

Caratterizzazione di un calorimetro shashlik piombo-scintillatore

Stefano Carsi
Matricola 736512

Relatore:
Prof.ssa Michela Prest
Università degli Studi dell'Insubria

Correlatore:
Dott. Pietro Monti-Guarnieri
Università degli Studi dell'Insubria

Riassunto

I rivelatori di particelle sono strumenti che permettono di tracciare e identificare le particelle elementari cariche o neutre. Un'ampia classe di rivelatori è rappresentata dai *calorimetri*. Introdotti originariamente a metà del XX secolo per lo studio dei raggi cosmici, al giorno d'oggi giocano un ruolo fondamentale negli esperimenti di fisica delle particelle con fasci accelerati. I calorimetri sono blocchi di materiale strumentato, che producono un segnale proporzionale all'energia depositata dalle particelle che attraversano il volume sensibile. Per poter misurare l'energia di una particella, essa deve essere completamente assorbita dal calorimetro stesso: la tecnica di rivelazione è quindi distruttiva, e per questa ragione i calorimetri sono sempre posti fisicamente al termine del sistema di rivelazione.

I calorimetri possono essere classificati in base alla tecnica di costruzione (calorimetri omogenei o calorimetri a campionamento) e alla tipologia di particelle rivelate (calorimetri elettromagnetici o calorimetri adronici). In tutti i casi il principio di rivelazione è basato sulla produzione di uno sciame da parte della particella incidente, quando interagisce con un mezzo assorbitore.

Questo lavoro di tesi riguarda la caratterizzazione di un calorimetro elettromagnetico a campionamento shashlik. I calorimetri elettromagnetici a campionamento sono costituiti da strati alternati di *materiale assorbitore*, il cui scopo è la generazione di uno *sciame elettromagnetico*, e di un materiale attivo in grado di misurare l'energia dello sciame. In questo lavoro di tesi è stato caratterizzato un calorimetro di (11.5×11.5) cm² costituito da strati di piombo di 1.5 mm alternati a strati di 4 mm di scintillatore plastico (per un totale di 19 lunghezze di radiazione), che emette luce di scintillazione a seguito del deposito di energia da parte delle particelle dello sciame. Il calorimetro è attraversato per tutta la sua lunghezza da 144 fibre WLS (WaveLength Shifter), disposte in una matrice 12×12 a passo di 1 cm, il cui scopo è raccogliere la luce di scintillazione prodotta dagli strati plastici del calorimetro

e modificarne la lunghezza d'onda per adattarla al range spettrale dei due tubi fotomoltiplicatori (PMT).

Il calorimetro è stato caratterizzato sia in laboratorio (presso il laboratorio INSU-LAB dell'Università degli Studi dell'Insubria) con raggi cosmici che sul fascio estratto H2 della North Area del CERN con fasci di elettroni nel range 20 – 120 GeV. In laboratorio, ricostruendo la traiettoria dei raggi cosmici con un sistema di tracciamento al silicio, è stata misurata l'*efficienza del sistema di lettura* (fibre+PMT e relativo accoppiamento ottico), definita come il rapporto tra il numero di particelle viste dal rivelatore e il numero totale di particelle che lo hanno attraversato, ottenendo un valore di $(95 \pm 0.3) \%$.

Sempre sfruttando i raggi cosmici è stata condotta una acquisizione ad alta statistica della durata di un mese per verificare se si riuscissero a distinguere i vari piani costituenti il calorimetro, una misura che normalmente viene effettuata utilizzando fasci ad alta intensità. La statistica è risultata non sufficiente, ma ha permesso di osservare una *modulazione nell'efficienza* con il passo corretto.

La caratterizzazione delle performance del calorimetro in termini di risoluzione energetica è stata fatta grazie ai dati acquisiti nel contesto dell'esperimento KLEVER presso la linea H2 del CERN dove il calorimetro è stato usato per misurare l'energia degli elettroni deviati da un campo magnetico dopo aver interagito con un bersaglio e aver prodotto fotoni per bremsstrahlung, perdendo quindi energia. Il rivelatore studiato in questa tesi era posizionato accanto al calorimetro per la misura dell'energia dei fotoni, e quindi copriva il range energetico 100 – 120 GeV.

Quando una particella incide sul calorimetro deposita tutta la sua energia, che viene a sua volta convertita in luce di scintillazione, raccolta dalle fibre e portata ai due PMT. Pertanto per misurare l'energia di una particella non è sufficiente analizzare i due canali indipendentemente, ma è necessario sommarli. Trattandosi di due fotomoltiplicatori differenti, essi possono avere un guadagno differente, e quindi una semplice somma delle due pulse height non sarebbe un valore proporzionale all'energia depositata. L'*equalizzazione* del calorimetro è quella procedura che permette di trovare un coefficiente moltiplicativo per il secondo canale, che consenta quindi di sommare i valori dei due canali, ottenendo un valore proporzionale all'energia depositata. L'equalizzazione è stata effettuata utilizzando un fascio di energia costante e variando il punto di impatto sulla faccia del calorimetro nella direzione che congiunge i due canali.

Per poter convertire la somma dei canali equalizzati in un'energia in GeV è necessario effettuare la *calibrazione*. Fasci di energie note e differenti vengono fatti incidere al centro del calorimetro in modo tale da essere sicuri che tutta l'energia venga depositata al suo interno. Effettuando un fit lineare della somma equalizzata dei canali, che risulta proporzionale all'energia della particella, in funzione dell'energia del fascio, si può stabilire il *coefficiente di calibrazione*.

È stato quindi possibile misurare il contributo dei tre parametri (costante, di rumore e stocastico) alla *risoluzione energetica* utilizzando fasci di energie differenti incidenti al centro della faccia del calorimetro e considerando la varianza delle distribuzioni gaussiane (σ) del deposito di energia. I valori ottenuti sono risultati essere $(2.70 \pm 0.24) \%$ per il termine costante, $(0.02 \pm 71.49) \%/E$ (GeV) per il termine

di rumore e $(23.62 \pm 3.35) \%/ \sqrt{E \text{ (GeV)}}$ per il termine stocastico. La risoluzione energetica a 100 GeV è risultata essere 3.55 %, un valore ottimale essendo il calorimetro utilizzato per la misura dell'energia di elettroni nel range (100 – 120) GeV. La lettura tramite PMT giustifica la compatibilità del termine di rumore con lo zero, mentre la scarsa statistica a disposizione per le basse energie (un solo punto) è la causa dell'elevata incertezza.

Il valore misurato per la risoluzione energetica è risultato peggiore rispetto a quello riportato in un precedente studio di caratterizzazione dello stesso rivelatore, ma con accoppiamento delle fibre WLS a fotomoltiplicatori al silicio (SiPM) che hanno maggiore *efficienza quantica* e consentono un migliore interfacciamento delle fibre stesse. Va comunque sottolineato come la misura di risoluzione energetica era stata precisamente lo scopo di tale studio, mentre nella presa dati del 2021 è risultata una misura accessoria finalizzata alla verifica del corretto funzionamento del calorimetro.

In conclusione, il calorimetro caratterizzato per questo lavoro di tesi, accoppiato a PMT, è un calorimetro ideale per fasci di test: è compatto, con un sistema di lettura buono e una risoluzione energetica adeguata.

Per una misura più accurata della risoluzione energetica sarà necessaria una presa dati con più statistica e con più energie a disposizione soprattutto nella regione (1 – 10) GeV.