

# Rivelazione di particelle con fibre scintillanti

Realizzazione di un rivelatore di particelle elementari basato sull'uso di fibre scintillanti.

Calibrazione e test del rivelatore per mezzo di una sorgente radioattiva e dei raggi cosmici.

Realizzazione di misure significative per determinare le caratteristiche del rivelatore:

- curva di guadagno del fotomoltiplicatore;
- lunghezza di attenuazione della luce nelle fibre;
- spettri di carica (con raggi cosmici);
- verifica della curva di attenuazione;
- misura di posizione tramite differenza dei tempi.

Esperimento proposto da: M.Anelli, F.Happacher, M. Martini, S.Miscetti

## I. Rivelatori di particelle

1. Principi generali
2. Requisiti di un rivelatore

## II. Rivelatori a scintillazione

1. Scintillatori organici e inorganici
2. Struttura di un rivelatore a scintillazione

## III. Il fotomoltiplicatore

## IV. Le fibre plastiche scintillanti

1. Propagazione della luce in una fibra
2. Lunghezza di attenuazione

## V. Descrizione del setup sperimentale

## VI. Calibrazione relativa con sorgente radioattiva

## VII. Calibrazione con i raggi cosmici

## VIII. Setup iniziale del rivelatore

1. Plateau in soglia
2. Plateau in tensione
3. Intercalibrazione dei canali

## VIII. Misure da realizzare

1. Curva di guadagno del fotomoltiplicatore
2. Lunghezza di attenuazione della luce nelle fibre
3. Spettri di carica con raggi cosmici
4. Verifica della curva di attenuazione
5. Misura di posizione tramite differenza dei tempi

# Rivelatori di particelle: principi generali

I processi fisici che ci permettono di rivelare le particelle sub-nucleari sono molteplici:

Le **particelle cariche** sono rivelate attraverso la loro interazione elettromagnetica con gli elettroni atomici dei mezzi attraversati

I **fotoni** vengono rivelati indirettamente attraverso gli elettroni che producono per **effetto fotoelettrico**, **diffusione Compton** o **produzione di coppie**

I **neutroni** subiscono interazioni forti con i nuclei dei materiali producendo **particelle secondarie cariche**

Le particelle più difficili da rivelare sono i **neutrini** che possono avere solo interazioni deboli con i nuclei o gli elettroni.  
In questi processi si ha emissione di leptoni

# Rivelatori di particelle: requisiti di un rivelatore

La valutazione di alcune caratteristiche del segnale prodotto dal rivelatore (ampiezza, tempo) permette di determinare il valore di alcune quantità (energia ceduta, tempo di arrivo 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, la cui “deviazione standard” rappresenta la **risoluzione del rivelatore**.

L' **efficienza di un rivelatore** è il rapporto  $\varepsilon = N_R / N_I$  tra il numero di particelle segnalate dal rivelatore e il numero di particelle incidenti sul rivelatore.

Il **rumore** è dato dai segnali prodotti dal rivelatore che non corrispondono ad un evento fisico (una particella) ma sono dovuti a fluttuazioni intrinseche del sistema (per es. rumore elettronico).

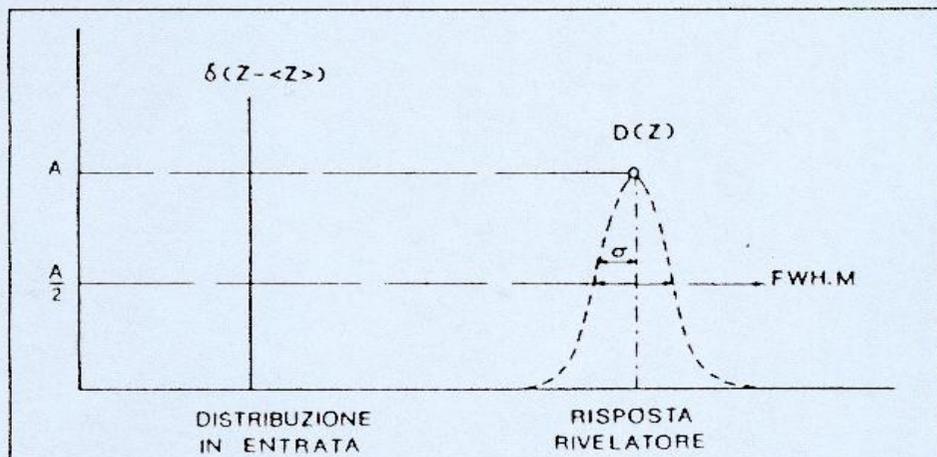


Fig. 2.2 Risposta di un rivelatore ad una grandezza  $Z$  con distribuzione delta. La risposta è gaussiana (poissoniana) con deviazione standard  $\sigma$ . Nella pratica è utilizzata la larghezza totale a metà altezza (FWHM).

## REQUISITI DI UN RIVELATORE

Alta efficienza ( $\sim 100\%$ )

Basso rumore

Piccola risoluzione (cioè alta precisione)  
per tutte le grandezze fisiche misurate.

Stabilità delle prestazioni nel tempo.

Facilità di calibrazione.

# Scintillatori: definizione

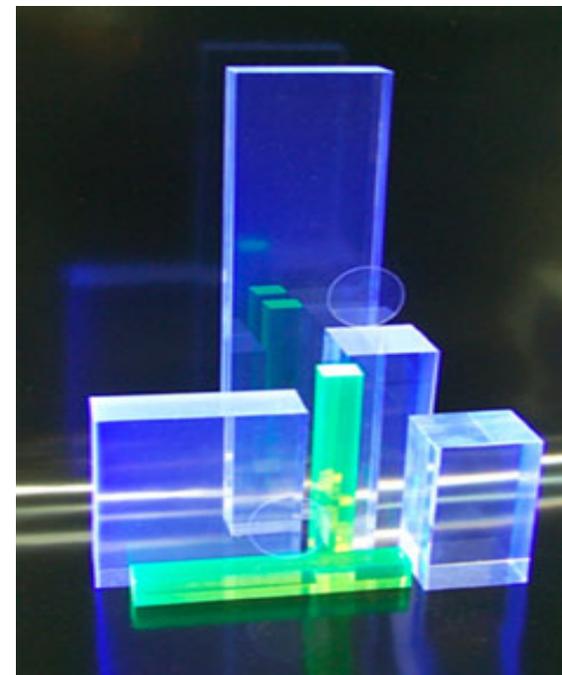
Una particella carica, attraversando uno scintillatore, perde energia eccitando gli atomi del materiale. Questi ultimi, diseccitandosi, emettono luce visibile (detta luce di scintillazione). Quindi gli scintillatori sono dei materiali (organici o inorganici) che, quando vengono attraversati da una particella carica, emettono luce in un **tempo brevissimo** ( $< 10^{-7}$  sec) ed in quantità **proporzionale** all'energia persa dalla particella nell'attraversarli.

Gli scintillatori 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.

Esempio di materiali scintillanti



Gli scintillatori inorganici con alto numero atomico  $Z$  (BGO,  $\text{PbWO}_4$ ) sono adatti anche per rivelare i fotoni (quanti di luce), pur non essendo particelle cariche.

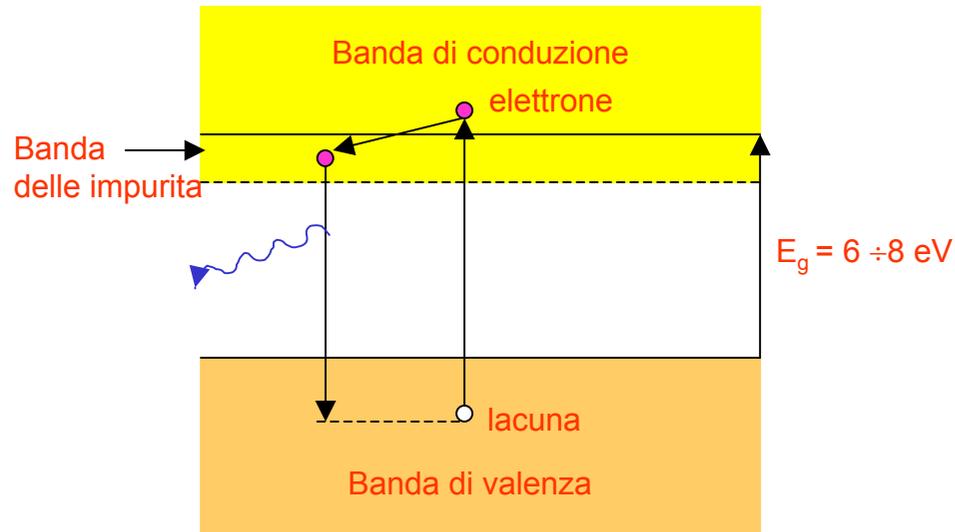


# Scintillatori organici e inorganici

## Scintillatori inorganici (NaI, CsI, BGO, BaF<sub>2</sub> ...)

sono cristalli ionici drogati con impurita'.

I tempi di emissione ~ 100 ns



Gli **scintillatori inorganici** hanno una migliore risposta luminosa, ma sono piu' lenti. La risposta luminosa si misura in fotoelettroni per MeV. Il materiale piu' efficiente e' NaI con 40.000 fotoni/MeV. La risposta luminosa varia con la temperatura.

## Scintillatori organici (BC102 ...)

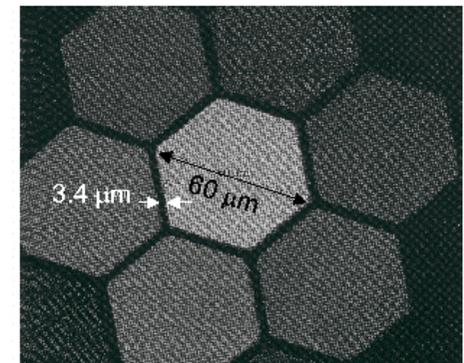
sono complesse molecole organiche in cui si ha emissione di luce nell'ultravioletto in seguito all'eccitazione di livelli vibrazionali molecolari.

