

# *Il Progetto EEE*

## *"La Scienza nelle Scuole"*

Dott. Marco Garbini

**Project leader**  
**Antonino Zichichi**

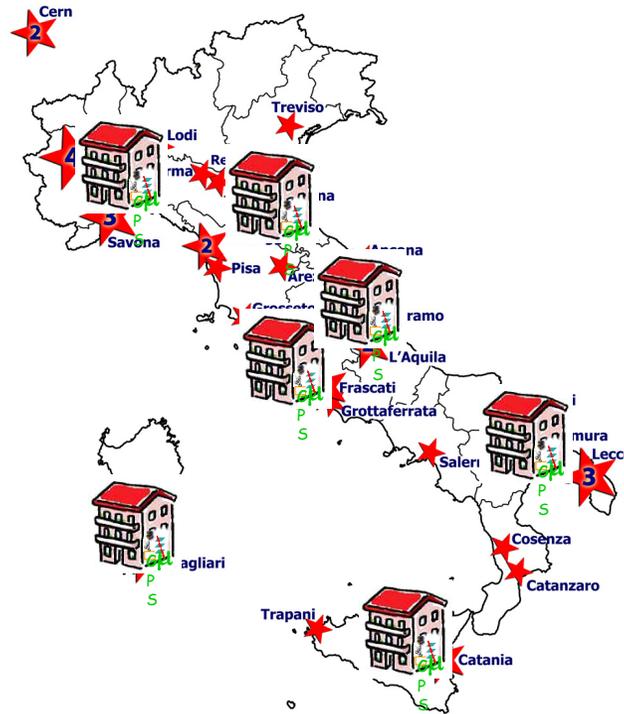
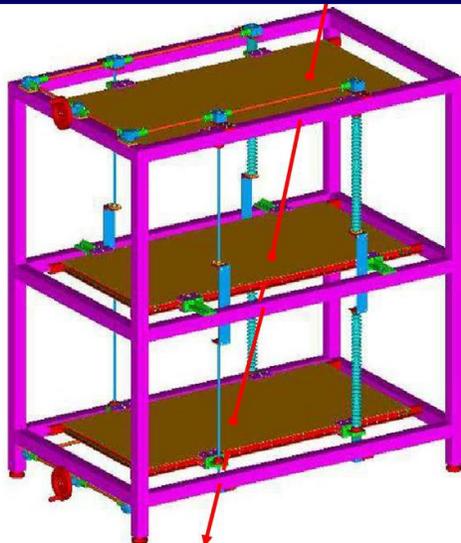


# *Introduzione*

# Il Progetto EEE (Extreme Energy Events)

## Finalità Scientifica

Rivelare e studiare sciame prodotti da raggi cosmici di estrema 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 Secondarie di tutta Italia partecipano attivamente alla:

1. costruzione del rivelatore;
2. installazione, messa in funzione e monitoraggio quotidiano dell'apparato;
3. analisi dati raccolti.

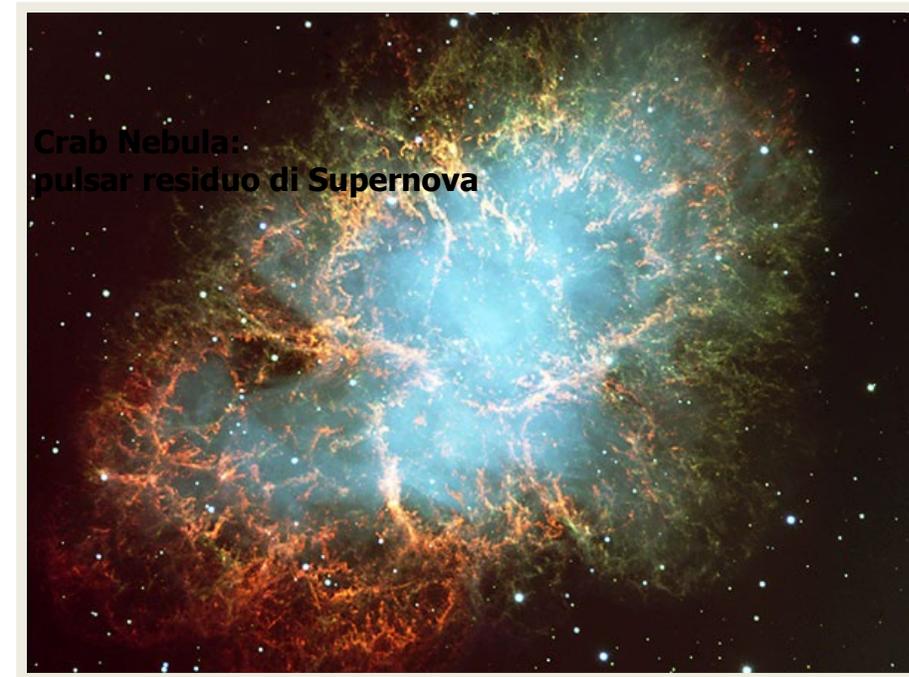
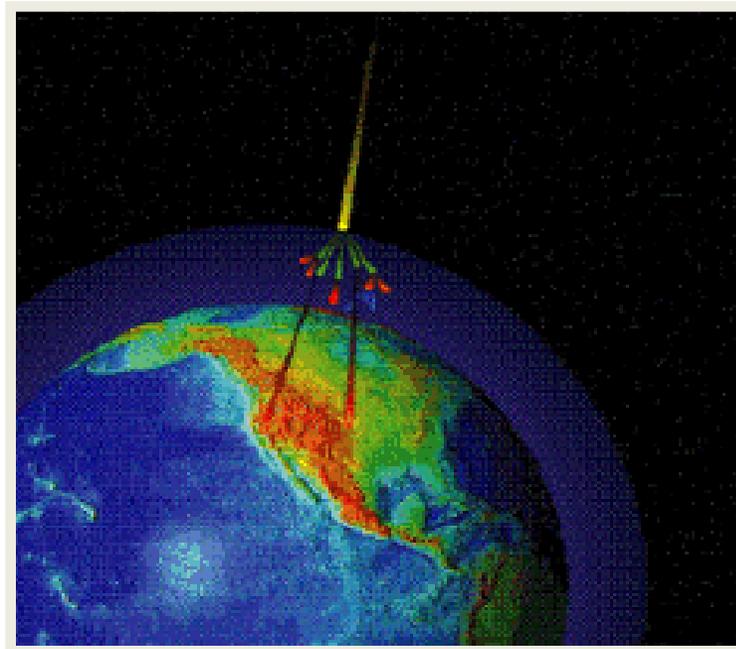


# Cosa sono i raggi cosmici

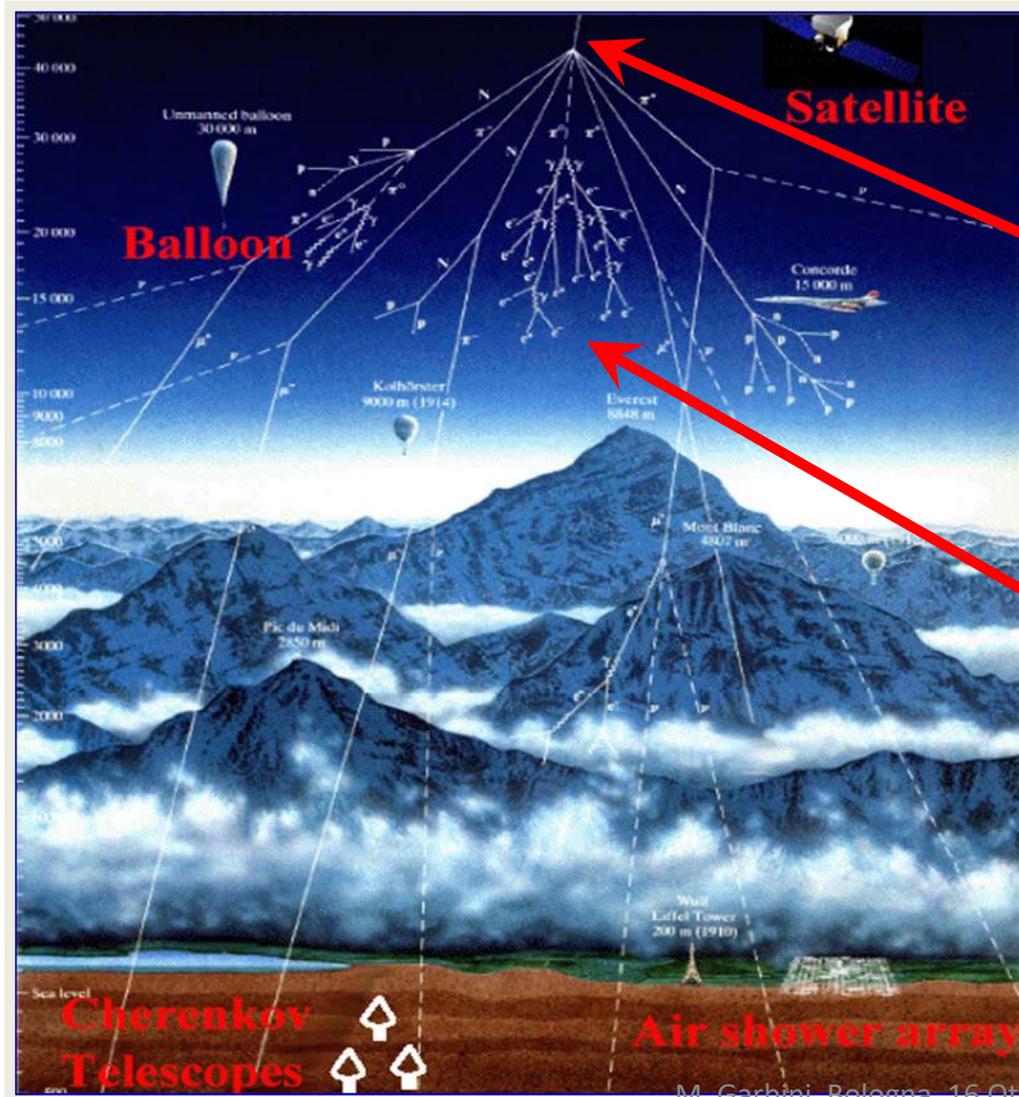
I **Raggi** Cosmici sono **particelle** che colpiscono costantemente la Terra da ogni direzione.

Le energie di queste particelle ricoprono un vasto intervallo fino ad arrivare a  $10^{20}$  eV.

La loro provenienza è sia galattica che extragalattica.



# Cosa sono i raggi cosmici

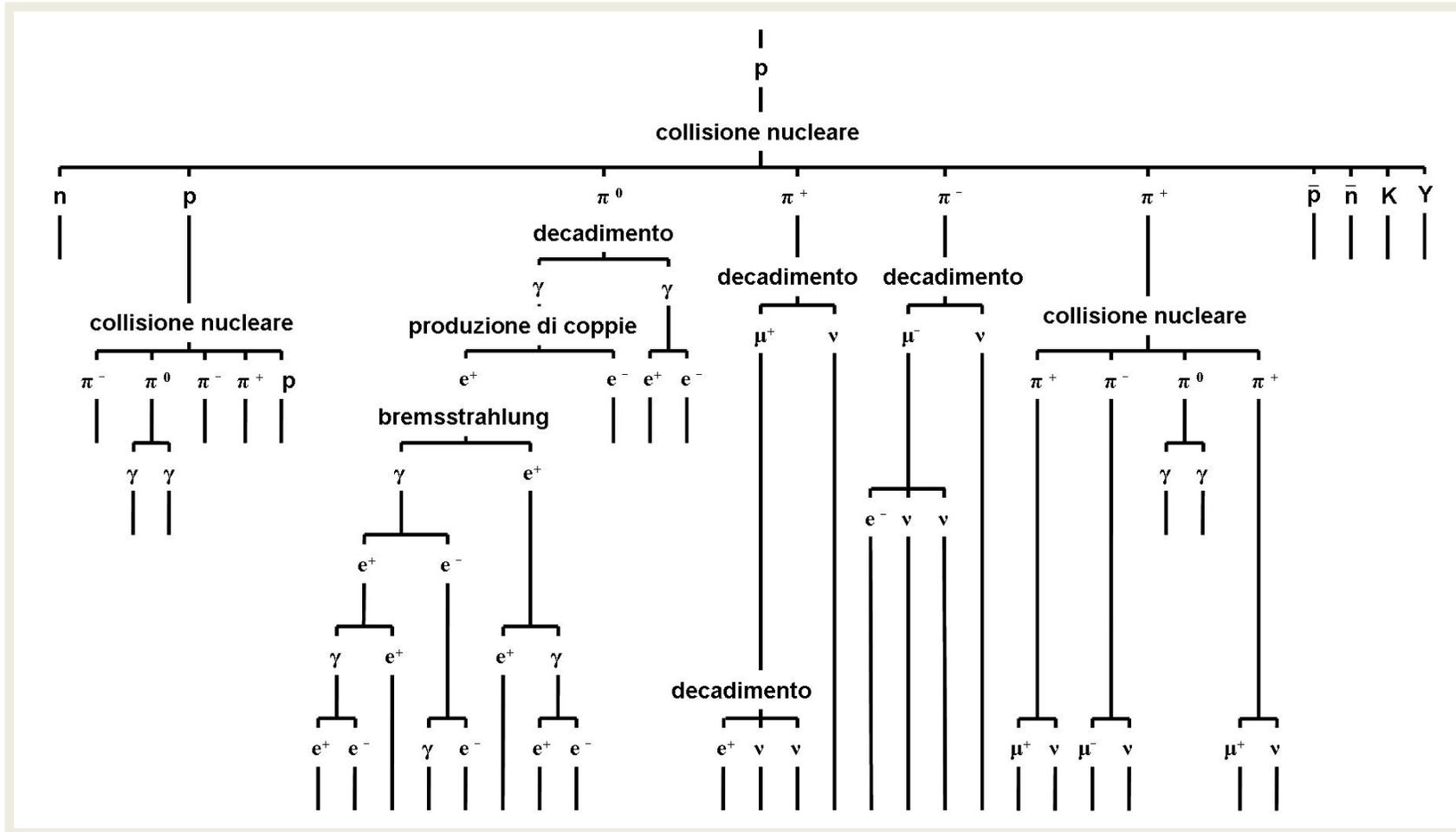


- Sommità dell' atmosfera  
**componente primaria**  
protoni (~ 92%)  
nuclei elio (~ 6%)  
nuclei più pesanti (~ 1%)  
elettroni (~ 1%)  
raggi gamma (~ 0.1%)

