



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA “TOR VERGATA”  
Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali

---

Corso di Laurea in  
FISICA

# Caratterizzazione di un calorimetro omogeneo

Relazione sull'attività di tirocinio  
Flavio Archilli

Relatori

Prof.ssa Annalisa D'Angelo

Prof. Carlo Schaerf

Correlatori

Dott. Giovanni Mazzitelli

Dott. Bruno Buonomo

---

Anno Accademico 2003/2004

# 1 Introduzione

Lo scopo di questa tesina è la caratterizzazione di un calorimetro omogeneo attraverso la misura della linearità e della risoluzione del rivelatore. Per fare questo è stato utilizzato un fascio di elettroni da 500 MeV disponibile presso la Beam Test Facility dei Laboratori Nazionali di Frascati. Il rivelatore a disposizione è un calorimetro omogeneo, tipo FRG by Schott Glaswerke, a vetro al piombo drogato al cerio attivato al tallio utilizzato nell'esperimento DELPHI come elemento del Forward Electromagnetic Calorimeter.

## 2 Apparato sperimentale

### 2.1 Il Calorimetro

Il calorimetro è un rivelatore adatto a determinare sperimentalmente l'energia della particella incidente. Possiamo distinguere due componenti principali: l'elemento sensibile alle particelle, che converte l'energia in fotoni di scintillazione, ed il fotomoltiplicatore, che converte il segnale luminoso in un segnale elettrico. Nel nostro caso abbiamo utilizzato un calorimetro omogeneo a vetro al piombo drogato al cerio attivato al tallio per rivelare un fascio di elettroni energetici a multibunch. Il piombo presente permette di aumentare la densità media del materiale e di conseguenza ridurre la lunghezza di radiazione  $X_0$ , definita come la distanza alla quale l'energia di una particella è ridotta di un fattore  $1/e$ . La lunghezza di radiazione è tipicamente utilizzata come unità per misurare la distanza attraversata da una particella all'interno della materia.

Il processo fisico, su cui si basa il funzionamento di un calorimetro, per misurare sperimentalmente l'energia degli elettroni incidenti è quello della cascata elettromagnetica.

### 2.2 Il fotomoltiplicatore

Il fotomoltiplicatore trasforma i fotoni in un segnale elettrico sfruttando l'effetto fotoelettrico. È costituito da un catodo fatto di materiale fotosensibile, seguito da un sistema di focalizzazione e una catena moltiplicatrice, costituita da vari dinodi e da un anodo dal quale si estrae il segnale finale. Durante il suo utilizzo viene applicato un

alto potenziale ai dinodi, in modo crescente, dal catodo all'anodo. Il fotomoltiplicatore è uno strumento lineare ed il segnale in uscita dall'anodo è una corrente proporzionale ai fotoni raccolti nella unità di tempo. Per l'esperienza abbiamo utilizzato un fotomoltiplicatore Cern/Type 4238 alimentato a 700 V.

Per studiare le caratteristiche del nostro calorimetro, abbiamo utilizzato il fascio di elettroni a multibunch presente nella Beam Test Facility di Frascati ottenuto dall'acceleratore lineare di DAΦNE.

### 2.3 Beam Test Facility

La BTF è una linea ottimizzata per la produzione di un fascio di elettroni o positroni con una determinata molteplicità ed energia, utile per esperimenti su rivelatori e calibrazioni di apparati.

Energy Range	25-750 MeV $e^-/e^+$
Max. Repetition Rate	50 Hz
Pulse Duration	1-10 ns
Current/Pulse	1 to $10^{10}$ particles
Allowed Current	$10^3$ particles/second

## 3 Analisi Teorica

### 3.1 Cascata Elettromagnetica e Scintillazione

La descrizione matematica della cascata elettromagnetica è complessa, in quanto lo sviluppo è un processo statistico e non si può risolvere con una formulazione semplice. Si può comunque estrapolare una teoria utilizzando molte semplificazioni (Approssimazione 'A' di Rossi). Si considera unicamente il comportamento medio della cascata ed in secondo luogo si assume che gli angoli di emissione di elettroni, positroni e fotoni, ad alte energie, siano piccoli e, quindi, che la cascata si sviluppi principalmente in avanti. In genere lo sviluppo longitudinale e quello trasversale sono studiati separatamente. Dal modello della cascata otteniamo che il numero massimo di particelle prodotte è proporzionale all'energia dell'elettrone incidente e che la lunghezza di penetrazione è proporzionale al logaritmo.

