

Discover Cosmic Rays

INTERNATIONAL COSMIC DAY

Trieste, 22 Novembre 2022

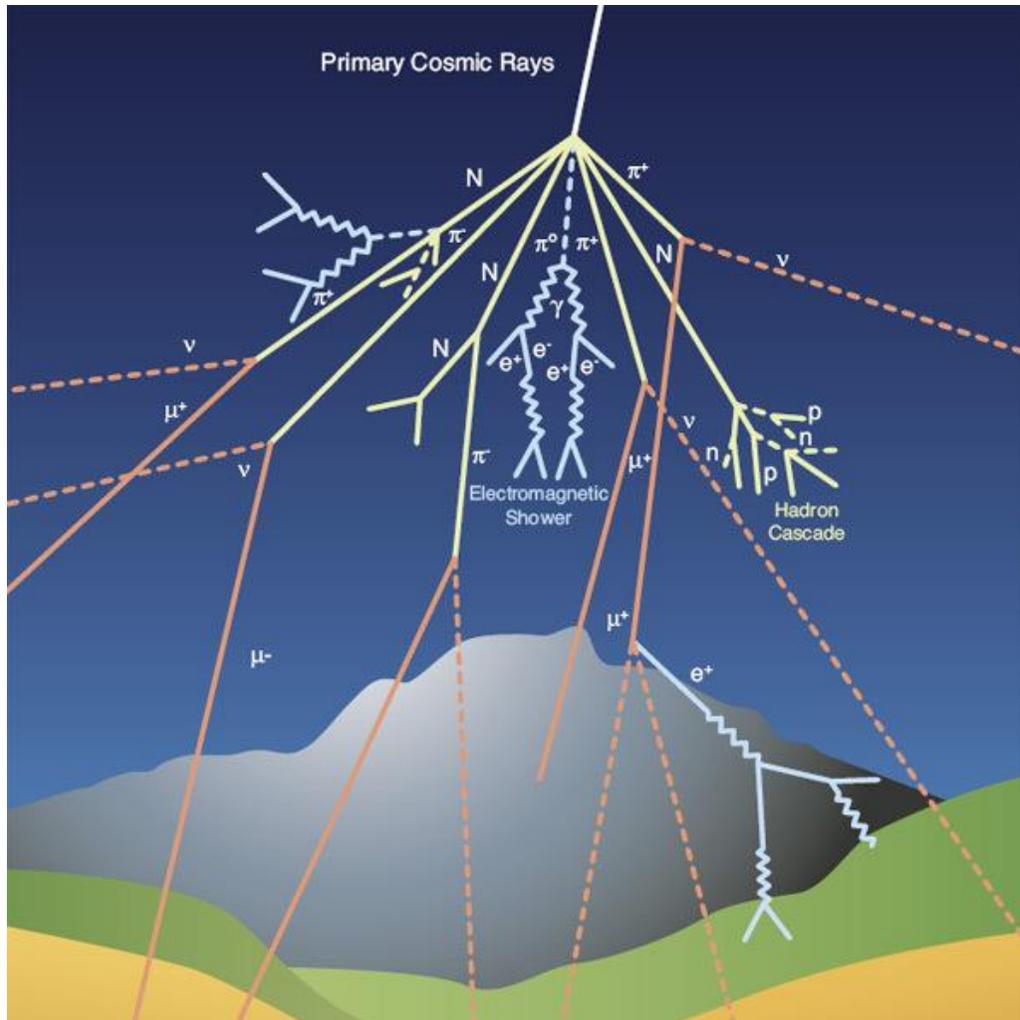
Misura del flusso di raggi cosmici

Nadir Marcelli



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Sezione di Trieste

Raggi cosmici



i raggi cosmici primari: 90% protoni

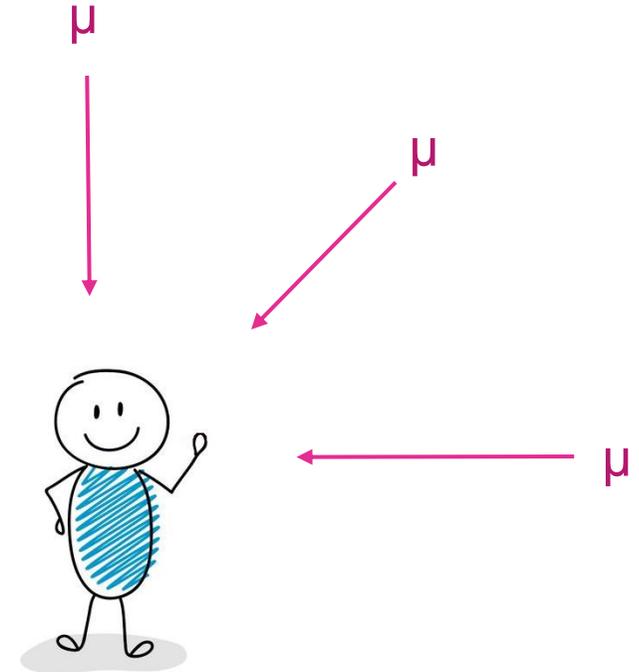
I protoni interagiscono con l'atmosfera creando degli sciami di particelle

