



# *Il Progetto EEE: I raggi cosmici a scuola*

**Elisa Bressan**

Museo storico della fisica e Centro studi e ricerche E. Fermi  
INFN Bologna

**Project Leader:  
Antonino Zichichi**



[www.centrofermi.it/eee/](http://www.centrofermi.it/eee/)

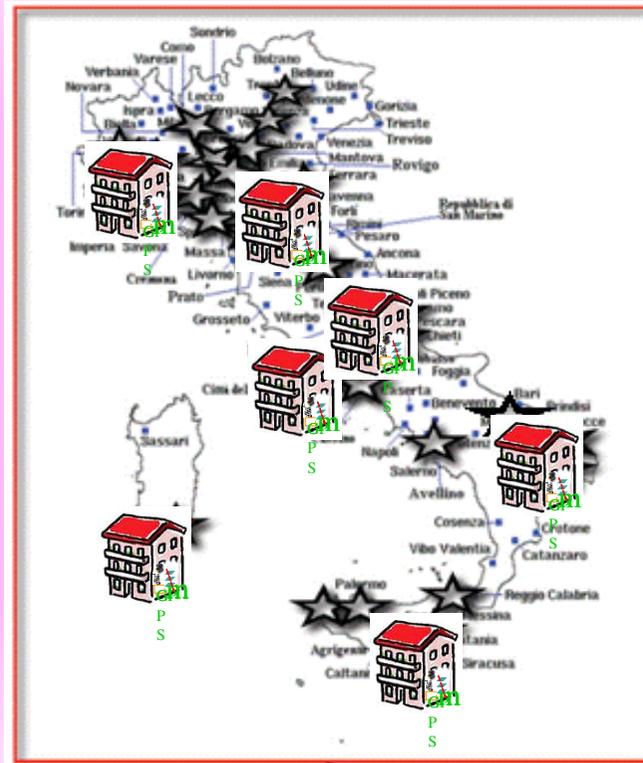
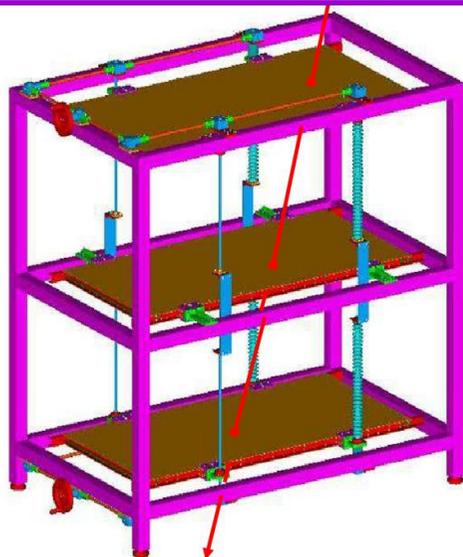
*Dott.ssa Elisa Bressan, Comunicare Fisica 2012, 10 Ottobre 2012*

# **Il Progetto EEE: la struttura dell'esperimento**

# Il Progetto EEE (Extreme Energy Events)

## Finalità Scientifica

Rivelare e studiare sciame prodotti da raggi cosmici primari di altissima energia attraverso la rivelazione a terra dei muoni dello sciame utilizzando un array esteso di telescopi dotati di GPS per la sincronizzazione temporale



## Finalità di Educazione Scientifica

Studenti delle scuole Medie Secondarie di tutta Italia partecipano attivamente alla:

1. Costruzione del rivelatore;
2. Installazione e messa in funzione e monitoraggio quotidiano dell'apparato;
3. Analisi dati raccolti.

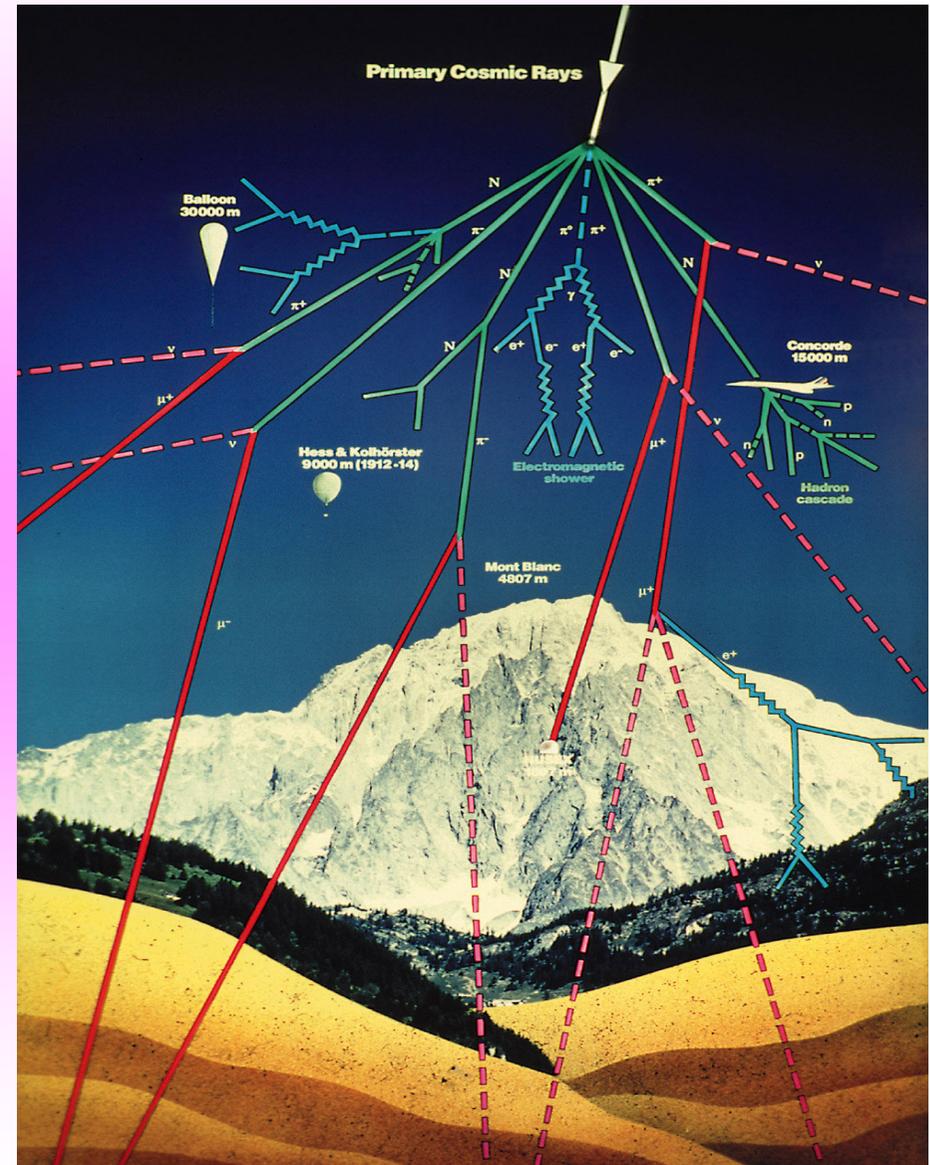
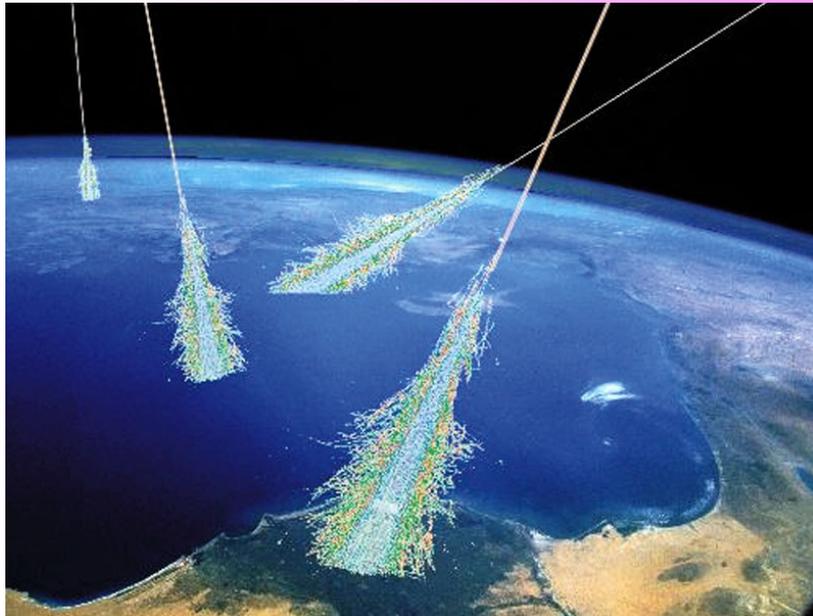


# **Il Progetto EEE: la fisica dell'esperimento**

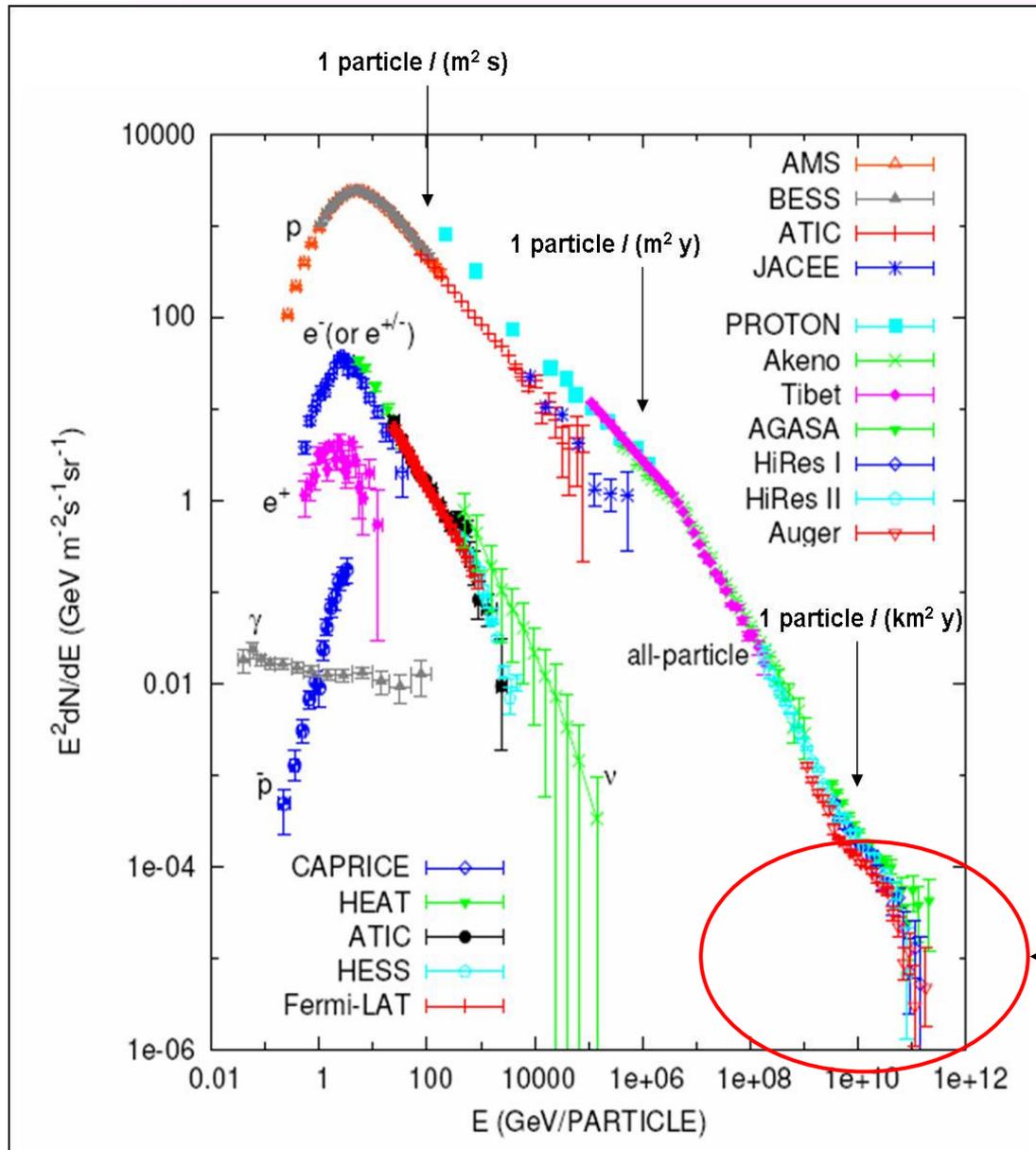
# Il Progetto EEE: i raggi cosmici

I Raggi Cosmici sono particelle che bombardano costantemente la Terra da ogni direzione. Le energie di queste particelle ricoprono un vasto intervallo fino ad arrivare oltre  $10^{20}$  eV. La loro provenienza è sia galattica che extragalattica.

Molti studi sono stati effettuati sui Raggi Cosmici dalla loro scoperta nel 1912, ma c'è ancora molto da capire.



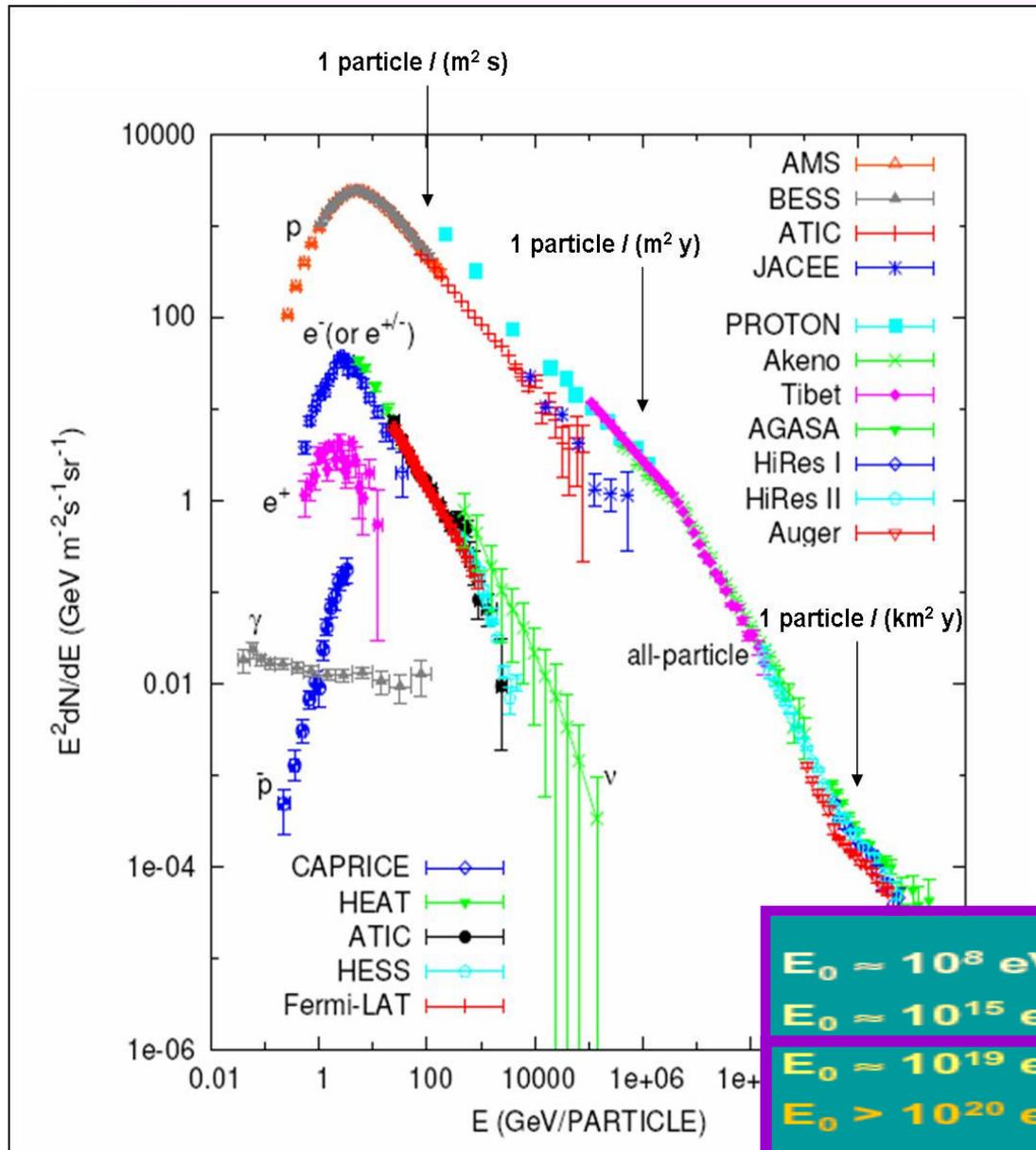
# La fisica dell'esperimento: i raggi cosmici primari



- **Spettro alle basse energie ( $E < 10^{18}$  eV)**
  - “Ginocchio” a  $10^{15}$  eV
  - Sorgenti galattiche
- **Cambiamento di pendenza per le alte energie ( $E > 10^{18}$  eV)**
  - GZK cutoff
  - Sorgenti extragalattiche
- Mancano informazioni dettagliate sull’esistenza, sulle sorgenti e sul modello di propagazione dei raggi cosmici primari.

