

Discover Cosmic Rays

INTERNATIONAL COSMIC DAY

Udine, 10 novembre 2021

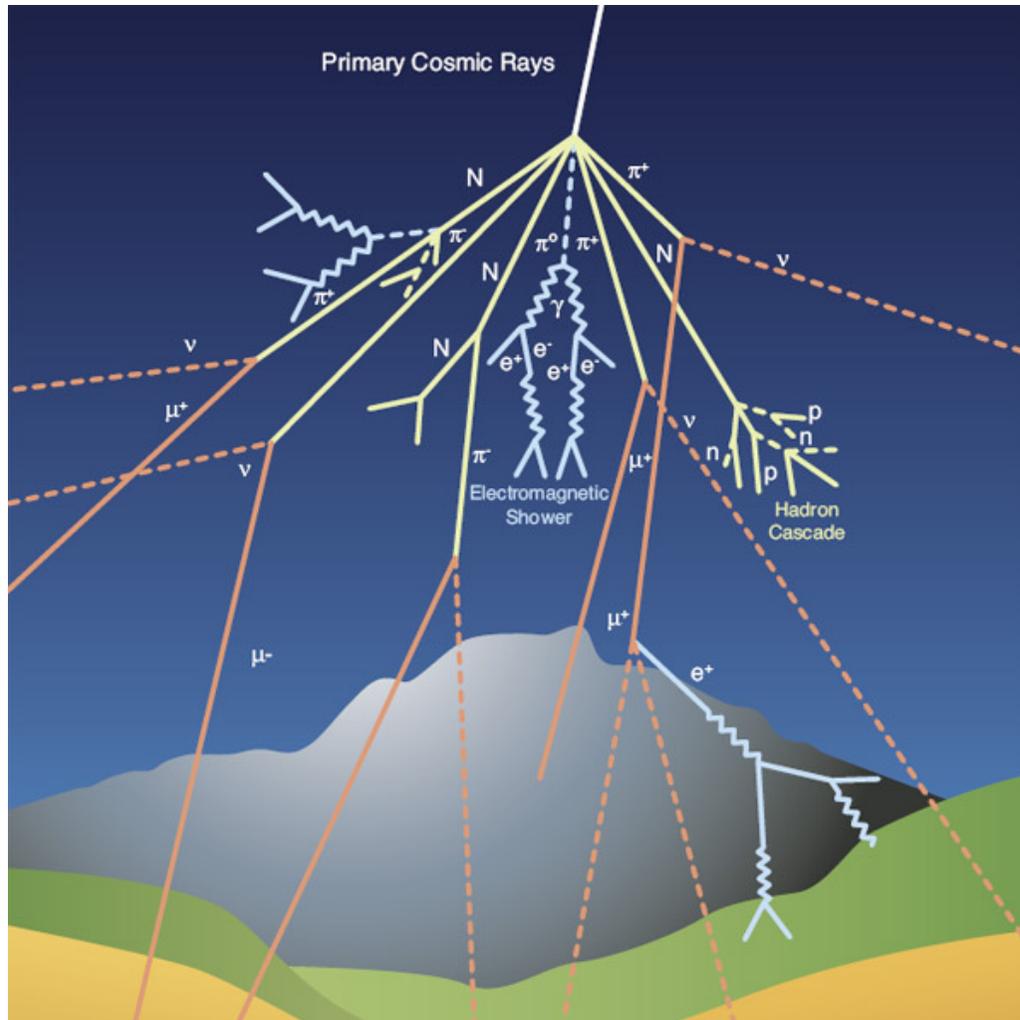
Misura del flusso di raggi cosmici

Cecilia Pizzolotto



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Sezione di Trieste

Raggi cosmici



i raggi cosmici primari:
90% protoni

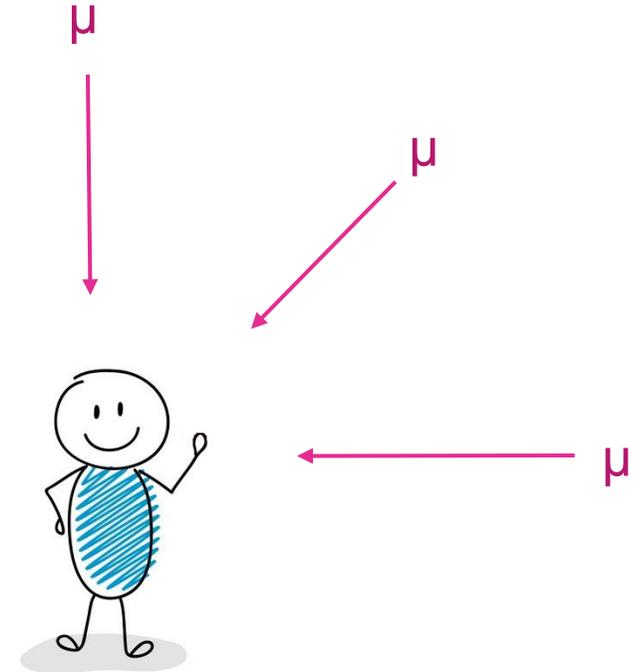
I protoni interagiscono
con l'atmosfera creando
degli sciami di particelle

