

---

# Rivelatore Raggi Cosmici

---

Uso del Rivelatore di  
Coincidenza per Misure di  
Flusso

---

Lodovico Lappetito

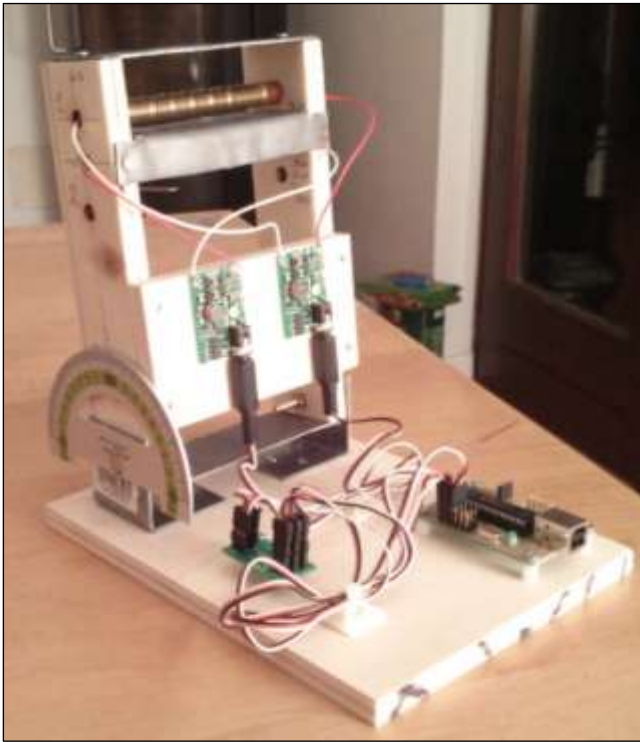
---

## Sommario

Componenti e Schemi costruttivi .....	3
Schema costruttivo.....	3
Costruzione Rivelatore .....	4
Rivelatore di Coincidenza .....	5
Teoria dei Raggi cosmici .....	6
I raggi cosmici primari .....	6
Caratteristiche dei raggi cosmici secondari.....	7
Risultati delle misure di Flusso .....	8

## Componenti e Schemi costruttivi

- Sensori Geiger SBM20
- Geiger adapter
- Circuito Rivelatore di Coincidenza
- Theremino master



### Immagine del detector assemblato

I due tubi geiger sono disposti uno sopra l'altro allineati fra loro, la distanza tra i due sensori è di circa 1cm.

Al di sopra del primo sensore e al di sotto del secondo sono state disposte due lastre di piombo da 1,2mm per schermare i sensori da radiazioni gamma ambientali provenienti nella direzione di allineamento dei due tubi.

Tra i due tubi è stata inoltre collocata una altra lastrina di piombo per schermare il secondo geiger da eventuali radiazioni provenienti dal primo tubo. Il circuito a coincidenza rileva solo gli eventi contemporanei nei due sensori.

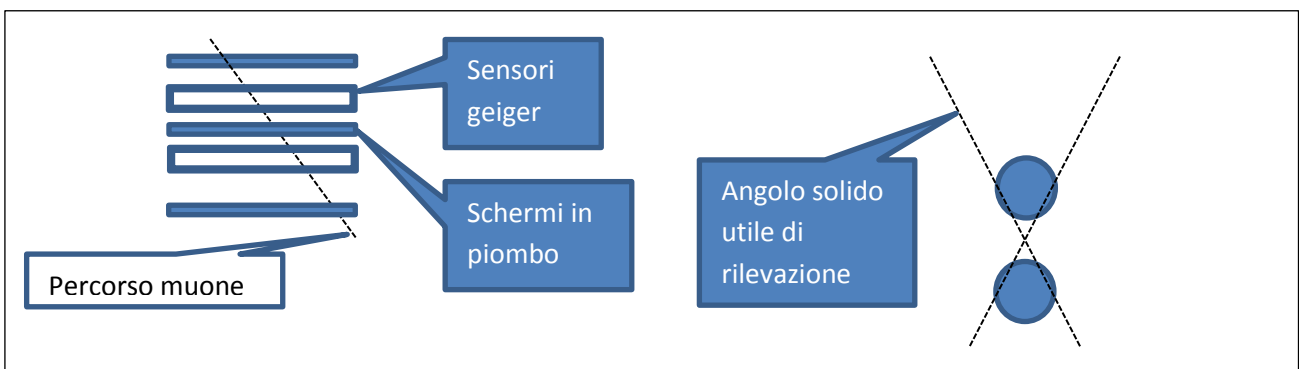
Con questi accorgimenti gli eventi contemporanei registrati dai sensori sono quindi esclusivamente quelli causati da particelle in movimento nella direzione di allineamento dei sensori, con energia sufficiente a superare le lamine di piombo.