**Il Progetto EEE  
intende studiare la regione di più  
alta energia**

# La fisica dell'esperimento: i raggi cosmici primari

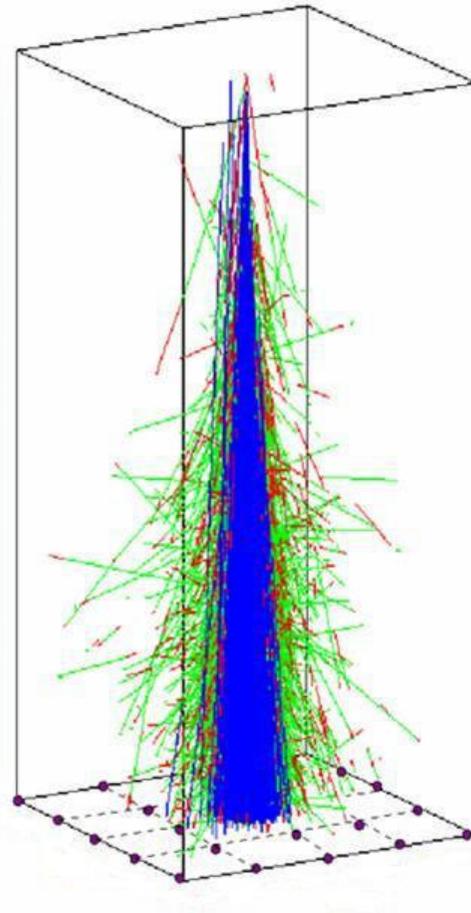
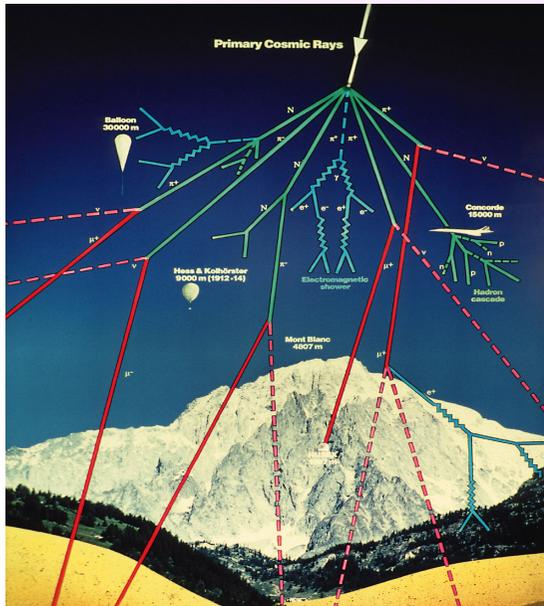


- **Spettro alle basse energie ( $E < 10^{18}$  eV)**
  - “Ginocchio” a  $10^{15}$  eV
  - Sorgenti galattiche
- **Cambiamento di pendenza per le alte energie ( $E > 10^{18}$  eV)**
  - GZK cutoff
  - Sorgenti extragalattiche
- Mancano informazioni dettagliate sull’esistenza, sulle sorgenti e sul modello di propagazione dei raggi cosmici primari.

**Il Progetto EEE  
intende studiare la regione di più  
alta energia**

**$E_0 \approx 10^8$  eV  $\rightarrow$  100 eventi / m<sup>2</sup> / secondo**  
 **$E_0 \approx 10^{15}$  eV  $\rightarrow$  1 evento / m<sup>2</sup> / anno**  
 **$E_0 \approx 10^{19}$  eV  $\rightarrow$  1 evento / km<sup>2</sup> / anno**  
 **$E_0 > 10^{20}$  eV  $\rightarrow$  1 evento / km<sup>2</sup> / secolo**

# Cosa accade quando un raggio cosmico primario incontra l'atmosfera terrestre?

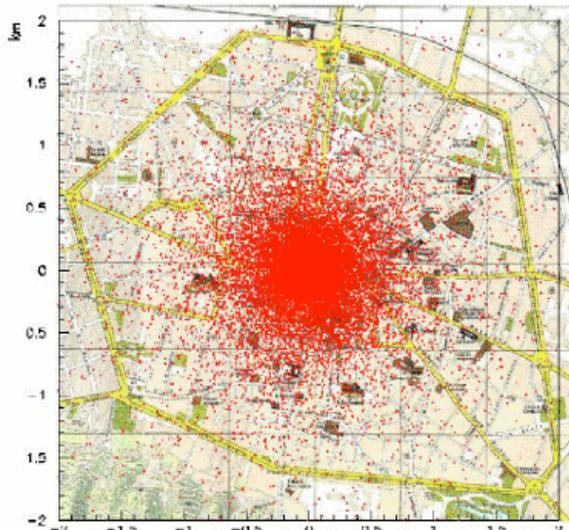


Il raggio cosmico primario urta le molecole dell'atmosfera terrestre, negli urti si genera un numero elevato di particelle dell'universo subatomico.

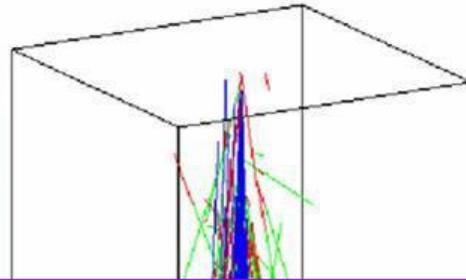
**Si genera uno  
SCIAME ESTESO (EAS)**

Alcune di esse hanno sufficiente energia e capacità di penetrazione per arrivare sino a terra o anche più in giù!

Tra queste c'è il muone ( $\mu$ ).



# Cosa accade quando un raggio cosmico primario incontra l'atmosfera terrestre?

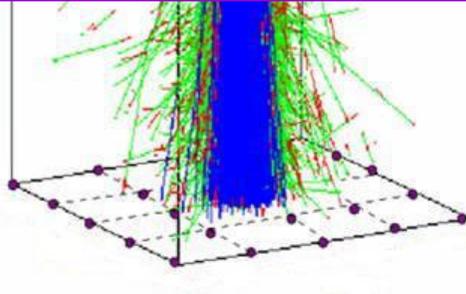
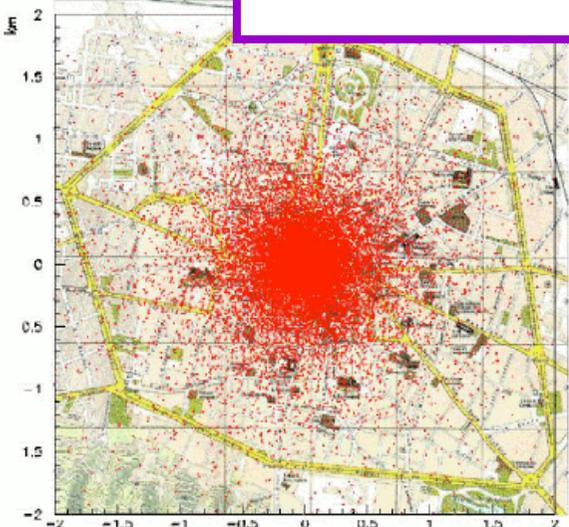


Il raggio cosmico primario urta le molecole dell'atmosfera terrestre, negli urti si genera un numero elevato di particelle

Se riuscissimo a “campionare” bene a terra l'impronta dello sciame saremmo in grado di capire qualcosa sulle sue caratteristiche. In particolare siamo interessati alla componente “muonica” dello sciame esteso: i muoni sono penetranti e possono essere rivelati anche all'interno di edifici come le scuole.

(EAS)

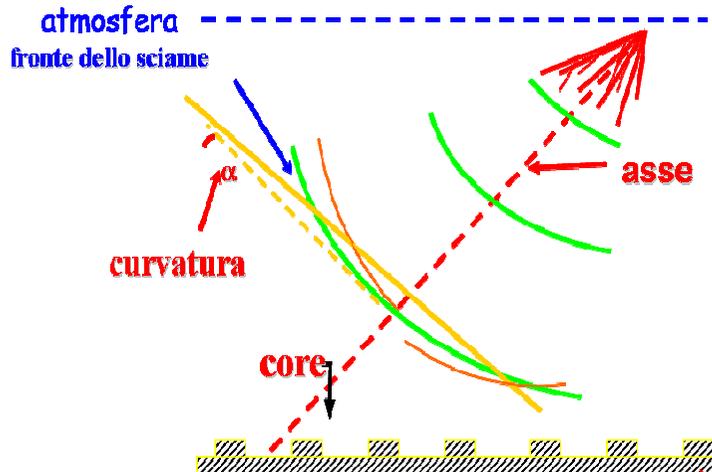
ficiente



energia e capacità di penetrazione per arrivare sino a terra o anche più in giù!

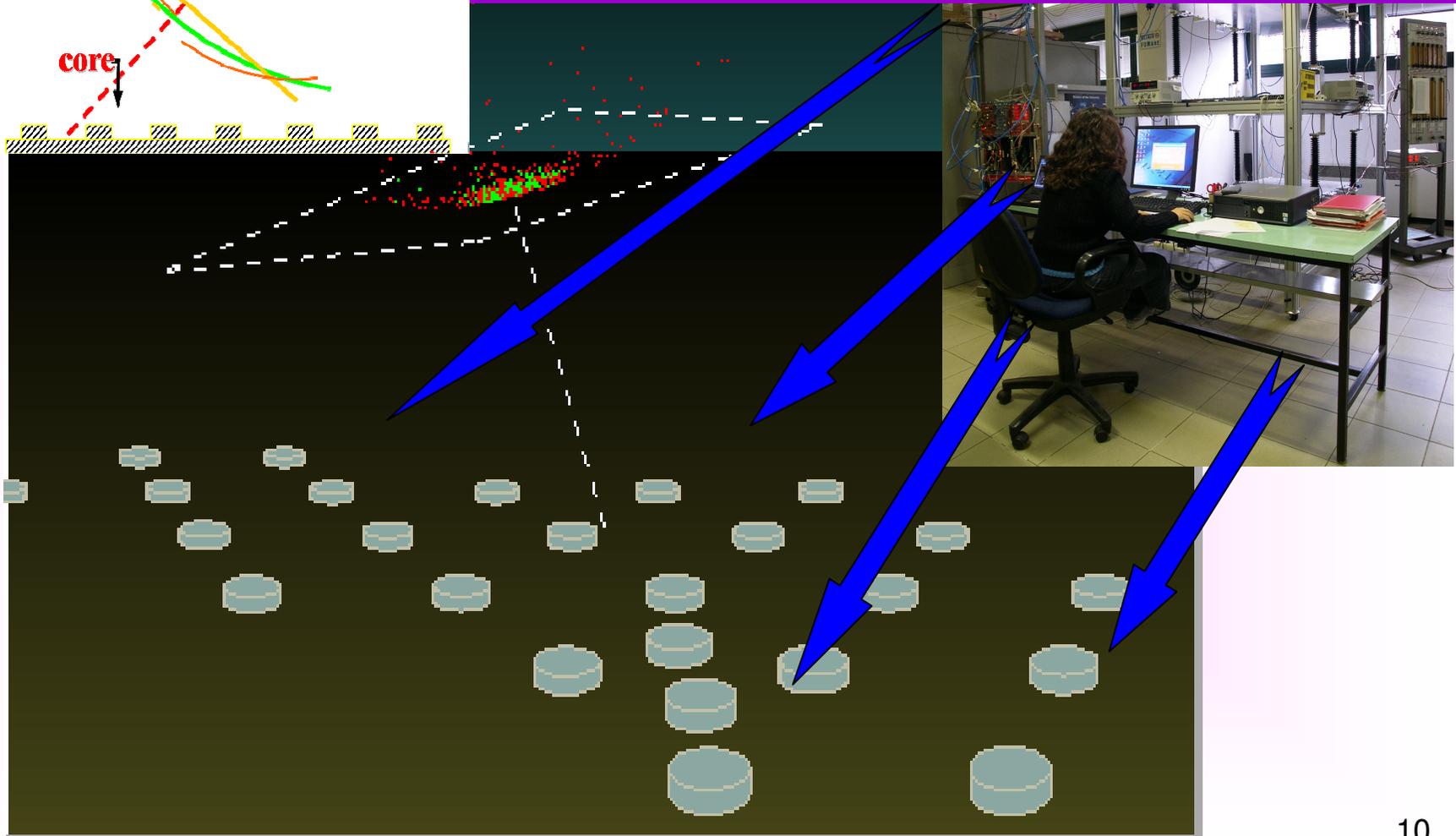
Tra queste c'è il muone ( $\mu$ ).

