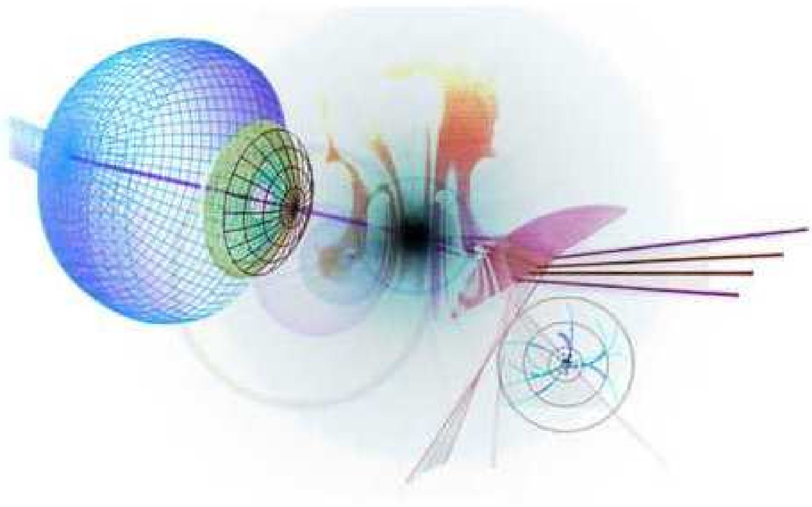
Corso di:

Esperimentazioni di Fisica 3

Prof. Vincenzo FLAMINIO

Dipartimento di Fisica



Esperienza di

Rilevazione di Raggi Cosmici

Autori: BERNARDINI Chiara
COZZANI Elisiana
LINGUARDO Carla
MAIONE Ivan Alessio

Esercitatore: Dott. SENIERI Gabriele

INDICE

INTRODUZIONE

La radiazione cosmica che incide gli strati alti dell'atmosfera terrestre, è costituita da particelle cariche e nuclei d'atomi (principalmente idrogeno, elio, carbonio e ferro). Queste particelle prendono il nome di "radiazione primaria" e si suppone provengano principalmente da sorgenti esterne al sistema solare (supernovae...) anche se una parte di esse è associata a *flares* solari. La radiazione cosmica ,catturata dal campo magnetico terrestre, ha una probabilità maggiore del 99% di interagire con l'atmosfera producendo sciami di particelle. Queste ultime costituiscono la "radiazione secondaria". La maggior parte delle particelle che compongono la radiazione secondaria e giungono fino al suolo, sono principalmente costituite da muoni.
Lo scopo dell'esperienza è quello di misurare il flusso di queste particelle.

DESCRIZIONE DELL'APPARATO[1]

L'apparato per la rilevazione delle particelle consiste sostanzialmente in tre rivelatori ognuno dei quali è costituito da uno scintillatore accoppiato, attraverso una guida di luce, ad un fotomoltiplicatore.
Gli scintillatori sono lastre costituite da un materiale che emette una scintillazione di luce nel momento in cui una particella lo attraversa; i fotoni così emessi vengono indirizzati per riflessioni multiple verso il fotomoltiplicatore il quale trasforma l'energia associata alla radiazione incidente in un segnale elettrico analogico che viene convertito in un segnale logico da un discriminatore.
Le uscite del discriminatore che corrispondono ai segnali provenienti dai tre scintillatori vengono inviati ad una porta AND: l'uscita della porta logica sarà positiva quando i tre segnali d'ingresso sono alti; questa informazione viene inviata ad uno scaler che consente la lettura dei conteggi. L'utilizzo di tre scintillatori in coincidenza è necessario per essere sicuri che siano contati solo i passaggi effettivi delle particelle.
Prima di dare una valutazione del flusso è necessario misurare la frequenza degli eventi
ν = conteggi/tempo
da cui si ricava il flusso sperimentale

[1] per una descrizione più completa vedere il paragrafo STRUMENTAZIONE

$$\Phi_{sper} = \frac{\nu}{S_1}$$

dove S_1 è l'area del primo scintillatore il quale è stato preso come riferimento.

Dato che

$$\Phi_{sper} = \Phi_{th}\,\varepsilon_1\varepsilon_2\varepsilon_3 A_{123}$$

in cui Φ_{th} è il flusso effettivo , ε_i sono le efficienze degli scintillatori e A_{123} è l'accettanza del sistema

si può ricavare l'espressione del flusso effettivo che risulta essere la seguente:

$$\Phi_{th} = \frac{\Phi_{sper}}{\varepsilon_1\varepsilon_2\varepsilon_3 A_{123}}$$

CALIBRAZIONE DELL'APPARATO

Prima di procedere nella misura del flusso è necessario eseguire alcune calibrazioni degli strumenti; queste saranno svolte in quattro fasi:

1)Regolazioni preliminari.

2) Scelta della tensione di alimentazione dei fotomoltiplicatori: questa non deve essere né troppo elevata, per evitare la saturazione del sistema che causerebbe emissione di elettroni anche nel caso in cui lo scintillatore non sia attraversato da particelle, né troppo bassa in quanto gli elettroni non sarebbero accelerati a sufficienza da acquistare un'energia tale da innescare la reazione a valanga.

3) Sincronizzazione dei segnali: si scelgono i ritardi da porre tra discriminatore e porta AND in modo da mettere in coincidenza i segnali provenienti dai tre fotomoltiplicatori.

4)Misure di efficienza degli scintillatori.

Regolazioni preliminari

È necessario innanzitutto sistemare la tensione di soglia del discriminatore. Osservando i segnali in uscita dai fotomoltiplicatori sull'oscilloscopio si è dedotto che il potenziale di soglia deve essere maggiore (in modulo) delle fluttuazioni di tensione dovute alle fonti di rumore, affinché si generi un’onda quadra solo nel momento in cui è rivelata una particella. Si deve in ogni caso prestare attenzione al fatto che il valore di tensione scelto non sia tale da superare in ampiezza il segnale prodotto dal passaggio della particella. Dato che l'ampiezza delle fluttuazioni di rumore è dell'ordine di pochi mV è stata presa una tensione di soglia di circa 300 mV (si noti che questa tensione è la minima consentita dallo strumento); la durata del segnale è stata scelta dell'ordine dei 30 ns, tempo che è sufficientemente lungo per consentire di trovare un intervallo di coincidenza per tutti gli scintillatori, ma è abbastanza breve da evitare fenomeni di *pile-up*. A questo punto si deve effettuare una prima messa in tempo provvisoria tra i segnali provenienti dagli scintillatori presi in considerazione, operazione che viene eseguita con l'utilizzo dell'oscilloscopio e visualizzando i segnali sui due canali.

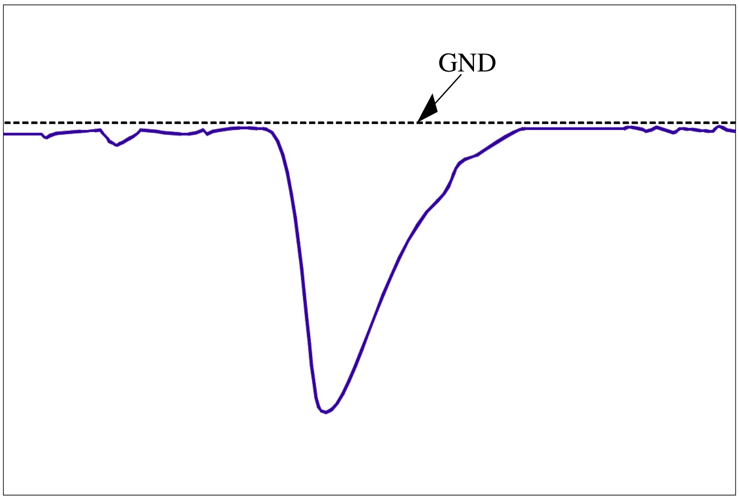


Fig. 1 Segnale proveniente da uno scintillatore

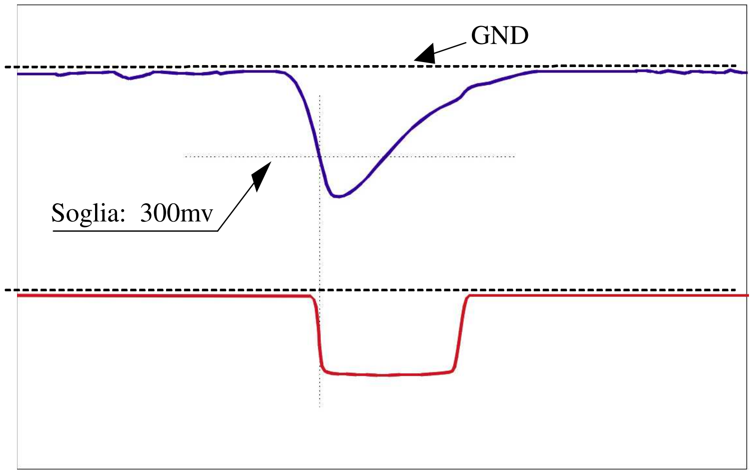


Fig. 2 Blu: Segnale proveniente dallo scintillatore
Rosso: Uscita del discriminatore.