**Particelle che rispondono a queste caratteristiche**

**sono quasi esclusivamente raggi cosmici di provenienza "extra-terrestre".**

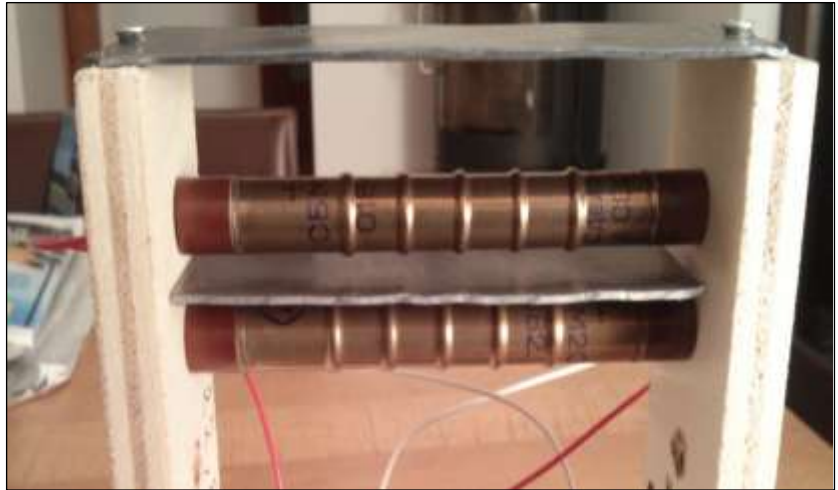
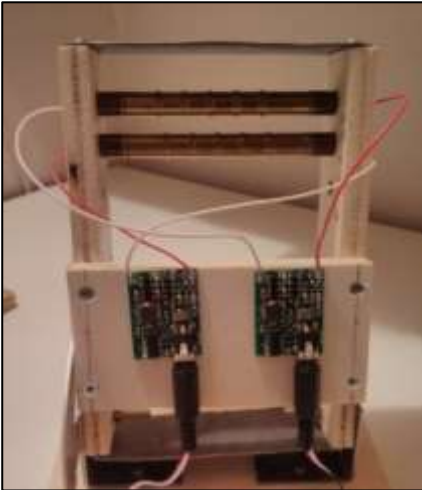
L'allineamento dei tubi, il circuito di coincidenza e le schermature fanno quindi in modo che gli eventi registrati siano sicuramente dovuti a muoni di raggi cosmici secondari (vedi capitolo sulla teoria dei raggi cosmici). Il rate di conteggio sarà comunque leggermente inferiore a quello teorico a causa del minore angolo solido utile, come indicato nello schema costruttivo seguente.

### Schema costruttivo



## Costruzione Rivelatore

I due sensori geiger sono stati inseriti in una struttura inclinabile in modo da poter effettuare misure di flusso a varie angolazioni rispetto alla normale alla superficie della terra. Il flusso dovrebbe essere massimo con una inclinazione di  $90^\circ$  rispetto all'orizzontale (struttura verticale) e minimo o nullo con una inclinazione di  $0^\circ$  (struttura orizzontale). Questa differenza è dovuta al diverso spessore dell'atmosfera che i raggi cosmici devono attraversare in funzione della direzione di provenienza. La distribuzione angolare del flusso segue una precisa legge matematica (vedi capitolo sulla teoria dei raggi cosmici).



Particolare dei sensori geiger e della struttura inclinabile con le schermature in piombo

