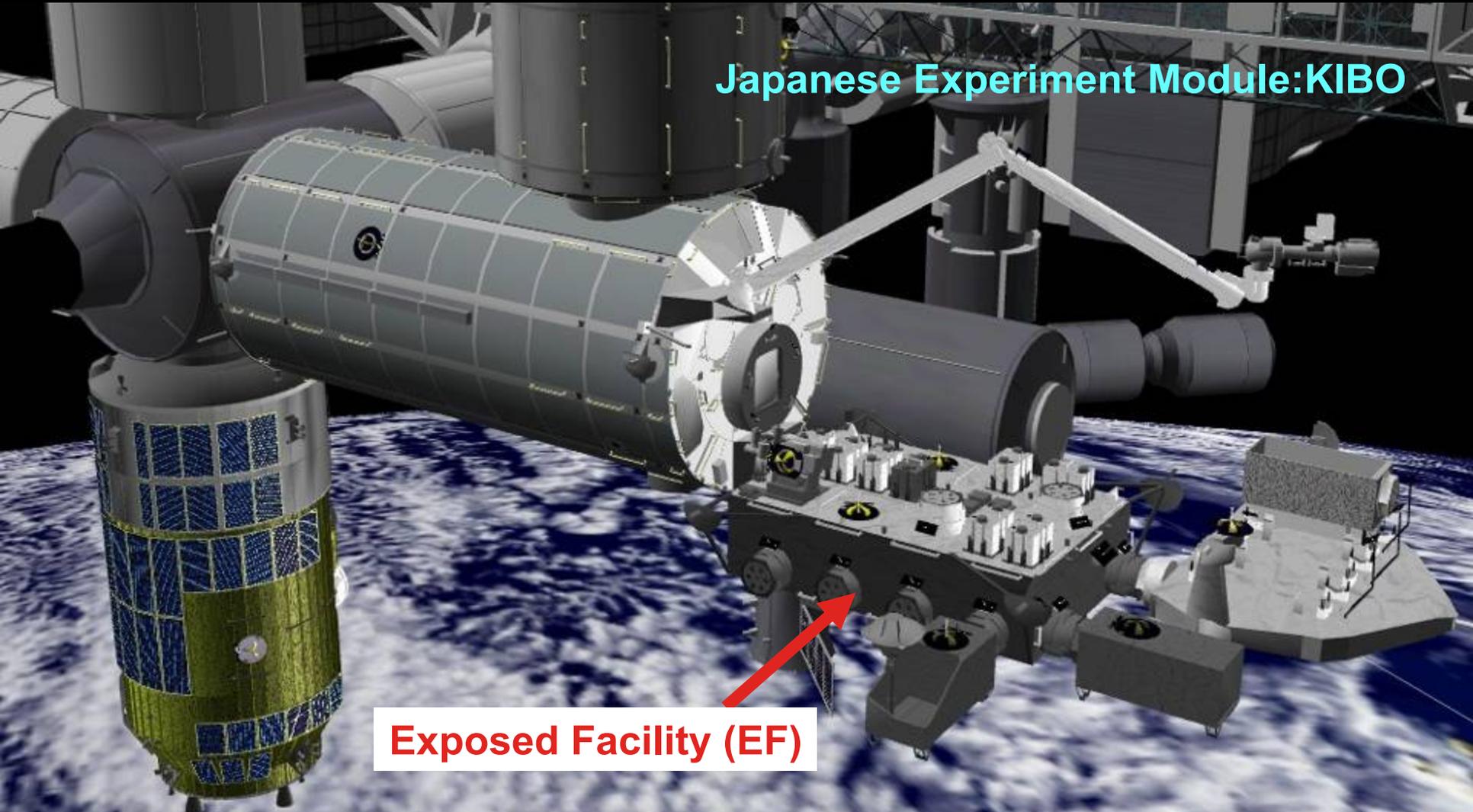


# CALET: Calorimetric Electron Telescope

ISS 2014

Japanese Experiment Module: KIBO

Exposed Facility (EF)