Misura del flusso di muoni

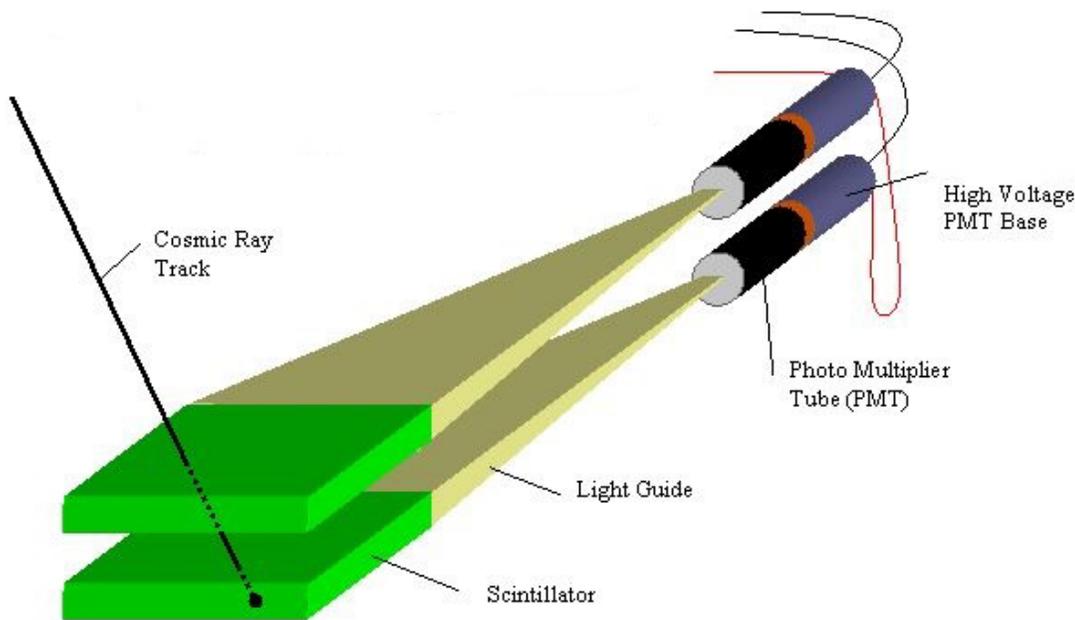
Il *flusso di muoni*

(numero di muoni per unità di tempo e unità di superficie)
a livello del mare è

$$\frac{1 \text{ muone}}{\text{cm}^2 \text{ minuto}}$$

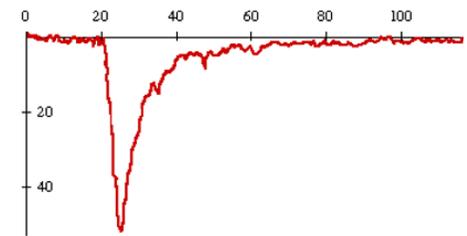


Strumentazione: Telescopio di scintillatori



Scintillatore: materiale che emette luce quando attraversato da una particella carica

Fotomoltiplicatore: Strumento che converte la luce in un segnale elettrico



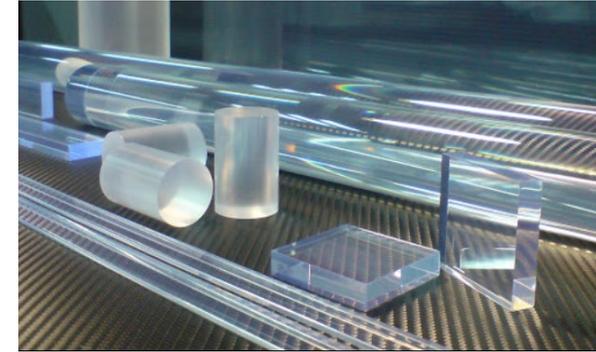
E' passato un muone! 😊

Scintillatore

Il contatore a scintillazione è uno dei più vecchi apparati sperimentali utilizzati nella fisica nucleare, ed è ancora largamente utilizzato.

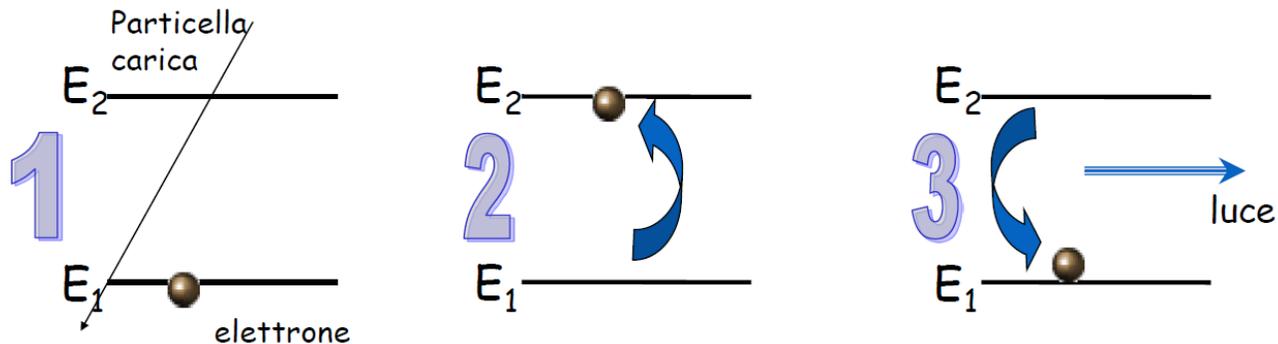
Lo scintillatore

- Emette luce (luminescenza)
- Trasmette la luce ad un rivelatore di fotoni (fotomoltiplicatore)



Come funziona:

1. la **particella carica cede energia** agli elettroni delle molecole dello scintillatore
2. gli **elettroni degli atomi** di uno scintillatore sono “eccitati”(acquistano energia) dalla particella che lo attraversa
3. dopo un certo tempo (da qualche nanosecondo a centinaia di nanosecondi), gli elettroni si “diseccitano”(perdono energia) **emettendo luce** (fotoni con lunghezza d'onda ~ 450 nm)

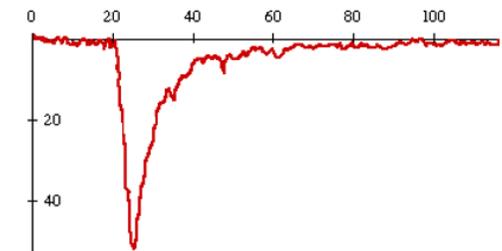
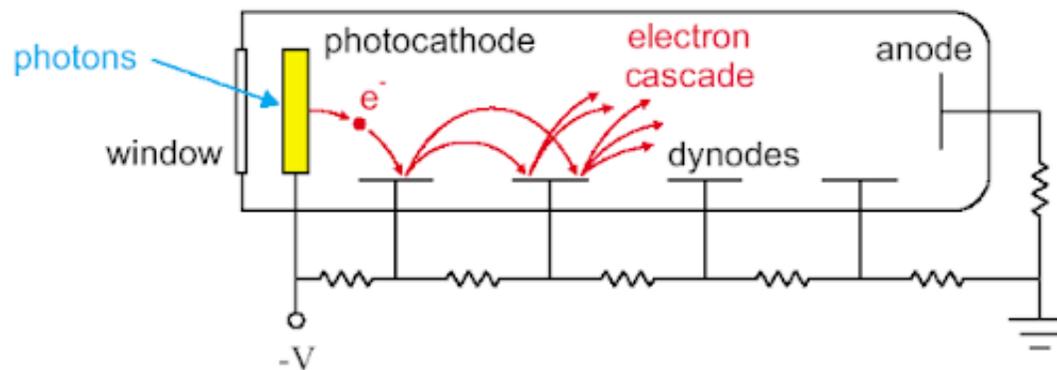