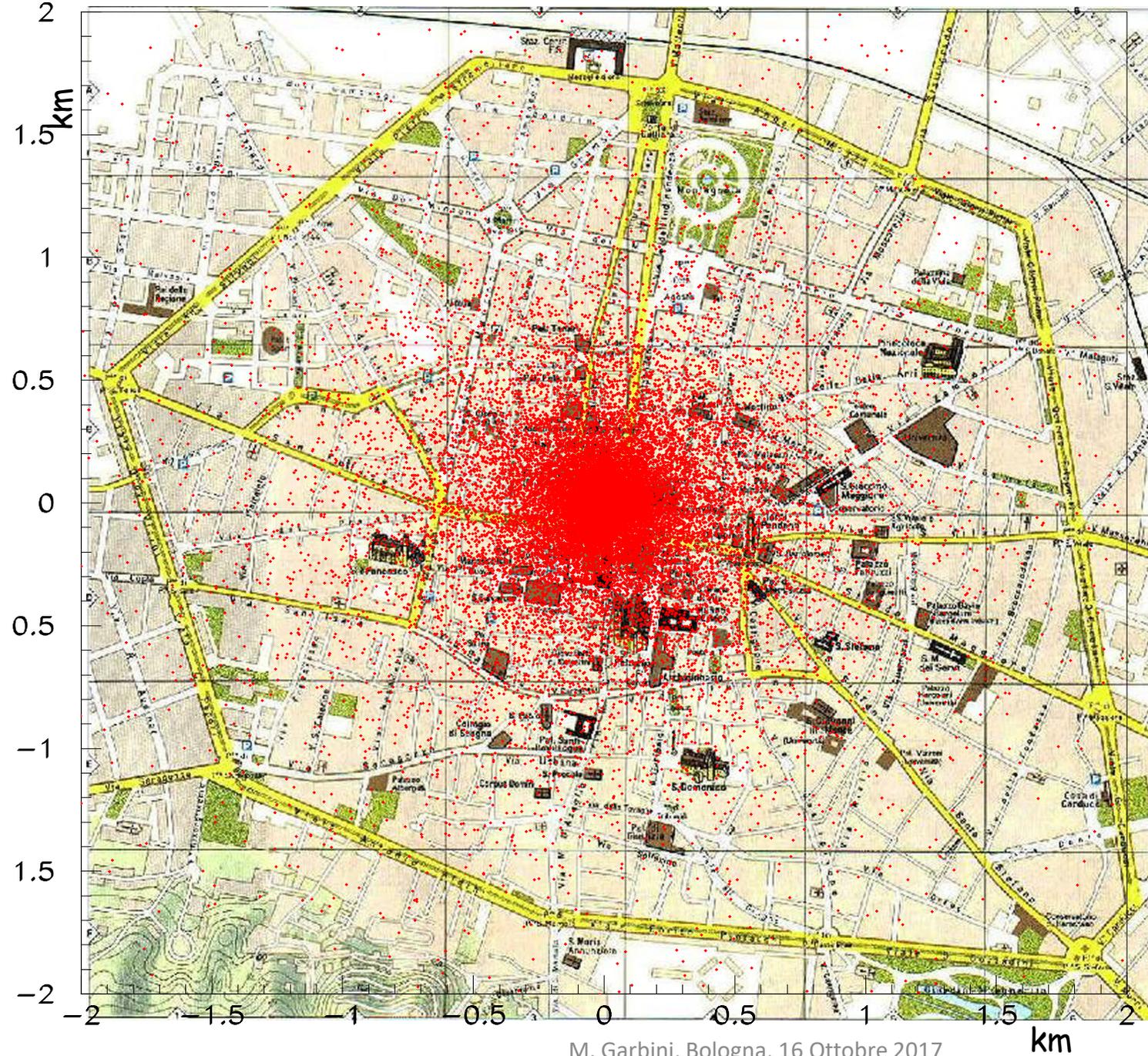
- Interazioni tra primario  
e molecole dell' atmosfera  
**componente secondaria**  
elettroni, neutrini, pioni,  
kaoni e muoni

Il **flusso** di particelle cariche  
che incide su una superficie  
orizzontale al livello del mare  
è ~ 200 particelle/(m<sup>2</sup> s).

# Come si forma uno sciame cosmico



**Cosa sono e da cosa sono costituite le particelle che si generano in uno sciame cosmico?**



**Simulazione** al calcolatore di uno sciame cosmico generato in atmosfera (a 15 Km di quota) da un protone cosmico avente un'energia di  **$10^{17}$  elettronvolt**.

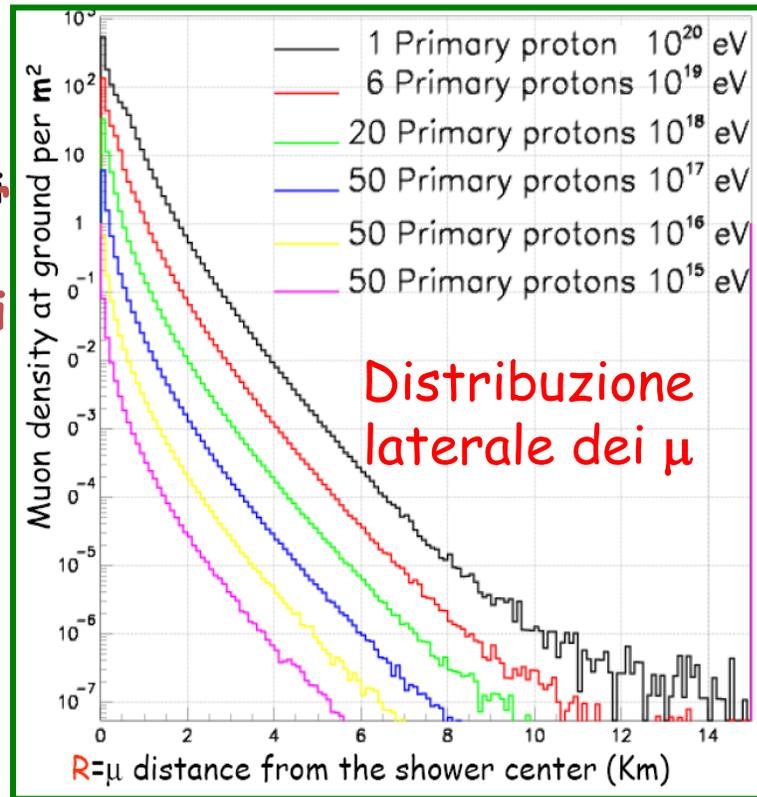
Al suolo arrivano 1 milione di muoni (puntini rossi) che si distribuiscono su un'area di almeno 2 km di raggio.

# I muoni al livello del mare

I muoni sono la **componente carica dello sciame più abbondante al livello del mare** mentre **le altre componenti sono assorbite in atmosfera**.

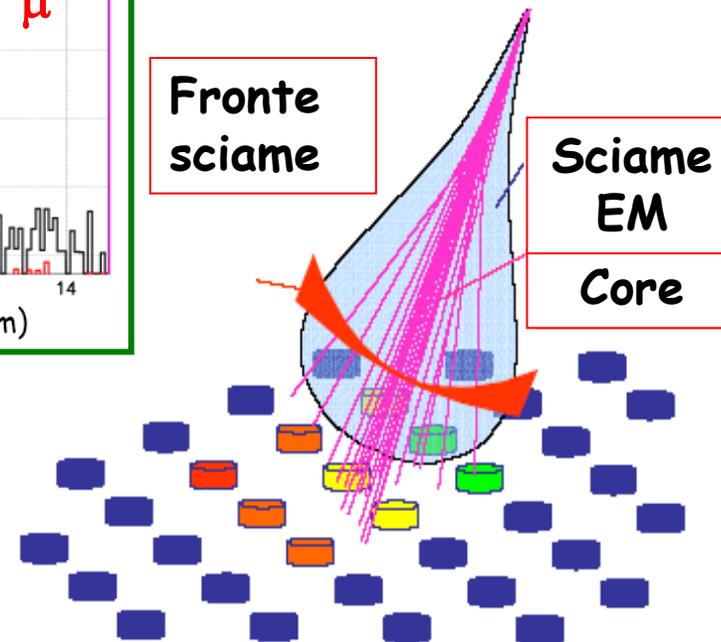
**L'impronta di un'area che interagiscono debolmente con la materia, possono essere rivelati anche all'interno dei locali delle scuole.**

La rivelazione dei muoni dello sciame fornisce informazioni sulla **direzione dei raggi cosmici primari**



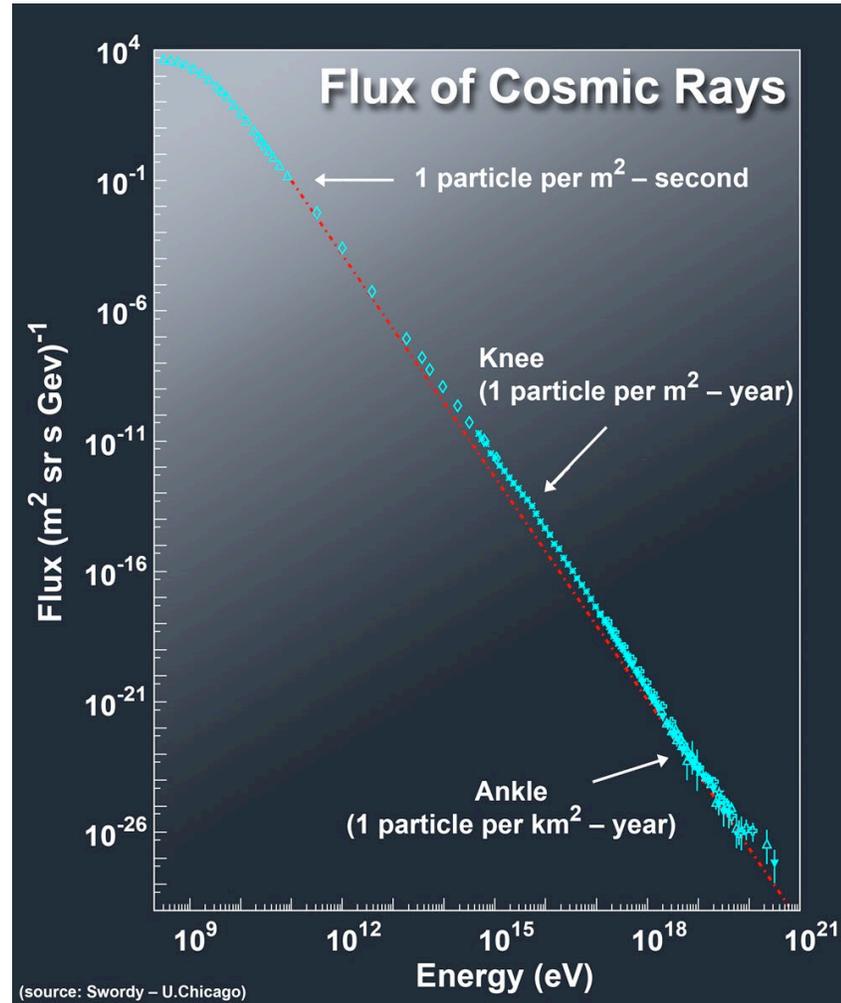
...ano "sciame" estesi, **oni** (del protone iniziale).

...ia al suolo copre **metri quadrati.**



# Lo spettro energetico

Quanti?



A questo punto sorgono domande...  
...come li riveliamo..  
...da dove arrivano  
...chi produce Raggi Cosmici alle energie più elevate

Di che Energia?

# Come possiamo rivelare i muoni?

Una possibilità è l'uso di

## Rivelatori a gas

- Tra i primi e più diffusi rivelatori utilizzati per la rivelazione di particelle cariche.
- Sfruttano la ionizzazione prodotta dal passaggio di una particella carica in un gas:

grazie all'interazione elettromagnetica un elettrone può essere rimosso da un atomo o da una molecola del gas creando una coppia elettrone-ione positivo (ionizzazione primaria).

## Vediamo cosa accade nel dettaglio...

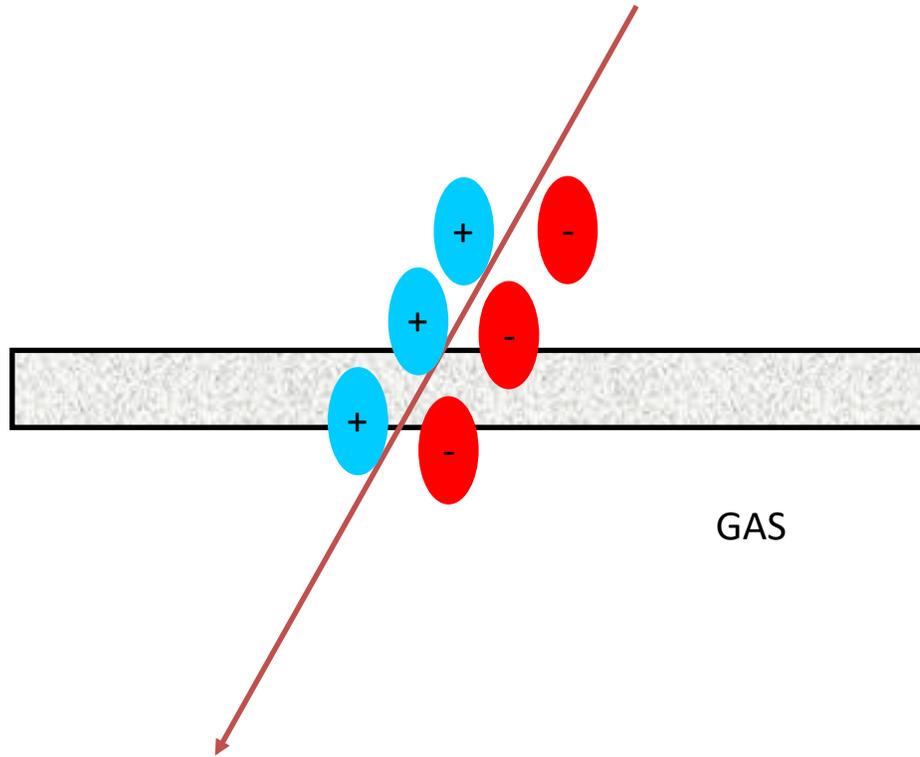
# La rivelazione di particelle

- Conoscere le interazioni delle particelle nella materia..
- Conoscere i materiali..
- Sfruttare tali conoscenze per trasformare il passaggio di una particella in un materiale in un "segnale" misurabile e anche ricavarne informazioni: posizione, energia, carica...



