EEE, Extreme Energy Events, una iniziativa per la diffusione della scienza tra i ragazzi, portare un'esperimento nelle scuole

Torino 8 Novembre 2005

Andrea Chiavassa

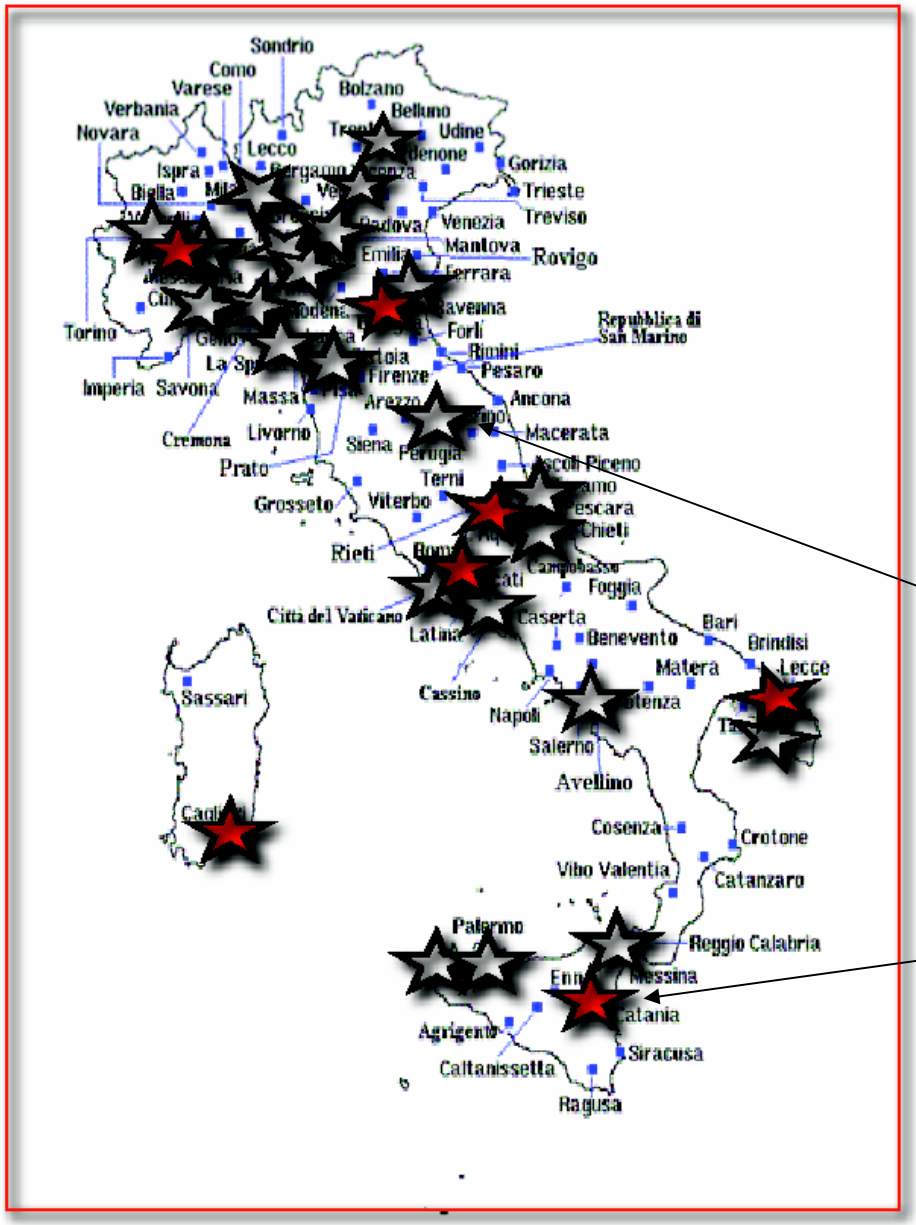
Principali idee alla base del progetto EEE

Il Progetto EEE è strutturato su base modulare e prevede che in numerose Scuole d'Italia (Licei o Istituti Tecnici) venga costruito un modulo di apparato sperimentale, ossia un "telescopio" di rivelatori denominati MRPC (*Multigap Resistive Plate Chamber*) dedicato all'osservazione e alla misura dei muoni cosmici.

In ogni Scuola i ragazzi parteciperanno alla realizzazione e alla messa in funzione del telescopio.

I dati che verranno raccolti in ciascuna Scuola saranno un contributo originale per lo studio dei raggi cosmici appartenenti alla classe EEE.

- Il progetto comprende una serie di scuole distribuite su tutto il territorio nazionale in cui verranno montati i rivelatori.



Il progetto complessivo prevede 100 rivelatori dislocati in altrettante scuole.

Scuole che hanno aderito

Prime 7 scuole pilota

- In questa prima fase pilota sono in fase di allestimento i primi 7 rivelatori nei seguenti istituti:
  - Liceo Scientifico “Alessandro Volta” (Torino)
  - Liceo Scientifico “Enrico Fermi” (Bologna)
  - Liceo Scientifico “Andrea Bafile” (L’Aquila)
  - Liceo Scientifico “Bruno Touschek” (Grottaferrata, Roma)
  - Liceo Scientifico “Giulietta Banzi Bazoli” (Lecce)
  - Liceo Scientifico “Antonio Pacinotti” (Cagliari)
  - Liceo Scientifico “Galileo Galilei” (Catania)

- Il progetto è stato recentemente esteso ad altre scuole, 2 per ognuna delle 7 città pilota

- Liceo Scientifico Galileo Ferraris
- Liceo Classico Massimo D'Azeglio

- Richiesto alle scuole di segnalare 2/3 studenti e un insegnante di riferimneto disposti a recarsi al CERN

Schema di attività

1) I materiali, le attrezzature e le strumentazioni necessari alla costruzione e alla successiva messa in funzione del telescopio saranno acquistati e forniti dal CERN e dalle Sezioni INFN o eventualmente dai Dipartimenti di Fisica coinvolti nel Progetto. Saranno trasportati e raggruppati presso tali Sezioni o Dipartimenti (d'ora in poi denominati Strutture di Ricerca).

2) Nella fase iniziale, gli alunni della Scuole in cui saranno montati i telescopi EEE si recheranno presso le Strutture di Ricerca più vicine (situate nella loro stessa città o nella città più vicina) per partecipare direttamente alla costruzione dei rivelatori MRPC che costituiscono i telescopi. Gli alunni avranno così la possibilità di partecipare a veri e propri stage di training tecnico-scientifico, a diretto contatto con il mondo della Ricerca.