Misura del flusso di muoni

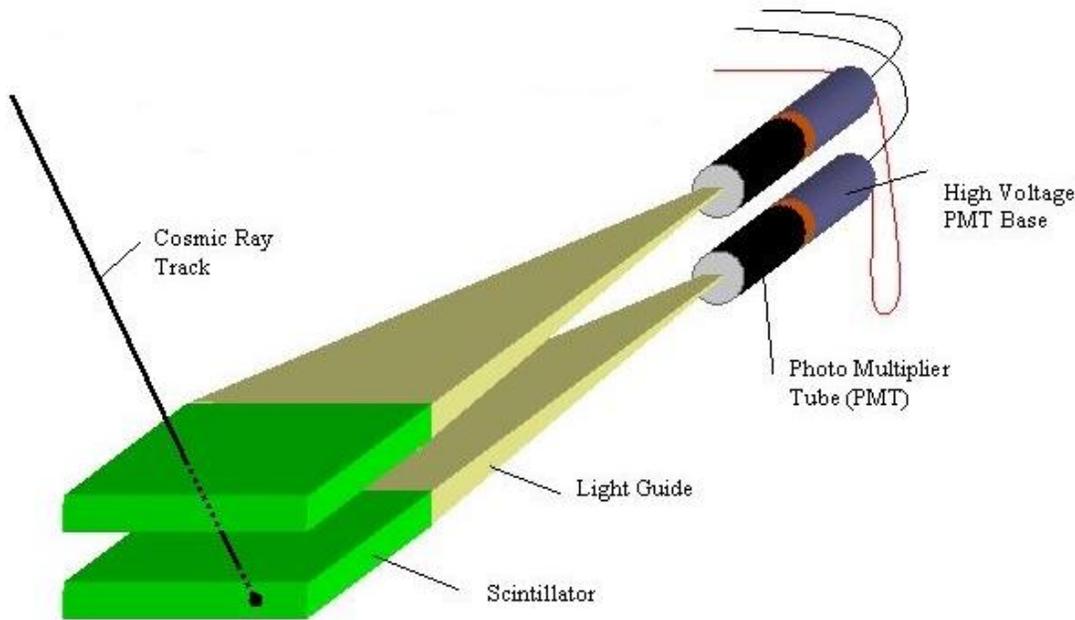
Il *flusso di muoni*

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

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

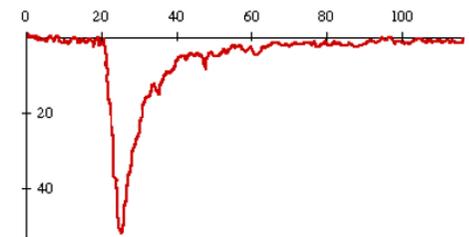


Strumentazione: Telescopio di scintillatori



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

Fotomoltiplicatore: Strumento che converte la luce in un segnale elettrico



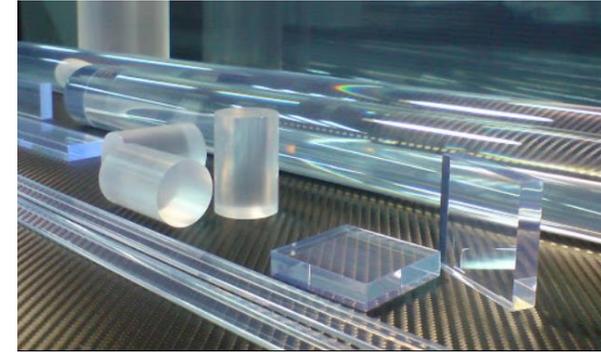
E' passato un muone! 😊

Scintillatore

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

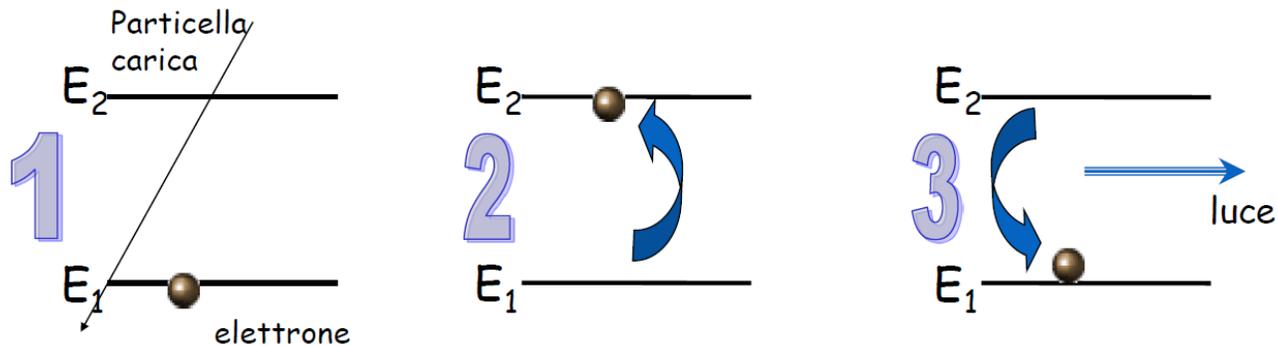
Lo scintillatore

- 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)