Vari tipi di rivelatori ognuno con le sue prerogative

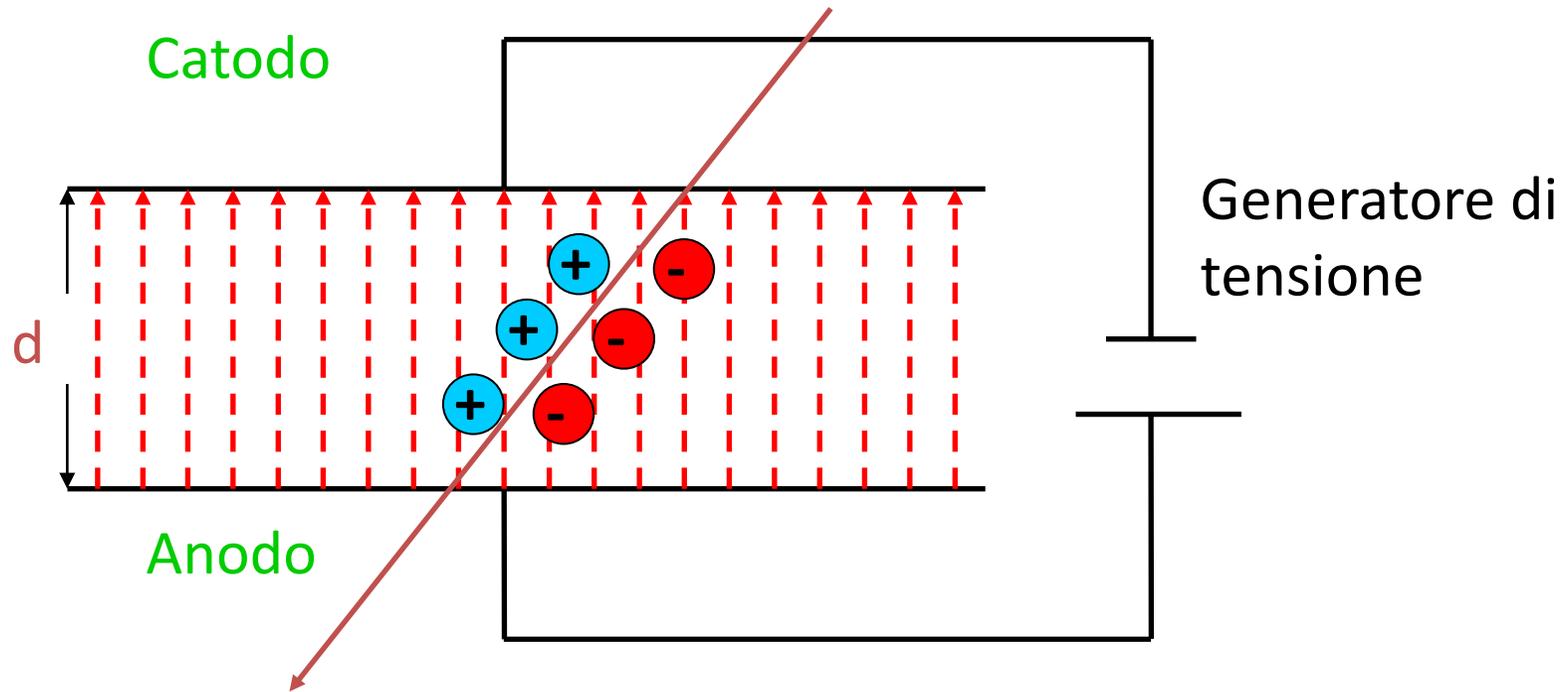
# Particella carica che attraversa un volume di gas



Le coppie di ioni prodotte per ionizzazione primaria in un volume di gas sensibile, in assenza di un campo elettrico, si ricombinano sotto l'azione dell'attrazione di Coulomb.

Sotto l'azione di un campo elettrico le coppie ione positivo - elettrone si possono separare e si può così ottenere un segnale elettrico...

# Se il volume di gas è all'interno di un campo elettrico



Per effetto del campo elettrico presente tra i due piani si genera una **forza** che agisce sulle cariche il cui modulo è

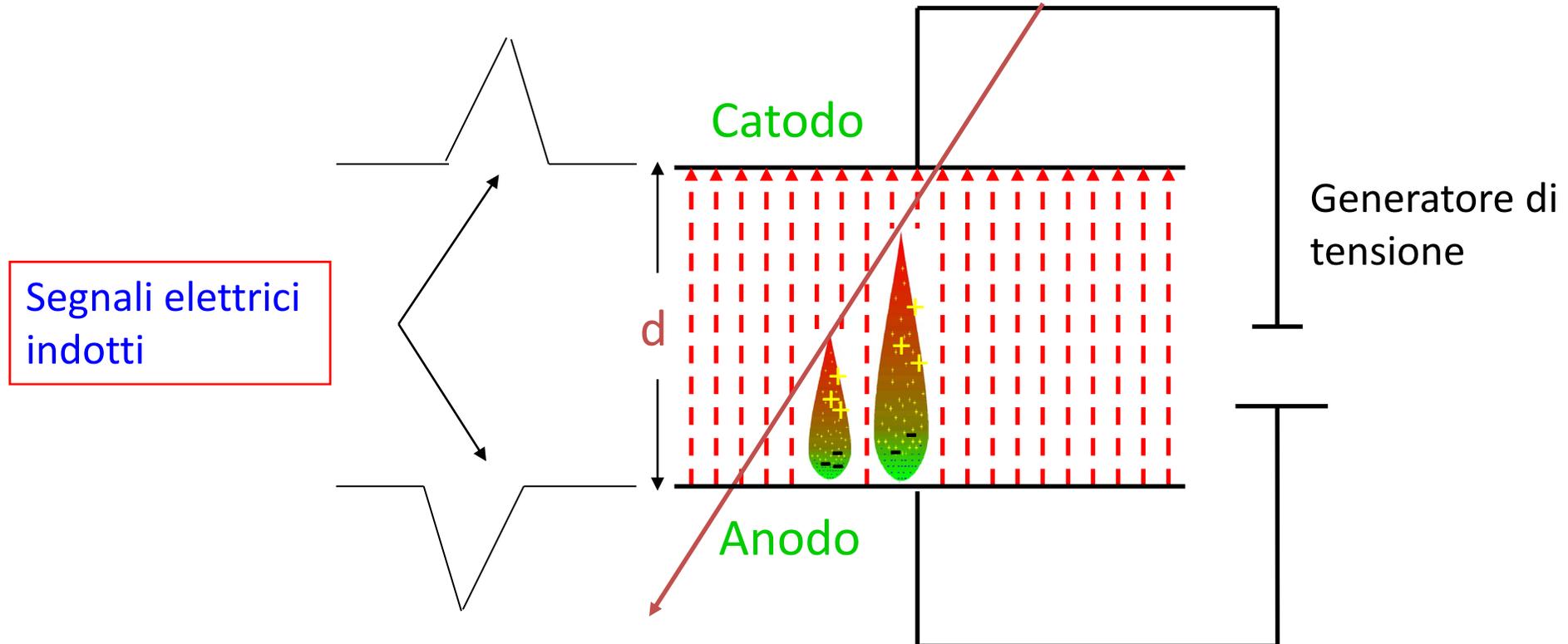
$$F = qE$$

che determina la migrazione delle cariche verso gli elettrodi (**ioni positivi verso l'elettrodo negativo** ed **elettroni verso l'elettrodo positivo**)

Il movimento delle cariche nel gas induce un

segnale sugli elettrodi stessi.

Tale segnale elettrico rivela il passaggio della particella.



L'adeguato spessore del gas nel rivelatore e un'elevata differenza di potenziale tra gli elettrodi permettono di avere un segnale sufficientemente grande: in questo modo si garantisce la rivelazione di ogni particella carica che attraversa il rivelatore.

# *I rivelatori del Progetto EEE*

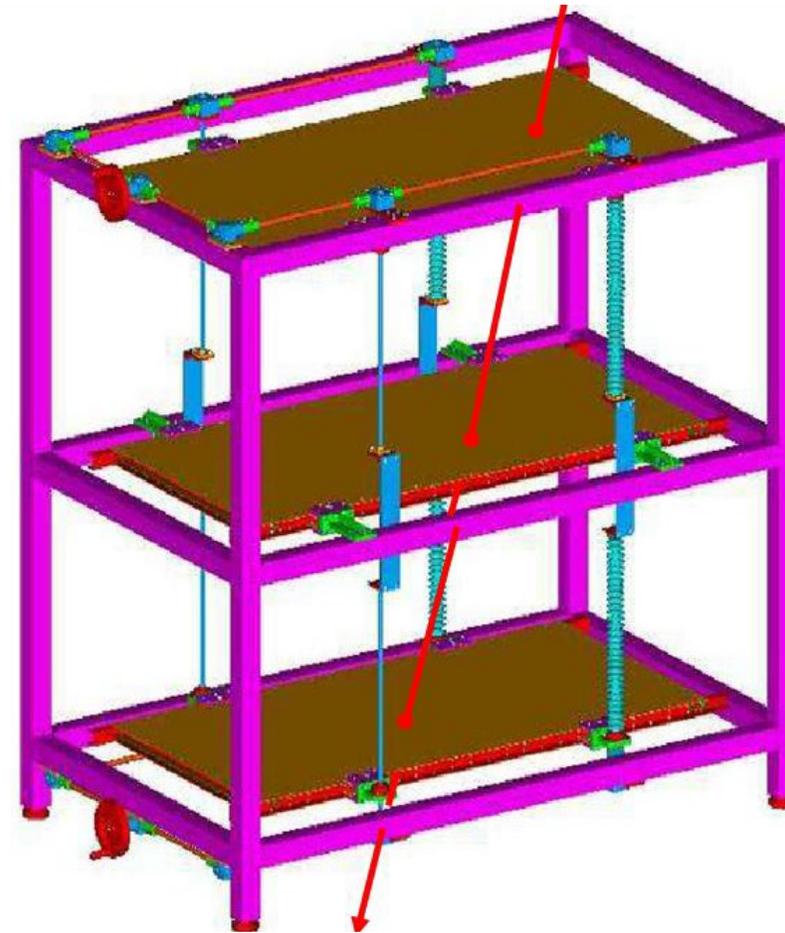
- Sono rivelatori a gas che sfruttano il principio appena visto
- Si chiamano Multigap Resistive Plate Chamber
- Hanno dimensione di  $\sim 2 \times 1 \text{ m}^2$
- Sono utilizzati per ricostruire il punto di passaggio di una particella
- Sono 3...così abbiamo una traiettoria..permettono per così dire di fare puntamento...da qui il nome telescopio
- ...sono costruiti da studenti e professori delle scuole

## ...e quindi

Il rivelatore gassoso ci permette di rivelare il passaggio del muone

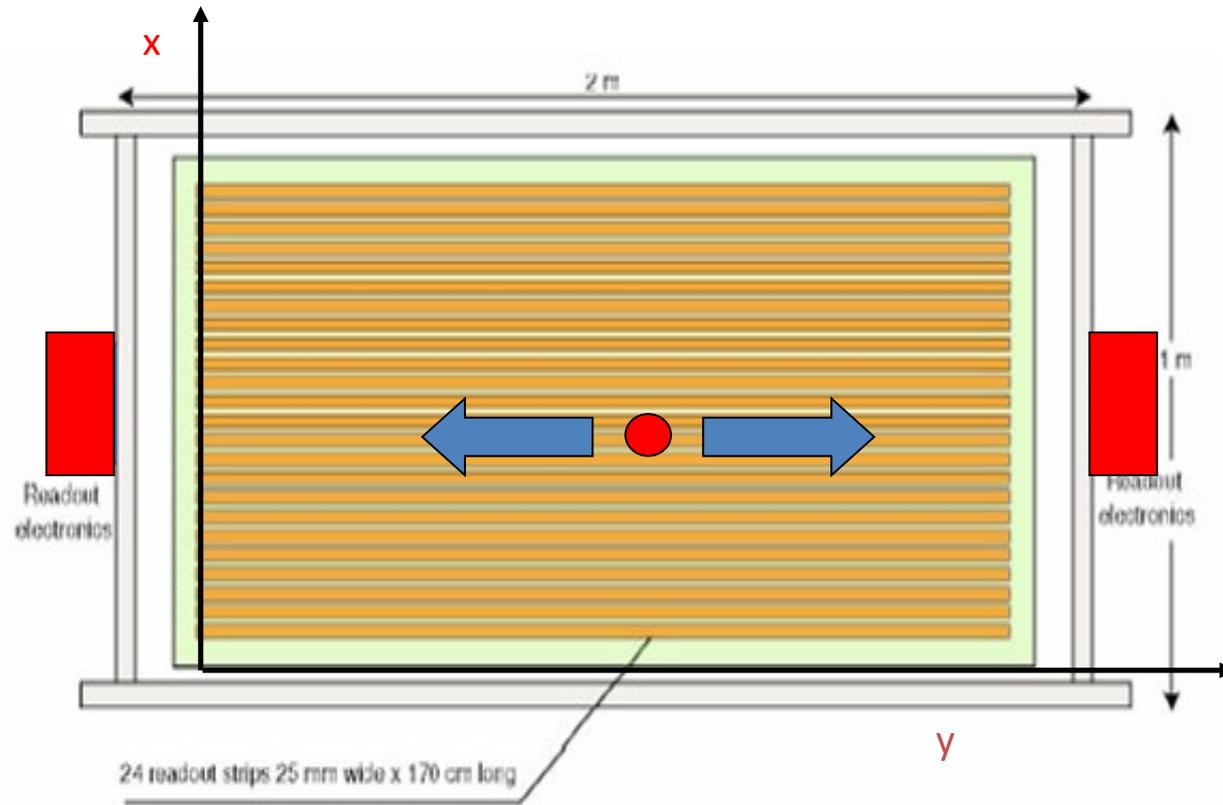
Per ricostruirne la traiettoria ci serviamo di un telescopio costituito da tre piani di rivelatori.

Le coordinate  $(x,y)$  del punto di impatto del muone su ogni rivelatore si ottengono...



Il tempo impiegato da un  $\mu$  per attraversare il nostro rivelatore è circa 7 ns.

# Segmentando l'elettrodo



# *Gli MRPC del Progetto EEE*

# Il rivelatore del telescopio EEE

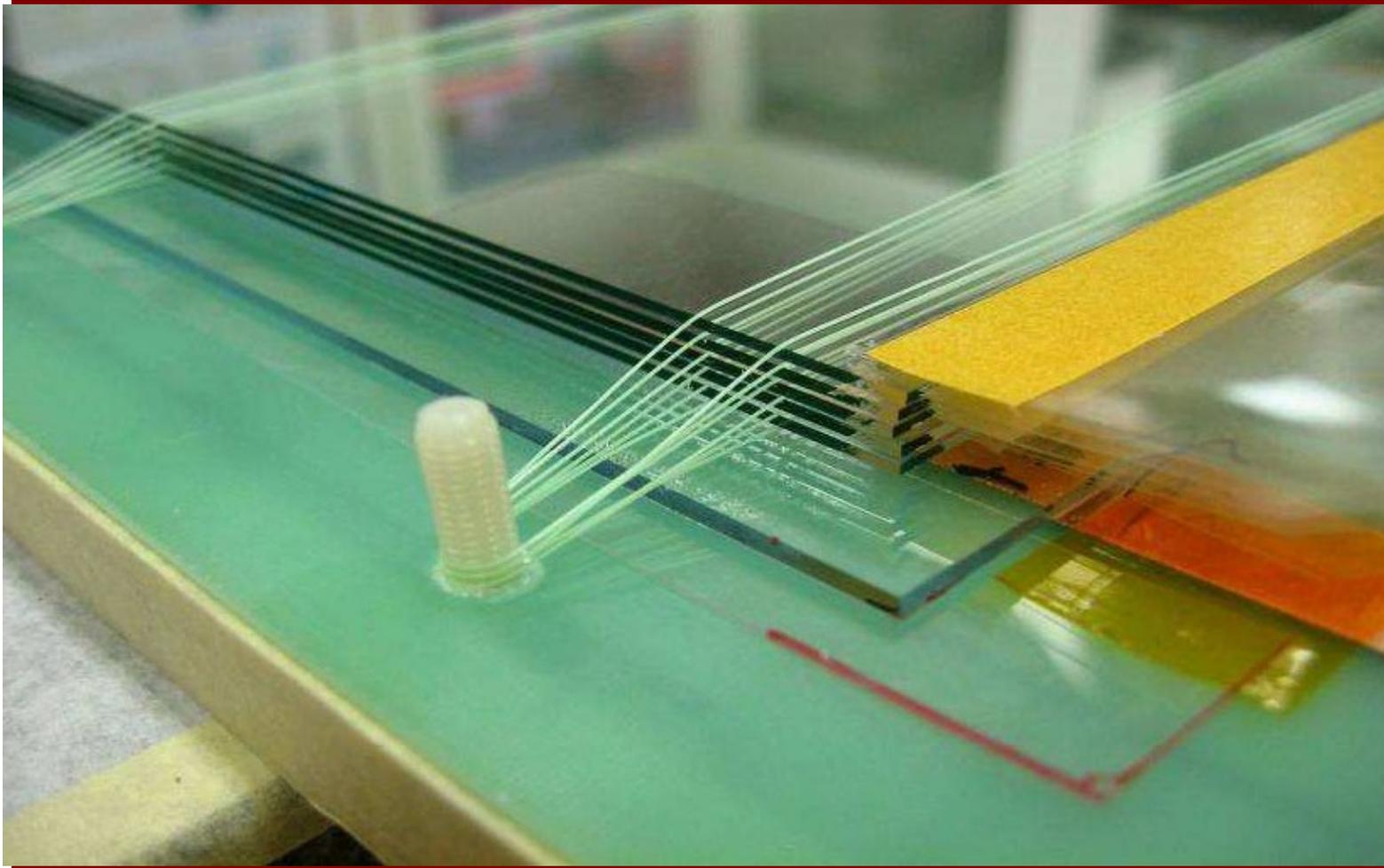
Il Progetto EEE ha scelto per i suoi studi il rivelatore **MRPC (Multi-gap Resistive Plate Chamber)**, un tipo di rivelatore sviluppato dal gruppo del Professor A. Zichichi per il Progetto LAA presso CERN di Ginevra.