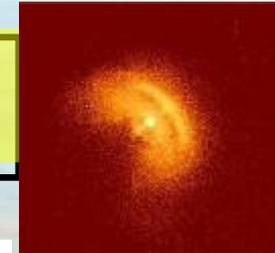


# Osservazione di elettroni con CALET

Possibili sorgenti vicine

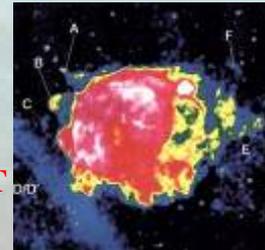
- $T < 10^5$  years
- $L < 1$  kpc

Misure precise dello spettro di elettroni  
 Ricerca di sorgenti vicine di elettroni  
 sopra 10 GeV per studiare i modelli di elettroni  
 di alta energia (SNR) dello spettro di  
 accelerazione e propagazione in vicine  
 elettroni al di sopra del TeV  
**Pulsars vicine e/o Materia oscura**



Vela  
 10,000 years  
 820 ly

Chandra

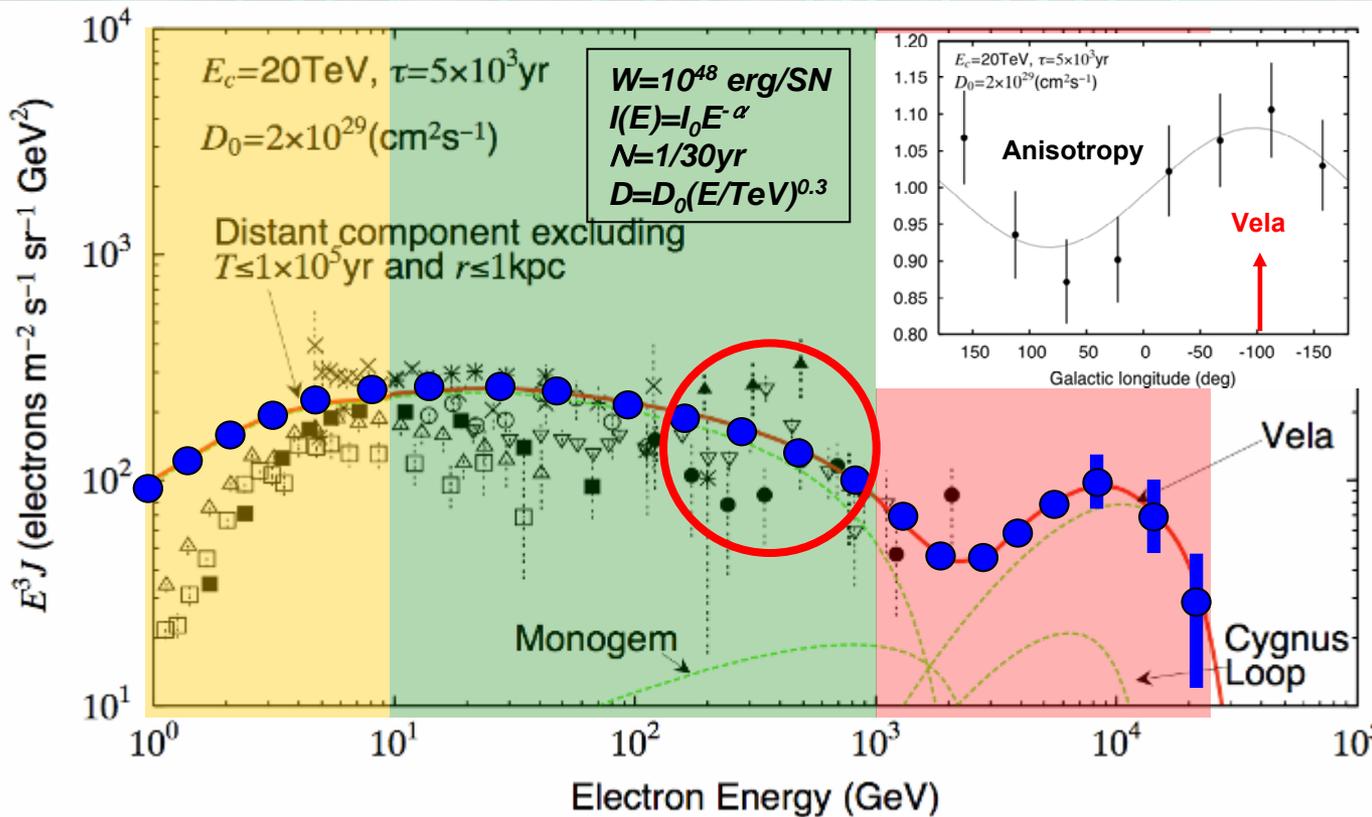
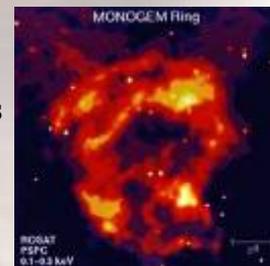


