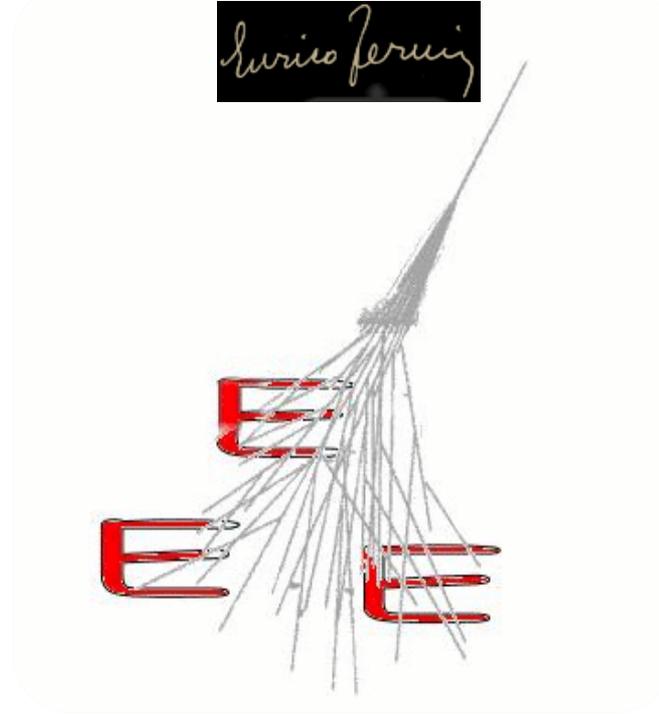




Enrico Fermi



Analisi dati

nell'esperimento

Extreme Energy Events

ITST Fermi, L.S. B.Touschek

EEE e i raggi cosmici



Il progetto EEE ha come obiettivo il coinvolgimento dei giovani in un'esperienza scientifica che prevede la costruzione e l'installazione, nelle loro scuole, di rivelatori in grado di osservare i raggi cosmici.

I *Raggi Cosmici* sono particelle subatomiche con energie molto varie, 10^9 - 10^{21} eV. Apparentemente molto lontane da noi, in realtà si devono a loro molte mutazioni genetiche e variazioni climatiche; inoltre costituiscono la "cenere" del Big Bang e consentono lo studio dell'universo.

Cosa sono i Raggi Cosmici?

- Sono una delle principali componenti dell'Universo e la maggiore fonte di materiale extra-terrestre.
- Si presentano sotto forma di radiazione molto penetrante (particelle subatomiche cariche molto energetiche).
- La loro rivelazione ci può fornire informazioni sull'Universo e sugli oggetti che lo popolano

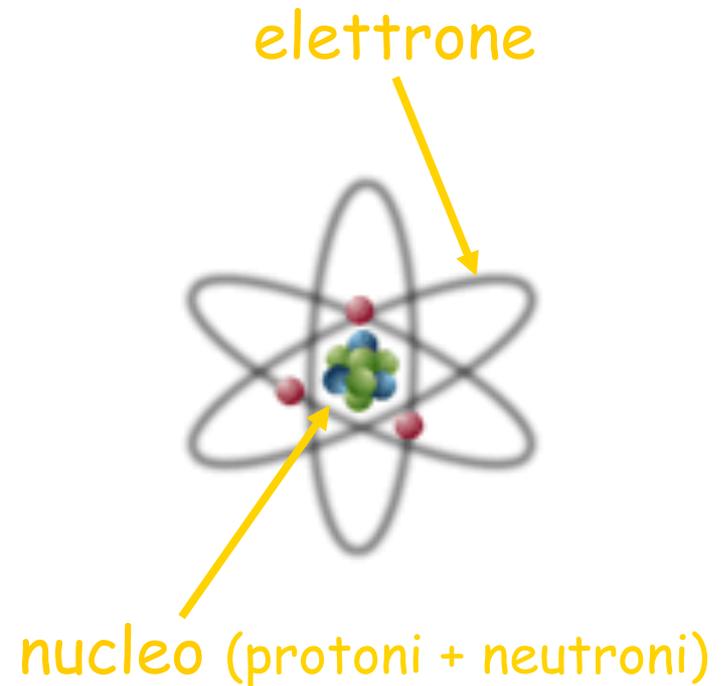
Quali particelle formano i Raggi Cosmici ?

I raggi cosmici sono nuclei di atomi :

~ 90% Idrogeno

~ 9 % Elio

~ 1 % tutti gli altri nuclei



L'atomo piú comune nell' Universo é l'atomo di **Idrogeno**. Il suo nucleo é costituito da un **protone**.

Da dove vengono i Raggi Cosmici ?

L'identificazione delle **sorgenti** di R.C. è legata alla **loro energia**



Alle basse energie:
eruzioni solari sul Sole



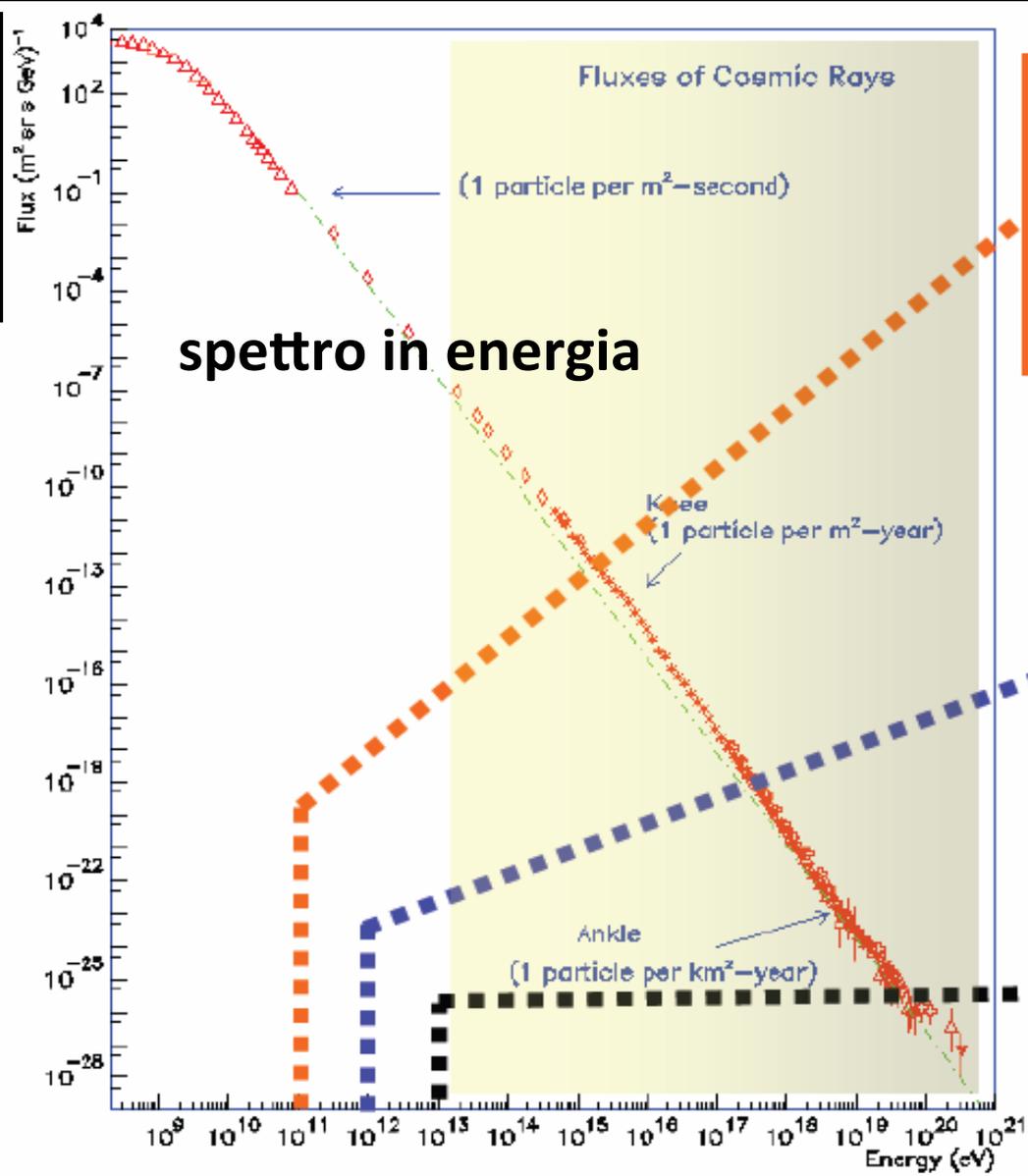
Alle medie ed alte energie:
esplosioni di Supernova ???

Ad altissime energie:

..... Buchi neri super massicci..... gamma-ray bursts ???

..... oggetti sconosciuti dell'Universo..... ???