È costituita principalmente da:

- 2 elettrodi a cui si fornisce alta tensione per creare una differenza di potenziale.

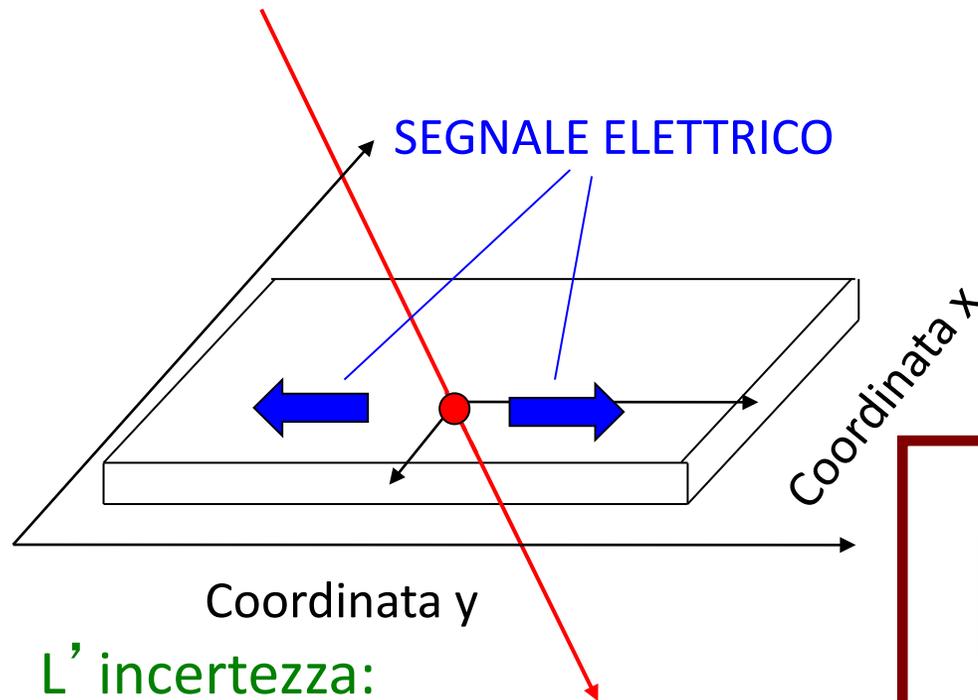
- 5 vetri intermedi per suddividere lo spessore del gas in 6 gap

- 2 elettrodi di lettura segmentati in 24 strisce (strips) conduttrici



# Il rivelatore del telescopio EEE

Le MRPC permettono l'identificazione delle coordinate del punto di impatto del muone



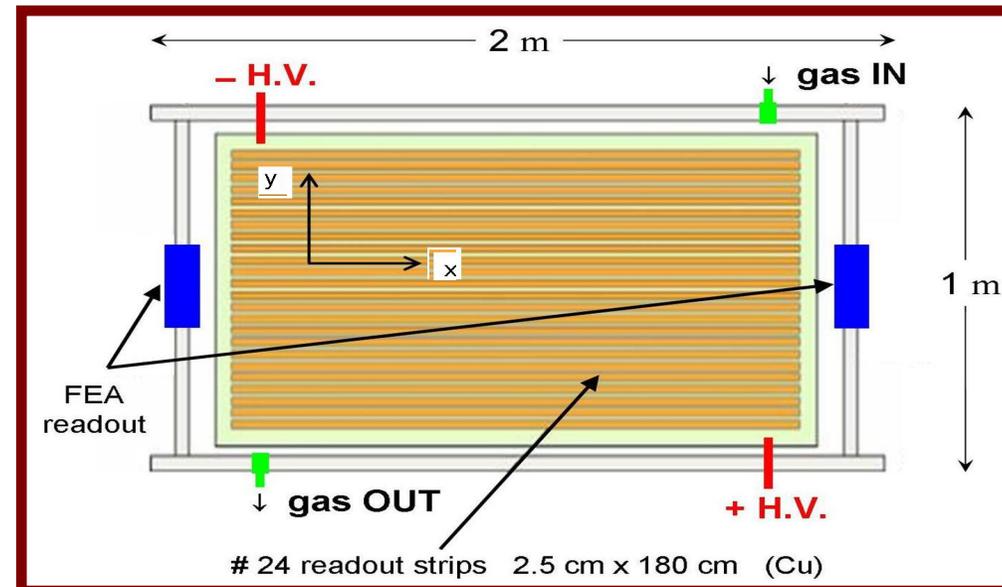
Coordinata **y** è determinata dalla posizione della strip colpita dalla particella incidente.

Coordinata **x** è determinata dalla differenza dei tempi di arrivo del segnale alle due estremità del rivelatore.

L'incertezza:

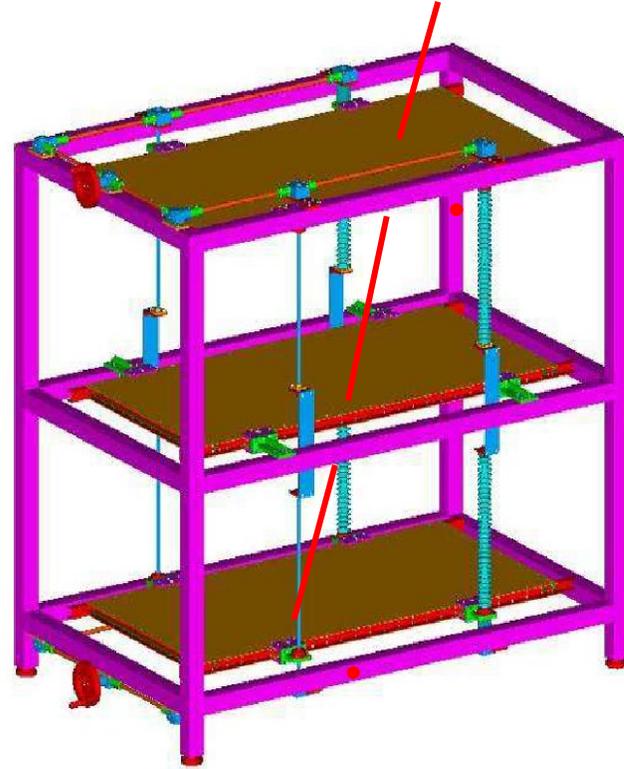
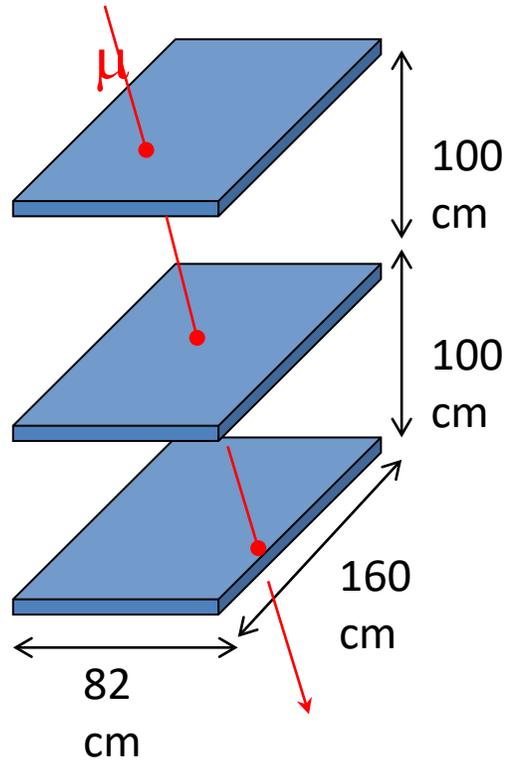
❖ **y** → legata alla larghezza della strip

❖ **x** → legata all'errore nella misura delle differenze dei tempi

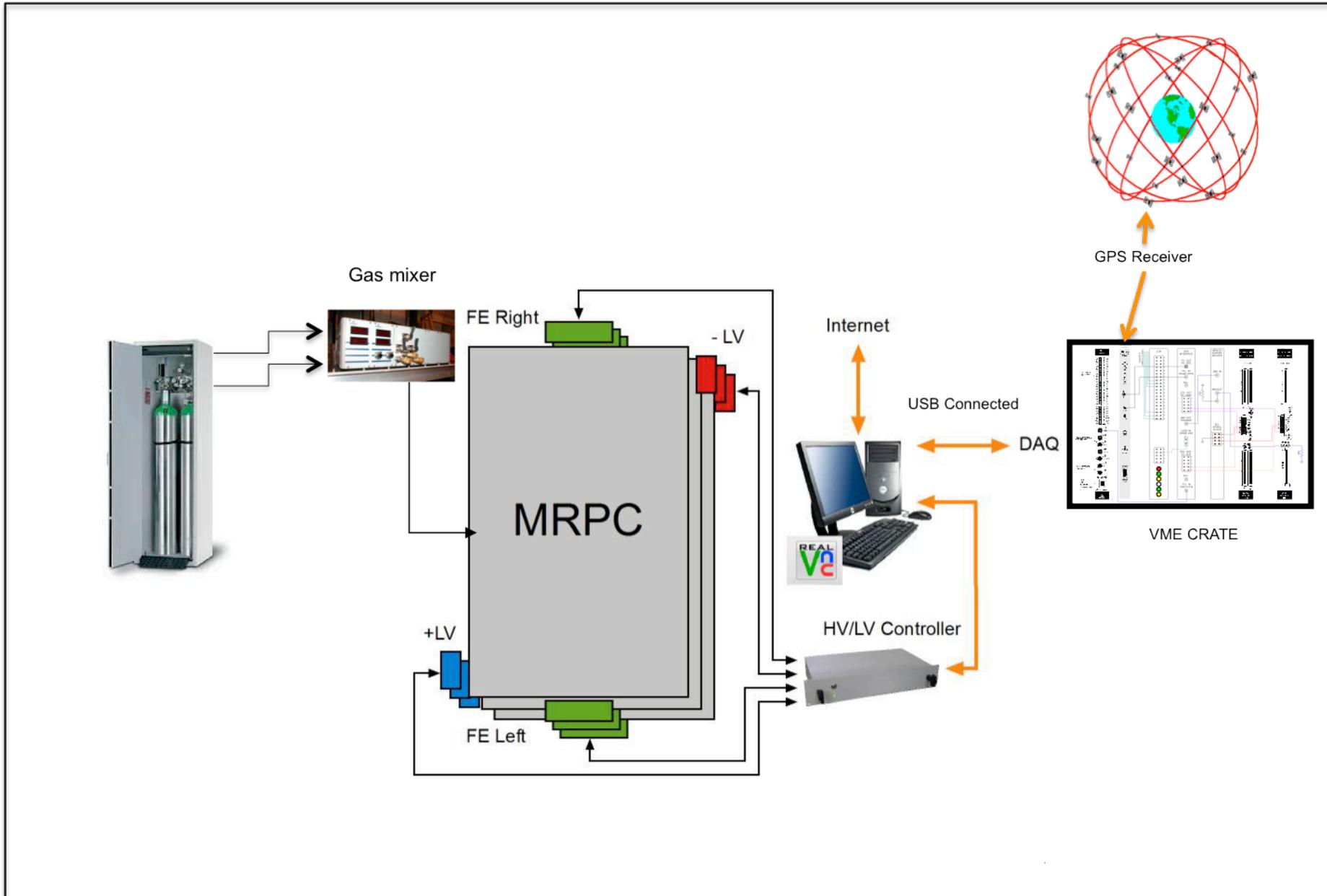


*Una volta che i rivelatori sono costruiti  
possiamo installare  
il telescopio*

Cioè???