Fotomoltiplicatore

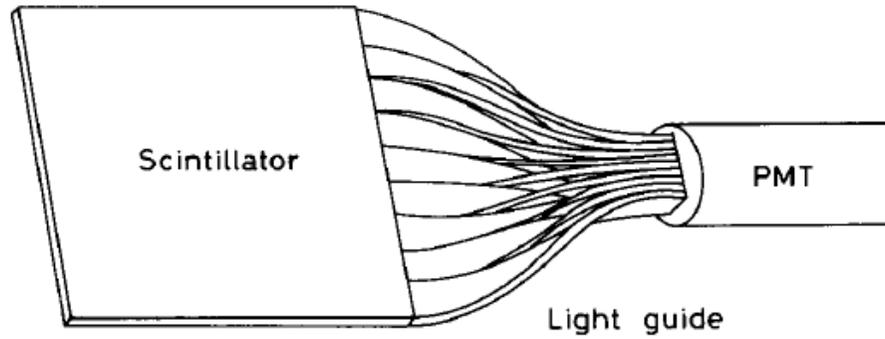
Il fotomoltiplicatore è uno strumento che converte il segnale luminoso in un segnale elettrico

Come funziona:

- Il fotone colpisce il fotocatodo (materiale che favorisce l'effetto fotoelettrico)
- **Per effetto fotoelettrico vengono emessi degli elettroni**
- Gli elettroni vengono accelerati da una serie di elettrodi a potenziale crescente. Sugli elettrodi vengono emessi a cascata ulteriori elettroni.



Rivelatore a scintillatori

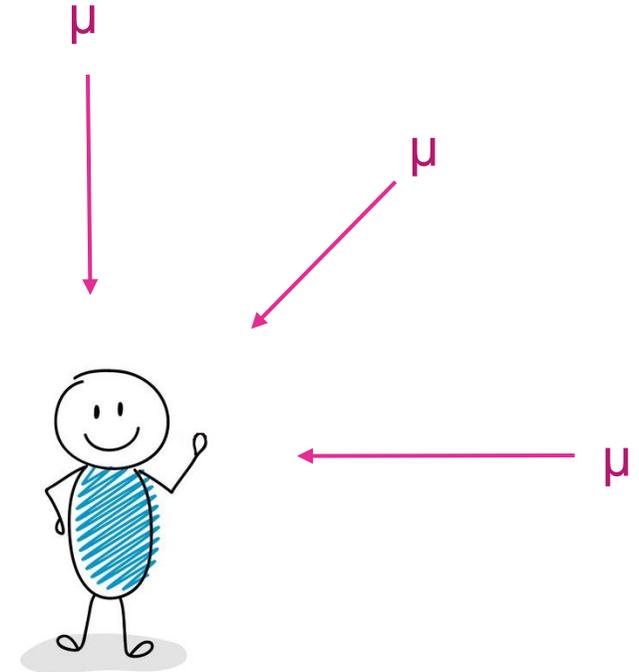


Misura del flusso di muoni

Il *flusso di muoni*

(numero di muoni per unità di tempo e unità di superficie) a livello del mare è

$$\frac{1 \text{ muone}}{\text{cm}^2 \text{ minuto}}$$



Il flusso di muoni varia in funzione della direzione di arrivo?

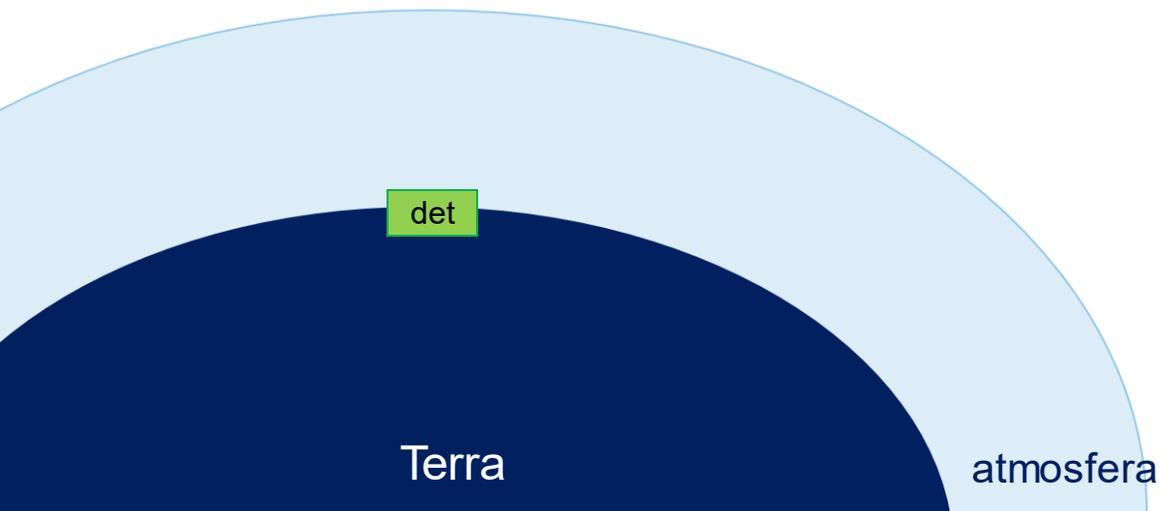


Dipendenza angolare: formulare ipotesi



Per aiutarci nel formulare delle ipotesi è lecito fare delle **approssimazioni**.