“Quantità”



[LEP / CERN]



[Tevatron / Fermilab]



[LHC / CERN]



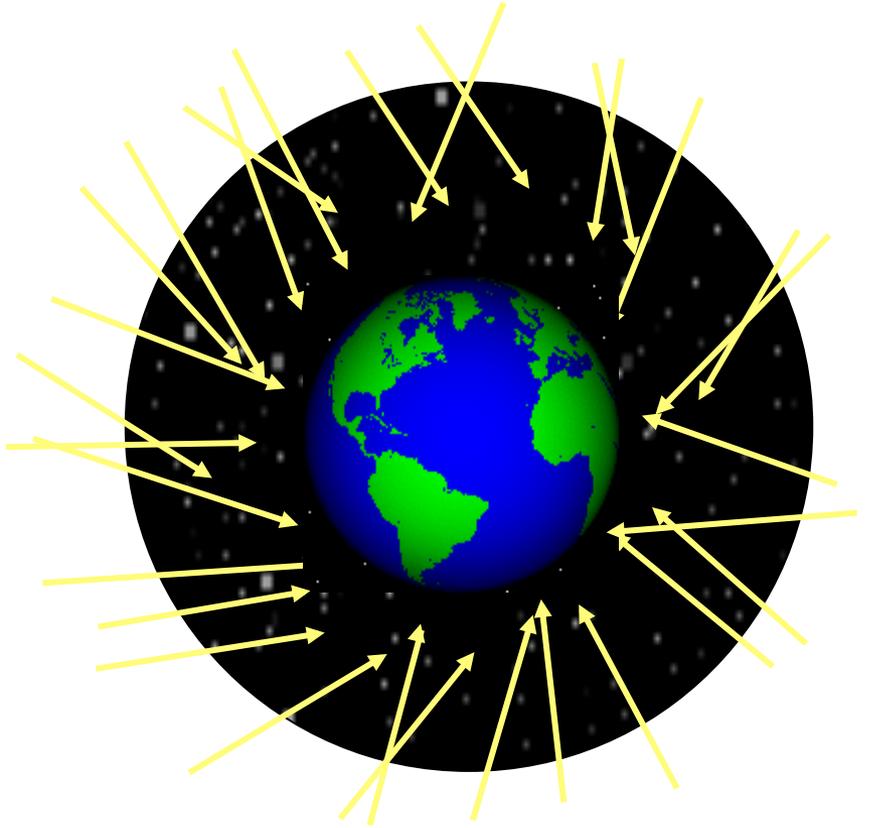
“Energia”



Quanti Raggi Cosmici ci raggiungono?

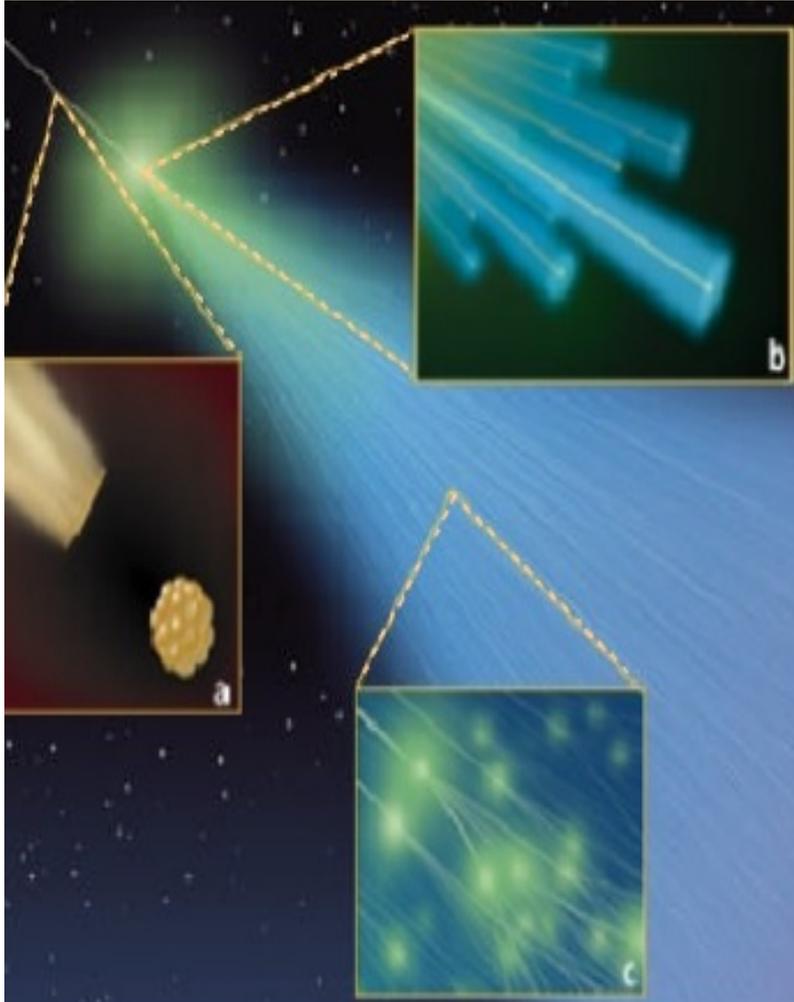
I **raggi cosmici** bombardano continuamente la Terra da ogni direzione.

Fuori dall'atmosfera terrestre su ogni metro quadrato "piovono" circa 30000 particelle ogni secondo !!!



L'atmosfera terrestre assorbe la maggior parte dei raggi cosmici.

I Raggi Cosmici e l'atmosfera



Quando un Raggio Cosmico raggiunge l'atmosfera terrestre

- a) la **particella primaria** collide con i nuclei dell'aria provocando una ...
- b) ... cascata di **particelle secondarie** di energia più bassa, che a loro volta ...
- c) ... subiscono ulteriori collisioni producendo uno **sciame** di miliardi e più di particelle (principalmente **muoni**) che raggiungono il suolo terrestre in **un'area** la cui estensione può essere anche di **diversi km²**.

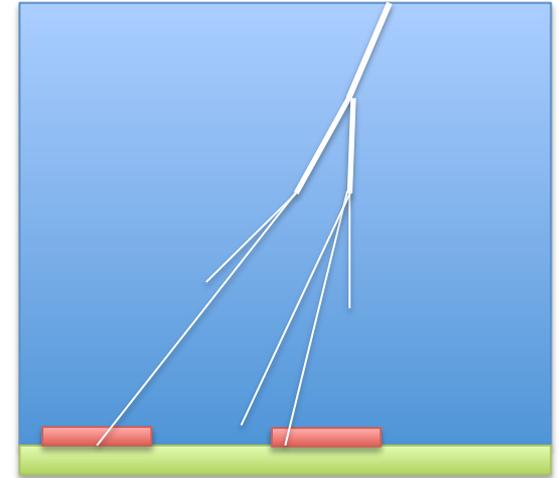
Ricerca degli sciami

Due o più **muoni** rivelati da **stazioni distanti** provengono dallo stesso sciame se:

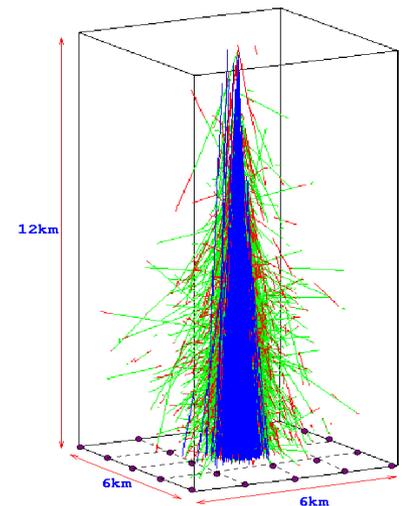
- sono “contemporanei” (entro un certo intervallo di tempo che dipende dalla distanza relativa delle stazioni , circa $1 \mu\text{s}$)
- hanno una piccola divergenza angolare ($< 10^\circ$)



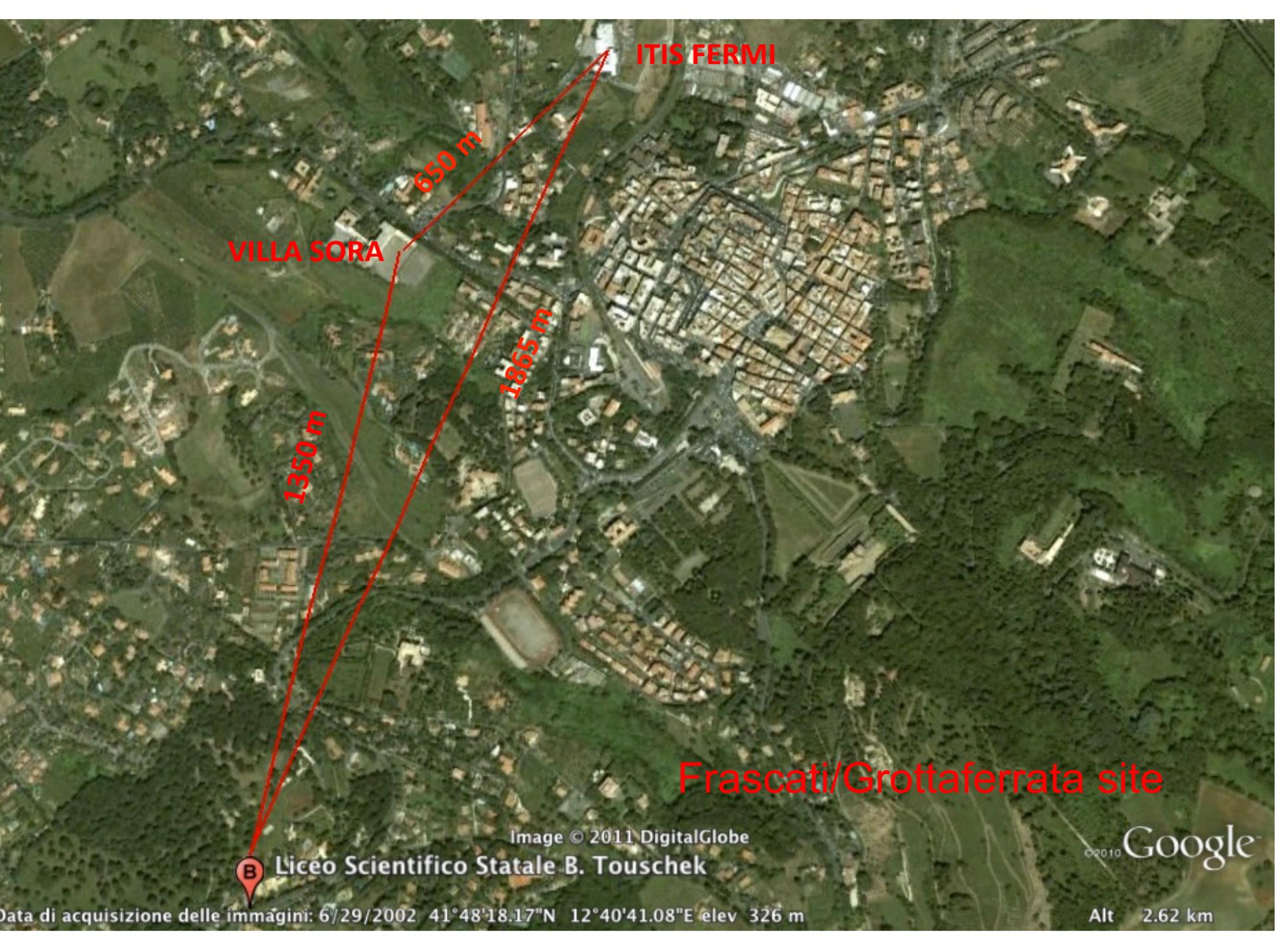
La misura dei tempi è fatta utilizzando la tecnologia **GPS** che, con una precisione di circa 100 ns, individua eventi “contemporanei”



