

Stage estivo 2002 – LNF

STUDIO DELLE PROPRIETA` DI UN RIVELATORE REALIZZATO CON FIBRE SCINTILLANTI

Studente: Germana Panattoni (Liceo Scientifico “Bruno Touschek”)

Tutore: Mario Anelli

I. Principali caratteristiche dei rivelatori di particelle

II. Principio di funzionamento di un contatore a scintillazione

- Il processo di scintillazione
- Tipi di scintillatori
- Collezione della fluorescenza e assemblaggio dello scintillatore

III. Fotomoltiplicatore

- Fotocatodo
- Moltiplicazione elettronica

IV. Fibre plastiche scintillanti

- Descrizione
- Propagazione della luce

V. Misure realizzate

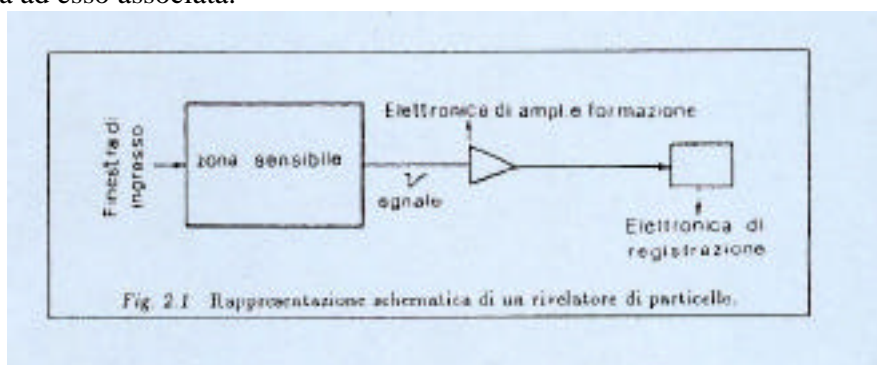
- Descrizione del setup sperimentale
- Lunghezza di attenuazione
- Plateau di soglia
- Plateau di conteggio
- Misure di carica

I. Principali caratteristiche dei rivelatori di particelle

I rivelatori di particelle sono degli apparati in grado di dare un segnale registrabile al passaggio di una particella al loro interno. Si possono dividere in due categorie:

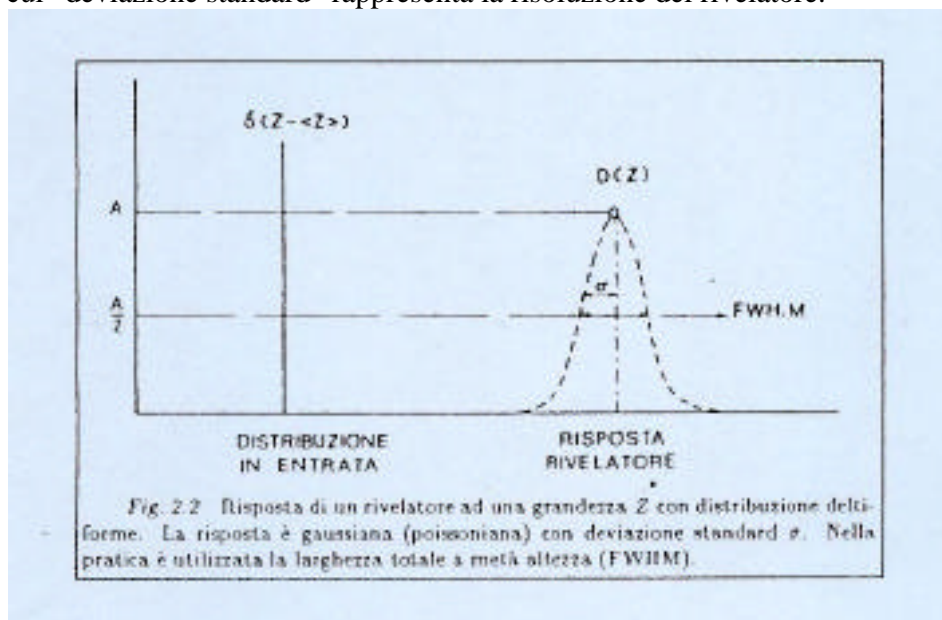
- rivelatori visualizzanti, in cui il passaggio della particella viene rivelato attraverso la visualizzazione della traccia che essa ha lasciato nel mezzo.
- rivelatori elettronici, il cui passaggio della particella viene rivelato attraverso un segnale elettrico conseguenza dei fenomeni provocati nel mezzo dalla particella stessa.

