

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI  
DIPARTIMENTO DI FISICA “Galileo Galilei”



TESI DI LAUREA DI PRIMO LIVELLO

# Prestazioni di ricostruzione di muoni cosmici nelle camere a deriva di CMS

Relatore: dott. PAOLO RONCHESE

Laureando: DAVIDE CESTER

ANNO ACCADEMICO 2006/2007

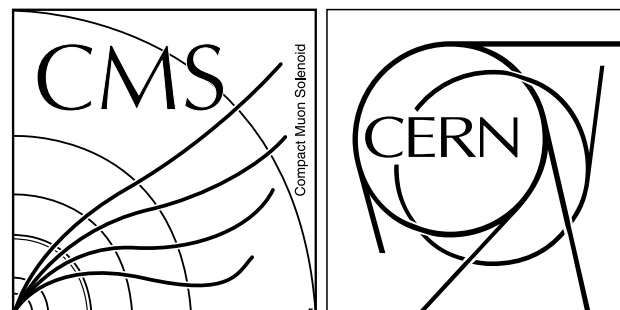


## Sommario

CMS (*Compact Muon Solenoid*) è uno dei quattro impianti sperimentali che sfruttano i fasci  $p+p$  a  $7+7$  TeV di LHC (*Large Hadron Collider*), ed è ottimizzato per rilevare un Bosone di Higgs avente massa compresa tra 0.08 e 1 TeV. Un componente chiave di CMS è il rivelatore di muoni, dal momento che esso svolge anche la funzione di *trigger* per l'intero apparato; questo rivelatore è costituito da quattro strati di camere a deriva disposte circolarmente intorno alla direzione dei fasci incidenti.

Attualmente nella sede di CMS a Cessy è in corso il *Commissioning* (installazione e collaudo) sotterraneo con raggi cosmici delle camere a deriva.

Questo lavoro descrive alcune analisi effettuate sui dati del Commissioning, riguardanti in particolare l'efficienza di misurazione e ricostruzione dei segmenti all'interno di singoli settori.



## Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>2</b>
1.1	Il framework di CMS . . . . .	3
1.2	Le camere a deriva . . . . .	4
1.3	Rivelazione delle tracce . . . . .	5
1.4	Descrizione dell'analisi e obiettivi . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Procedure di analisi dati</b>	<b>6</b>
2.1	La programmazione e le strutture dati . . . . .	6
2.2	Tattamento dei dati sperimentali . . . . .	6
2.2.1	Selezione dei segmenti . . . . .	6
2.2.2	Confronto con i segmenti misurati . . . . .	7
2.2.3	Estrapolazione . . . . .	7
2.2.4	Errori e correlazione tra le camere . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Risultati dell'analisi</b>	<b>9</b>
3.1	Panoramica iniziale . . . . .	9
3.2	Risoluzione . . . . .	11
3.3	Efficienza . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>16</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>17</b>

# 1 Introduzione

CMS (*Compact Muon Solenoid*) è uno dei quattro esperimenti che sfruttano i fasci  $p+p$  di LHC (*Large Hadron Collider*); la sua struttura coassiale ai fasci incidenti prevede una serie di stadi cilindrici nei quali trovano posto i tracciatori, i calorimetri, ed ovviamente il magnete solenoidale:

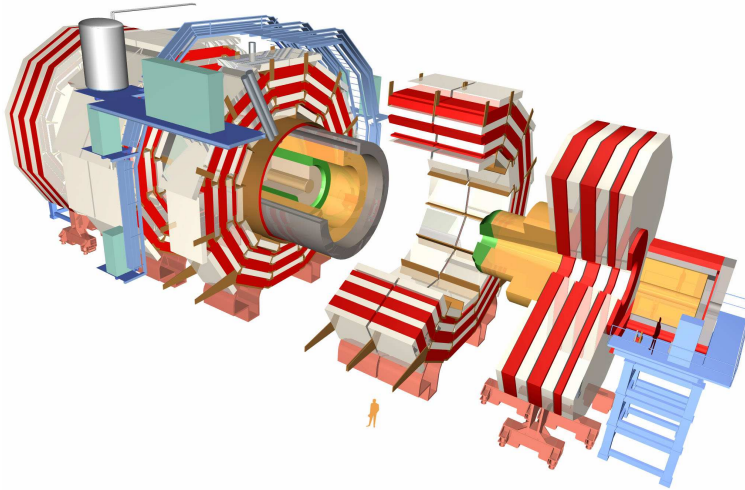


Figura 1: Struttura tridimensionale di CMS

Lo stadio più esterno ospita il rivelatore di muoni composto da camere a deriva; ogni muone prodotto nelle interazioni  $p-p$  attraversa 4 stazioni di misura, divise in 5 ruote (sezioni di CMS, coassiali con i fasci di protoni) e 12 settori (spicchi di  $30^\circ$ ). Ad ogni ruota/settore/stazione corrisponde una camera alloggiata in uno spazio ricavato nel ferro di ritorno del campo magnetico; in alcuni casi in cui lo spazio è particolarmente ampio si trovano due camere affiancate. L'importante funzione di questo ultimo stadio è quella di misurare con la massima precisione momento e traiettoria dei muoni prodotti nella collisione, al fine di poter identificare e registrare l'evento corrispondente, dal momento che la produzione di muoni ad alta energia (corrispondente al decadimento di particelle pesanti) molto spesso è il segnale che la collisione è stata particolarmente significativa. Per questioni sia tecniche che economiche risulta assolutamente impossibile registrare continuamente tutto l'output dell'apparato di rilevazione; identificare in modo preciso i muoni prodotti significa avere la capacità di scegliere quasi in tempo reale quali eventi meritano di essere conservati per l'analisi, e quali no, e riuscire a raccogliere una quantità sufficiente di dati significativi.

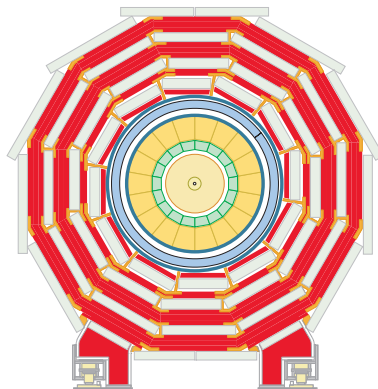


Figura 2: Disposizione delle camere a deriva in una ruota; le stazioni sono numerate da 1 a 4 a partire dall'interno, mentre i settori da 1 a 12 in senso antiorario a partire da "ore tre".

## 1.1 Il framework di CMS

CMS, e più in generale tutti gli esperimenti di LHC, sono destinati a produrre una mole di dati quale mai prima si è avuta in un singolo progetto di ricerca: in un solo secondo di attività, CMS può produrre un volume di dati equivalente a circa 10,000 volte l'Enciclopedia Britannica, mentre la banda utilizzata dal costruttore di eventi di CMS (circa 500 Gbit/s) equivale al volume di traffico generato quotidianamente dall'intera rete di telecomunicazione mondiale[1].

Il progetto dell'apparato sperimentale, soprattutto per quanto riguarda la sezione di trigger, ha dovuto implementare un filtro in tempo reale sulla registrazione degli eventi, in modo da abbassare la frequenza degli eventi dai 40MHz (la frequenza a cui avvengono gli incroci in LHC) ai 100 Hz, la massima frequenza raggiungibile per la memorizzazione. Un nuovo tipo di rete di archiviazione e calcolo distribuito, la *GRID*, è stata progettata per riuscire a coordinare il salvataggio di questa immensa quantità di dati, e soprattutto fornire le sufficienti risorse di calcolo per la successiva analisi.

Parallelamente alla costruzione dell'*hardware*, è stata creata tutta l'infrastruttura software che consente ai ricercatori di prelevare ed analizzare i dati; più in dettaglio questa infrastruttura (il cosiddetto *Framework*) fornisce:

- una procedura standardizzata con cui gli eventi vengono elaborati;
- la possibilità di raggruppare gli algoritmi in “moduli” che operano sugli eventi;
- un meccanismo per coordinare i vari moduli che devono operare in una data esecuzione;
- la capacità di recuperare e collegare le necessarie informazioni (e.g. tarature dell'apparato) in modo trasparente;
- l'interfaccia standard per l'aggiunta di altre funzioni al Framework stesso.

