

Università degli Studi di Roma “La Sapienza”

Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali

Corso di Laurea in Fisica

Realizzazione del sistema di controllo veloce per la camera a deriva dell’esperimento BABAR

Tesi di Laurea

Relatori:

Prof. Fernando Ferroni

Dott. Silvio Morganti

Candidata:

Cecilia Voena

matricola: 11100870

ANNO ACCADEMICO 1998/99

Tesine

Proprietà computazionali collettive delle reti neurali simulate
da sistemi fisici

Relatore:

Dott. Stefano Fusi

Confronto tra la fotoluminescenza nelle buche quantiche e nei
materiali di volume

Relatore:

Prof. Mario Capizzi

Indice

Introduzione

L'esperimento BABAR si svolge presso i laboratori dello *Stanford Linear Accelerator Center* (SLAC) nell'unica regione di interazione dell'acceleratore a fasci asimmetrici e^+e^- PEP-II. La presa dati è cominciata nel maggio del 1999.

Obiettivo principale di BABAR è la misura della violazione di CP nel sistema dei mesoni neutri B . L'esperimento BABAR potrà realizzarla tramite le misure di asimmetria CP dipendente dal tempo in vari canali come $B_d \rightarrow \pi\pi$ e $B_d \rightarrow J/\psi K_S^0$. In figura ?? è mostrato lo *scan* del picco della $\Upsilon(4S)$

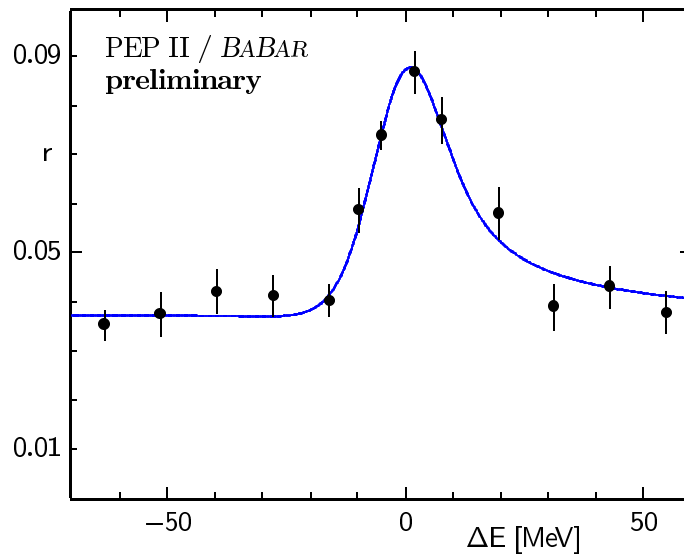


Figura 1: Rapporto fra il numero di adroni ricostruiti e il numero di elettroni Bhabha con dei tagli per migliorare il rapporto $\frac{b\bar{b}}{\text{continuo}}$. Si tratta dello scan del picco della $\Upsilon(4S)$.

In questo lavoro vengono presentati lo studio e la realizzazione del sistema di

controllo *on-line* per la camera a deriva.

Il *monitoring* del rivelatore durante la presa dati è particolarmente importante in BABAR dove è richiesta un'alta statistica per lo studio della violazione di CP . Infatti individuare i problemi in tempi brevi permette di intervenire rapidamente in modo da non sprecare luminosità integrata.

La realizzazione del sistema di *monitoring* ha inoltre offerto lo spunto per lo studio del comportamento del rivelatore e in particolare per un'analisi del rumore in esso presente.

Nel primo capitolo di questa tesi viene brevemente descritto il fenomeno della violazione di CP nel Modello Standard e nel sistema di mesoni B .

Nel secondo capitolo viene introdotta la definizione di asimmetria dipendente dal tempo e viene descritto l'acceleratore PEP II e il rivelatore BABAR eccetto la camera a deriva a cui invece è dedicato il terzo capitolo.

Il sistema *on-line* di BABAR, nel quale si inserisce il *software* per il sistema di *monitoring*, viene descritto nel capitolo 4.

Il quinto capitolo riporta i risultati del *commissioning* della camera che si è svolto durante un lungo *run* di cosmici (da luglio 1998 a gennaio 1999), relativamente alle procedure messe a punto per l'interpretazione dei dati (calibrazioni *on-line* e *off-line*) e alle prestazioni sulla risoluzione spaziale e sul dE/dx .