Il rivelatore (fig.2.1) risulta formato da una zona sensibile nella quale la particella interagisce producendo un segnale elettrico, le cui caratteristiche temporali dipendono dal tipo di rivelatore e dall'elettronica ad esso associata.



La valutazione di alcune caratteristiche del segnale prodotto dal rivelatore (ampiezza, tempo) permette di determinare il valore di alcune quantità (energia ceduta, istante di passaggio della particella) con una risoluzione propria del rivelatore.

La risposta z di un rivelatore ad un segnale in ingresso Z è distribuita secondo una curva gaussiana (fig.2.2), la cui "deviazione standard" rappresenta la risoluzione del rivelatore.



L'efficienza di un rivelatore è data dal rapporto $\epsilon = N_r / N_i$ in cui N_r rappresenta il numero di particelle segnalate dal rivelatore e N_i il numero di particelle incidenti sul rivelatore.

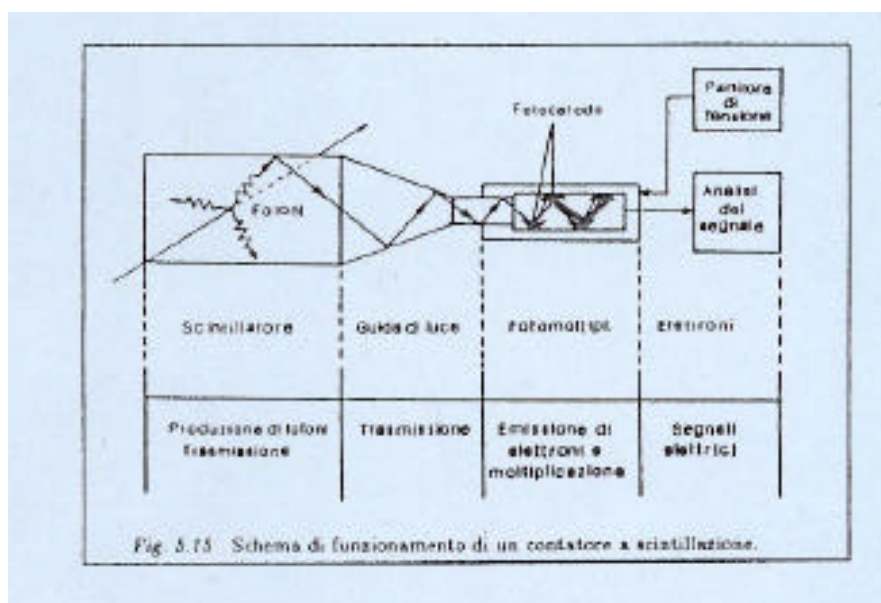
II. Principio di funzionamento di un contatore a scintillazione

Il processo di scintillazione

Gli scintillatori sono materiali capaci di emettere luce in tempi brevi in quantità proporzionale all'energia liberata al loro interno da una particella carica. La luce viene emessa a seguito della diseccitazione di atomi eccitati dall'interazione elettromagnetica con la particella carica.

Tipi di scintillatori

Gli scintillatori possono essere suddivisi in organici e inorganici: quelli organici, devono il fenomeno della fluorescenza alla struttura dei livelli energetici di una singola molecola, mentre quelli inorganici sono costituiti da cristalli contenenti dei centri di luminescenza dovuti ad impurità o difetti reticolari.