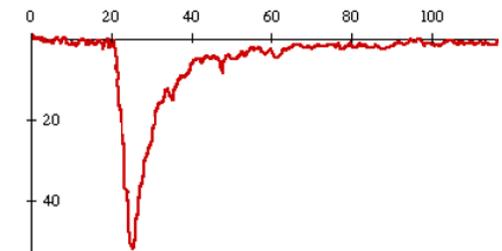
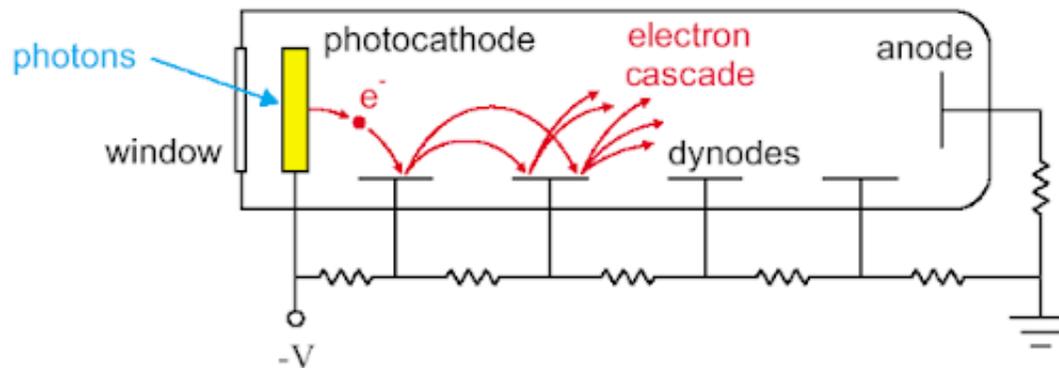


Fotomoltiplicatore

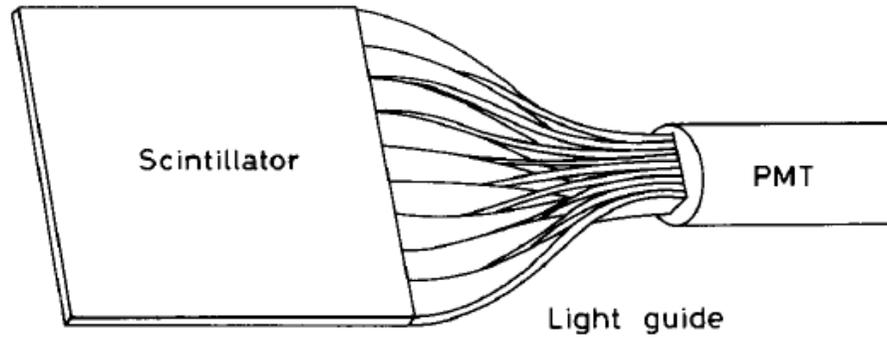
Il fotomoltiplicatore è uno strumento che converte il segnale luminoso in un segnale elettrico

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

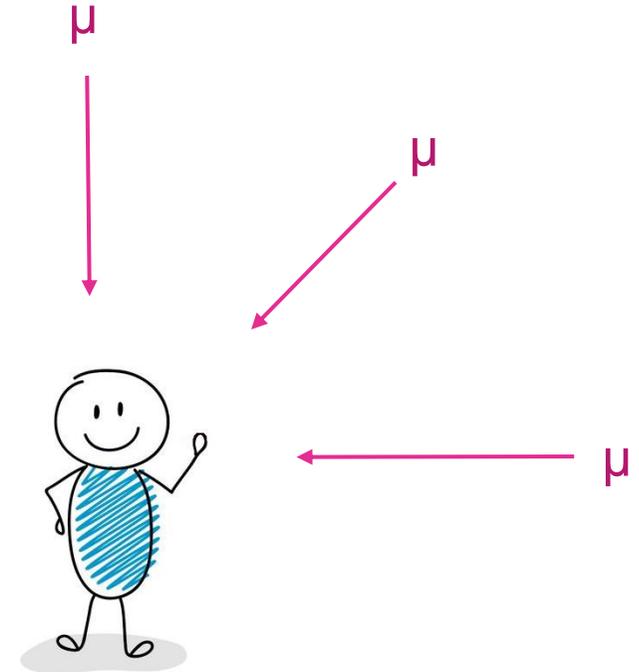


Misura del flusso di muoni

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?