Il sesto capitolo discute in dettaglio il sistema di *Fast Monitoring* realizzato. Vengono discusse le quantità monitorate e l'utilità delle varie segmentazioni della camera utilizzate nel riempimento degli istogrammi.

Nella rassegna degli istogrammi è stata messa in evidenza la diversa risposta della camera a differenti sollecitazioni (*background*, eventi di fisica, rumore elettronico). Sono anche discussi gli algoritmi implementati per l'individuazione dei fili morti e di quelli rumorosi e le tecnologie utilizzate.

L'analisi sul rumore della camera svolta durante il *commissioning* viene presentata nel capitolo 7. Si è cercato di identificare la natura del rumore studiando le

distribuzioni della carica raccolta e dei tempi di deriva e di individuare dei metodi per separarlo dal segnale.

Capitolo 1

Violazione di CP

1.1 Simmetrie e interazioni

Lo studio delle simmetrie di un sistema fisico permette di ricavare molte informazioni senza conoscere i dettagli delle interazioni che lo governano (come, per esempio, la forma esatta dell'Hamiltoniana).

Quando un sistema è invariante rispetto a un certo operatore di simmetria esiste un corrispondente principio di conservazione. Per esempio, l'invarianza sotto rotazioni spaziali implica la conservazione del momento angolare. Questo è espresso, nelle teorie lagrangiane di campo classiche, dal teorema di Noether: una simmetria della lagrangiana rispetto a un gruppo di trasformazioni implica l'esistenza di una corrente (e quindi di una carica) conservata. L'equivalente quantistico del teorema di Noether è costituito dalle equazioni di Schwinger-Dyson in cui la conservazione non avviene a livello operatoriale ma solo sugli stati fisici (elementi di matrice degli operatori). In fisica delle particelle si hanno simmetrie *continue*, come quelle associate alla carica elettrica, all'isospin, al colore e *discrete*, come la parità (P), la coniugazione di carica (C) e l'inversione temporale (T). P inverte il segno delle coordinate spaziali, T di quella temporale e C scambia ogni particella con l'antiparticella corrispondente. Questi tre operatori sono delle simmetrie potenziali di ogni teoria

Lagrangiana locale. Molti studi sono stati fatti nel corso degli anni per capire se esse siano effettivamente simmetrie di tutte le interazioni fondamentali. La prima osservazione della violazione di una simmetria discreta si ebbe nel 1957 con l'esperimento di Madame Wu [?] che vide violazione della parità nel decadimento del Cobalto 60. La parità è infatti conservata nelle interazioni forti e elettromagnetiche ma non in quelle deboli e questo vale anche per l'inversione temporale e la coniugazione di carica. Un teorema della teoria dei campi (Teorema CPT) afferma che il prodotto di C, P e T deve essere una simmetria di ogni teoria locale. Le interazioni deboli conservano CP e T in buona approssimazione. Solo in alcuni processi rari che coinvolgono i mesoni K è stata osservata, per la prima volta nel 1964 con l'esperimento di Christenson, Cronin, Fitch e Turlay, violazione di CP [?].

1.2 Modello Standard delle interazioni elettrodeboli

Il Modello Standard [?] [?] è una teoria di *gauge* $SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y$ che descrive le interazioni forti, deboli ed elettromagnetiche per mezzo dello scambio dei corrispondenti campi di *gauge*: 8 gluoni privi di massa per le interazioni forti, un fotone privo di massa per le interazioni elettromagnetiche e 3 bosoni massivi per le interazioni deboli. Esso è in grado di descrivere gli attuali risultati sperimentali in fisica delle particelle elementari.

La materia è costituita dai leptoni e dai *quark* conosciuti (e dalle corrispondenti antiparticelle) che sono rappresentati da campi fermionici organizzati in tre famiglie:

$$\begin{pmatrix} \nu_{eL} \\ e_L \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix} \quad e_R \quad u_R \quad d_R, \quad \begin{pmatrix} \nu_{\mu L} \\ \mu_L \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} c_L \\ s_L \end{pmatrix} \quad \mu_R \quad c_R \quad s_R, \quad \begin{pmatrix} \nu_{\tau L} \\ \tau_L \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} t_L \\ b_L \end{pmatrix} \quad \tau_R \quad t_R \quad b_R.$$

Le parti a elicità negativa (*left*) sono doppietti di $SU(2)_L$ mentre quelle a elicità positiva (*right*) sono dei singoletti.