All'interno del materiale si aggiungono sostanze per trasportare l'emissione nel visibile ("wave shifter").

I tempi di emissione sono < 10 ns

Gli **scintillatori organici** hanno una risposta luminosa mediamente peggiore di quelli inorganici, ma sono piu' veloci. Inoltre possono essere prodotti facilmente di grosse e svariate dimensioni (fibre scintillanti).

Fibre scintillanti a sezione esagonale



# Struttura di un rivelatore a scintillazione

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.

La luce di scintillazione è emessa **isotropicamente**. Quindi 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.

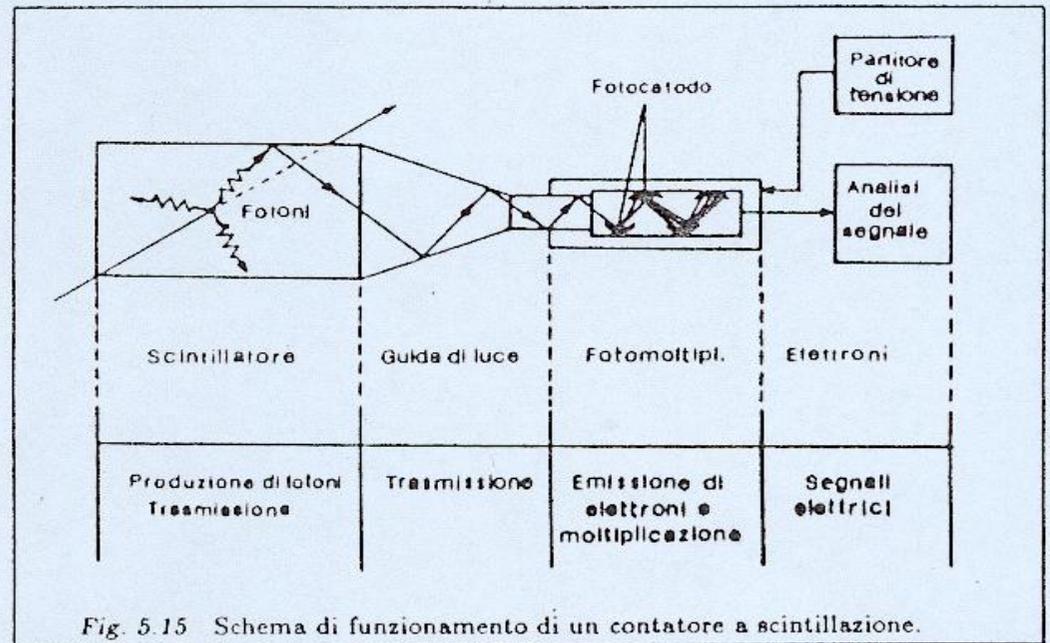


Fig. 5.15 Schema di funzionamento di un contatore a scintillazione.

# Il fotomoltiplicatore: descrizione

Il fotomoltiplicatore (PM) 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**:

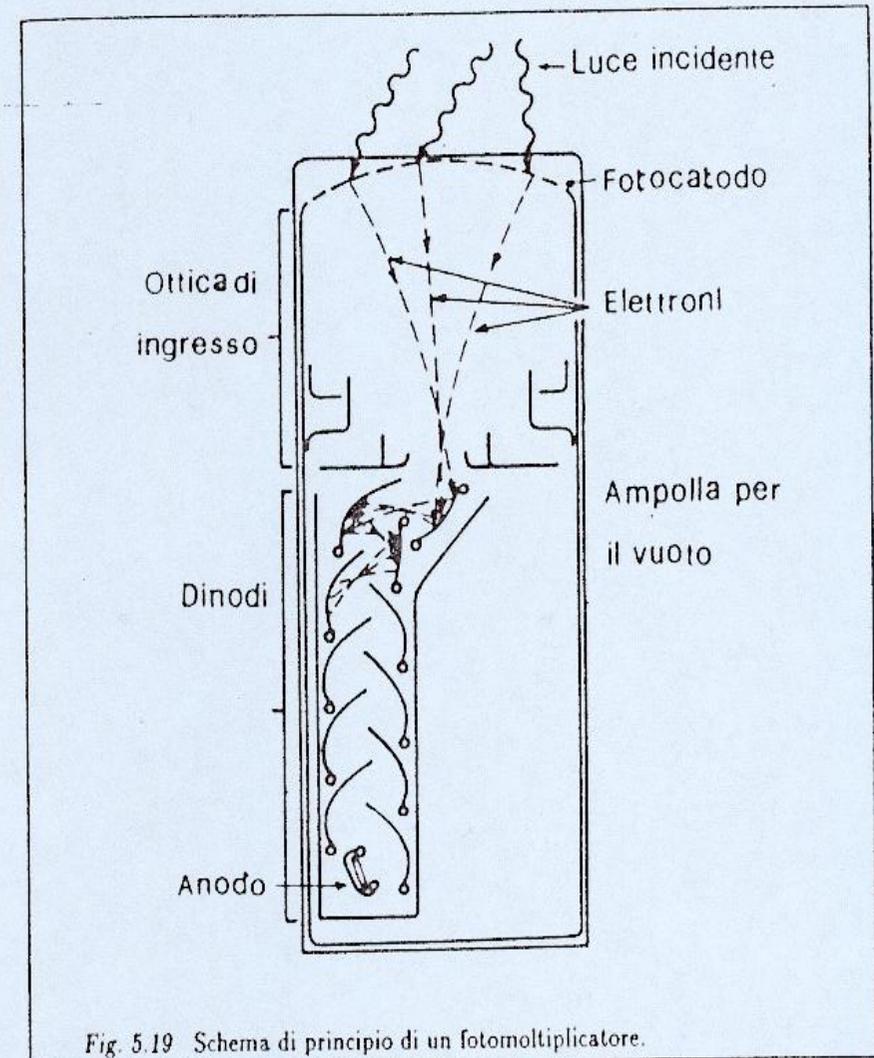
un insieme di elettrodi che convogliano gli elettroni emessi dal fotocatodo sul primo dinodo;

i **dinodi**:

serie di elettrodi a tensione crescente capaci di provocare l'emissione di altri elettroni, definiti per questo **elettroni secondari**; ogni dinodo amplifica di 3-4 volte il numero di elettroni;

un **anodo**:

l'ultimo elettrodo che raccoglie tutti gli elettroni creati nelle emissioni secondarie



# Il fotocatodo

Il fotocatodo converte la luce incidente in una **corrente di elettroni** (detti fotoelettroni) per mezzo dell'effetto fotoelettrico. Per facilitare il passaggio di questa luce, il **materiale fotosensibile** è depositato in uno strato sottile all'interno del vetro (o quarzo) della finestra di ingresso del fotomoltiplicatore.

L'efficienza quantica  $\varepsilon(\lambda)$  è il rapporto tra il numero di fotoelettroni rilasciati e il numero di fotoni incidenti sul catodo e dipende dalla lunghezza d'onda  $\lambda$  dei fotoni incidenti.

La massima efficienza si ha nella maggior parte dei casi per lunghezza d'onda  $\lambda = 400 \div 440$  nm (luce blu) e vale circa  $\varepsilon(\lambda) = 10 \div 30$  %

Il **materiale fotosensibile** deve avere un'alta efficienza quantica. Nella maggior parte dei casi si tratta di materiali semiconduttori formati con antimonio con l'aggiunta di uno o più metalli alcalini (es. Cesio).

# I dinodi

I dinodi sono degli elettrodi di emissione secondaria, posti tra il fotocatodo e l'anodo del fotomoltiplicatore. Servono ad amplificare la debole corrente primaria di elettroni estratti dal fotocatodo.

Il guadagno di ogni elettrodo si chiama *secondary emission factor*  $K$ .

I dinodi sono composti da un sottile strato di materiale (con buona capacità di emissione) depositato su una struttura metallica. Per esempio si usano delle leghe di metallo alcalino + metallo "nobile" (Ag-Mg, Cu-Be, ...).

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  $n K^d$ .

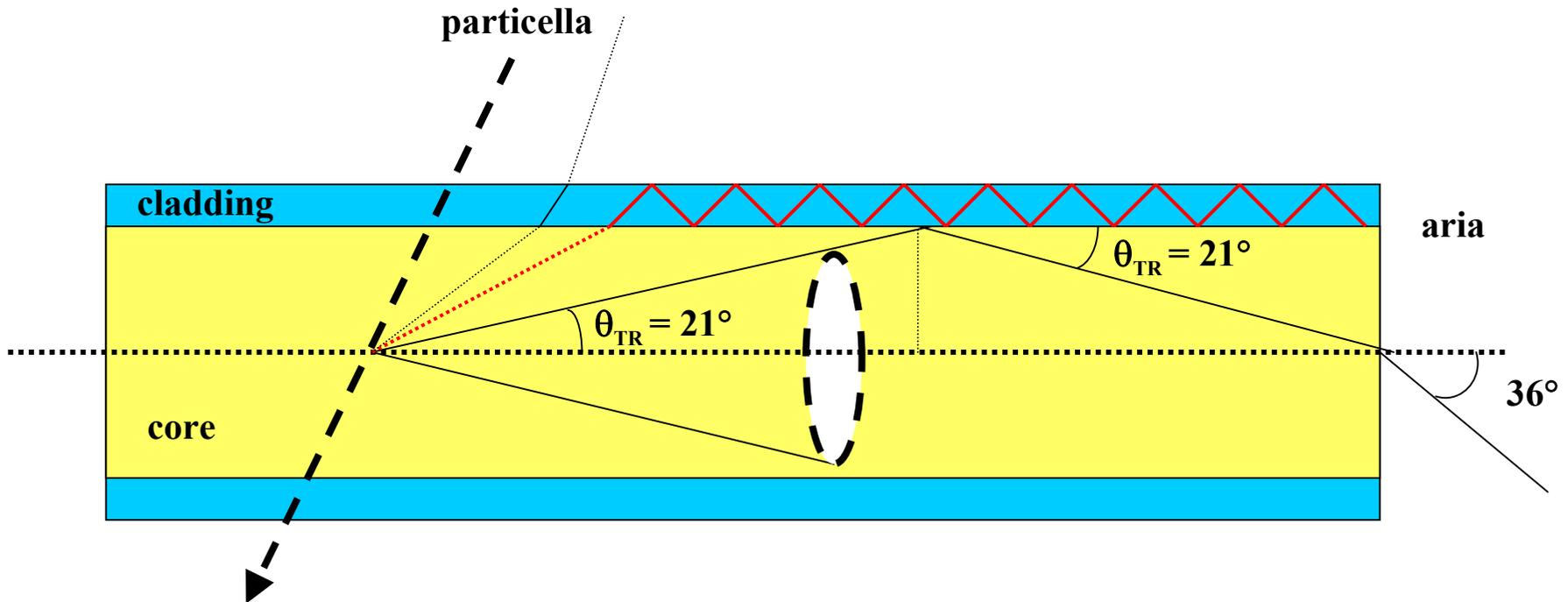
Tipicamente  $d=10 \div 14$  e  $K=3 \div 4 \Rightarrow$  il guadagno del fotomoltiplicatore è  $K^d \sim 10^5 \div 10^7$ .