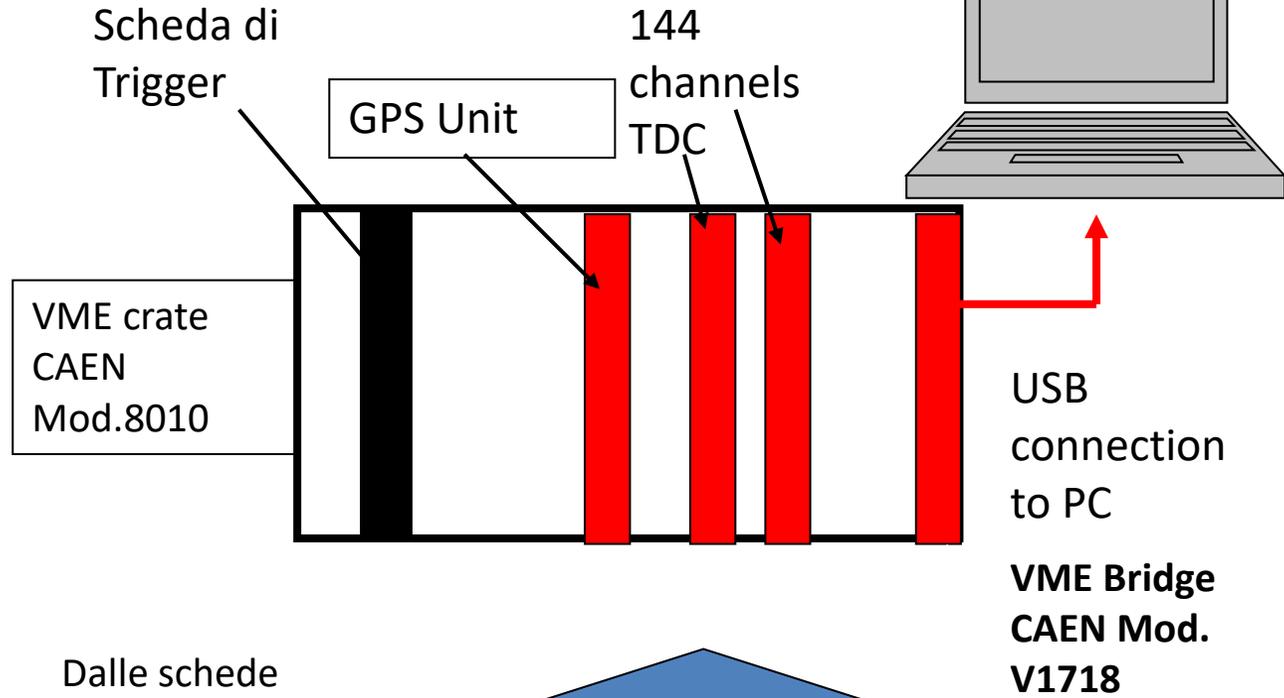


# Non solo il rivelatore ma anche...

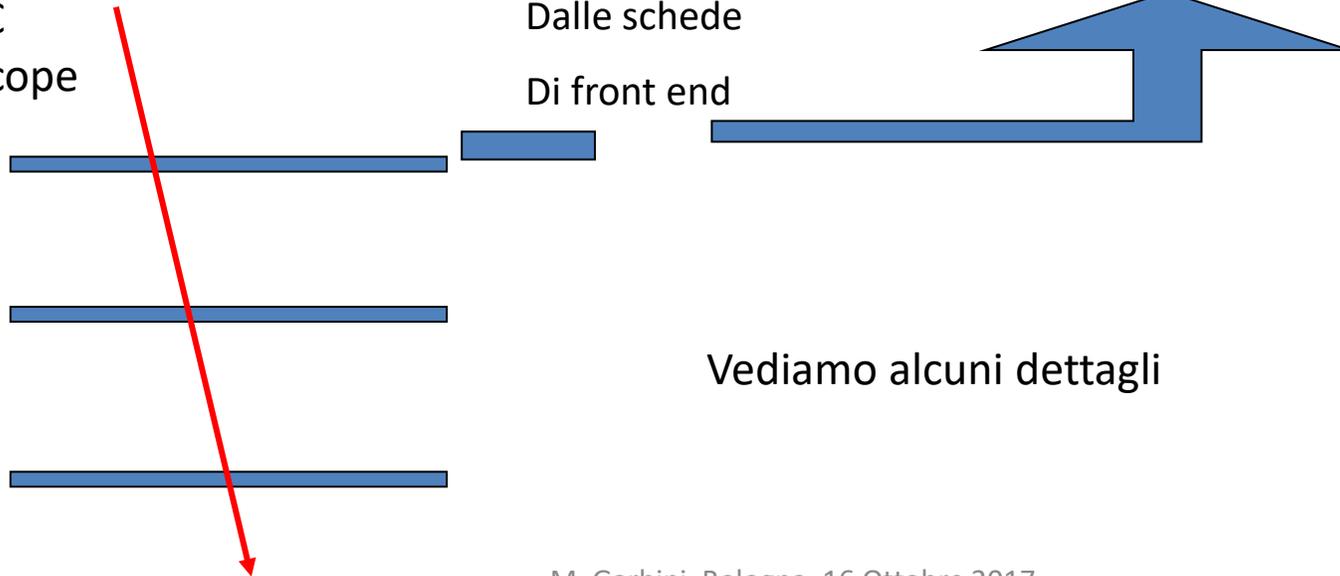


# *L'elettronica del Telescopio del Progetto EEE*

# L'elettronica del Telescopio



MRPC  
Telescope



*Un elemento fondamentale  
dell'elettronica del telescopio è*

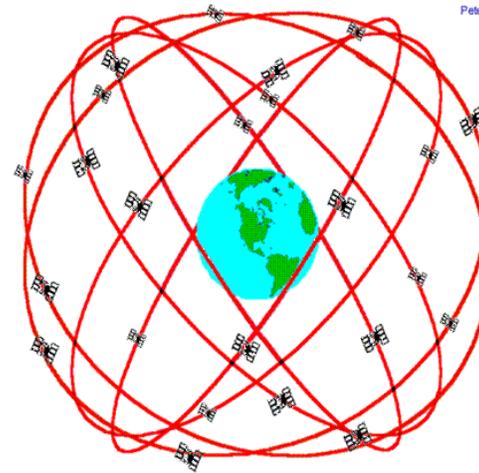
*La scheda di Trigger*

*che decide se un evento è dovuto al  
passaggio di un muone*

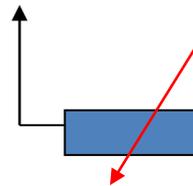
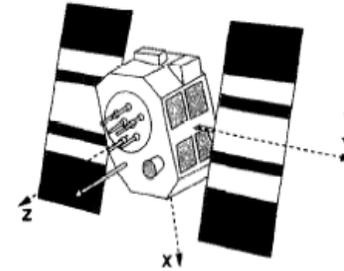
# Un ingrediente in più: il GPS



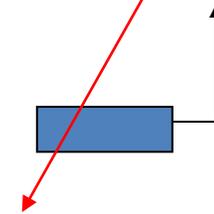
I telescopi del progetto sono sincronizzati tramite un sistema GPS



GPS Nominal Constellation  
24 Satellites in 6 Orbital Planes  
4 Satellites in each Plane  
20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination



EventTime 1: Year, Day, s, ns



EventTime 2: Year, Day, s, ns

*Ma perchè ci serve il GPS?*

# Flusso dei RC di alta energia

Il numero di raggi cosmici primari che colpisce la terra diminuisce all' aumentare dell' energia della particella.

Il numero di raggi cosmici che colpiscono la Terra diminuisce al crescere dell'energia

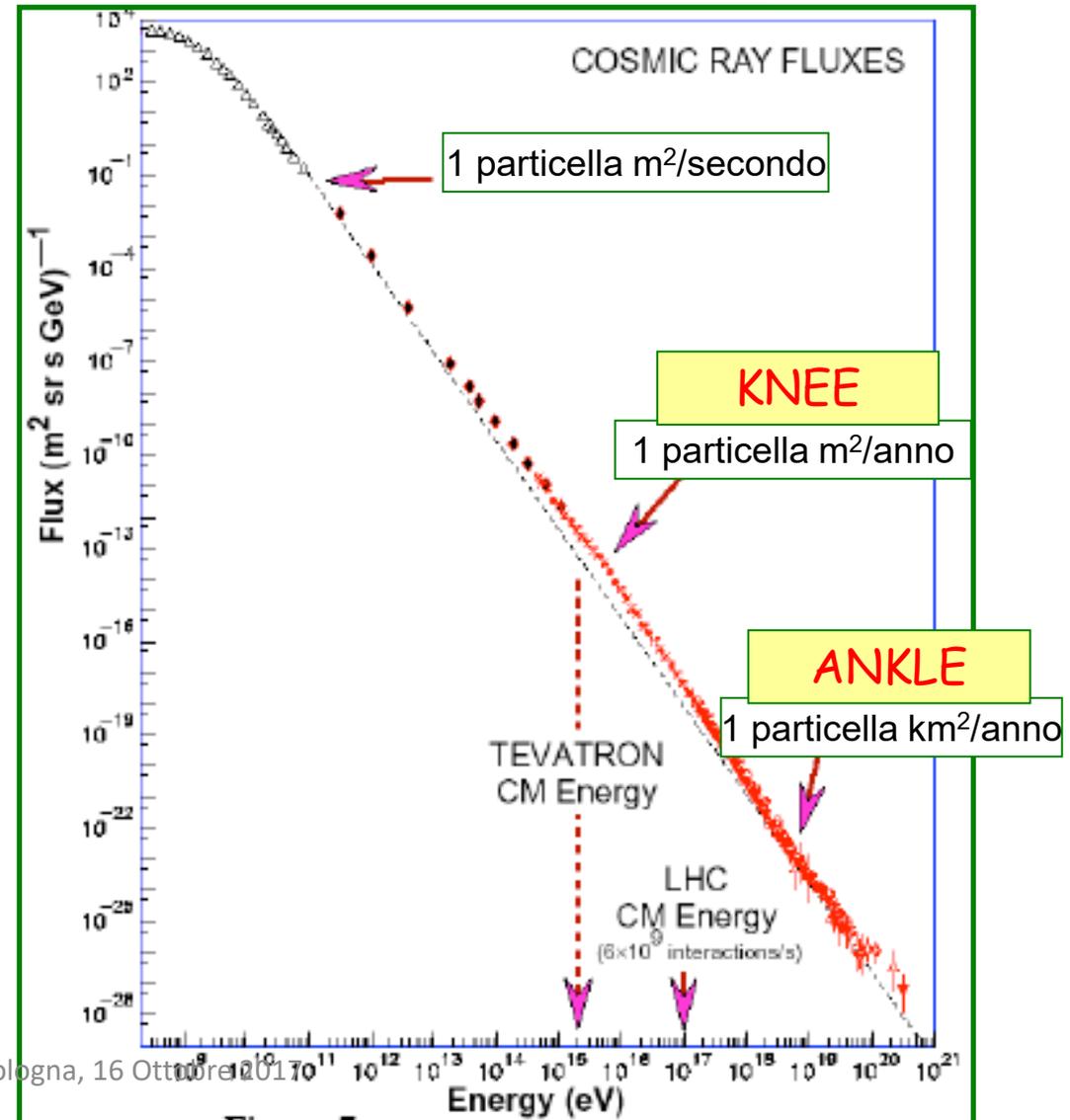
$E_0 \approx 10^8 \text{ eV} \rightarrow 100 \text{ eventi / m}^2 \text{ / secondo}$

$E_0 \approx 10^{15} \text{ eV} \rightarrow 1 \text{ evento / m}^2 \text{ / anno}$

$E_0 \approx 10^{19} \text{ eV} \rightarrow 1 \text{ evento / km}^2 \text{ / anno}$

$E_0 > 10^{20} \text{ eV} \rightarrow 1 \text{ evento / km}^2 \text{ / secolo}$

## IL FLUSSO dei RAGGI COSMICI



# Metodi di rivelazione: array estesi

Perché utilizzare un array esteso di rivelatori

Se voglio rivelare 100 sciami con un' energia di  $\sim 10^{19}$  eV

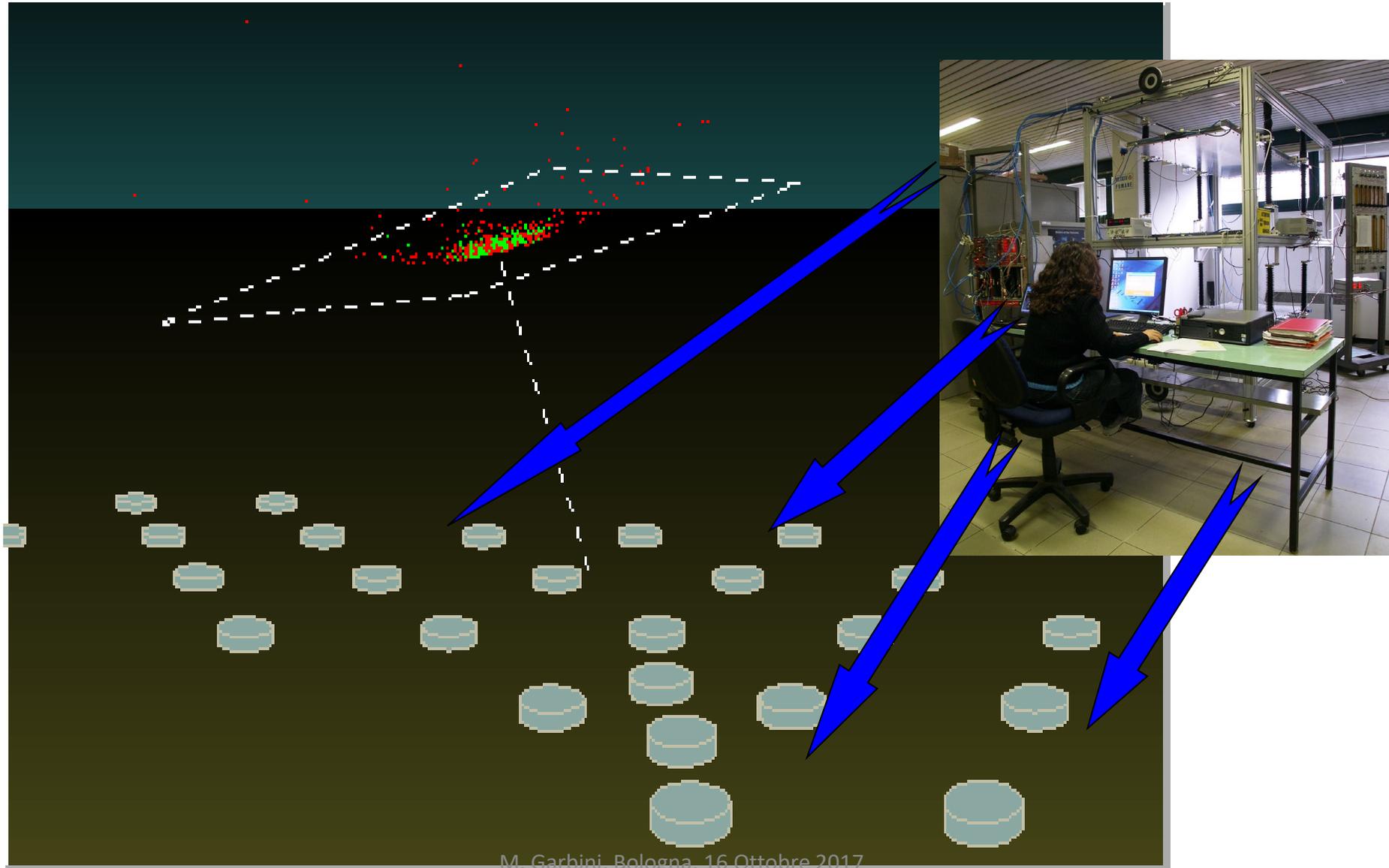
So che di questi eventi se ne verifica 1 ogni anno su un  $\text{km}^2$  di superficie. Come faccio a vederne 100 ?

Se costruisco un rivelatore grande  $1 \text{ km}^2$  devo aspettare 100 anni...

Allora faccio un rivelatore grande  $100 \text{ km}^2$  ed aspetto solo 1 anno.