A 10 EeV Extensive Air Shower (EAS)



100 billion particles at sea level
photons, electrons (99%), muons (1%)
● Ground Array stations



ITIS FERMI

VILLA SORA

650 m

1350 m

1865 m

Frascati/Grottaferrata site



Liceo Scientifico Statale B. Toussek

Image © 2011 DigitalGlobe

©2010 Google

Data di acquisizione delle immagini: 6/29/2002 41°48'18.17"N 12°40'41.08"E elev 326 m

Alt 2.62 km

EEE project



- **2005** : inizia la costruzione per 7 scuole in 7 città
- **2006** : 21 scuole in 7 città
- **2009** : completata costruzione per altre 11 scuole
- **2012** : 32 installazioni complete in 32 città' italiane + 2 al Cern
- **100 scuole** in lista d'attesa

Liceo B.Touschek – Grottaferrata (RM)

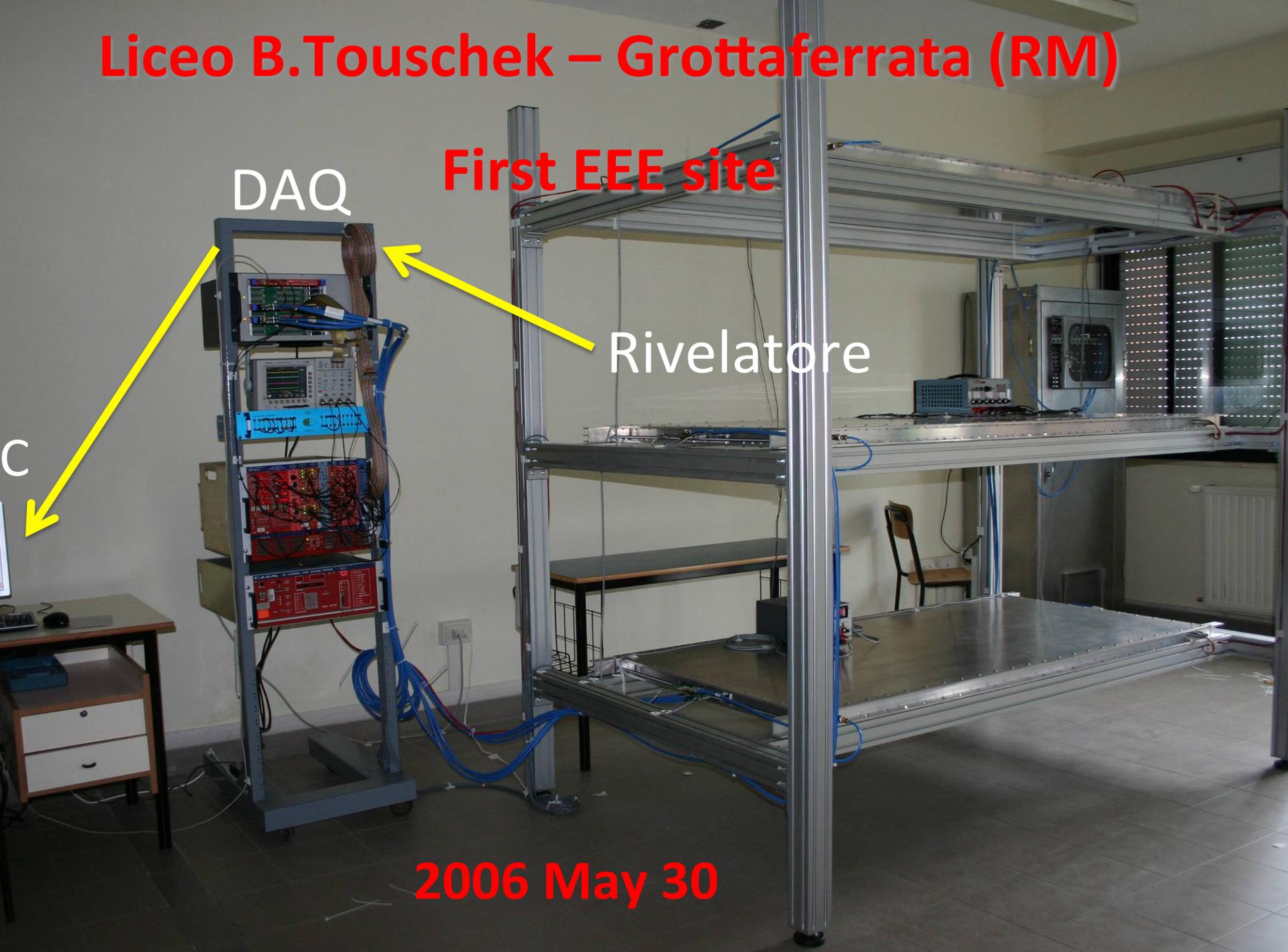
DAQ

First EEE site

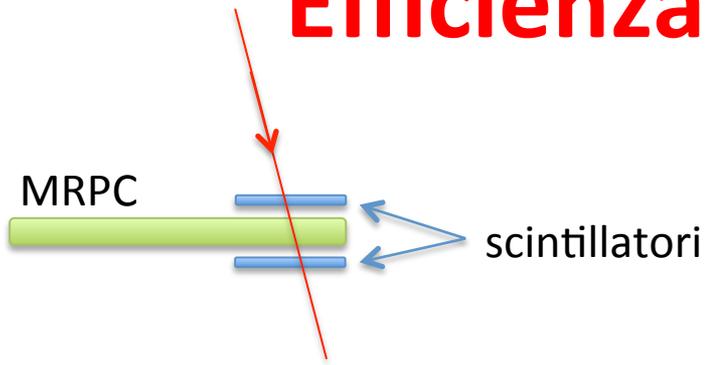
Rivelatore

C

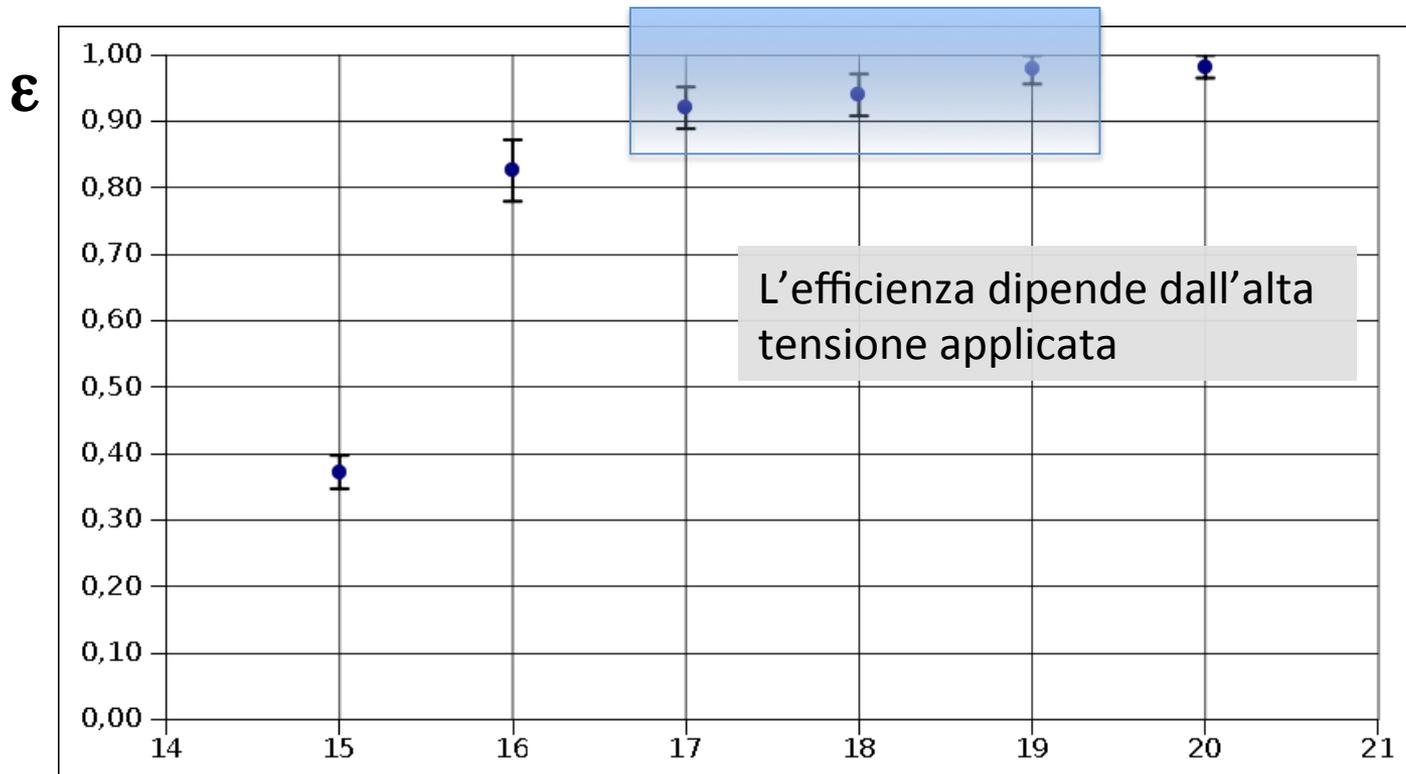
2006 May 30



Efficienza del rivelatore MRPC



L'efficienza è data dal rapporto $\varepsilon = N_1/N_0$:
 N_0 = # cosmici osservati dagli scintillatori ;
di questi, solo una parte, N_1 , saranno visti anche
dal MRPC.