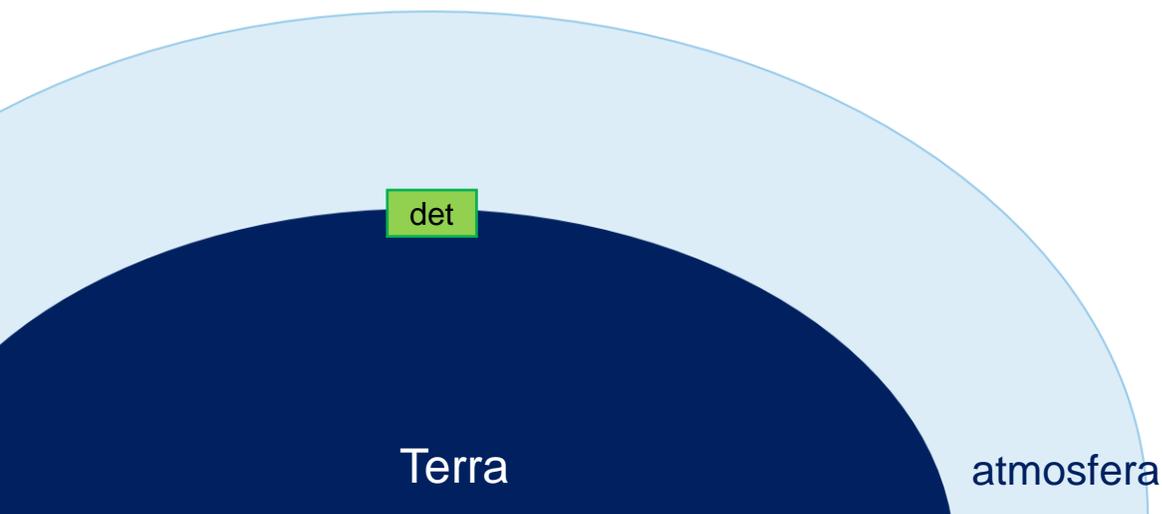


Dipendenza angolare: formulare ipotesi



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



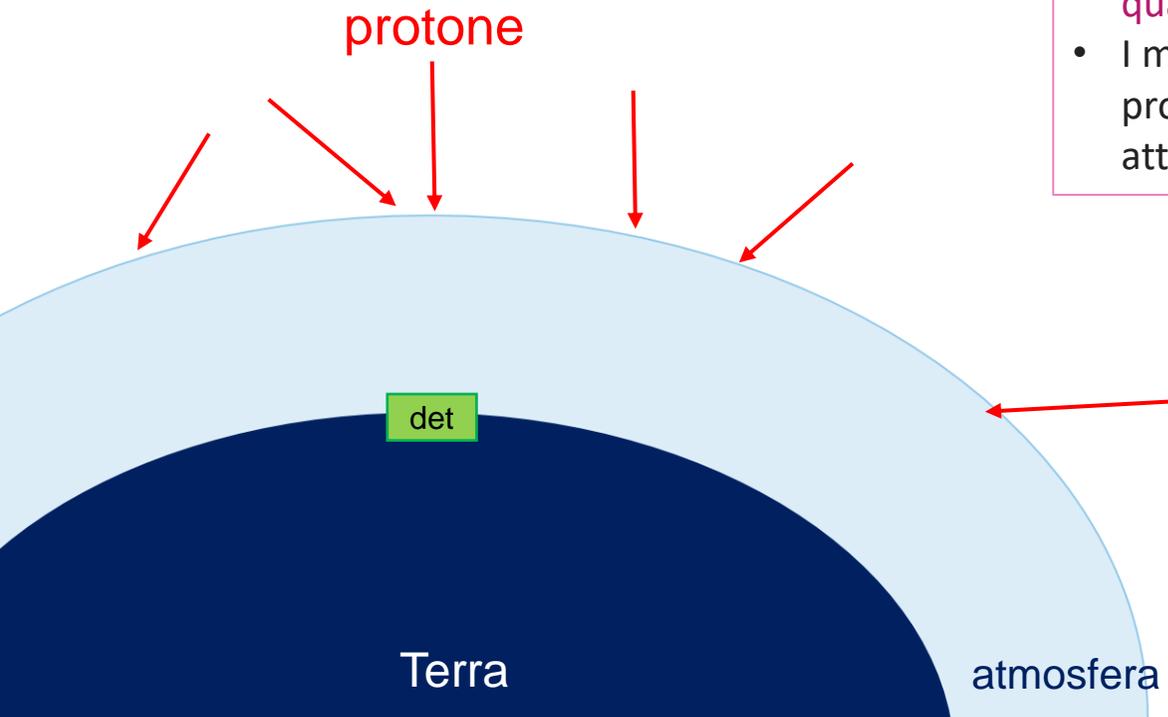
!!!! Il disegno non è in scala!!!!
Raggio Terra ~6400 km
Spessore Atmosfera < 50km

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



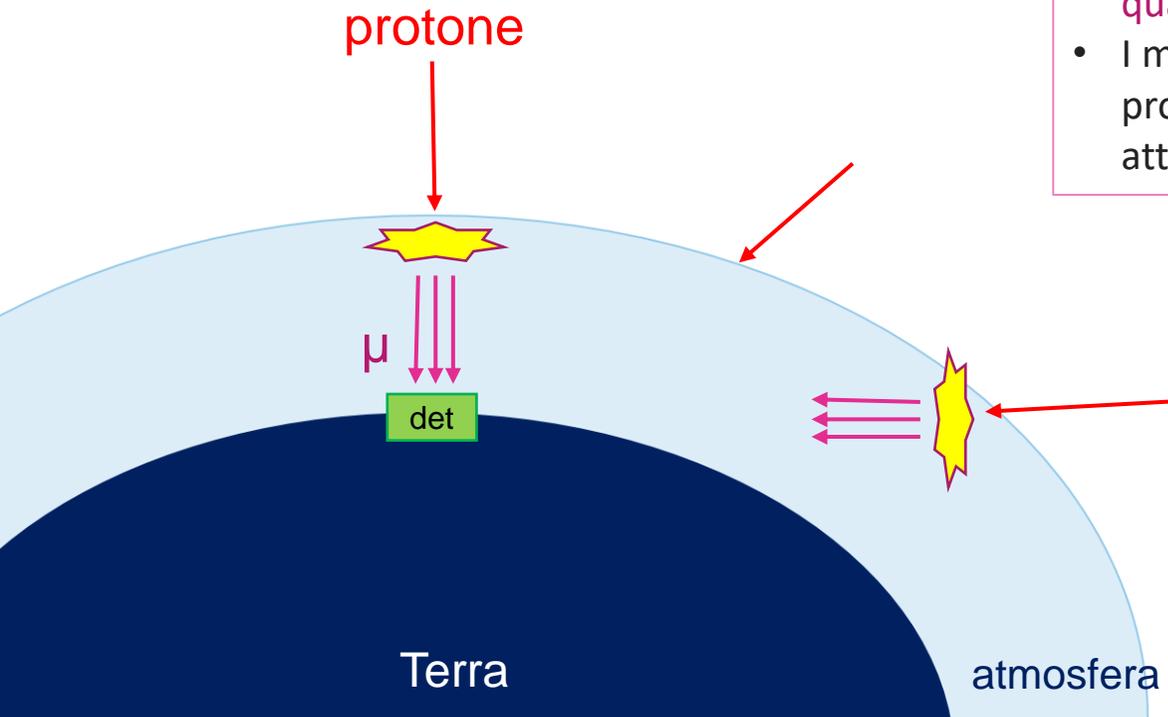
!!!! Il disegno non è in scala!!!!
Raggio Terra ~6400 km
Spessore Atmosfera < 50km