Scelta della tensione di alimentazione dei fotomoltiplicatori

Per scegliere la tensione di lavoro è necessario rappresentare in un grafico il rate in funzione della tensione di alimentazione dei pmt in modo da individuare la zona di plateau, in cui l'andamento della frequenza degli eventi è lineare. Si sceglie il valore di potenziale approssimativamente al centro di questa zona (Vedere grafici seguenti).

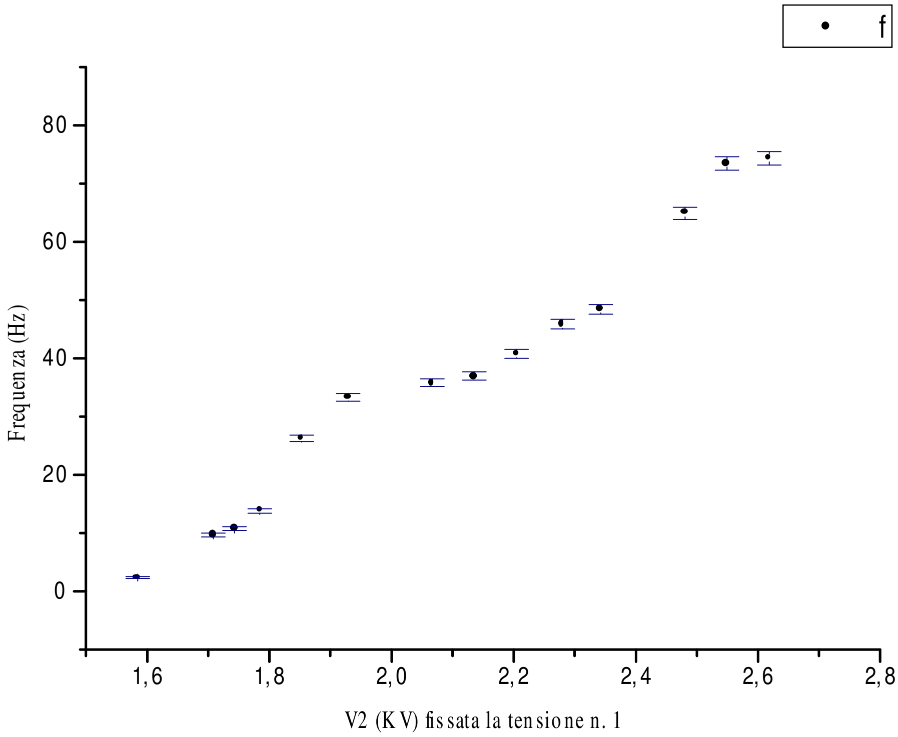

f
80
60
40
20
0
Frequenza (Hz)
1,6
1,8
2,0
2,2
2,4
2,6
2,8
V2 (KV) fissata la tensione n. 1

Fig. 3

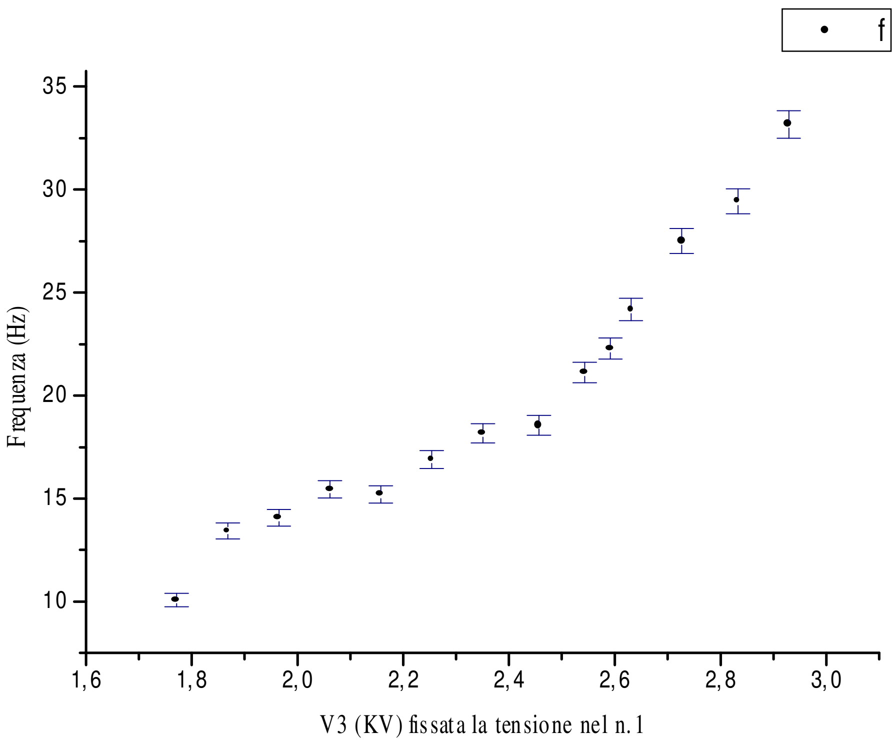

f
35
30
25
20
15
10
Frequenza (Hz)
1,6
1,8
2,0
2,2
2,4
2,6
2,8
3,0
V3 (KV) fissata la tensione nel n. 1

Fig. 4

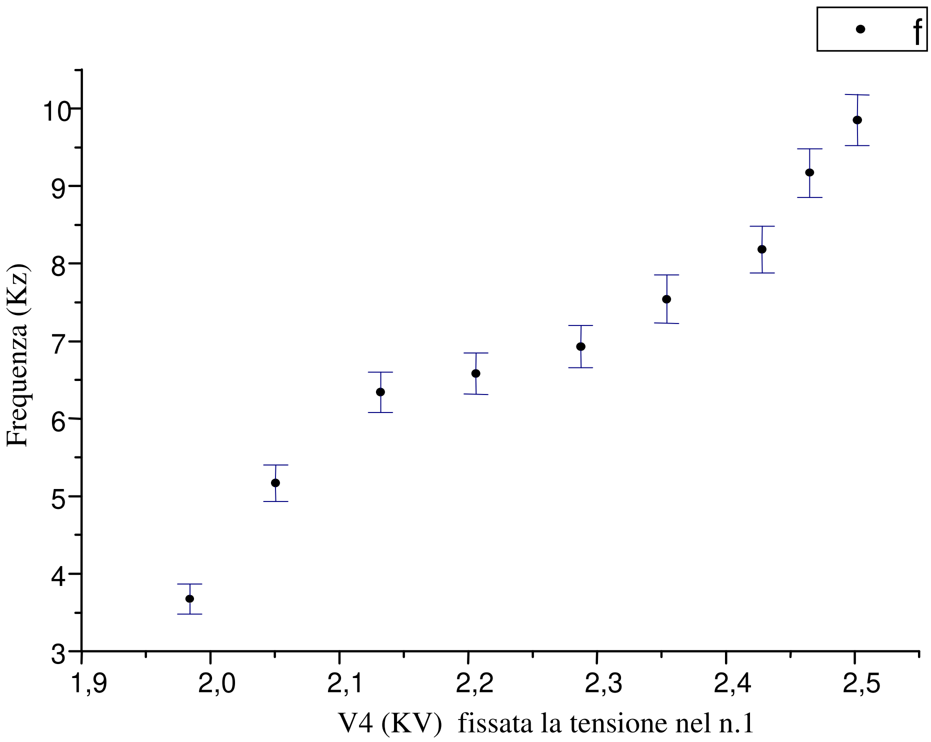

f
Frequenza (Kz)
10
9
8
7
6
5
4
3
1,9
2,0
2,1
2,2
2,3
2,4
2,5
V4 (KV) fissata la tensione nel n.1