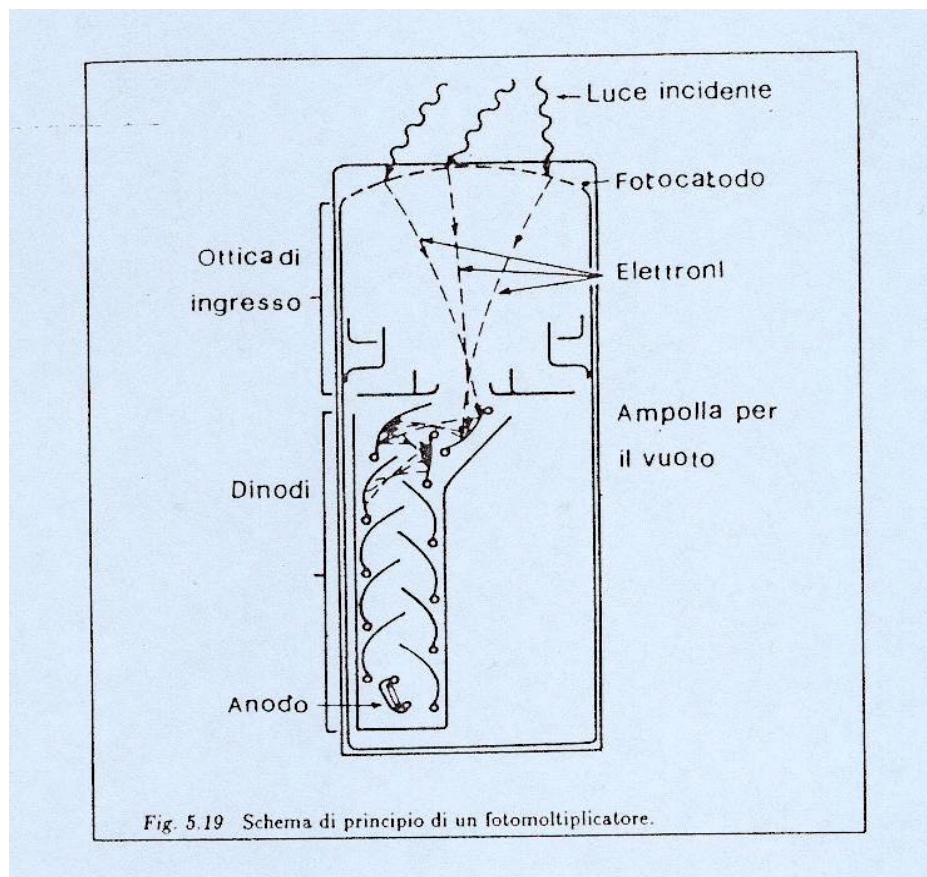
Collezione della fluorescenza e assemblaggio dello scintillatore

La luce emessa da uno scintillatore viene trasportata attraverso una guida di luce ad uno strumento detto fotomoltiplicatore, che genera un impulso elettrico le cui caratteristiche dipendono dal segnale luminoso prodotto al suo ingresso. L'insieme scintillatore - guida di luce - fotomoltiplicatore costituisce un contatore a scintillazione (fig.5.15). Poiché la luce di scintillazione è emessa isotropicamente, solo una parte di essa raggiunge direttamente la guida di luce; il resto la raggiunge solo dopo un certo numero di riflessioni. La luce che arriva al fotocatodo è perciò solo una frazione di quella emessa. Lo scintillatore viene accoppiato otticamente ad una guida di luce che ha lo scopo di raccordare una superficie dello scintillatore con quella del fotomoltiplicatore, considerando che la luce trasmessa non può mai superare il rapporto tra la superficie d'uscita e quella di ingresso.

III. Fotomoltiplicatore

Il fotomoltiplicatore (fig.5.19) è racchiuso in un' ampolla di vetro, che contiene:

- un fotocatodo: materiale semitrasparente fotosensibile capace di emettere elettroni quando viene colpito dalla luce;
- un' ottica di ingresso: un insieme di elettrodi che coinvolgono gli elettroni emessi dal fotocatodo sul primo dinodo;
- dinodi: serie di elettrodi a tensione crescente capaci di provocare l'emissione di altri elettroni, definiti per questo elettroni secondari;
- un anodo: l'ultimo elettrodo che raccoglie gli elettroni creati durante il processo lungo il tubo



Il processo di moltiplicazione secondaria, dovuto all'emissione secondaria degli elettroni, permette un'amplificazione interna del segnale. La struttura del fotocatodo è realizzata in modo da ottenere la massima efficienza di conversione per i fotoni.

Se indichiamo con n il numero di fotoelettroni prodotti dal fotocatodo, con d il numero di dinodi e con K il coefficiente di moltiplicazione per emissione secondaria, il numero di elettroni che raggiungono l'anodo è nK^d .