- i raggi cosmici primari: 90% protoni
- I protoni dallo spazio esterno arrivano allo stesso modo da tutte le direzioni
- Interagiscono **immediatamente** appena raggiungono il bordo esterno dell'atmosfera terrestre
- I prodotti finali di interazione che misuriamo **sono quasi tutti muoni**
- I muoni vanno tutti nella stessa direzione del protone iniziale **e non cambiano direzione** attraversando l'atmosfera



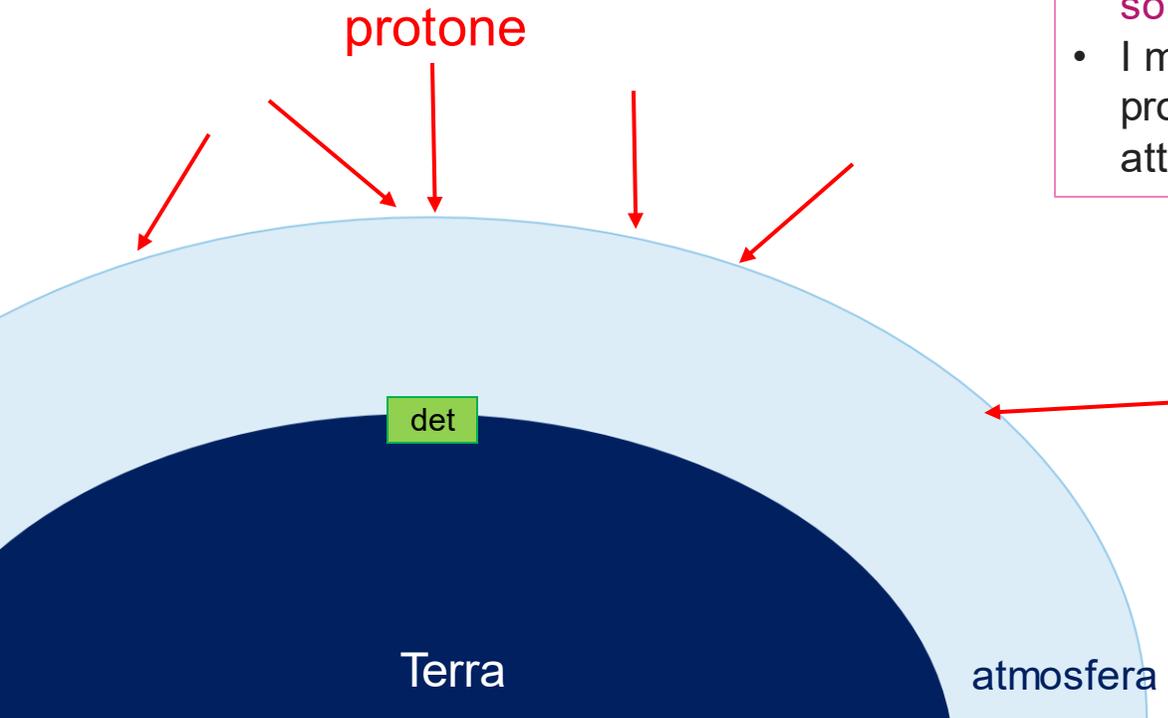
!!!! Il disegno non è in scala!!!!
Raggio Terra ~6400 km
Spessore Atmosfera < 50km

Dipendenza angolare: formulare ipotesi



Per aiutarci nel formulare delle ipotesi è lecito fare delle **approssimazioni**.

- i raggi cosmici primari: 90% protoni
- I protoni dallo spazio esterno arrivano allo stesso modo da tutte le direzioni
- Interagiscono **immediatamente** appena raggiungono il bordo esterno dell'atmosfera terrestre
- I prodotti finali di interazione che misuriamo **sono quasi tutti muoni**
- I muoni vanno tutti nella stessa direzione del protone iniziale **e non cambiano direzione** attraversando l'atmosfera



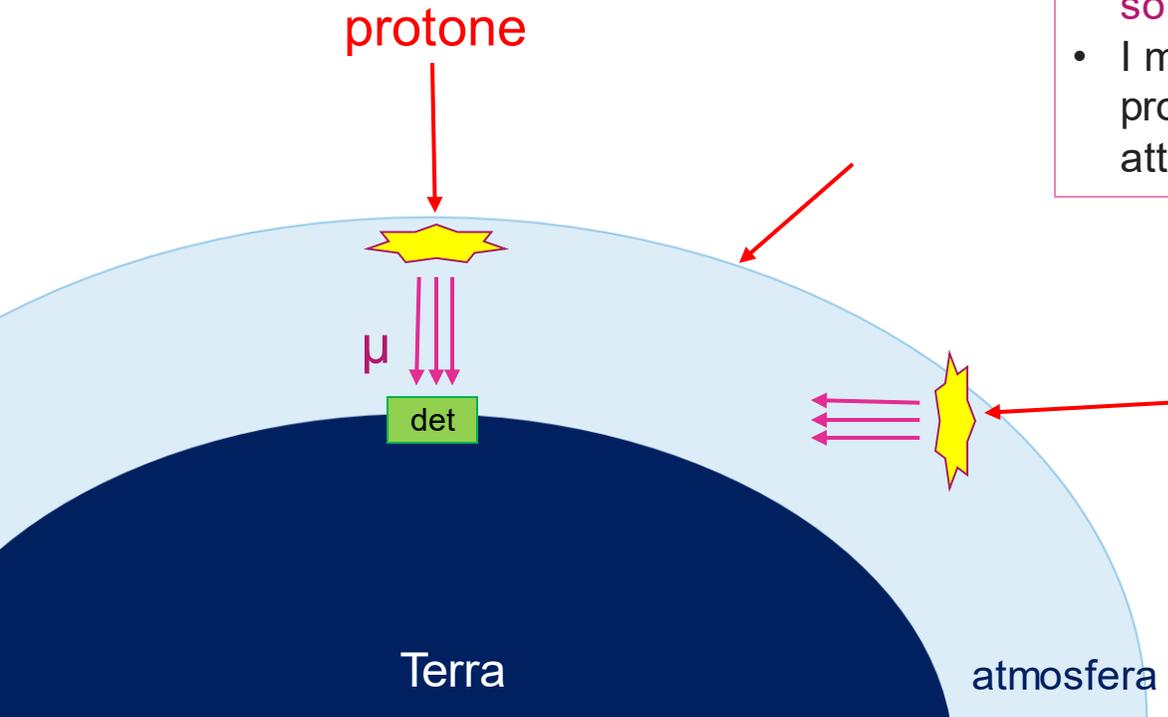
!!!! Il disegno non è in scala!!!!
Raggio Terra ~6400 km
Spessore Atmosfera < 50km