# Perché utilizzare un array esteso di rivelatori



Dato il bassissimo flusso, occorre:

- Una grande superficie sensibile,  $S$
- Una grande accettazione per avere una grande statistica
- Un grande tempo di esposizione  $T$



# La mappa del Progetto EEE

**34 Istituti disseminati in tutta Italia**

**+ 1 telescopio al CERN**

**I rivelatori sono stati costruiti nell'arco di due campagne di costruzione**

**1-fase pilota 2005-2006**

**2-II fase del Progetto EEE 2009**

**Infine una terza fase di costruzione è iniziata in questi mesi.**

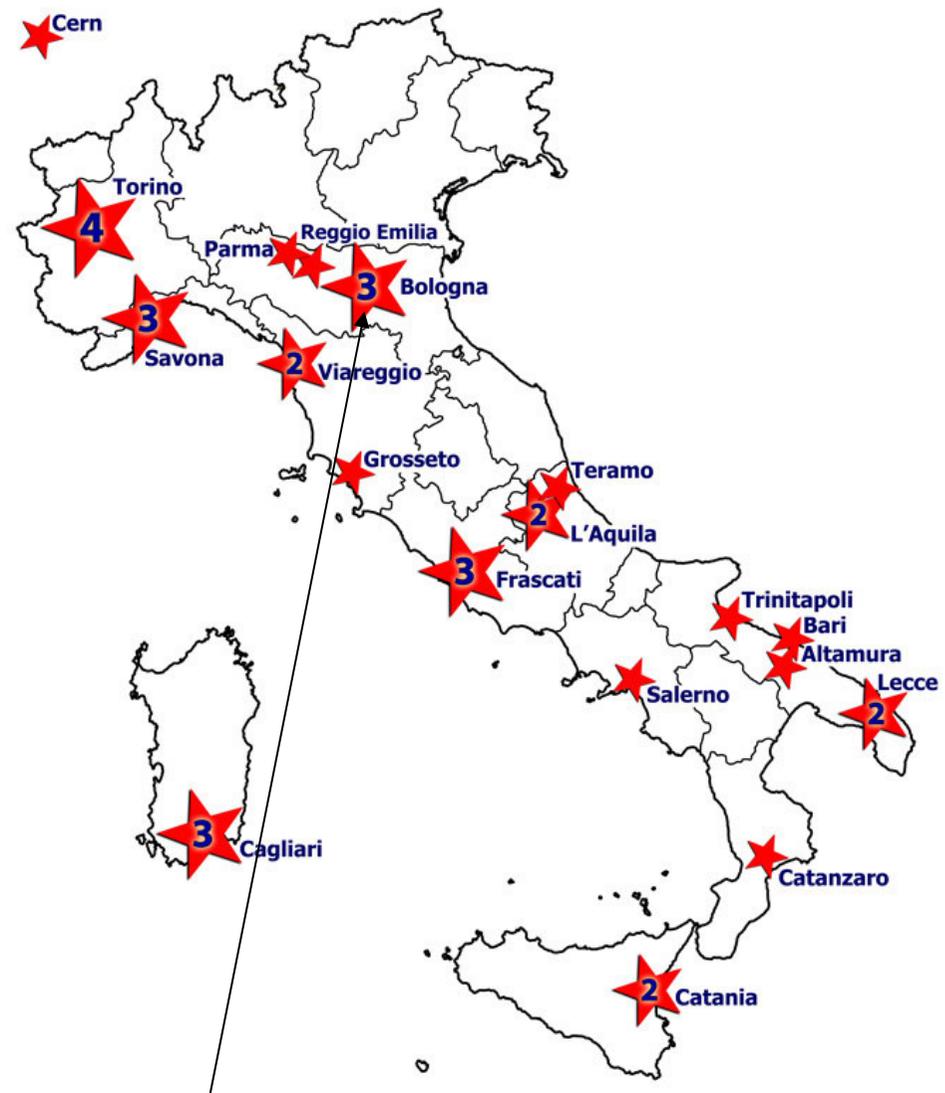
1. Museo Storico della Fisica e Centro Studi e Ricerche "Enrico Fermi"
2. Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN)
3. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)
4. Fondazione e Centro di Cultura Scientifica "Ettore Majorana" (EMFCSC)
5. Centro Europeo di Ricerche in Fisica Nucleare e Subnucleare (CERN)
6. Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)
7. Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR)
8. World Laboratory (WORLDLAB)



# La mappa del Progetto EEE

Array di telescopi di MRPC  
su tutta la superficie italiana

- Rivelazione di raggi cosmici di energia estrema
- Identificazione di zone privilegiate di arrivo
- Studio su piccola (singola città) e grande scala (città diverse) di sciame
- Ricerca di coincidenze tra particelle dello stesso sciame e tra sciami distanti grazie alla sincronizzazione dei telescopi tramite un sistema GPS (assegnazione di un tempo assoluto ad ogni evento)

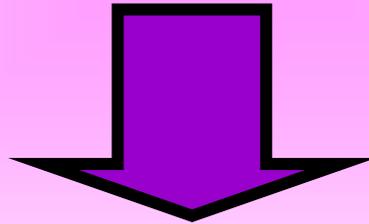


**In Emilia Romagna attualmente  
sono presenti 5 telescopi**

# **Il Progetto EEE: il rivelatore**

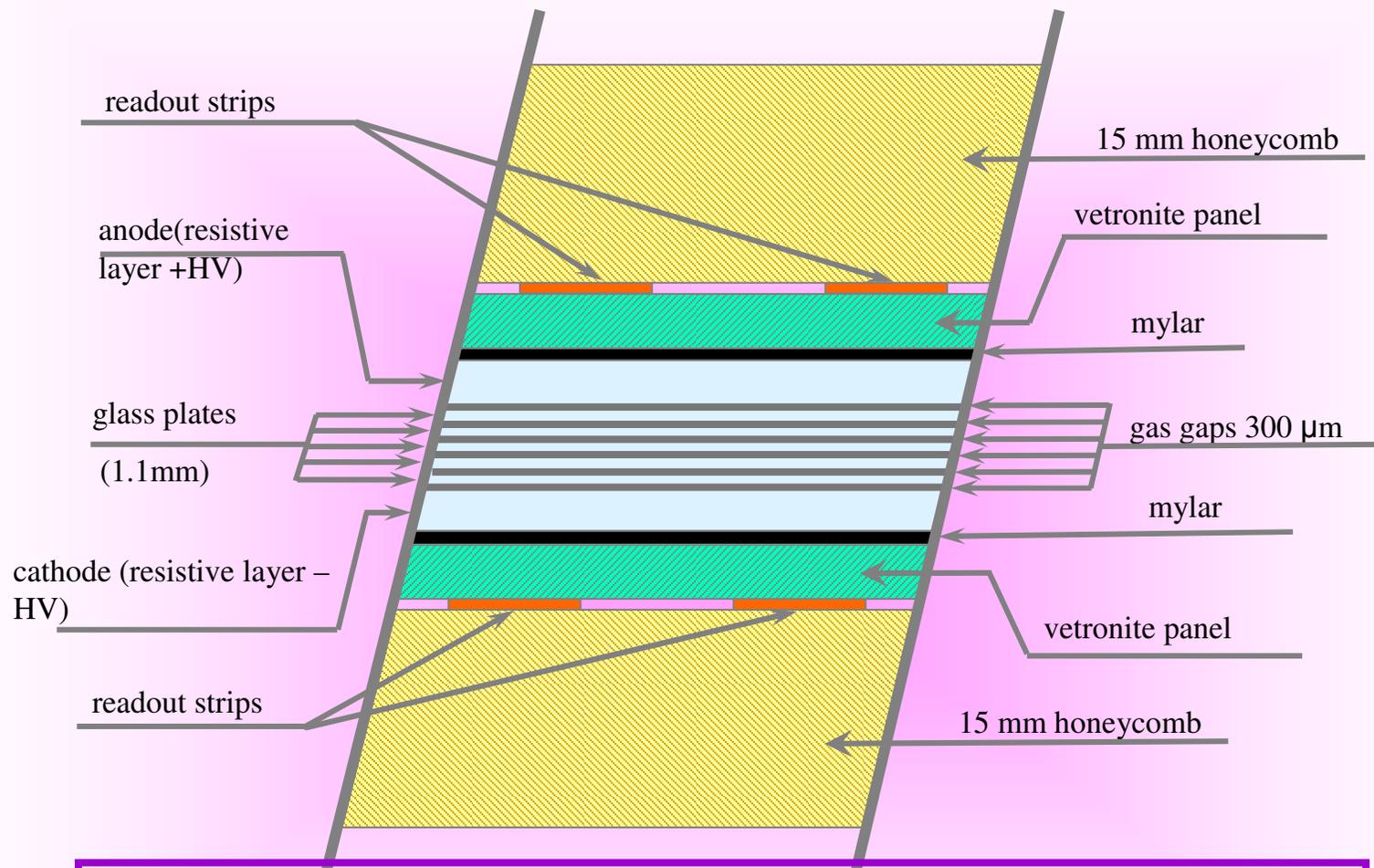
## *Il requisiti del rivelatore EEE*

- Necessità di costruire un array esteso
  - Grande numero di telescopi
    - Costo ragionevole
  - Funzionalità a lungo termine
    - Alta efficienza (100%)
- Ricostruzione della direzione dei muoni
  - Buona risoluzione temporale



**La scelta è un telescopio costituito da 3 piani di MRPC di  $80 \times 160$  cm<sup>2</sup> di area sensibile**

# Il rivelatore del Progetto EEE: MRPC



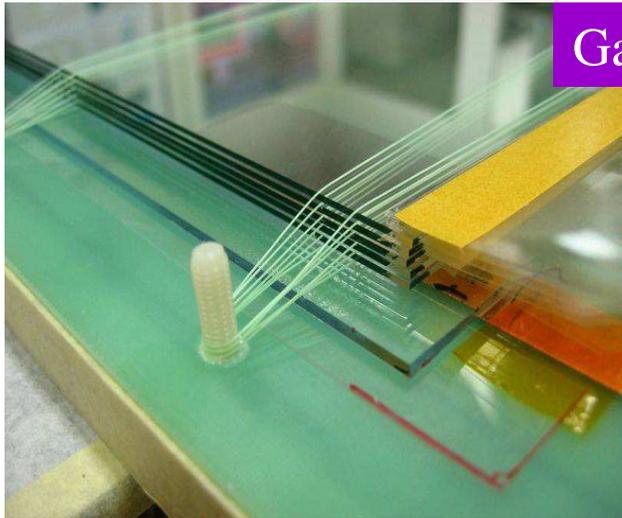
**AREA SENSIBILE (160 x 82) cm<sup>2</sup>**

**ALIMENTAZIONE ~ 20 kV**

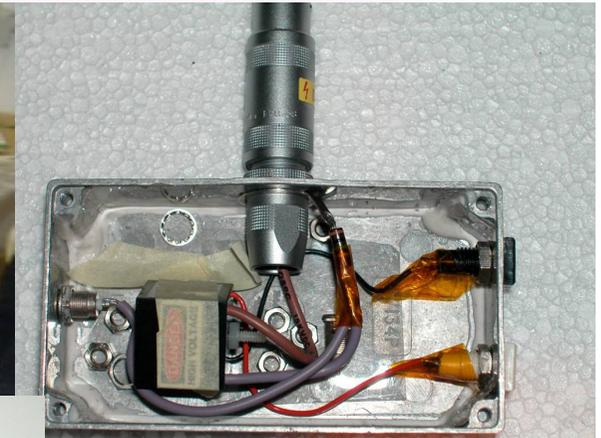
**GAS miscela di C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>F<sub>4</sub> + SF<sub>6</sub> (98% + 2%) flusso 1.5 l/h**

*Dott.ssa Elisa Bressan, Comunicare Fisica 2012, 10 Ottobre 2012*

# Il rivelatore: alcuni dettagli

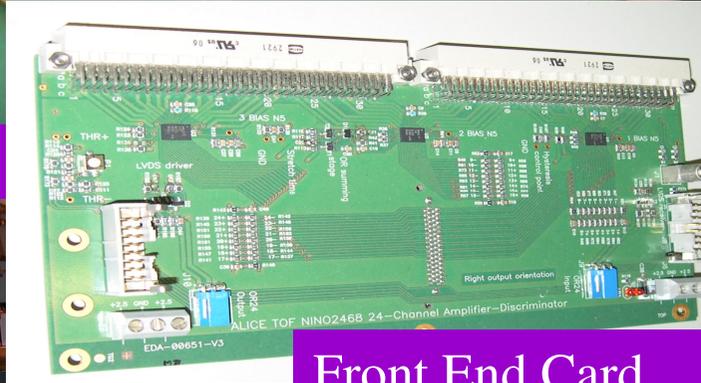


Gas gap di 300  $\mu\text{m}$  tra i vetri



HV system:  $\pm 10$  kV  
tramite DC/DC converter

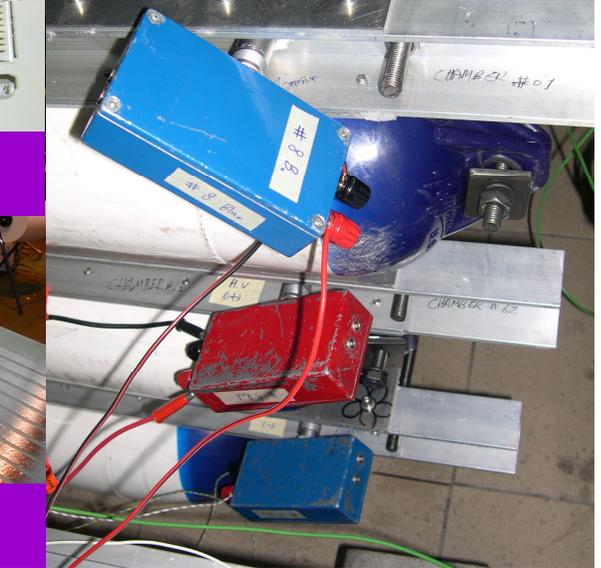
Gas system



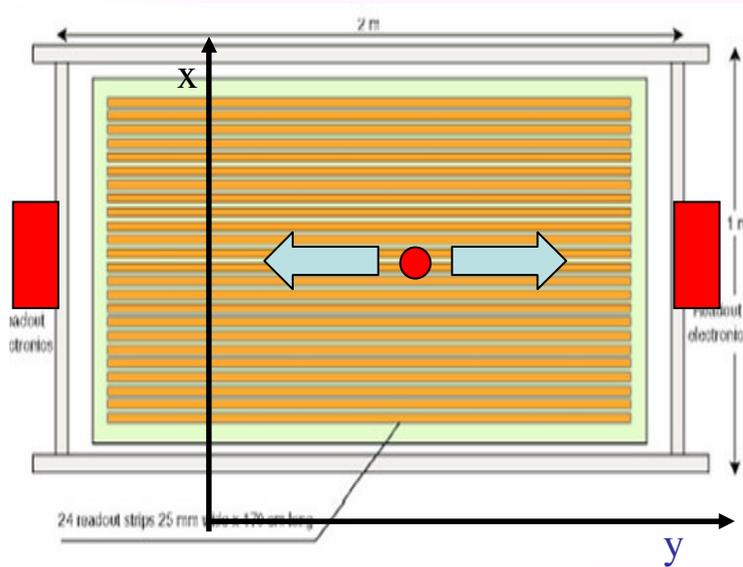
Front End Card



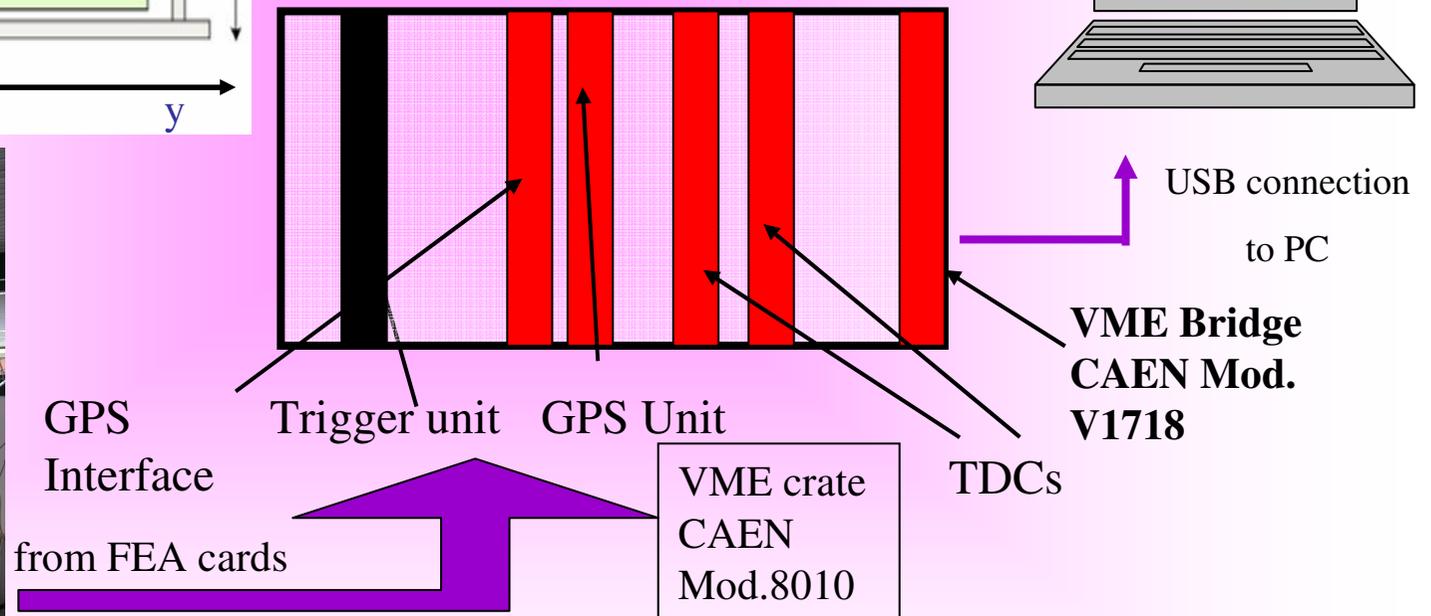
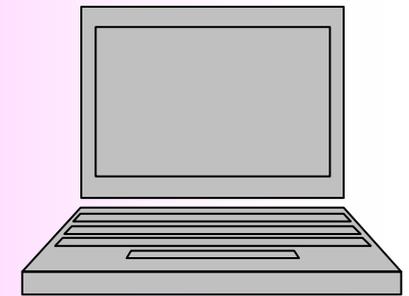
24 strip: (160 x 2.5) cm



# Il rivelatore: alcuni dettagli



Determinazione del punto di impatto della particella in ogni piano sensibile  
Ricostruzione della traccia



Telescopi distanti sono sincronizzati con un modulo GPS che fornisce il tempo UTC di ogni evento rivelato.