Dipendenza angolare: formulare ipotesi



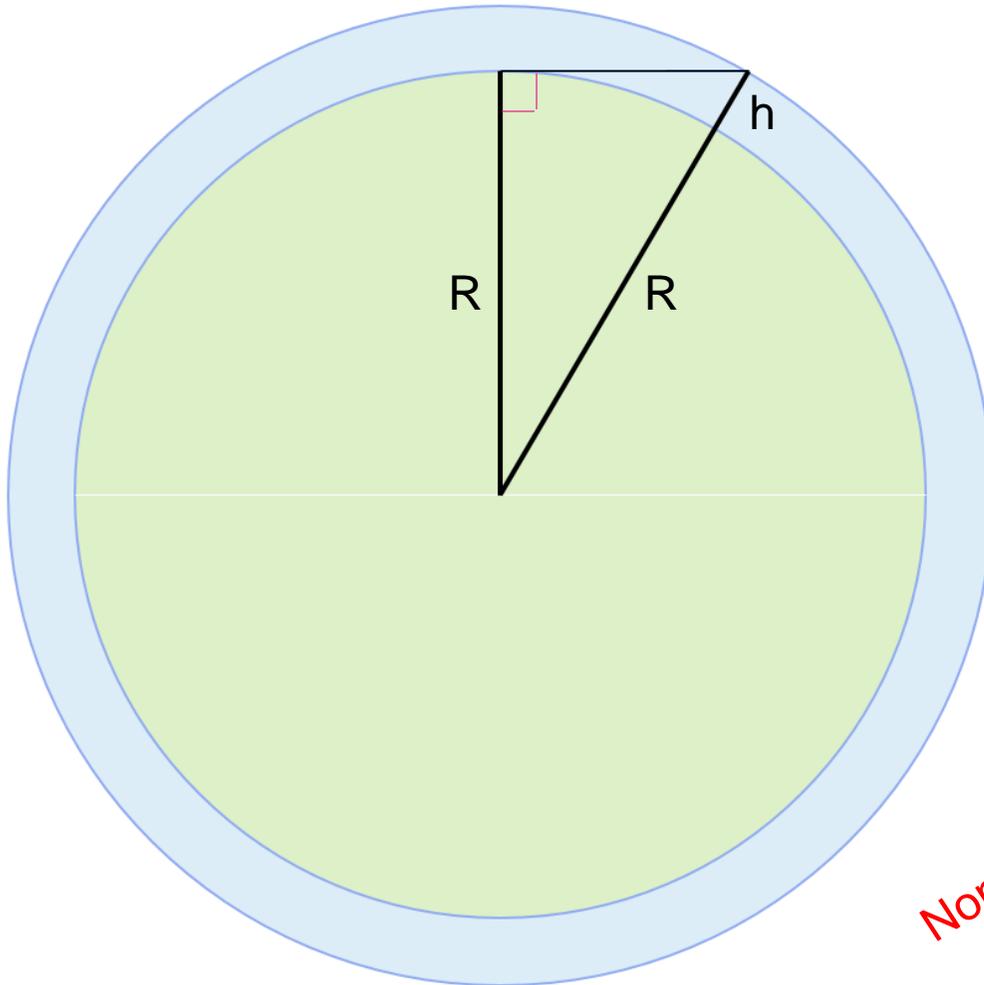
Per aiutarci nel formulare delle ipotesi è lecito fare delle **approssimazioni**.

- 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

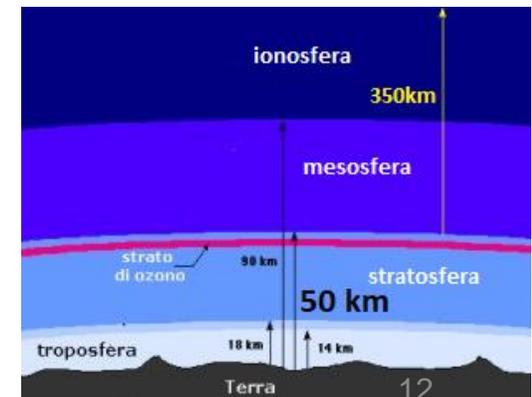
Muone orizzontale viaggia una
distanza molto più lunga

