

RELAZIONE DI
LABORATORIO DI FISICA IV
21/05/2002

Analisi dello spettro di uno scintillatore plastico spesso in un esperimento per il calcolo della vita media dei μ

S. Bianco, V. Boschi

*Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali
Corso di laurea in Fisica
Università degli studi di Pisa*

Abstract

È riportata una breve introduzione sulla misura della vita media dei μ tramite l'apparato a disposizione, evidenziando le difficoltà connesse con l'utilizzo di due differenti tecniche per la suddetta stima. Si passa successivamente ad una analisi dello spettro in energia di un plastico scintillatore spesso in varie configurazioni, al fine di stimarne la sensibilità nella rilevazione dei raggi cosmici.

1 Introduzione

1.1 I muoni

L'interazione della radiazione cosmica, che colpisce continuamente il nostro pianeta, con l'atmosfera provoca una lunga e ramificata successione di trasformazioni: così, particelle cosmiche che colpiscono nuclei d'aria, li spaccano e, se sono composte, si disintegrano loro stesse. Il cammino della particella nel gas atmosferico è direttamente dipendente dall'intensità iniziale del fascio incidente, I_0 , e si parametrizza attraverso la quantità λ , definita come *cammino libero medio* della particella prima dell'interazione con un nucleo del mezzo, secondo la formula:

$$I = I_0 e^{-\frac{x}{\lambda}} \quad (1.1)$$

dove I è l'intensità del fascio dopo avere percorso un cammino x nel mezzo. Lo spessore dell'atmosfera è, in queste unità di misura, $x \simeq 1000 \text{ g/cm}^2$; λ per i protoni è $\lambda_p \simeq 70 \text{ g/cm}^2$, per le particelle α , $\lambda_\alpha \simeq 25 \text{ g/cm}^2$, e questo valore decresce per particelle più pesanti. È quindi evidente che la probabilità che, ad es., un protone giunga sulla superficie terrestre è:

$$P \propto e^{-\frac{1000}{70}} \simeq 10^{-7} \quad (1.2)$$

il che significa che su 10 milioni di protoni, uno solo riesce ad arrivare al livello del mare. Quindi praticamente tutti i protoni interagiscono con l'atmosfera perdendo energia per ionizzazione e formando altre particelle.

Questo tipo di reazioni porta nella maggior parte dei casi alla formazione di π^\pm e di π^0 . Dei π carichi una parte interagisce nuovamente con l'atmosfera, mentre quelli che non fanno in tempo ad interagire decadono in μ^\pm e neutrini ν . Al livello del mare, la parte più importante della radiazione cosmica residua sono proprio i μ .

2 Propositi dell'esperimento

Scopo originario di questo esperimento era verificare tramite l'apparato a nostra disposizione il valore noto della vita media dei μ :

$$\tau_\mu = 2,2 \times 10^{-6} \text{ s.}$$

A causa di problemi connessi all'elettronica (vedi in proposito il par. 5) non è stato possibile completare con successo tale stima. La nostra attenzione si è così spostata allo studio dello spettro rivelato, in varie configurazioni, da uno spesso plastico scintillatore, triggerato da altri tre scintillatori plastici, posti parallelamente

a questo, ma di dimensioni differenti. In aggiunta a ciò si è anche realizzata una curva di assorbimento (*curva di Rossi*) al variare dello spessore di uno schermo di piombo al fine di mettere in evidenza la presenza all'interno della radiazione cosmica al livello del mare di una componente più energetica (*dura*) ed una meno energetica (*morbida*).

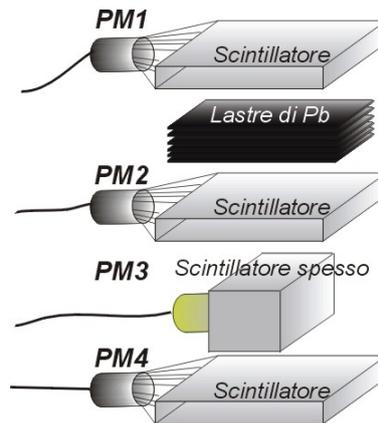


Figura 2.1: Schema dell'apparato

3 La strumentazione

A disposizione per l'esperimento abbiamo tre plastici scintillatori (PM₁, PM₂, PM₄) di forma rettangolare, piatti ($0.2 \times 0.4 \times 0.01$ m) ed un plastico scintillatore (PM₃), sempre di forma rettangolare, di sezione minore ma più spesso ($0.15 \times 0.3 \times 0.15$ m). Sono disponibili anche delle unità di ritardo (*delay*), un discriminatore veloce, una coincidenza, una unità dual timer, un linear gate, uno scaler, un contatore multicanale, un low-noise pre-amplifier ed un amplificatore¹. Avevamo, inoltre, tra gli strumenti necessari alla stima della vita media dei μ , anche una unità TAC.