# **Il Progetto EEE: la costruzione e i test**

**2005-2006**

**2009**

**2012**

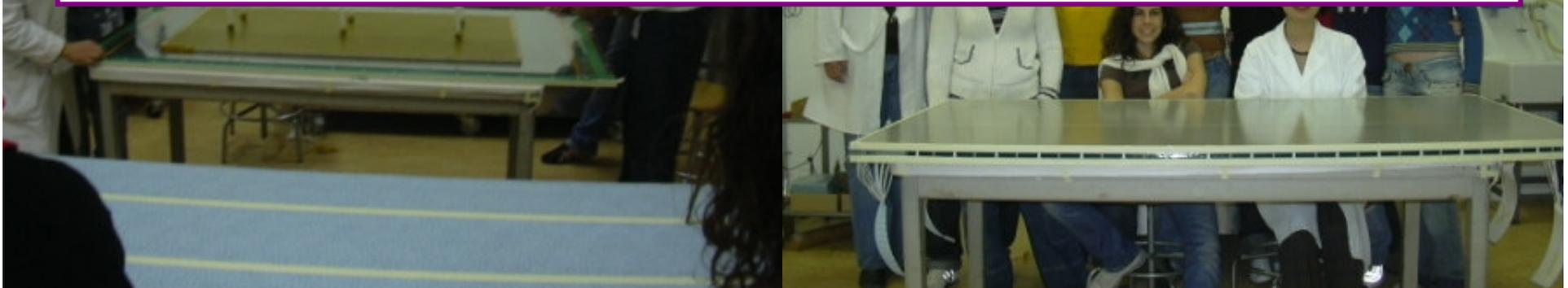
# Studenti al lavoro



*Dott.ssa Elisa Bressan, Comunicare Fisica 2012, 10 Ottobre 2012*

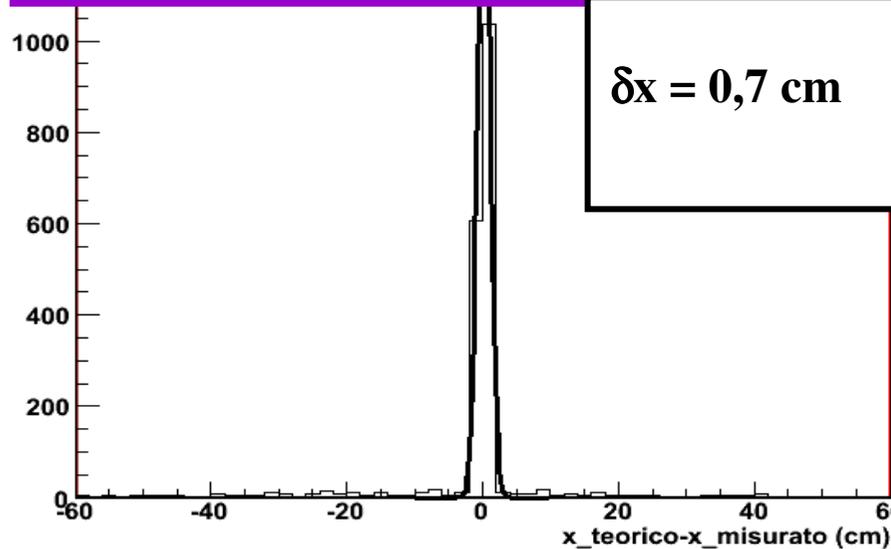


*A regime sono stati costruiti 3  
rivelatori/settimana:  
ogni gruppo ha costruito i rivelatori del proprio  
telescopio scolastico  
In seguito i rivelatori sono stati trasportati nelle  
sedi INFN di riferimento o nelle scuole e sono  
stati testati*

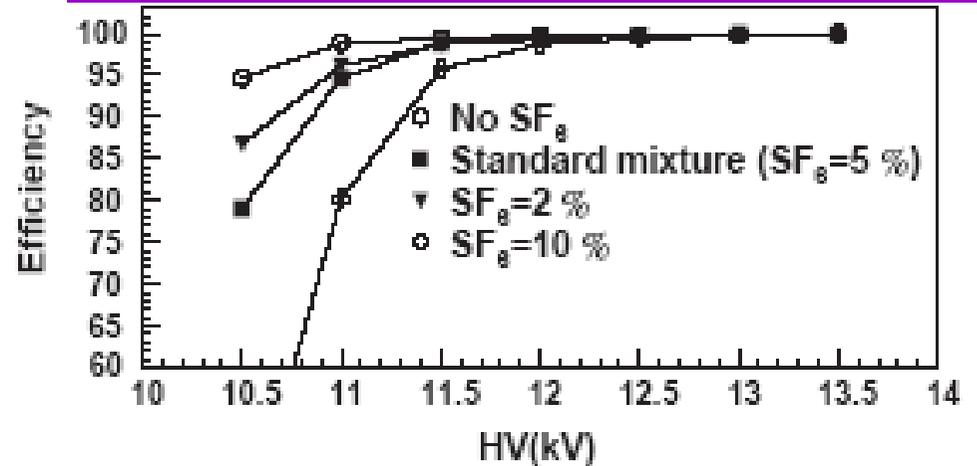


# Test dei rivelatori

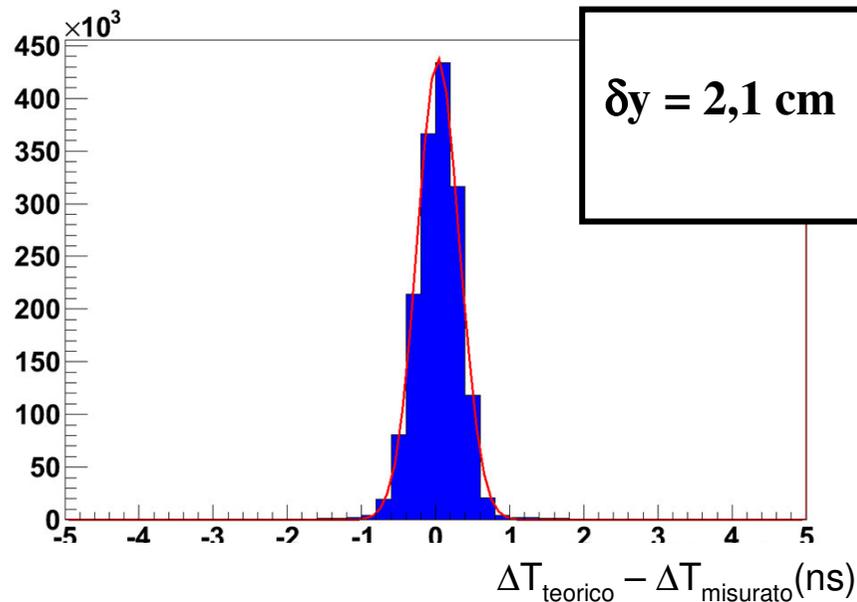
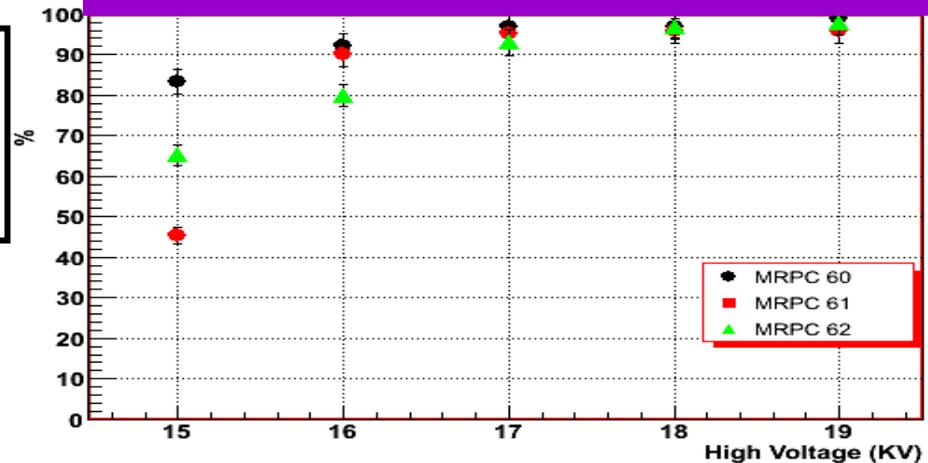
Risoluzione spaziale



EFFICIENZA: scelta della miscela



EFFICIENZA: scelta della tensione di lavoro



Tutte le MRPC funzionano correttamente e soddisfano i requisiti dell'esperimento

# **Il Progetto EEE a Bologna: attività nelle scuole**

# *Il ruolo del ricercatore*

Supervisione del lavoro di costruzione delle MRPC durante lo stage di una settimana al CERN

Terminata la costruzione del telescopio, organizziamo stage di training tecnico-scientifico a diretto contatto con il mondo universitario sia per gli studenti che hanno partecipato alla costruzione, sia per quelli che da scuola seguono il progetto

Predisponiamo presso le scuole tutte le strumentazioni ed attrezzature necessarie per l'installazione dei telescopi del Progetto EEE. Trasportiamo i telescopi nelle scuole e, insieme agli studenti interessati, procediamo alla fase di installazione e messa in funzione dei telescopi.

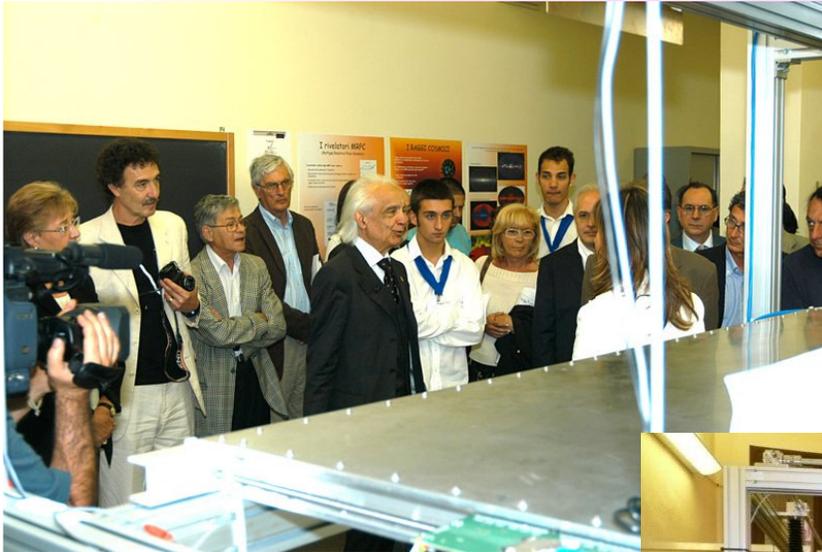
È compito nostro istruire studenti e docenti su come “controllare” il telescopio: gli studenti devono infatti garantire l'operatività costante dei telescopi: a questo scopo sono stati preparati manuali d'istruzione, sia cartacei che digitali.

Organizziamo incontri formativi, obbligatori e di approfondimento, con gli studenti ed i docenti sia prima della partenza per il CERN sia durante l'anno scolastico .

A regime, gli studenti si occupano costantemente del monitoraggio del telescopio e i ricercatori dell'analisi dei dati raccolti. Siamo costantemente ON CALL.

# *Installazione nelle scuole*

Maggio 2006: primo telescopio installato ed inaugurato presso il Liceo "Bruno Touschek", Grottaferrata (Roma)



Reggio Emilia:  
inaugurazione 11/05/07

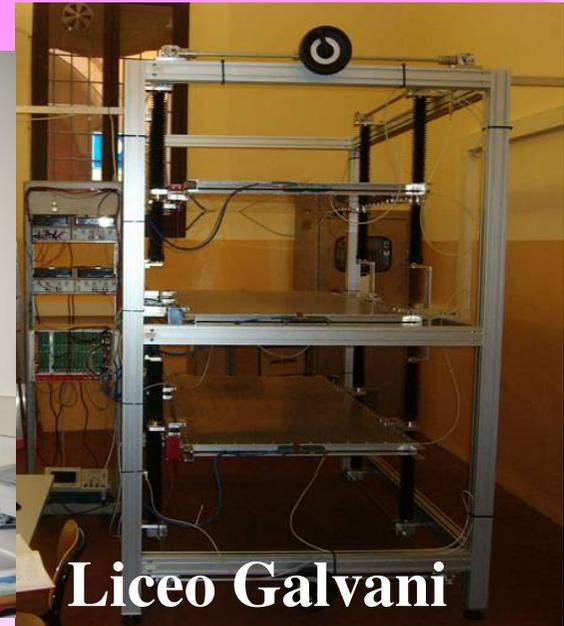


Liceo Galvani Bologna:  
inaugurazione 12/12/09



*Dott.ssa Elisa Bressan, Comunicare Fisica 2012, 10 Ottobre 2012*

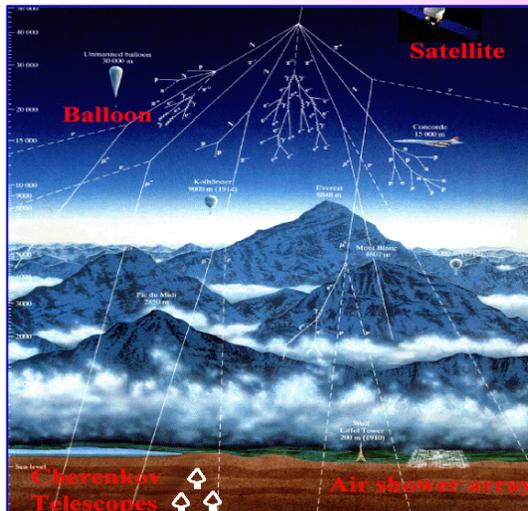
# *I telescopi in Emilia Romagna*



<b>Telescopio</b>	<b>Stato</b>	<b>dal</b>
<b>INFN (BO)</b>	<b>DAQ</b>	<b>2008</b>
<b>ITIS Nobili (RE)</b>	<b>DAQ</b>	<b>2007</b>
<b>Liceo Fermi (BO)</b>	<b>DAQ</b>	<b>2008</b>
<b>Liceo Galvani (BO)</b>	<b>DAQ</b>	<b>2009</b>
<b>Liceo Sabin (BO)</b>	<b>DAQ</b>	<b>2011</b>
<b>Liceo Marconi (PR)</b>	<b>Quasi completa</b>	<b>2012</b>

# *INCONTRI FORMATIVI CON STUDENTI E DOCENTI: PRIMA DELLO STAGE AL CERN*

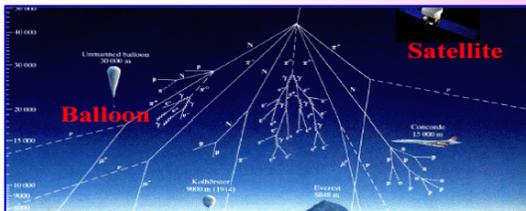
Breve introduzione al funzionamento e alla costruzione dei rivelatori del telescopio  
per il Progetto EEE