I materiali scintillanti presentano la proprietà nota come luminescenza. Il meccanismo di scintillazione nel vetro è dovuto al drogaggio ed al tipo di attivatore presente. Le caratteristiche affinché lo scintillatore sia un buon rivelatore, sono: un'alta efficienza nella conversione dell'energia in radiazione, trasparenza rispetto alla radiazione di fluorescenza, spettro di emissione coerente con il range di risposta del fotomoltiplicatore e tempo di decadimento costante. I rivelatori a vetro hanno tempi di risposta dell'ordine di decine di nanosecondi. Nel nostro caso l'emissione in luce è pari al 25% di quella dell'antracene, quindi la perdita media di energia di una particella della cascata elettromagnetica è circa  $240eV$  per fotone prodotto.

### 3.2 Le Caratteristiche del calorimetro

Dalle ipotesi fatte, la risposta del nostro calorimetro dovrà essere lineare rispetto l'energia della particella incidente. Non avendo la possibilità di estendere a molti ordini di grandezza l'energia del nostro fascio, applichiamo l'idea secondo cui due elettroni siano assimilabili ad un unico elettrone con energia doppia, e così via. Questa ipotesi è in accordo con la linearità tra numero di particelle prodotte nella cascata e l'energia della radiazione incidente, però non tiene conto che lo sviluppo della cascata in presenza di una particella ad energia doppia è più penetrante.

La risoluzione in energia di un calorimetro è determinata dalle fluttuazioni statistiche dovute allo sviluppo della cascata elettromagnetica, dalla trasparenza del materiale sensibile alla radiazione di fluorescenza, dall'efficienza del fotocatodo, dalla calibrazione e dall'apparato elettronico a cui è connesso il rivelatore. Generalmente la risoluzione è data in termini del rapporto tra l'ampiezza della distribuzione dell'energia misurata ed il valor medio della misura stessa,  $R = \frac{\sigma}{E}$ .

Per il nostro esperimento, assumiamo che la risoluzione sia data da

$$\left(\frac{\sigma}{E}\right) \approx \frac{A}{\sqrt{E}} + B$$

dove il primo contributo è dato dalle fluttuazioni statistiche della cascata ed il secondo contributo è dovuto ad errori di calibrazione, alla non linearità del fotomoltiplicatore e agli ADC di carica.

L'errore sulla risoluzione è facilmente ottenibile utilizzando la formula di propagazione

$$\Delta\left(\frac{\sigma}{E}\right) = \frac{\Delta\sigma}{E} + \frac{\sigma^2}{E^2}$$

## 4 Acquisizione ed analisi dati

Per studiare la linearità e la risoluzione del nostro rivelatore si misura l'energia dei bunch di elettroni provenienti dalla linea della BTF con il calorimetro. Questo viene posizionato di fronte all'uscita della linea utilizzando dei profilometri per ottenere un buon allineamento con il fascio. I profilometri non sono altro che 2 palette di 16 fibre scintillanti disposte una in orizzontale ed una in verticale. Queste, ad energie dell'ordine di  $405 MeV$ , non influenzano il fascio ma permettono di analizzare la sua distribuzione trasversale.

Per l'analisi grafica si utilizza il programma PAW su macchina UNIX.

Prima di iniziare la presa dati utilizzando il fascio, si determina l'errore sistematico dovuto al rumore integrato dal QCD chiamato piedistallo. Di seguito si ottiene lo spettro dei conteggi utilizzando il fascio. Analizzando i picchi dello spettro, si

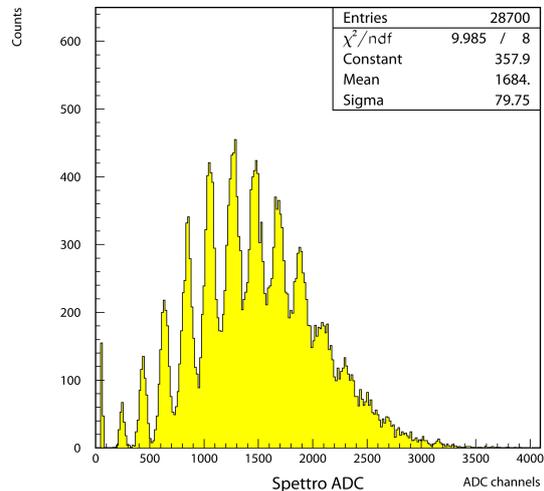


Figura 1: Distribuzione dei conteggi dell'ADC con binnaggio differente

misurano i valori medi dei pacchetti di elettroni incidenti sul calorimetro. Dai dati acquisiti si ottengono i grafici della linearità della risoluzione.