Dipendenza angolare: formulare ipotesi



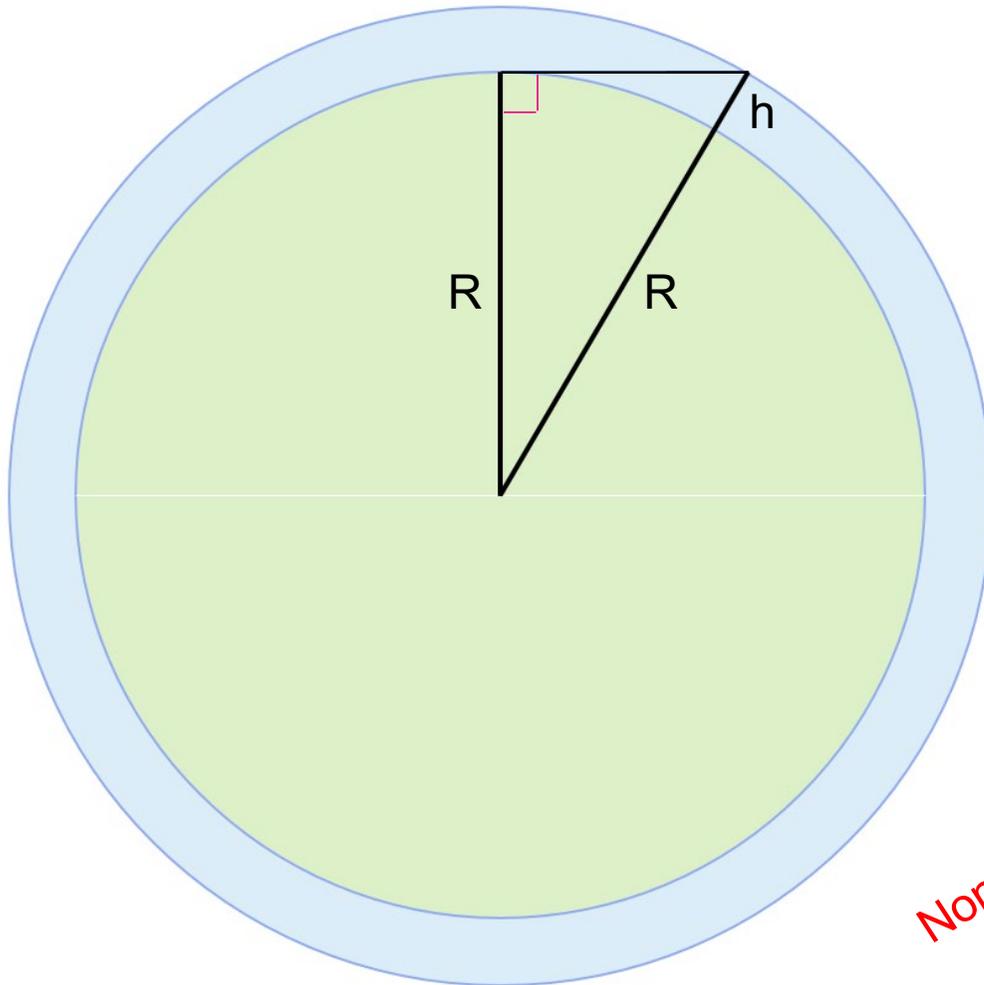
Per aiutarci nel formulare delle ipotesi è lecito fare delle **approssimazioni**.

- i raggi cosmici primari: 90% protoni
- I protoni dallo spazio esterno arrivano allo stesso modo da tutte le direzioni
- Interagiscono **immediatamente** appena raggiungono il bordo esterno dell'atmosfera terrestre
- I prodotti finali di interazione che misuriamo **sono quasi tutti muoni**
- I muoni vanno tutti nella stessa direzione del protone iniziale **e non cambiano direzione** attraversando l'atmosfera



!!!! Il disegno non è in scala!!!!
Raggio Terra ~6400 km
Spessore Atmosfera < 50km

Quanta atmosfera attraversano?



Muone verticale:

Viaggia una distanza h

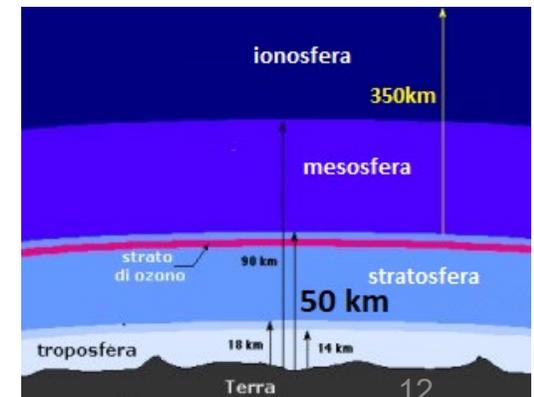
Muone orizzontale viaggia una
distanza molto più lunga

$\approx 16 \cdot h$

h = altezza dell'atmosfera 50 km

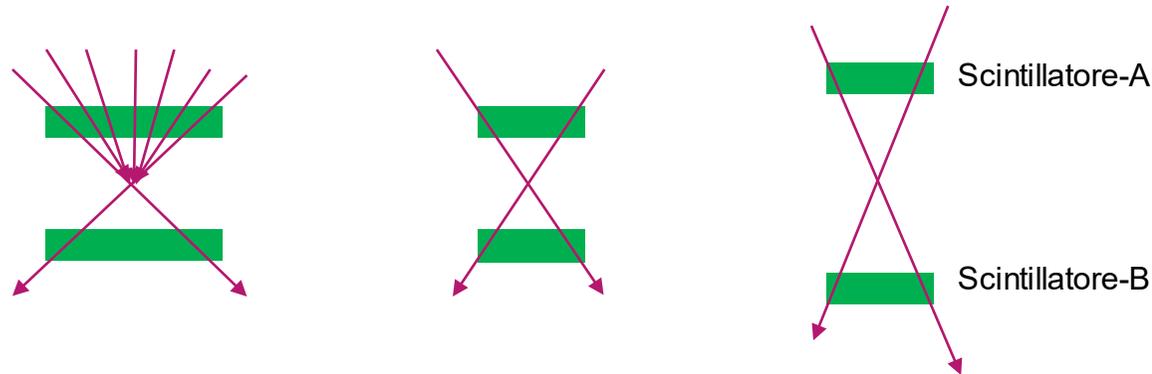
R = raggio della terra 6371 km

Non è in scala!!!