ROSAT

Cygnus Loop  
 20,000 years  
 2,500 ly



Monogem  
 86,000 years  
 1,000 ly



# Struttura di CALET

## Silicon Array (SIA, Contributo italiano)

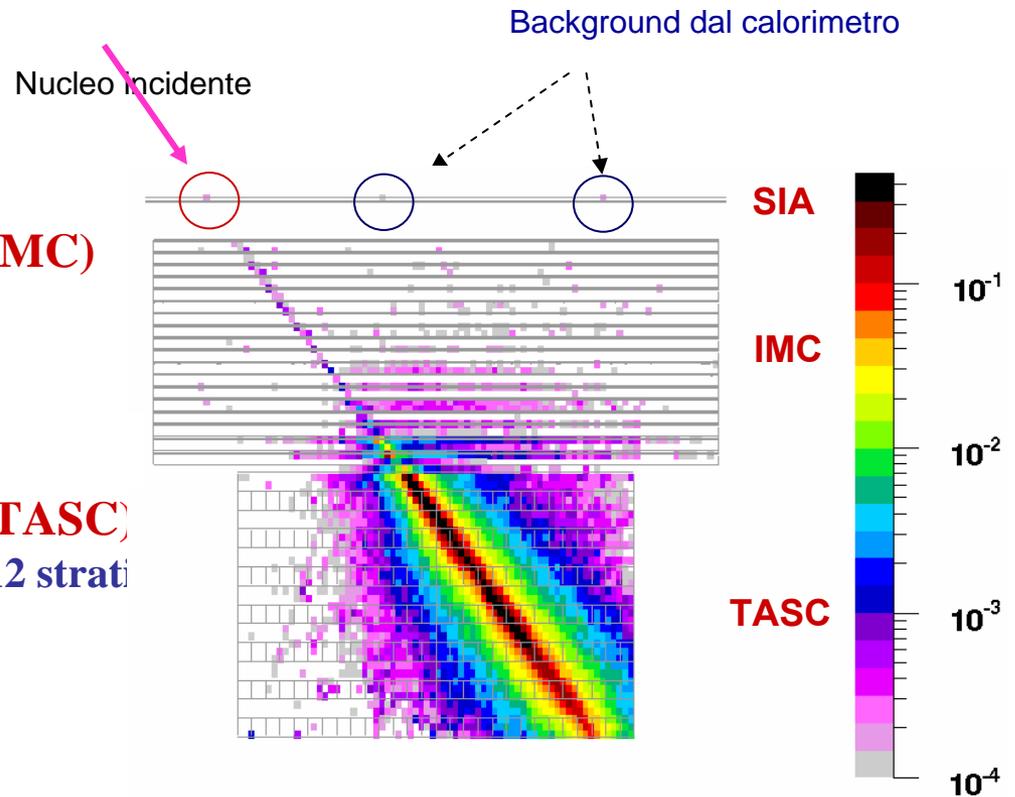
- 2 misure indipendenti della carica per ogni nucleo incidente

## SciFi/W Calorimetro a immagine (IMC)

- SciFi:  $1\text{mm}^2$  17 strati (x & y)
- Spessore del tungsteno:  $4 X_0$ ,  $0.15 \lambda_I$

## Calorimetro a assorbimento totale (TASC)

- cristalli di BGO:  $\sim 25 \times 25 \times 300$  mm (12 strati)
- Spessore:  $28 X_0$ ,  $1.5 \lambda_I$



Simulazione

Carbonio da 1 TeV/n Carbon che interagisce in IMC

# Fisica applicata (un solo esempio!!!)



# Mu-Ray

- Si basa sull'assorbimento dei  $\mu$  atmosferici negli strati rocciosi.