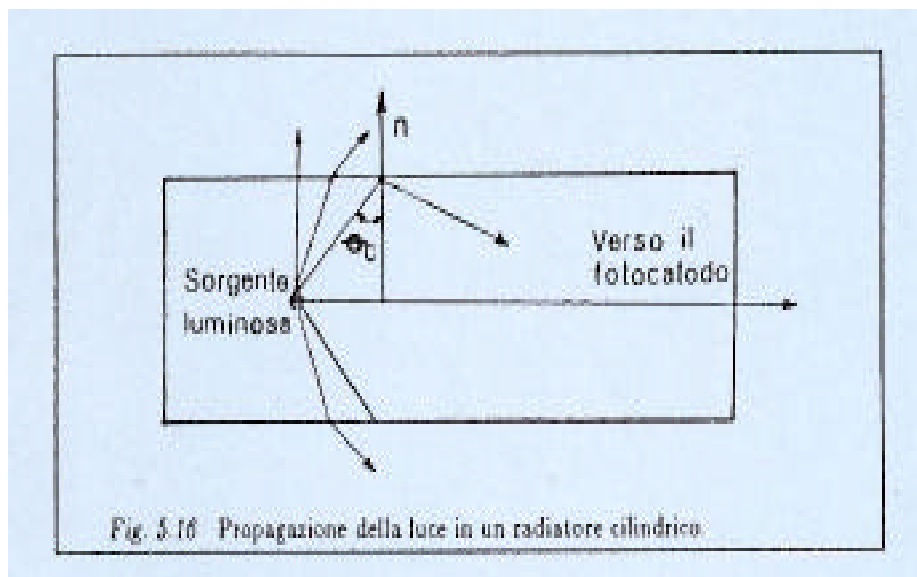
IV. Fibre plastiche scintillanti

Descrizione

Uno scintillatore puo` essere realizzato utilizzando delle fibre scintillanti. La fibra scintillante e` un materiale plastico opportunamente “drogato” con dei cristalli. E` costituita da un nucleo interno chiamato “core” e da un materiale trasparente denominato “cladding”. Il cladding ha indice di rifrazione n_2 di poco inferiore a quello del core n_1 . Nel nostro caso $n_1= 1,6$; $n_2= 1,5$.

Propagazione della luce

La propagazione della luce nella fibra scintillante avviene nel core. Poiche` l'indice di rifrazione n_1 del core e` maggiore di quello del cladding n_2 l'angolo di incidenza sulla superficie di separazione tra core e cladding deve essere maggiore dell'angolo limite. Infatti, in questo modo, il raggio subisce una riflessione totale e si propaga nel core per riflessioni multiple, procedendo con un cono di circa 21° . Se l'angolo di incidenza fosse inferiore a quello limite si avrebbe rifrazione nel cladding e una piccola parte del fascio luminoso si diffonderebbe nel cladding stesso, mentre un'altra si disperderebbe verso l'esterno.