$\approx 16 \cdot h$

h = altezza dell'atmosfera 50 km

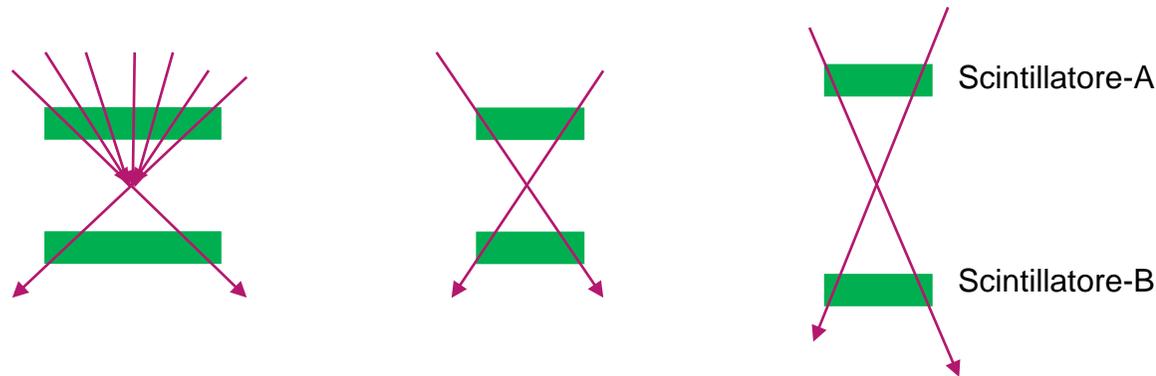
R = raggio della terra 6371 km

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
14x11 cm²

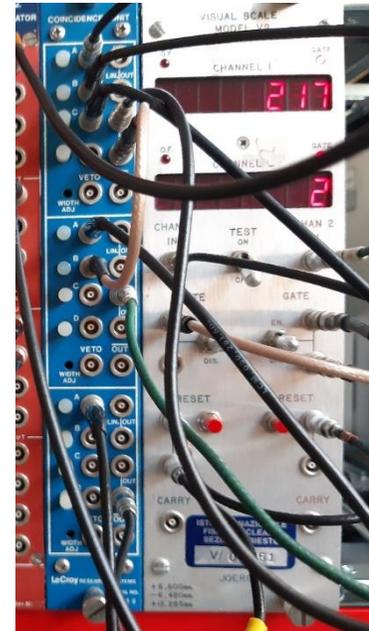


Distanza 30 cm

10x10 cm²



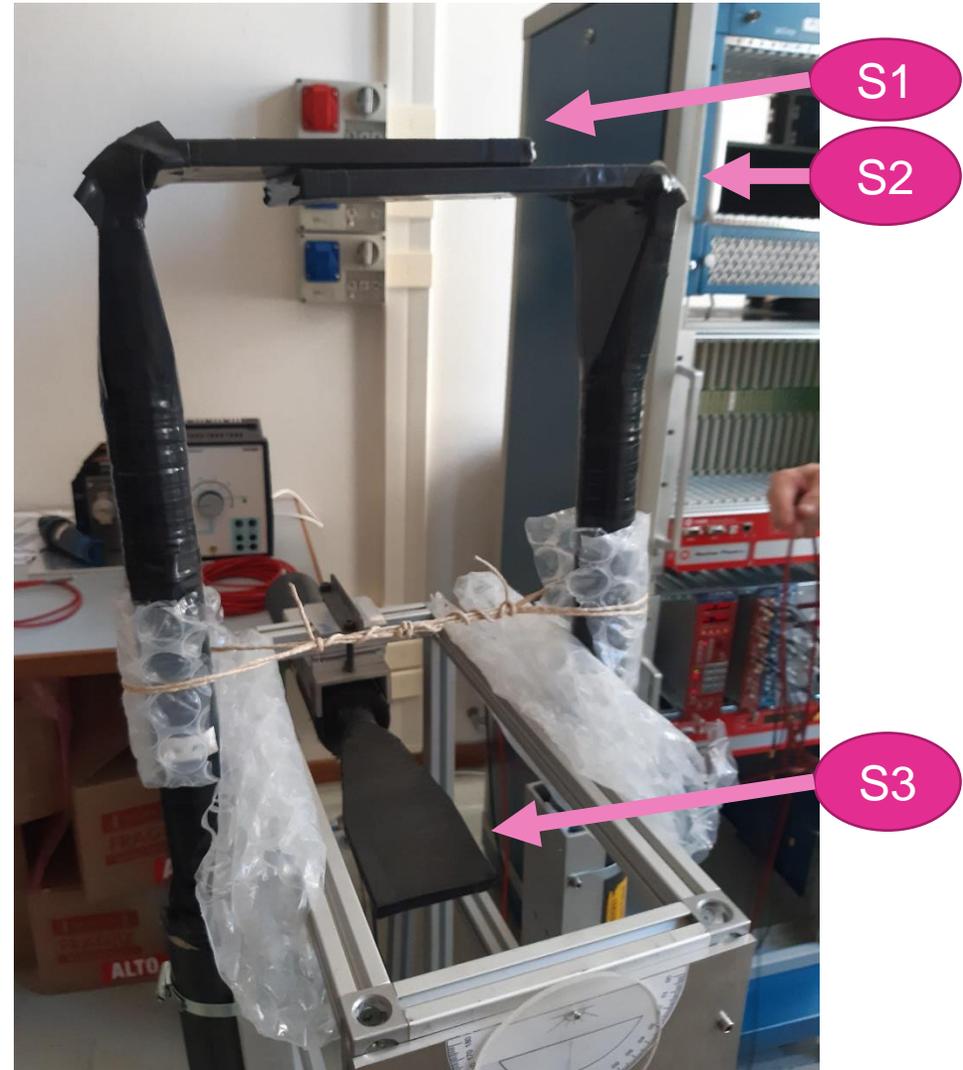
CONTATORI