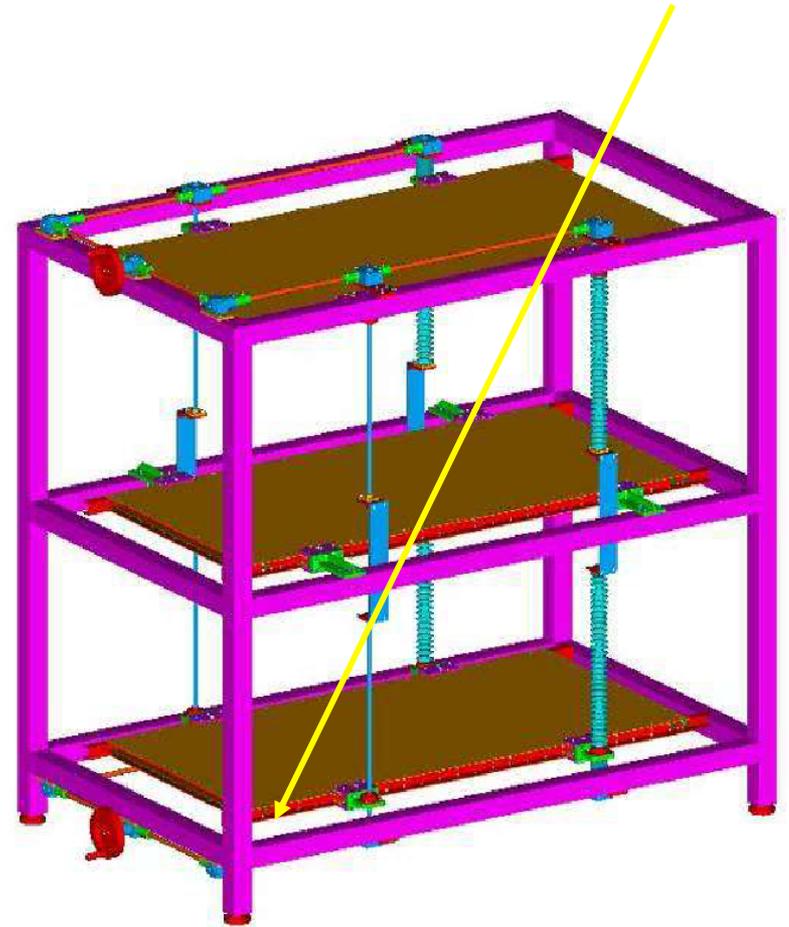


HV (kV)

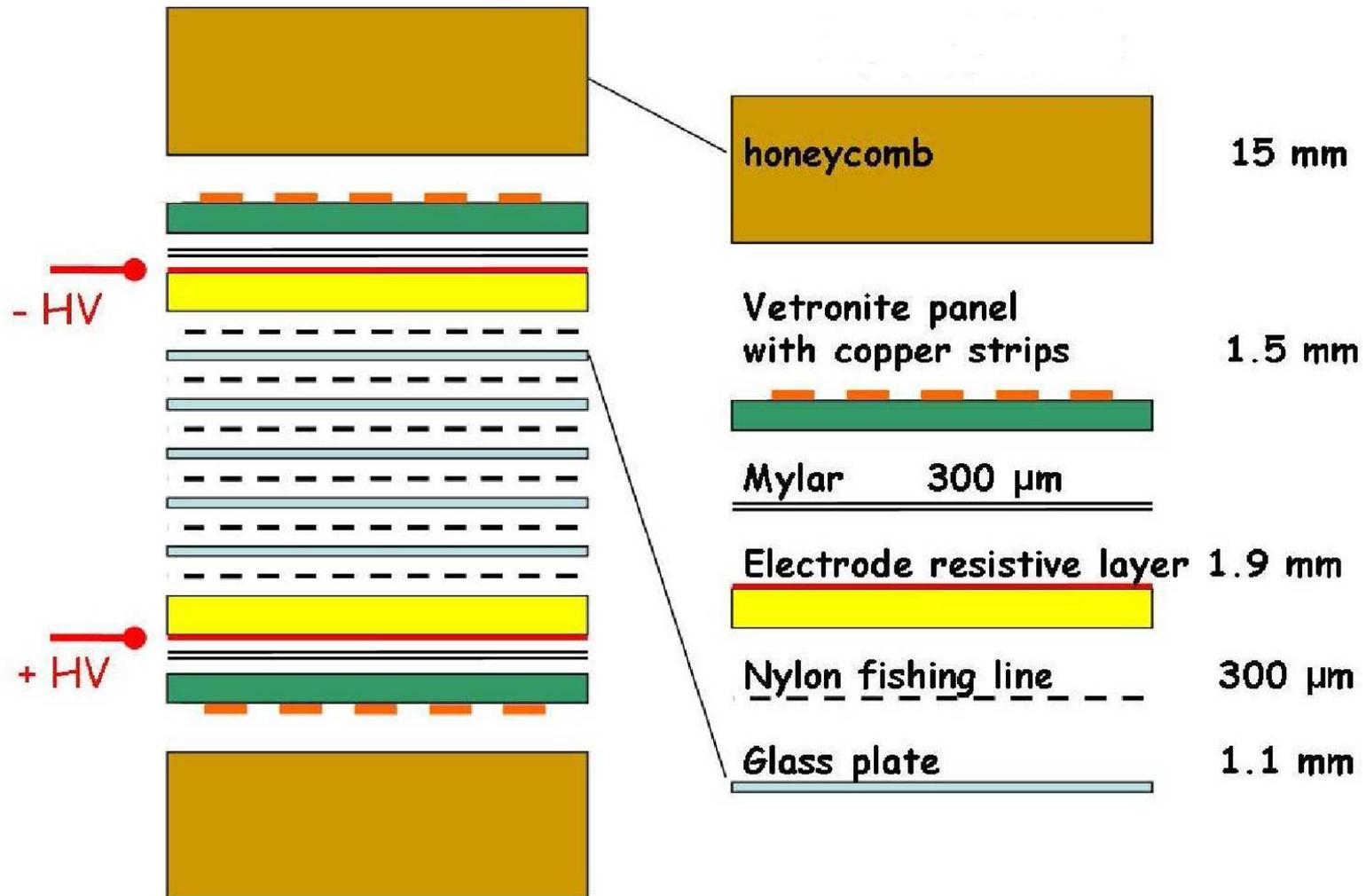
Il rivelatore tracciante

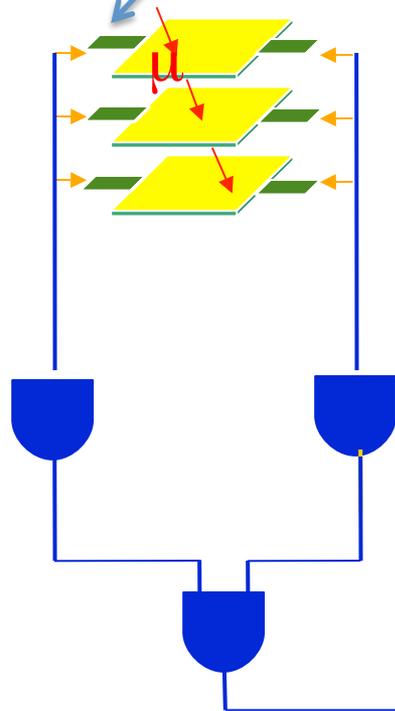
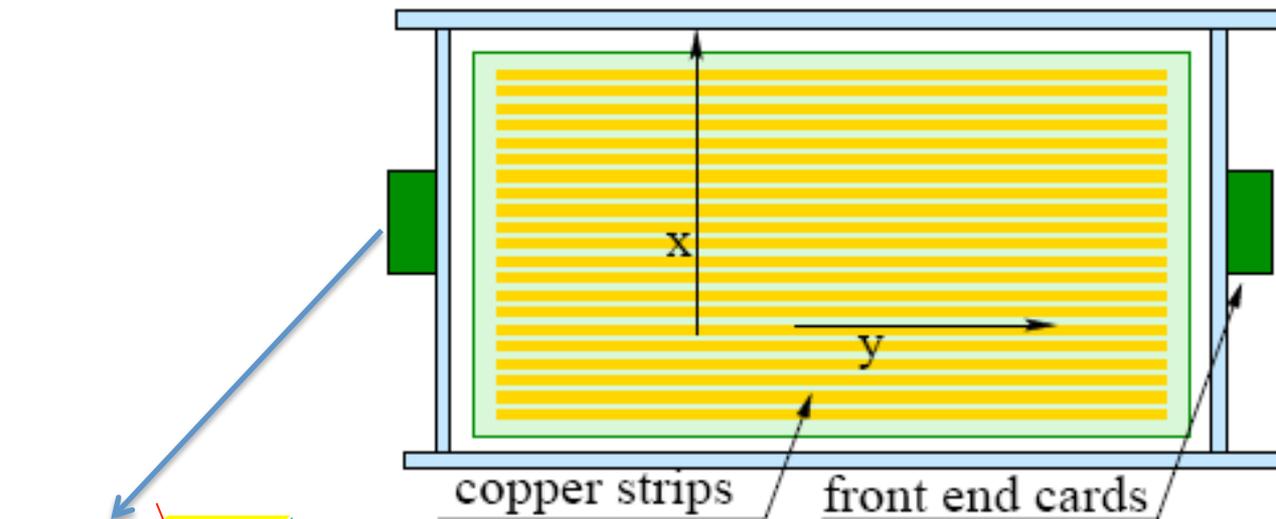
E' costituito da 3 layer di rivelatori **Multigap Resistive Plate Chamber (MRPC)**

Conoscendo I tre punti d' impatto è possibile ricostruire la traiettoria del muone



Il rivelatore MRPC di EEE





Il segnale elettrico indotto su ciascuna strip viene raccolto dalle Front End Card e inviato al TDC (Time to Digital Converter) che lo trasforma in un segnale digitale. Il segnale digitalizzato viene inviato al computer.