Il guadagno  $G = K^d$  dipende dalla tensione di alimentazione applicata in quanto varia la costante  $K \implies G(HV)/G(HV_0) \approx (HV/HV_0)^d$

# Le fibre scintillanti

Uno scintillatore puo` essere realizzato sotto forma di una fibra ottica. La fibra e` costituita da un nucleo interno chiamato “**core**” e da un rivestimento trasparente detto “**cladding**”. Il core e` un materiale plastico (polistirene) opportunamente “drogato” con **molecole organiche**, l’indice di rifrazione e`  $n_1=1.6$ . Il cladding e` costituito di plexiglass  $n_2=1.49$ .

La luce nella fibra si propaga nel **core** per **riflessioni multiple**, procedendo entro un cono di apertura  $\Theta_{TR}=21^\circ$  (angolo di trapping, cioe` di “intrappolamento” della luce).



# Applicazioni dei rivelatori a scintillazione

I rivelatori a scintillazione hanno diverse applicazioni:

1. misure di **energia**: con gli scintillatori si puo` realizzare un **calorimetro**, che e` un rivelatore che permette di misurare l'energia persa dalla particella mentre lo attraversa (se la particella si ferma al suo interno, ne viene misurata tutta l'energia).
2. misure di **tempo di volo**, cioe` del tempo in cui la particella attraversa un certo spazio (lo spazio tra due rivelatori): se ne ricava la velocita` della particella.
3. rivelatori traccianti: utilizzando le fibre scintillanti (di sezione molto piccola) si possono costruire dei rivelatori a scintillazione che forniscono con precisione il punto di passaggio della particella e permettono di ricostruirne la traiettoria (**traccia**).
4. contatori di **trigger/veto**: quando la presenza di un segnale in uno o piu` rivelatori serve per **selezionare o scartare** un evento prima che esso venga acquisito dai circuiti elettronici e memorizzato dai computer (come vedremo nel nostro esperimento).

# Lunghezza di attenuazione

Le fibre scintillanti presentano una **attenuazione esponenziale della luce** trasmessa in funzione della distanza percorsa dalla luce stessa.

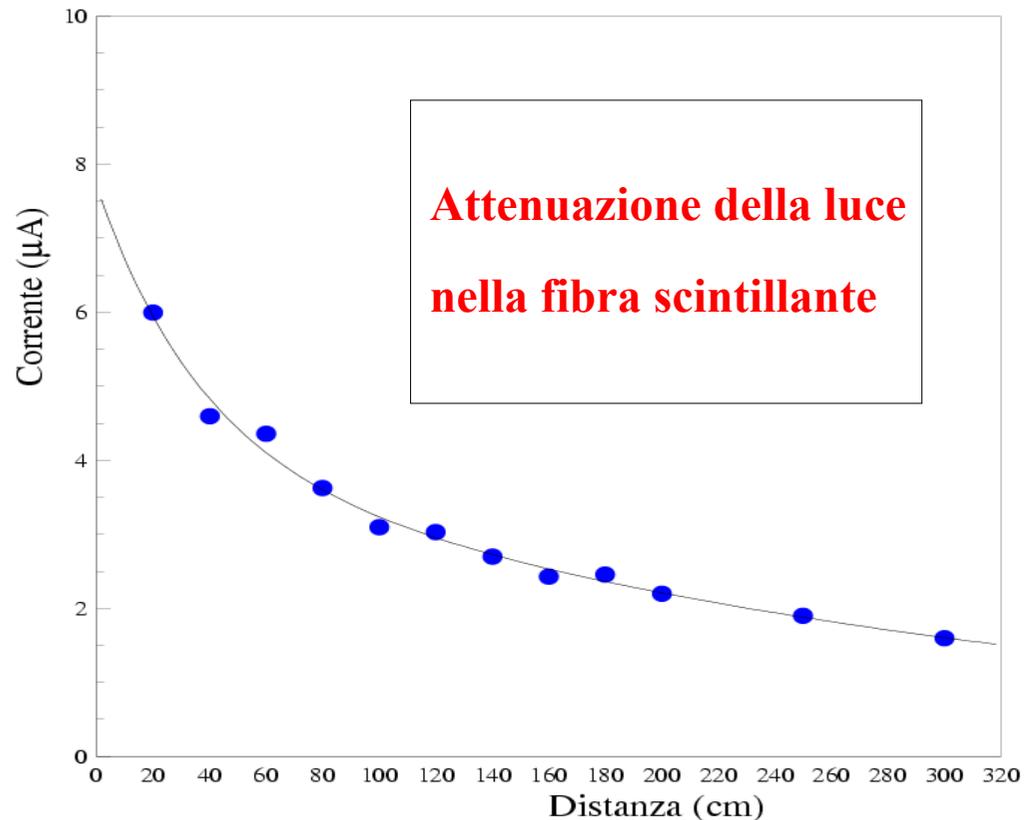
$I(x) = I(0) e^{-x/\lambda}$  dove:

$x$  = distanza percorsa dalla luce

$\lambda$  = lunghezza di attenuazione

La lunghezza di attenuazione e' la distanza per cui la luce inizialmente prodotta si e' attenuata di un fattore "e" [ $\ln(e)=1$ ] (cioe'  $e \sim 2.7$ ).

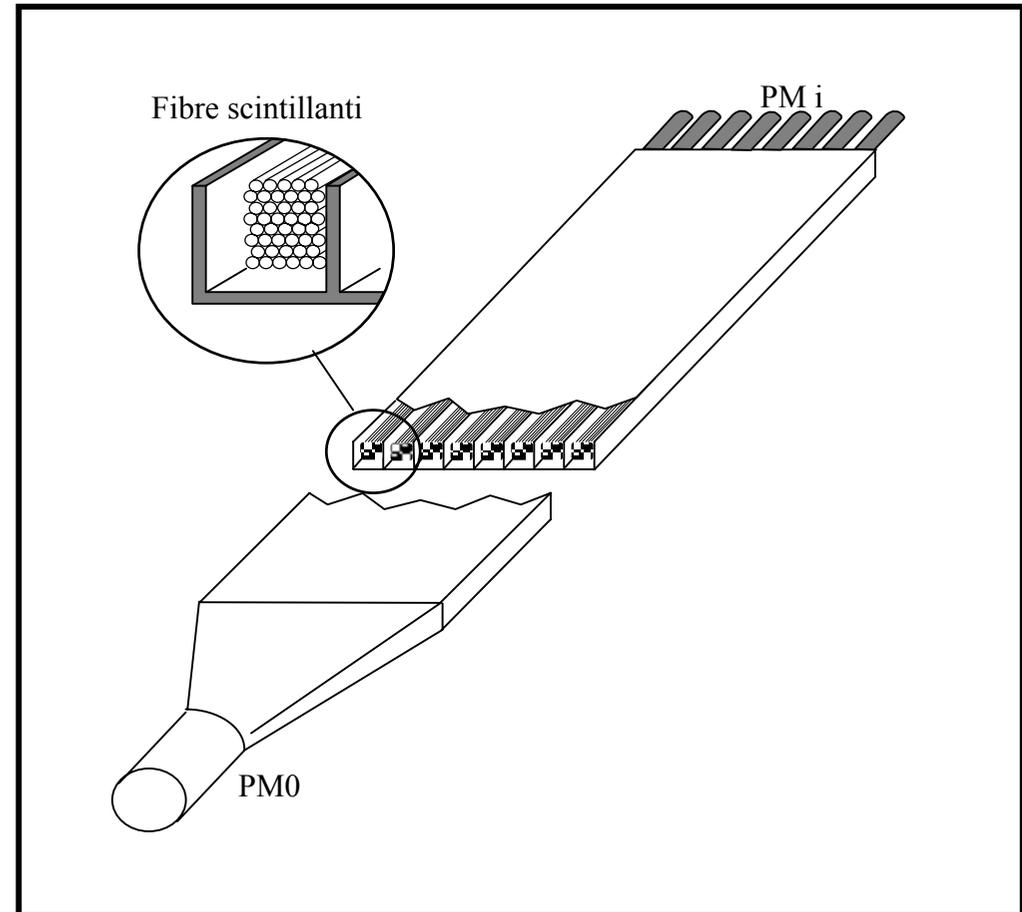
Le fibre scintillanti hanno il vantaggio di avere una grande lunghezza di attenuazione ( $\lambda=3\div 4$  m) e quindi il loro impiego e' consigliato nel caso di rivelatori "lunghi".