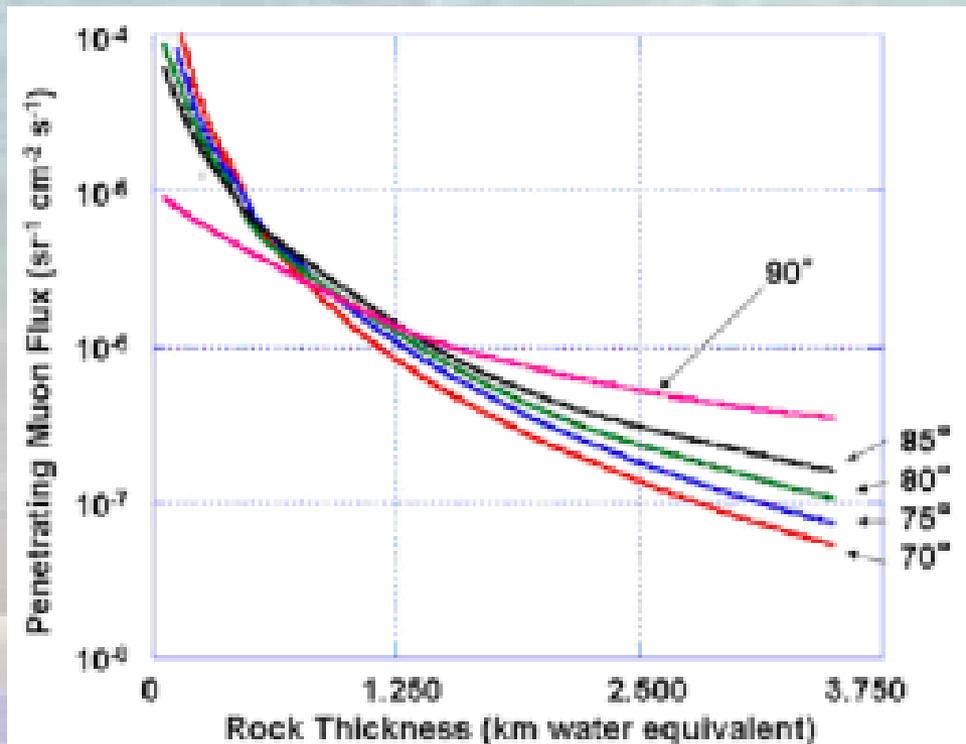
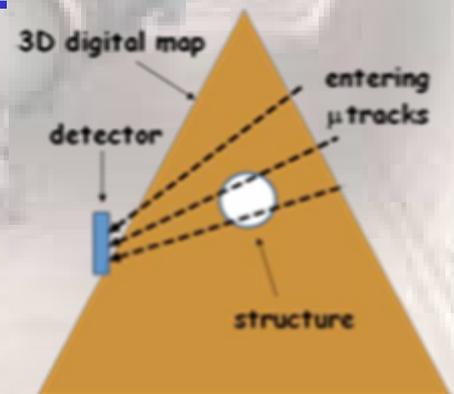


Fig.7. Integrated flux of cosmic ray muons at various zenith angles penetrating through a given thickness of rock with a density of 2.5 g/cm<sup>3</sup> [7].

- I  $\mu$  atmosferici possono al massimo penetrare per qualche Km di roccia.
- Si prestano bene per studi di strutture superficiali.



# Vantaggi di Mu-Ray

- Attualmente la struttura interna della crosta terrestre è studiata con metodi sismici, elettromagnetici o gravimetrici. Scarsa risoluzione e grosse incertezze sistematiche.