### SBM-20

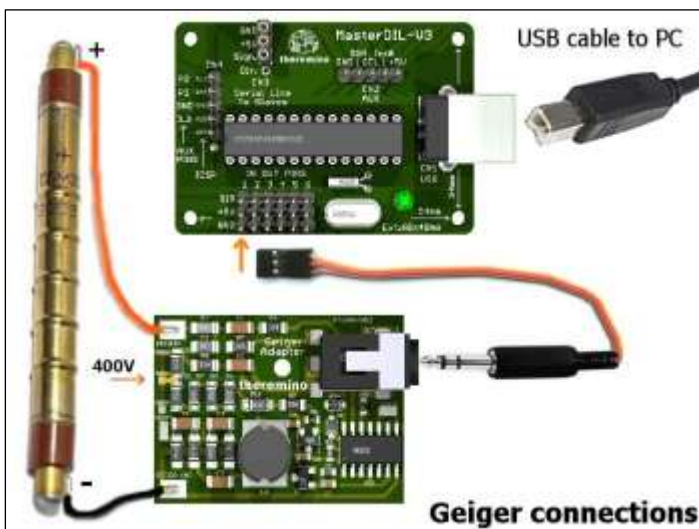
Sens: 24 CPS/mR/h

Bkg: 0.4 CPS

Tensione: 400 volt

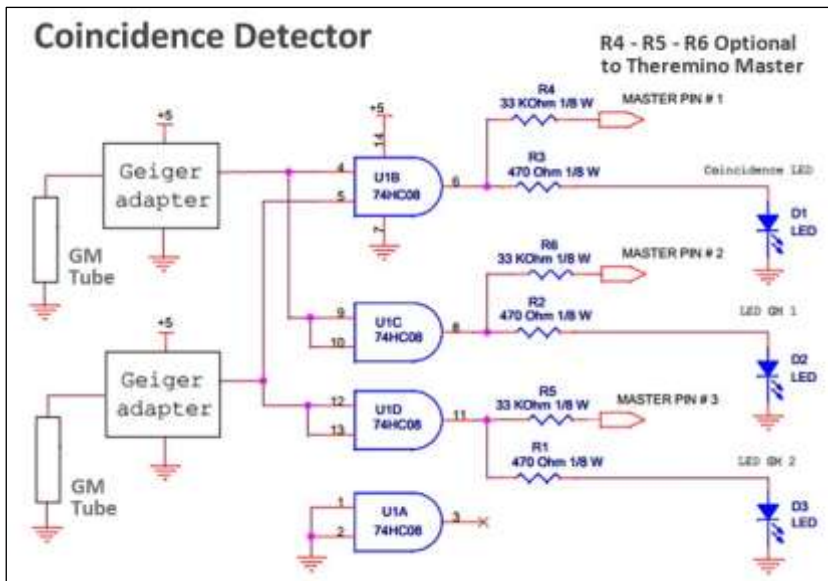
Resistenza nominale: 5.6 mega

Radiazioni: Beta+Gamma



Connessioni geiger adapter

## Rivelatore di Coincidenza



Schema del rivelatore di coincidenza

Se i due tubi GM (Geiger Muller) emettono un impulso contemporaneamente la porta U1B rileva questa coincidenza con un impulso in uscita.

Impulsi contemporanei potrebbero essere generati casualmente da due disintegrazioni contemporanee, ma la probabilità che questo avvenga è bassissima. Circa una possibilità su centomila (dato che gli impulsi dei tubi sono lunghi circa 100  $\mu$ s e che si verificano pochi impulsi al minuto).

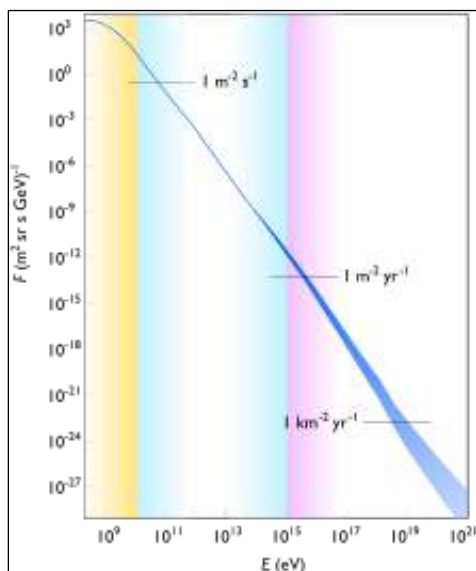
Quindi, se viene rilevato un evento, possiamo dire con il 99.999% di probabilità, che è stato rilevato un raggio cosmico.

Le uscite dei due geiger adapter e l'uscita dal coincidence detector sono collegate al theremino master e configurate come counter.

I due geiger indipendenti si possono utilizzare per effettuare misure di radioattività, mentre l'uscita del coincidence detector si utilizza per effettuare misure di conteggio di flusso di raggi cosmici.

## Teoria dei Raggi cosmici

I raggi cosmici sono particelle energetiche provenienti dallo spazio esterno, alle quali è esposta la Terra e qualunque altro corpo celeste, nonché i satelliti e gli astronauti in orbita spaziale. La loro natura è molto varia (l'energia cinetica delle particelle dei raggi cosmici è distribuita su quattordici ordini di grandezza), così come varia è la loro origine: il Sole, le altre stelle, fenomeni energetici come novae e supernovae, fino ad oggetti remoti come i quasar.