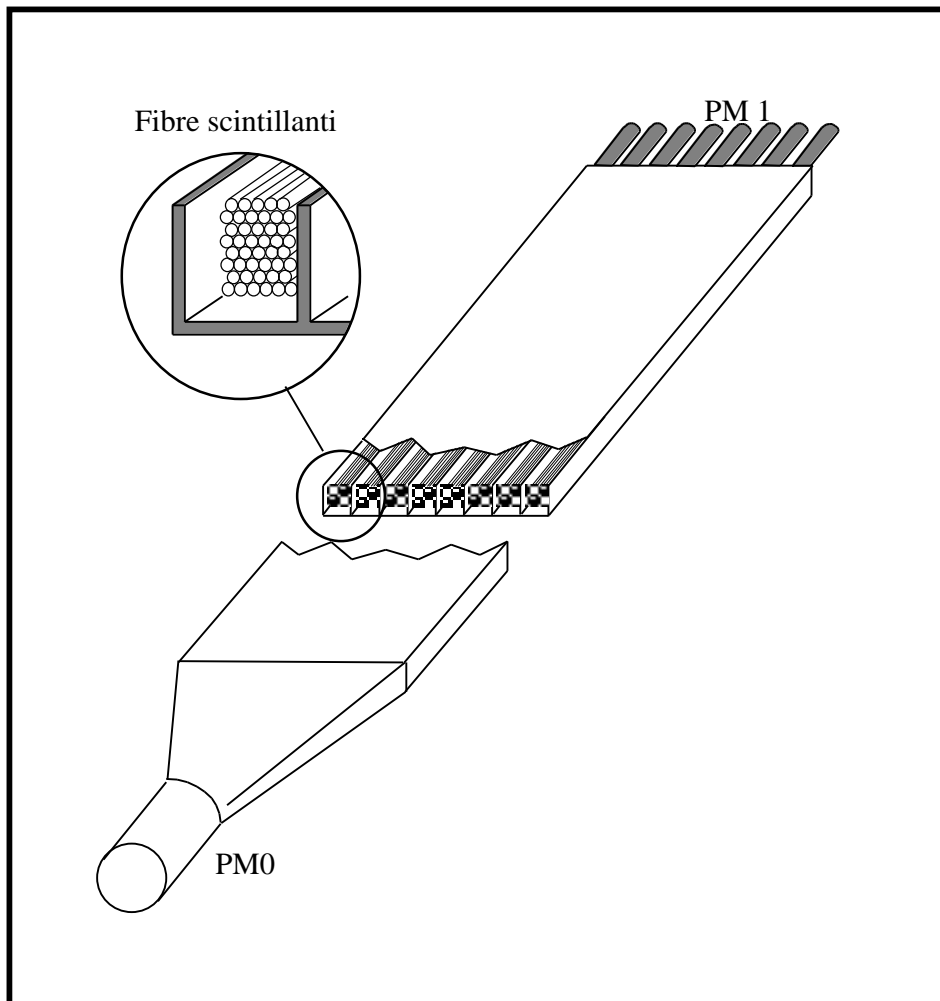


Fig.1 Contatore a fibre scintillanti

V. Misure realizzate

Descrizione del setup sperimentale

Nella nostra misura abbiamo utilizzato un rivelatore suddiviso in otto canali a fibre scintillanti aventi una sezione di $2 \times 2 \text{ cm}^2$ costituiti ognuno da circa 150 fibre di 1 mm di diametro.

Il contatore è stato ricoperto da un foglio di alluminio per evitare infiltrazioni di luce dall'esterno. La lunghezza delle fibre è di 350 cm per una larghezza totale di 16 cm. Da un lato tutte le fibre sono state connesse ad un fotomoltiplicatore PM0 sul cui fotocatodo abbiamo posto del grasso ottico avente lo stesso indice di rifrazione delle fibre; in questo modo la luce proveniente dalle fibre prosegue il suo percorso verso il fotocatodo senza essere deviata. Dall'altro lato abbiamo collegato ciascuno degli otto canali a differenti fotomoltiplicatori (fig.1).

Abbiamo posizionato due contatori a scintillazione, uno al di sopra delle fibre, l'altro al di sotto (indicati con C_1 e C_2 nella fig.2).

La fig. 2 riporta uno schema del "setup" sperimentale, che abbiamo utilizzato per l'acquisizione dati. I principali circuiti sono:

- i discriminatori
- gli scaler
- TDC (circuitto che misura il tempo dell'evento)
- ADC (circuitto che misura l'energia)