3.1 Il plastico scintillatore "spesso"

Menzione a parte nella strumentazione merita questo plastico scintillatore. Differisce notevolmente dagli altri per le sue dimensioni, che però sono funzionali allo scopo: è infatti utilizzato per "far morire" al suo interno i raggi cosmici di energia minore. Altra caratteristica importante è la sua superiore velocità di risposta rispetto agli altri².

¹Per le caratteristiche delle unità di coincidenza, del discriminatore e dello scaler, nonché per le generalità sugli scintillatori e le guide d'onda rimandiamo alla relazione sull'esperimento "Studio del flusso dei raggi cosmici tramite un rivelatore a scintillazione" di S. Bianco e V. Boschi.

²A tal proposito si veda il par. 4.

3.2 Il delay

Questo apparecchio è in grado di ritardare il segnale che vi si manda in ingresso di un tempo noto, regolabile tramite una serie di switch posti sulla parte frontale; può fornire ritardi da 2,5 a 66 ns. È stato utilizzato per mettere i segnali in coincidenza all'uscita del discriminatore.

3.3 Il linear gate

Questo strumento (mod. FE – 281) ha la funzione di fare sì che un segnale in ingresso giunga all'uscita comandato da un gate esterno. Caratteristica essenziale di questo apparecchio è che esso non modifica la forma del segnale in ingresso se non aggiungendogli una base costante (*pedistallo*), da cui il nome "linear gate". L'altezza di questo piedistallo può comunque essere regolata tramite una vite potenziometrica posta sulla facciata. Questo apparecchio è stato utilizzato esclusivamente nella parte di analisi dello spettro.

3.4 Il dual timer

Questa unità dual timer (mod. 2255A INFN) consiste di due timing unit, le quali possono operare singolarmente o essere usate come trigger l'una dell'altra. Il principio di funzionamento della timing unit è il seguente: il segnale in ingresso (START) apre un gate la cui dimensione temporale è variabile e può essere settata dall'esterno tramite due manopole; l'uscita del segnale così prodotta può, come detto, essere usata per azionare direttamente il gate della seconda unità. In questo modo, settando opportunamente le dimensioni delle finestre, si può fare in modo di aprire una finestra dopo un tempo, regolabile, deciso a priori³.

3.5 Il time-to-amplitude converter (TAC)

Il TAC è uno strumento che converte l'informazione temporale contenuta in un segnale in informazione sull'ampiezza di impulso del segnale stesso. Il funzionamento di questo apparecchio si basa sull'analisi della differenza temporale di due segnali in ingresso (*start* e *stop*). Esso è in pratica formato da un condensatore carico collegato ai segnali di start e stop: quando arriva lo start il condensatore inizia a scaricarsi, finché non giunge il segnale di stop. La carica totale che il condensatore rilascia crea un segnale in uscita di altezza proporzionale alla differenza di tempo tra start e stop.

Questo strumento è stato utilizzato esclusivamente nella parte riguardante la stima della vita media.

³Questa configurazione sarà utilizzata per il metodo delle coincidenze ritardate (vedi par. 5.2.)

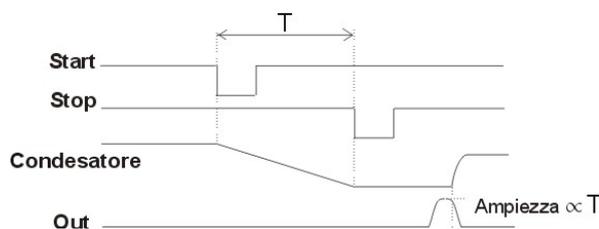


Figura 3.1: Schema di funzionamento del TAC

3.6 Il pre-amplificatore

Scopo fondamentale del pre-amp (Canberra mod. *TC – 145*) è quello di amplificare il segnale in ingresso con il più basso rumore possibile. Viene utilizzato accoppiato ad un altro amplificatore di tensione in maniera tale da ridurre, tramite un condensatore la cui capacità può essere controllata da una manopola, il rumore provocato da eventuali fluttuazioni del segnale di ingresso.

3.7 L'amplificatore

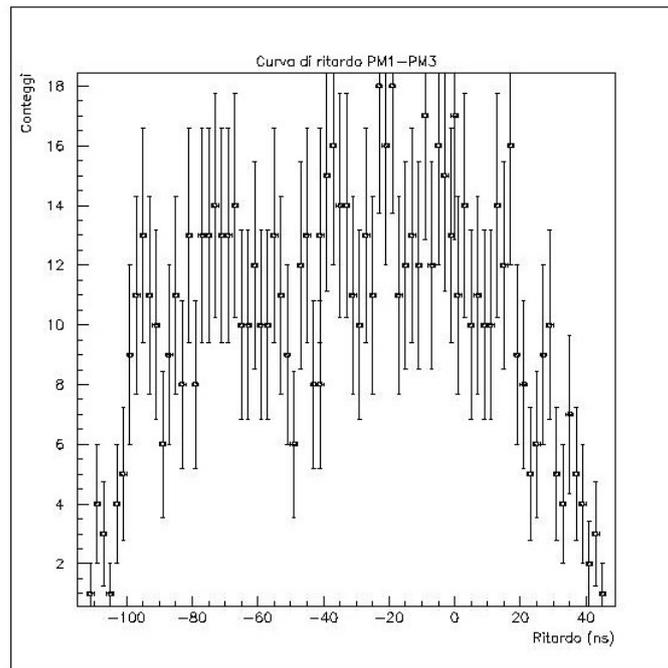
Il segnale prodotto dal pre-amp viene inviato direttamente all'amplificatore (Canberra mod. 241). Quest'ultimo amplifica il segnale di un fattore regolabile tra 10 e 500 volte e lo forma come una gaussiana.