Dati da analizzare

Dai **Raw data** (numero di strip, tempi di arrivo al FE, ecc) →
ELABORAZIONE → DATI FISICI (**rootpla**)

```
root [4] EEE.Scan("iev:gps:tn:a3:chi:dt:dist")
```

```
*****  
* Row * iev * gps * tn * a3 * chi * dt * dist *  
*****  
* 0 * 0 * 96073691 * 977737385 * 0.8676 * 0.62671 * 2.95 * 92.21 *  
* 1 * 1 * 96073691 * 986773674 * 0.83965 * 2.53826 * 2.4 * 95.28 *  
* 2 * 2 * 96073691 * 998835934 * 0.97598 * 2.7797 * 2.55 * 81.97 *  
* 3 * 5 * 96073692 * 3093937 * 0.94878 * 3.05192 * 2.7 * 84.32 *  
* 4 * 6 * 96073692 * 6301996 * 0.76007 * 2.7797 * 3.6 * 105.25 *  
* 5 * 7 * 96073692 * 44114911 * 0.97865 * 2.23 * 2.8 * 81.75 *  
  
* 6 * 8 * 96073692 * 44410761 * 0.8891 * 3.9106 * 3.0 * 90.44 *  
* 7 * 9 * 96073692 * 58987517 * 0.8891 * 3.11052 * 2.4 * 81.68 *  
* 8 * 10 * 96073692 * 112164726 * 0.8891 * 1.12956 * 3.45 * 93.78 *  
* 9 * 11 * 96073692 * 119836754 * 0.8891 * 0.56552 * 2.55 * 82.65 *  
* 10 * 13 * 96073692 * 16889 * 0.85313 * 1.71034 * 3.25 * 93.77 *  
  
* 11 * 14 * 96073692 * 112164726 * 0.98726 * 0.5678 * 2.45 * 81.03 *  
* 12 * 16 * 96073692 * 112164726 * 0.98292 * 2.77739 * 2.5 * 81.39 *  
* 13 * 18 * 96073692 * 112164726 * 0.97976 * 1.50923 * 2.4 * 81.65 *  
* 14 * 19 * 96073692 * 112164726 * 0.99333 * 5.05192 * 2.2 * 80.54 *  
* 15 * 20 * 96073692 * 301819665 * 0.91466 * 2.09968 * 2.95 * 87.46 *
```

Programmi

Sulle rootple si fanno girare appositi programmi in C++ per calcolare le grandezze di interesse e costruire gli istogrammi.

```
#define Analisi_cxx
#include "Analisi.h"
#include <TH2.h>
#include <TStyle.h>
#include <TCanvas.h>
#include <iostream>

void Analisi::Loop() {

if (fChain == 0) return;
Long64_t nentries = fChain->GetEntriesFast();

const double pi = 3.1415926;
const double dx = 3;
const double dy = 2;
const double h = 40;
const double vlight = 29.9792;

TH1 *hrms = new TH1F("hrms","",100,0,10);
TH1 *hphi = new TH1F("hphi","",100,-pi,pi);
TH1 *hct = new TH1F("hct","",100,0,1);
TH1 *hbeta = new TH1F("hbeta","",100,0,50);
```

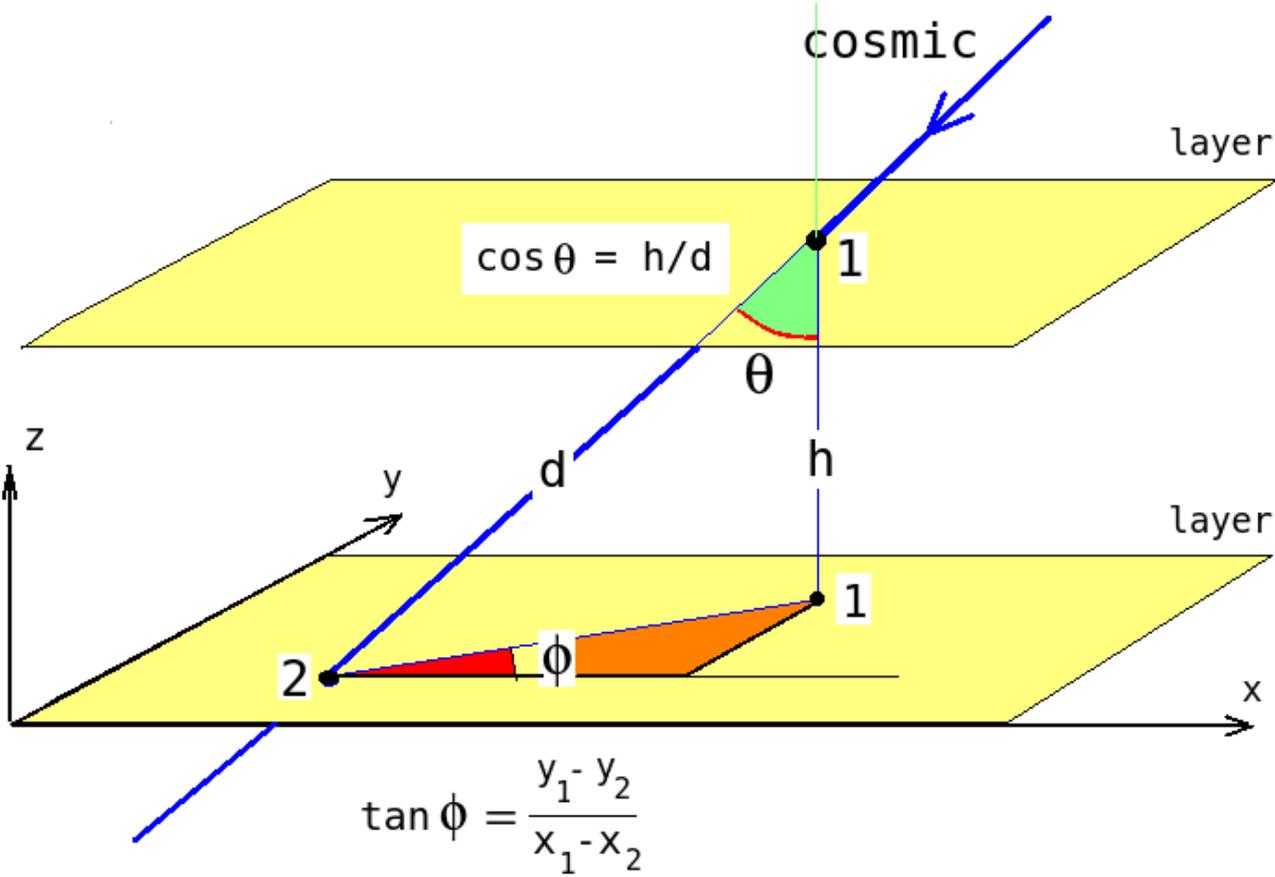
```
for (Long64_t jentry=0; jentry<nentries; jentry++) {

Long64_t ientry = LoadTree(0);
if (ientry < 0) break;
nb = fChain->GetEntry(ientry);
nbytes += nb;
if (jentry%10000 == 0) cout<<"event "<<jentry<<endl;
double x1 = (nxhit->at(0))*dx;
double x3 = (nxhit->at(2))*dx;
double y1 = (nyhit->at(0))*dy;
double y3 = (nyhit->at(2))*dy;
double phi = atan2(y1-y3,x1-x3);
double d13 = sqrt( pow(x1-x3,2) + pow(y1-y3,2) + pow(2*h,2) );
double ct = 2*h/d13;
double dt = thit->at(2)-thit->at(0);
double beta = d13/dt;

hphi-> Fill(phi);
hct-> Fill(ct);
hbeta-> Fill(beta);
}
}
```