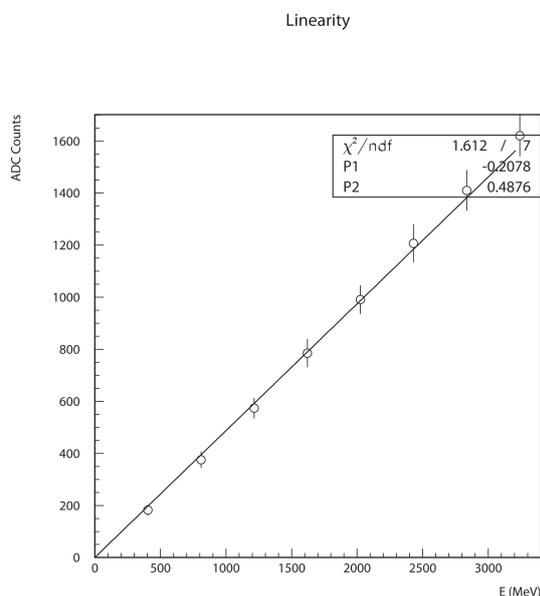


Figura 2: Linearità del calorimetro

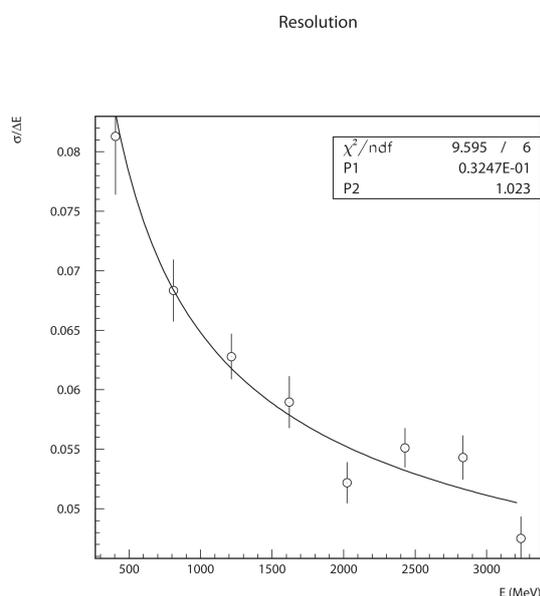


Figura 3: Risoluzione del calorimetro ottenuta con una funzione di fit del tipo  $f_{fit}(E) = P1 + \frac{P2}{\sqrt{E}}$

## 5 Conclusioni

Il nostro calorimetro omogeneo a vetro al piombo verifica la relazione di linearità tra la misura effettuata e l'energia nota del fascio di elettroni. La risoluzione risulta poco maggiore del 9% per un fascio di 1 GeV. Il risultato è ragionevole considerando la bassa statistica sugli eventi. I dati ottenuti confermano inoltre l'analisi teorica fatta sulla linearità del processo di sviluppo della cascata.

La misura del piedistallo è stata effettuata a diverse aperture di gate, dai 200 ai 400 ns. Essendo questa lineare con tale ampiezza e la sua risoluzione costante, si può dedurre che dipenda unicamente dal rumore di fondo presente nei QDC e non dal rumore del calorimetro che è statistico. Se quest'ultimo fosse presente la risoluzione peggiorerebbe con un gate crescente. Inoltre si può notare che il piedistallo calcolato utilizzando un trigger esterno e quello generato nelle misure con il fascio coincidono. Questo ci fa dedurre che è semplicemente un errore sistematico e può essere eliminato.

## Riferimenti bibliografici

- [1] William R. Leo, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, Springer-Verlag, 1994, (seconda edizione);
- [2] Richard C. Fernow, Introduction to experimental particle physics, Cambridge University Press, 1986;
- [3] Glenn F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, 1999, (terza edizione);
- [4] A.A.V.V., Physics Letters B - Review of Particle Physics, Elsevier, 2004;
- [5] Charles Kittel, Introduzione alla Fisica dello Stato Solido, Bollati Boringhieri, 2001, (terza edizione);