3.8 Il contatore multicanale

Lo strumento in questione è stato utilizzato per la lettura dei dati in uscita sia dal TAC nella prima parte dell'esperimento che dall'amplificatore nella seconda. È formato in pratica da un ADC, il quale converte il segnale analogico in ingresso in un segnale digitale proporzionale all'ampiezza dell'ingresso. Il segnale digitale così ottenuto viene "scritto" in una porzione di memoria (*canale*). Questo processo viene successivamente visualizzato sul monitor di un Pc per mezzo di un software di acquisizione dati, il PCAE. Caratteristica fondamentale di questo programma è la possibilità di salvare l'output del MCA in formato ASCII, il quale può essere facilmente analizzato tramite PAW.

4 Settaggi preliminari

Prima di iniziare le misure è stato necessario mettere in tempo il segnale dei quattro PM poiché essi dovevano essere successivamente usati in coincidenza. Si sono così realizzate delle curve di ritardo (o curve di cavo, vedi fig. 4.1), dalle quali si nota in maniera evidente la superiore velocità di risposta del PM₃ rispetto agli altri. Queste curve sono state realizzate utilizzando i valori del voltaggio, della

Figura 4.1: Curva di cavo PM₁-PM₃

soglia e della larghezza di segnale per i PM riportati nella tab. 1. Riportiamo inoltre qui di seguito il grafico di una delle curve.

	PM ₁	PM ₂	PM ₃	PM ₄
V (Volts)	1575	1645	1750	1545
Thr (mV)	39	39	39	39
Wdt (ns)	80	80	80	80

Tabella 1: Settaggi iniziali

5 Vita media dei μ

Come detto, il nostro esperimento aveva inizialmente lo scopo di verificare il valore noto della vita media dei μ . Per fare questo si sono utilizzati gli strumenti in due setup differenti: il primo prevedeva che l'uso degli scintillatori in regime di anticoincidenza comandasse il TAC, mentre il secondo apriva, tramite un dual timer, finestre di gate ritardate rispetto al segnale dell'anticoincidenza (*coincidenze ritardate*). Entrambi questi metodi non hanno però fornito i risultati sperati. Analizziamoli brevemente in dettaglio.

5.1 Anticoincidenza con il TAC

Questo procedimento prevede l'utilizzo di un segnale di anticoincidenza $PM_1 \times PM_2 \times PM_3 \times \overline{PM_4}$ come START del TAC. Lo STOP è dato dal segnale del solo PM_3 . In questo modo ci assicuriamo infatti che il nostro sistema "veda" un μ che decade e si ferma nello scintillatore spesso. L'uscita del TAC viene inviata all'analizzatore multicanale, che disegna la curva di decadimento. Da questa è infine possibile ricavare la vita media.

Il problema che abbiamo riscontrato è che il TAC in uscita non invia alcun segnale. Questo effetto è probabilmente causato dalla elevata velocità di risposta del PM. Abbiamo osservato, infatti, tramite un oscilloscopio analogico, che lo scintillatore spesso crea delle "ripartenze", ossia vede segnali doppi per uno stesso evento, ma temporalmente distinti. È probabilmente questo che causa l'inibizione del meccanismo di START-STOP dell'apparecchio.

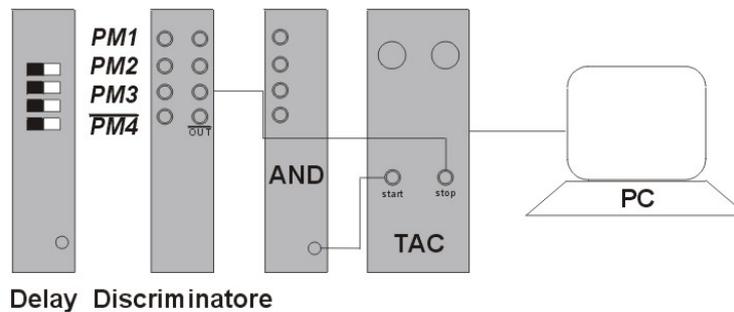


Figura 5.1: Setup della misura della vita media con il TAC

5.2 Metodo delle "coincidenze ritardate"

Questa tecnica si basa sull'applicazione diretta della legge del decadimento:

$$N = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (5.1)$$

È stato per questo necessario l'utilizzo di una unità dual timer come delayer del segnale: i PM sono nuovamente in regime di anticoincidenza $PM_1 \times PM_2 \times PM_3 \times \overline{PM_4}$; una delle uscite dell'AND che realizza ciò viene inviata direttamente allo scaler, permettendoci in questo modo di fissare il valore N_0 . Il valore N sarà invece ottenuto mediante il seguente setup: un'altra uscita dell'AND viene inviata in ingresso alla prima delle timing unit del dual timer. In tal modo verrà aperto un gate di durata variabile e regolabile che fornirà il nostro t . L'uscita della prima timing unit funge da START per la seconda, aprendo un gate, di larghezza questa volta fissata di $200ns$. L'OUT giungerà ad un altro AND, insieme al segnale del

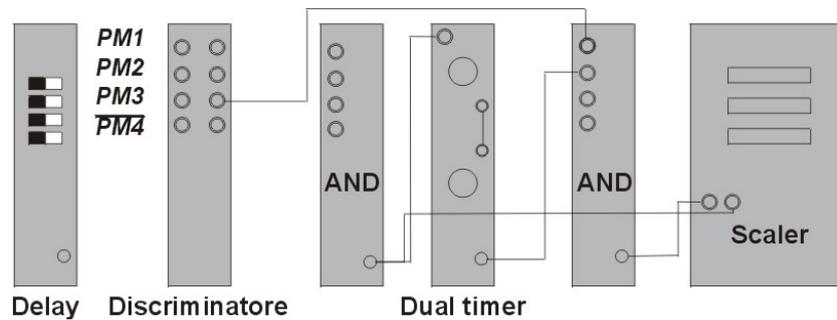


Figura 5.2: Setup delle coincidenze ritardate

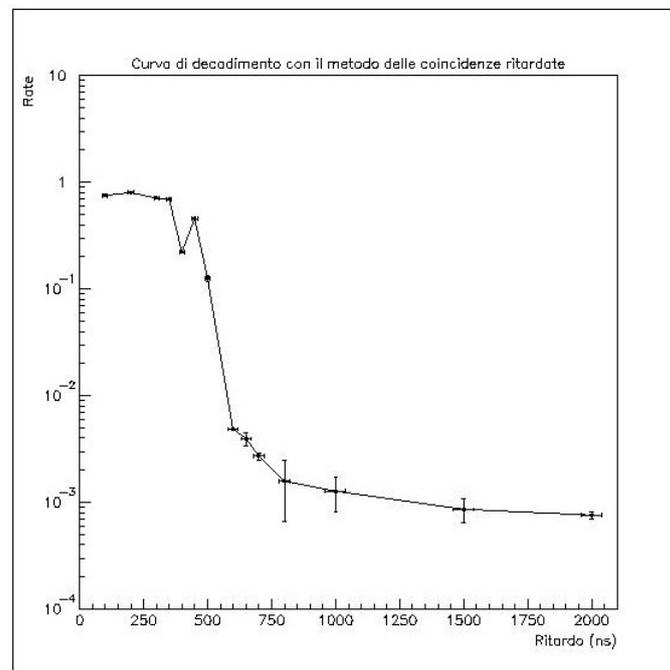


Figura 5.3: Curva di decadimento con il metodo delle coincidenze ritardate

PM₃. Il conteggio di questa coincidenza fornisce il valore di N. Anche in questa circostanza il risultato non è confortante (si veda la fig. 5.3): dovrebbe essere infatti possibile fittare la curva ottenuta con una retta, dalla cui pendenza ricavare la vita media. Il grafico non evidenzia un andamento compatibile con il risultato atteso. Tutto ciò che è stato riportato in questo e nel precedente paragrafo ci ha definitivamente convinti a tralasciare questo tipo di analisi. Abbiamo ritenuto opportuno, infatti, tentare di studiare il comportamento dello scintillatore spesso, per creare un sistema di filtri di rumore ed elaborare tagli funzionali alle grandezze

caratteristiche.

6 Analisi dello spettro dello scintillatore spesso

Questa parte dell'esperimento prevedeva la visualizzazione diretta dello spettro in energia del PM₃ tramite la scheda di acquisizione ADC collegata al computer. Si è reso necessario l'utilizzo di un sistema di amplificazione del segnale, altrimenti non facilmente visibile, consistente in un charge-preamplifier ed un voltage-amplifier in serie. Quest'ultimo è in grado di fornire una forte amplificazione (fino a 500 volte) dell'ingresso, mentre la funzione del pre è di limitare il rumore in ingresso all'amp. Prima di arrivare al pre, il segnale passava attraverso una unità linear gate, il cui gate è stato scelto volta per volta, per assicurare solo segnali fisicamente importanti.