# Setup sperimentale (I)

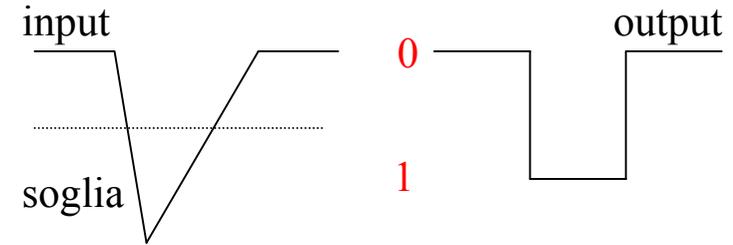
Nella nostra misura abbiamo utilizzato un rivelatore suddiviso in otto **canali** a fibre scintillanti aventi una sezione di  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  costituiti ognuno da circa 150 fibre di 1 mm di diametro.

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 subire deviazioni.

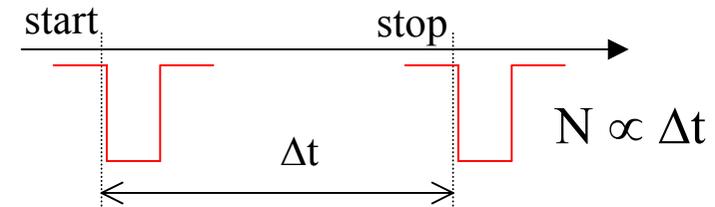


# Strumentazione utilizzata

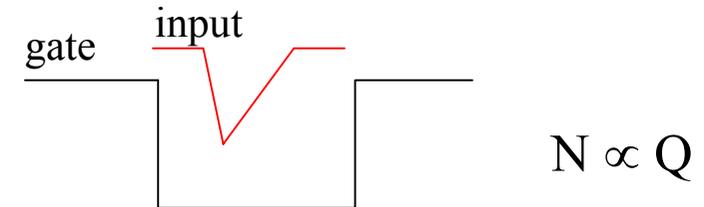
**Discriminatori a soglia DISCR:** circuiti che trasformano il segnale analogico proveniente dal fotomoltiplicatore in un segnale **digitale** (di valore 0 o 1), se il segnale in ingresso supera un certo valore minimo (detto soglia).



I **TDC** (Time to Digital Converter) forniscono un numero di conteggi  $N$  proporzionale al tempo di arrivo della particella (stop).



Gli **ADC** (Analog to Digital Converter) forniscono un numero di conteggi  $N$  proporzionale alla carica elettrica totale  $Q$  del segnale del PM, a sua volta proporzionale all'energia persa dalla particella nelle fibre.



Gli **SCALER** contano il numero di segnali digitali in ingresso.

Tutte le informazioni lette tramite un **Controllore CAMAC** vengono poi inviate ad un computer che acquisisce e memorizza i dati.

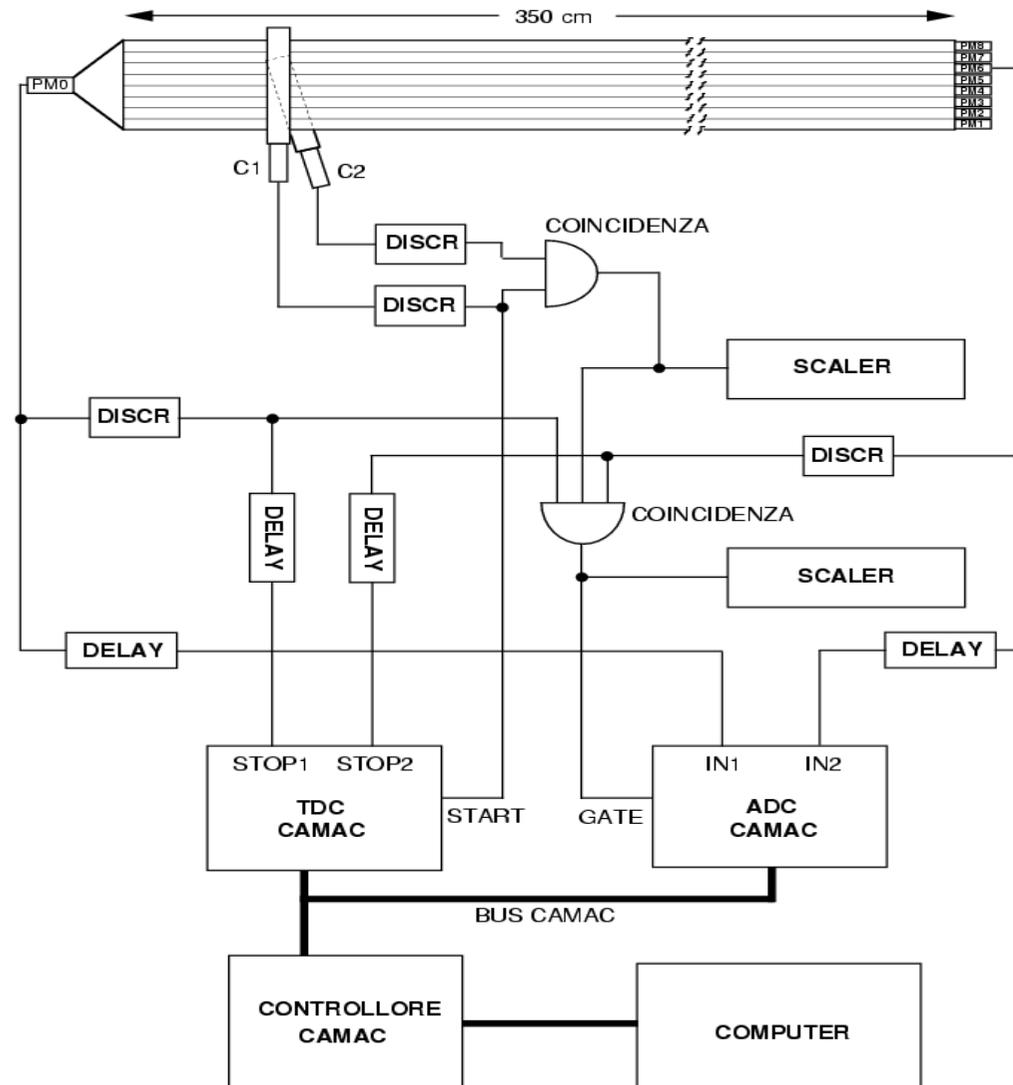
# Setup sperimentale (II)

Quando una particella attraversa entrambi i contatori a scintillazione  $C_1$  e  $C_2$ , posti uno al di sopra delle fibre, l'altro al di sotto, i segnali così prodotti vengono inviati ai discriminatori **DISCR**.

Anche i segnali provenienti dai **PM** alle estremità delle fibre vengono discriminati ed inviati a formare una coincidenza insieme ai segnali  $C_1$  e  $C_2$ .

La coincidenza  $C_1 * C_2 * PM_0 * PM_i$  fornisce un segnale di “**trigger**” (impulso di comando).

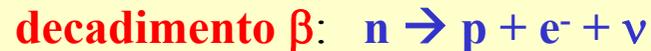
Se scatta il trigger l'evento viene acquisito (registrato) in quanto si considera non casuale (per es. non dovuto a rumore elettronico) il fatto che i contatori si siano accesi “simultaneamente”. In pratica il trigger identifica il passaggio di una particella.



# Calibrazione relativa con sorgente radioattiva

Per ogni elemento chimico di **numero atomico Z** (numero di protoni nel nucleo) ci sono diversi **isotopi**: nuclei con diverso numero totale di nucleoni A (quindi un diverso numero di neutroni  $N = A - Z$ ). Un difetto od un eccesso di neutroni, rispetto alla combinazione piu' stabile, porta ad un nucleo instabile (radioattivo) che tende a decadere, cioe` a trasformarsi in un nucleo maggiormente stabile.

Nel nostro caso, abbiamo una sorgente di **Sr (A=90, Z=38)** con due neutroni in eccesso rispetto allo Stronzio allo stato fondamentale Sr (A=88, Z=38). Con un tempo di dimezzamento  $t_{1/2} = 28.5$  anni si trasforma in **Y (A=90, Z=39)** attraverso un



L'elettrone emesso ha un'energia massima :  **$E_1 = 546$  keV**.

Il nucleo di Yttrio prodotto e` a sua volta instabile e decade "immediatamente" in Zirconio **Zr (A=90, Z=40)** emettendo un elettrone di energia massima  **$E_2 = 2283$  keV**.

Questi elettroni rilasciano energia nelle fibre, permettendoci di **monitorare** la risposta di ogni canale **PMi** (cioe` di ogni pacchetto di fibre). In questo modo possiamo **equalizzare** (o intercalibrare) i canali, cioe` regolare la tensione di alimentazione di ogni fotomoltiplicatore PMi in modo che vi sia lo **stesso segnale** in uscita per ogni canale (partendo da una medesima energia rilasciata nelle fibre, dovuta alla sorgente).

# Altre sorgenti di calibrazione

Anche se le sorgenti costituiscono un metodo veloce di controllo, non sono semplici da utilizzare in esperimenti con rivelatori grandi e/o dotati di un numero elevato di canali.

In questi casi si preferisce utilizzare:

- eventi di fisica noti dell'esperimento stesso
- fasci di particelle note di energia definita (fasci di test)
- i **raggi cosmici**, fonte naturale e costante di particelle.

# I raggi cosmici (I)

La **radiazione cosmica** che incide sulla sommità dell'atmosfera terrestre è costituita da tutte le **particelle cariche stabili** e dai **nuclei atomici** con vite medie  $> 1$  milione di anni. Si definiscono **raggi cosmici primari** le particelle che vengono prodotte ed accelerate localmente da una sorgente astrofisica (per es. una supernova). I **raggi cosmici secondari** sono quelli prodotti dall'urto dei raggi cosmici primari con il gas interstellare (l'insieme delle particelle presenti nello spazio tra le stelle).

I raggi cosmici primari sono prevalentemente: **elettroni, protoni, nuclei di Elio, Carbonio, Ossigeno e Ferro** (che si formano nelle stelle).

Altri nuclei come Litio, Berillio, Boro sono raggi secondari perché non vengono prodotti nelle stelle. Le antiparticelle: anti-elettroni (o positroni) e antiprotoni sono raggi cosmici secondari.