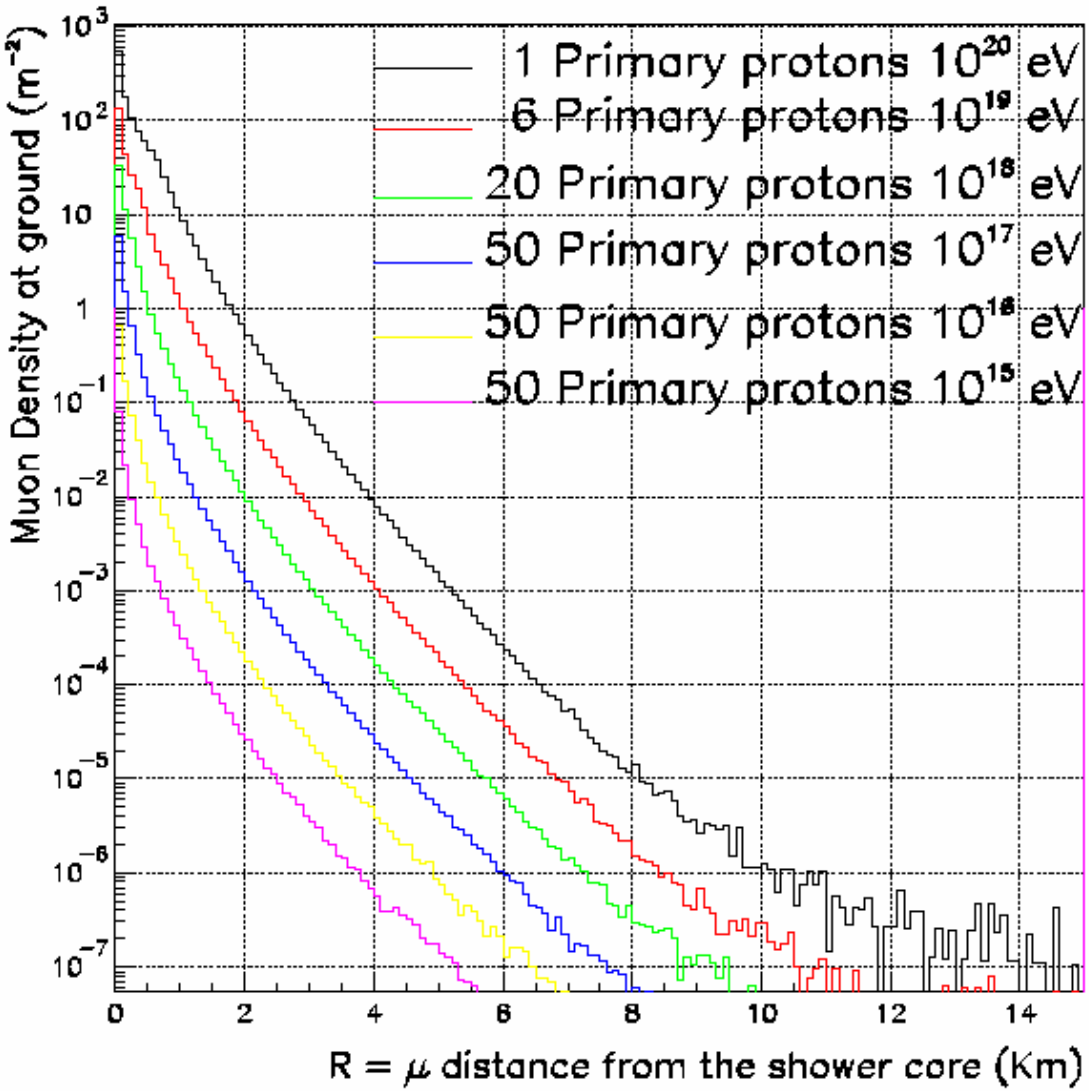
3) In parallelo, il personale scientifico e tecnico delle Strutture di Ricerca predisporrà presso le Scuole, con la collaborazione degli alunni delle Scuole, l'installazione dei telescopi EEE e di tutte le strumentazioni e attrezzature ad essi connesse che saranno via via trasferite presso le Scuole.

4) I rivelatori MRPC costruiti nelle Strutture di Ricerca verranno poi trasportati nelle Scuole, dove si procederà alla fase di montaggio e messa in funzione dei telescopi EEE. Tale fase sarà di nuovo espletata grazie all'intervento del personale scientifico e tecnico delle Strutture di Ricerca in collaborazione con gli alunni delle Scuole.

5) In fase di funzionamento, quando i telescopi EEE saranno in grado di acquisire dati scientifici, sarà compito degli alunni delle Scuole garantire l'operatività costante dei telescopi, ed eseguire una serie di regolari controlli e misure. Il personale delle Strutture di Ricerca garantirà un'assistenza e una vigilanza costante dei telescopi presso le Scuole.

6) A regime, gli alunni delle Scuole dotate di telescopi EEE saranno resi partecipi dell'analisi dei dati raccolti e dei risultati ottenuti. Saranno anche coinvolti in un'azione più vasta e generale di promozione della Cultura Scientifica. Ciò potrà avvenire tramite strumenti multimediali e tramite ulteriori stage presso le Strutture di Ricerca e presso la Fondazione e Centro di Cultura Scientifica "Ettore Majorana" (FCCSEM) di Erice.

Cosa si vuole osservare



Densità di μ (al livello del mare) in EAS generati da protoni verticali

L'apparato che sarà ultilizzato per la rivelazione dei muoni cosmici deve soddisfare le seguenti condizioni:

i) deve poter coprire una grande superficie e di conseguenza essere a basso costo

ii) deve essere resistente, in grado di operare per molti anni con un minimo di interventi di manutenzione

iii) deve fornire un'efficienza di rivelazione quanto più prossima al 100%

iv) deve consentire la ricostruzione di tracce di muoni cosmici ed essere quindi costitutito da (almeno) tre piani di rivelazione

v) deve possedere una risoluzione spaziale di qualche centimetro (in entrambe le coordinate orizzontali)

vi) deve possedere una risoluzione temporale sufficiente per permettere che muoni cosmici rivelati in diversi apparati situati a grande distanza l'uno dall'altro possano essere messi in correlazione l'uno con l'altro

Dati questi requisiti è stata scelta come rivelatore la camera multigap a piani resistivi (MRPC). Ogni telescopio sarà costituito da tre piani di MRPC

Disegno del rivelatore

- Multigap Resistive Plate Chambers

  La cui struttura base sono 6 gap (350 μm) di gas intervallate da piani di materiale resistivo
- Le dimensione scelte per le camere sono 1.6 x 0.82 m^2. Le camere sono alloggiate in una scatola di dimensione 2 x 1 m^2 (corrispondenti a pannelli di alluminio facilmente disponibili). Come elemento di supporto è stato utilizzato del legno compensato *(plywood)* dello spessore di 15 mm.
- Gli elettrodi di lettura dei segnali, a forma di strisce (*strip*) larghe 25 mm, sono realizzate con un nastro adesivo di rame applicato su un pannello di vetronite dello spessore di 1.5 mm.

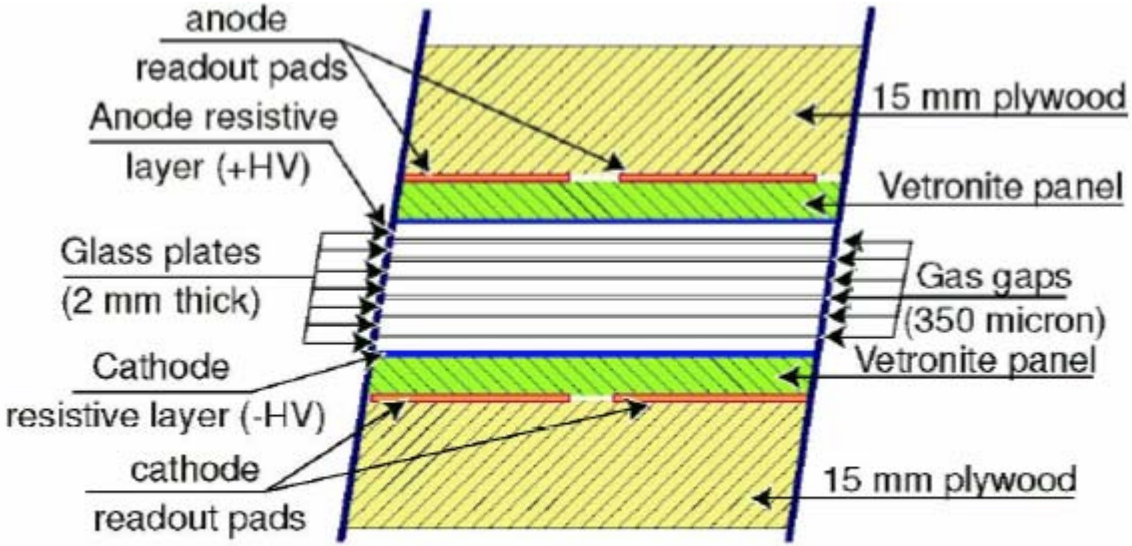
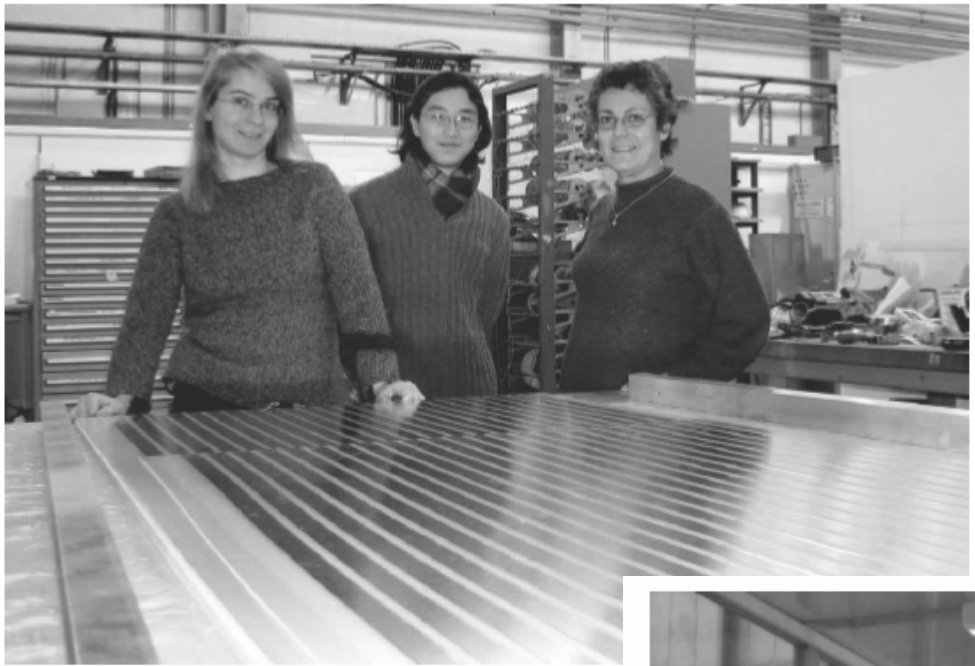