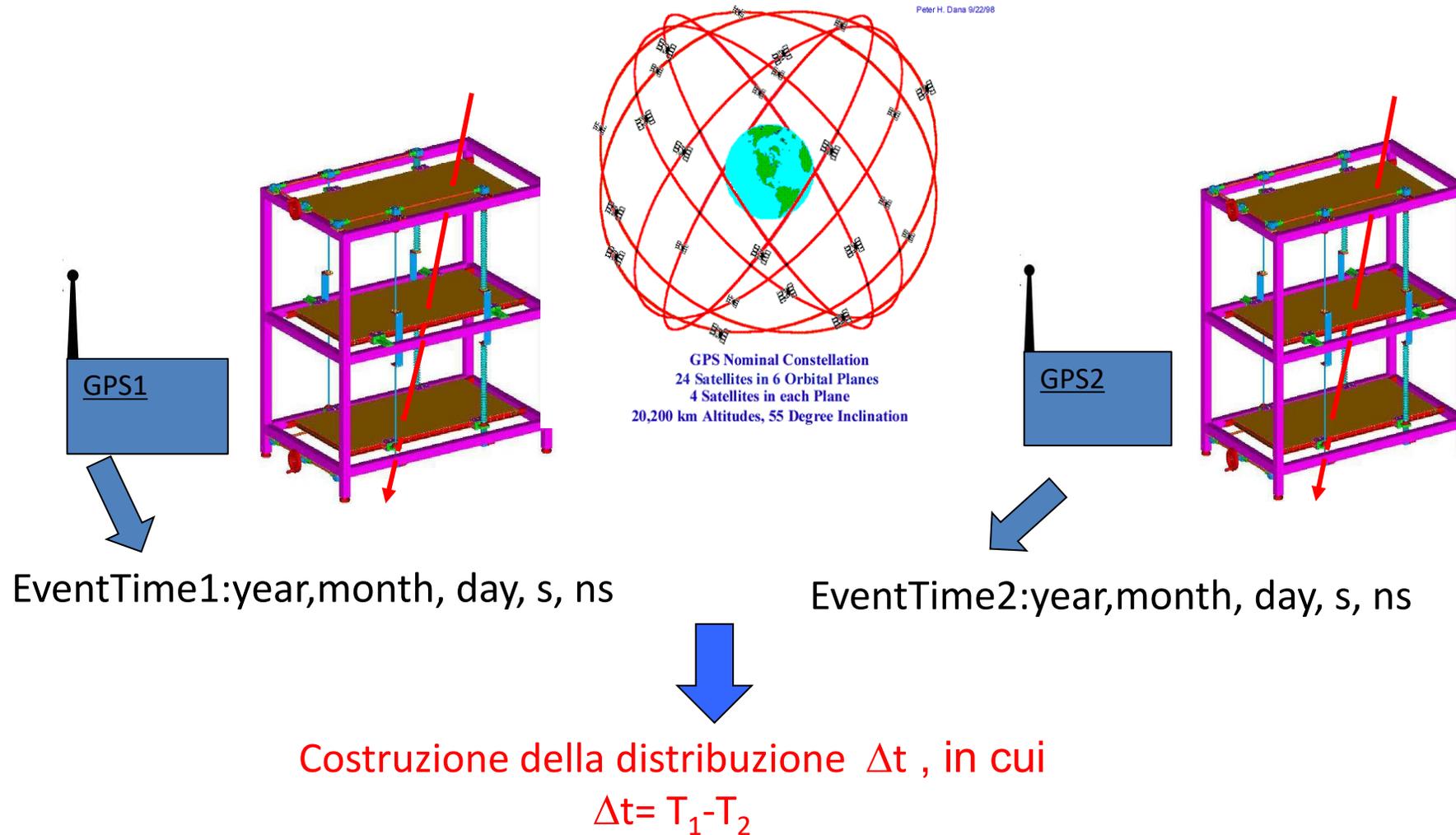
E' questo il motivo che spinge ad utilizzare tanti siti tra loro anche molto distanti !

# Perché utilizzare un array esteso di rivelatori



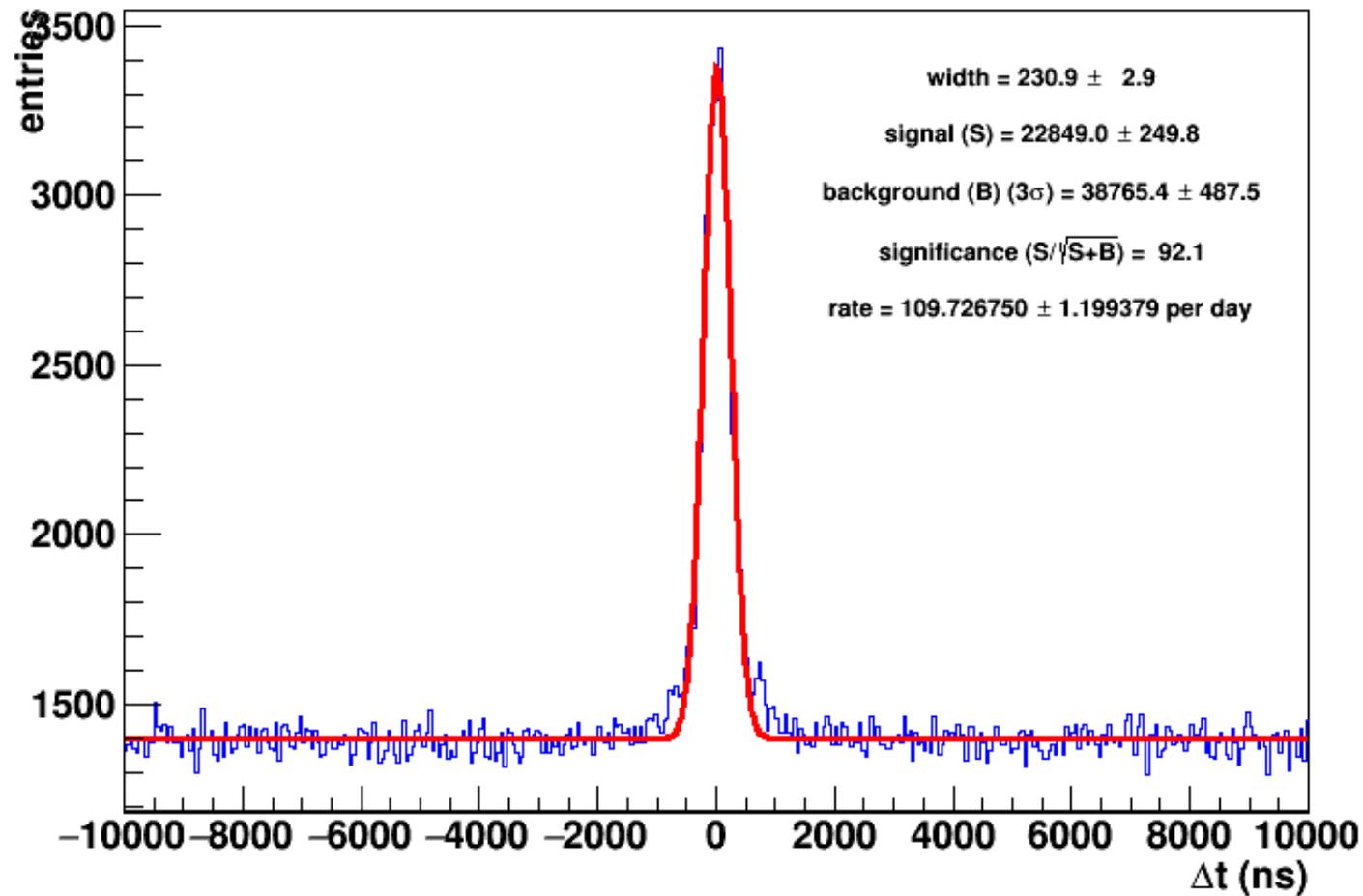
# La ricerca di "sciami estesi"

I telescopi saranno sincronizzati tramite il GPS che fornisce il tempo universale di ciascun muone.



# Osservazione di EAS

correction assuming  $\Delta\phi = -2.81$ ,  $\Delta L = 96.0$  m



# ***In Conclusione***



***Il Progetto EEE è***

***-dedicato allo studio di raggi cosmici di Energia Estrema***

***-Coinvolge direttamente studenti delle Scuole Superiori Italiane***

***-I rivelatori sono costruiti e seguiti dagli studenti in collaborazione con i ricercatori INFN e Centro Fermi***

***-Attivo già da diversi anni sta producendo risultati di Fisica***

***-L'esperimento è ancora in espansione***

**EXTRA**

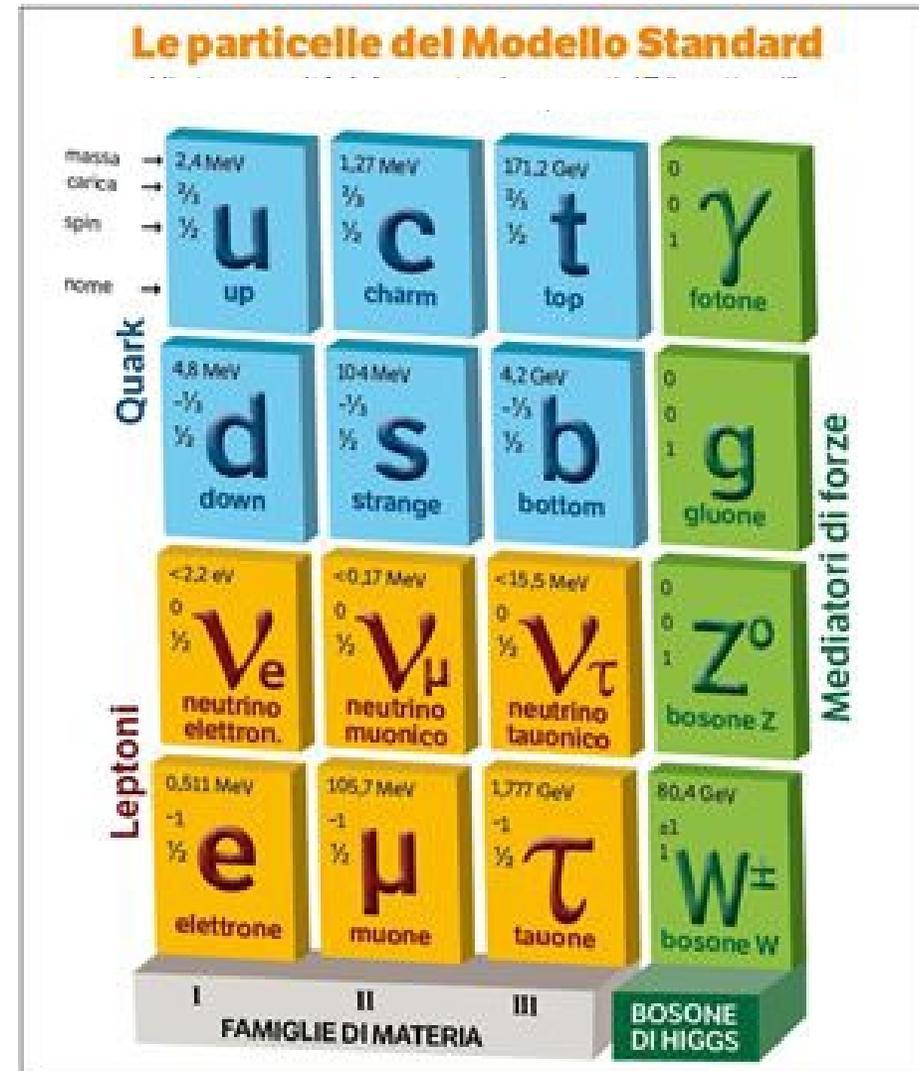
# I raggi cosmici sono una finestra sull'Universo Subatomico

Modello in cui sono state suddivise le particelle fondamentali raggruppate secondo caratteristiche comuni

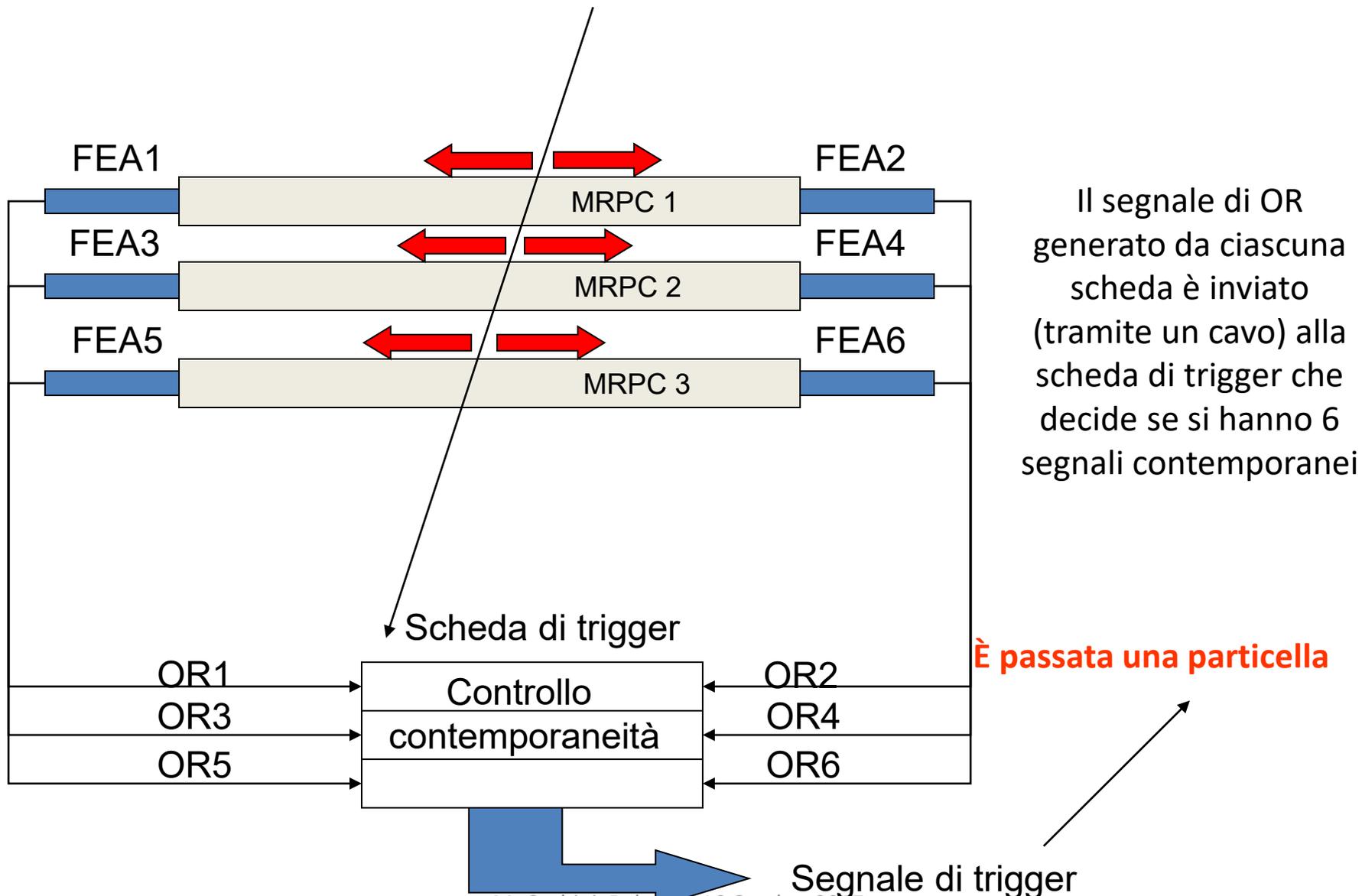
Ciò che diversifica le particelle tra loro sono i numeri quantici

- numero leptonico
  - numero barionico
  - numero di stranezza ...
- 
- Come interagiscono queste particelle?
  - Cosa le tiene legate tra loro?