Pertanto, operando all'interno del Framework è possibile concentrarsi sulle specifiche procedure di analisi senza (troppo) preoccuparsi di dettagli strettamente informatici.

In figura 3 si trova uno schema a blocchi della struttura del Framework.

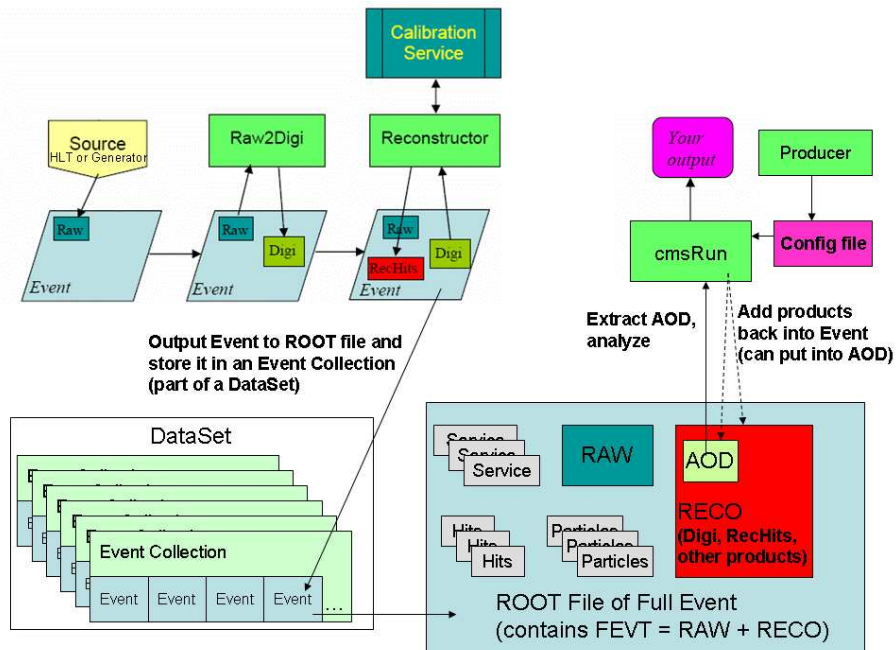


Figura 3: Schema a blocchi del Framework di CMS.

## 1.2 Le camere a deriva

Il rivelatore muonico è costituito da quattro strati concentrici di camere a deriva, chiamate da MB1 (la più interna) a MB4 (la più esterna); ogni camera (ad eccezione delle MB4) è composta da quattro strati, tre *superlayer* (SL) contenenti i tubi a fili, ed uno strato di *honeycomb* dalla funzione puramente strutturale. Il primo e l'ultimo superlayer hanno i fili orientati parallelamente all'asse di CMS (*vista Phi*), e misurano la traiettoria sul piano trasversale all'asse, mentre il superlayer centrale ha i fili orientati trasversalmente all'asse per misurare la posizione longitudinale (*vista Theta*). La MB4 non possiede il superlayer centrale; questa mancanza è marginale, dato che l'informazione principale sul momento dei muoni dovrà arrivare dalla misura della loro curvatura nella vista Phi. Ciascun superlayer a sua volta si divide in quattro piani (o *layer*), il primo ed il terzo dei quali traslati di mezza cella rispetto agli altri due; caratteristica, questa, che rende possibile risalire al tempo in cui si è originato l'evento tramite un confronto sui tempi dei segnali, già nel momento in cui vengono osservati. In figura 4 è mostrata la sezione (vista Phi) di una camera in cui questa particolare configurazione è facilmente osservabile.

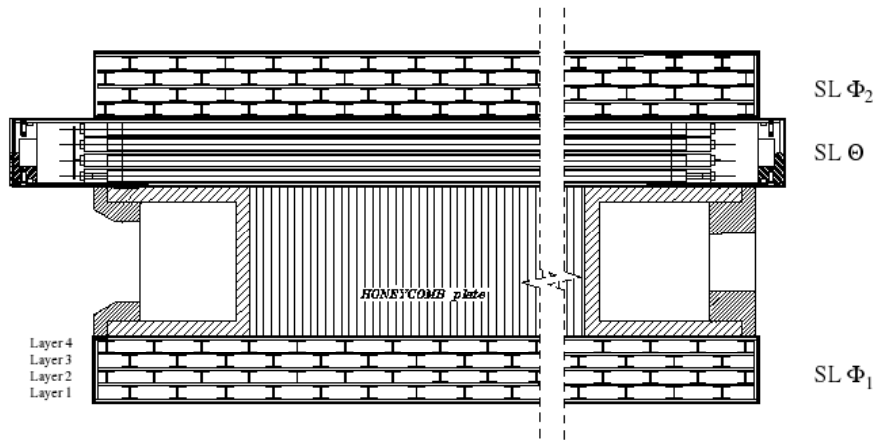


Figura 4: Sezione generale di una camera a deriva.

I singoli tubi a deriva, dalla sezione di  $43 \times 13 \text{ mm}^2$ , contengono tre elettrodi: il filo centrale, dove avviene la generazione del segnale, i due catodi laterali (*I-beams*), e due striscie, che contribuiscono a sagomare ed uniformare il campo elettrico all'interno del tubo. Il passaggio di un muone ionizza il gas provocando la produzione in cascata di elettroni liberi, i quali vengono trascinati dal campo elettrico al filo centrale; la carica viene raccolta da un circuito elettronico che invia un segnale ad un convertitore TDC (time to digital converter). Il TDC fornisce il tempo di ricezione del segnale relativamente ad un "tempo zero" dato dal sistema di trigger; dalla sottrazione dei ritardi dovuti alla propagazione del segnale nella catena elettronica e dalla moltiplicazione per la velocità di deriva degli elettroni nella camera, è infine possibile risalire alla posizione di passaggio del muone in direzione perpendicolare al filo.

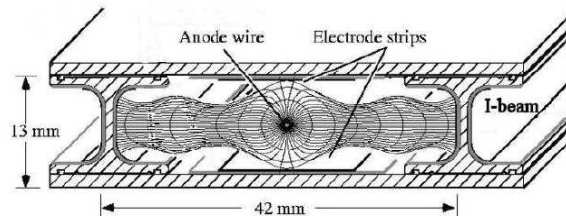


Figura 5: Schema di un tubo a deriva (sono indicate anche le linee di campo).

### 1.3 Rivelazione delle tracce

Nel sistema di trigger i segnali dei fili vengono elaborati dall'elettronica di controllo a livello di superlayer per formare dei segmenti, e, se consistenti, i segmenti nei superlayer sono combinati per formare un unico segmento che attraversa tutta la camera; l'effettiva ricostruzione di un segmento in una camera è quindi il segnale del passaggio di un muone.

Con LHC operativo i segnali di trigger delle varie camere verranno combinati tra loro per portare alla decisione se immagazzinare o meno i dati raccolti per la successiva analisi "off-line". Invece nel collaudo delle camere queste vengono esposte alla radiazione cosmica e vengono registrati i dati raccolti sulla base della semplice presenza di un segmento ricostruito in una singola camera.

Nell'analisi off-line, i punti ed i segmenti di traccia vengono poi ricalcolati, utilizzando la miglior conoscenza disponibile del rivelatore. Quando CMS sarà pienamente operativo i vari segmenti di traccia verranno combinati tra loro e con le informazioni provenienti dagli altri rivelatori, fino a ricostruire le tracce di tutti i prodotti dell'interazione  $pp$ .

Durante le operazioni di collaudo, invece, i segmenti ricostruiti nelle varie camere vengono studiati, ed eventualmente confrontati tra loro, per verificare il funzionamento delle camere stesse e degli algoritmi di ricostruzione.