Figura A.1 – Prototipo della camera MRPC per la rivelazione di muoni cosmici.

I piani di vetronite servono a isolare le strip di readout dai piani di Alta Tensione (applicata sui *resistive coating* sul vetro).

Ci sono strip di readout sia sull'anodo che sul catodo. La differenza temporale tra i segnali che arrivano al fondo delle strips fornisce la coordinata lungo la strip stessa



Fotografia delle strip di readout applicate su un piano di vetronite

Fotografia del sistema di sollevamento delle piastre di vetro in operazione

Lo spaziatore tra i piani di vetro utilizzato è del filo da pesca in nylon, di 0.35 mm di diametro, fissato, secondo uno schema a zig-zag con un passo di 5 cm tra un *gap* e l'altro, attorno a viti collocate lungo i bordi longitudinali dei piani di vetro

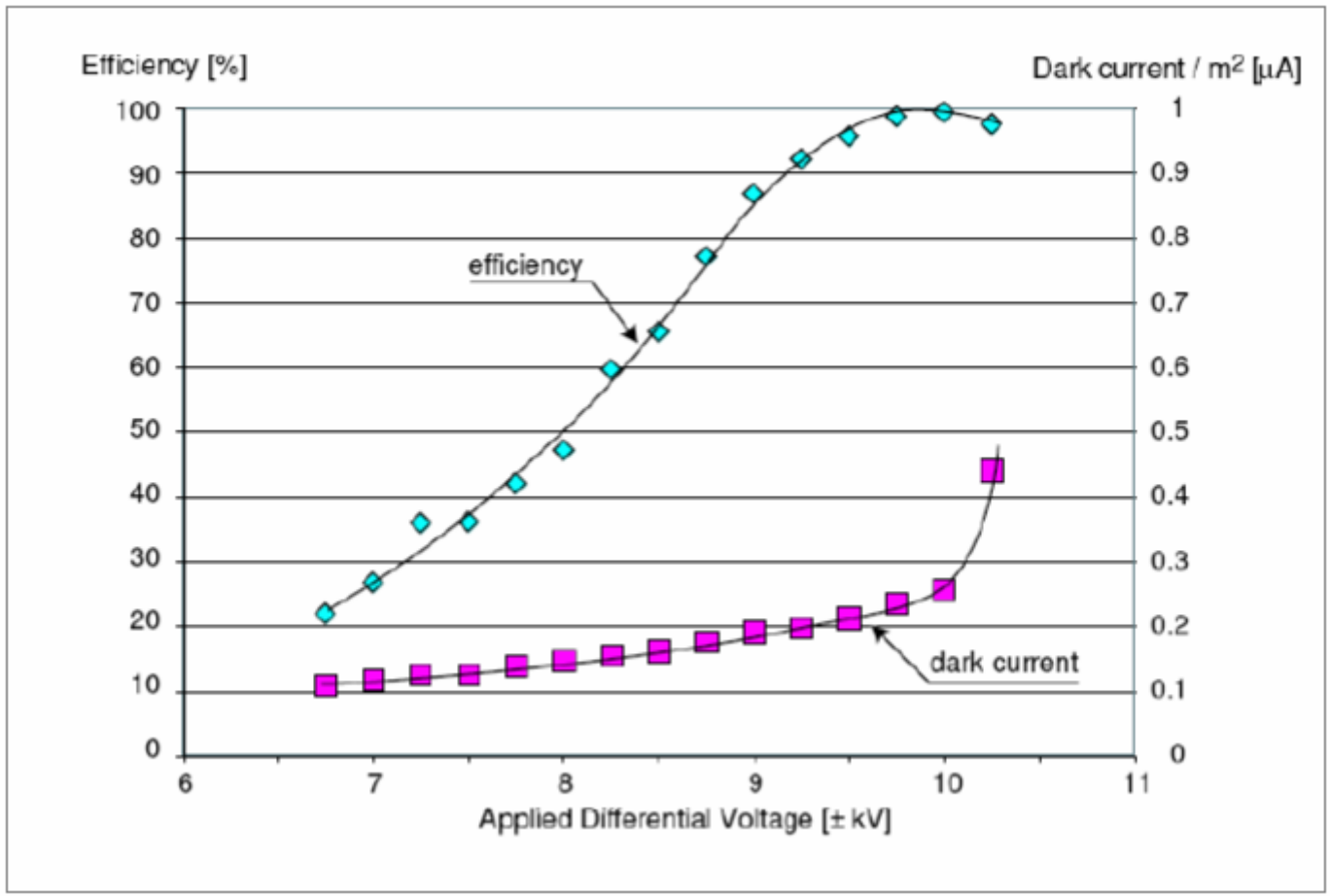
Uno strato resistivo è applicato alla superficie interna dei piani di vetro estremi della pila (che costituiscono i cosiddetti piani di alta tensione) usando del "Licron" (una mistura di biossido di stagno e acetato etilico). Il Licron si asciuga sino a divenire duro ma può comunque essere raschiato via dal vetro; quindi, per fissarlo, viene applicato un secondo rivestimento di poliuretano; il risultato è uno strato resistivo, ben aderente al vetro, di resitività superficiale pari a circa 10 MΩ/quadrato.

Per prelevare il segnale dalle strip viene saldato un cavo *twisted pair*; pertanto un segnale differenziale è trasmesso dal rivelatore MRPC a un circuito stampato montato a ogni estremità.

Nel primo prototipo costruito sono stati montati dei connettori per i cavi di alimentazione dell'alta tensione. Il fatto di usare cavi di alimentazione a 10 kV potrebbe costituire un problema di sicurezza. Durante i test dei successivi prototipi saranno dunque provati degli alimentatori/convertitori di tensione DC-DC molto compatti che potrebbero essere alloggiati all'interno del volume del gas.

Il gas utilizzato per il riempimento della camera è una miscela di $C_2F_4H_2$ (93%) e SF_6 (7%); questa è la miscela standard utilizzata nei rivelatori MRPC costruiti l'apparato di misura dei tempi di volo per ALICE. La scheda elettronica è quella a 24 canali basata sul *chip* NINO ASIC, anch'esso sviluppato per il sistema TOF di ALICE.