Fig. 5

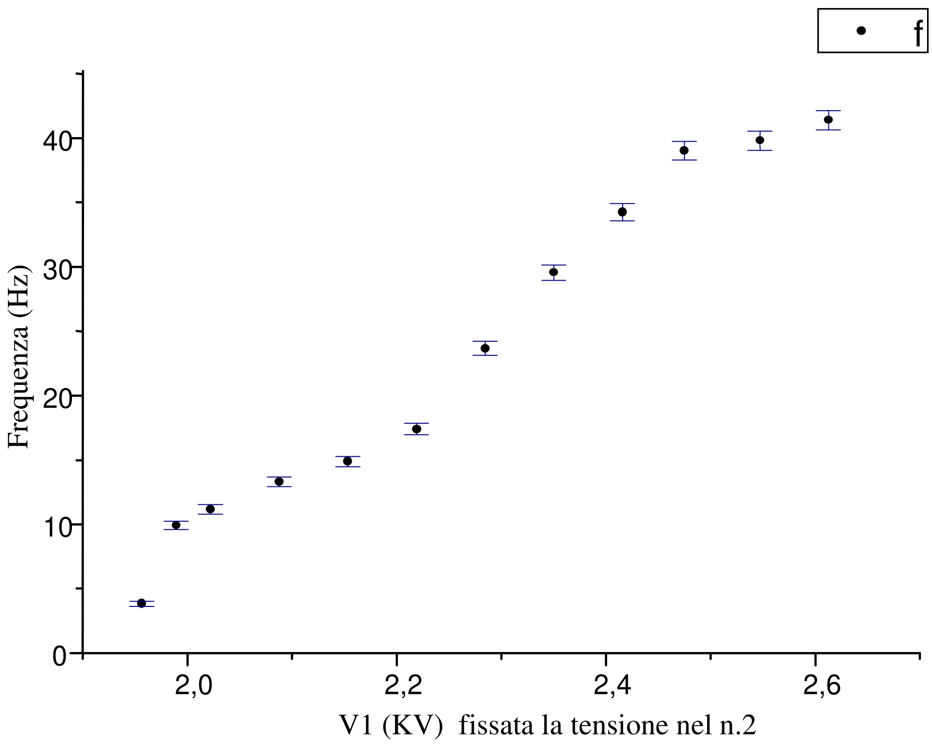

f
Frequenza (Hz)
40
30
20
10
0
2,0
2,2
2,4
2,6
V1 (KV) fissata la tensione nel n.2

Fig. 6

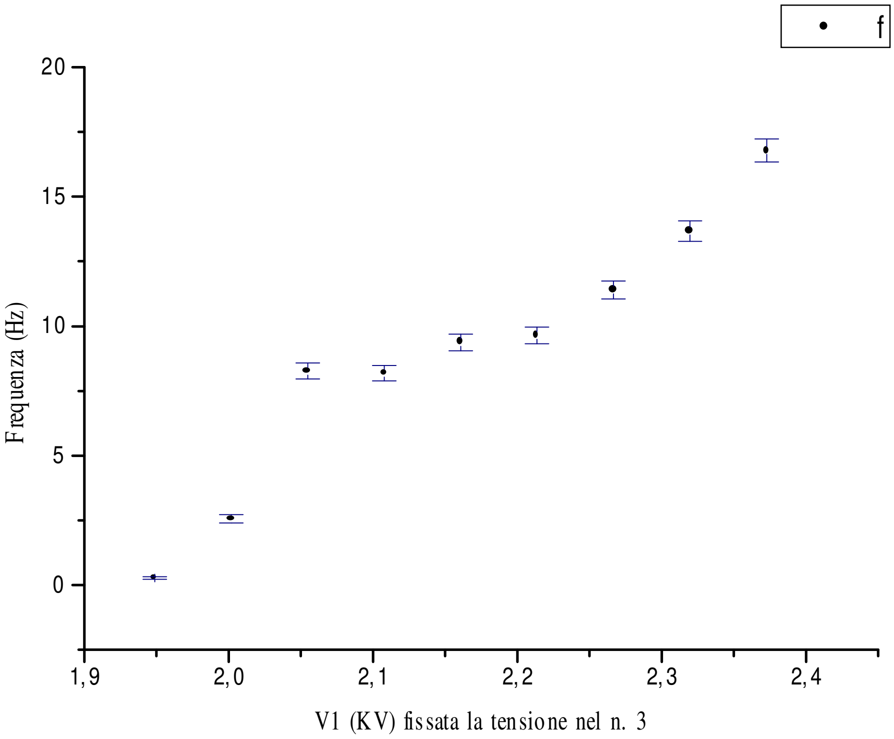

f
20
15
10
5
0
Frequenza (Hz)
1,9
2,0
2,1
2,2
2,3
2,4
V1 (KV) fissata la tensione nel n. 3

Fig. 7

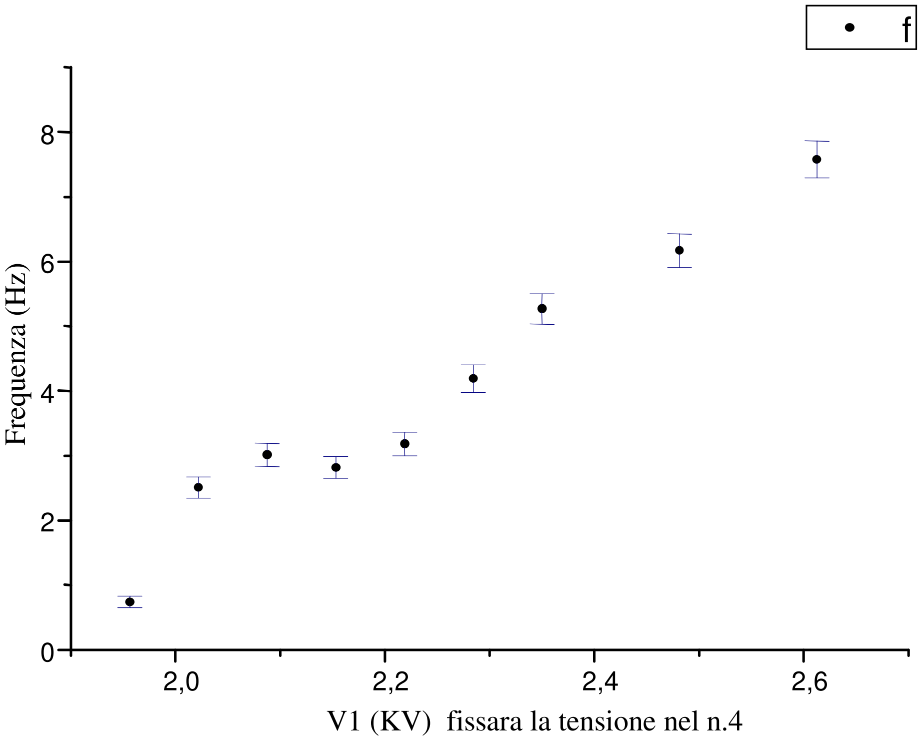

f
8
6
4
2
0
Frequenza (Hz)
2,0
2,2
2,4
2,6
V1 (KV) fissara la tensione nel n.4

Fig. 8

I valori scelti sono:

V1 = 2120 ± 20 V

V2 = 2060 ± 20 V

V3 = 2180 ± 20 V

V4 = 2200 ± 20 V

Sincronizzazione dei segnali

I segnali in tensione provenienti dai fotomoltiplicatori, dopo essere stati convertiti in segnale logico dal discriminatore, devono giungere contemporaneamente alla coincidenza affinché l'uscita della porta AND sia alta e il contatore registri l'evento.

In generale i segnali non sono sincronizzati per vari motivi: per esempio gli scintillatori sono diversi e quindi hanno tempi di risposta differenti, inoltre essendo posti l'uno dall'altro a distanza di circa trenta centimetri c'è un ritardo (seppur di pochi ns) dovuto alla velocità finita di propagazione dei muoni per cui le particelle impiegano un certo tempo a passare da un rivelatore all'altro.

Si riportano i grafici delle curve di cavo che rappresentano il rate in funzione dei ritardi per tutte le coppie di scintillatori.