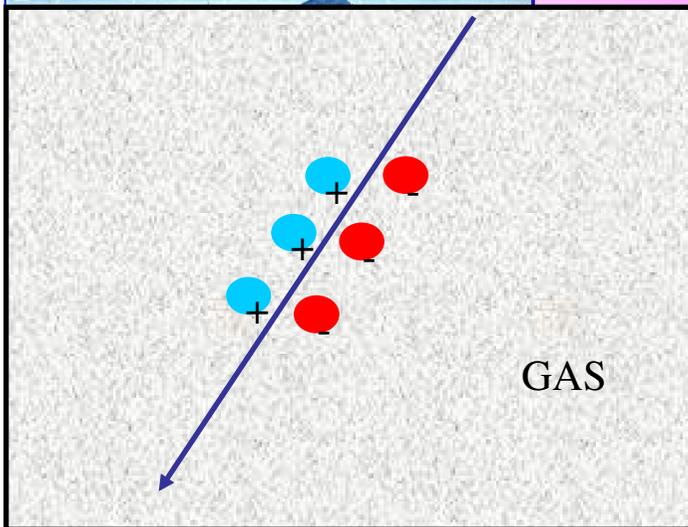
Cosa sono i raggi cosmici e perché usare un array di telescopi  
distanti tra loro

# *INCONTRI FORMATIVI CON STUDENTI E DOCENTI: PRIMA DELLO STAGE AL CERN*

Breve introduzione al funzionamento e alla costruzione dei rivelatori del telescopio  
per il Progetto EEE



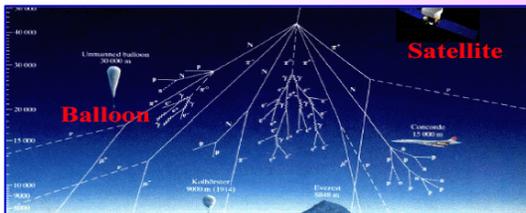
Cosa sono i raggi cosmici e perché usare un array di telescopi  
distanti tra loro



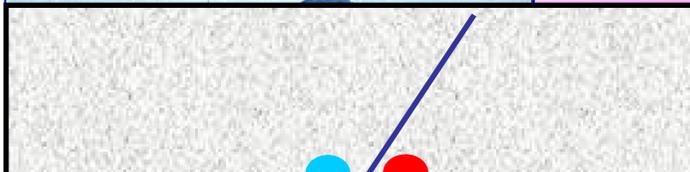
Come interagisce una particella in un gas

# INCONTRI FORMATIVI CON STUDENTI E DOCENTI: PRIMA DELLO STAGE AL CERN

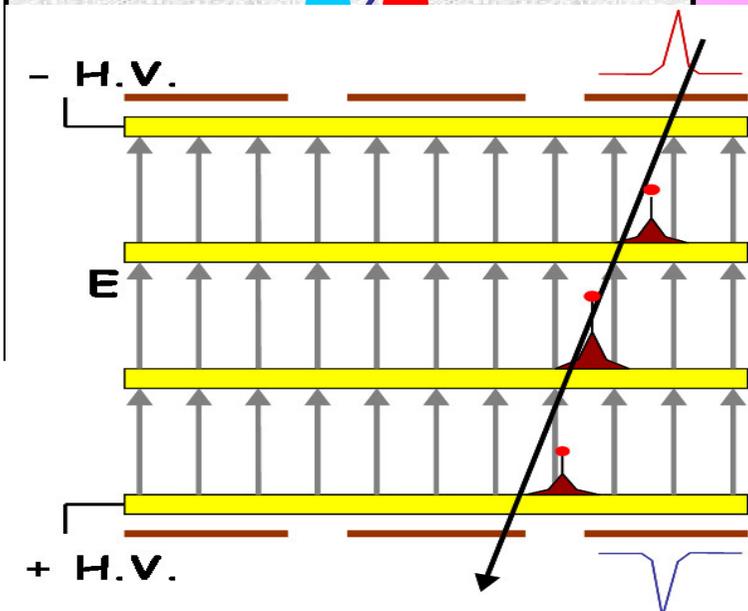
Breve introduzione al funzionamento e alla costruzione dei rivelatori del telescopio  
per il Progetto EEE



Cosa sono i raggi cosmici e perché usare un array di telescopi  
distanti tra loro



Come interagisce una particella in un gas



Da cosa è formato il nostro rivelatore

*Dott.ssa Elisa Bressan, Comunicare Fisica 2012, 10 Ottobre 2012*

# *INCONTRI FORMATIVI CON STUDENTI E DOCENTI: PRIMA DELLO STAGE AL CERN*

Gli MRPC passo per passo: Documentazione delle varie fasi di costruzione del rivelatore

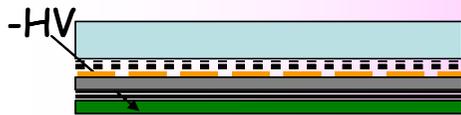


Schema del rivelatore da costruire: 3 per ogni telescopio

Schema non in scala

# *INCONTRI FORMATIVI CON STUDENTI E DOCENTI: PRIMA DELLO STAGE AL CERN*

Gli MRPC passo per passo: Documentazione delle varie fasi di costruzione del rivelatore



Schema del rivelatore da costruire: 3 per ogni telescopio



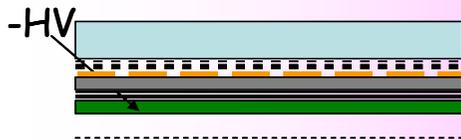
Stesura delle strip di rame



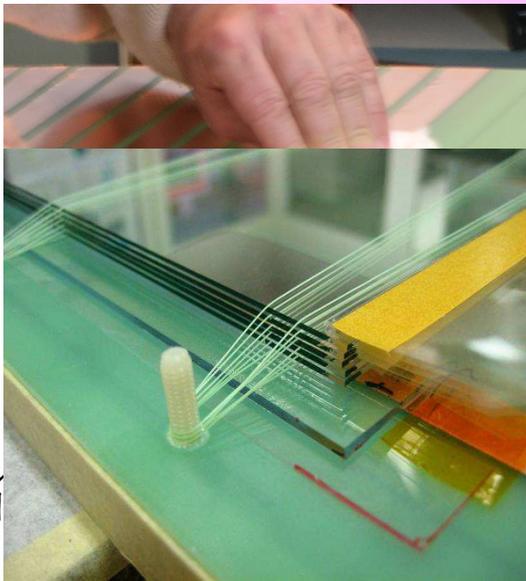
Schema non in scala

# *INCONTRI FORMATIVI CON STUDENTI E DOCENTI: PRIMA DELLO STAGE AL CERN*

Gli MRPC passo per passo: Documentazione delle varie fasi di costruzione del rivelatore



Schema del rivelatore da costruire: 3 per ogni telescopio

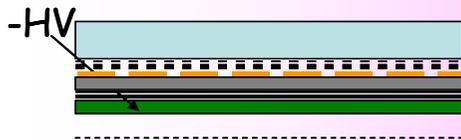


Stesura delle strip di rame

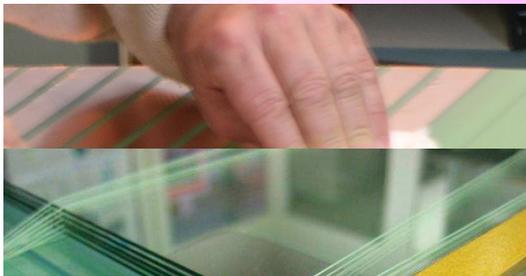
“impacchettamento” dei vetri separati dal filo da pesca

# *INCONTRI FORMATIVI CON STUDENTI E DOCENTI: PRIMA DELLO STAGE AL CERN*

Gli MRPC passo per passo: Documentazione delle varie fasi di costruzione del rivelatore



Schema del rivelatore da costruire: 3 per ogni telescopio



Stesura delle strip di rame

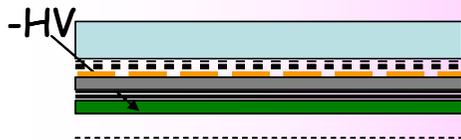


“impacchettamento” dei vetri separati dal filo da pesca

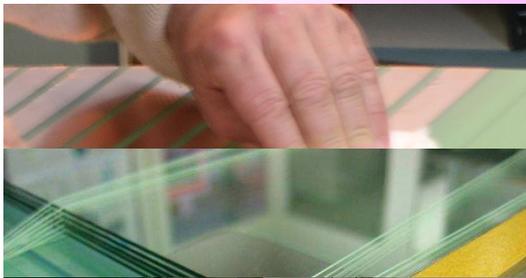
Contatti per prelevare il segnale da ogni strip

# *INCONTRI FORMATIVI CON STUDENTI E DOCENTI: PRIMA DELLO STAGE AL CERN*

Gli MRPC passo per passo: Documentazione delle varie fasi di costruzione del rivelatore



Schema del rivelatore da costruire: 3 per ogni telescopio



Stesura delle strip di rame



“impacchettamento” dei vetri separati dal filo da pesca



Contatti per prelevare il segnale da ogni strip

Chiusura di una MRPC

# *INCONTRI FORMATIVI CON STUDENTI E DOCENTI: AL CERN*

Stage di una settimana con 5-6 studenti e 1 docente di ogni scuola  
osservazione di un telescopio in funzione e costruzione del telescopio



*Dott.ssa Elisa Bressan, Comunicare Fisica 2012, 10 Ottobre 2012*

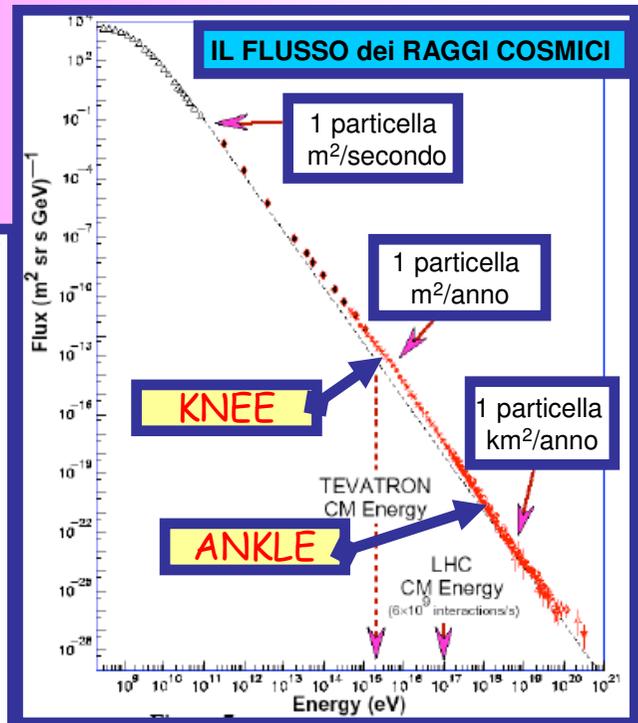
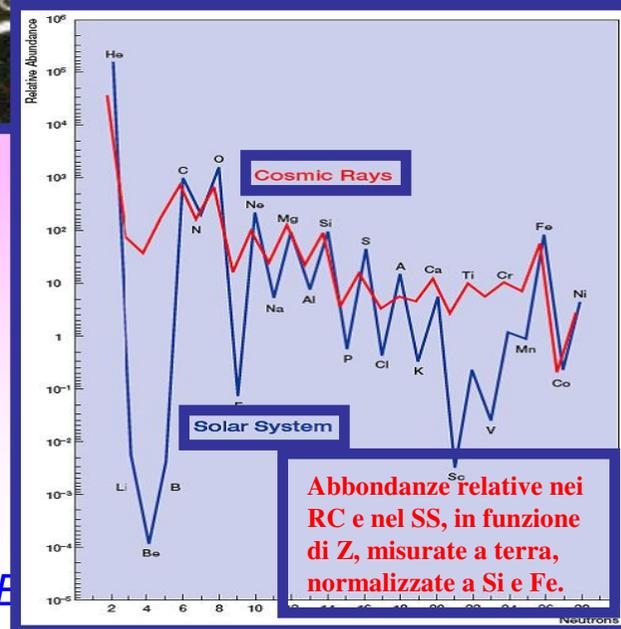
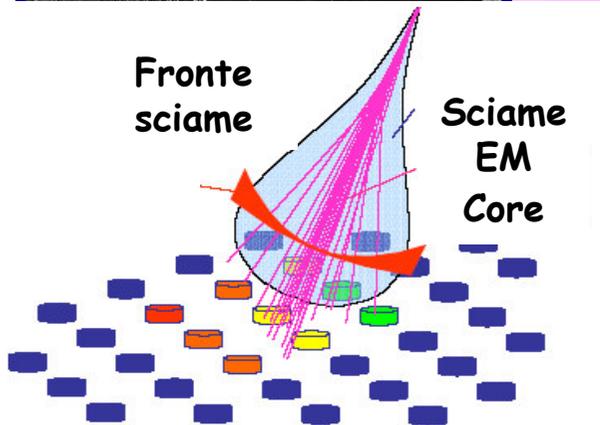
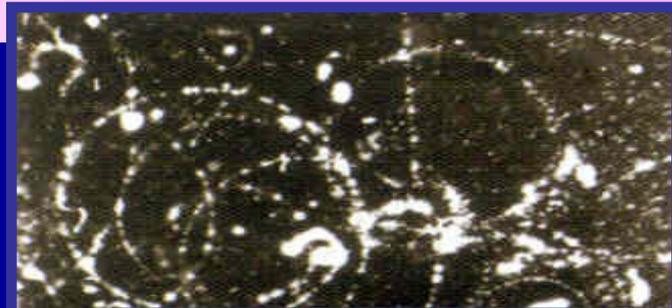
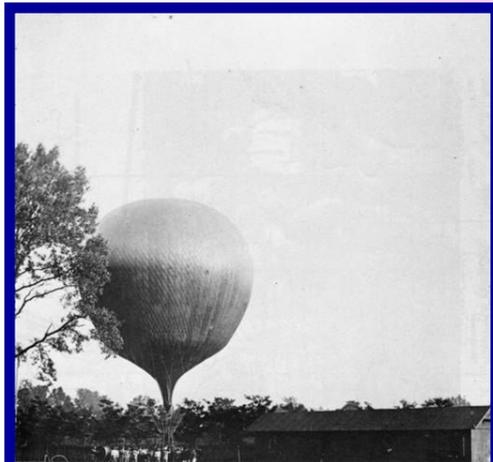
# INCONTRI FORMATIVI CON STUDENTI E DOCENTI: A SCUOLA

Ciclo di incontri iniziali obbligatori

I raggi cosmici: cosa sono e come li “vediamo”.

Passato, presente e futuro.