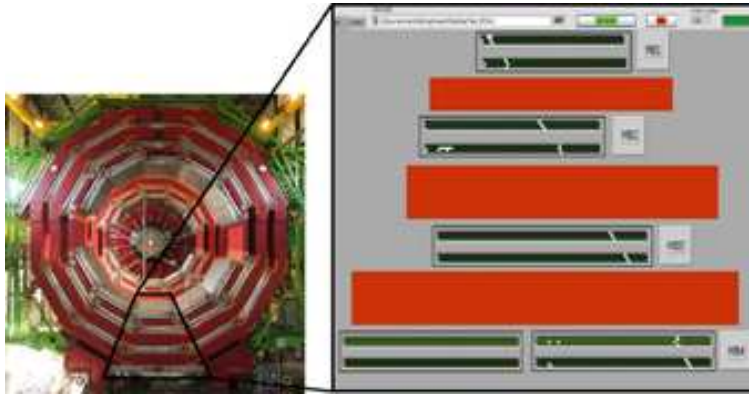


Figura 6: Rappresentazione di come un muone viene osservato da CMS. Si osservano segnali spuri dovuti al rumore elettronico.

Ovviamente le due viste Phi e Theta lavorano separatamente, e possono essere o meno presenti in alcune ricostruzioni.

### 1.4 Descrizione dell'analisi e obiettivi

Durante la fase di Commissioning con raggi cosmici all'interno della caverna sono stati raccolti molti dati raggruppati in diversi file, ciascuno contenente le registrazioni di un singolo settore. I dati di partenza di questa analisi sono alcuni di questi file, relativamente ai settori da 1 a 7 della ruota 0, in pratica la metà superiore della sezione centrale di CMS. Come vedremo, queste registrazioni sono rappresentative dei diversi comportamenti dei settori di CMS, principalmente legati alla geometria chiaramente ottimizzata per eventi *interni* all'apparato.

L'analisi inizia con l'utilizzo dei moduli di ricostruzione di CMS, che dai dati grezzi ricostruiscono i diversi segmenti nelle singole camere. Evento per evento, all'interno di un singolo settore si cercano segmenti compatibili, in coppie di camere diverse, che possono venire estrapolati fino ad una terza camera; quindi si valuta la presenza in quella camera di un segmento effettivamente ricostruito, ed in caso affermativo se ne misura la compatibilità.

Gli obiettivi complessivi del lavoro consistono in:

- osservare la distribuzione di tutti i segmenti ricostruiti; ciò consente di verificare che non vi siano regioni inattive in qualche camera (per qualsiasi motivo);

- ricostruire i segmenti nelle varie camere ed effettuare l'estrapolazione quando possibile;
- verificare l'effettiva presenza di segmenti dove previsti (*efficienza*);
- stimare la compatibilità tra i segmenti ricostruiti e quelli misurati (*risoluzione*).

## 2 Procedure di analisi dati

### 2.1 La programmazione e le strutture dati

Normalmente all'interno del Framework operano moduli scritti in linguaggio C++, mentre per l'analisi dati si ricorre spesso all'integrazione dei programmi con l'ambiente *ROOT*, anch'esso sviluppato internamente al CERN. ROOT fornisce un completo kit di strumenti per il trattamento dei dati e la produzione di grafici; inoltre la sinergia con il Framework è molto forte, in quanto le strutture dati di ROOT vengono utilizzate nativamente per la strutturazione delle informazioni a basso livello, e anche per l'interscambio di dati tra i moduli[2].

I dati di origine sono memorizzati in file binari suddivisi per *Run*; ad ogni file binario un database associa dati quali numero e caratteristiche delle camere coinvolte, i valori di taratura ed eventuali altri parametri di presa dati. Su questi dati operano in sequenza i vari moduli che, nella struttura definitiva, portano alla ricostruzione spaziale ed energetica delle tracce; in questa analisi invece vengono utilizzati solamente i moduli che ricostruiscono i segmenti nelle singole camere.

Ogni segmento nella camera è caratterizzato da un punto tridimensionale e da un versore direzionale, il tutto espresso nel sistema di coordinate locali della camera, dove l'asse  $z$  sta nella direzione dello spessore, diretto verso il centro di CMS, mentre  $x$  ed  $y$  sono le coordinate ortogonali ai fili nelle due viste. Nel sistema di coordinate globali per CMS, invece,  $z$  rappresenta l'asse del solenoide,  $x$  la direzione passante per il centro di LHC con zero sull'asse  $z$ , ed  $y$  la direzione perpendicolare; inoltre sono state implementate delle funzioni per passare da un sistema di coordinate all'altro, il che torna molto utile quando si devono confrontare segmenti in camere diverse.

Inoltre, per costruzione delle camere, la tridimensionalità dei segmenti è ricostruita sulla base di due proiezioni, la *vista Phi* e la *vista Theta*, che corrispondono alle rivelazioni con i fili paralleli all'asse del solenoide, o perpendicolari. Se una delle due viste risulta mancante, come a volte accade, i valori corrispondenti vengono posti a zero, e viene attivato un marcatore. L'analisi quindi può concentrarsi solo su una delle due viste, o su entrambe; ovviamente nel secondo caso nei calcoli interviene un numero doppio di parametri, il che dà risultati più completi.

### 2.2 Trattamento dei dati sperimentali

La procedura di analisi consiste essenzialmente nel confronto tra i segmenti misurati da una camera, ed i segmenti che è possibile ricostruire in essa a partire dai segmenti nelle altre camere.

La prima parte dell'analisi riguarda la manipolazione dei segmenti all'interno del Framework di CMS, al fine di eliminare rivelazioni spurie e selezionare quei segmenti che possono contribuire a delle ricostruzioni di traccia.

Il codice necessario è stato inserito in un *modulo di analisi* creato a questo scopo, ed inserito all'interno del Framework in modo da venire eseguito successivamente ai moduli già esistenti che ricostruiscono i segmenti di traccia interni alle camere.

#### 2.2.1 Selezione dei segmenti

Ogni evento contiene le ricostruzioni, eventualmente multiple, dei segmenti in tutte e quattro le camere. Il primo passo è la scelta di lavorare su una delle due proiezioni, oppure in tre dimensioni, e quindi selezionare i segmenti per vista (Phi, Theta od entrambe). La condizione di presenza di entrambe le viste porta ad una diminuzione dei segmenti utili, ma



permette di confrontare i segmenti in tutte le dimensioni, riducendo il rischio di lavorare con segmenti solo apparentemente compatibili; al contrario, lavorare su una delle due proiezioni può tornare utile per studiare selettivamente la dipendenza del comportamento della camera dalla posizione lungo un singolo asse.

Una volta filtrati i segmenti con la vista richiesta è necessario, per ogni camera, individuare le altre due camere da cui effettuare l'estrapolazione: ovviamente deve trattarsi ancora di camere non vuote, con segmenti aventi la vista richiesta, e diverse dalla camera studiata. Se queste condizioni sono soddisfatte da più di due camere, l'algoritmo sceglie le due più lontane tra loro. Se queste due camere contengono più di due segmenti utili, vengono provate tutte le combinazioni tra i segmenti per individuare quelli che combaciano maggiormente.

### 2.2.2 Confronto con i segmenti misurati

La coppia di segmenti appena trovata viene convertita nelle coordinate locali della camera studiata, e si estrapolano posizione e direzione del segmento ricostruito; quindi si cerca tra quelli effettivamente misurati se ne esiste uno che combacia con le previsioni. Se nessun segmento combacia con il segmento ricostruito, viene registrato come caso di inefficienza.

A questo punto, per ogni evento e per ogni camera, vengono memorizzati tre segmenti utili: i due segmenti da cui effettuare l'estrapolazione, e l'eventuale segmento da confrontare con la ricostruzione. Questa fase ha lo scopo principale di ricostruire i segmenti, e selezionarne un insieme utile all'analisi; per questo motivo vengono memorizzate solamente le posizioni e le direzioni dei segmenti di partenza, e non i risultati delle estrapolazioni che saranno ripetute durante l'analisi successiva. Inoltre, non sono utilizzate soglie di alcun genere per misurare la qualità di questi confronti, in quanto una selezione qualitativa dei segmenti viene effettuata in seguito.