Primi test del Rivelatore

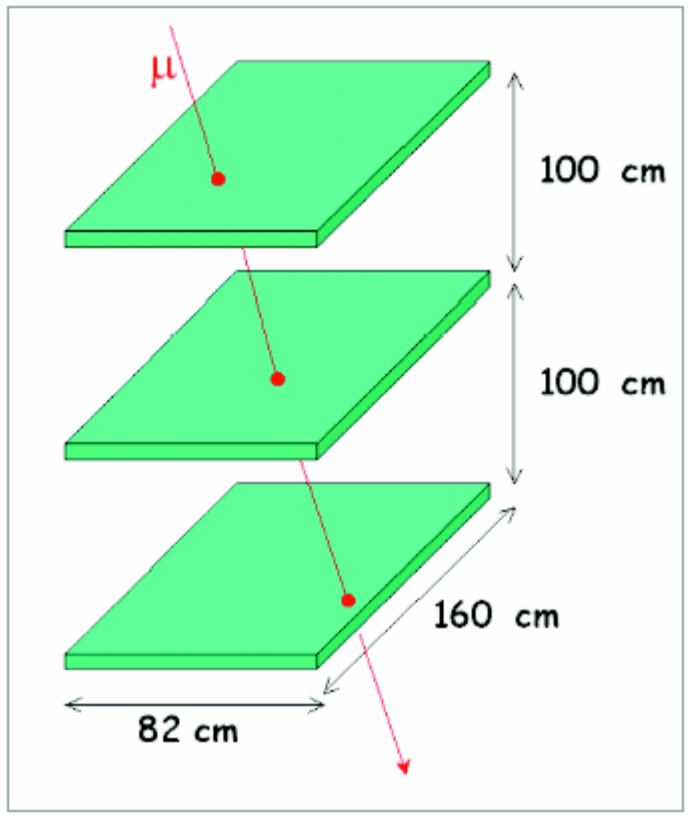


- Uno degli scopi del progetto EEE è la ricerca di coincidenze tra rivelatori posti anche a grandi distanze tra di loro.
- Per avere la risoluzione necessaria ogni rivelatore è dotato di un sistema GPS con cui si determina il tempo di arrivo dell'evento con la precisione $\Delta t \leq 100$ ns
- Le coincidenze tra eventi misurati in scuole diverse vengono cercate off-line.

Performances del Telescopio

- Ogni telescopio è composto da 3 rivelatori MRPC posti ad una distanza di 1 m l'uno dall'altro.

- Le strip di lettura sono larghe 25 mm, la distanza tra i centri di due strip adiacenti è di 34 mm che fornisce quindi la precisione sulla coordinata trasversale.
- La posizione del μ lungo la strip è data dalla differenza temporale ai due estremi della strip. Si ottiene una risoluzione di 10 mm.

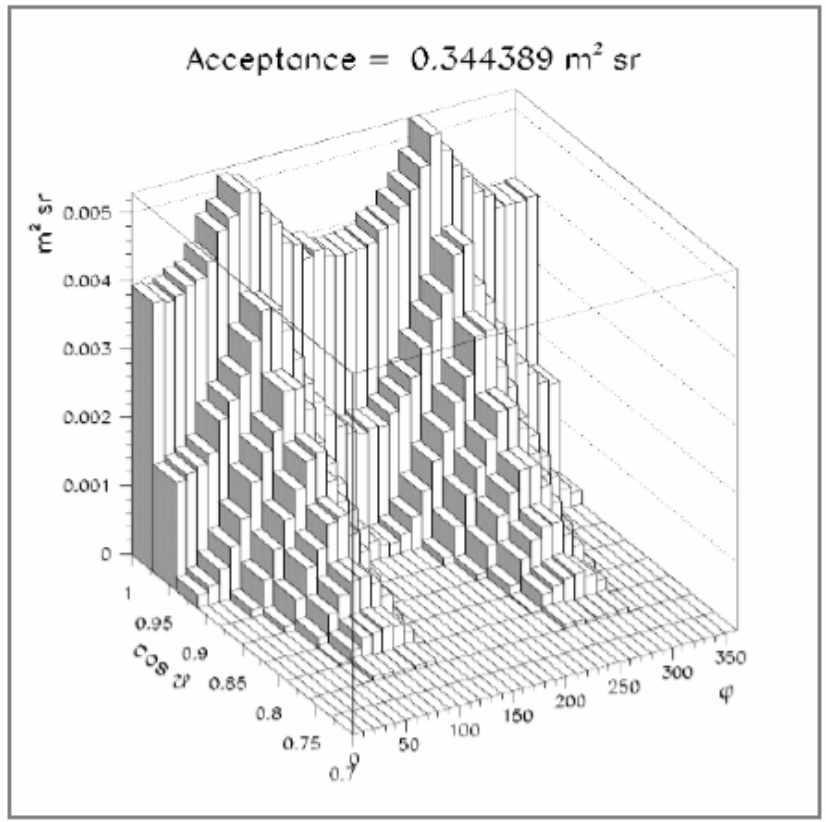


Accentanza angolare del telescopio

Calcolata simulando μ con direzione di arrivo distribuita in modo uniforme nell'emisfero Nord. La posizione di impatto del μ è campionata entro un cerchio di raggio 135 cm.

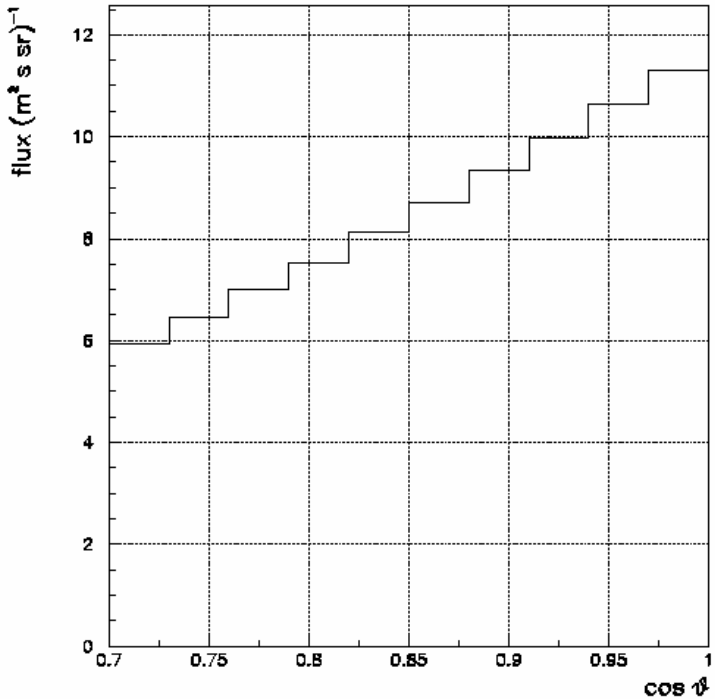
Se un μ colpisce tutti i 3 piani del rivelatore la sua traccia viene considerata ricostruita.

$$A = \frac{N_{REC}}{N_{GEN} \cdot S \cdot d\Omega}$$



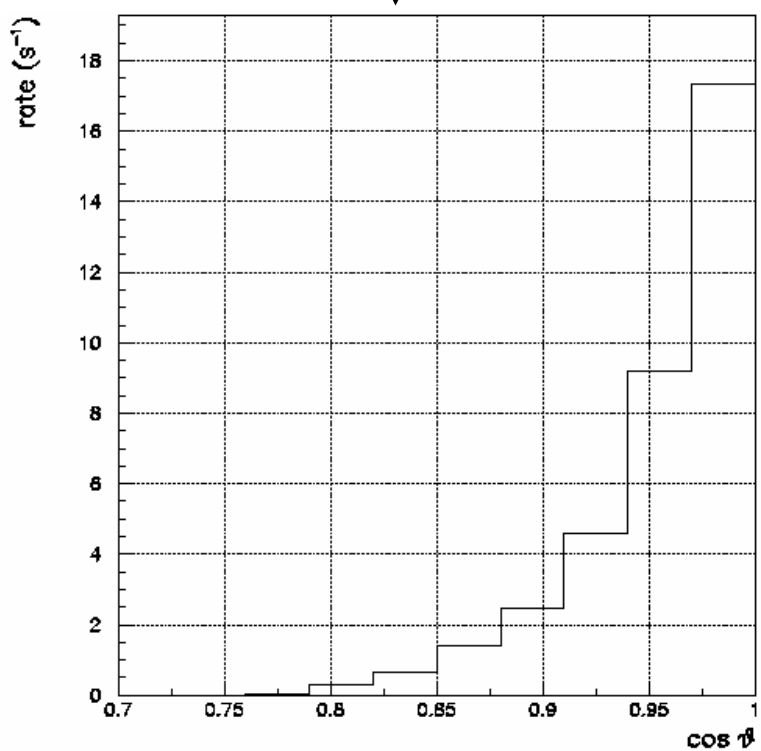
N_{REC} μ ricostruiti
N_{GEN} μ generati
$S = 5.68\ m^2$