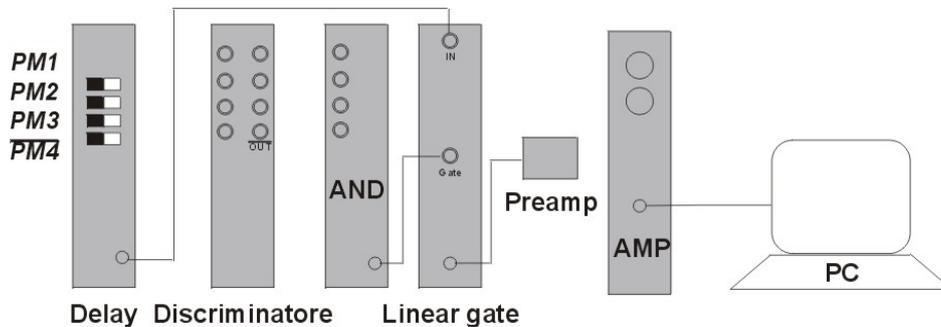


Figura 6.1: Setup per l'analisi dello spettro

6.1 Calibrazione del programma di acquisizione dati

Affinché l'analisi dello spettro del PM₃ avesse un significato fisico concreto è stata effettuata una calibrazione del programma di acquisizione dati PCAE tramite sorgenti di ⁶⁰Co e di ¹⁰⁷Ru di attività nota. Una volta annotata la posizione dei picchi è stato possibile fissare una scala in energia tramite il confronto dell'energia di emissione delle sorgenti con il grafico. Si è ottenuto:

$$1\text{MeV} = 30 \text{ canali} \quad \text{Amp@50}$$

Bisogna tuttavia precisare che vi è una grossa incertezza in questo procedimento, insita nella notevole componente di noise dovuto all'elettronica. Ci sembra ragionevole valutare quest'ultima in almeno il 10% del valore ottenuto.

6.2 Curva di assorbimento

Data la presenza nell'apparato sperimentale di una serie di lastre di piombo removibili è stato istruttivo realizzare una curva di assorbimento al fine di evidenziare la presenza di una componente "dura" ed una "morbida" nei raggi cosmici. Ogni lastra è spessa $5 \text{ mm} \pm 0.05$, le lastre sono 16 per un totale di 8 cm . Poichè lo spessore totale non supera i 10 cm non è stato possibile osservare la componente "dura". Si nota invece la presenza di un picco in uno spessore compreso tra 2.5 e 5 cm , che è consistente con la ipotesi di componente "morbida" a bassa energia.

6.3 Spettri in coincidenza e settaggi conclusivi

La prima prova effettuata è stata lo spettro di alcuni segnali in coincidenza doppia. Queste sono risultate, in un certo senso, misure "preliminari", poiché dovevano mostrare quale fosse il segnale dello scintillatore spesso con i settaggi iniziali. Dalla figura 6.3 si nota evidente il picco dell'elettronica a bassa energia mentre a fondo scala vi è un segnale drasticamente tagliato. Altri spettri analoghi (omessi) mostrano lo stesso tipo di comportamento. Una prima correzione ha riguardato quindi l'amplificazione, responsabile del taglio ad alta energia. Il valore di questo parametro è stato portato da 50 a 20. Tramite le coincidenze triple (es. fig. 6.3) abbiamo potuto verificare la bontà di questo primo taglio. Resta comunque il problema legato al picco a bassa energia. Utile in questo senso è stata l'analisi dello spettro del PM_3 triggerato solo da se stesso: abbiamo infatti potuto apprezzare, data la velocità della misura, la variazione della posizione di questo picco al variare della larghezza della finestra di gate e la diminuzione della sua altezza all'aumentare della soglia. Per questo abbiamo ridotto l'apertura della finestra di gate, portandola da $1 \mu\text{s}$ a 500 ns . Si è quindi trovato un settaggio che permettesse di visualizzare solo la fisica del processo. È stato inoltre necessario allargare il segnale in uscita dal discriminatore del PM_3 e del PM_4 in modo tale da alzare il rate dei conteggi, altrimenti notevolmente basso. I settaggi sono riportati qui di seguito:

	PM_1	PM_2	PM_3	PM_4
V (Volts)	1575	1645	1750	1545
Thr (mV)	39	39	60	39
Wdt (ns)	80	80	120	185

Tabella 2: Settaggi finali

Le ultime misure realizzate prevedevano l'uso di configurazioni di coincidenza ed anticoincidenza quadrupla con e senza la schermo e sono quelle fisicamente più interessanti. I risultati di questa analisi sono riportati nel par. 7.