### 2.2.3 Estrapolazione

Partendo dai punti  $P_1 = (x_1, y_1, z_1)$  e  $P_2 = (x_2, y_2, z_2)$ , espressi in coordinate locali della camera corrente ( $E$ ), e considerando separatamente le due proiezioni, si ricava che la posizione del segmento estrapolato in  $E$  corrisponde al punto del segmento  $P_1P_2$  che interseca il piano  $xy$  per  $z = 0$ , e quindi

$$\begin{aligned} x_E &= \frac{x_1 * z_2 - x_2 * z_1}{z_2 - z_1}; \\ y_E &= \frac{y_1 * z_2 - y_2 * z_1}{z_2 - z_1}; \\ z_E &= 0 \end{aligned}$$

Per quanto riguarda la direzione del segmento estrapolato, la questione è un po' più varia. La prima possibilità, dato che il punto è stato ottenuto per prolungamento rettilineo, definisce la direzione del segmento ricostruito come la direzione della retta estrapolante:

$$\begin{aligned} u_{XE1} &= \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}}; \\ u_{YE1} &= \frac{y_2 - y_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}}; \\ u_{ZE1} &= \frac{z_2 - z_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}}; \end{aligned}$$

Un'altra procedura utilizza invece le direzioni dei segmenti iniziali: sempre nell'ipotesi che il muone percorra una traiettoria rettilinea, è possibile anche definire la pendenza del segmento ricostruito come la media delle pendenze dei due segmenti di partenza:

$$\begin{aligned}
u_{XE2} &= \frac{1}{2}(u_{X1} + u_{X2}); \\
u_{YE2} &= \frac{1}{2}(u_{Y1} + u_{Y2}); \\
u_{ZE2} &= \frac{1}{2}(u_{Z1} + u_{Z2});
\end{aligned}$$

Con una traiettoria perfettamente rettilinea, ed in assenza di errori di misura, i versori  $\hat{u}_{E1}$  ed  $\hat{u}_{E2}$  sarebbero perfettamente coincidenti; ma nell'apparato sperimentale è sempre possibile che le traiettorie vengano deviate per interazione dei muoni con il ferro di ritorno del campo, o addirittura con la struttura stessa delle camere. È stata scelta la direzione  $\hat{u}_{E1}$  come effettiva direzione del segmento ricostruito, e la sua differenza con  $\hat{u}_{E2}$  come parametro per verificare la compatibilità dei due segmenti scelti con l'ipotesi di una traiettoria rettilinea; sono state utilizzate per l'estrapolazione le coppie di segmenti per cui il modulo della differenza tra le componenti considerate nella vista studiata era inferiore ad una soglia pari a 0.05.

#### 2.2.4 Errori e correlazione tra le camere

Considerando una vista alla volta, l'interpolazione dei segmenti è di tipo lineare, con  $x$  (o  $y$ ) in funzione di  $z$ ; ad esempio  $x = a + bz$  per la vista Phi. Denotando con  $z_i$  e  $x_i$  i dati sperimentali, i parametri  $a$  e  $b$  valgono:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n z_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n z_i \cdot \sum_{i=1}^n z_i x_i}{n \sum_{i=1}^n z_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n z_i\right)^2}; \quad b = \frac{n \sum_{i=1}^n z_i x_i - \sum_{i=1}^n z_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n \sum_{i=1}^n z_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n z_i\right)^2}$$

mentre gli errori si possono calcolare come:

$$\begin{aligned}
S_{aa} = \sigma_a^2 &= \sigma_y^2 \frac{\sum_{i=1}^n z_i^2}{n \sum_{i=1}^n z_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n z_i\right)^2} \\
S_{ab} &= -\sigma_y^2 \frac{\sum_{i=1}^n z_i}{n \sum_{i=1}^n z_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n z_i\right)^2} \\
S_{bb} = \sigma_b^2 &= \sigma_y^2 \frac{n}{n \sum_{i=1}^n z_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n z_i\right)^2}
\end{aligned}$$

Dal momento che interpoliamo per  $z=0$ , l'errore su  $x_E$  è dato solamente da  $S_{aa}$ ; inoltre, nell'approssimazione in cui le camere sono equidistanti, la coordinata  $z$  è data da una costante per il numero della camera, ed è quindi possibile sostituire ad ogni  $z_i$  la differenza tra il numero di stazione relativo alla camera studiata ed il corrispondente della camera da cui si estrapola. Ad esempio, lavorando nella camera 2, ed interpolando dalle camere 1 e 4, i valori delle  $z$  si possono sostituire con +1, -2, ed otteniamo dei semplici calcoli con numeri interi. Assumendo che l'errore  $\sigma_x$  sulla posizione del segmento ricostruito sia uguale in tutte le camere si ha quindi  $\sigma_{xE} = K\sigma_x$ , mentre lo scarto quadratico medio delle differenze tra la posizione del segmento ricostruito e la posizione estrapolata risulta

$$\sigma_{\text{diff}}^2 = \sigma_{xE}^2 + \sigma_x^2 = (K^2 + 1)\sigma_x^2$$

Da ciò si possono ricavare i coefficienti (minori di uno)  $f = \frac{1}{\sqrt{K^2+1}}$  con i quali si possono scalare le differenze tra posizioni ricostruite ed estrapolate nelle varie configurazioni; la distribuzione degli scarti così riscalati ha quindi una larghezza che dà una stima diretta della risoluzione  $\sigma_x$ .

### 3 Risultati dell'analisi

#### 3.1 Panoramica iniziale

Come prova iniziale sia per il codice di analisi che per i dati, sono stati riportati in un grafico i punti rappresentativi di tutti i segmenti contenuti nei file analizzati (figura 7); il profilo delineato è esattamente quello di CMS.

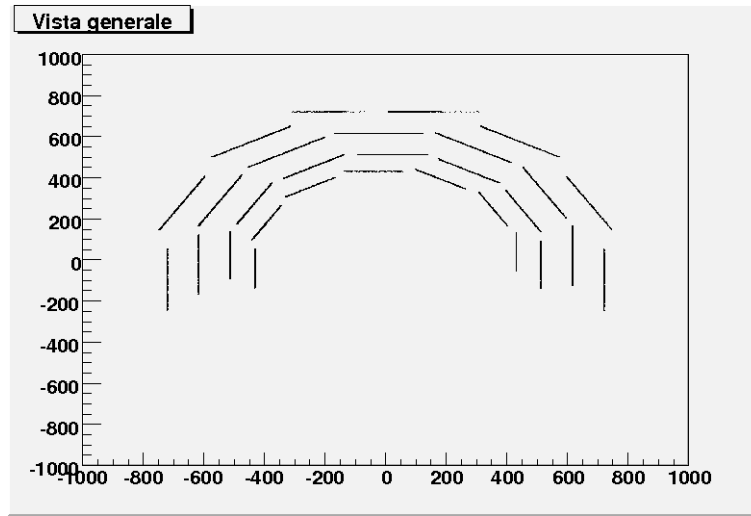


Figura 7: Visione d'insieme di tutti i segmenti analizzati.

Il passo successivo è quello di tracciare degli istogrammi che rappresentino la quantità di segmenti ricostruiti in funzione della posizione lungo i due assi x ed y; quello che ci aspettiamo è l'approssimazione di una figura a scalino che riproduca le dimensioni di ogni camera.