Rate di eventi attesi 36 Hz

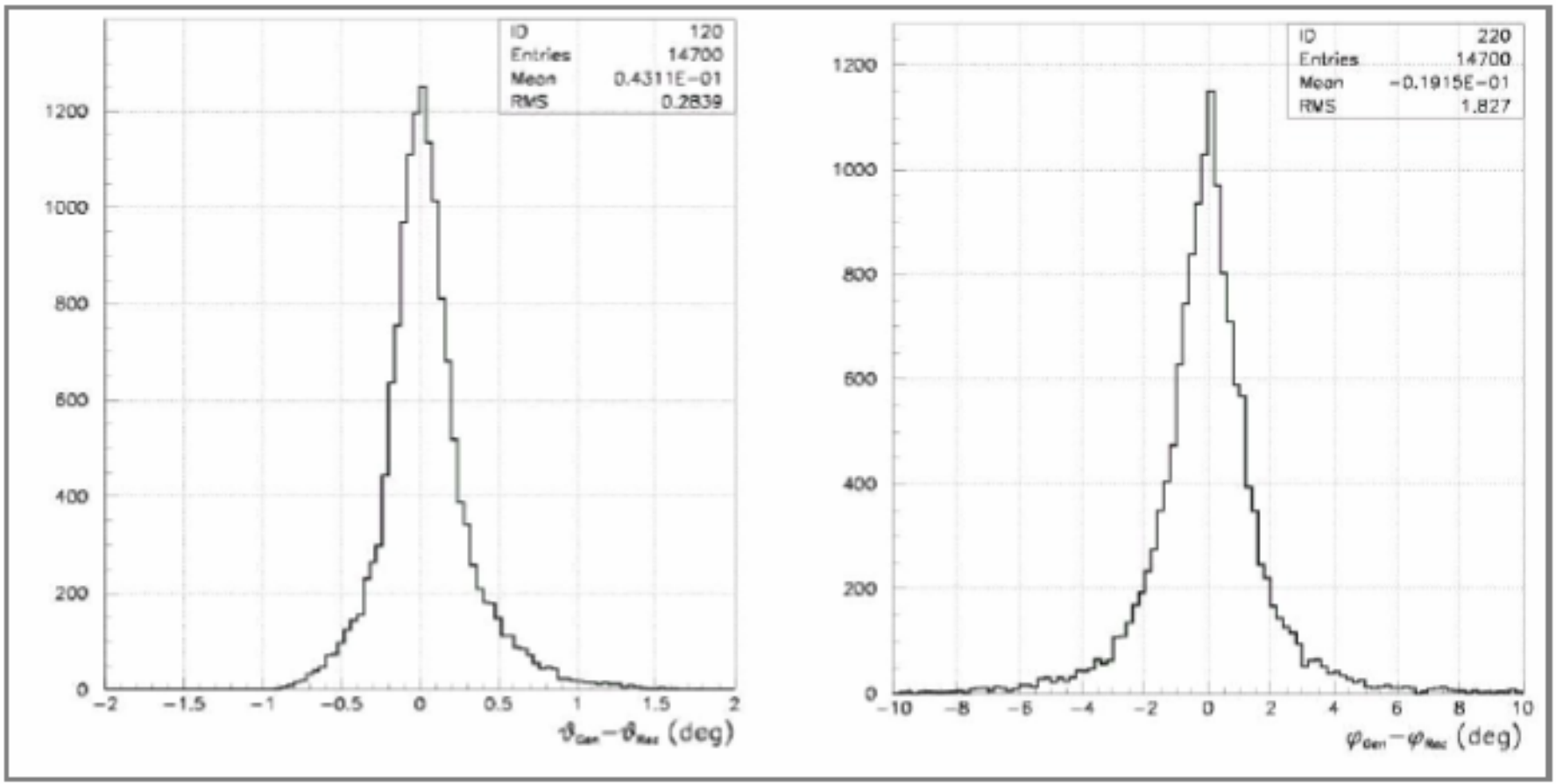


Distribuzione angolare dei μ genererati dalla simulazione $\cos^2\theta$

Rate dei m ricostruiti dal telescopio in funzione dell'angolo zenitale θ



Risoluzione Angolare dei Telescopi



$\sigma_\theta < 1°$

$\sigma_\phi < 2°$

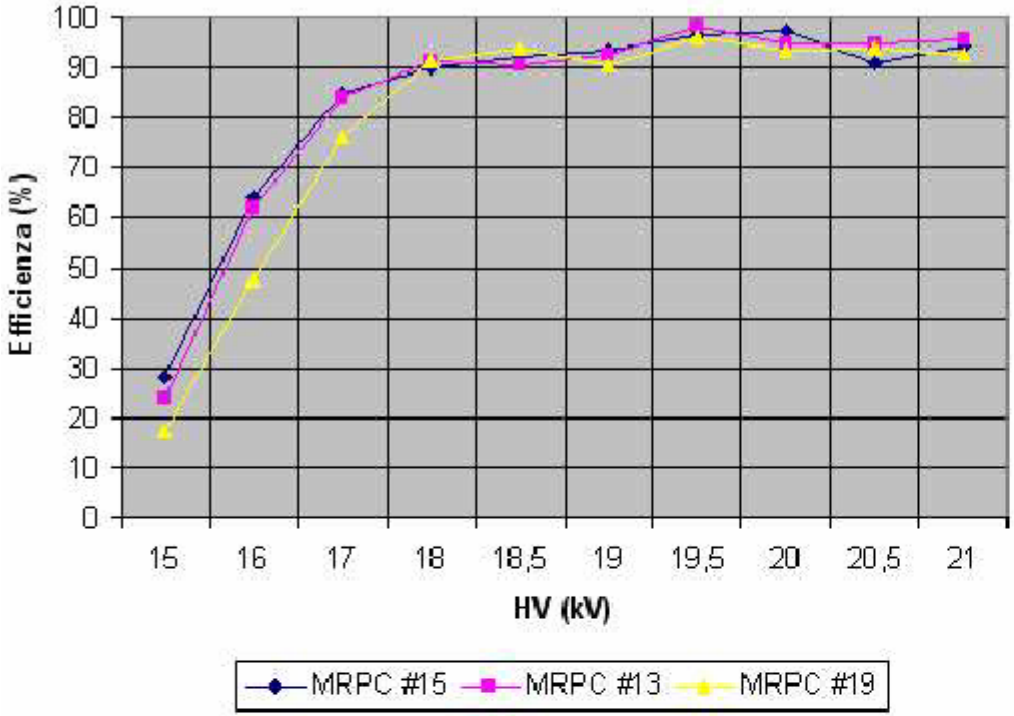
Status attuale dei telescopi

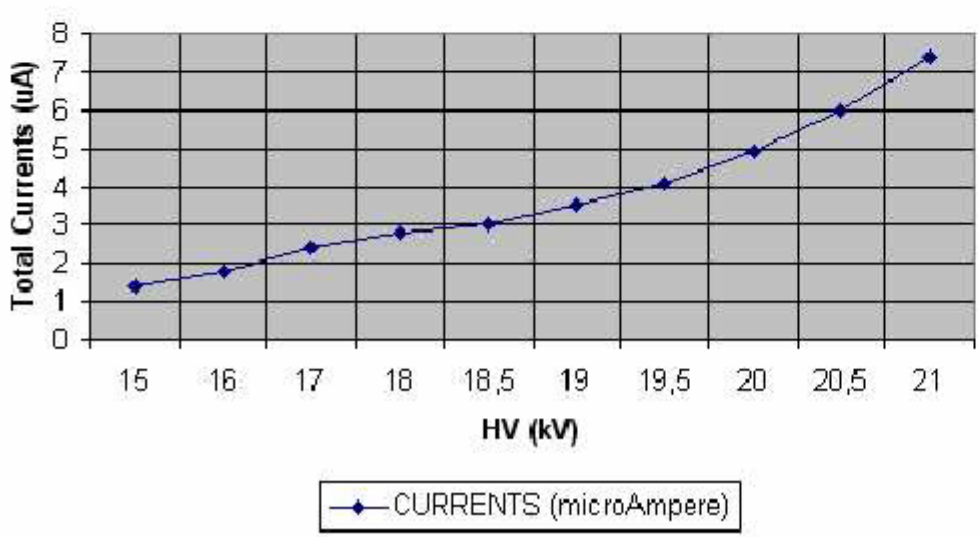
The 3 MRPC detectors, flushed with a $C_2H_2F_4/SF_6$= 95/5 gas mixture (total flow 40 cc/min), and equipped with standard ALICE front end electronics, provided by the CERN Group (Despina & Crispin), have been successfully tested at the Laboratori Nazionali di Frascati, in the area inside the Capannone G. Sasso provided by the LNF direction.