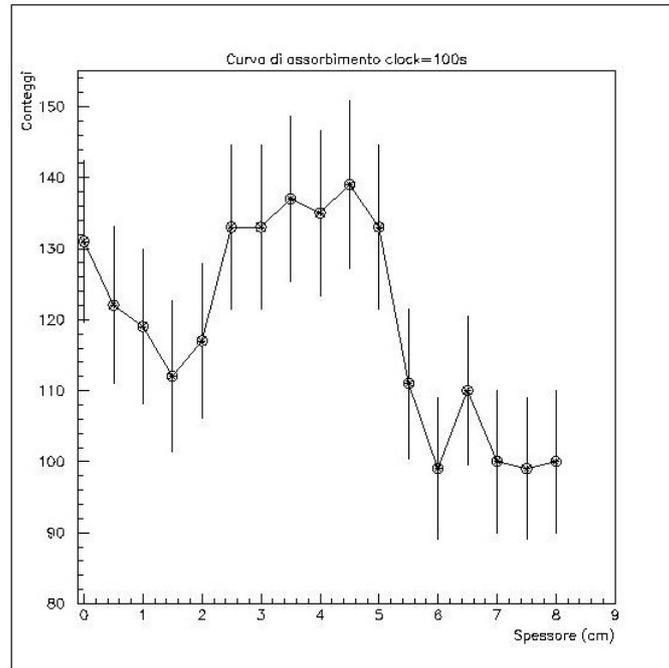


Figura 6.2: Curva di assorbimento

7 Conclusioni

La configurazione di anticoincidenza è, per costruzione, la più indicata per una stima dell'energia dei muoni. Se ipotizziamo che tale setup evidenzii esclusivamente particelle al minimum ionizing point, la perdita di energia per ionizzazione è di 2 MeV/cm , il che porta ad un valore teorico massimo per l'energia rilasciata all'interno dello spesso scintillatore di $E_t = 2 \cdot 15 (\text{MeV/cm}) \cdot \text{cm} = 30 \text{ MeV}$. Se osserviamo il grafico della anticoincidenza a quattro con lo schermo in Pb stimiamo che la posizione del picco è al canale $200 \pm 25 = 16.8 \pm 2 \text{ MeV}$, mentre se il Pb viene tolto l'energia del picco è stimata al canale $220 \pm 25 = 18.3 \text{ MeV} \pm 2 \text{ MeV}$. Si nota anche una leggera differenza nel rate dei conteggi, a favore dello spettro in cui c'è la lastra di Pb. La spiegazione di questo fenomeno può essere attribuita alla sciamatura dei raggi cosmici più energetici nel Pb. La formazione di particelle diverse dai μ a energia minore può aver sporcato leggermente il segnale: questo effetto si nota anche dalla presenza di un fondo a energie più basse, maggiore nel caso in cui si utilizza lo schermo.

Differente è invece il caso degli spettri in coincidenza quadrupla. Questi dovrebbero visualizzare il segnale delle particelle più energetiche che passano all'interno dello scintillatore spesso, lasciano energia ma non decadono. E' evidente che la statistica è troppo bassa per trarre conclusioni certe, nonostante il fatto che l'acquisizione in entrambi i casi sia durata oltre 24 ore. Su può però notare innanzitutto