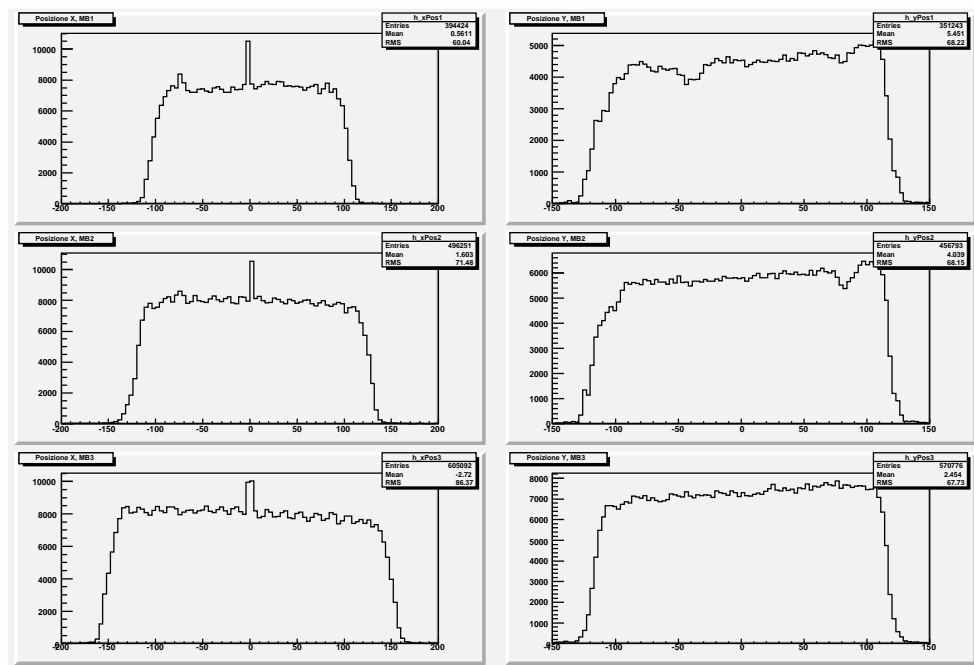


Figura 8: Profili Phi (a sinistra) e Theta (a destra) di tutte le camere.

In figura 8 sono mostrati gli istogrammi delle posizioni ricostruite in tutte le camere, raggruppando tra loro le camere poste nella stessa stazione, aventi le stesse dimensioni.

Le camere poste nella stazione 4 invece hanno dimensioni diverse nei vari settori, ed un istogramma complessivo delle posizioni ricostruite risulterebbe di forma irregolare.

I profili Phi e Theta di tutte le camere analizzate risultano abbastanza ben delineati, e pienamente compatibili con le misure note delle camere stesse.

Osservando il grafico della vista Theta si nota la leggera tendenza delle camere a rilevare un numero crescente di segmenti avanzando lungo la posizione y; questo è dovuto alla presenza in quella direzione del pozzo di accesso, che crea una sorta di “finestra” spaziale nella quale l’effetto di schermo della roccia viene attenuato, con conseguente aumento della luminosità dei raggi cosmici.

Un’altra distribuzione interessante rappresenta le inclinazioni dei segmenti, ed è strettamente legata all’angolazione fisica delle camere intorno a CMS.

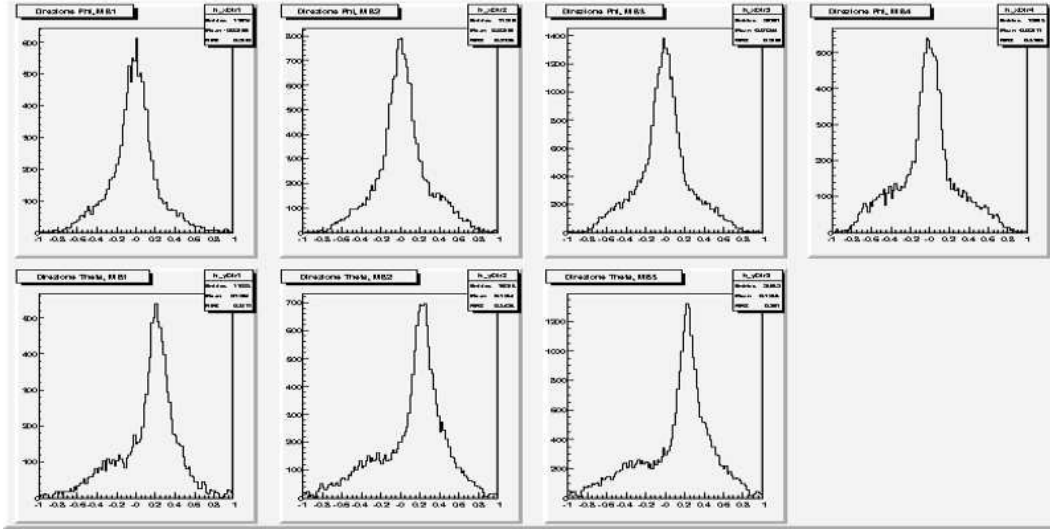


Figura 9: Distribuzione angolare delle pendenze dei segmenti nel run 14084 (settore 4). Nella parte superiore a vista Phi, in basso la vista Theta.

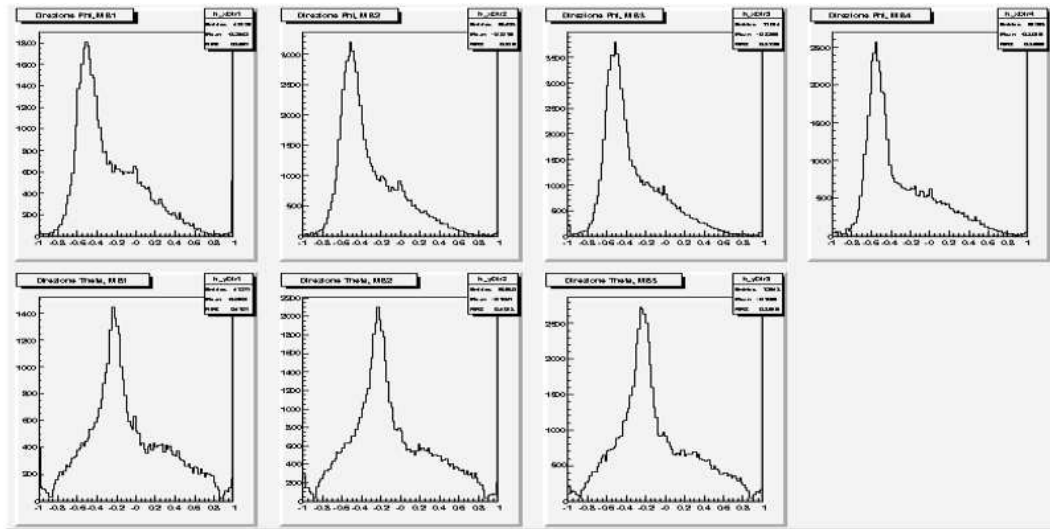


Figura 10: Distribuzione angolare delle pendenze dei segmenti nel run 00255 (settore 3).

In figura 9 sono mostrati i grafici per le quattro camere delle inclinazioni rilevate nel settore 4; questo settore ha le camere parallele al suolo, quindi considerato lo strato di roccia soprastante, i muoni cosmici dovrebbero giungere soprattutto in verticale, con un picco per  $u_x = 0$  (direzione verticale). Nella vista Theta invece si nota uno scostamento sistematico

per tutte le camere nella medesima direzione: la spiegazione è che quella particolare direzione punta al pozzo di accesso, a conferma di quanto prima ipotizzato.

La figura 10 invece si riferisce al settore 3, e mostra una distribuzione delle inclinazioni in Phi simile ma non più centrata sullo zero, bensì su circa 0.5; questo perché tale settore è inclinato di  $30^\circ$  (le pendenze sono espresse per valori dei coseni direttori:  $\cos(30) = 0.5$ ).

Ritroviamo invece il picco dovuto al pozzo nei grafici in Theta, questa volta di segno opposto, dal momento che per motivi legati ai collegamenti alcune camere della ruota centrale hanno le coordinate x ed y invertite.

Lo stesso discorso si può fare per la figura 11 (settore 5): di nuovo, nella vista Theta compare il picco dovuto al pozzo, ma sul lato opposto rispetto al settore 3 : le due camere sono infatti capovolte l'una rispetto all'altra; l'effetto combinato di ciò con la rotazione di un angolo  $\Phi = -30^\circ$  rispetto al piano orizzontale produce poi un picco nella vista Phi analogo a quello osservato nel settore 5 .