After a current check, (around few μA) the local efficiency has been measured for each detector, using a couple of scintillator tiles, about 20x20 cm^2 large.

Gas in → #15 → #13 → #19 → Gas out

1 positive + 1 negative HV Ch for three detectors





The results are very good and in agreement with those obtained at CERN.

The lower knee of the efficiency plateau is due to the reduced fraction of SF6 (5%) in the gas mixture.

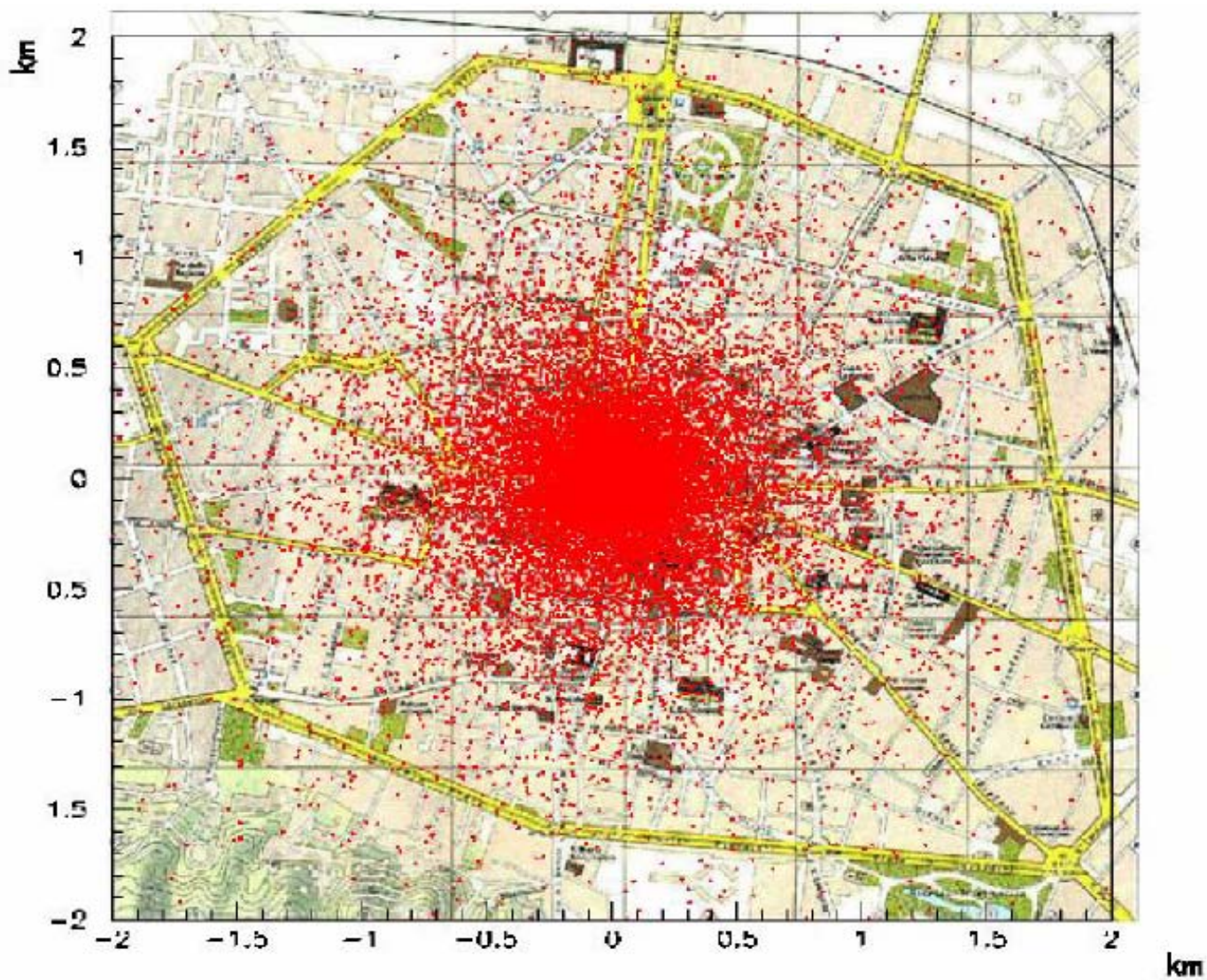
The shipping method designed by Enzo Iacuessa worked well.

In collaboration with the LNGS Group we are organizing the shipping for the other sites.

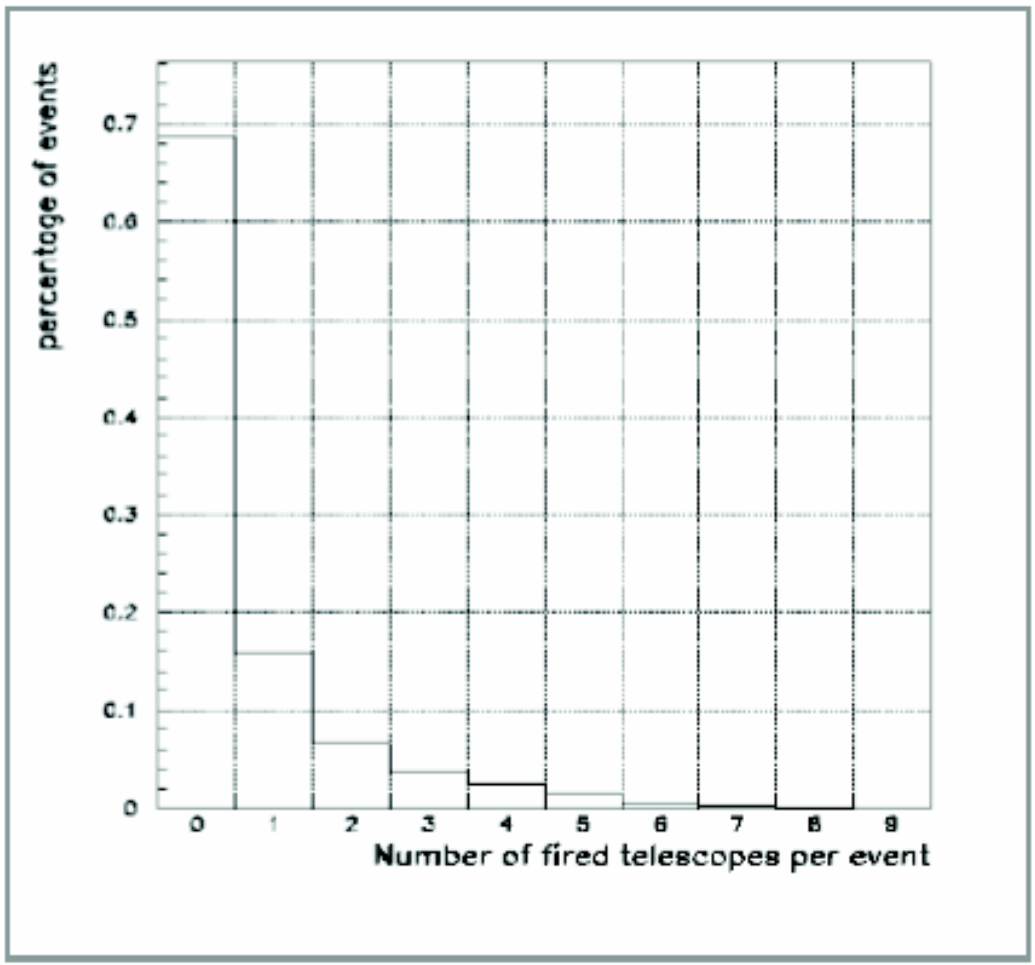
Coincidenze su scala locale (Bologna)