Come misurare la dipendenza angolare?

Mettiamo in **'coincidenza'** due scintillatori sovrapposti
Cioè chiediamo che ci sia un segnale **contemporaneamente** entrambi i rivelatori



Più piccoli e più distanti tra loro sono i rivelatori, maggiormente sarà definito l'angolo di provenienza dei muoni

Accettanza di un rivelatore: porzione di angolo solido entro il quale sono visti (accettati) gli eventi.
E' una proprietà geometrica

Un muone va circa alla velocità della luce.
Quanto tempo impiega a percorrere la distanza tra gli scintillatori (circa 30 cm)?

Apparato sperimentale

Tre rivelatori posizionati su un supporto che può ruotare

Area attiva
 $14 \times 11 \text{ cm}^2$



Distanza 30 cm

$10 \times 10 \text{ cm}^2$

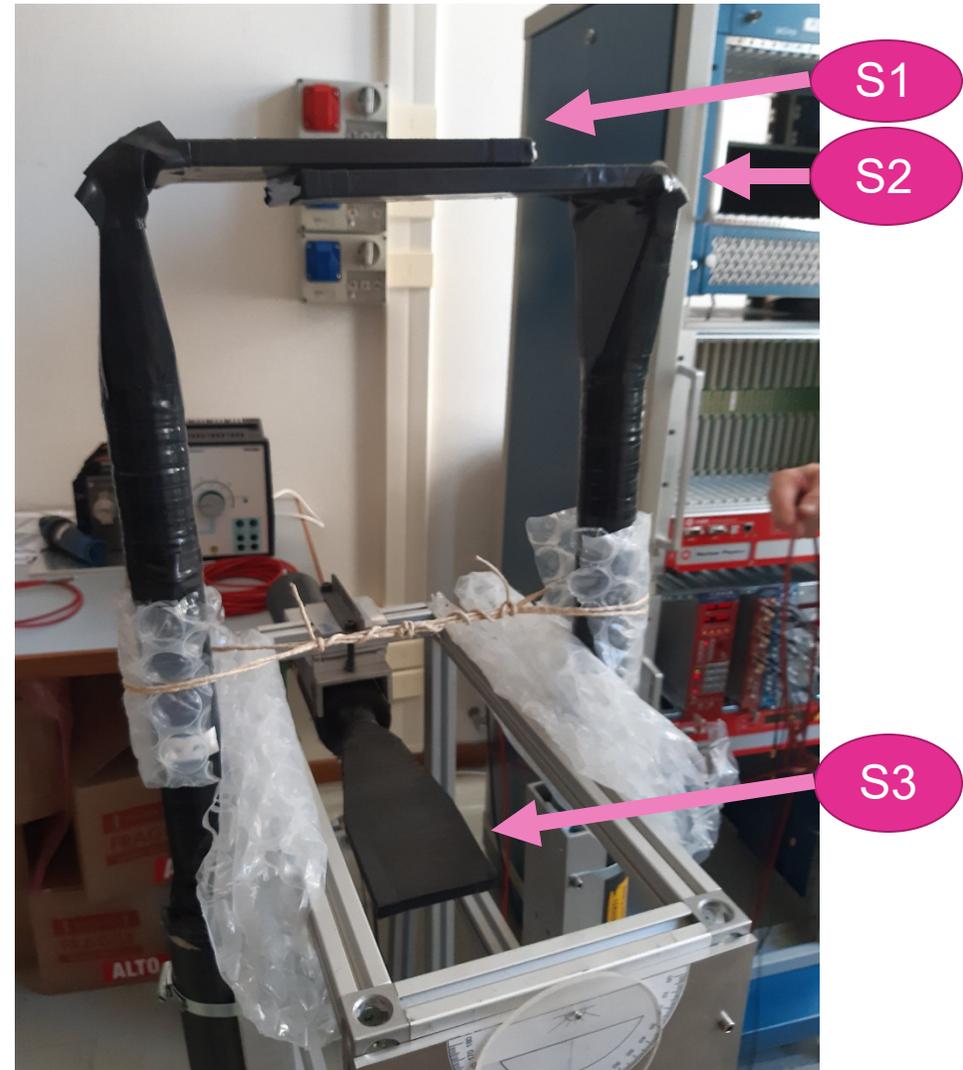


CONTATORI

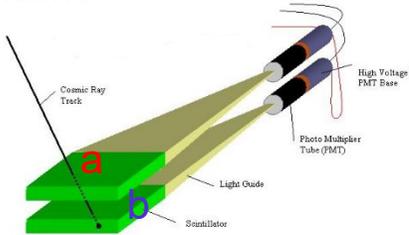
S1&S2

S1&S2&S3

Apparato sperimentale

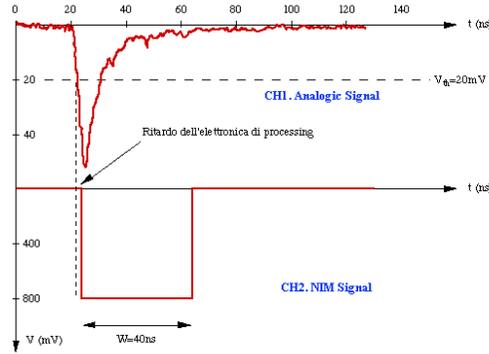


1. Muone

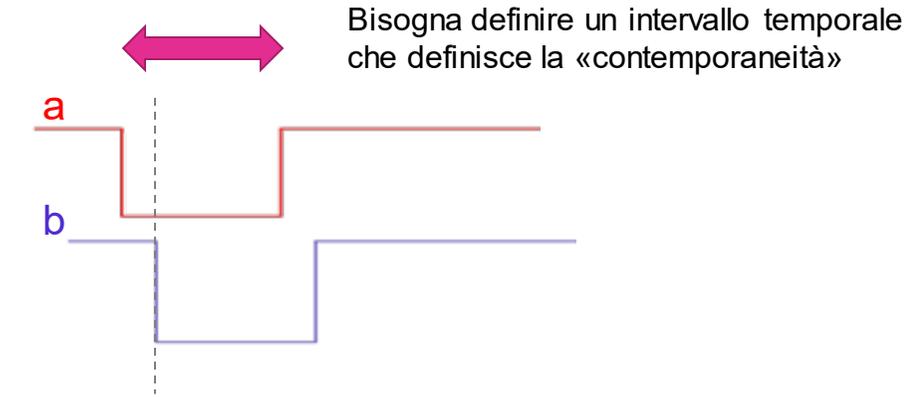


2. Luce nello scintillatore

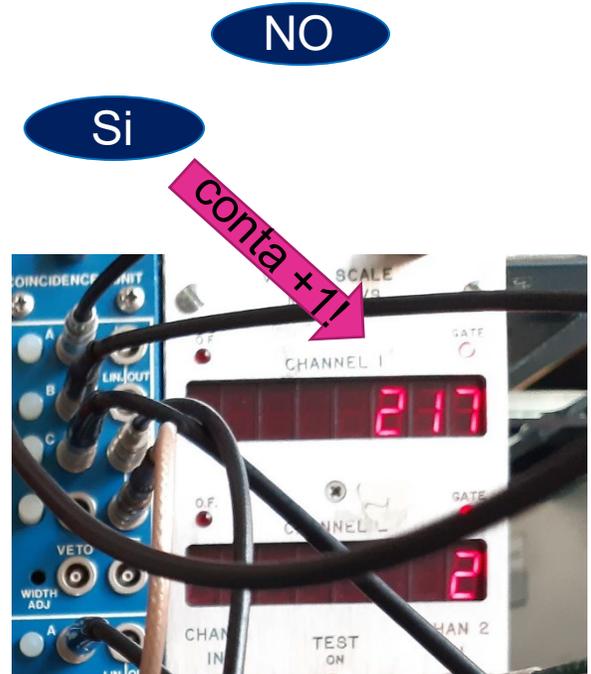
3. Segnale elettrico analogico



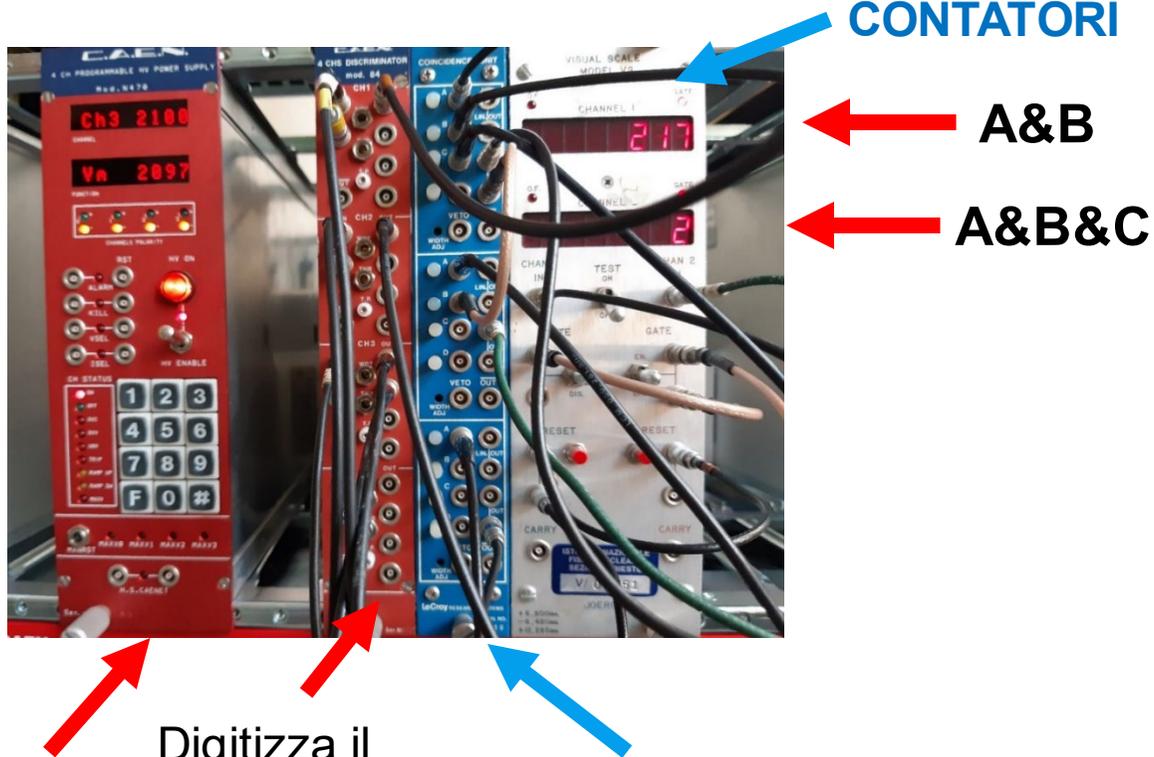
3. Conversione in segnale digitale



4. C'è la coincidenza dei segnali di più rivelatori?



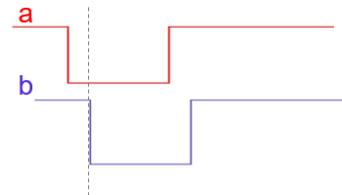
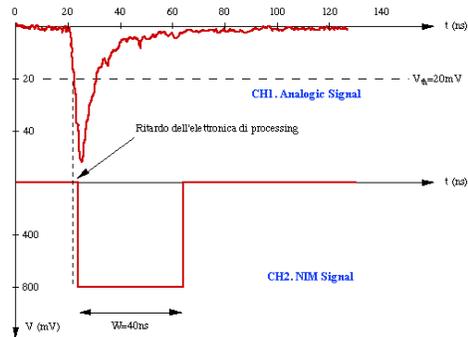
Elettronica