Il ruolo del Progetto EEE nello studio dei raggi cosmici



10 Ottobre 2012

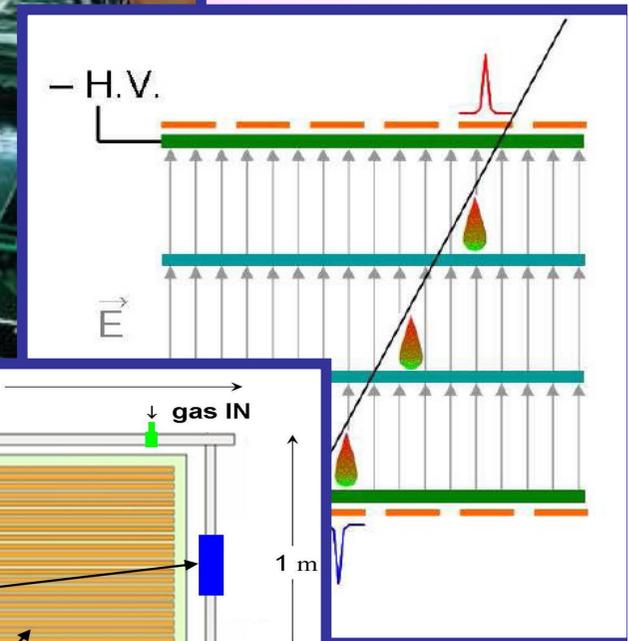
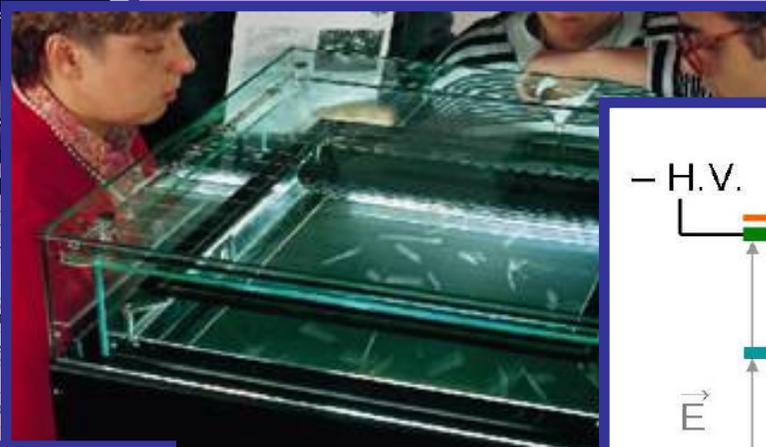
# INCONTRI FORMATIVI CON STUDENTI E DOCENTI: A SCUOLA

Ciclo di incontri iniziali obbligatori

Le particelle elementari: I rivelatori di particelle

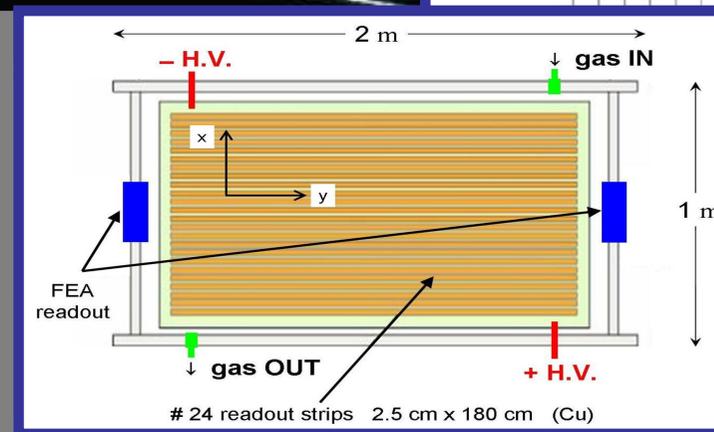
I rivelatori a ionizzazione di gas: Le Multigap Resistive Plate Chamber

	LEPTONS		QUARKS	
ALL ORDINARY MATTER BELONGS TO THIS GROUP.	<b>electron</b> Electric charge -1. Responsible for electricity and chemical reactions.	<b>electron neutrino</b> Electric charge 0. Rarely interacts with other matter.	<b>up</b> Electric charge + 2/3. Protons have 2 up quarks Neutrons have 1 up quark	<b>down</b> Electric charge -1/3. ... and ... and
THESE PARTICLES EXISTED JUST AFTER THE BIG BANG.	<b>muon</b> A heavier relative of the electron.	<b>muon neutrino</b> Created with muons when some particles decay.	<b>charm</b> A heavier relative of the up.	<b>strange</b> A heavier relative of the down.
NOW THEY ARE FOUND ONLY	<b>tau</b> Heavier still.	<b>tau neutrino</b> Not yet observed directly.	<b>top</b> Heavier still.	<b>bottom</b> Heavier still.



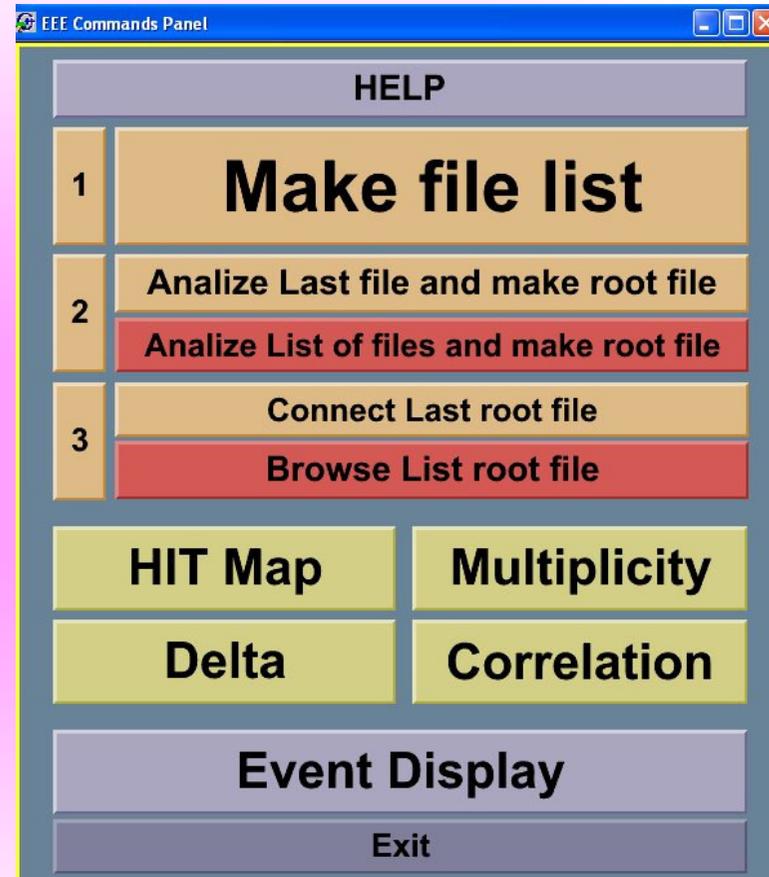
## REQUISITI DI UN BUON RIVELATORE

- Alta efficienza (~ 100%)
- Basso rumore
- Buona risoluzione (cioè alta precisione) per tutte le grandezze fisiche misurate.
- Stabilità delle prestazioni nel tempo.
- Facilità di calibrazione.



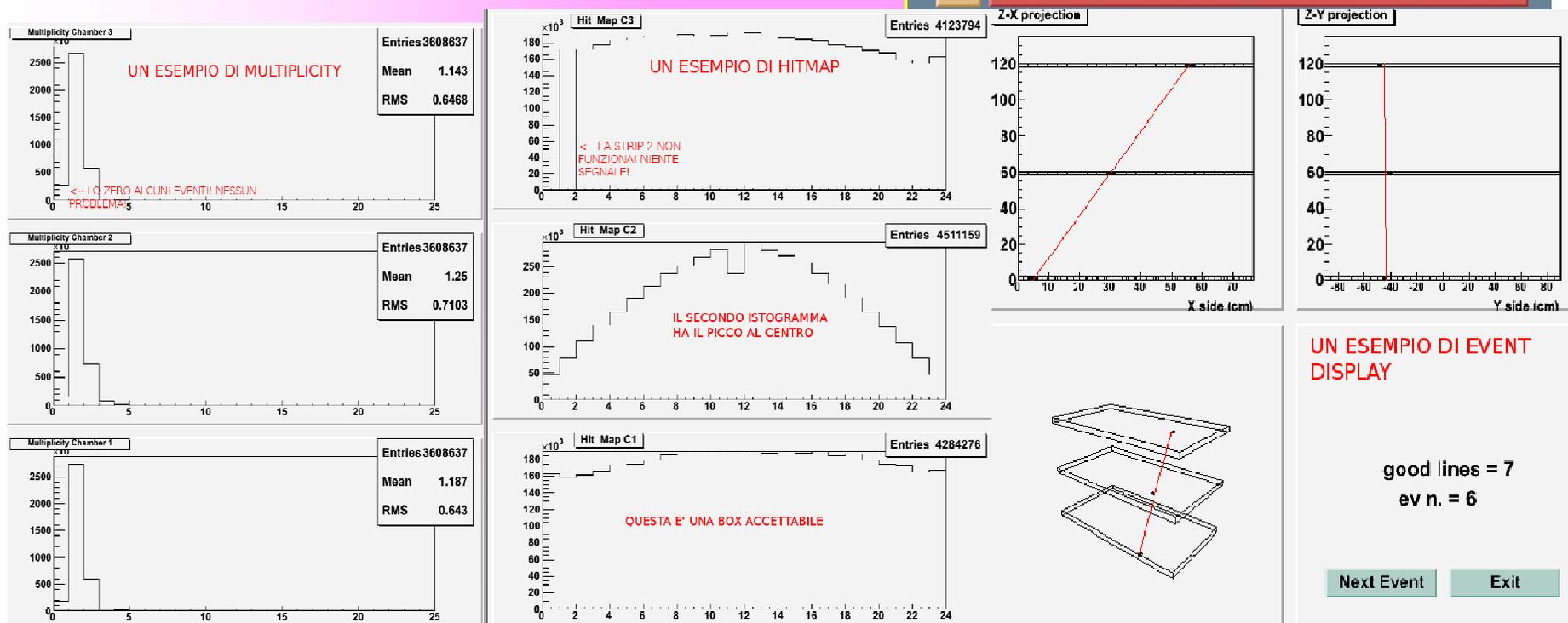
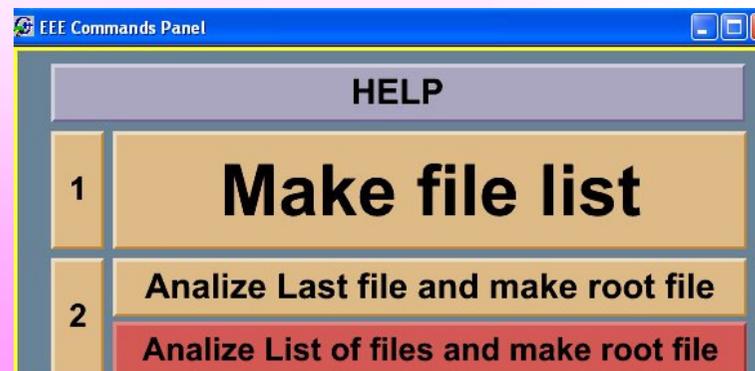
# *INCONTRI DI APPROFONDIMENTO CON STUDENTI E DOCENTI: IN LABORATORIO*

Preparazione di manuali di istruzione per la strumentazione e per l'analisi dati  
Percorsi multimediali a cui fare riferimento  
Introduzione ad Excel  
Introduzione a Root  
Pannelli di controllo user-friendly



# INCONTRI DI APPROFONDIMENTO CON STUDENTI E DOCENTI: IN LABORATORIO

Preparazione di manuali di istruzione per la strumentazione e per l'analisi dati  
Percorsi multimediali a cui fare riferimento  
Introduzione ad Excel  
Introduzione a Root  
Pannelli di controllo user-friendly



# INCONTRI FORMATIVI CON STUDENTI E DOCENTI: A SCUOLA

Misure di fisica effettuate con gli studenti

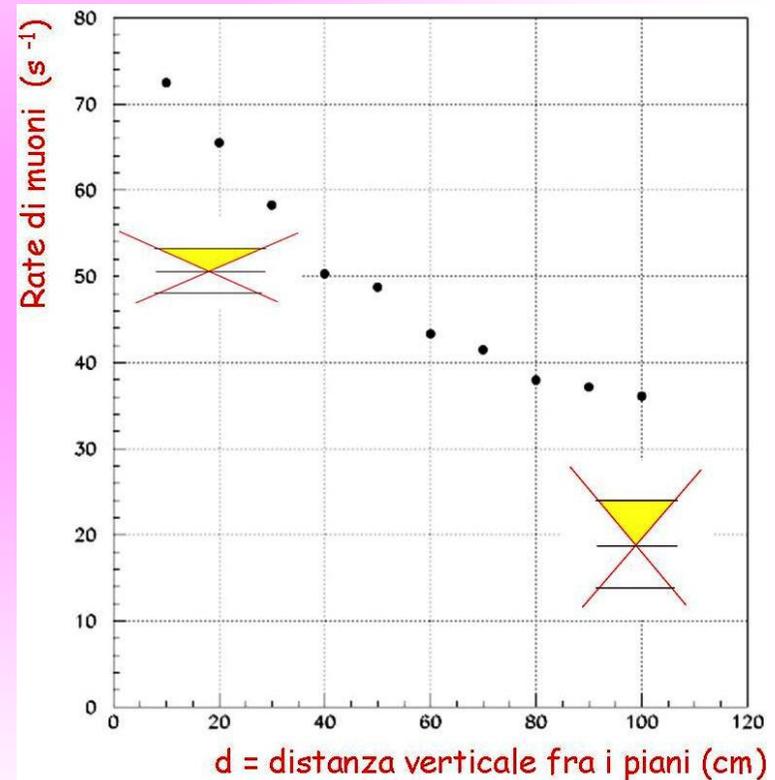
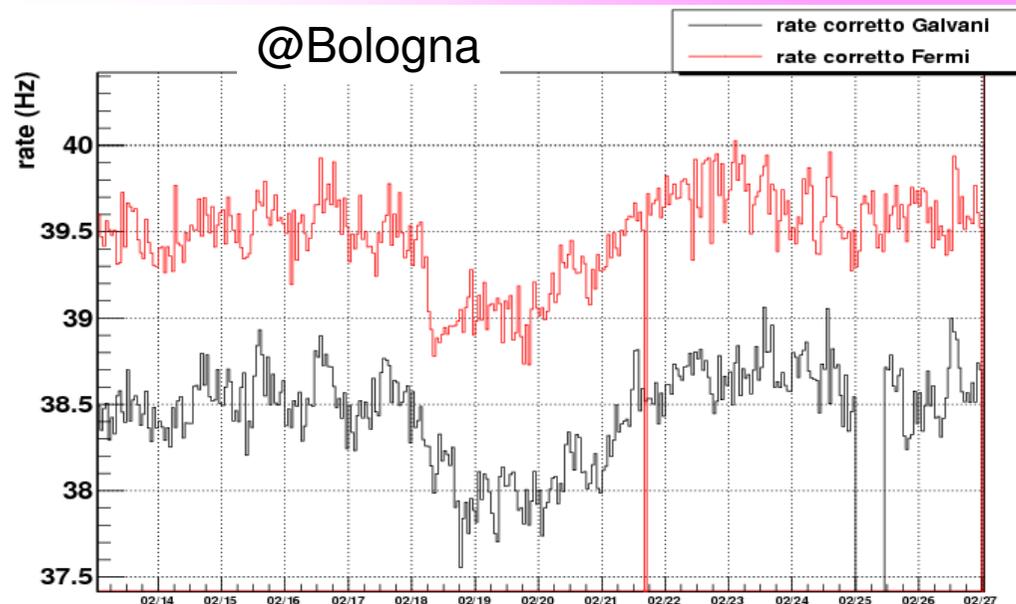
Misura della velocità di propagazione del segnale  
lungo le strip

Misura della risoluzione spaziale

Misura del rate dei muoni in funzione della distanza  
tra le camere

Correlazione flusso muoni-p pressione atmosferica

Effetto furbush (febbraio 2011)



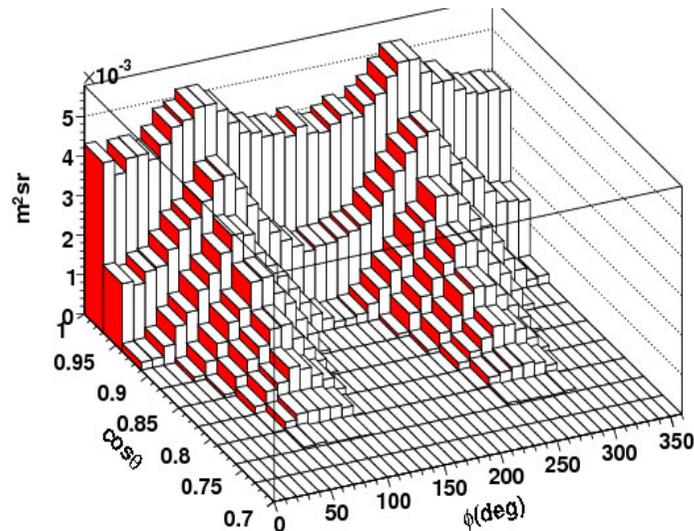
# **Simulazione Monte Carlo: studio delle performance del telescopio e delle griglie di rivelazione**