La simmetria di *gauge* è rotta spontaneamente, la rottura porta dal gruppo elettrodebole al gruppo elettromagnetico e questo meccanismo genera le masse dei bosoni di *gauge* delle interazioni deboli:

$$SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y \rightarrow SU(3)_C \times U(1)_{QED}.$$

La Lagrangiana del Modello Standard è :

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_H + \mathcal{L}_F + \mathcal{L}_B + \mathcal{L}_Y \quad (1.1)$$

dove:

\mathcal{L}_H = Lagrangiana di Higgs.

\mathcal{L}_F = Lagrangiana cinetica dei fermioni.

\mathcal{L}_B = Lagrangiana cinetica dei bosoni di *gauge*.

\mathcal{L}_Y = Lagrangiana di Yukawa.

Imponendo la covarianza dei termini cinetici si trova che \mathcal{L}_H contiene l'accoppiamento dell'Higgs con i bosoni vettoriali, \mathcal{L}_F contiene l'accoppiamento fermioni-bosoni e \mathcal{L}_B contiene le autointerazioni dei bosoni intermedi.

L'espressione della Lagrangiana di interazione tra bosoni vettoriali e campi fermionici è:

$$\mathcal{L}_I = e J_\mu^{em}(x) A^\mu(x) + \frac{g}{\sqrt{2}} (J_+^\mu W_\mu + J_-^\mu W_\mu^-) + \frac{g}{\cos \theta_w} J^\mu Z_\mu \quad (1.2)$$

La Lagrangiana di Yukawa descrive l'interazione del bosone di Higgs con i fermioni

e genera le masse fermioniche:

$$\mathcal{L}_Y = X_{ik} \bar{q}_L^i H D_R^k + Y_{ik} \bar{q}_L^i H^c U_R^k + h.c. \quad (1.3)$$

$$\text{dove } q_L = \begin{pmatrix} U_l \\ D_l \end{pmatrix}, \quad U_L = \begin{pmatrix} u_l \\ c_l \\ t_l \end{pmatrix}, \quad D_L = \begin{pmatrix} d_l \\ s_l \\ b_l \end{pmatrix} \quad \text{e } H = \begin{pmatrix} \phi^+ \\ \phi^0 \end{pmatrix}.$$

La Lagrangiana di Yukawa permette di dare massa ai *quark* senza rompere esplicitamente la simmetria $SU(2)_L$. Ciò avviene quando il campo di Higgs acquista un valore di aspettazione nel vuoto diverso da zero.

Nella *gauge* unitaria $\phi = \begin{pmatrix} 0 \\ (v + \sigma)/\sqrt{2} \end{pmatrix}$ con σ = bosone di Higgs; la Lagrangiana che contiene i termini di massa si può scrivere nel modo seguente:

$$\mathcal{L}_M = M_{ik}^u \bar{U}_L^i U_R^k + M_{ik}^d \bar{D}_L^i D_R^k + h.c. \quad (1.4)$$

1.3 Violazione di CP nel Modello Standard

In teoria dei campi una Lagrangiana è invariante sotto CP se non presenta accoppiamenti complessi che non possono essere riassorbiti con una ridefinizione della fase dei campi. Infatti, tenendo conto dell'invarianza sotto trasformazioni di Lorentz e della hermiticità della Lagrangiana ogni combinazione dei campi che appare in essa si trasforma sotto CP nel suo hermitiano coniugato. I coefficienti davanti a questi termini, invece, non si trasformano sotto CP e quindi se essi sono complessi CP è violata.

Nel Modello Standard si ha dunque violazione di CP se le matrici M che compaiono nella ?? sono complesse. Per studiare la violazione di CP si effettua una trasformazione in modo tale che i campi che compaiono nella Lagrangiana siano autostati

della massa e abbiano quindi una massa definita.

Data una matrice complessa possiamo sempre scrivere:

$$M = BU \quad (1.5)$$

con $B = \sqrt{MM^+}$ matrice hermitiana definita positiva (quindi diagonalizzabile) e U unitaria.

Chiamiamo S la matrice che diagonalizza B^u .