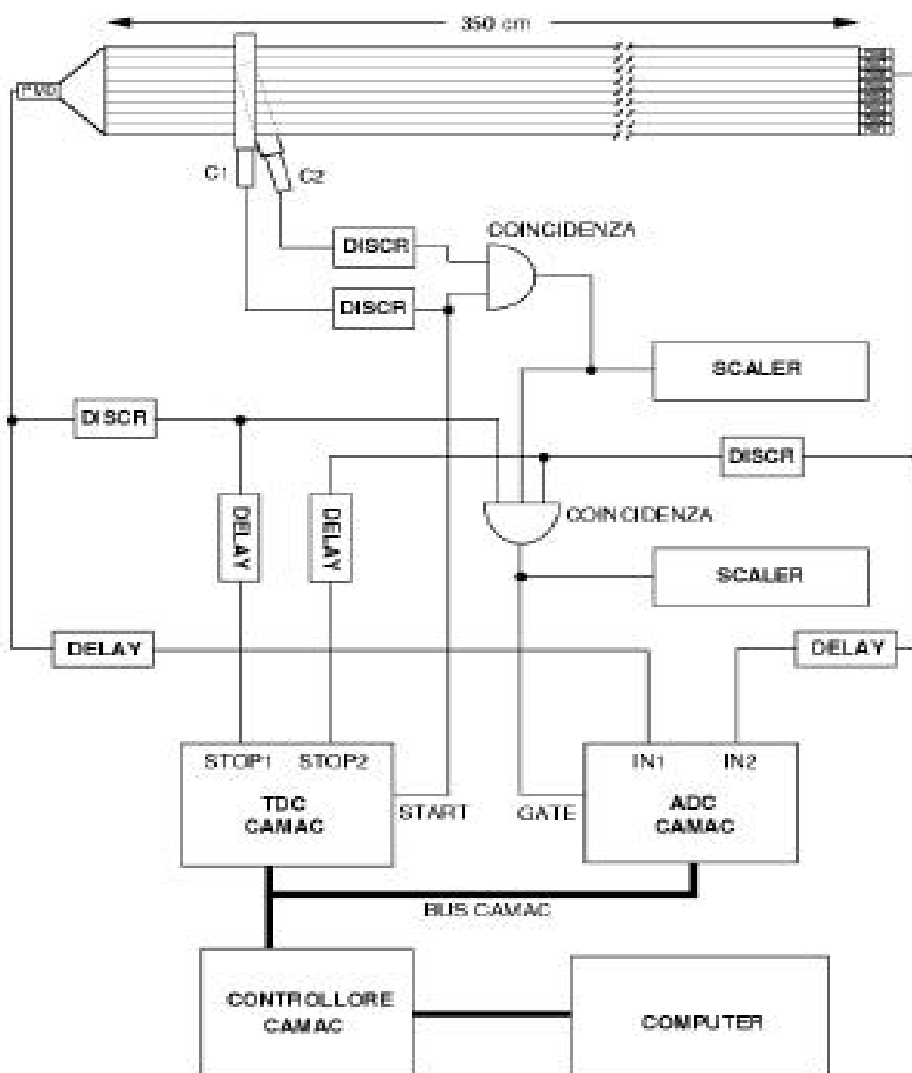


Fig. 2 Setup sperimentale

Tutte le informazioni lette tramite un controllore camac vengono poi inviate ad un computer che successivamente elabora i dati

Lo scopo dei due contatori e` quello di dare un segnale di trigger (impulso di comando) quando sono attraversati dalla stessa particella.

Il segnale cosi` prodotto dalla coincidenza dei due contatori e` stato inviato ad un canale di un discriminatore a soglia.

Si tratta di un circuito che trasforma il segnale analogico proveniente dal fotomoltiplicatore in un segnale digitale (di valore 0 o 1), se il segnale in ingresso supera un certo valore minimo (detto soglia).

Lunghezza di attenuazione

Le fibre scintillanti presentano una attenuazione esponenziale della carica trasmessa in funzione della loro lunghezza. La lunghezza di attenuazione corrisponde ad un'attenuazione di un fattore "e" [$\ln(e)=1$] della luce iniziale. Per misurare l'attenuazione abbiamo posto una sorgente di bassa intensita` a diverse distanze dal fotomoltiplicatore e abbiamo misurato la corrente in funzione della distanza (fig.3). Parametrizzando la curva si ottiene la lunghezza di attenuazione delle fibre (319.2 cm).