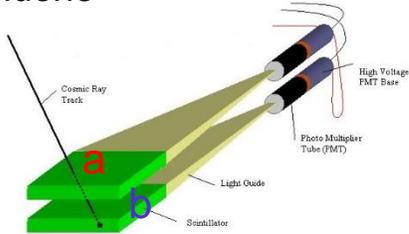
← S1&S2

← S1&S2&S3

Apparato sperimentale



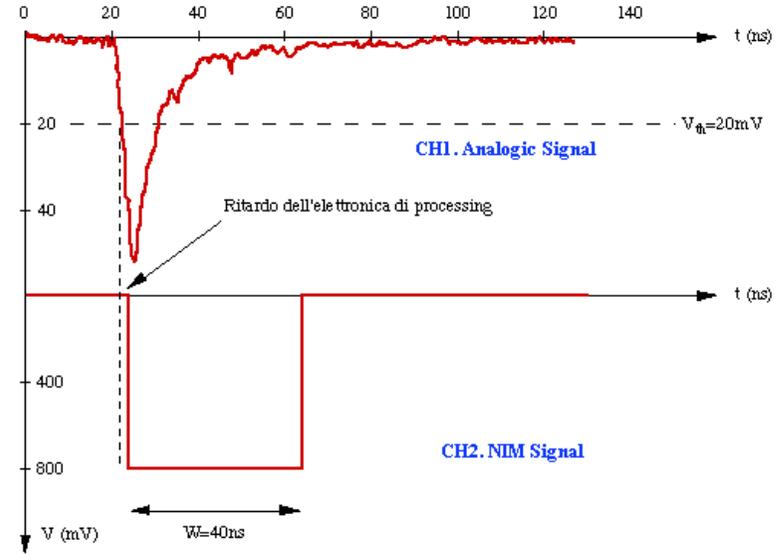
1. Muone



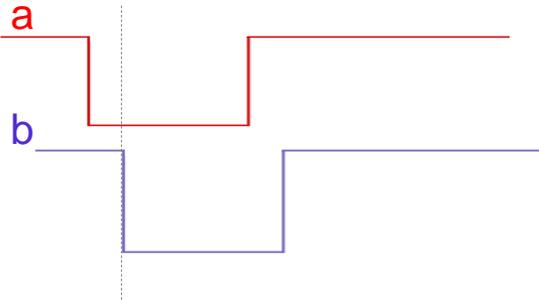
2. Luce nello scintillatore

3. Segnale elettrico analogico

3. Conversione in segnale digitale



Bisogna definire un intervallo temporale che definisce la «contemporaneità»