A parte l'attività solare (solar flares), la radiazione cosmica proviene dall'esterno del sistema solare e sull'atmosfera terrestre giunge un **flusso isotropo** di particelle. La radiazione che giunge sull'atmosfera è costituita prevalentemente da nuclei atomici di:

**H (protoni):  $\sim 10.000/\text{m}^2 \text{ s sr}$  (con energia  $> 1 \text{ GeV}$ )**

He (1/20-esimo) C (1/350) Fe (1/6000)

# I raggi cosmici (II)

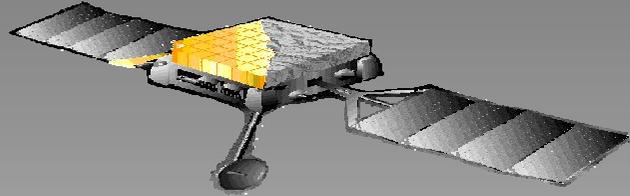
Urtando l'atmosfera terrestre (cioè H,N,O dell'aria), i raggi cosmici producono delle particelle che a loro volta possono interagire o decadere. Se l'energia iniziale è sufficiente si genera un vero e proprio **sciame di particelle** (**Extensive Air Shower**). Al suolo possono arrivare anche milioni di particelle contemporaneamente (prodotte da un'unica particella iniziale) su un'area di alcuni km<sup>2</sup>.

Le particelle cariche più numerose al livello del suolo sono i **muoni** (che sono simili agli elettroni ma con massa pari a circa 200 volte). I muoni possono avere carica positiva  $\mu^+$  o negativa  $\mu^-$ . La maggior parte dei muoni sono prodotti a circa 15 km di quota. La loro energia media al suolo è  $\sim 4$  GeV.

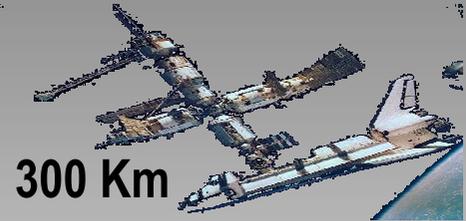
Il flusso totale di muoni al suolo, con energia  $> 1$  GeV è  $\sim 70/\text{m}^2 \text{ s sr}$ , che corrisponde a:  
**FLUSSO DI MUONI  $\sim$  un muone per cm<sup>2</sup> al minuto per un rivelatore orizzontale).**

Siccome i muoni non contengono quark (sono leptoni), essi non subiscono interazioni nucleari. Perdono energia solo a causa di interazioni "elettromagnetiche". Di conseguenza sono molto penetranti. Quasi tutti i muoni **attraversano il nostro rivelatore senza fermarsi** al suo interno e **perdendo una quantità di energia fissata**, che dipende essenzialmente dal materiale che costituisce il rivelatore e dallo spessore di materiale attraversato.

# I raggi cosmici (III)

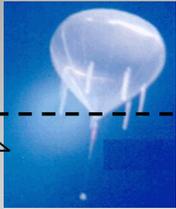


Studio Diretto



300 Km

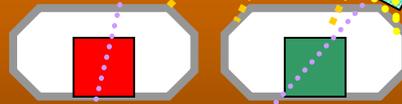
40 Km



Atmosfera



Studio Indiretto



Rivelatori Sotterranei

EAS



Particelle Secondarie

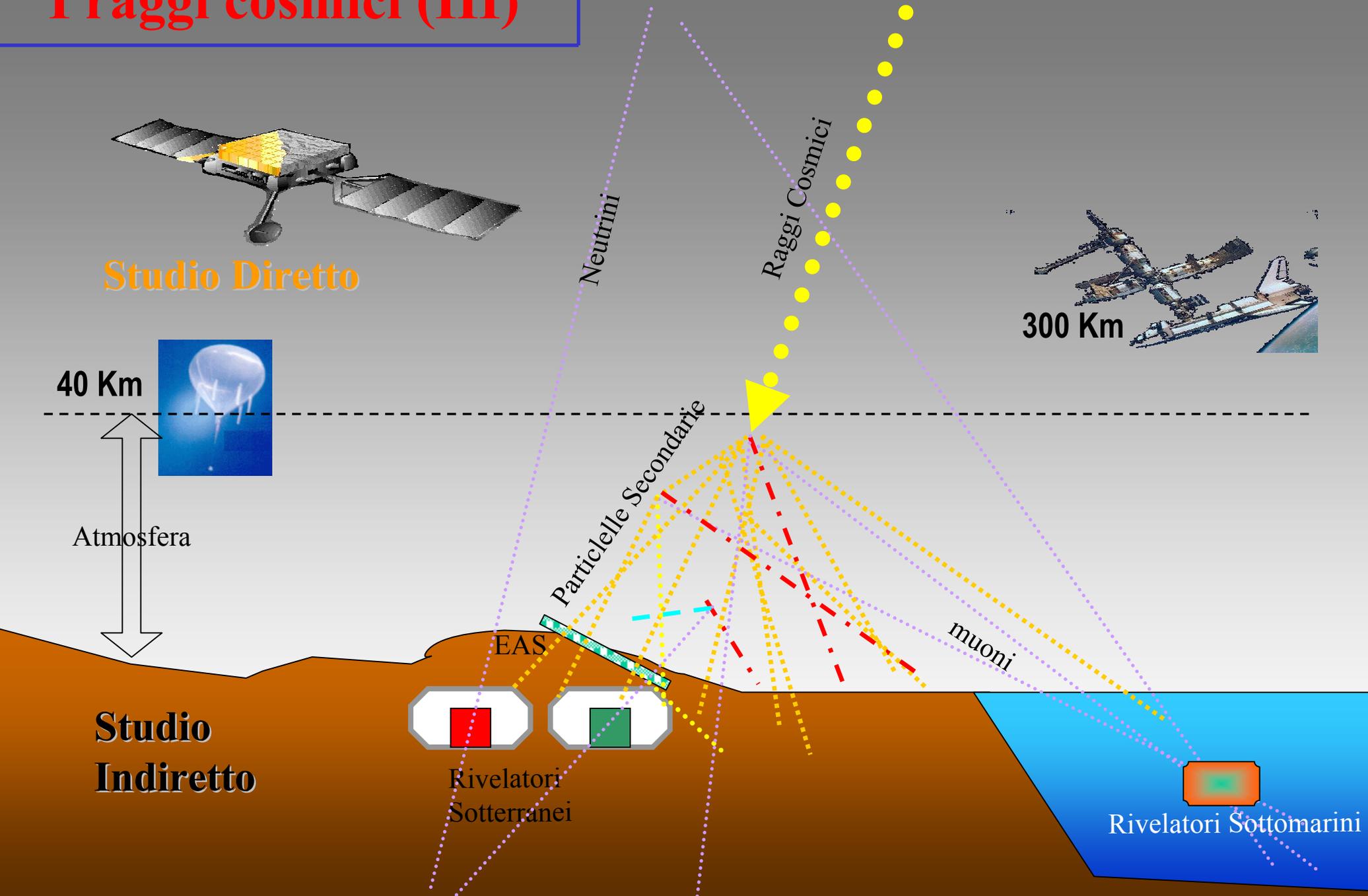
muoni



Rivelatori Sottomarini

Neutrini

Raggi Cosmici



# Setup iniziale e possibili misure

Prima di utilizzare il rivelatore, occorre stabilire i valori di alcuni parametri (soglie dei discriminatori, tensione di lavoro dei fototubi). A tale scopo effettuiamo le seguenti operazioni :

1. Misura del plateau in soglia
2. Misura del plateau in tensione
3. Intercalibrazione dei canali dei fotomoltiplicatori PMi

Quindi, con il nostro setup sperimentale, possiamo realizzare alcune misure per monitorare il funzionamento del rivelatore e verificarne le principali caratteristiche:

1. Lunghezza di attenuazione della luce nelle fibre
2. Spettri di carica
3. Verifica della curva di attenuazione
4. Misura di posizione tramite differenza dei tempi

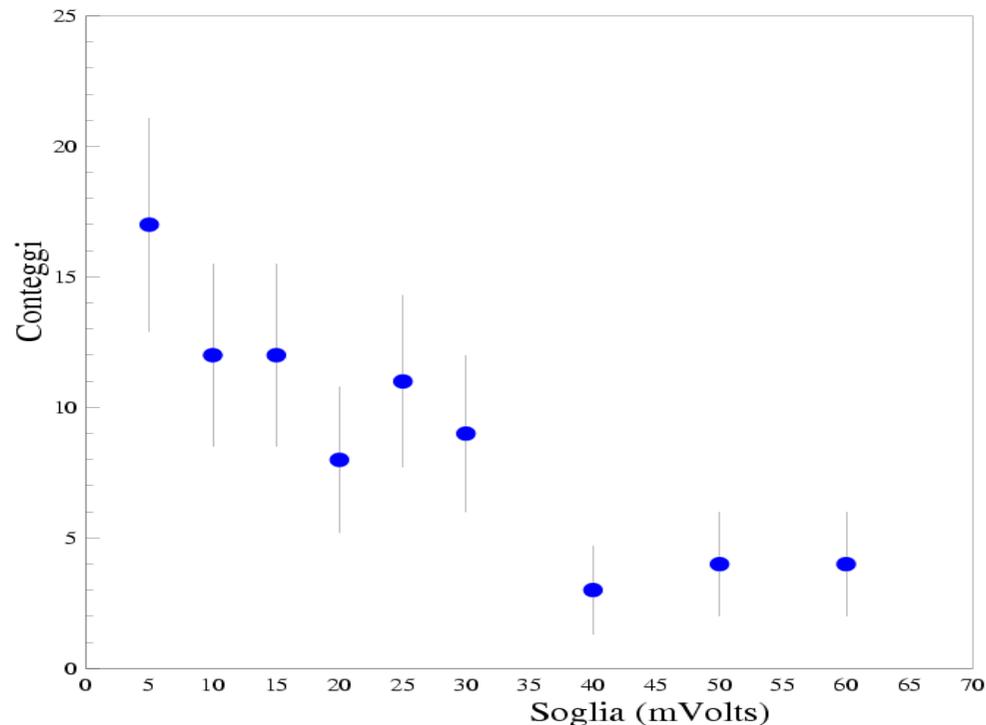
# Plateau in soglia

Si misurano i conteggi al variare della **tensione di soglia del discriminatore**. La curva mostra un andamento prima decrescente e poi stabile, tipico di una curva di soglia. La zona “piatta” e’ detta “plateau” e permette di definire il valore della soglia da impostare.