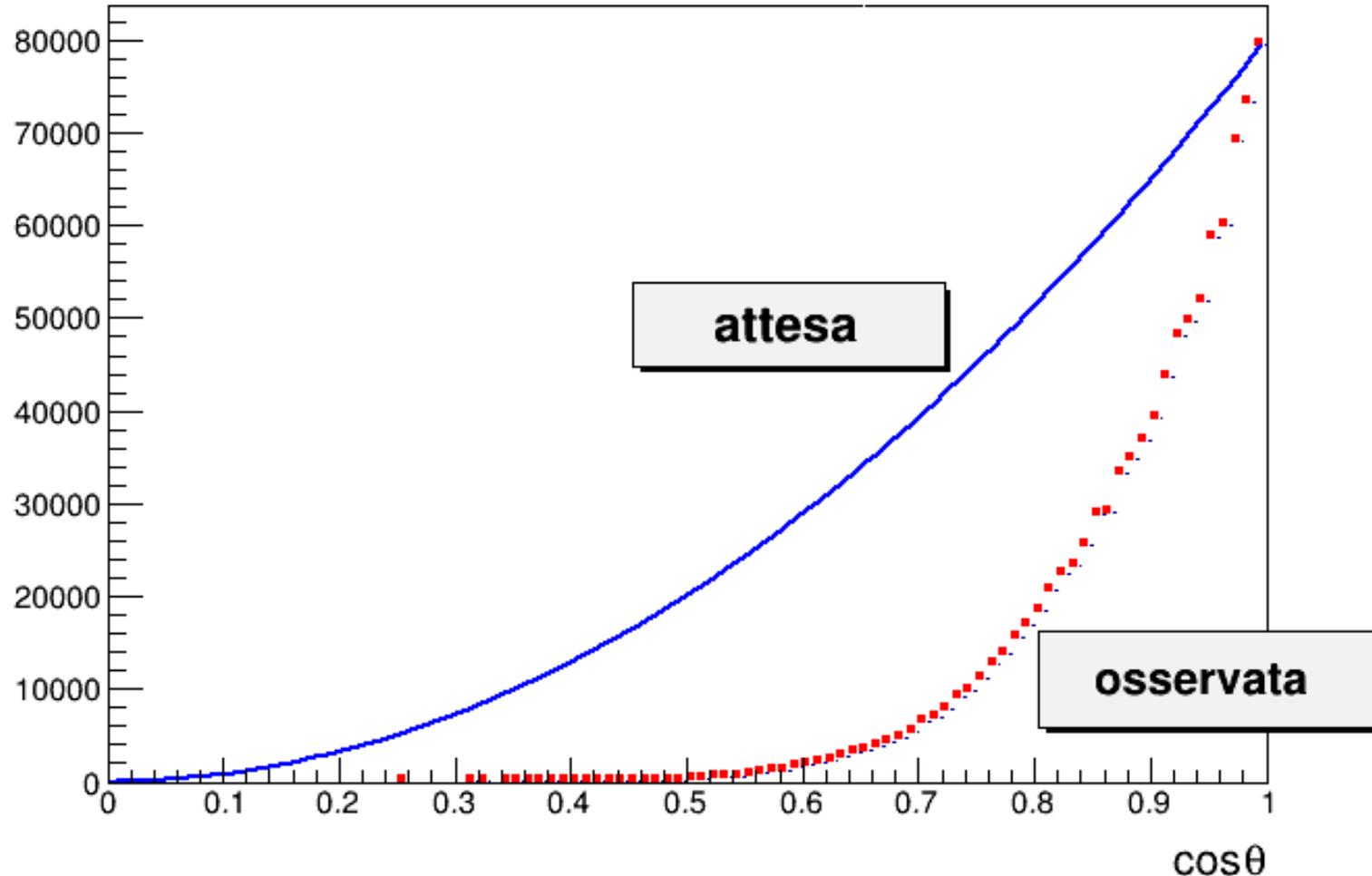
Esempio di programma

Note le posizioni (x,y) dei punti su ogni layer è facile ricostruire la direzione del cosmico.



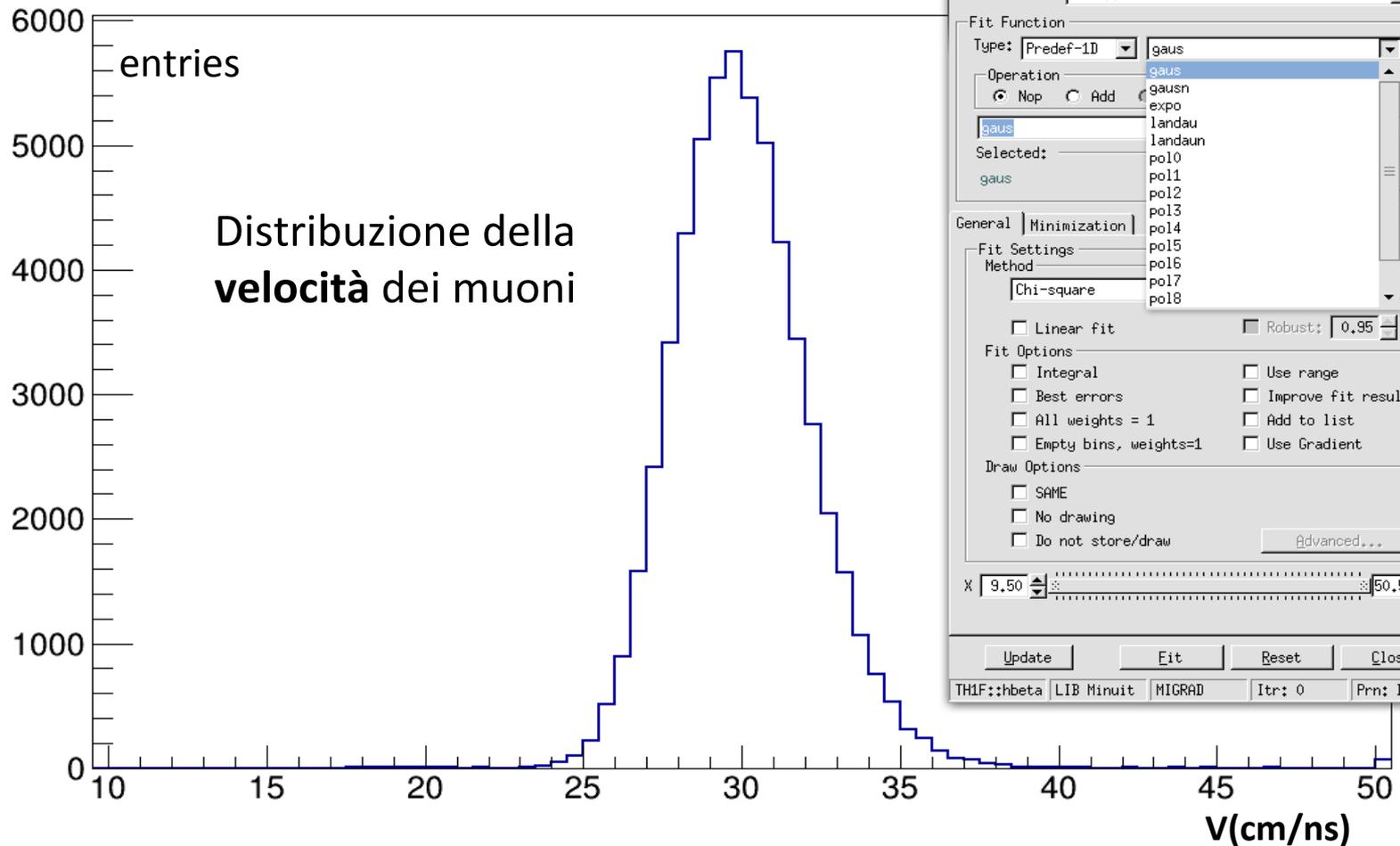
Esempio di istogramma

I dati **sperimentali** non sempre rispettano le nostre **aspettative** a causa di vari fattori (ad esempio accettazione geometrica, ...)