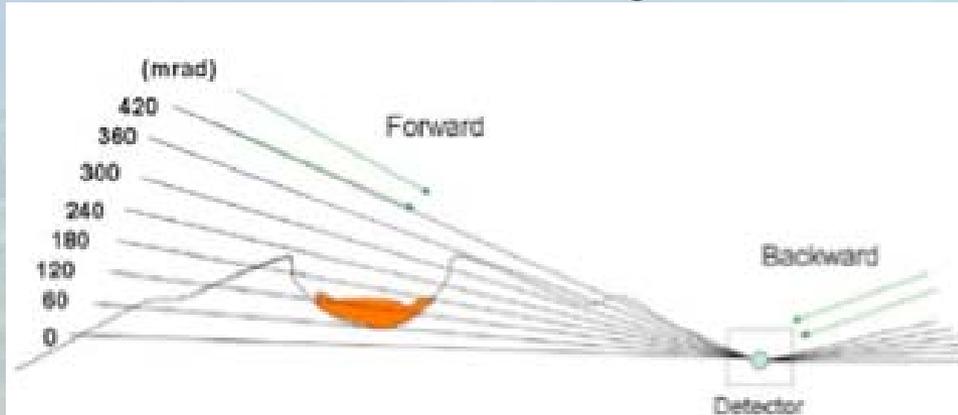
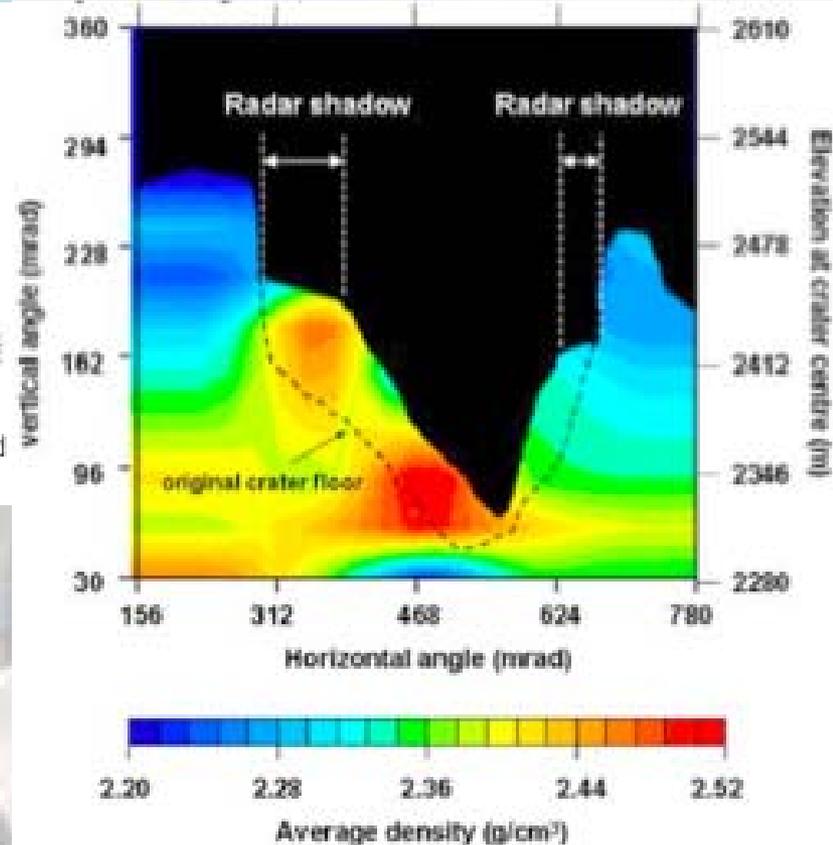


Fig.9. Cross section of Mt. Asama showing geometrical arrangements used in the measurement [7].



- Il metodo della radiografia muonica ha dei grossi vantaggi, in termini di risoluzione spaziale e costo delle attrezzature.
- Purtroppo il flusso è basso.
- Nonostante ciò con rivelatori di  $1\text{m}^2$  circa si riescono a dettagliare i vari strati di roccia con le relative densità.

- Ricostruzione del cratere di Monte Asama in Giappone, con un vecchio odoscopio di  $1\text{m}^2$

# **Le persone di riferimento alle quali rivolgersi per informazioni**

**Referente generale: Oscar Adriani**

**Referenti per le varie attività sperimentali:**

- **CMS: Raffaello D'Alessandro**
- **LHCb: Giovanni Passaleva**
- **NA62: Enrico Iacopini**
- **Raggi cosmici (Pamela, LHCf, Calet): Oscar Adriani**
- **MuRay: Raffaello D'Alessandro**