Se la soglia scelta e’ **troppo bassa**, **non vengono filtrati gli eventi rumorosi**.

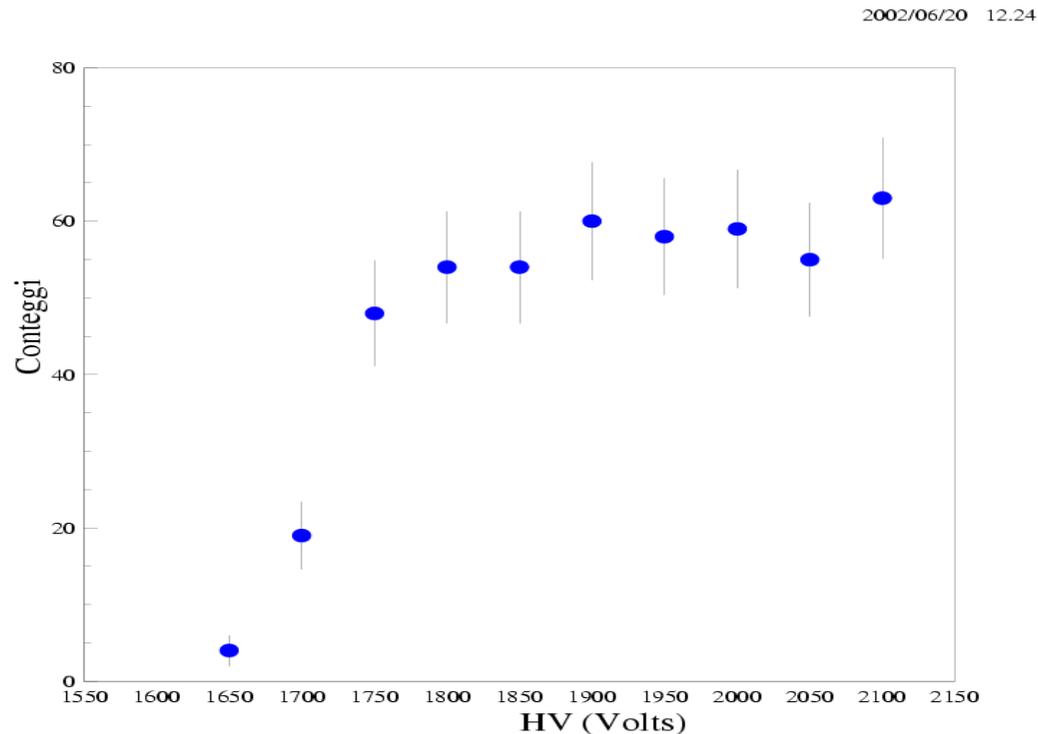
Se la soglia e’ **troppo alta**, non vengono acquisiti eventi “buoni” (**diminuisce l’efficienza**).

2002/06/20 12.24



# Plateau in tensione

Si misura il numero di **conteggi** (in un intervallo di tempo fissato) che rappresenta il numero di particelle rivelate in funzione della **tensione di alimentazione** applicata al fotomoltiplicatore. Si puo` 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, per avere la massima **stabilita`** del rivelatore (cioe` efficienza stabile nel tempo).



# Intercalibrazione dei canali

Gli elettroni emessi dalla sorgente rilasciano energia nota nelle fibre, permettendoci di **monitorare** la risposta di ogni canale **PMi**.

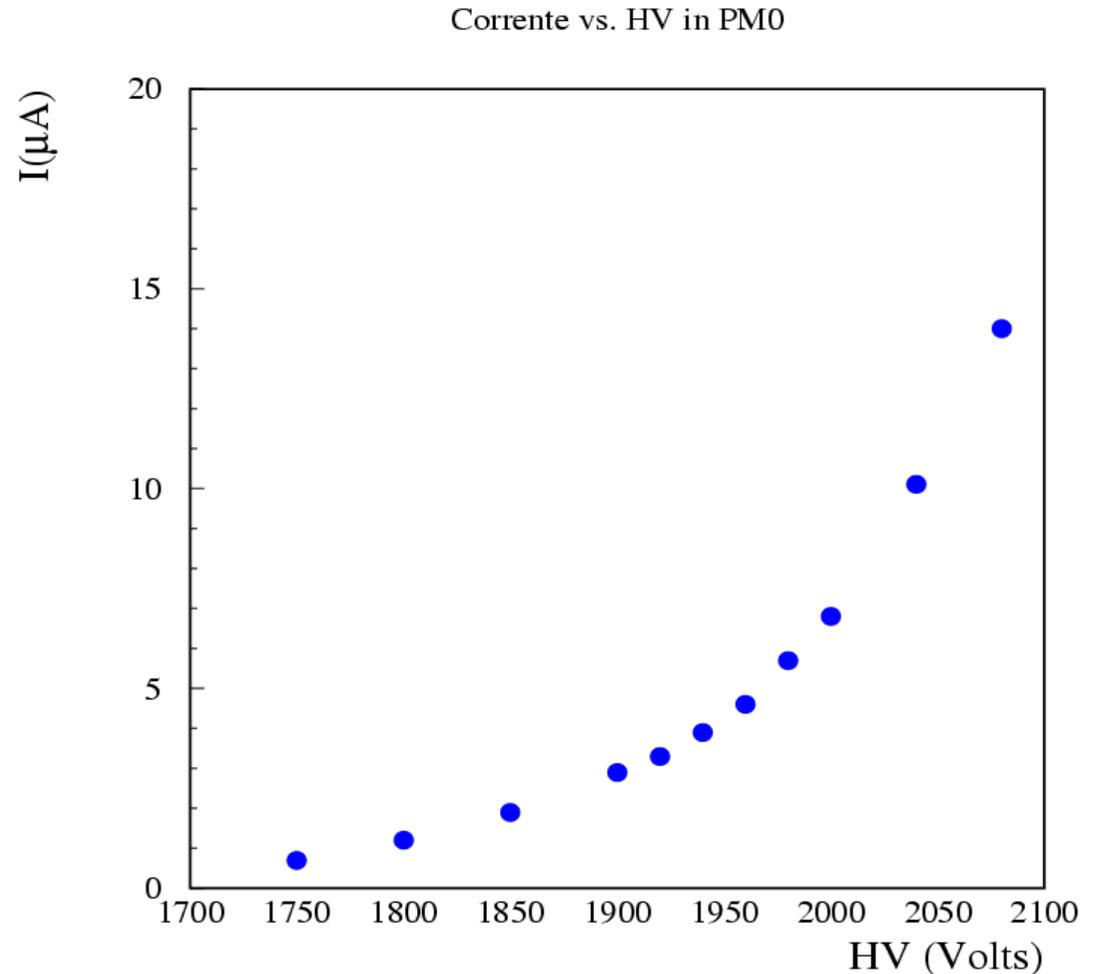
Si misura la corrente in ogni canale **PMi** in funzione dell'alta tensione (HV) e si sceglie la tensione di alimentazione di ogni fotomoltiplicatore PMi in modo che vi sia la **stessa corrente** in uscita per ogni canale. In questo modo possiamo **equalizzare** (o intercalibrare) i canali.

Nell'esempio qui sotto, abbiamo equalizzato tutti i canali rispetto al PM8.

PM	HV (Volt)	$i$ ( $\mu\text{A}$ )	Nuova HV	Nuova $i$
1	1150	2.9	1110	2.3
2	1170	3.1	1120	2.3
3	1220	2.8	1180	2.3
4	1270	3.7	1180	2.3
5	1130	3.8	1050	2.3
6	1230	3.1	1180	2.3
7	1210	3.3	1150	2.3
<b>8</b>	<b>1050</b>	<b>2.3</b>	<b>invariata</b>	<b>invariata</b>

# Curva di guadagno del fotomoltiplicatore (I)

Utilizzando la sorgente radioattiva, posta ad una certa distanza fissata da PM0, possiamo misurare come la corrente nel fotomoltiplicatore dipende dall'alta tensione ad esso applicata.