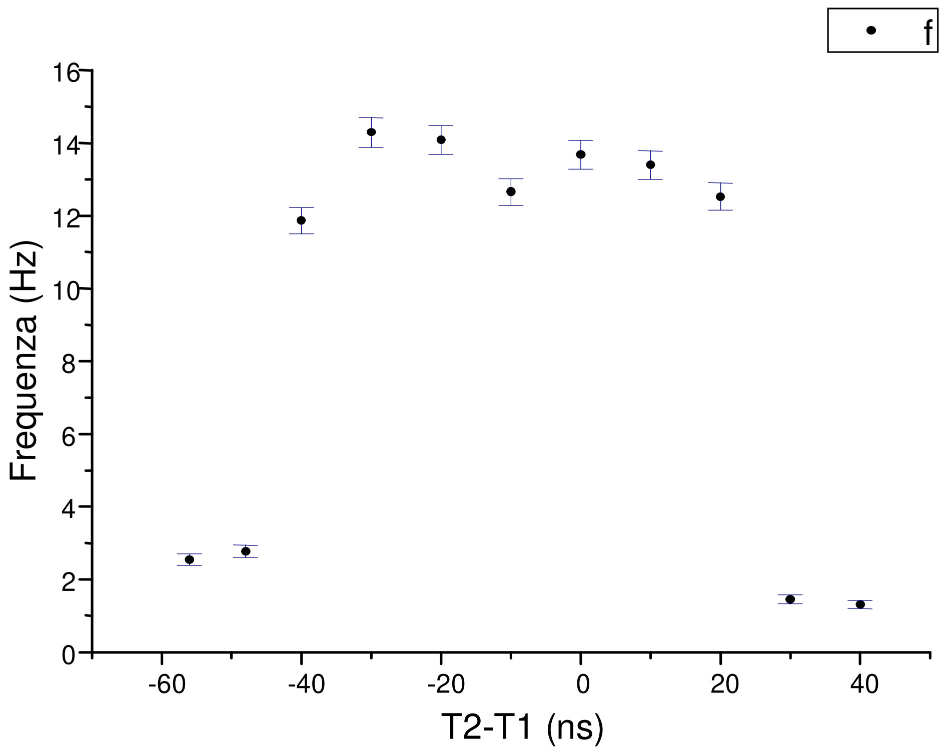


Fig. 9 Grafico di cavo per gli scintillatori 1 e 2

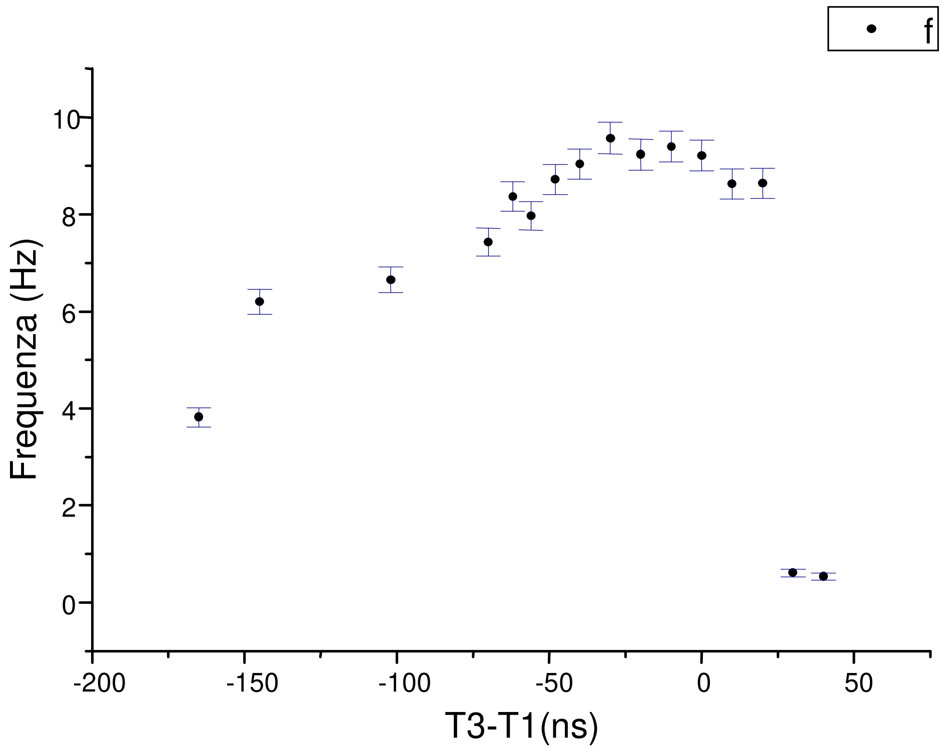


Fig. 10 Grafico di cavo per li scintillatori 1 e 3

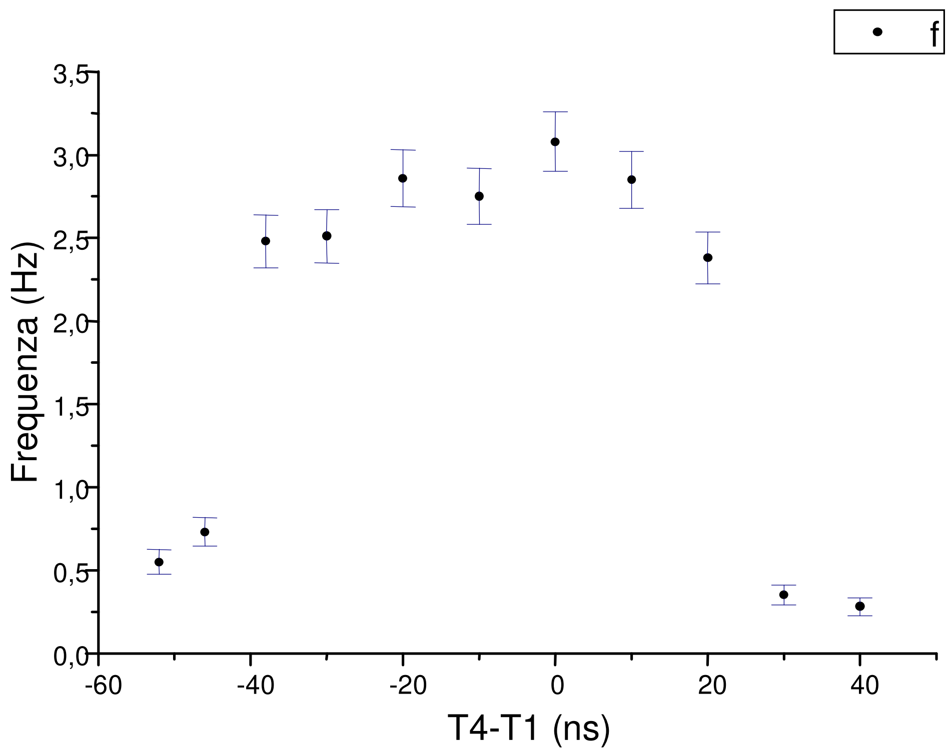


Fig. 11 Grafico di cavo per li scintillatori 1 e 4

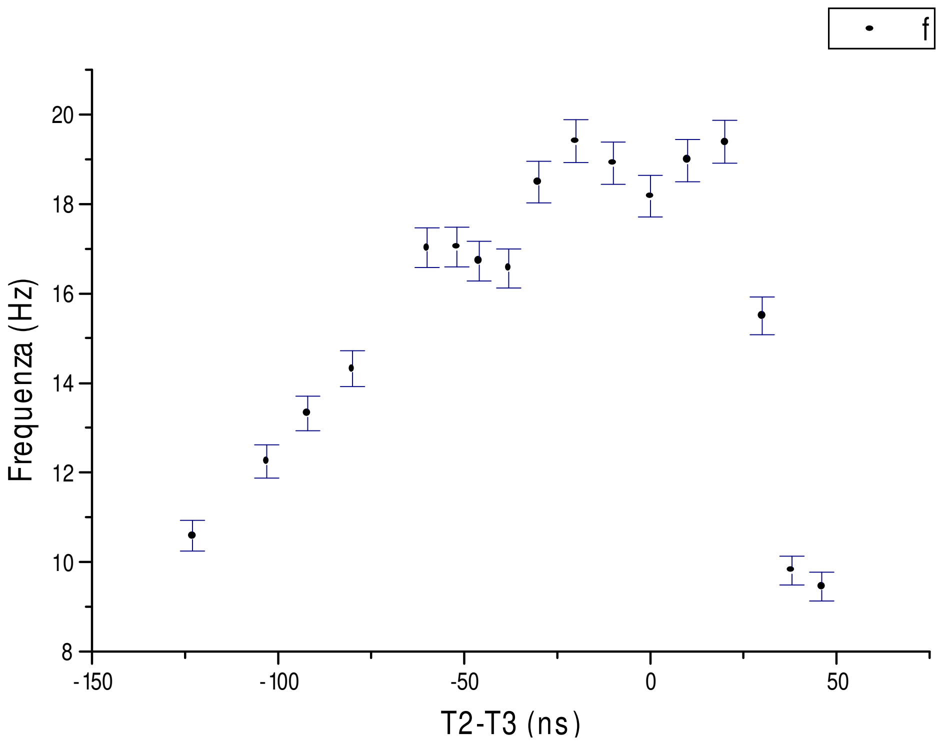


Fig. 12 Grafico di cavo per li scintillatori 2 e 3

Si può notare un intervallo di valori a cui corrisponde un rate pressoché costante: questo significa che per tutti i valori di tempi compresi in questo intervallo i segnali vengono rivelati simultaneamente dalla coincidenza, mentre le zone in cui la frequenza dei conteggi è bassa indica che i due segnali non sono sincronizzati.

Si scelgono i valori dei ritardi circa al centro della zona di rate costante e si ottiene:

T1 = 17 ns

T2 = 7 ns

T3 = 2 ns

T4 = 7 ns

Misure di efficienza degli scintillatori

Non tutti i muoni che attraversano uno scintillatore vengono infatti rivelati e questo può accadere per varie ragioni, per esempio l'energia associata alla particella può essere troppo bassa per causare la scintillazione; oppure può venire emesso il fotoelettrone, ma essere troppo poco energetico per giungere in fondo al fotomoltiplicatore e causare la corrente che dà origine al segnale.