### Flusso dei raggi cosmici in funzione della loro energia

La parte su sfondo giallo è ritenuta essere di origine solare, la parte su sfondo azzurro di origine galattica, la parte di più alta energia di origine extragalattica.

In media una particella incide su ogni centimetro quadrato di superficie sulla Terra ogni secondo.

La maggior parte dei raggi cosmici che arrivano sulla Terra sono prodotti secondari di sciami formati nell'atmosfera dai raggi cosmici primari, con interazioni che tipicamente producono una cascata di particelle secondarie a partire da una singola particella energetica.

### I raggi cosmici primari

Al di là dell'atmosfera i raggi cosmici sono costituiti da protoni (per circa il 90%), da nuclei di elio (quasi il 10%); tuttavia anche elettroni ed altri nuclei leggeri, fotoni, neutrini ed in minima parte antimateria (positroni ed antiprotoni) fanno parte dei raggi cosmici primari. Giunte nell'atmosfera terrestre, tali particelle interagiscono con i nuclei delle molecole dell'atmosfera formando così, in un processo a cascata, nuove particelle proiettate in avanti, che prendono il nome di raggi cosmici secondari.

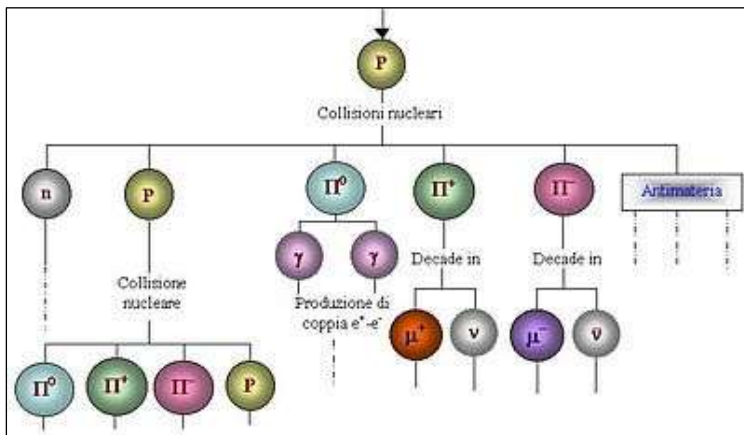
La composizione e lo spettro in energia sono stati dettagliatamente studiati per la radiazione cosmica primaria. Il flusso relativo all'idrogeno è poco più del 90%, un po' meno del 10% per l'elio,  $7 \times 10^{-4}$  per gli elementi leggeri come Litio, Berillio e Boro, e  $5 \times 10^{-3}$  per altri elementi dal Carbonio al Neon.

Lo spettro (numero di raggi incidenti per unità di energia, per unità di tempo, per unità di superficie per steradiante) dei raggi cosmici primari è ben descritto da una legge a potenza nella forma:

$$\phi \propto E^{-\alpha}$$

con  $\alpha = 2.7$  per valori dell'energia inferiori a  $\approx 10^{15} \text{ eV}$ . Per valori superiori dell'energia si ha un irrigidimento, con  $\alpha$  che diviene pari a 3. Il punto in cui tale cambio di pendenza ha luogo viene denominato ginocchio. Per energie ancora più alte ( $\approx 10^{18} \div 10^{19} \text{ eV}$ ) lo spettro dei raggi cosmici torna ad essere meno ripido, dando luogo ad un ulteriore cambio di pendenza che viene chiamato caviglia.

## Caratteristiche dei raggi cosmici secondari



Schema di formazione della radiazione cosmica secondaria

La radiazione secondaria al livello del mare è costituita da due componenti (molle e dura) che hanno diverso comportamento nell'attraversamento di mezzi molto densi (ferro, piombo, ...).

La componente molle (circa il 30% della radiazione secondaria), composta da elettroni e fotoni ed in minima parte da protoni, kaoni e nuclei, è capace di attraversare solo pochi centimetri di assorbitore. La componente dura (circa il 70%), composta da **muoni**, riesce a penetrare spessori di materiali assorbenti di oltre un metro.