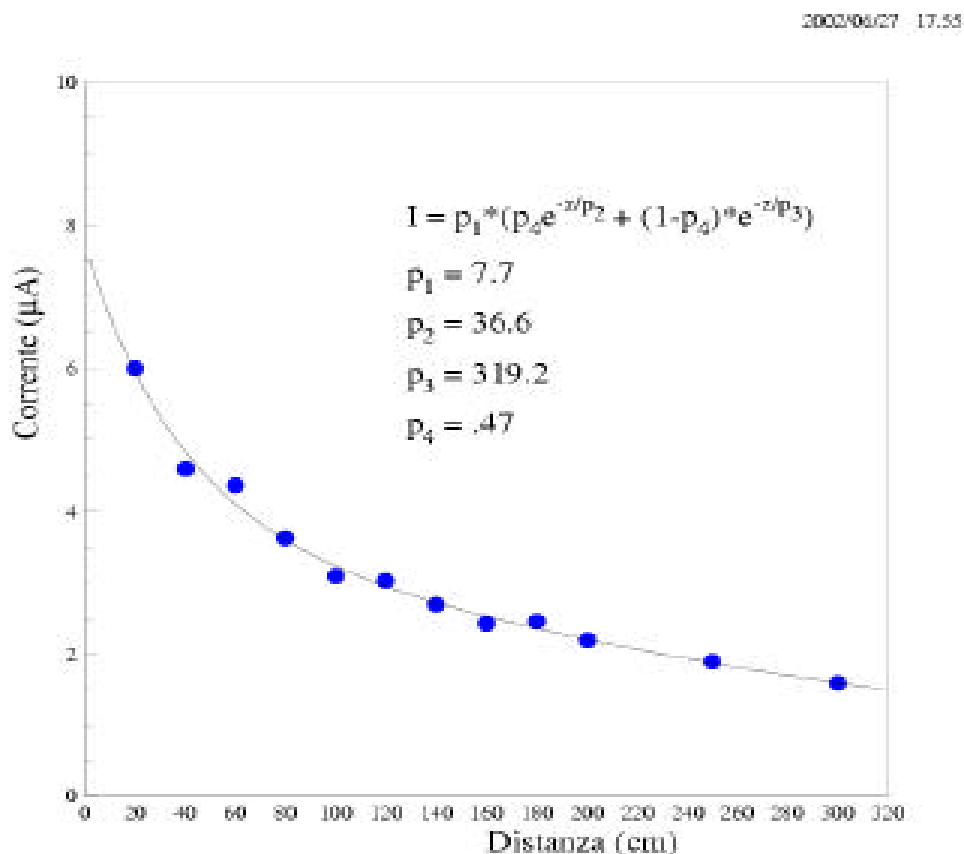


Fig. 3 Andamento della corrente in funzione della distanza.

Plateau di soglia

Abbiamo, quindi, misurato i conteggi al variare della tensione di soglia del discriminatore. La curva, riportata in fig. 4, mostra un andamento prima decrescente e poi stabile, tipico di un plateau di soglia. La zona “piatta” è detta “plateau” e permette di definire il valore della soglia da impostare per filtrare gli eventi rumorosi.

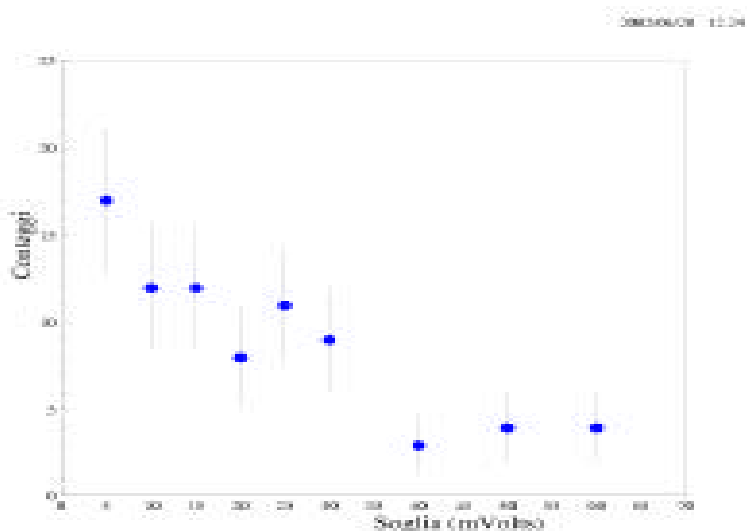


Fig. 4 Plateau di soglia

Plateau di conteggio

La figura 5 riporta il numero di conteggi (in un intervallo di tempo fissato di 100ns) che rappresentano le particelle rivelate dallo scintillatore (dopo la selezione con la coincidenza $C_1 \cdot C_2$) in funzione della tensione di alimentazione applicata al fotomoltiplicatore. Si può notare che l'efficienza del rivelatore cresce al variare della tensione, fino a raggiungere un valore di “plateau”. La tensione di lavoro viene scelta in questa zona.

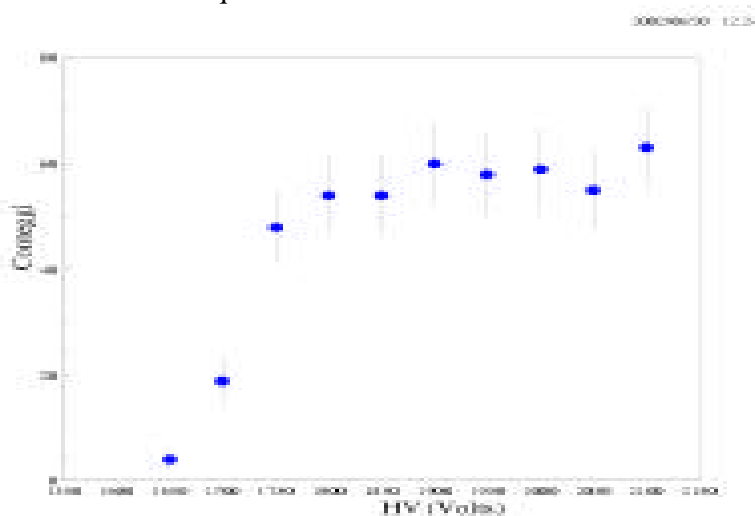


Fig.5 Plateau di conteggio

Misure di carica

La figura 6 mostra la distribuzione di carica (in conteggi di ADC) delle particelle che attraversano una zona del rivelatore di circa $2 \times 5 \text{ cm}^2$.