Per avere una valutazione quantitativa di questa capacità intrinseca del sistema possiamo servirci di un quarto scintillatore più piccolo degli altri in modo tale che la sua superficie sia del tutto sovrapponibile a quella degli altri tre. Si effettua a questo punto una misura del rate in coincidenza quadrupla sovrapponendo il quarto scintillatore a quello di cui si vuole determinare l'efficienza (per esempio il no1) e si calcola il flusso sperimentale

$$\Phi^{(4)}_{sper} = \frac{\nu_{sper}}{S_1}$$

ν_{sper} rappresenta il rate misurato ed S_1 la superficie del primo scintillatore preso come riferimento

si ha che il flusso in quadrupla soddisfa la relazione:

$$\Phi^{(4)}_{sper} = \Phi_{th}\varepsilon_1\varepsilon_2\varepsilon_3\varepsilon_4 A_{1234}$$

dove Φ_{th} rappresenta il flusso effettivo, ε_i l'efficienza degli scintillatori, A_{1234} l'accattanza del sistema

Si ripete una misura simile eliminando dalla coincidenza lo scintillatore n°1 e si determina il flusso sperimentale che soddisfa l'equazione:

$$\Phi^{(3)}_{sper} = \Phi_{th}\varepsilon_2\varepsilon_3\varepsilon_4 A_{234}$$

Dividendo membro a membro le relazioni precedenti si ricava che

$$\frac{\varepsilon_1 A_{1234}}{A_{234}} = \frac{\Phi^{(4)}_{sper}}{\Phi^{(3)}_{sper}}$$

Poiché il quarto scintillatore è totalmente sovrapponibile agli altri $A_{1234} = A_{234}$, quindi si ottiene l'espressione per ε_1 :

$$\varepsilon_1 = \frac{\Phi^{(4)}_{sper}}{\Phi^{(3)}_{sper}}$$

Con procedimento analogo si ricavano i valori delle efficienze per gli altri scintillatori.

Per il calcolo degli errori sulle efficienze si è tenuto conto che gli eventi seguono una distribuzione poissoniana e quindi l'errore corrispondente al numero di conteggi vale √ no eventi .

I risultati delle misure fatte risultano essere i seguenti:

- <u>Primo scintillatore</u>:
  Quattro in coincidenza: 8002 conteggi in 6165.069 secondi
  Tre in coincidenza: 8000 conteggi in 5416.079 secondi
- <u>Secondo scintillatore</u>:
  Quattro in coincidenza: 8500 conteggi in 3302.803 secondi
  Tre in coincidenza: 8500 conteggi in 3093.003 secondi

- <u>Terzo scintillatore</u>:

  Quattro in coincidenza: 8002 conteggi in 4118.812 secondi

  Tre in coincidenza: 7007 conteggi in 3446.594 secondi

Le efficienze calcolate sono:

$\varepsilon_1 = 0.879 \pm 0.005$

$\varepsilon_2 = 0.937 \pm 0.004$

$\varepsilon_3 = 0.940 \pm 0.005$

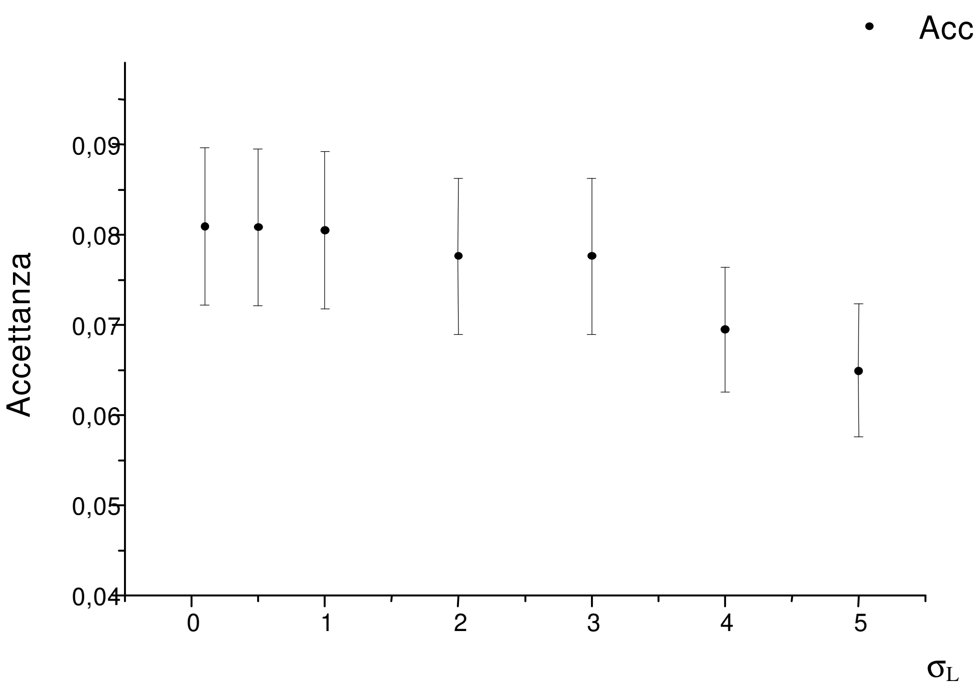
SIMULAZIONE MONTECARLO

Per il calcolo del flusso di raggi cosmici è necessario calcolare il valore dell'accettanza. Quest'ultima è definita come la probabilità che un raggio, incidente uno scintillatore preso come riferimento, attraversi, durante il suo cammino, anche gli altri scintillatori del sistema. Poiché non è stato possibile effettuare tale misura sperimentalmente, si è dovuto utilizzare un programma che simulasse il passaggio dei raggi cosmici attraverso gli scintillatori. Tale programma può essere suddiviso in tre parti: l'acquisizione dati, la simulazione della traiettoria e il calcolo dell'accettanza.

Acquisizione dati

I dati necessari per il funzionamento del programma riguardano gli scintillatori; questi sono stati considerati senza spessore e di forma rettangolare. Ogni scintillatore è stato definito tramite le coordinate di un vertice rispetto ad un'origine, precedentemente stabilita, e la lunghezza di due lati. Essendo ogni scintillatore rivestito di fogli di alluminio e coperto con un panno, non è stato possibile misurare le lunghezze della parte attiva di ogni scintillatore con un'elevata precisione. Tale inconveniente non è però rilevante ai fini del calcolo dell'accettanza infatti, come si vede dal grafico, il valore dell'accettanza e di σ_A non varia sensibilmente per σ_L compreso tra 0 e 1 cm.

Fig. 13 Grafico dell'Accettanza in funzione di σ_L



Simulazione traiettoria

La traiettoria dei raggi cosmici, considerata una retta, e' stata simulata generando casualmente i quattro parametri che la caratterizzano: le coordinate x e y del punto di intersezione con lo scintillatore di riferimento e gli angoli θ e φ. (figura)

I valori di x,y e φ vengono creati utilizzando la funzione Random già presente in Pascal che genera numeri reali casuali compresi fra 0 e 1 secondo una distribuzione piatta. Il valore di θ segue invece una distribuzione proporzionale alla funzione $F(\theta) = sen\theta * cos\theta^2$. Per generare tale distribuzione sono stati utilizzati due metodi:

1) **Hit or Miss**

Vengono estratti con distribuzione piatta due numeri casuali: α compreso fra 0 e $\pi/2$ e F_1 tra 0 e il valore massimo che $F(\theta)$ assume tra 0 e $\pi/2$. α sarà utilizzato come valore di θ se il valore di $F(\alpha)$ risulterà maggiore di F_1. Il processo viene ripetuto finché non è verificata tale condizione.

2) **Analitico**

$$\int_0^{\theta} F(x)dx = \text{random}(0,1)$$

Considerando che, data la funzione $F(\theta)$ normalizzata, si ha:

$$G(\theta) = \int_0^{\theta} F(x)dx$$

Posto

Quando questa funzione è invertibile si ha:

$$\theta = G^{-1}(\text{random}(0,1))$$

Si può quindi passare da una distribuzione uniforme ad una $F(\theta)$.

Considerando che, nel nostro caso, $F(\theta) = sen\theta * cos\theta^2$ si ha

$$\theta = \arccos(\sqrt[3]{3t})$$

dove t è un numero Random fra 0 e 1.

Poiché il programma è stato scritto in Pascal e poiché tale linguaggio non ha impostata la funzione arcocoseno è stato calcolato $\cos(\theta)$ visto che ai fini del programma non era necessario il valore di θ ma di $sen(\theta)$ e $\cos(\theta)$.

Per stabilire quale dei due sistemi fosse più attendibile, si è generato un egual numero di θ e cos(θ) e si è confrontato i due valori di χ^2. Poiché il χ^2 della distribuzione Hit or Miss è minore di quello della distribuzione "analitica" si è dedotto che il primo metodo genera valori di θ più vicini alla distribuzione F(θ).