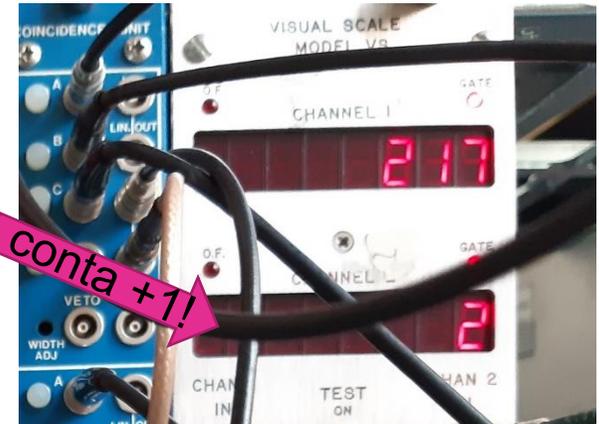


4. C'è la coincidenza dei segnali di più rivelatori?

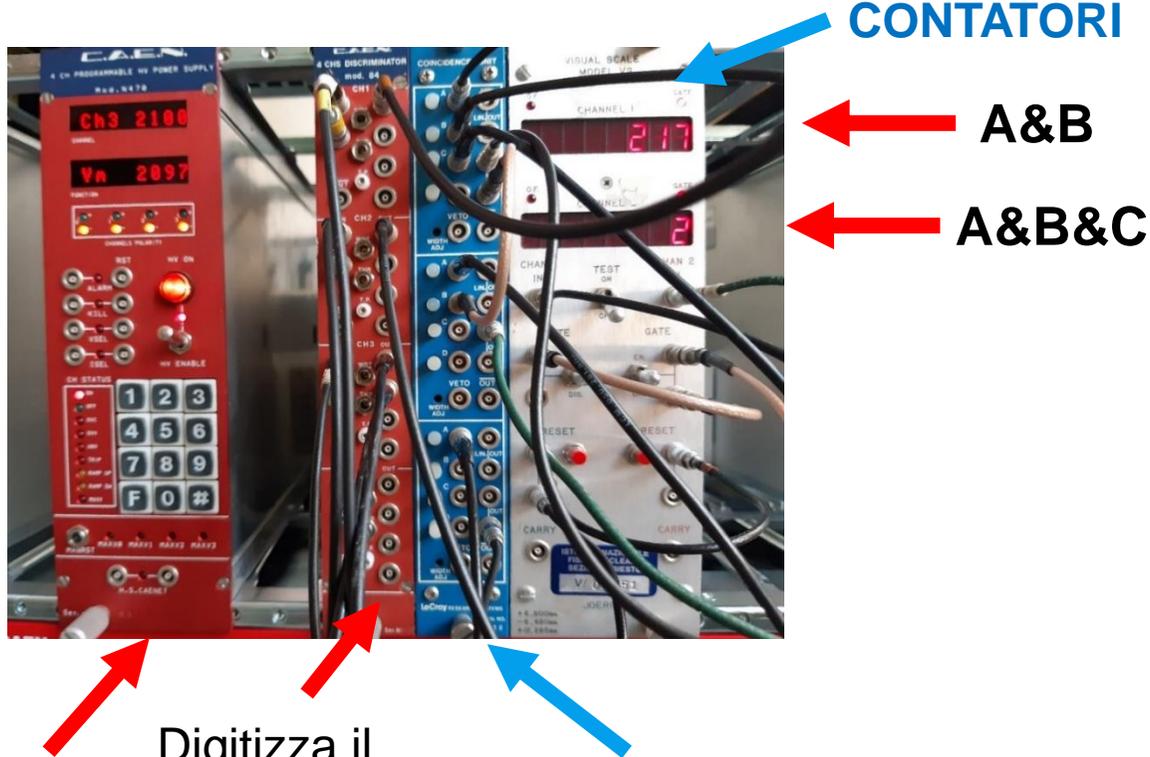
NO

Si

conta +1!



Elettronica



CONTATORI

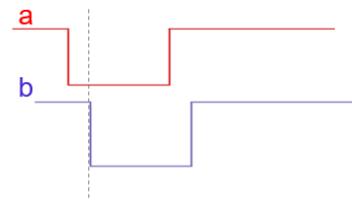
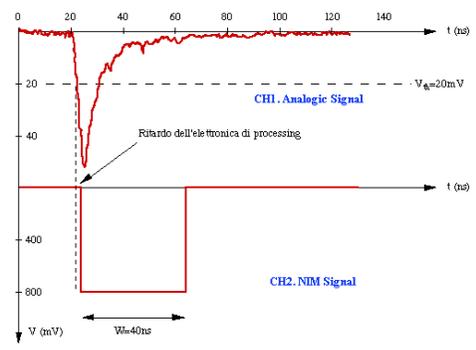
A&B

A&B&C

Alimentatore:
Vtaggio 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

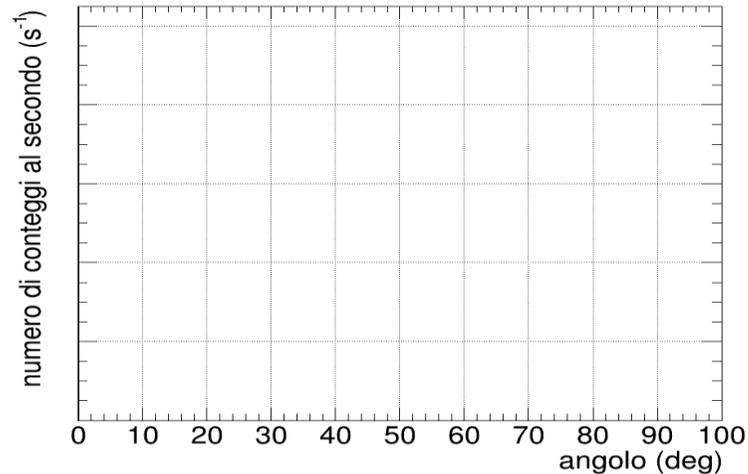


Prima di entrare in laboratorio bisogna avere un progetto

- 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

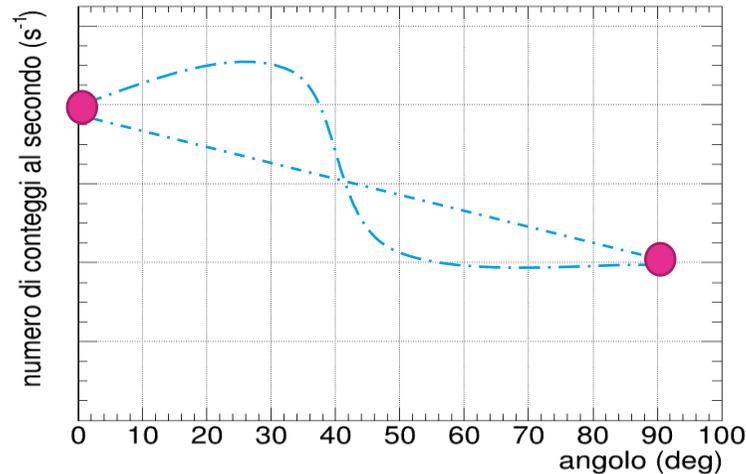


Rate: numero di conteggi per unità di tempo

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?



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

Svolgimento

Misurerete 4 o 5 punti:

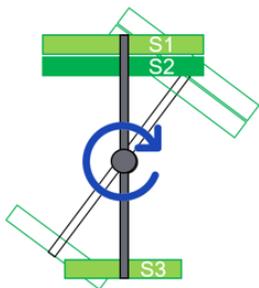
- 0 gradi (flusso verticale)
- 90 gradi (flusso orizzontale)
- Altri 3 punti ad angolazione intermedia

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), è stata effettuata da noi a partire dalla 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**.

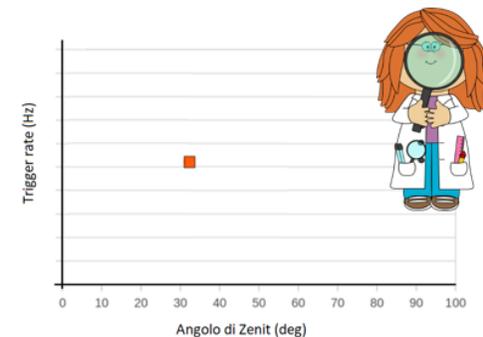


1 - Posizionare il telescopio ad un certo angolo



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!