Allora per la matrice M^u :

$$SB^u S^+ = M_{diag}^u$$

$$M^u = S^+ M_{diag}^u S U$$

$$\overline{U}_L M^u U_R = \overline{U}_L S^+ M_{diag}^u S U U_R.$$

Effettuando la trasformazione sui campi:

$$U_L \rightarrow S U_L = A_L^u U_L$$

$$U_R \rightarrow S U U_R = A_R^u U_R$$

si passa a una matrice di massa diagonale. Il procedimento vale anche per la parte *down* (D) e la trasformazione deve essere fatta in tutti i termini della Lagrangiana.

Per esempio per il termine relativo all'accoppiamento *quark*- W^- :

$$\overline{U}_L \gamma^\mu D_L W^- = \overline{U}_L A_L^{u+} \gamma^\mu A_L^d D_L W^-$$

Compare nella Lagrangiana la matrice $V_{CKM} = A_L^{u+} A_L^d$, chiamata matrice di Cabibbo, Kobayashi e Maskawa [?];

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix}$$

Essendo V_{CKM} una matrice unitaria di dimensione 3, essa ha come parametri liberi 3 angoli di Eulero e 6 fasi. Il numero di fasi è in realtà uguale a 1 poichè possiamo sempre riassorbire un numero di fasi della matrice pari al numero dei campi diminuito di un'unità (2 in questo caso). Il fatto che rimanga una fase complessa nella matrice CKM implica che in questo modello CP sia violata. La maniera usuale di parametrizzare la matrice CKM è :

$$V = \begin{pmatrix} c_{12}c_{13} & s_{12}c_{13} & s_{13}e^{-i\delta} \\ -s_{12}c_{23} - c_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{12}c_{23} - c_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & s_{23}c_{13} \\ s_{12}s_{23} - c_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{12}s_{23} - s_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{23}c_{13} \end{pmatrix}$$

dove $c_{ij}=\cos\theta_{ij}$ e $s_{ij}=\sin\theta_{ij}$.

Imponendo l'unitarietà della matrice CKM si possono ricavare varie relazioni tra i suoi elementi. Tre di esse contengono informazioni sulla violazione di CP:

$$V_{us}^*V_{ub} + V_{cs}^*V_{cb} + V_{ts}^*V_{tb} = 0 \quad (1.6)$$

$$V_{us}^*V_{ud} + V_{cs}^*V_{cd} + V_{ts}^*V_{td} = 0 \quad (1.7)$$

$$V_{ud}^*V_{ub} + V_{cd}^*V_{cb} + V_{td}^*V_{tb} = 0. \quad (1.8)$$

Ciascuna di queste relazioni è una somma di quantità complesse uguagliata a zero e può quindi essere rappresentata come un triangolo nel piano complesso. Se CP non fosse violata i triangoli collasserebbero in una linea. Sperimentalmente risulta che i primi due triangoli hanno un lato molto più piccolo degli altri due e questo spiega intuitivamente come mai la violazione di CP è piccola nei principali decadimenti del B_S e del K . Invece il terzo triangolo è aperto e per i decadimenti del B_d è prevista una grande asimmetria CP. Ridefinendo la fase dei *quark* i triangoli ruotano mentre l'area rimane costante.

Il terzo triangolo, chiamato triangolo unitario, si rappresenta scegliendo una convenzione di fase tale che $V_{cd}V_{cb}^*$ è reale e dividendo tutte le lunghezze per tale quantità (figura ??).

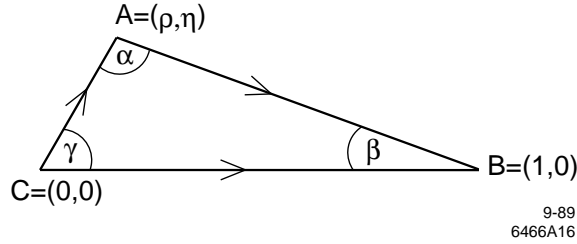


Figura 1.1: *Triangolo unitario*

Due vertici del triangolo riscalato sono fissati a $(0, 0)$ e $(1, 0)$. Le coordinate del terzo vertice sono indicate con (ρ, η) . In termini di ρ e η e di altri due parametri λ e A si può scrivere la rappresentazione di Wolfenstein [?] della matrice CKM dove λ gioca il ruolo di parametro perturbativo ($\lambda = \sin(\theta_c) \simeq 0.22$ con $\theta_c =$ angolo di Cabibbo [?]) e η è la fase che viola CP :

$$V_{\text{CKM}} = \begin{pmatrix} 1 - \frac{\lambda^2}{2} & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1 - \frac{\lambda^2}{2} & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix} \quad (1.9)$$