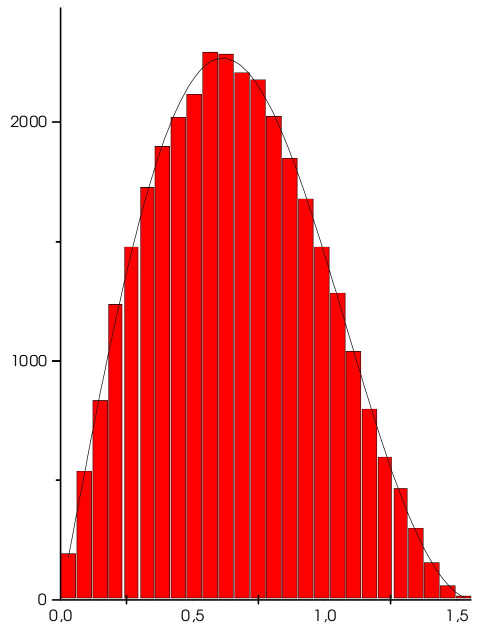


Fig. 14 Distribuzione di θ col metodo Hit or Miss

Funzione di FIT: A*Sin(θ)*Cos(θ)^2
χ^2 = 0,80972
A = 5890,62387 ± 32,555

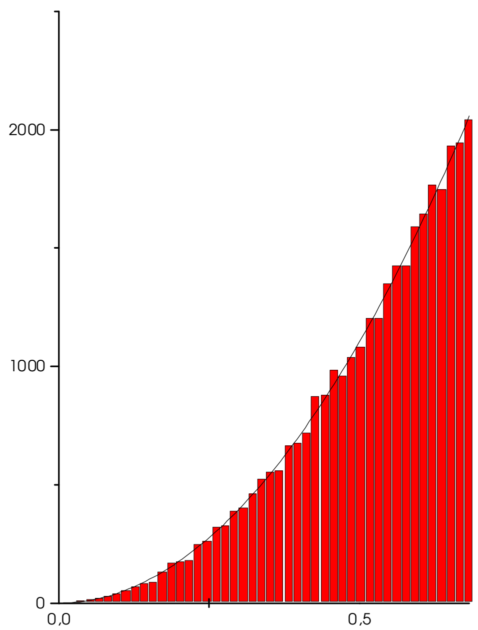


Fig. 15 Distribuzione di cos(θ) col metodo analitico

Funzione di FIT: A*X^2
χ^2 = 0,96027
A = 4417,52917 ± 24,60082

Dato che nel calcolo dell'accettanza si devono utilizzare variabili distribuite secondo determinate leggi matematiche, è importante verificare che tali variabili siano state generate correttamente. Si riportano qui di seguito i grafici[2] con i relativi χ^2 che illustrano i test effettuati.

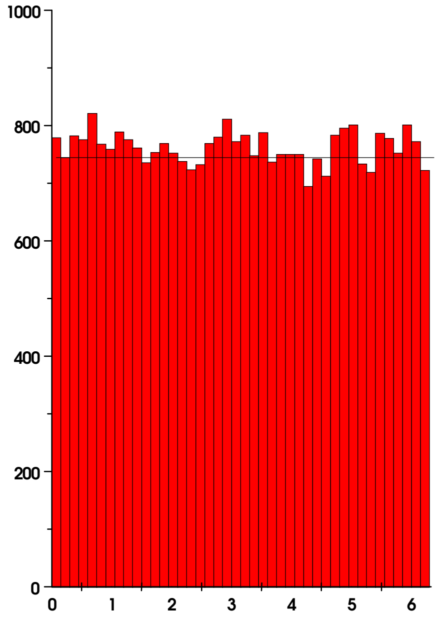


Fig. 16 Istogramma della variabile casuale ϕ secondo una distribuzione piatta

Istogramma di ϕ
Funzione di FIT : Y=A
$\chi^2 = 19,61043$
A = 742,29426 ± 4,20401

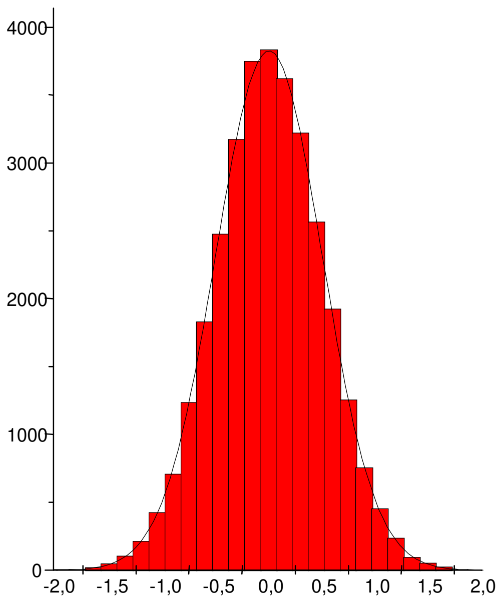


Fig. 17 Distribuzione Gaussiana della variabile che rappresenta la lunghezza degli scintillatori

Istogramma della variabile Lunghezza
Funzione di FIT : Gauss
$\chi^2 = 1,39937$

[2] Per i grafici di distribuzione per θ vedere Fig. 14 e Fig. 15

CALCOLO DELL'ACCETTANZA

Generati n raggi attraversanti lo scintillatore di riferimento, considerato n_1 il numero di questi intersecanti tutti gli altri scintillatori, si ha:

$$A = \frac{n_1}{n}$$

Il calcolo di n_1 è stato effettuato tramite semplici considerazioni trigonometriche. Infatti un raggio che interseca lo scintillatore di riferimento (nel caso specifico il numero uno) nel punto P(x,y) con angolo φ e θ, intersecherà anche l'i-esimo scintillatore se $P_i(x_i,y_i)$ (punto di intersezione del raggio col piano contenente l'i-esimo scintillatore) sarà contenuto nello scintillatore stesso. Considerando che:

$$x_i = x + (z_r - z_i) * \tan(\theta) * \cos(\varphi)$$

$$y_i = y + (z_r - z_i) * \tan(\theta) * \mathrm{sen}(\varphi)$$

per il calcolo di n_1 è bastato imporre l'aumento di n1 di una unità ogni qual volta, generato un raggio, fosse verificata la condizione:

$$P_i \subset \text{i - esimo scintillatore} \qquad \forall i$$

Il valore calcolato per A_{123} è di 0.081 ± 0.009.

CONCLUSIONI

Ponendo i 3 scintillatori in coincidenza sono state misurati 57165 eventi in 10000.940 secondi, che corrispondono ad una frequenza sperimentale di:

$\nu_{sper} = (5.72 \pm 0.02)$ Hz

Dato che questo è dato dalla sovrapposizione della frequenza degli eventi e da quella del rumore, cioè:

$\nu_{sper} = \nu_{segnale} + \nu_{rumore}$

è stato necessario valutare ν_{rumore} per determinare l'effettiva frequenza del segnale.

Per far ciò si sono poste le linee di ritardo in modo tale che i segnali in ingresso alla coincidenza fossero asincroni. Il numero di coincidenze spurie così misurato è di 877 in 5695.506 secondi che corrisponde a:

$\nu_{rumore} = (0.153 \pm 0.005)$ Hz.

A questo punto è possibile calcolare il flusso teorico utilizzando la seguente formula:

$$\Phi_{th} = \frac{\Phi_{segnale}}{\varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 A_{123}} = \frac{\nu_{segnale} / S_1}{\varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 A_{123}} = \frac{(\nu_{sper} - \nu_{rumore}) / S_1}{\varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 A_{123}}$$

Si ottiene il seguente risultato:

$\Phi_{th} = (2.9 \pm 0.1) * 10^{-2}$ sec^{-1} cm^{-2}

Dato che il risultato ottenuto si discosta da quello atteso che risulta essere:

$\Phi = 1.8*10^{-2}$ sec^{-1}cm$^{-2} \pm 2\%$

si sono effettuati alcuni test per verificare il buon funzionamento del sistema di acquisizione.

TEST DI AFFIDABILITA'

Indipendenza del flusso dallo scintillatore di riferimento

Nel calcolo del flusso è stata utilizzata un'accettanza ottenuta prendendo come riferimento il primo scintillatore. Per stabilire se il sistema dei tre scintillatori fosse stato ben definito nel programma, si è verificato che il flusso non dipende dallo scintillatore preso come riferimento. Si ha infatti:

$\Phi_1 = \frac{k}{A_1 S_1} \qquad \Phi_2 = \frac{k}{A_2 S_2}$ dove gli indici stanno ad indicare lo scintillatore di riferimento

$$\frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{A_1 S_1}{A_2 S_2} = 1.00 \pm 0.13$$

dove $A_1 = 0.081 \pm 0.009 \quad A_2 = 0.267 \pm 0.014 \quad S_1 = (3060 \pm 46)\ \text{cm}^2 \quad S_2 = (930 \pm 22)\ \text{cm}^2$

Coincidenza

Per verificare l'affidabilità della coincidenza sono stati inviati a due canali dello scaler un segnale di prova proveniente da uno scintillatore e l'uscita della coincidenza ottenuta mandando alla porta And due copie dello stesso segnale. I conteggi osservato dopo un periodo di 100 secondi sono:

conteggi canale scintillatore: 37107

conteggi canale porta and: 37095

Poiché non esiste una rilevante differenza fra i due conteggi, si e' dedotto che la coincidenza non e' fonte di errore.