# Curva di guadagno del fotomoltiplicatore (II)

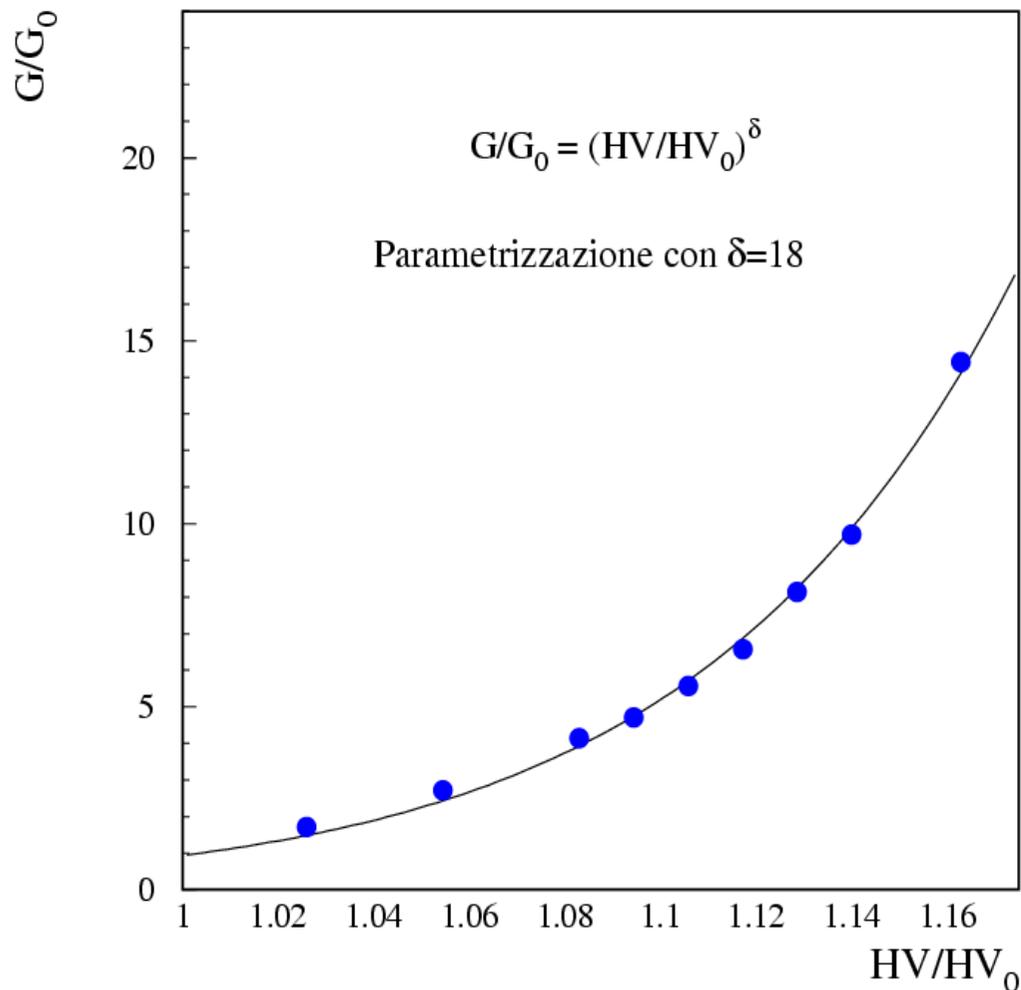
Se indichiamo con  $\delta$  il numero di dinodi e con  $K$  il coefficiente di moltiplicazione per emissione secondaria, il guadagno del fotomoltiplicatore e'  $K^\delta$  ( $10^5 \div 10^6$ ).

Siccome  $K$  e' proporzionale all'alta tensione di alimentazione del fotomoltiplicatore  $HV$ , se chiamiamo  $G_0$  il guadagno alla tensione  $HV_0$ , allora il guadagno  $G$  alla tensione  $HV$  soddisfa la relazione:

$$G/G_0 = (HV/HV_0)^\delta$$

ed essendo  $G \propto i$  (corrente nel PM), il rapporto dei guadagni e' uguale al rapporto delle correnti:

$$G/G_0 = i/i_0$$



# Lunghezza di attenuazione (con Sr<sup>90</sup>)

Si puo' misurare la lunghezza di attenuazione delle fibre ponendo la sorgente radioattiva a diverse distanze dal fotomoltiplicatore e misurando la corrente in funzione della distanza.

$I(x) = I(0) e^{-x/\lambda}$  dove:

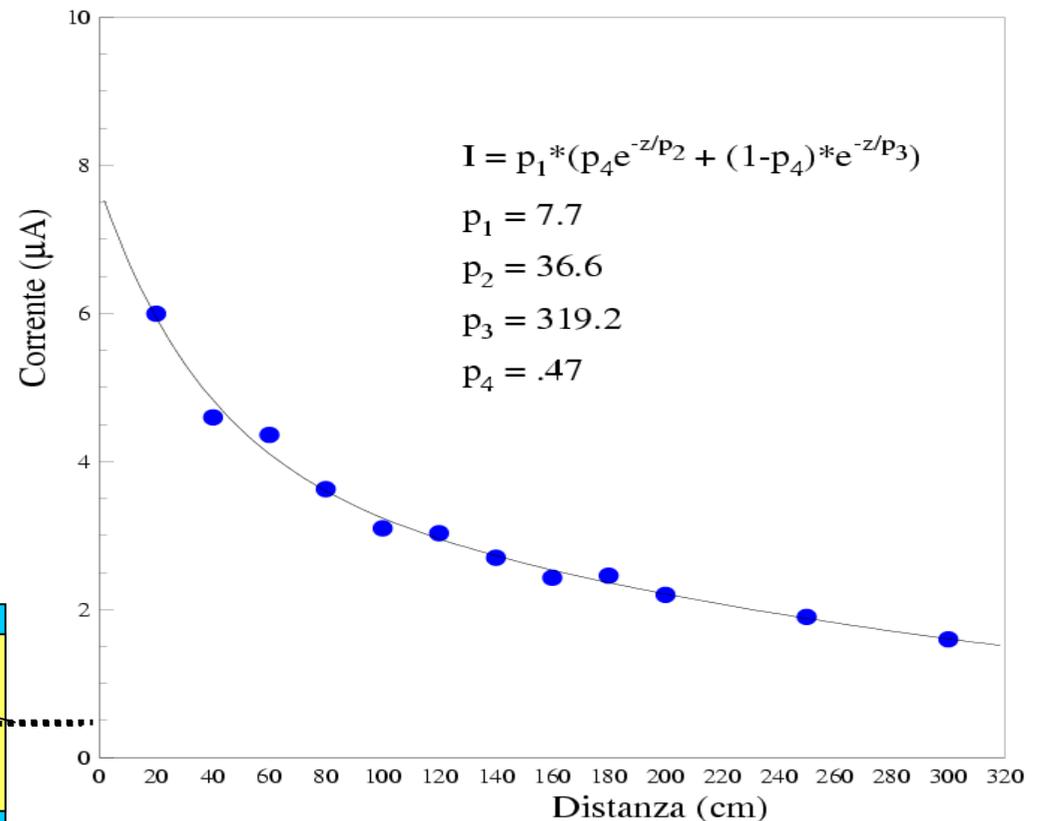
$x$  = distanza percorsa dalla luce

$\lambda$  = lunghezza di attenuazione

Parametrizzando la curva si ottiene la lunghezza di attenuazione delle fibre (cioe' del **core**):

$$\lambda = 319.2 \text{ cm}$$

2002/06/27 17.55



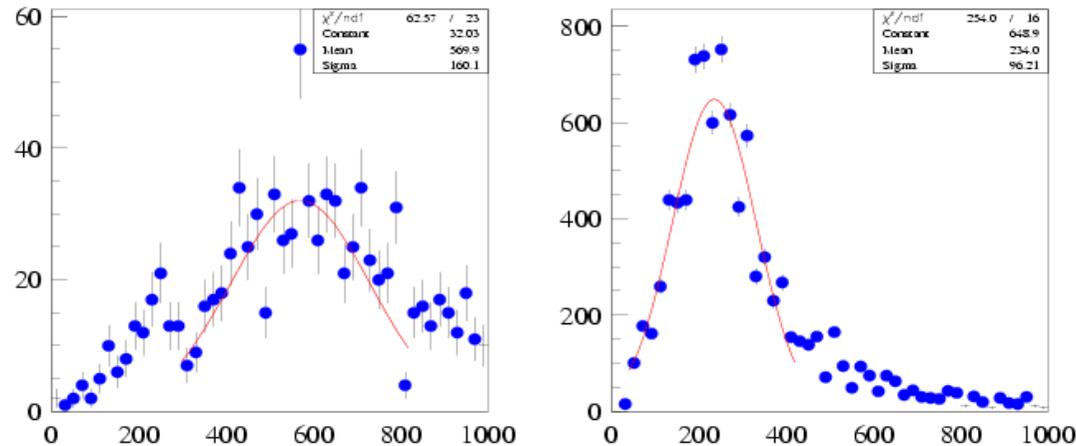
cladding

core

21°

# Spettri di carica (con raggi cosmici)

2002/07/01 14.29



Le figure mostrano le distribuzioni di carica (in conteggi di ADC) dei segnali dovuti alle particelle che attraversano una zona del rivelatore di circa  $2 \times 5 \text{ cm}^2$ .

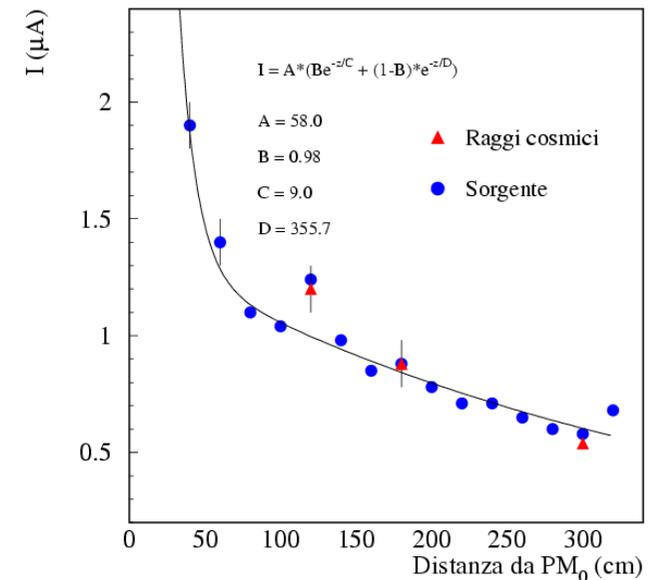
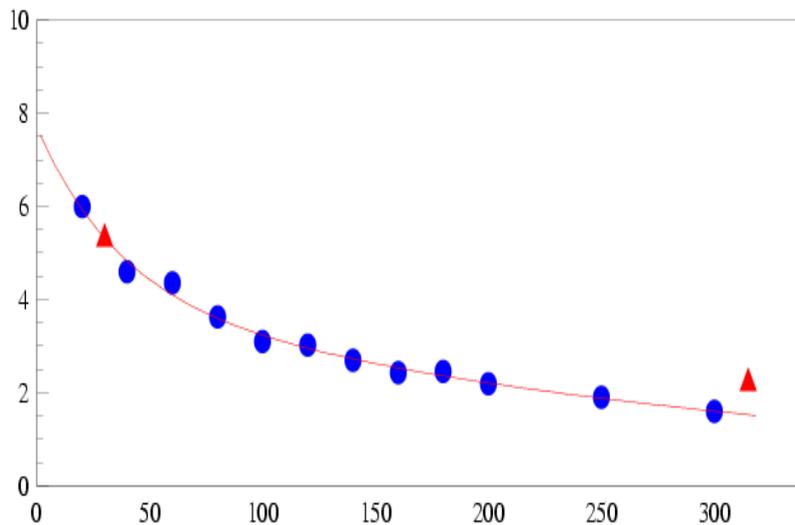
Lo spettro di sinistra e' stato effettuato ad una distanza di 30 cm dal fotocatodo del fotomoltiplicatore PM0. Quello di destra a una distanza di 315 cm da PM0.