# Prestazioni del singolo telescopio

Sono stati generati  $10^7$  muoni campionando per ognuno di questi una direzione di arrivo uniformemente nell'emisfero superiore che circonda il telescopio al fine di:

valutare l'accettanza di rivelazione del telescopio

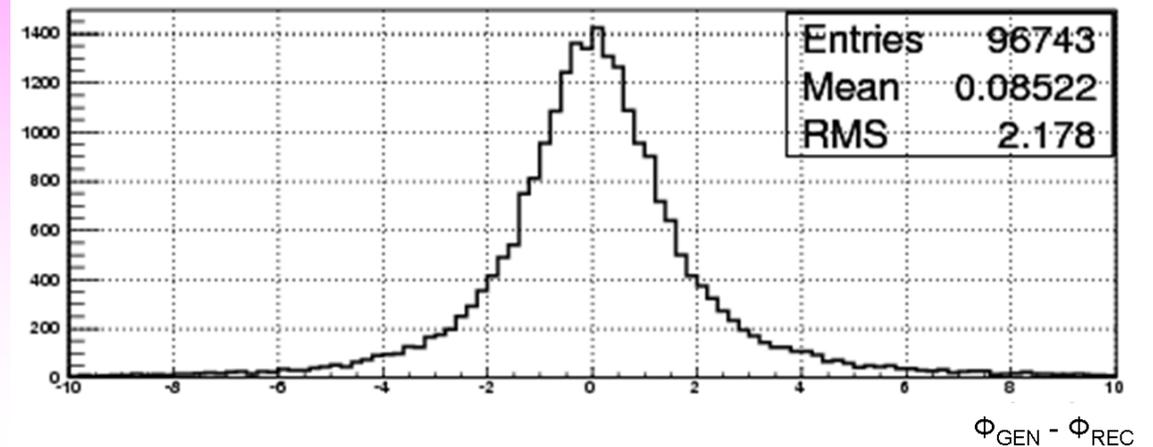
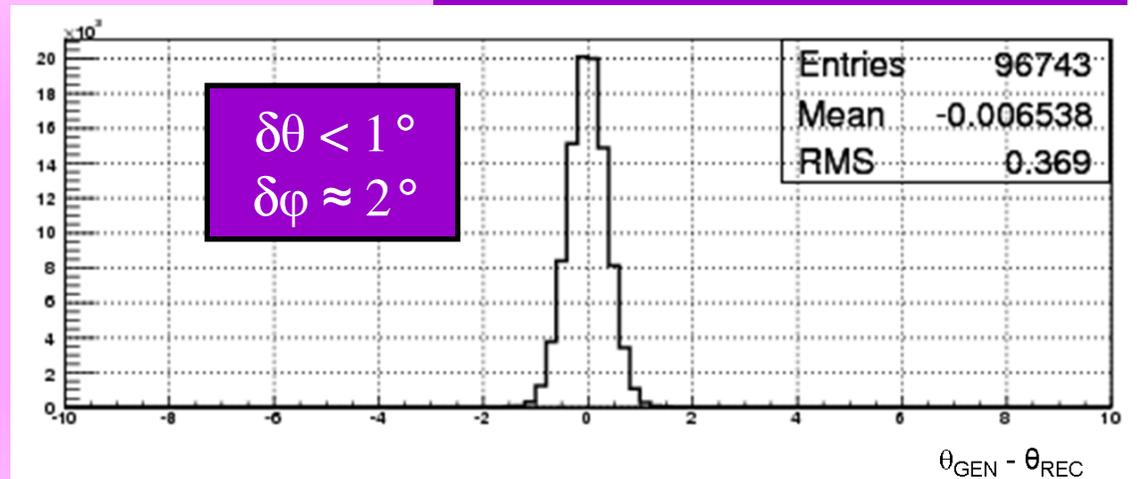
$$A = \frac{N_{REC}}{N_{GEN} \cdot S \cdot \Omega}$$



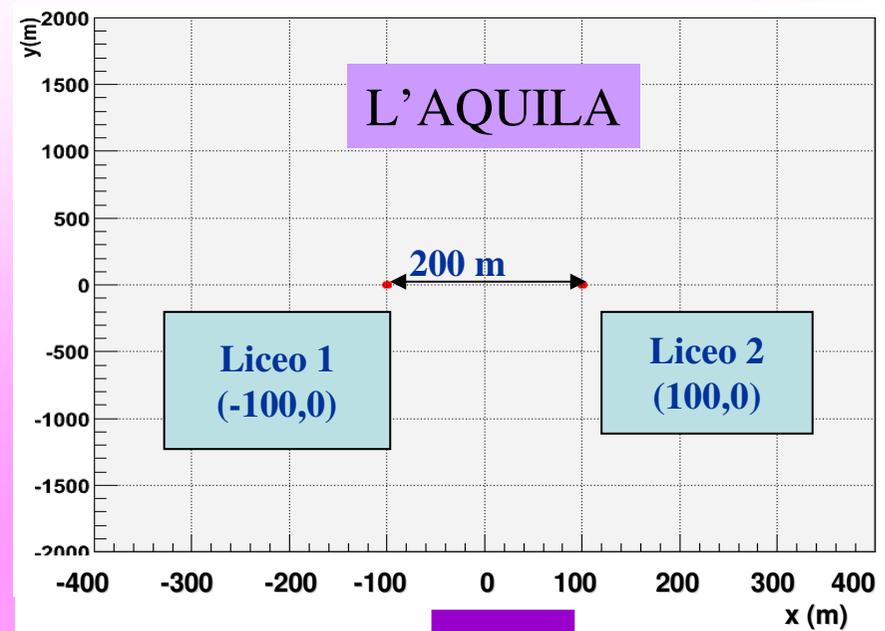
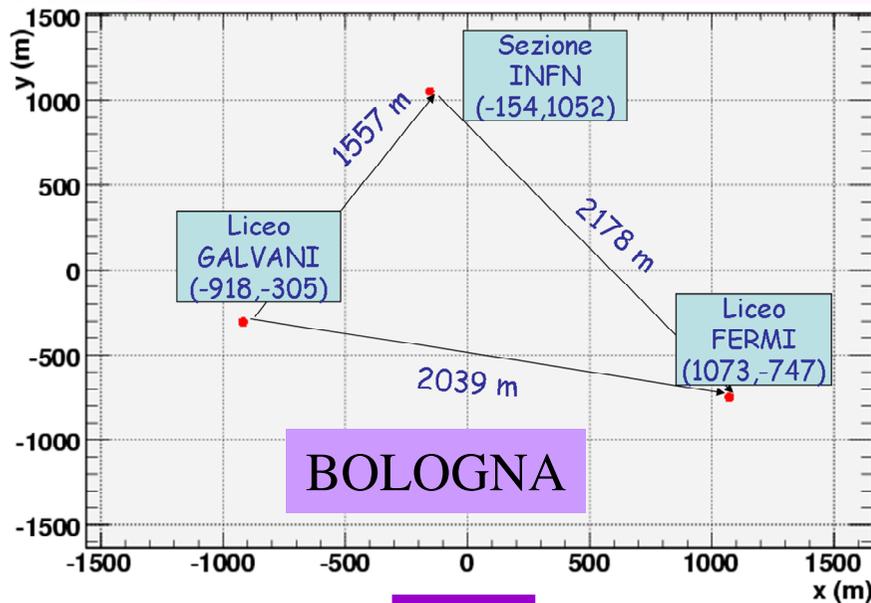
$$A = 0.35 \text{ m}^2\text{sr}$$

Dott.ssa Elisa Bressan,

valutare la risoluzione angolare del telescopio



# Griglie in esame: Bologna e L'Aquila



Geometria della griglia di telescopi

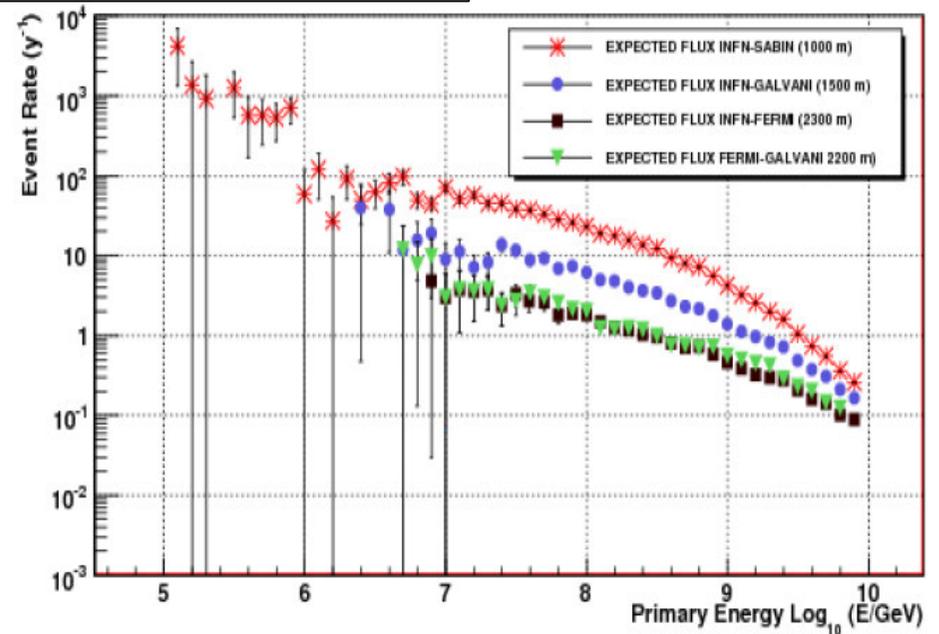
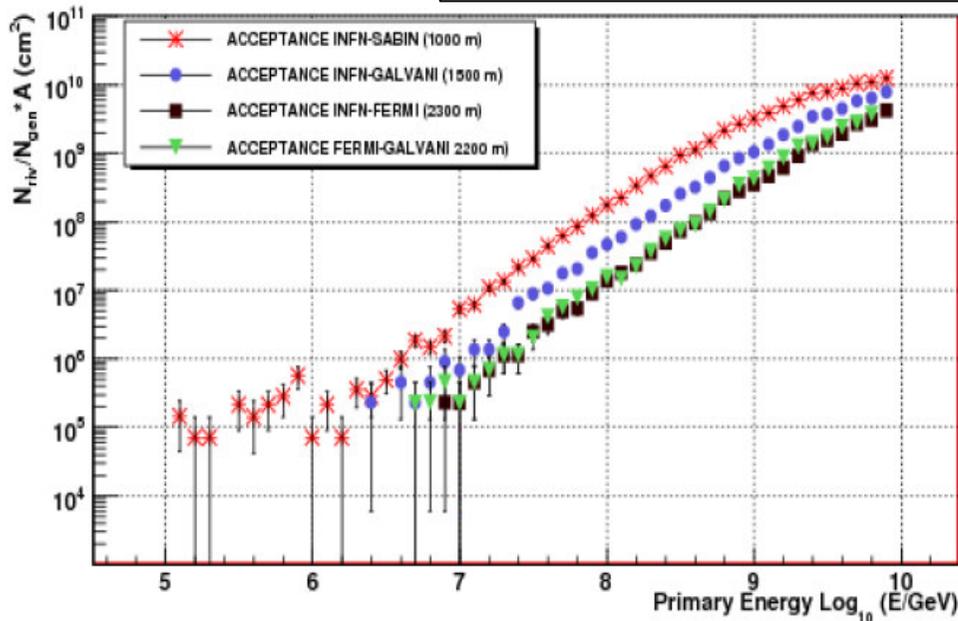
Numero scuole	3
Numero telescopi per scuola	1
Distanza massima	2178 m
Raggio di generazione	<b>2678 m</b>
Altezza telescopio	200 cm

Geometria della griglia di telescopi

Numero scuole	2
Numero telescopi per scuola	1
Distanza massima	200 m
Raggio di generazione	<b>700 m</b>
Altezza telescopio	100 cm

# Risultati: griglia di Bologna

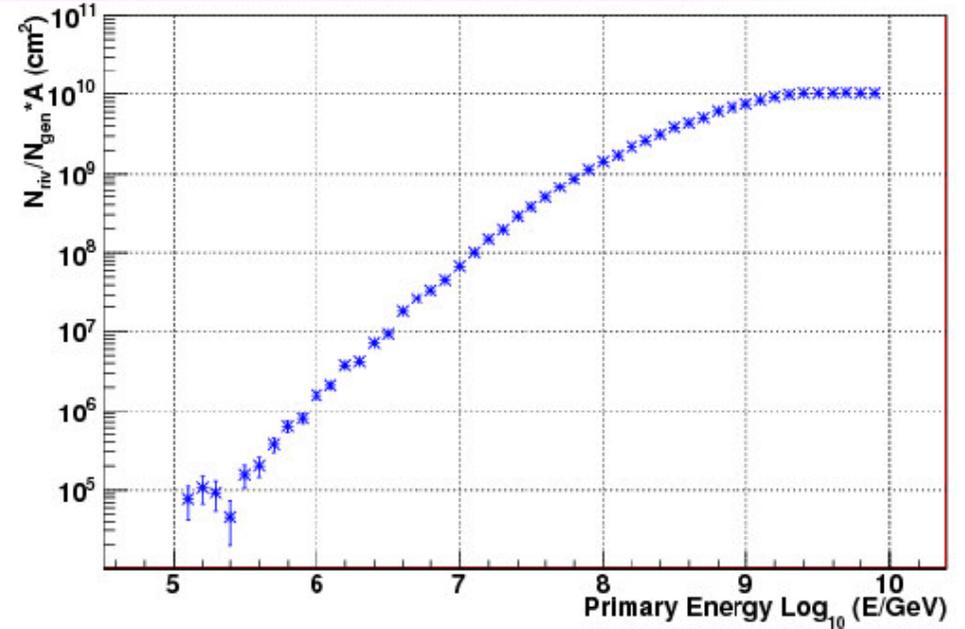
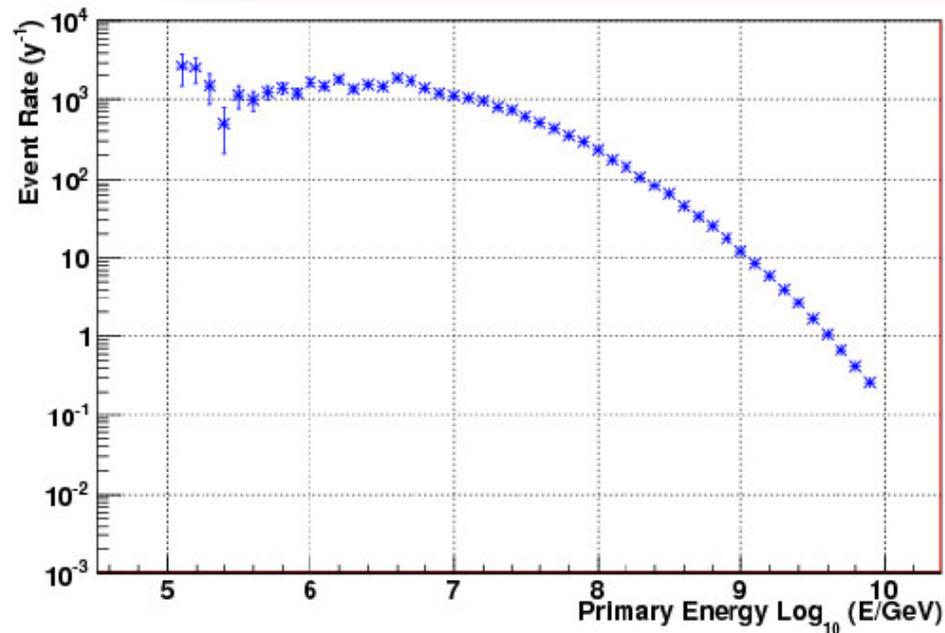
$$N_{EV} = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \Phi(E) \cdot T \cdot \Omega \cdot A dE$$