Supponiamo di installare un telescopio in ogni istituto superiore di Bologna (22)

μ compresi in un EAS generato da un protone di $E=10^{17}$ eV caduto nel centro di Bologna



- Simulati sciami generati da protoni di energia $E = 10^{18}$ eV che incidono in direzione verticale su un area di raggio 4 km centrata su BO
- In figura è mostrata la percentuale di eventi in cui 0, 1, 2,.... telescopi hanno rivelato almeno un μ



70% eventi 0 telescopi

9% eventi ≥3 telescopi

- Dato il flusso di raggi cosmici

$$\Phi(E \geq 10^{18}\ \mathrm{eV}) \sim 1.6\ 10^{-12}\ \mathrm{m}^{-2}\ \mathrm{s}^{-1}\ \mathrm{sr}^{-1}$$

185 eventi/anno (almeno 3 telescopi)

105 eventi/anno (almeno 4 telescopi)

$$R_{triple} = R_{sing}^{3}\ \Delta t^{2} = 4.6\ 10^{-8}\ \mathrm{Hz}$$

$\Delta t = 1 \mu s$

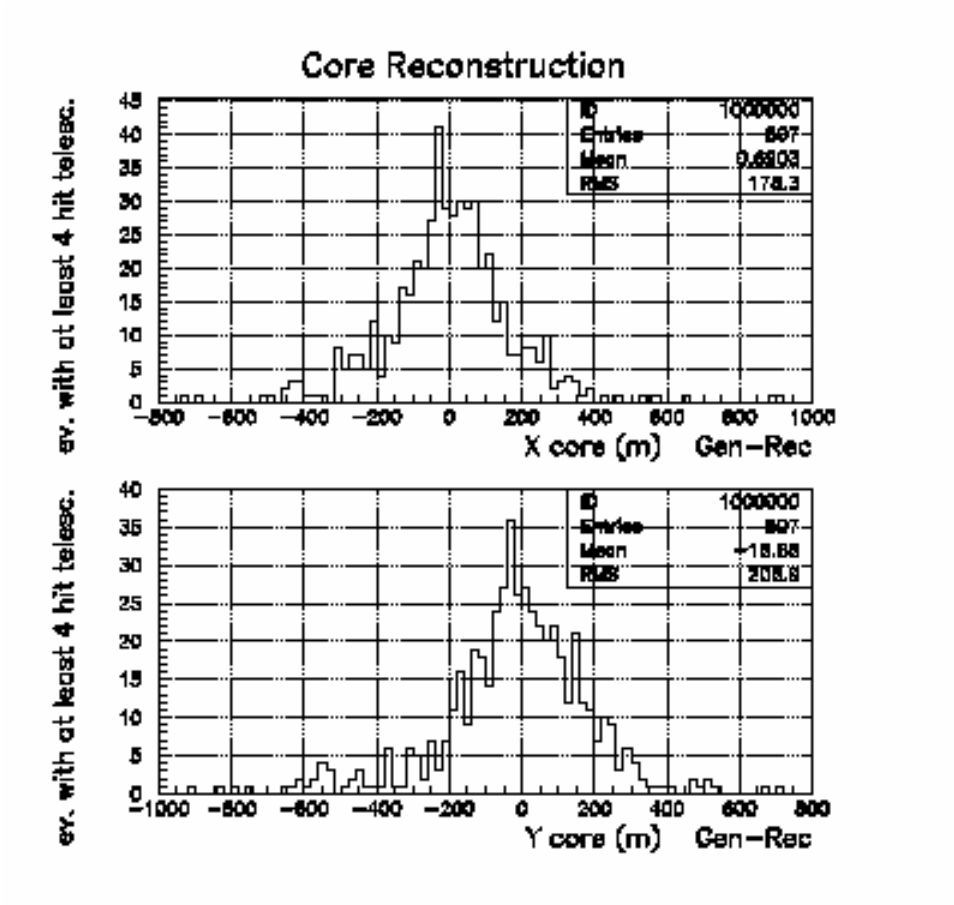
1.47 eventi/anno ➔ 150 eventi/anno

4 scuole ➔ $5\ 10^{-3}$ coincidenze casuali anno

Misura dei parametri dello sciame

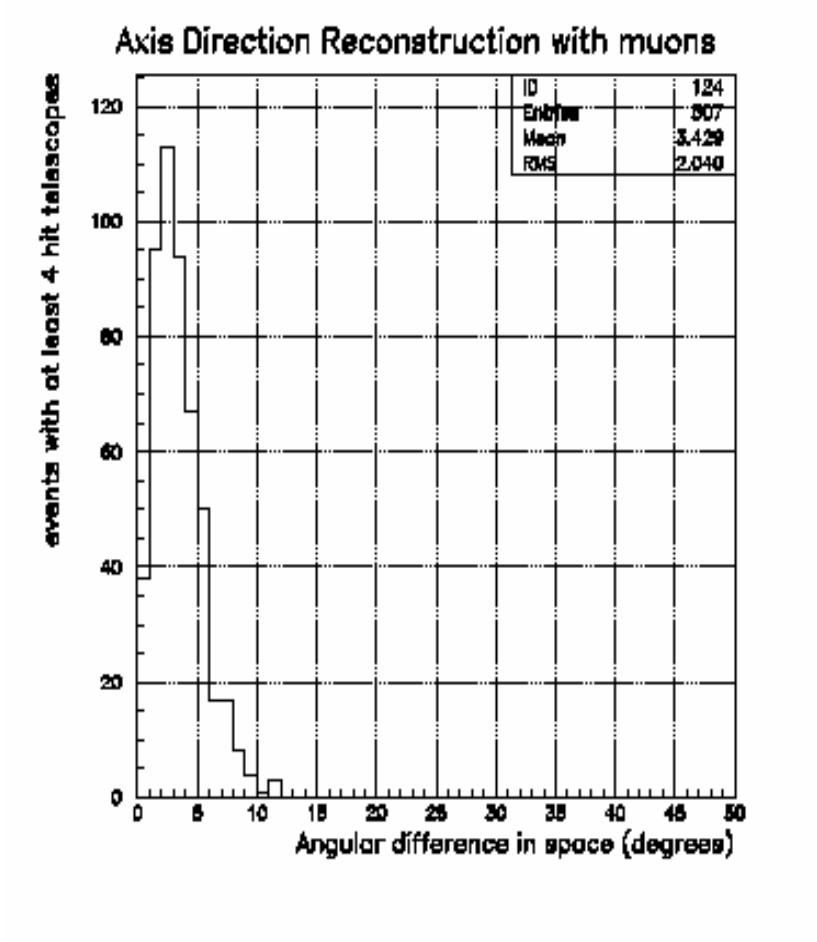
- Ricostruzione della posizione del core dello sciame