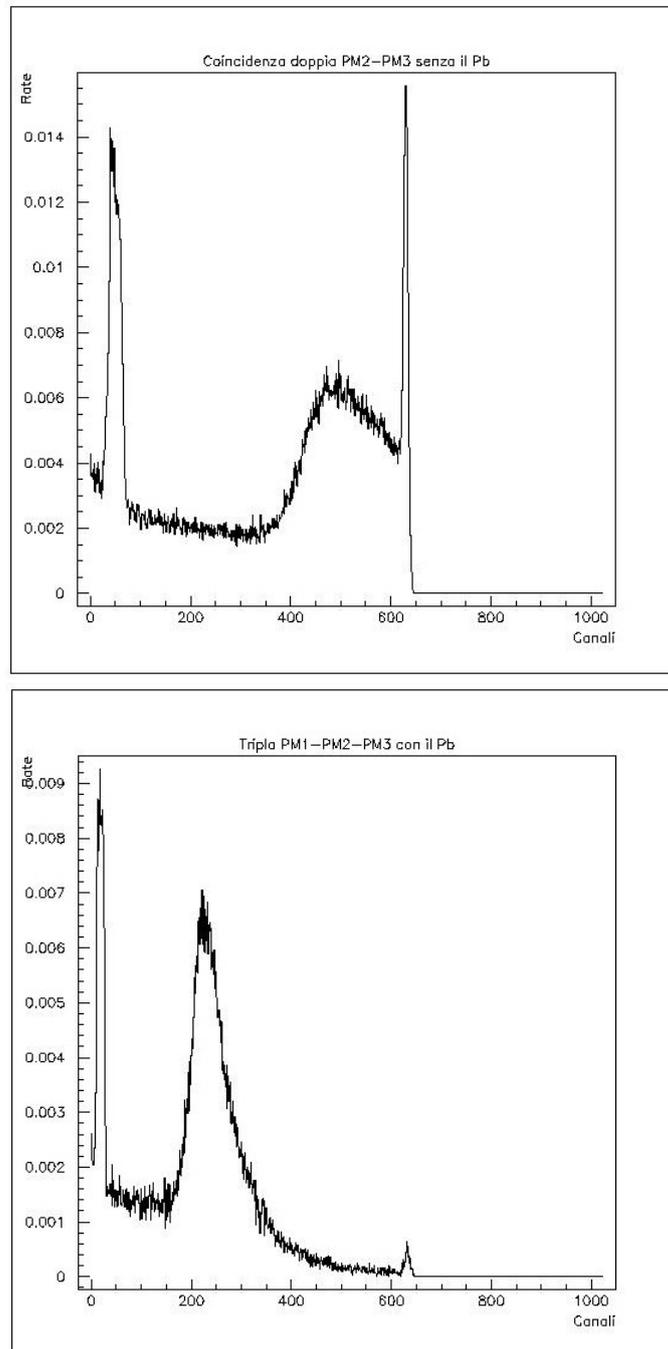


Figura 6.3: Coincidenze doppia PM_2 , PM_3 ($t = 75033s$) e tripla PM_1 , PM_2 , PM_3 con il Pb ($t = 54405s$)

che la situazione dei rate è invertita rispetto al caso precedente: i conteggi infatti sono minori se è presente lo schermo; questo risulta compatibile con la teoria. Per quanto riguarda l'energia è davvero difficile fare alcuna considerazione, anche se sembra che il picco si situi grossomodo nella stessa posizione osservata tramite l'anticoincidenza. Se questo fosse vero, potrebbe significare che i nostri tagli sui settaggi e sull'amplificazione riducono, sì, il noise, ma probabilmente influenzano negativamente la risoluzione in energia del plastico scintillatore spesso. Bisogna altresì fare una considerazione: per costruzione gli scintillatori plastici non rappresentano la scelta più efficiente per misure di spettri in energia. A questo scopo si utilizzano scintillatori inorganici, i quali presentano un maggiore 'stopping power' a causa del loro elevato Z e della loro maggiore densità.

7.1 Suggerimenti e ulteriori approfondimenti

Alla luce di quanto osservato nel nostro esperimento, per il futuro utilizzo di questo apparato per la stima della vita media dei μ , si possono dare i seguenti suggerimenti:

- è necessario effettuare un'analisi preliminare dell'elettronica tramite visualizzazione di spettri di coincidenza: le coincidenze doppie, ad es., permettono infatti di osservare in maniera semplice e relativamente veloce la rilevanza nella misura del noise dell'elettronica;
- risulta efficace la visualizzazione "in tempo reale" di come questo noise cambi al variare dei settaggi. Ciò può essere facilmente realizzato analizzando il segnale del PM_3 triggerato esclusivamente da sé stesso;
- la presenza dello schermo in Pb porta, di per sé, a considerare situazioni fisicamente interessanti, come la presenza di due componenti di energia differente all'interno della radiazione cosmica secondaria. La costruzione di una o più curve di assorbimento può risultare utile, a patto però che le dimensioni dello schermo in Pb siano aumentate o meglio ancora raddoppiate. In queste condizioni dovrebbe essere possibile osservare tale fenomeno fisico.