**I BOSONI di INTERAZIONE**



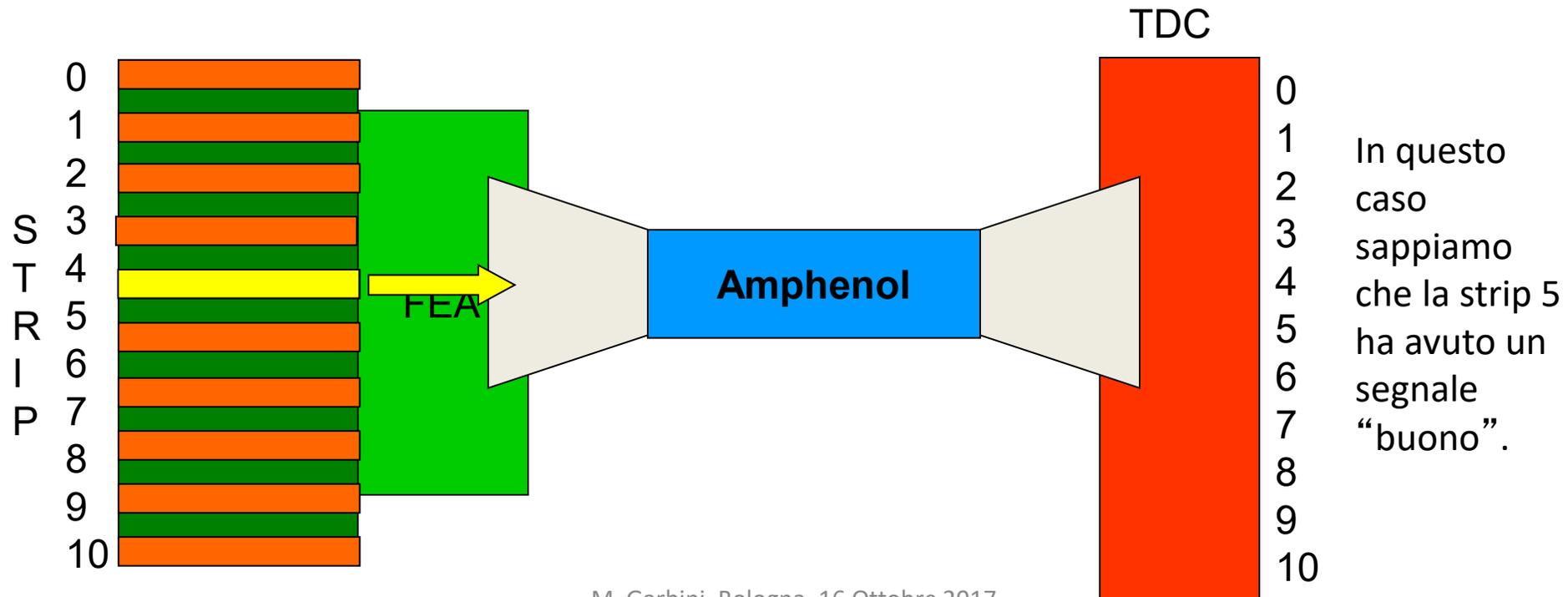
# La scheda di Front End e il segnale OR



# La scheda di Front end ed il segnale “buono”

I segnali che superano la soglia sono inviati tramite opportuni cavi ai TDC  
(cavi Amphenol):

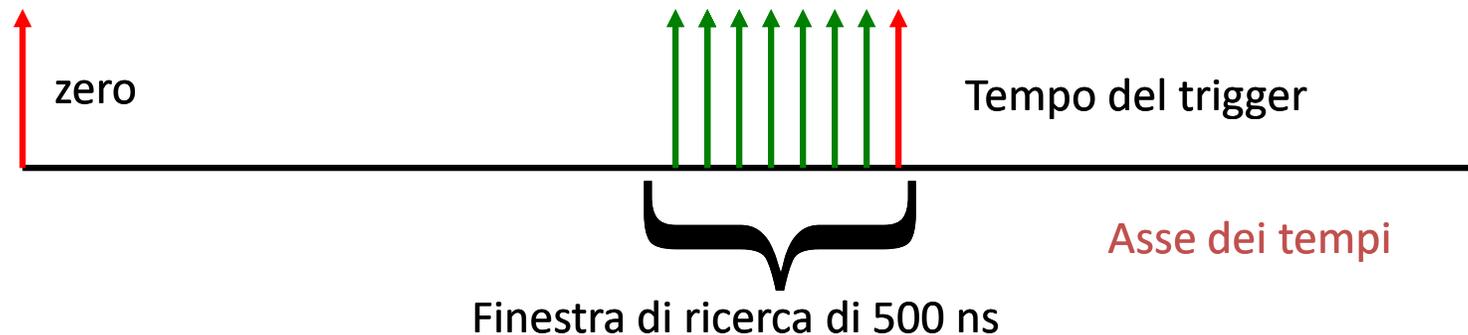
i cavi servono per connettere la scheda al TDC in maniera tale che ad una strip con segnale “buono” corrisponda un “canale” del TDC.



In questo caso sappiamo che la strip 5 ha avuto un segnale “buono”.

# Altri dettagli

Mentre il tempo scorre il TDC sta anche immagazzinando i segnali in arrivo dalle singole strip. Appena c'è un segnale di trigger possiamo chiedere al TDC (tramite un programma di acquisizione che comunica con il **Bridge** che fa da mediatore tra il computer e i TDC) di passarci i dati che ha raccolto a partire dal tempo del trigger per un certo intervallo di tempo prima del trigger



In particolare nel nostro sistema si guarda nel TDC fino a 500 ns prima del tempo del trigger

Per tutti i segnali raccolti il TDC ci fornisce il tempo di arrivo del segnale all'interno della finestra di trigger

# A cosa servono queste informazioni

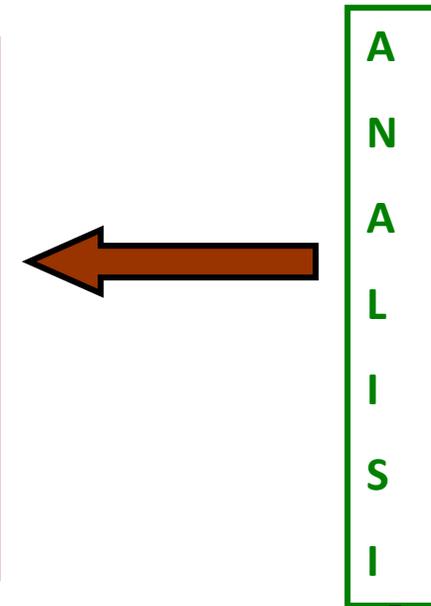
I TDC (ne usiamo 2) forniscono i tempi di arrivo del segnale rispetto al segnale di trigger per i canali (le strip) interessati da un evento. Una stessa strip è letta da entrambi i lati di una camera quindi le informazioni relative ad essa sono contenute in due canali diversi del TDC.

**Quindi**

Step 1 - riconoscere quali canali del TDC corrispondono ad una stessa strip

Step 2 – controllare se in un dato evento (trigger) i canali hanno segnale

Step 3 – dal numero della strip e dalla differenza dei tempi di arrivo dei segnali otteniamo la coordinata spaziale del punto di passaggio del muone.

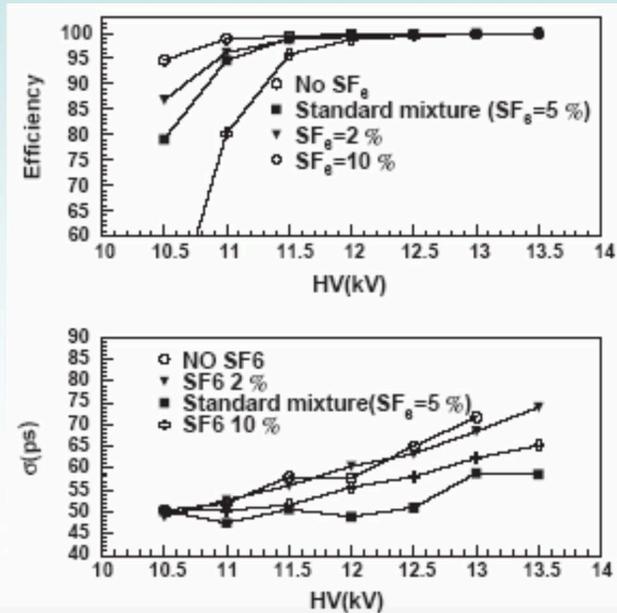


**Possiamo ricostruire la traiettoria del muone!!!**

**EXTRA**

# Il primo Ingrediente: il Sistema del Gas

A mixture of Freon ( $C_2H_2F_4$ ) +  $SF_6$  (98% + 2%) is used, with continuous flow of the order of 3 l/h



A new ELOG entry has been submitted:

Logbook: [EEE e-log](#) Message ID: 546 Entry time: Fri 12/12/2014 13:22:45

Scuola:	BOLO-03
Operatore:	Matteo Postacchini & Alice Dalla
MRPC1 HV_POS (V):	8490
MRPC1 HV_NEG (V):	8460
MRPC1 I_POS (microA):	8.59
MRPC1 I_NEG (microA):	8.53
MRPC1 LV (V):	4.5
MRPC2 HV_POS (V):	MRPC1: misura Corrente [-] 8070
MRPC2 HV_NEG (V):	8450
MRPC2 I_POS (microA):	8.03
MRPC2 I_NEG (microA):	8.40
MRPC2 LV (V):	4.5
MRPC3 HV_POS (V):	8470
MRPC3 HV_NEG (V):	8790
MRPC3 I_POS (microA):	8.49
MRPC3 I_NEG (microA):	8.71
MRPC3 LV (V):	4,5
Front-End LV (V):	2.7
SF6 (press):	26.8
C2H2F4 (press):	25.0
SF6 (flusso):	24.9
C2H2F4 (flusso):	25.0
Temp (C):	17.0
Press (mbar):	1010.2
Rate (Hz):	39.2

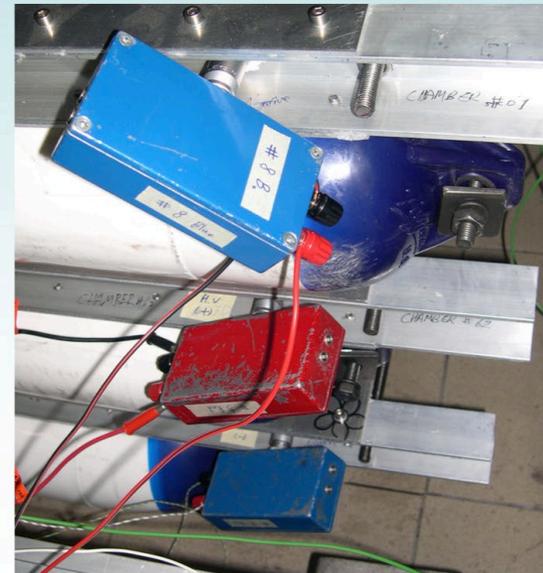
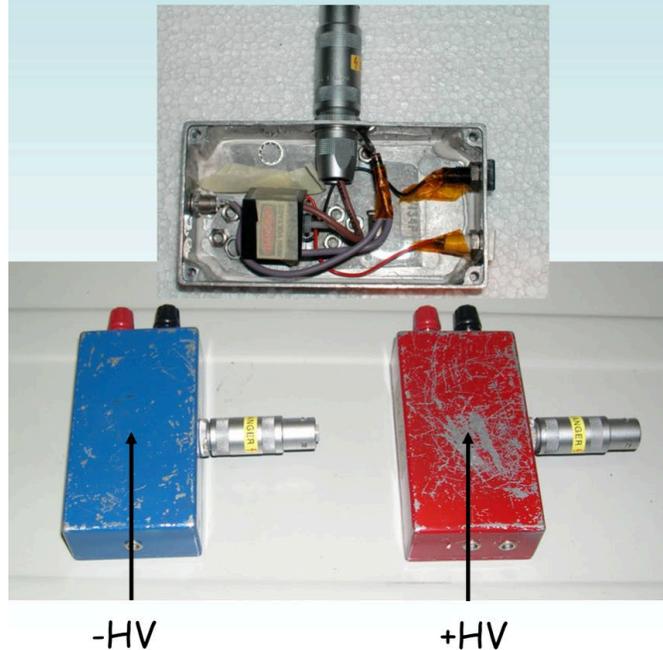
La giusta miscela di gas e il corretto valore di flusso garantiscono il corretto funzionamento dei rivelatori

**Seguite il Talk di Ivan Gnesi!!!**

# Altro Ingrediente: Il sistema di alimentazione

## The HV system

The EEE Project MRPCs work at voltages around 20 kV provided by DC/DC converters packed in small boxes and directly connected to the electrodes of the detector. EMCO Q series converters are used with an output voltage up to  $\pm 10$  kV when powered at 0-5 V.