Alimentatore:
 Voltaggio per i
 fototubi

Digitizza il
 segnale

coincidenza



Apparato sperimentale

Convenzione: misureremo l'angolo **rispetto alla verticale**

INCLINAZIONE 0 gradi



INCLINAZIONE 90 gradi



Pianificare la misura

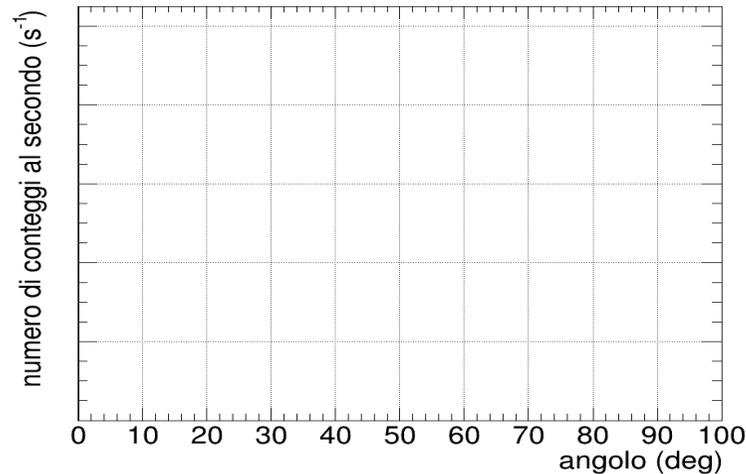


Prima di entrare in laboratorio bisogna avere un progetto

- il flusso di muoni in funzione dell'angolo
- scintillatori su un supporto che può ruotare

Quanti punti di misura vogliamo acquisire?

Rate: numero di conteggi per unità di tempo



Pianificare la misura

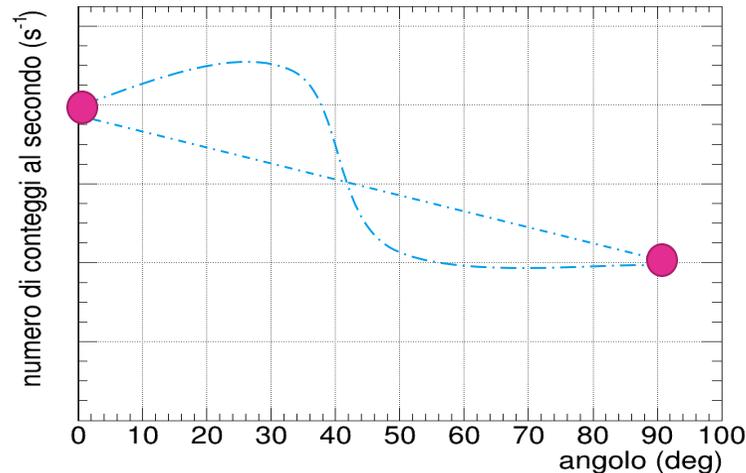


Prima di entrare in laboratorio bisogna avere un progetto

- il flusso di muoni in funzione dell'angolo
- scintillatori su un supporto che può ruotare

Quanti punti di misura vogliamo acquisire?

Rate: numero di conteggi per unità di tempo



Quanti punti?
Quanto tempo ci impieghiamo?
Ha senso misurare per esempio ogni grado?

Svolgimento

Misurerete 4 o 5 punti:

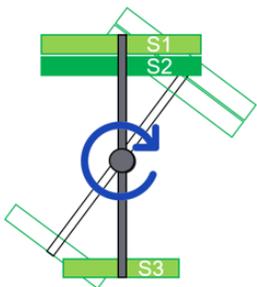
- 0 gradi (flusso verticale)
- 90 gradi (flusso orizzontale)
- Altri 3 punti ad angolazione intermedia

Ciascuna misura avrà una durata di circa 45 minuti.

La misura a 90 gradi (orizzontale, che richiede più tempo perché la frequenza di conteggi è bassa), verrà cominciata da noi la sera precedente.

Vi sarà richiesto di [visualizzare la misura su un grafico](#).

Ricordate che state misurando un **numero di conteggi**, per confrontare più punti nel grafico avete bisogno di tenere in considerazione anche la **durata della misura**.

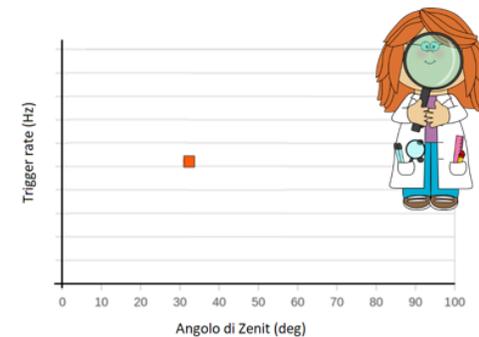


1 - Posizionare il telescopio ad un certo angolo



2 – Cronometrare il tempo di misura e annotare il numero di conteggi in coincidenza S1&S2&S3

3 – Riportare i dati in un grafico



Muoni dai raggi cosmici

Sfruttiamo i muoni dei raggi cosmici per fare la TOMOGRAFIA MUONICA

ALCUNI ESEMPI:

Archeologia e studi del sottosuolo



- Nel 2016 ricercatori hanno trovato delle stanze nascoste utilizzando tra gli altri, una tomografia muonica (= misurando variazioni inattese del flusso)

Solo due delle innumerevoli applicazioni della tomografia muonica

Sicurezza & ambiente

Security and Environmental Protection



Simulated image of a truck being inspected in a cargo scanner using muon scattering tomography. (Image: CMTp)

- Tomografia muonica per contrastare il contrabbando di materiali nucleari (plutonio/uranio)

Cercate altre applicazioni!