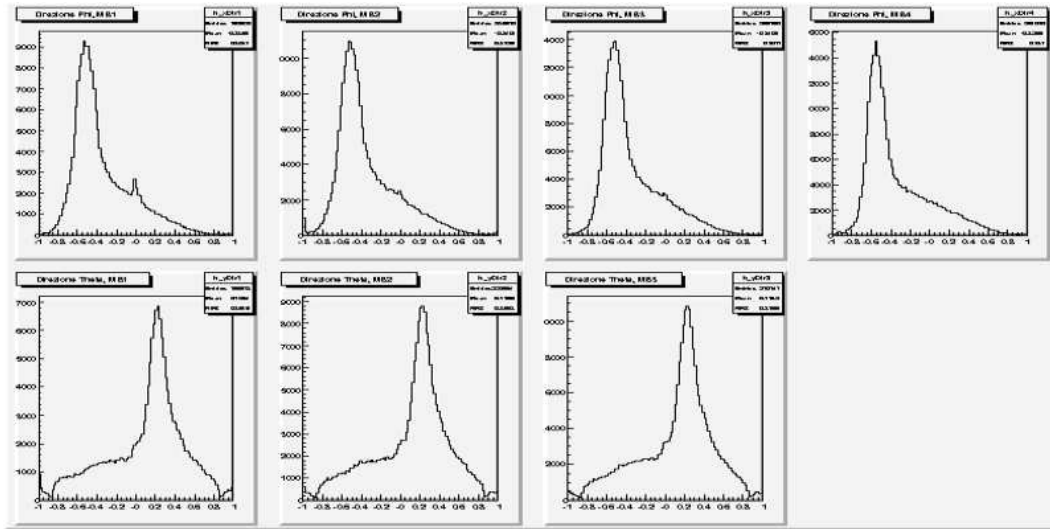


Figura 11: Distribuzione angolare delle pendenze dei segmenti nel run 12819 (settore 5).

### 3.2 Risoluzione

Il passo successivo dell'analisi è la stima della risoluzione spaziale delle camere. Per fare questo, si considerano i casi in cui al segmento estrapolato ne corrisponde uno ricostruito; conviene inoltre trascurare quei segmenti estrapolati che passano abbastanza vicino al bordo della camera da uscirne prima di averla attraversata tutta. In quest'ultimo caso infatti solo pochi punti risulterebbero disponibili per la ricostruzione di un segmento, la cui qualità risulterebbe quindi inferiore. Una volta fatta questa selezione, per ogni vista si calcolano le differenze tra le coordinate dei punti estrapolati e ricostruiti; la risoluzione è quindi data dallo scarto quadratico medio della distribuzione di queste differenze.

Nelle figure 12 e 13, relative allo stesso insieme di dati, si vede come la distribuzione delle differenze tra posizione estrapolata e ricostruita sia prossima ad una curva gaussiana centrata intorno allo zero, con scarto quadratico medio praticamente costante intorno a 5mm. Si tratta di un valore relativamente alto, se si pensa che la risoluzione tipica di una camera a deriva è dell'ordine del centinaio di micron; va tenuto presente però che i muoni osservati attraversano gli strati in ferro presenti tra una camera e l'altra e subiscono scattering nell'interazione con esso.

Una stima dell'ordine di grandezza del contributo alla risoluzione portato dallo scattering multiplo si può ottenere dalla formula[6]:

$$\Phi = \frac{21\text{MeV}}{\sqrt{2}} \frac{1}{pc\beta} \sqrt{\frac{s}{X_0}}$$

dove  $s$  è lo spessore dello strato di materiale ed  $X_0$  la lunghezza di radiazione, pari a  $X_0 = 1,76\text{cm}$  per il ferro[7]. Assumendo uno spessore di  $s \simeq 70\text{cm}$ , ed un momento  $pc \simeq 15\text{GeV}$  si ottiene un angolo medio di diffusione pari a  $\Phi \simeq 6\text{mrad}$ , che corrispondono ad una deviazione pari a  $d \simeq \Phi \cdot s = 4\text{mm}$ .

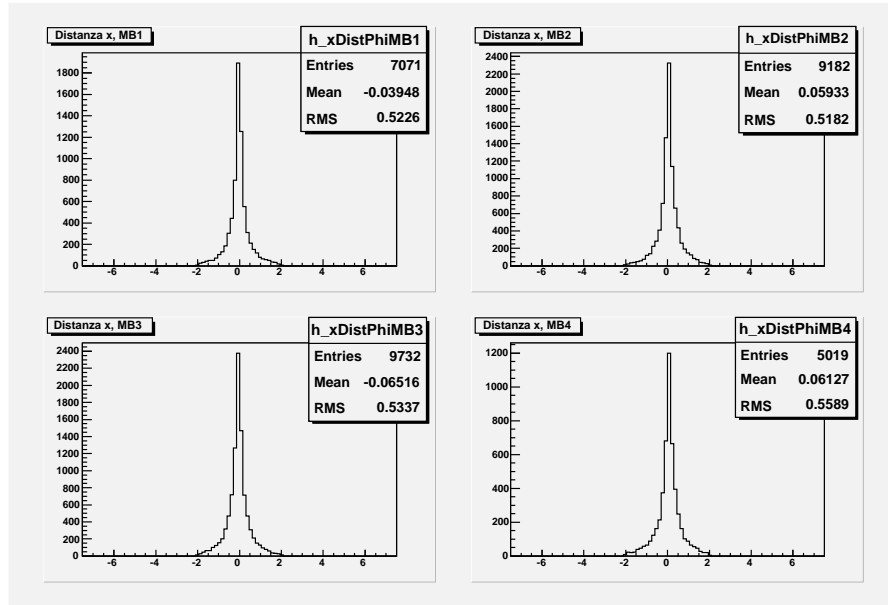


Figura 12: Distanze per camera, viste Phi (Run 14084).

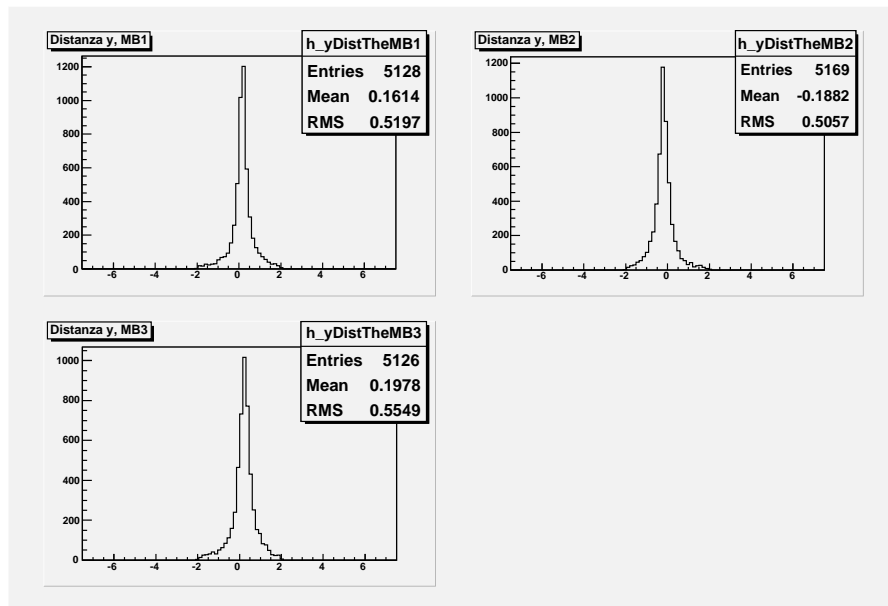


Figura 13: Distanze per camera, viste Theta (Run 14084).

In figura 14 invece è mostrato il grafico della risoluzione in Phi di un altro campione di dati; in questo caso si osserva una distribuzione con due picchi. L'ipotesi più probabile è che vi sia qualche difetto nella calibrazione in una regione parziale delle camere del settore, difficilmente osservabile nello studio dei segmenti ricostruiti nella singola camera senza confronti tra l'una e l'altra.