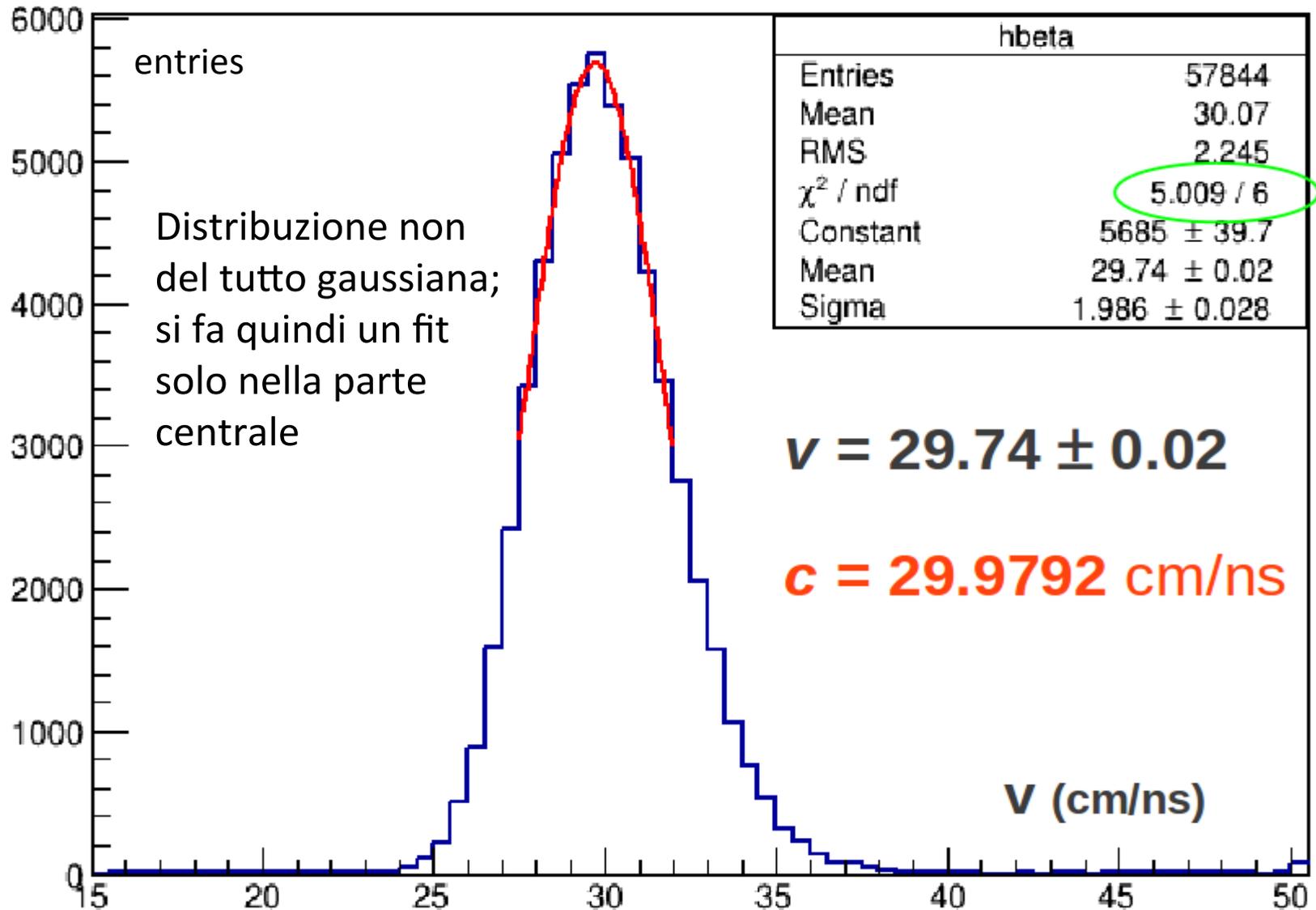


FIT alle distribuzioni

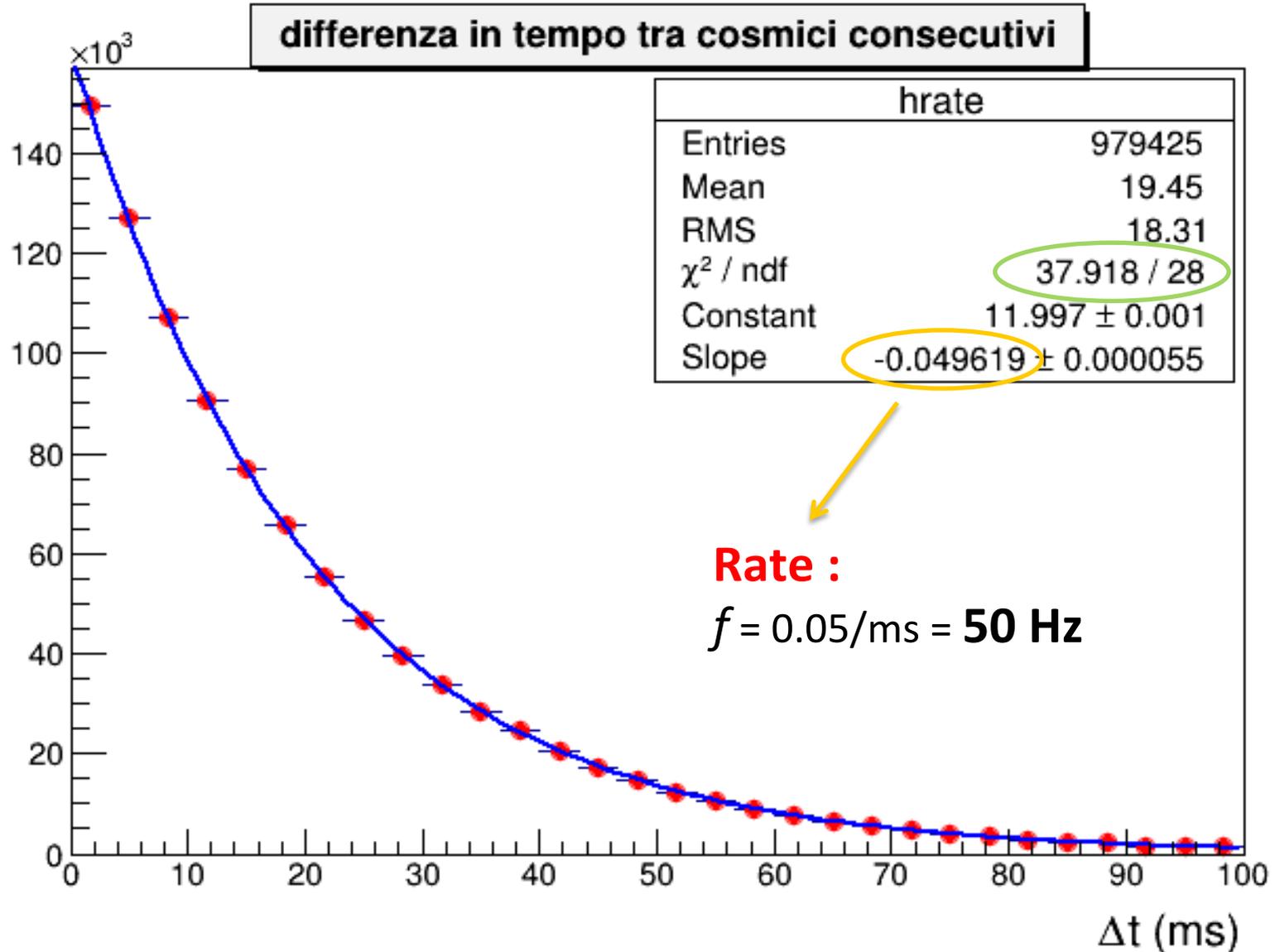
Una volta che il programma ha prodotto i vari istogrammi, **ROOT**, software nato per l'**analisi dei dati**, permette agevolmente di fare molte operazioni con essi e, in particolare, di fare **FIT**.

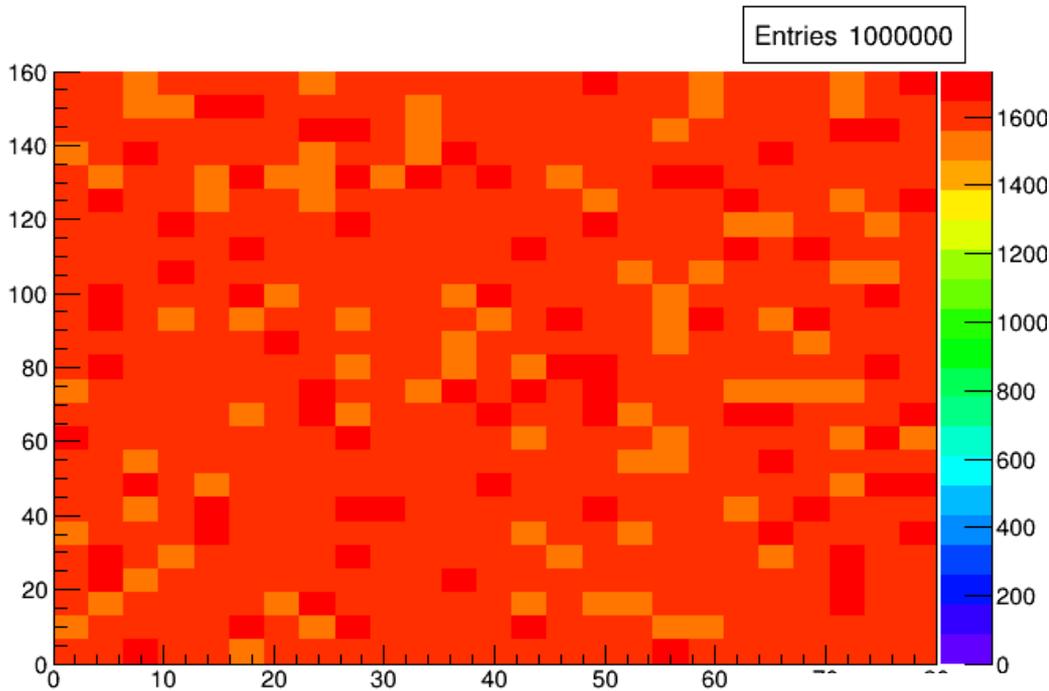


Fit alla velocità dei muoni



Fit alla differenza in tempo tra muoni consecutivi



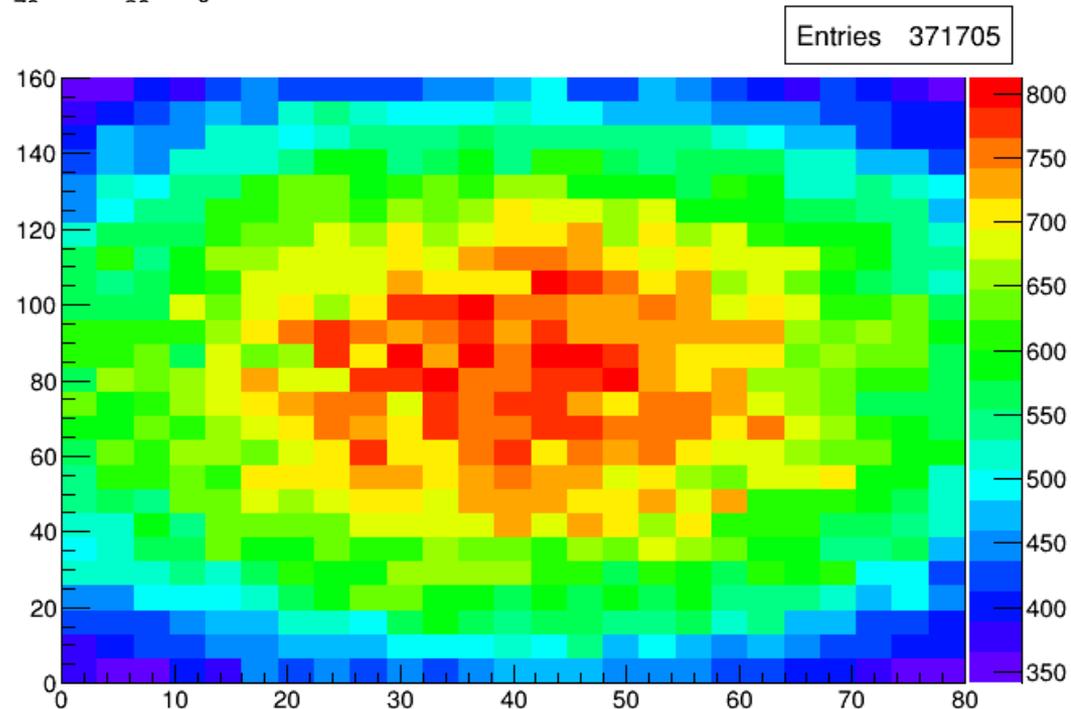


Metodi Monte Carlo

Sono programmi di simulazione largamente utilizzati in Fisica.