Il flusso medio delle particelle che compongono la radiazione, vale a dire il numero di particelle che nell'unità di tempo e nell'unità di superficie raggiungono il livello del mare, è stimato:

$$100 \times \frac{\text{particelle}}{m^2 s} \approx 0.01 \frac{\text{particelle}}{cm^2 s}$$

I raggi cosmici hanno una distribuzione angolare rispetto alla normale alla superficie della Terra descrivibile dalla funzione:

$$f(\theta) = \frac{4}{\pi} \cdot \cos^2 \theta, \quad \theta \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right]$$

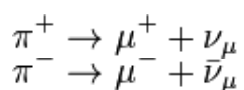
Le particelle che compongono la radiazione sono molto energetiche. Si stima che il flusso medio a livello del mare abbia un'energia media di 3 GeV. Il **leptone  $\mu$  (muone)**, componente principale dei raggi cosmici secondari, è una particella elementare a spin 1/2, massa:

$$105,658389 \pm 0,000034 MeV/c^2$$

(circa duecento volte la massa dell'elettrone), e vita media :

$$\tau_{\mu} = 2,19703 \pm 0,00004 \mu s$$

Come detto in premessa, i  $\mu$  sono prodotti nell'alta atmosfera principalmente dal decadimento di  $\pi$  carichi:



Alla produzione essi sono caratterizzati da **velocità relativistiche** e per via del fenomeno della **dilatazione temporale** riescono a giungere al livello del mare, dove si osserva che i  $\mu^+$  sono circa il 20% in più dei  $\mu^-$ .

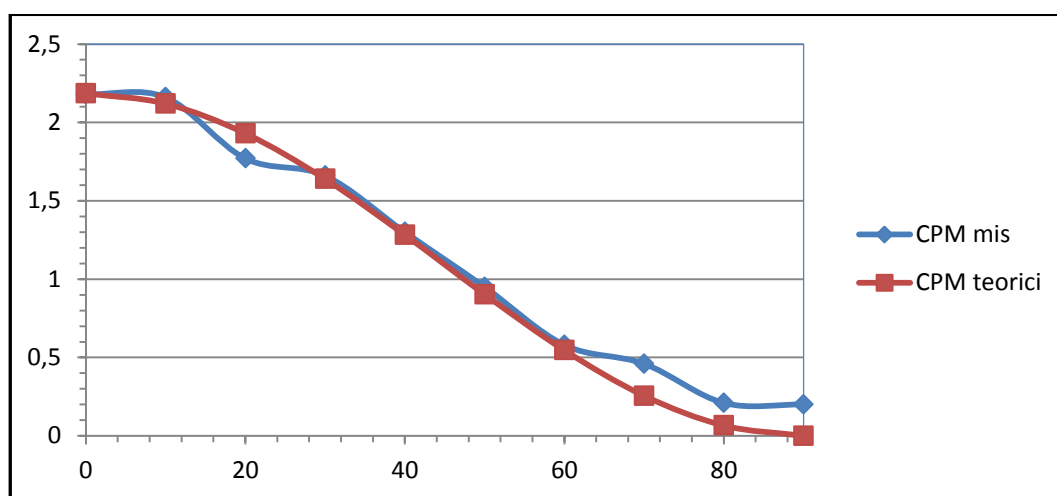
## Risultati delle misure di Flusso

Riportiamo in questo capitolo i risultati delle misure del flusso di raggi cosmici effettuate con il rivelatore descritto in questo documento. Le misurazioni sono state effettuate in momenti diversi della giornata e per ogni angolazione presa in esame è stato adottato un tempo di integrazione pari a 3600s (1h).

Area utile sensore = **9cm<sup>2</sup>**

Flusso teorico massimo = ( 0,01 x 9 ) x60 = **5,4cpm**

Inclinazione (gradi)	CPM (counts per minute) (integrazione su 3600s)	$\Delta$ stimata	CPM teorici normalizzati
90	2,18	$\pm 0,1$	2,19
80	2,16	$\pm 0,1$	2,12
70	1,77	$\pm 0,1$	1,93
60	1,66	$\pm 0,1$	1,64
50	1,30	$\pm 0,1$	1,28
40	0,95	$\pm 0,1$	0,90
30	0,58	$\pm 0,1$	0,55
20	0,46	$\pm 0,1$	0,26
10	0,21	$\pm 0,1$	0,07
0	0,20	$\pm 0,1$	0,00



Il rivelatore misura un valore inferiore a quello teorico a causa del fatto che l'angolo solido utile di rilevazione è limitato (vedi schema costruttivo rivelatore), per questo motivo il flusso teorico è stato normalizzato, in modo da far coincidere i massimi.

Dai risultati ottenuti si apprezza una buona coincidenza con i dati teorici normalizzati, segno della efficacia del sistema nel discriminare gli eventi dovuti ai raggi cosmici dagli eventi spuri, dovuti alla radiazione ambientale di fondo ed al rumore.