I due spettri mostrano due distinte curve gaussiane. Benché l'energia rilasciata dalle particelle sia la stessa nei due casi, il segnale prodotto dal fotomoltiplicatore nel secondo caso e' molto minore (meno della metà) a causa dell'**attenuazione** della luce nella fibra.

# Verifica della curva di attenuazione

Abbiamo misurato la posizione del **picco** degli spettri di carica utilizzando l'energia rilasciata dai **raggi cosmici** nel rivelatore. Conoscendo i valori delle distanze dal fotomoltiplicatore PM0 (30 cm e 315 cm), possiamo verificare se queste misure sono in accordo con la curva di attenuazione determinata con la **sorgente**.

La figura qui sotto riporta le posizioni dei picchi con dei triangoli rossi. Notiamo che i due valori di energia misurati alle due distanze considerate seguono l'andamento della curva di attenuazione precedentemente ricavata con la sorgente.



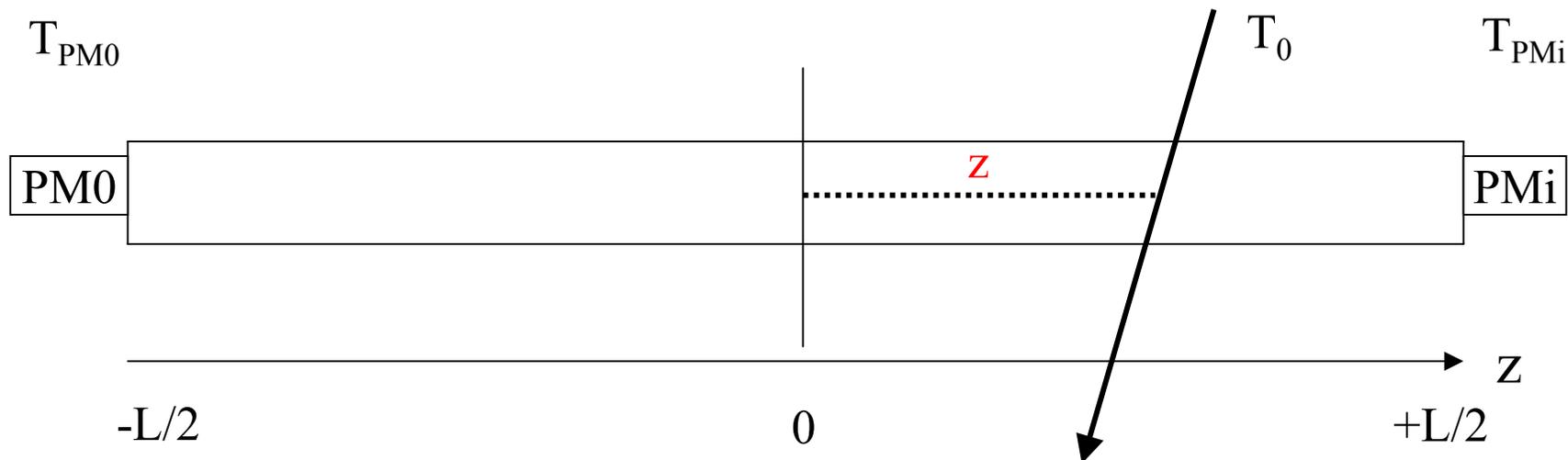
# Misura di posizione tramite differenza dei tempi

Per localizzare la **posizione** di attraversamento della particella nelle fibre si misurano i tempi di arrivo della luce sui due fototubi posti alle estremita' del contatore,  $T_{PM0}$  e  $T_{PMi}$  e la loro differenza  $\Delta t$ .

La velocita' della luce nelle fibre e' nota ( $v \sim 17 \text{ cm/ns}$ ), percio' se  $L$  e' la lunghezza totale delle fibre e poniamo la coordinata  $z = 0$  al centro del contatore:

$$T_{PM0} = T_0 + (L/2 - z)/v$$

$$T_{PMi} = T_0 + (L/2 + z)/v \quad \text{da cui } z = v \cdot \Delta t/2$$

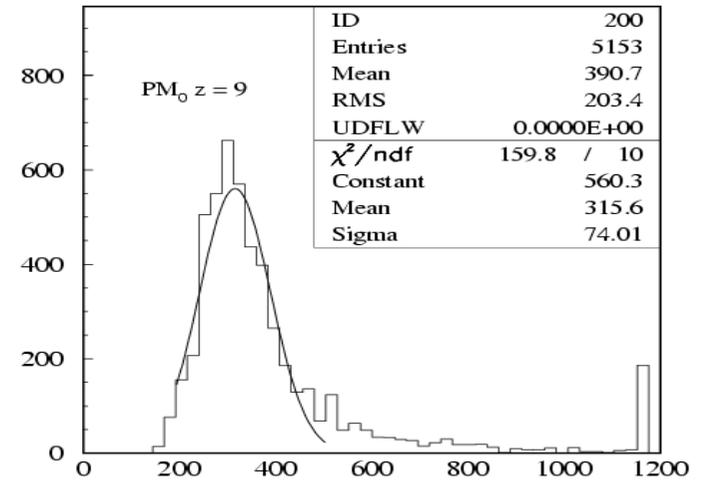
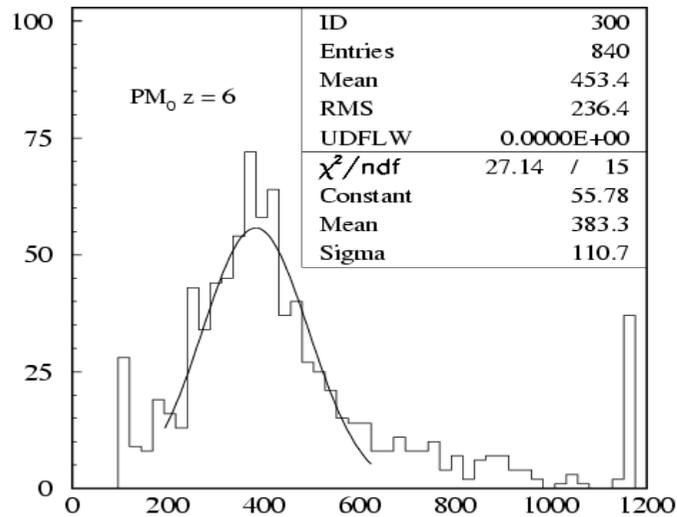


## Tabella per la misura della curva di guadagno

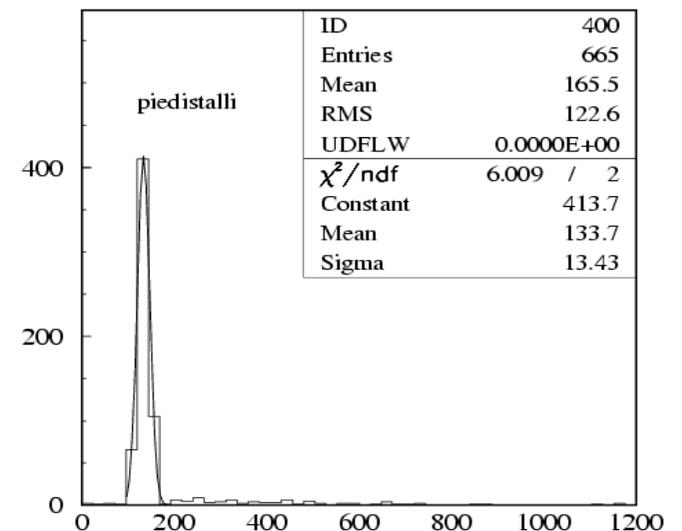
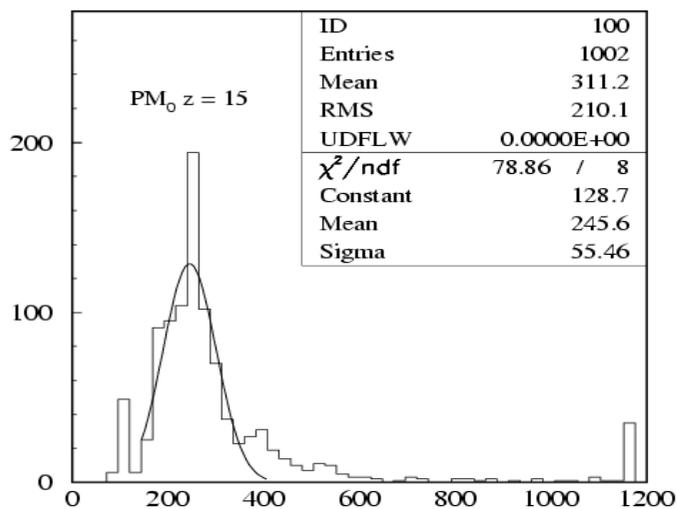
HV [Volts]	I(Sr <sup>90</sup> ) [ $\mu$ A]
1700	
1750	
1800	
1850	
1900	
1950	
2000	
2050	
2100	

Tabella per la misura  
della lunghezza di  
attenuazione

Posizione	$\Delta Z(\text{Pmi})$	$I(\text{Sr}^{90})$ [ $\mu\text{A}$ ]
2	40	
3	60	
4	80	
5	100	
6	120	
7	140	
8	160	
9	180	
10	200	
11	220	
12	240	
13	260	
14	280	
15	300	
16	320	



Esempi di spettri di carica misurata in conteggi ADC per raggi cosmici che colpiscono il rivelatore in posizioni diverse



# calorimetro