Abbiamo fatto un piccolo MC per misurare l'accettanza geometrica ε_{ACC}

- Sono state generate 10^6 tracce che colpiscono il layer sup. in maniera casuale e uniforme ;
- Di queste solo una parte colpisce il layer inf. ;
- Come si vede, $\varepsilon_{\text{ACC}} \sim 37\%$



Misura flusso cosmici

Abbiamo a questo punto tutti i dati per stimare il flusso di cosmici

$$N_{\text{exp}} = I_0 \frac{2\pi}{3} S$$

Superficie rivelatore
1,3 m²

Ci aspettiamo di rilevare

$$N_{\text{mis}} = N_{\text{exp}} \epsilon_{\text{ACC}} \epsilon_{\text{RIV}}$$

50Hz
rate

0,37
Misurato con
Monte Carlo

0,7
Efficienza
rivelatore

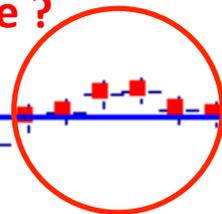
$$I_0 = 70 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$$

FLUSSO

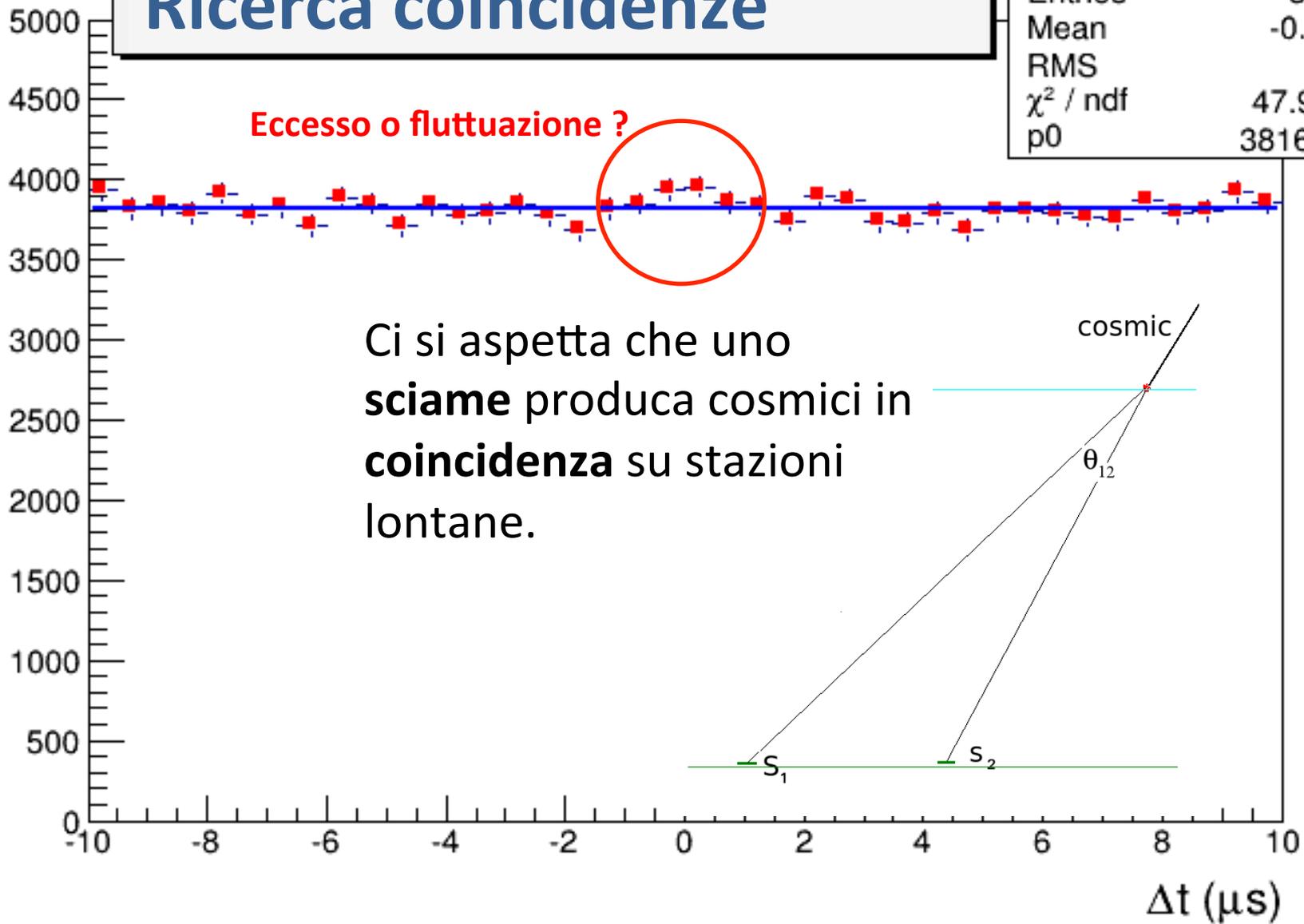
Ricerca coincidenze

h1	
Entries	305222
Mean	-0.03184
RMS	5.781
χ^2 / ndf	47.93 / 39
p0	3816 \pm 9.8

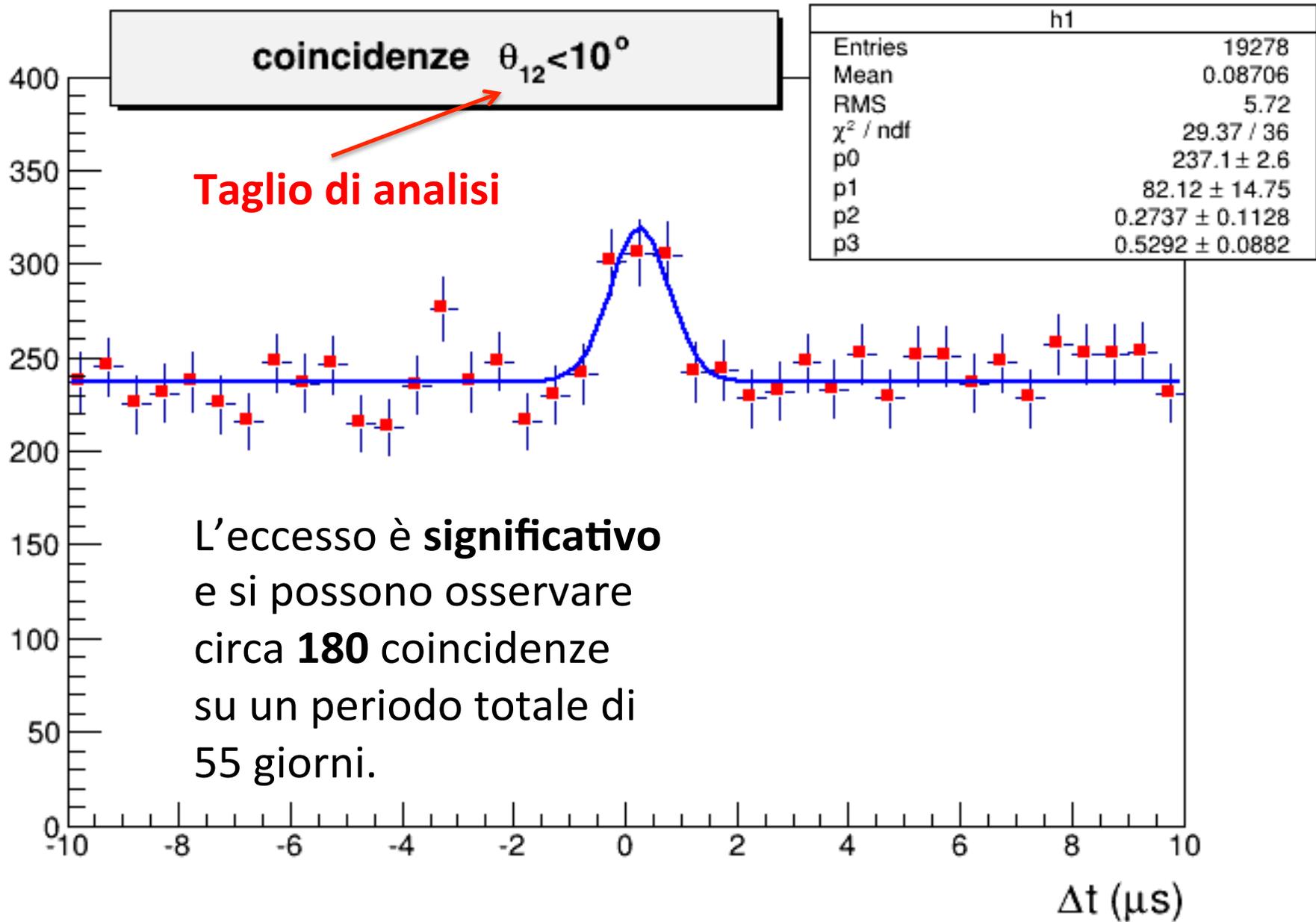
Eccesso o fluttuazione ?



Ci si aspetta che uno **sciame** produca cosmici in **coincidenza** su stazioni lontane.



Δt (μs)



Conclusioni

I 3 telescopii del nostro sito sono accesi contemporaneamente dal 2008 e perfettamente funzionanti

Il numero di coincidenze trovato tra 2 stazioni coincide con il risultato stimato dalle simulazioni

Le competenze acquisite durante lo stage saranno utilizzate per continuare il lavoro di presa dati e analisi dati presso il laboratorio EEE situato all'interno delle singole scuole

L'obiettivo del Progetto EEE e' portare la scienza nel cuore dei giovani