Le prove effettuate non hanno evidenziato difetti nelle apparecchiature esaminate, di conseguenza non è stato possibile stabilire le cause della discrepanza tra valore del flusso previsto e quello ottenuto.

STRUMENTAZIONE

La figura 18 rappresenta lo schema del sistema di misura adottato in questa esperienza mentre nel seguito verranno descritti nel dettaglio i vari moduli componenti

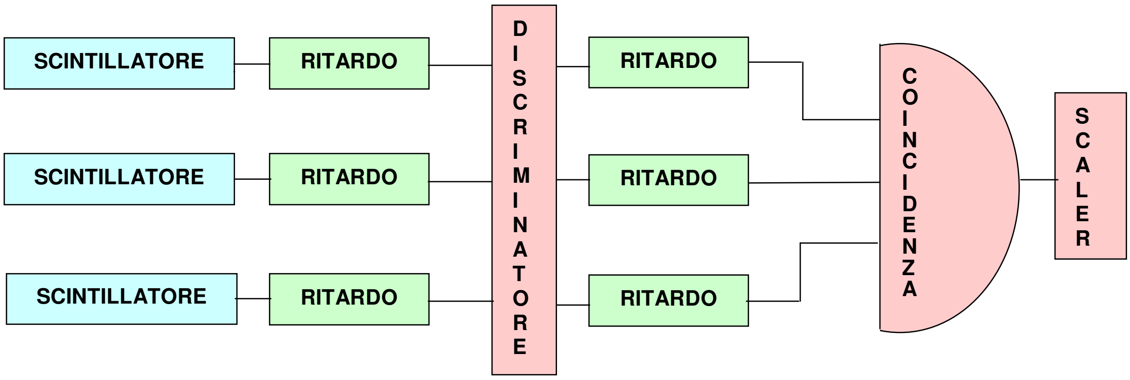


Fig. 18

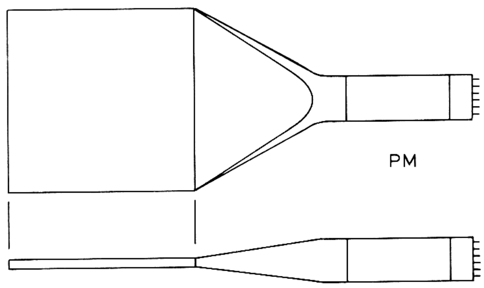


Fig. 19 Scintillatore accoppiato al fotomoltiplicatore tramite guida di

Scintillatore : È una lastra costituita da un materiale che possiede proprietà di *luminescenza*. Esso assorbe l'energia di radiazioni e particelle che lo attraversano e la riemette sotto forma di luce visibile. Per utilizzare lo scintillatore è necessario ricoprire la lastra con fogli di alluminio che rivestono una duplice funzione: schermare la lastra dalla luce esterna e consentire ai fotoni emessi di raggiungere tramite riflessioni multiple il fotomoltiplicatore, invece che disperdersi all'esterno. La luce emessa dallo scintillatore viene inviata al fotomoltiplicatore attraverso una guida di luce di plexiglass: l'indice di rifrazione del materiale è tale da consentire alla luce emessa dalla scintillazione di raggiungere il fotomoltiplicatore dopo un certo numero di riflessioni totali sulle pareti interne della guida.

Fotomoltiplicatore: È costituito da un catodo rivestito internamente di materiale fotosensibile che converte l'energia dei fotoni incidenti in elettroni per effetto fotoelettrico; da un fototubo contenente un sistema di elettrodi, i dinodi, alimentati a potenziali diversi che moltiplicano il numero di elettroni prodotti al catodo, da un anodo che raccoglie il segnale così amplificato. Un sistema ottico d'entrata posto tra i fotocatodo e fototubo consente di indirizzare il maggior numero di elettroni prodotti al catodo verso la superficie del primo dinodo. Il moto degli elettroni attraverso il fotomoltiplicatore viene controllato tramite il campo elettrico prodotto da alcuni elettrodi che li focalizzano e li accelerano verso il primo dinodo. Gli elettroni cedono parte della propria energia al dinodo, permettendogli un ulteriore emissione di elettroni, i quali a loro volta vengono accelerati verso il dinodo seguente, in cui il processo si ripete. La disposizione e la forma dei dinodi nella parte finale del fotomoltiplicatore si discosta da quella iniziale, in questa regione la geometria degli elettrodi deve consentire infatti di indirizzare verso l'anodo tutti gli elettroni prodotti per emissione secondaria dai dinodi. Il segnale in corrente così prodotto che si raccoglie all'anodo viene poi inviato ad un carico resistivo che lo trasforma in un segnale analogico.

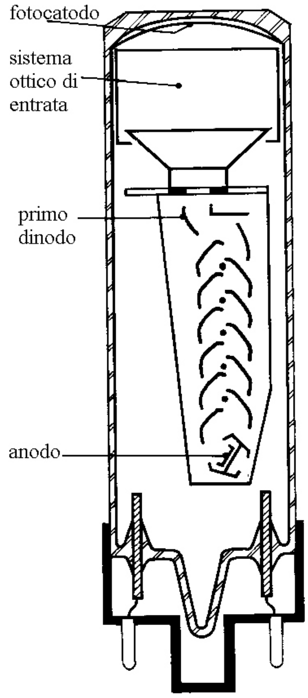


Fig. 20 Schema di un fotomoltiplicatore

Discriminatore: È un dispositivo che converte un segnale di input analogico in un segnale logico di ampiezza e durata arbitrarie, questo avviene solamente quando l'ampiezza del segnale in ingresso raggiunge o supera il valore di tensione di soglia scelto.

Coincidenza : Questa unità è in grado di determinare se due o più segnali logici sono simultanei: infatti genera un segnale logico positivo in uscita solo se la condizione di simultaneità è verificata (Fig.21). Il dispositivo effettua la somma dei segnali di *input* e solo se il segnale così ottenuto supera il potenziale di soglia dà un *output* positivo.

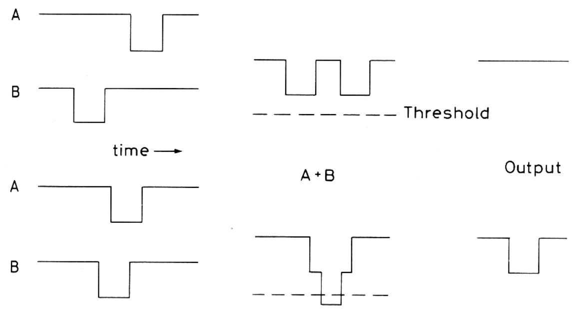


Fig. 21 Funzionamento logico della *COINCIDENZA*:

Delay : Permette di introdurre delle linee di ritardo tra un dispositivo e l'altro.

Scaler: È un contatore che consente di eseguire le misure di tempo e di conteggio dei raggi rilevati. Le misure di tempo vengono scandite da un orologio interno, mentre i conteggi vengono rilevati dal modulo *COINCIDENZA*.

Listato programma

```
PROGRAM COSMICI;

Uses crt;
var nomefile:string;
     cont:integer;
     teta:real;
     x1,y1,fi1:real;
     a1,b1,c:real;
     a: integer;
     b:real;
     f: text;
     angolo:real;
     s:real;
     tetamin,tetamax:real;
     ind:integer;
     istmin,istmax:array [1..20] of real;
     bin: array [1..20] of integer;
     i,ii:integer;
     i1:integer;
     num_scint,num_raggi,num_acc:integer;
     xx,yy,zz,lx,ly,xh,yh:array [1..40] of real;
     is: array [1..40] of boolean;
     iv: integer;
     ind2:integer;
     accettanza:real;
     sigmaa:real;
     AAA:real;
     fi:real;
     if_gauss,intersecatot:boolean;
     dev:real;
     commento:string;
     Sr:integer;
     tasto:char;
```

Dichiarazione variabili

```
function genera(estr:real):real;
begin
 genera:=random*estr;
end;
```

Funzione che genera un numero casuale fra 0 e un valore massimo definito estr.

```
function t:real;
begin
  t:=exp((ln(genera(1))/3));
end;
```

Funzione che genera la radice cubica di un numero casuale compreso fra 0 e 1.