Il primo spettro è stato effettuato ad una distanza di 30 cm dal fotocatodo del fotomoltiplicatore; il secondo, invece, ad una distanza di 315 cm.

I due spettri mostrano due distinte curve gaussiane che rappresentano l'energia rilasciata nelle fibre dalle particelle.

Abbiamo preso in considerazione il picco delle due curve e abbiamo confrontato i valori ottenuti con la curva della lunghezza di attenuazione (fig.3).

Notiamo che i due valori di energia misurati alle due distanze considerate (messi in evidenza da due triangoli) seguono l'andamento della curva di attenuazione precedentemente effettuata.

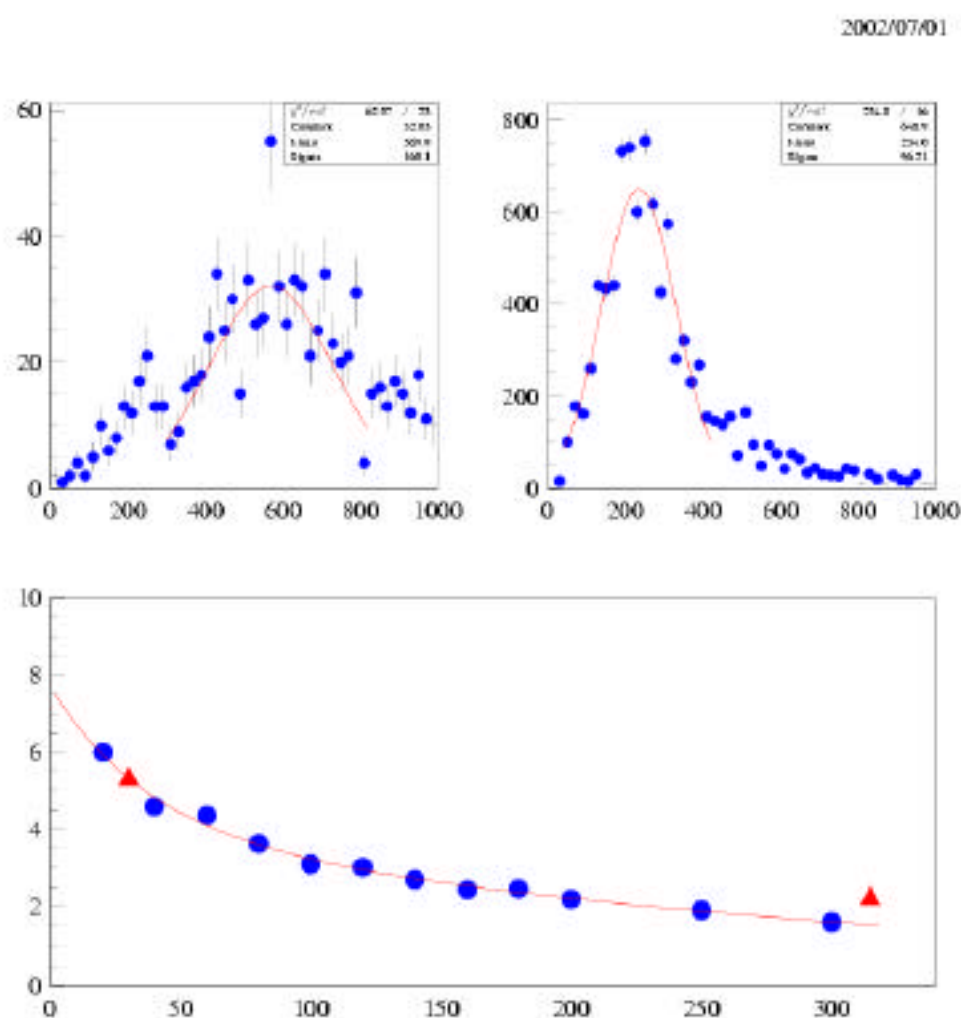


Fig. 6 In alto a sinistra: spettro di carica a 30 cm dal PM0; in alto a destra: a 315 cm; in basso: andamento della corrente in funzione della distanza.