A new ELOG entry has been submitted:

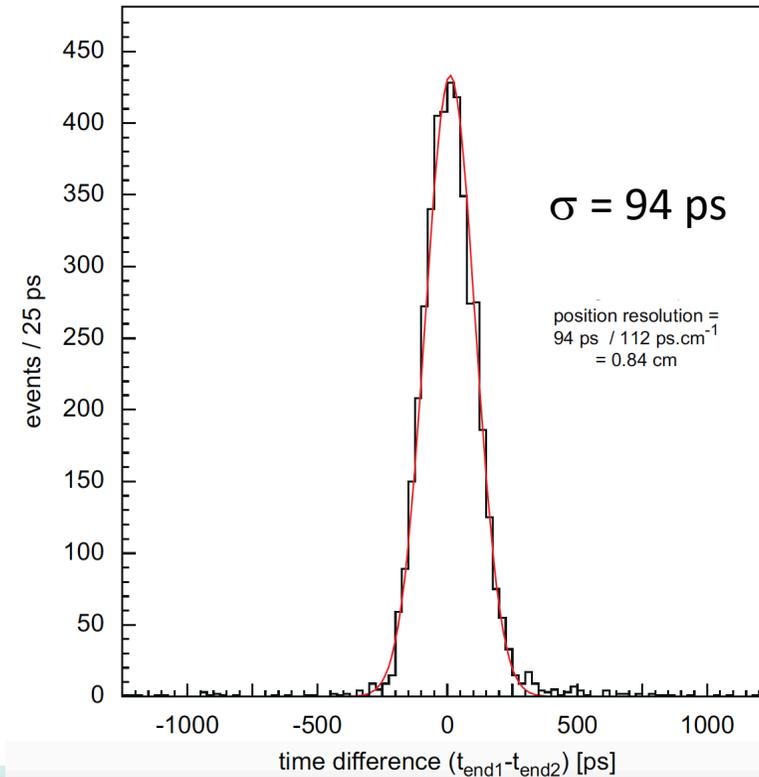
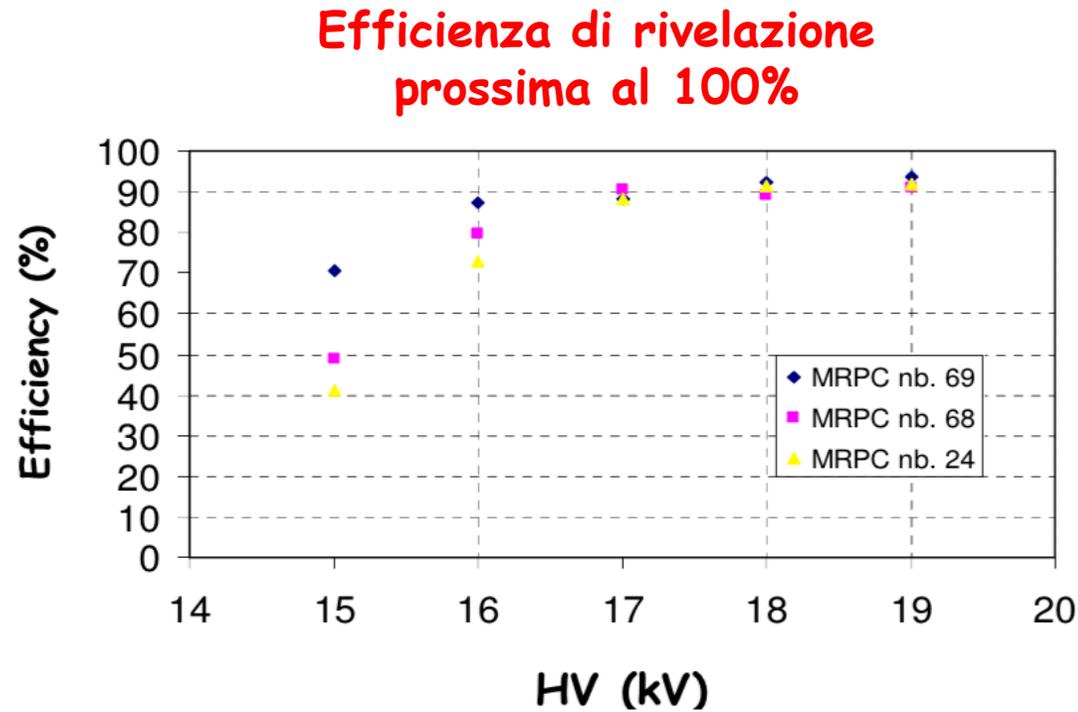
Logbook: EEE e-log Message ID: 546 Entry time: Fri 12/12/2014 13:22:45	
Scuola:	BOLO-03
Operatore:	Matteo Postacchini & Alice Dalla
MRPC1 HV_POS (V):	8490
MRPC1 HV_NEG (V):	8460
MRPC1 I_POS (microA):	8.59
MRPC1 I_NEG (microA):	8.53
MRPC1 LV (V):	4.5
MRPC2 HV_POS (V):	MRPC1: misura Corrente [-] 8070
MRPC2 HV_NEG (V):	8450
MRPC2 I_POS (microA):	8.03
MRPC2 I_NEG (microA):	8.40
MRPC2 LV (V):	4.5
MRPC3 HV_POS (V):	8470
MRPC3 HV_NEG (V):	8790
MRPC3 I_POS (microA):	8.49
MRPC3 I_NEG (microA):	8.71
MRPC3 LV (V):	4,5
Front-End LV (V):	2.7
SF6 (press):	26.8
C2H2F4 (press):	25.0
SF6 (flusso):	24.9
C2H2F4 (flusso):	25.0
Temp (C):	17.0
Press (mbar):	1010.2
Rate (Hz):	39,2

Monitorare correnti e tensioni è di fondamentale importanza per controllare il corretto funzionamento delle MRPC

**Seguite il Talk Marco Panareo !!!!**

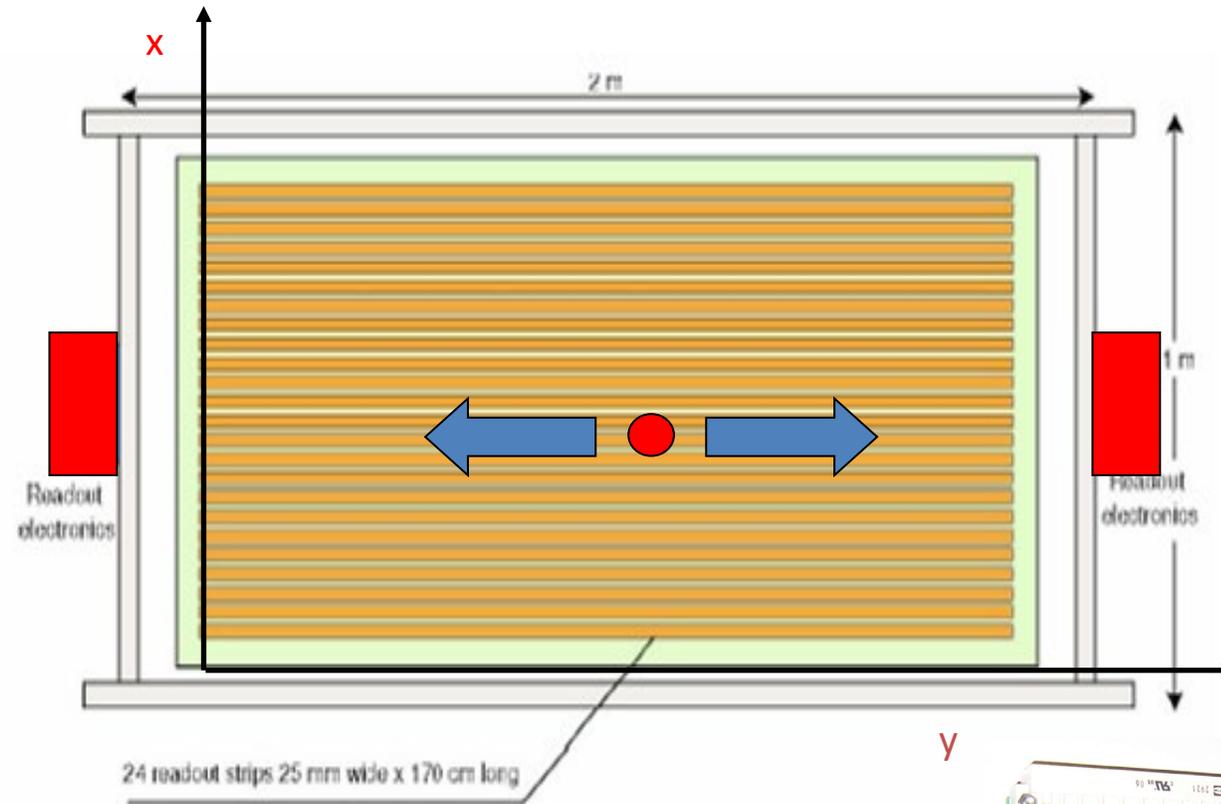
# Performance delle MRPC di EEE

Ottima Risoluzione temporale  
dei rivelatori



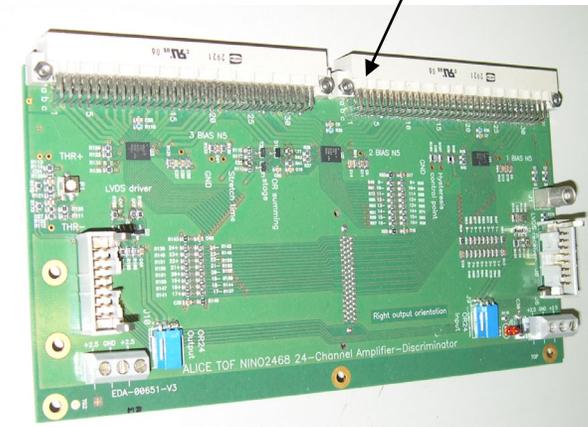
Tutti i rivelatori costruiti soddisfano i requisiti richiesti!!!

# Passaggio di una particella in una MRPC



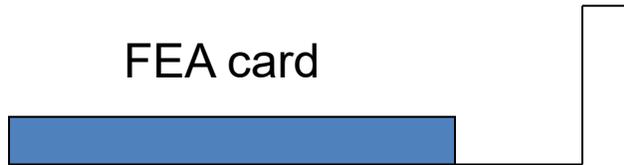
Il segnale arriva ad entrambe le estremità del rivelatore dove si trovano le schede di Front End

An ultra-fast and low power front-end amplifier/discriminator ASIC specifically designed for the MRPC is being used: NINO ASIC.

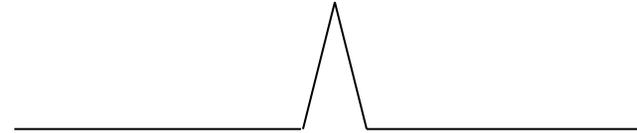


# La scheda di Front End

Livello di soglia

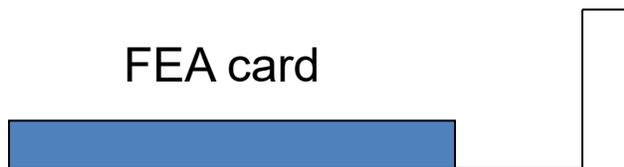


Segnale in arrivo

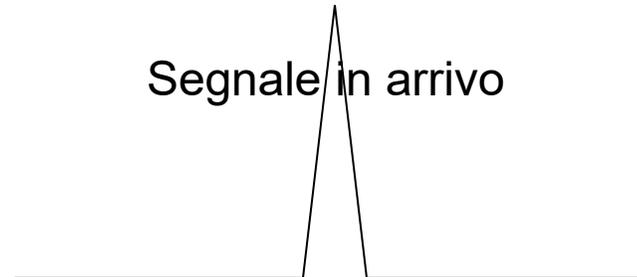


Il segnale non supera il livello di soglia

Livello di soglia



Segnale in arrivo

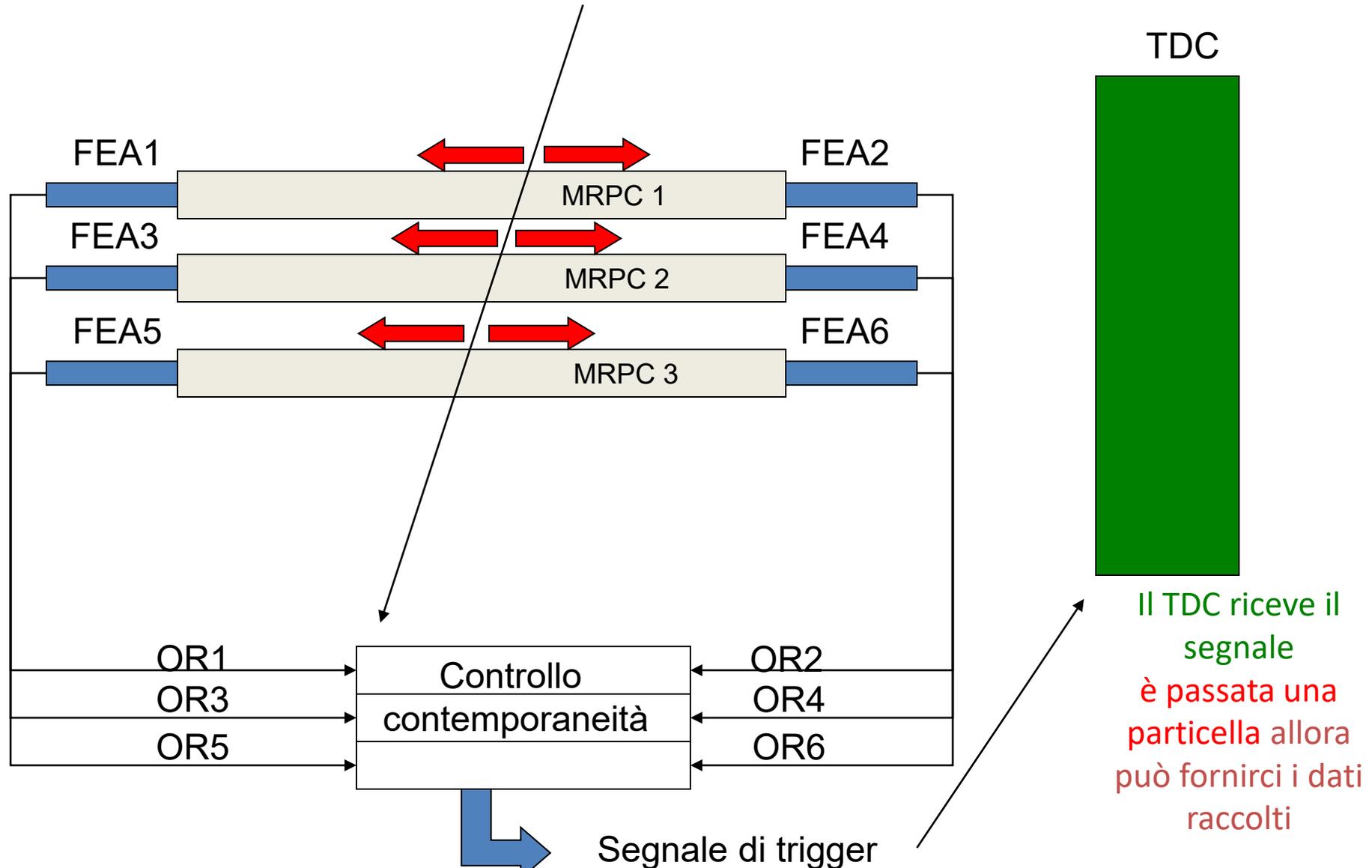


Il segnale supera il livello di soglia e continua ad essere processato

La scheda può quindi discriminare i segnali in arrivo dalle strip stabilisce se il segnale è dovuto ad una particella o no.

Inoltre se alla scheda arriva almeno un segnale da una strip che è (in base al criterio precedente) dovuto al passaggio di una particella essa genera un segnale chiamato di "OR" che può essere utilizzato

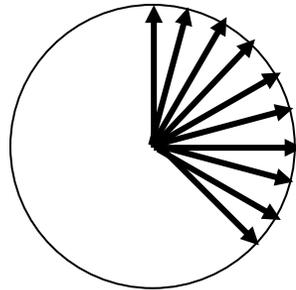
# Il segnale di trigger è inviato al TDC



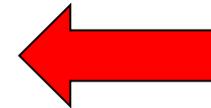
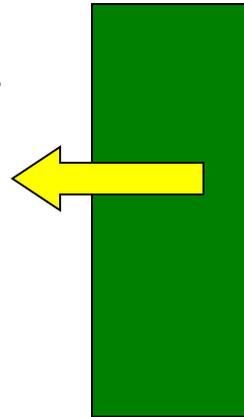
# Alcuni dettagli sui TDC

Il TDC è fondamentalmente un misuratore di tempi

Orologio interno del TDC



trigger



6 Segnali OR  
dalle Fea

Scheda di trigger

**Otteniamo così il tempo di arrivo del trigger rispetto allo zero  
dell' orologio del TDC**