Procedura che genera teta con distribuzione proporzionale a $\sin\theta*\cos\theta^2$ col metodo Hit or Miss.

```
procedure genera_teta2;
var teta1,fteta1,f2:real;
begin
  repeat
   begin
    teta1:=genera(pi/2);
    fteta1:=sqr(cos(teta1))*sin(teta1);
    f2:=genera(1);
     if f2<fteta1 then teta:=teta1;
   end;
  until f2<fteta1;
end;
```

Funzione che genera una gaussiana con media m e deviazione standard s.

```
function gauss(m,s:real):real;
var kk:real;
    jj:real;
    r:integer;
begin
 jj:=0;
  for r:=1 to 500 do
   begin
   kk:=random;
   jj:=jj+kk;
   end;
 gauss:=((jj-250)/(SQRT(500/12)))*s+M;
end;
```

In questa procedura sono memorizzati i dati relativi ai vari scintillatori.

```
 Procedure lettura_coordinate;
 begin
  xx[1]:=-3.0;
  yy[1]:=0;
  xx[2]:=17.0;
  yy[2]:=1.5;
  xx[3]:=0;
  yy[3]:=4.0;
  xx[4]:=0;
  yy[4]:=0;
  lx[1]:=85.0;
  ly[1]:=36.0;
  lx[2]:=31.0;
  ly[2]:=30.0;
  lx[3]:=63.0;
  ly[3]:=30.0;
  lx[4]:=15.5;
  ly[4]:=23.0;
  zz[1]:=0;
  zz[2]:=-34.0;
```

```
  zz[3]:=-64.0;
  zz[4]:=-93.0;
 end;
```

Procedura per immettere i dati relativi al sistema formato dagli scintillatori.

```
Procedure immetti_dati;
begin
 repeat
  begin
   clrscr;
   writeln('DATI SCINTILLATORI');
   write('numero scintillatori:= ');readln(num_scint);
   write('Scintillatore di riferimento numero '); readln(Sr);
    for i:=1 to num_scint do
     begin
       writeln('Immetere dati scintillatore ',i);
       write('Coordinata x del vertice di riferimento  xx',i,':= '); readln(xx[i]);
       write('Coordinata y del vertice di riferimento  yy',i,':= '); readln(yy[i]);
       write('Coordinata z del vertice di riferimento  zz',i,':= '); readln(zz[i]);
       write('Lunghezza lato parallelo all''asse x    lx',i,':= '); readln(lx[i]);
       write('Lunghezza lato parallelo all''asse y    ly',i,':= '); readln(ly[i]);
     end;
   write('Errore su ogni misura   dev:=  ');readln(dev);
   write('Numero raggi generati per il calcolo dell''accettanza ');readln(num_raggi);
   write('Numero di accettanze da calcolare ');readln(num_acc);
   write('Nome file dove verranno salvate le misure di accettanza ');readln(nomefile);
   write('Commento da aggiungere al file '); readln(commento);
   write('I dati sono corretti? S o N');
   repeat
    begin
     tasto:=readkey;
    end
   until ((tasto='s')or(tasto='S')or(tasto='n')or(tasto='N'));
  end;
 until ((tasto='s')or(tasto='S'));
end;
```

Procedura che visualizza i dati relativi al sistema.

```
procedure visualizza_dati;
begin
  clrscr;
  writeln('Le impostazioni correnti sono:');
  writeln('Numero degli scintillatori usati:= ',num_scint);
  writeln('Lo scintillatore di riferimento e'' il numero ',Sr);
  for i:=1 to num_scint do
     begin
       writeln('Dati scintillatore ',i);
       writeln('Coordinata x del vertice di riferimento  x',i,':= ',xx[i]);
       writeln('Coordinata y del vertice di riferimento  y',i,':= ',yy[i]);
       writeln('Coordinata z del vertice di riferimento  z',i,':= ',zz[i]);
       writeln('Lunghezza lato parallelo all''asse x    lx',i,':= ',lx[i]);
```

```
    writeln('Lunghezza lato parallelo all''asse y    ly',i,':= ',ly[i]);
    tasto:=readkey;
   end;
  writeln('L''errore su ogni misura e'' ',dev);
  writeln('Per il calcolo dell''accettanza verranno generati ',num_raggi,' raggi cosmici');
  writeln('Il calcolo dell''accettanza verra'' ripetuto ',num_acc,' volte');
  writeln('Le misure di accettanza verranno salvate nel file ',nomefile);
  writeln('Al file verra'' aggiunto il seguente commento ',commento);
end;
```

In questa procedura vengono definiti il nome del file su cui verranno salvati le varie accettanze calcolate, la deviazione standard utilizzata per le misure degli scintillatori, il numero di accettanze da calcolare, il numero di raggi cosmici da simulare, il numero di scintillatori, lo scintillatore di riferimento e un commento per identificare il file.

```
procedure leggi_variabili;
begin
 nomefile:='Acc05.ist';
 dev:=0.5;
 num_acc:=2000;
 num_raggi:=1000;
 num_scint:=3;
 Sr:=1;
 commento:='primo scintillatore/0.5/3 in coincidenza';
end;
```

Procedura che calcola l'intersezione del raggio cosmico generato (con θ generato col metodo Hit or Miss) coi piani contenenti i vari scintillatori e definisce intersecatot= true se il raggio interseca tutti gli scintillatori, false altrimenti.

```
Procedure interseca;
  begin
   intersecatot:=true;
    for iv:=1 to num_scint do
      begin
       xh[iv]:=(-zz[iv]+zz[1])*(sin(teta)/cos(teta))*cos(fi)+xh[1];
       yh[iv]:=(-zz[iv]+zz[1])*(sin(teta)/cos(teta))*sin(fi)+yh[1];
        if ((xh[iv]>xx[iv]) and (xh[iv]<xx[iv]+lx[iv])) then
         begin
          if ((yh[iv]>yy[iv]) and (yh[iv]<yy[iv]+ly[iv])) then is[iv]:=true;
         end;
          if iv=sr then is[iv]:=true;
          intersecatot:=(intersecatot and is[iv]);
      end;
  end;
```

Procedura che, (generando cosθ), calcola l'intersezione del raggio cosmico coi piani contenenti i vari scintillatori e definisce intersecatot= true se il raggio interseca tutti gli scintillatori, false altrimenti.

```
Procedure interseca2;
  begin
   intersecatot:=true;
    for iv:=1 to num_scint do
      begin
       xh[iv]:=(-zz[iv]+zz[1])*(sqrt(1-sqr(t))/t)*cos(fi)+xh[1];
       yh[iv]:=(-zz[iv]+zz[1])*(sqrt(1-sqr(t))/t)*sin(fi)+yh[1];
        if ((xh[iv]>xx[iv]) and (xh[iv]<xx[iv]+lx[iv])) then
```

```
begin
          if ((yh[iv]>yy[iv]) and (yh[iv]<yy[iv]+ly[iv])) then is[iv]:=true;
         end;
          if iv=sr then is[iv]:=true;
          intersecatot:=(intersecatot and is[iv]);
       end;
    end;
```

Inizio programma

```
begin
clrscr;
randomize;
leggi_variabili;
lettura_coordinate;
visualizza_dati;
writeln('Modificare dati correnti? S o N');
repeat
 begin
  tasto:=readkey;
 end
until ((tasto='s')or(tasto='S')or(tasto='n')or(tasto='N'));
clrscr;
If ((tasto='s')or (tasto='S')) then immetti_dati;
Writeln('INIZIO CALCOLO ACCETTANZA');

cont:=0;
Assign(f,nomefile);
rewrite(f);
writeln(f,commento);
repeat
 begin
 cont:=cont+1;
 ind:=0;
 ind2:=0;

repeat
  begin
   lettura_coordinate;
   ind:=ind+1;

   iv:=0;
   for iv:=1 to num_scint do
   begin
   is[iv]:=false;
   end;
```

variabile che true considera le misure inerenti agli scintillatori come gaussiane.

```
    if_gauss:=true;
```

```
    if  if_gauss=true then
     begin
      for iv:=1 to num_scint do
      begin
      xx[iv]:=xx[iv] +gauss(0,dev);
      yy[iv]:=yy[iv] +gauss(0,dev);
      zz[iv]:=zz[iv] +gauss(0,dev);
      lx[iv]:=lx[iv] +gauss(0,dev);
      ly[iv]:=ly[iv] +gauss(0,dev);
      end;
     end;
```

generazione di φ, θ, x e y.

```
   fi:=genera(2*pi);
   genera_teta;
   xh[1]:=xx[1]+genera(lx[1]);
   yh[1]:=yy[1]+genera(ly[1]);

   interseca;

   if intersecatot=true then ind2:=ind2+1;
  end;
until ind=num_raggi;
```

Calcolo dell'accettanza.

```
accettanza:=ind2/ind;
WriteLn(f,accettanza);

writeln('accettanza',cont,'=',accettanza);
end;

until cont=num_acc;
Close(f);
writeln('FINE PROCESSO');
repeat until keypressed
END.
```

Bibliografia

Autore	Titolo
W. R. Leo	*Tecniques for nuclear and particle phisics experiments*
	The European Phisical Journal C *Vol. 3 - N° 1-4 anno 1998 pp. 1-794*