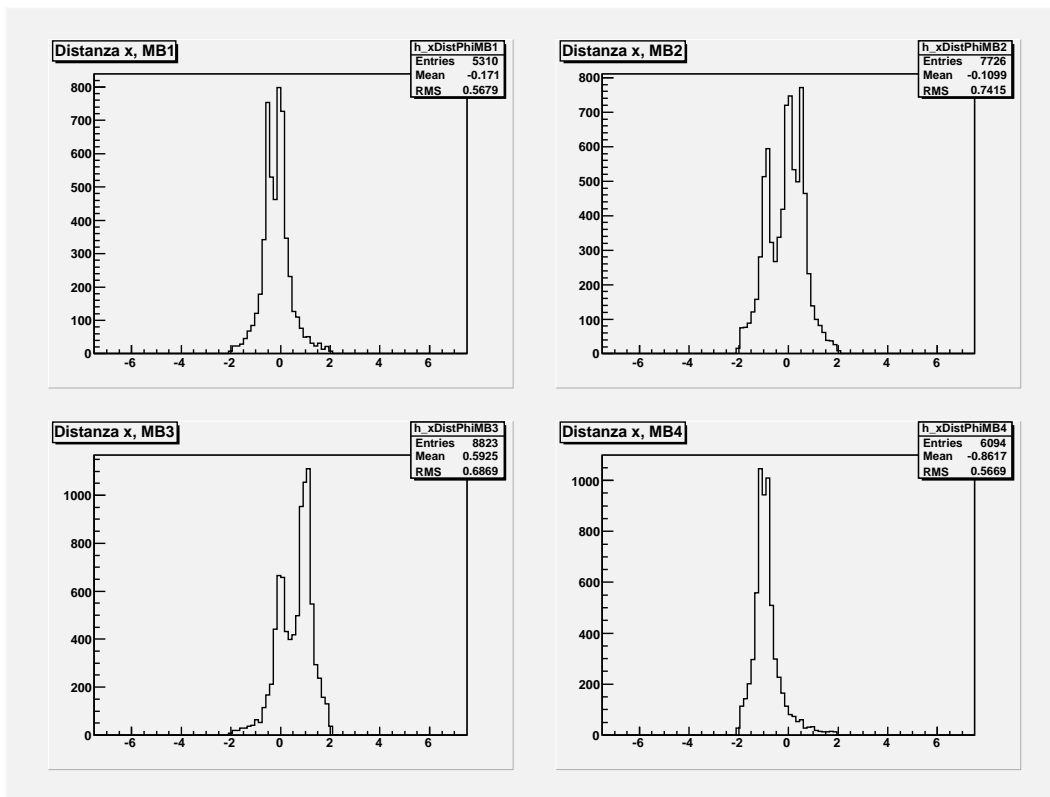


Figura 14: Distanze per camera, vista Phi (Run 00269).

### 3.3 Efficienza

Per definire l'efficienza di una camera si considera il rapporto tra il numero dei segmenti effettivamente ricostruiti ed il totale dei passaggi dei muoni nella camera stimato con il numero di estrapolazioni; a tal fine si considerano solamente i segmenti ricostruiti la cui posizione dista dalla posizione estrapolata meno di un limite massimo di 2 cm.

Chiamando  $y$  il numero di segmenti estrapolati e ricostruiti, ed  $n$  il numero di quelli estrapolati ma non ricostruiti, l'efficienza risulta quindi:

$$e = \frac{y}{y + n}, \quad \sigma_e = \sqrt{\frac{e(1 - e)}{y + n}}.$$

Dal numero totale dei segmenti estrapolati e ricostruiti o meno, è perciò possibile fare una stima dell'efficienza delle camere. Considerando il campione di segmenti in figura 15 e 16, relativo al settore 4, possiamo costruire la seguente tabella di efficienza:

	MB1	MB2	MB3
Seg. misurati:	4456	4453	4618
Seg. totali:	4778	4748	4981
Efficienza:	0,9326	0,9379	0,9271
Errore:	0,0036	0,0035	0,0037

È opportuno però verificare anche che l'efficienza sia omogenea all'interno delle camere; sono stati allora costruiti due istogrammi per ogni camera contenenti il numero di segmenti estrapolati e ricostruiti (o no) in funzione della posizione, con intervalli di 3cm. Su ogni intervallo è stato quindi eseguito il calcolo dell'efficienza, ottenendo per le due viste i risultati mostrati nelle figure 17 e 18. Si osserva che l'efficienza delle camere si mantiene sempre abbastanza uniforme oltre il 90%.

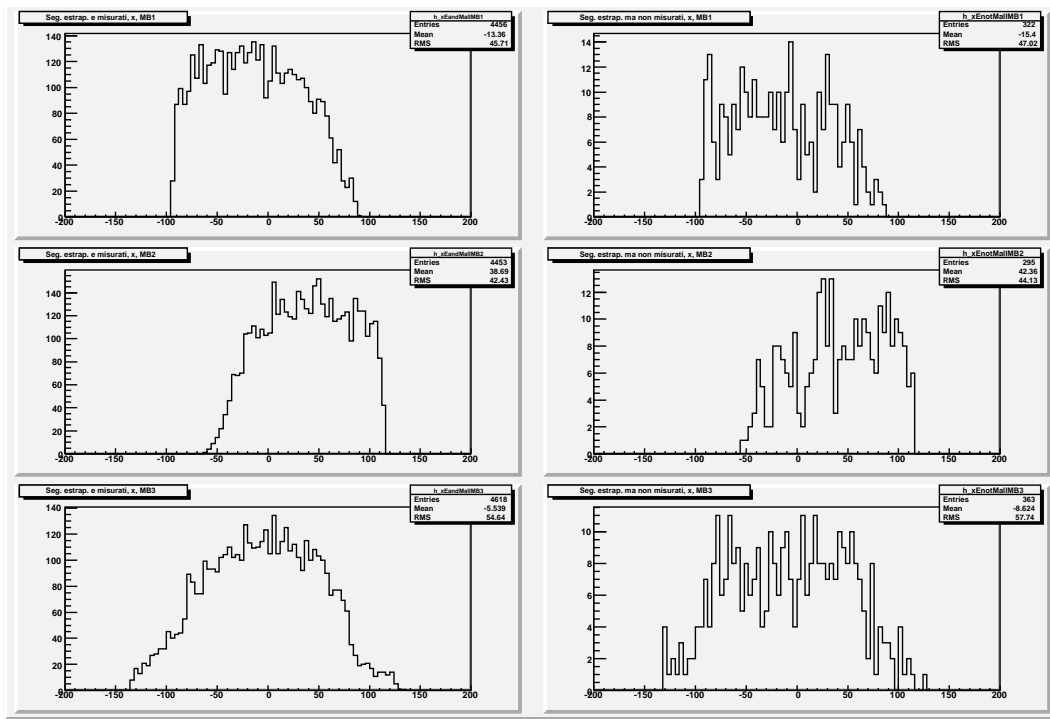


Figura 15: Segmenti estrapolati e misurati (a sinistra) e non misurati (a destra) in funzione della posizione x, per le prime tre camere (la prima in alto).

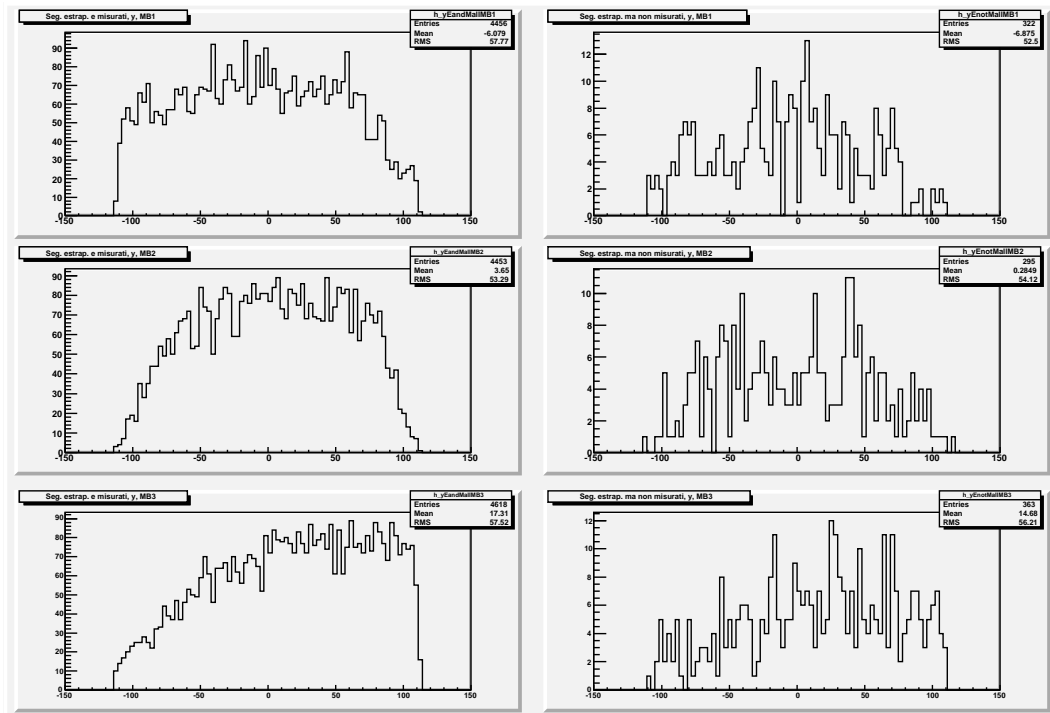


Figura 16: Segmenti estrapolati e misurati (a sinistra) e non misurati (a destra) in funzione della posizione y, per le prime tre camere (la prima in alto).