Numero di eventi attesi

INFN-Fermi	INFN-Galvani	Galvani-Fermi	INFN-Fermi-Galvani
(24 ± 8)/y	(135 ± 40)/y	(38 ± 10)/y	(0.3 ± 0.1)/y
0.06/d	0.37/d	0.1/d	8.2 · 10 <sup>-4</sup> /d

## Risultati: griglia de L'Aquila



Numero di eventi attesi

2 telescopi a L'Aquila

$(35892 \pm 1780)/y$

98/d ( 4.1/h )

# Analisi dati

## Ricerca di coincidenze in 2 telescopi

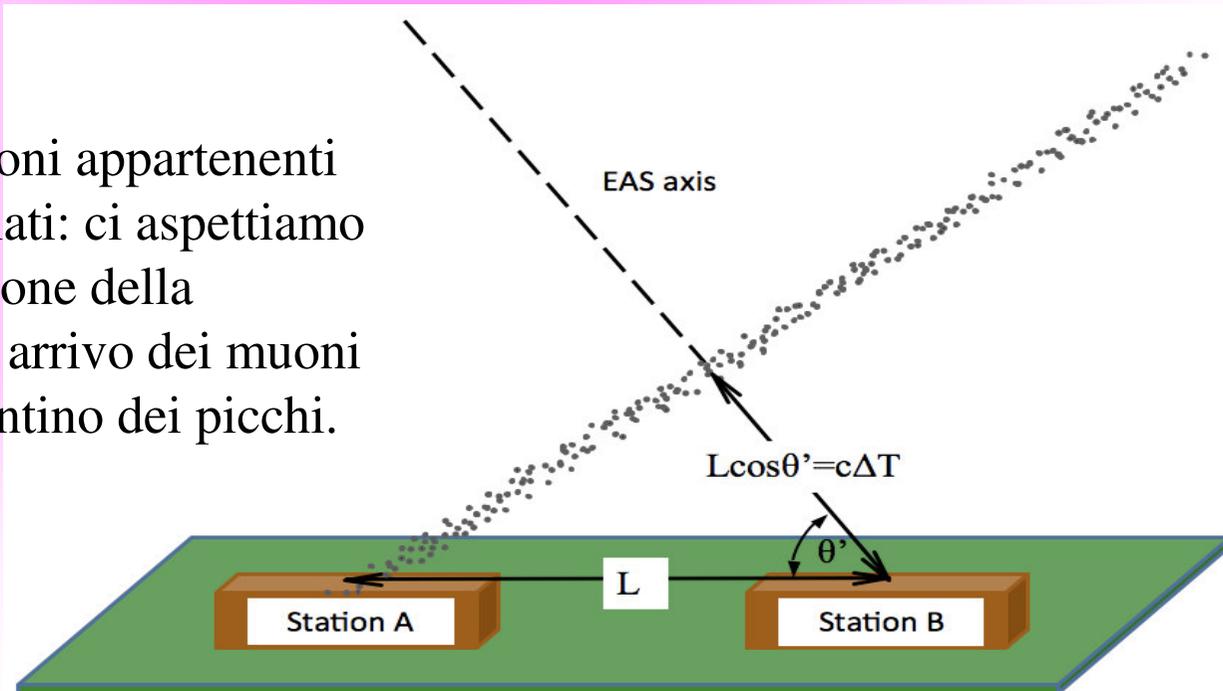
L'analisi effettuata prevede la ricerca delle coincidenze di muoni in telescopi diversi la cui differenza di tempi UTC,  $T_{ev}$ , sia minore di una determinata quantità  $T_{coinc}$ :

$$\Delta T_{ev} = |T_1 - T_2| \leq \frac{\Delta T_{coinc}}{2}$$

La finestra temporale è stata determinata valutando la massima differenza di tempo di arrivo al livello del mare di muoni appartenenti allo stesso sciame.

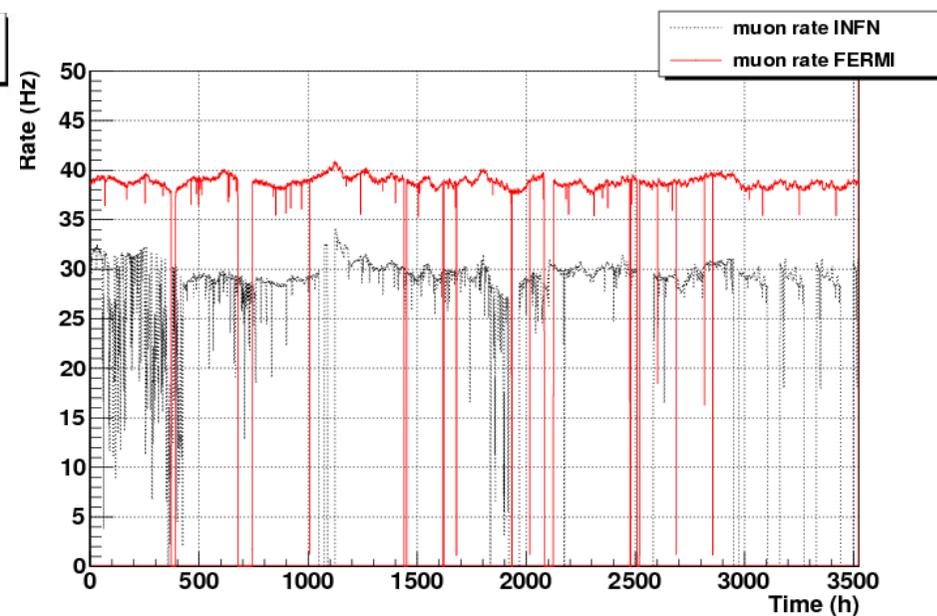
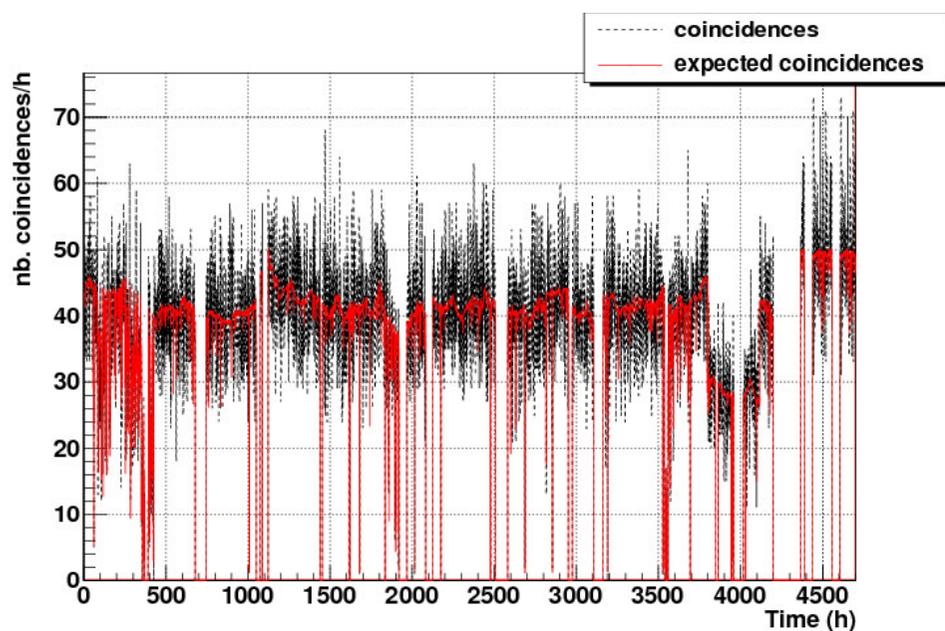
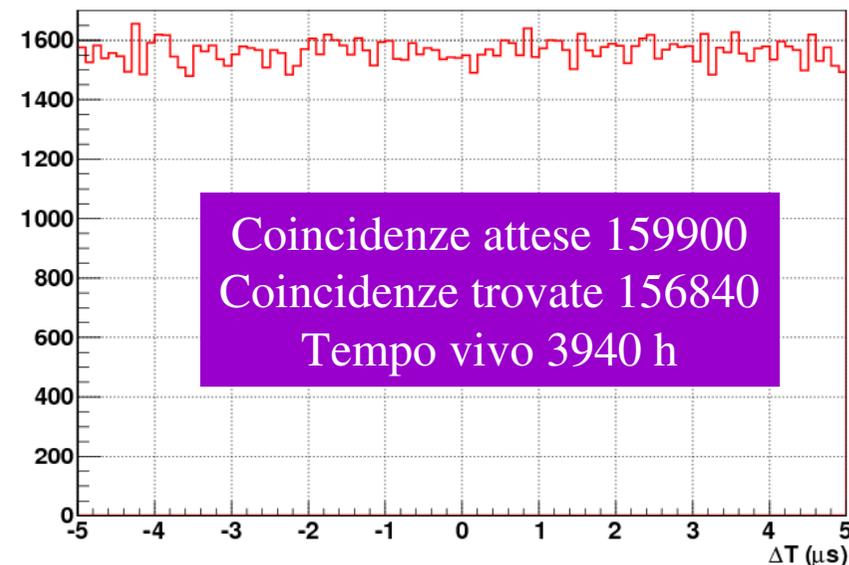
Considerando la distanza media tra i telescopi a Bologna  $T_{coinc}$  è stata fissata a  $10 \mu s$ .

I tempi di arrivo di muoni appartenenti allo sciame sono correlati: ci aspettiamo quindi che la distribuzione della differenza dei tempi di arrivo dei muoni nei due telescopi presentino dei picchi.



# Risultati Bologna 2011

Periodo di acquisizione: Gennaio 2011 - Giugno 2011			
Sito sperimentale	Numero muoni ricostruiti	Tempo vivo(h)	Rate medio (Hz)
INFN	$4.5 \cdot 10^8$	4111	31
Fermi	$6.2 \cdot 10^8$	4357	39
Galvani	$4.0 \cdot 10^8$	2680	41

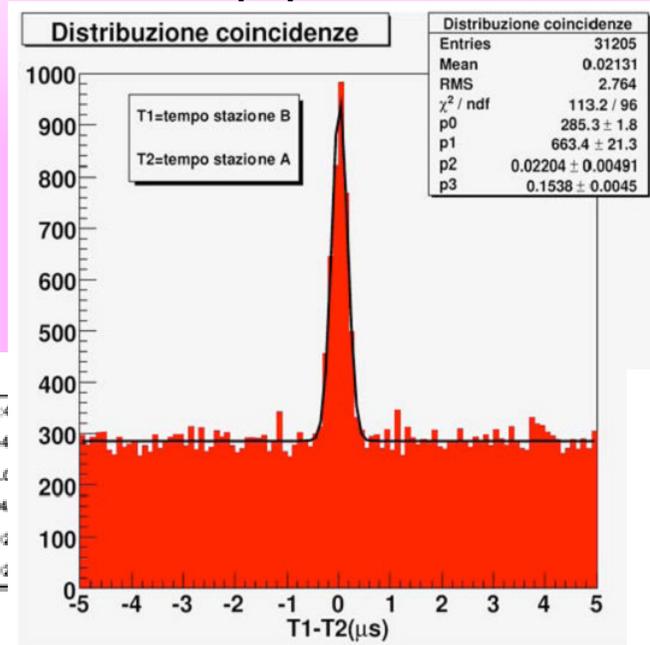
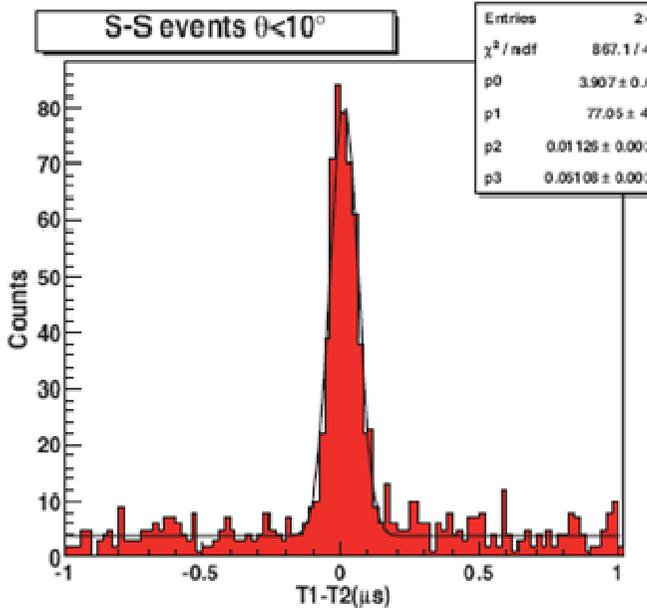


# Risultati L'Aquila

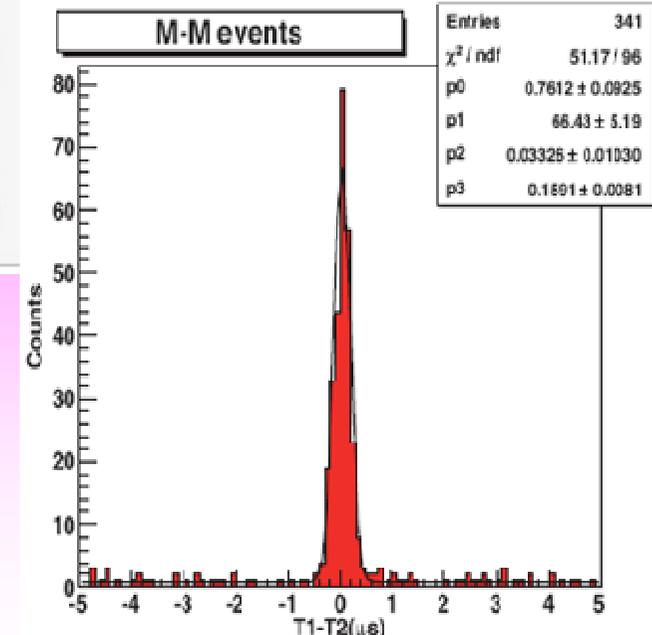
L'analisi ha evidenziato un rate di coincidenze di circa 7.6 eventi/ora.

Quanto osservato è ancora una volta in buon accordo con le previsioni fatte con la simulazione Monte Carlo: il rate di eventi attesi in telescopi posizionati a 200 metri di distanza è di circa 4 eventi/ora.

Criterio di selezione:  
Tracce parallele



Criterio di selezione:  
Eventi multi-traccia



# Conclusioni

- Il Progetto EEE vuole portare la Scienza nel cuore dei giovani: studiare i Raggi Cosmici utilizzando un rivelatore di frontiera costruito e messo in funzione da loro stessi stimola la loro curiosità e la loro voglia di capire e sapere.
- L'esperimento è iniziato operativamente nel 2005 e da allora i ricercatori lavorano a stretto contatto con gli studenti e gli insegnanti delle scuole coinvolte.
- La fase di costruzione e messa in funzione dei detector, oltre aver dimostrato alto interesse e alta efficienza lavorativa, ha permesso di ottenere rivelatori funzionanti che soddisfano a pieno i requisiti richiesti dall'esperimento.
- Il controllo quotidiano degli studenti e la supervisione costante dei ricercatori ha permesso di mantenere i rivelatori in funzione e in acquisizione dati per periodi molto lunghi.
- La definizione di un programma a step per introdurre gli studenti all'analisi dati permette sia di eseguire misure di fisica a carattere locale (efficienza di rivelazione, rate vs distanza, pressione vs rate etc) sia la ricerca di coincidenze tra telescopi distanti.
- Si stanno ottenendo i primi risultati importanti presentati a conferenze e pubblicati su riviste.