$$x_{core} = \frac{\sum x_i n_\mu^i}{\sum n_\mu^i}$$



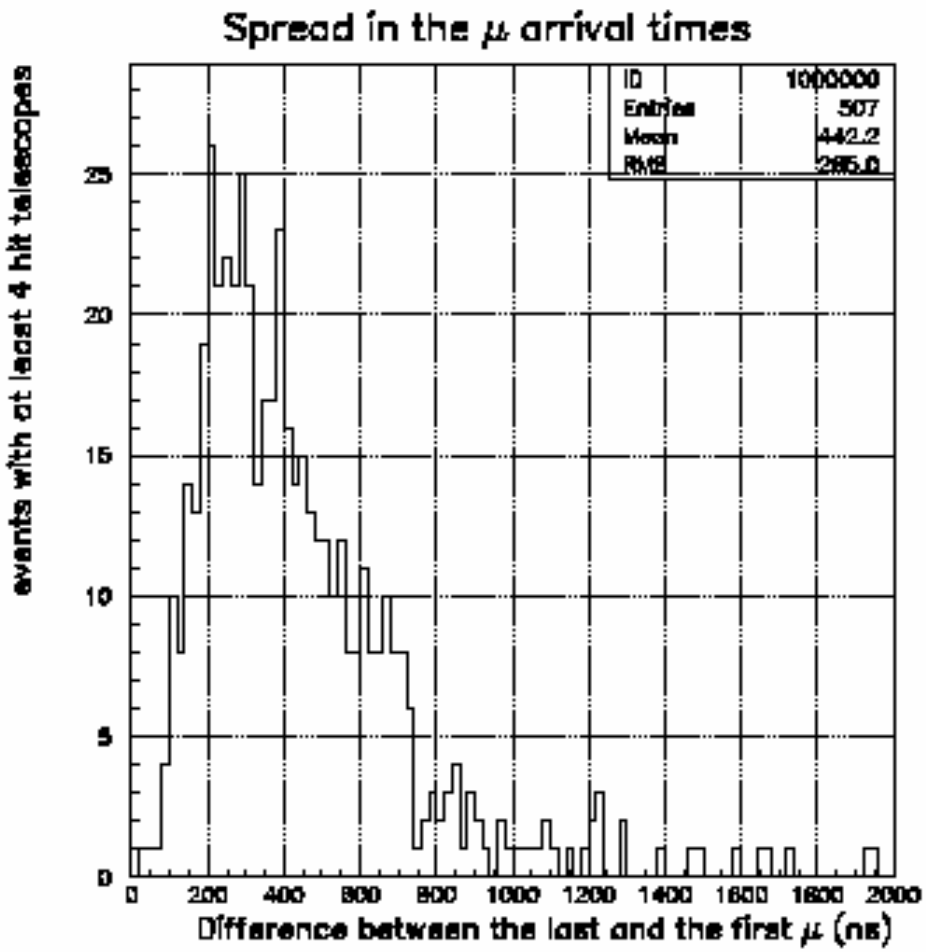
$\sigma_x \sim 200 \div 250$ m

- Misura della direzione di arrivo dello sciame come valor medio della direzione di arrivo dei singoli μ

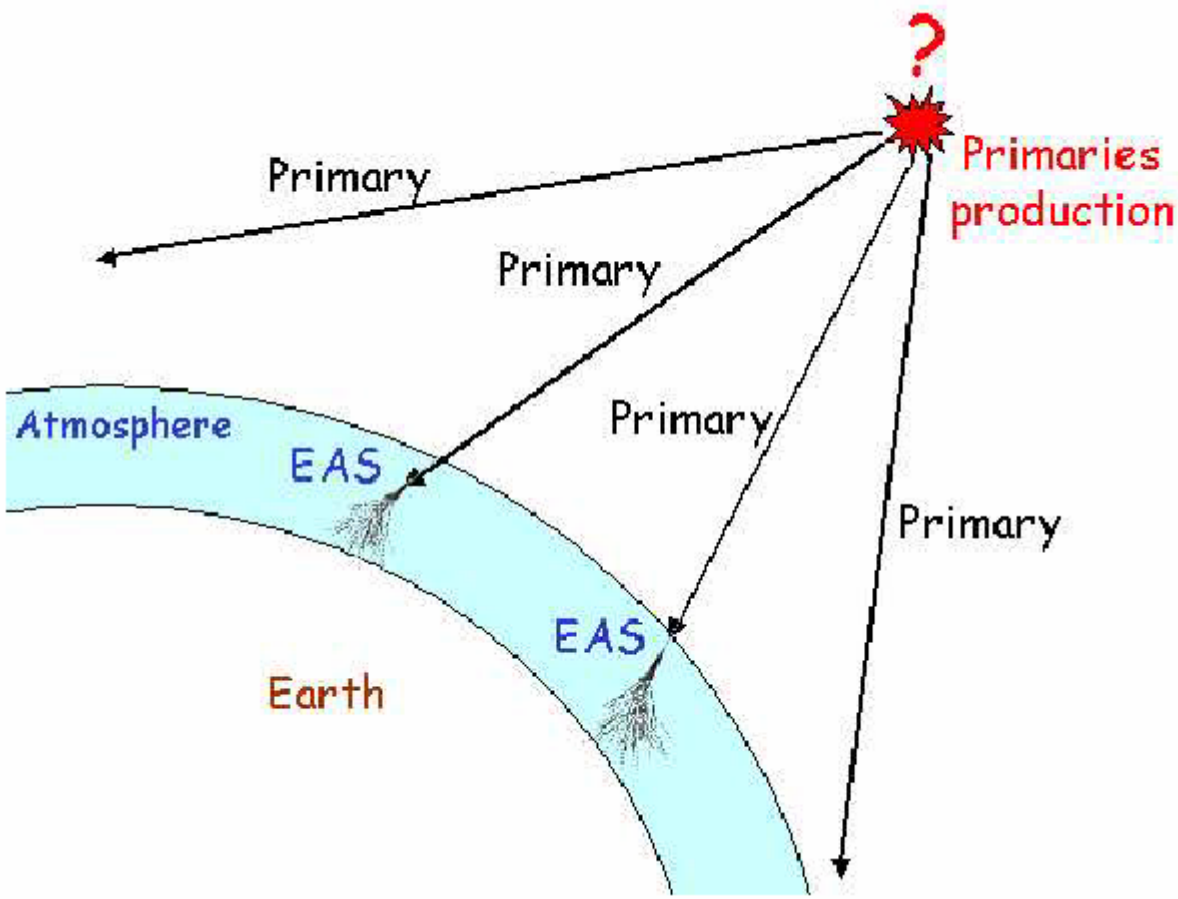


Differenza tra il tempo di arrivo della prima e dell'ultima particella dello sciame

Il 95% degli sciami simulati mostra un ritardo massimo di 1 μs (sciami verticali)



Possibili attività di ricerca



Coincidenze tra Telescopi

- Rate di un singolo telescopio 36 Hz
- Rate di conteggi casuali tra due telescopi:

$$R_{cas} = R_{C1}\, R_{C2}\, \Delta t$$

Gate (μs)	Coinc. Rate (Hz)	Eventi anno	Eccesso 4σ
10	$1.3\ 10^{-2}$	$4.1\ 10^{5}$	2557
30	$3.9\ 10^{-2}$	$1.2\ 10^{6}$	4429
80	$1.0\ 10^{-1}$	$3.3\ 10^{6}$	7233
120	$1.6\ 10^{-1}$	$4.9\ 10^{6}$	8858
800	1.04	$3.3\ 10^{7}$	22872
1500	1.94	$6.1\ 10^{7}$	31319

Conclusioni

- Il progetto EEE è una realtà. 7 telescopi sono già stati costruiti e stanno per arrivare nelle scuole di destinazione
- Entro il 2006 almeno verranno installati i telescopi in almeno altre 14 scuole
- Permette di avvicinare gli studenti delle scuole superiori alla ricerca in fisica, dando l'occasione di operare su un rivelatore di elevata qualità