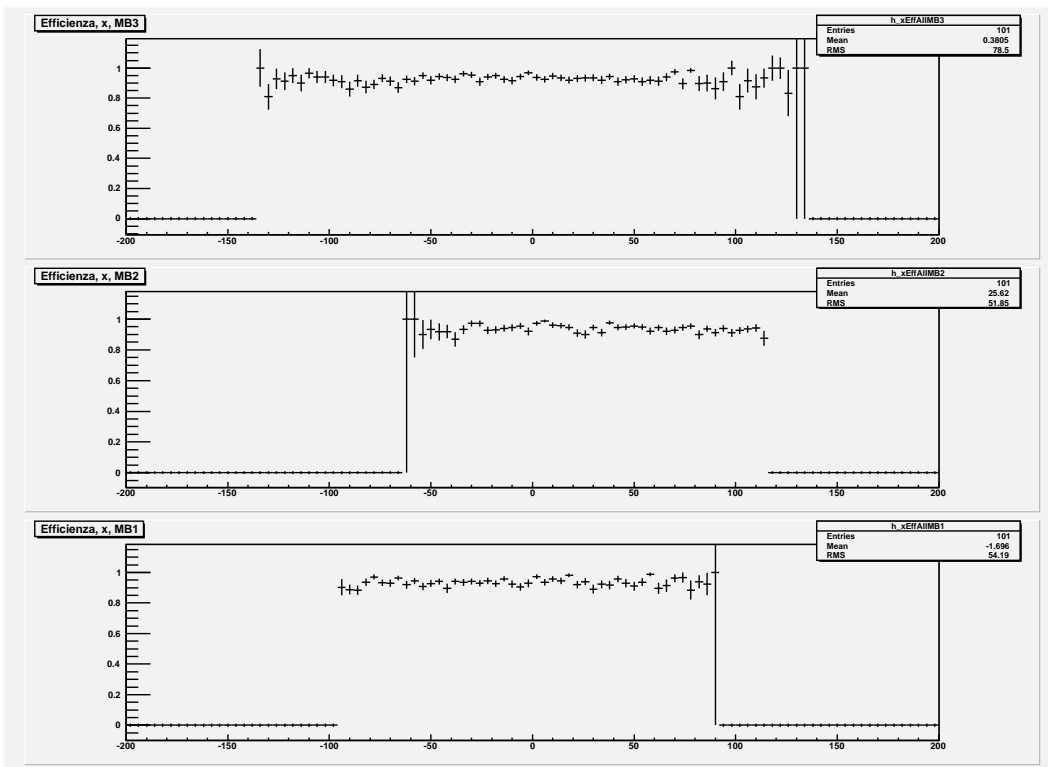


Figura 17: Efficienza delle camere MB1..3, vista Phi.

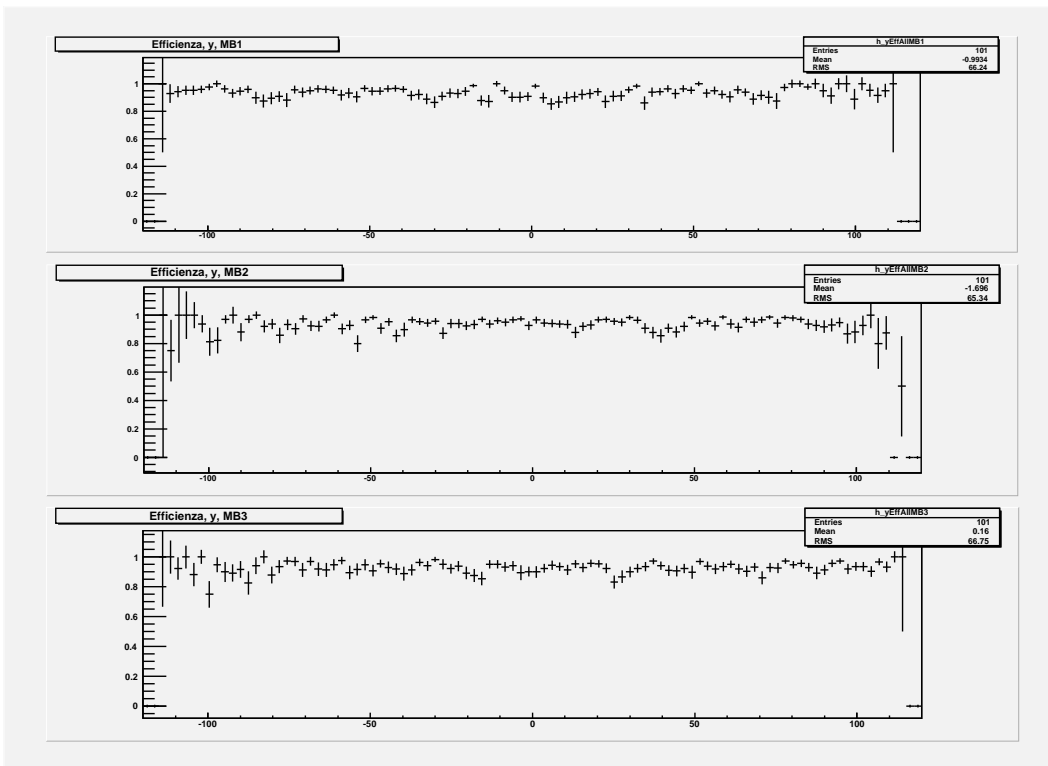


Figura 18: Efficienza delle camere MB1..3, vista Theta.

## 4 Conclusioni

Sono stati analizzati i dati raccolti dalle camere in 7 settori diversi della ruota 0 di CMS, esposte alla radiazione cosmica. L'osservazione dei segmenti di traccia ricostruiti nelle singole camere ha mostrato un corretto funzionamento nella regione di accettazione, senza evidenziare particolari aree di malfunzionamento.

La risoluzione è risultata essere dell'ordine di alcuni millimetri, compatibilmente con la previsione effettuata tenendo conto dello scattering multiplo dei muoni negli strati in ferro delle ruote. Si sono evidenziate alcune discrepanze che richiederebbero analisi più approfondite e mirate.

L'efficienza delle camere è risultata buona, con una inefficienza contenuta in alcune unità percentuali e pressoché uniforme all'interno delle camere.

## Riferimenti bibliografici

- [1] The CMS Group, *CMS OutReach*,  
<http://cmsinfo.cern.ch/outreach/index.html>, 2007;
- [2] Jenny Williams and the CMS Group, *CMS Offline Workbook*,  
<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMS/WorkBook>, 2007;
- [3] F. R. Cavallo et al., *CMS Note 2003/017: Test of MB3 muon barrel drift chambers with cosmic rays*, 2007;
- [4] CMS Collaboration, *The Muon Project, Technical Design Report*, CERN/LHCC 97-32, 1997;
- [5] P. Ronchese, dispense del corso di *GRID e Analisi Dati*, 2006;
- [6] D. Perkins, *Introduction to high energy Physics*, Addison-Wesley, 1987;
- [7] The Particle Data Group *Journal of Physics G*, v. 33, 2006.