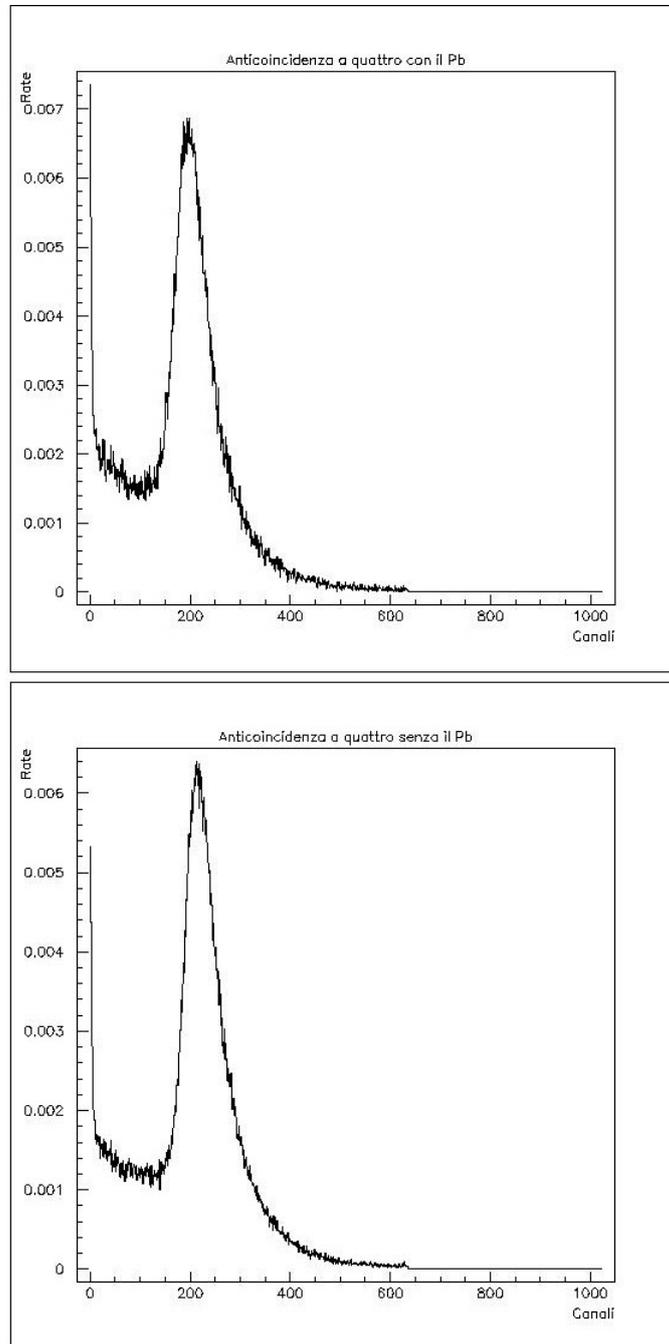


Figura 7.1: Spettro del segnale in anticoincidenza a quattro con ($t = 234494s$) e senza ($t = 94208s$) il Pb

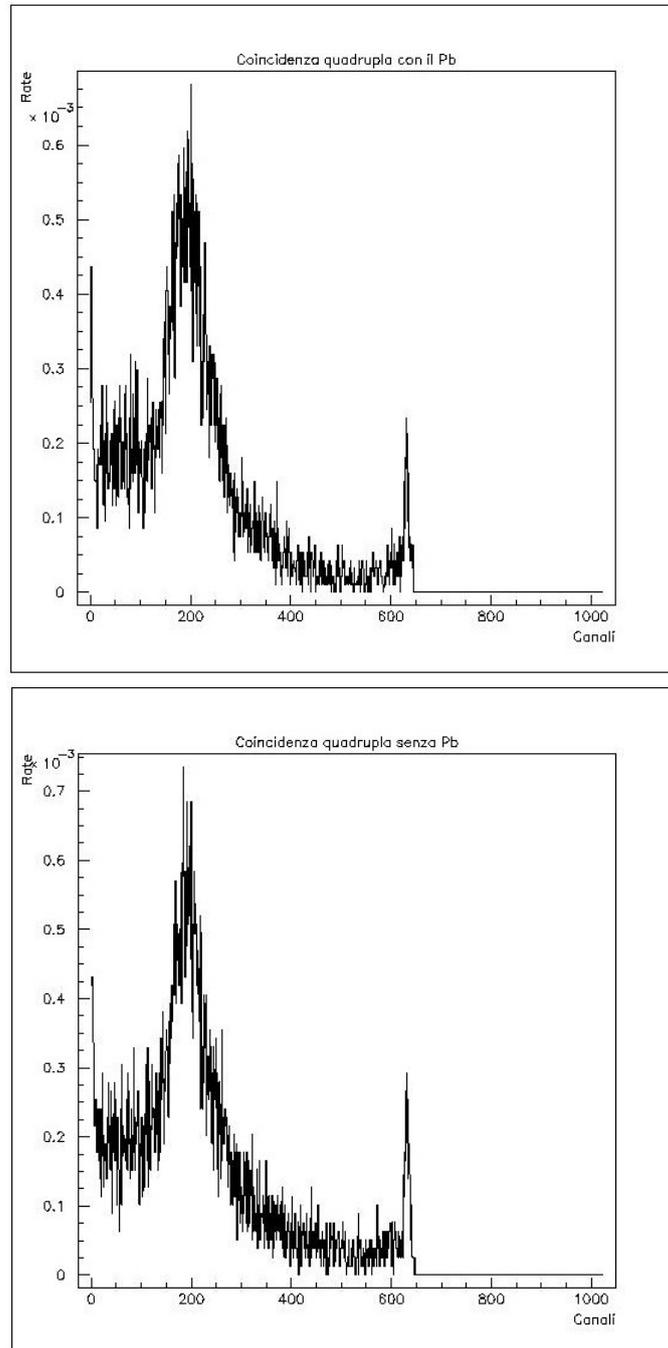


Figura 7.2: Spettro del segnale in coincidenza a quattro con ($t = 93916s$) e senza ($t = 78868s$) il Pb

Indice

1	Introduzione	2
1.1	I muoni	2
2	Propositi dell'esperimento	2
3	La strumentazione	3
3.1	Il plastico scintillatore "spesso"	3
3.2	Il delay	4
3.3	Il linear gate	4
3.4	Il dual timer	4
3.5	Il time-to-amplitude converter (TAC)	4
3.6	Il pre-amplificatore	5
3.7	L'amplificatore	5
3.8	Il contatore multicanale	5
4	Settaggi preliminari	5
5	Vita media dei μ	6
5.1	Anticoincidenza con il TAC	7
5.2	Metodo delle "coincidenze ritardate"	7
6	Analisi dello spettro dello scintillatore spesso	9
6.1	Calibrazione del programma di acquisizione dati	9
6.2	Curva di assorbimento	10
6.3	Spettri in coincidenza e settaggi conclusivi	10
7	Conclusioni	11
7.1	Suggerimenti e ulteriori approfondimenti	13