I tre angoli sono dati da:

$$\alpha \equiv \arg \left[-\frac{V_{td}V_{tb}^*}{V_{ud}V_{ub}^*} \right], \beta \equiv \arg \left[-\frac{V_{cd}V_{cb}^*}{V_{td}V_{tb}^*} \right], \gamma \equiv \arg \left[-\frac{V_{ud}V_{ub}^*}{V_{cd}V_{cb}^*} \right]. \quad (1.10)$$

In figura ?? è segnata la zona del piano (ρ, η) dove deve cadere il terzo vertice del triangolo unitario tenendo conto dei vincoli sperimentali che vengono da V_{ub}/V_{cb} , δm_B e da ϵ_k [?].

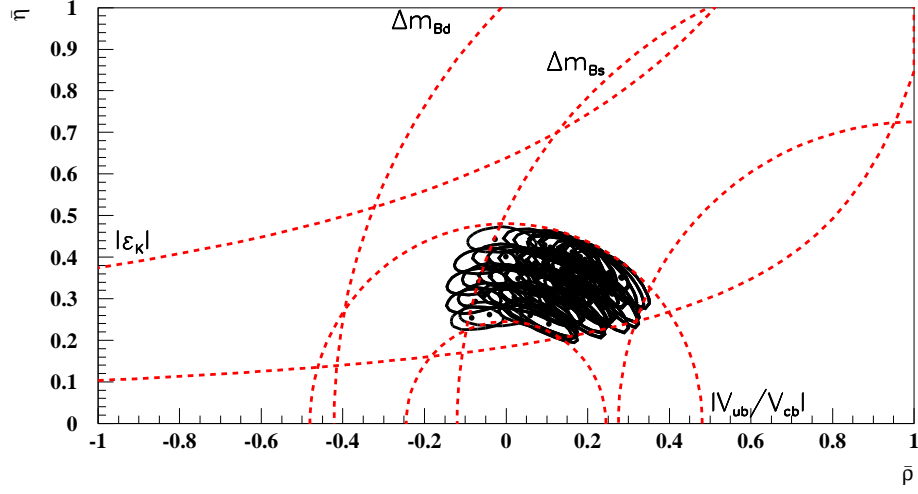


Figura 1.2: Zona del piano (ρ, η) dove è previsto cadere il terzo vertice del triangolo unitario tenendo conto dei vincoli che vengono da V_{ub}/V_{cb} , δm_B e da ϵ_K

1.4 Violazione di CP nel sistema dei mesoni B

Consideriamo un sistema quantistico costituito da una coppia di mesoni B neutri coniugati. Ci sono due sistemi di questo tipo: uno con i mesoni B_d che contengono insieme al *quark* b un *quark* d e l'altro con i mesoni B_s , che contengono un *quark* s al posto del d . Gli autostati del sapore, che hanno un contenuto di *quark* definito, sono diversi dagli autostati dell'Hamiltoniana, che hanno invece una massa e una vita media definite. L'Hamiltoniana di questo sistema si può scrivere nel modo seguente [?]:

$$H = M - \frac{i}{2}\Gamma \quad (1.11)$$

dove M e Γ sono due matrici hermitiane con autovalori positivi. Il generico stato di mesoni B neutri al tempo t sarà dato da:

$$|\psi(t)\rangle = a(t)|B^0\rangle + b(t)|\overline{B^0}\rangle$$

e la sua evoluzione temporale può essere ricavata dall'equazione di Schroedinger riportata dalla ??,

$$i\frac{d}{dt}\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = H\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = (M - \frac{i}{2}\Gamma)\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}. \quad (1.12)$$

Gli stati B^0 e \bar{B}^0 si trasformano sotto CP nel seguente modo:

$$CP|B^0\rangle = e^{2i\xi_B}|\bar{B}^0\rangle \quad CP|\bar{B}^0\rangle = e^{-2i\xi_B}|B^0\rangle \quad (1.13)$$

dove la fase ξ è arbitraria perchè le interazioni forti conservano il sapore. Dalla diagonalizzazione dell'Hamiltoniana H si ricavano gli autostati $|B_1\rangle$ e $|B_2\rangle$, per i quali l'equazione di Schroedinger prevede evoluzione temporale esponenziale. Essi vengono scritti in funzione degli stati $|B^0\rangle$ e $|\bar{B}^0\rangle$:

$$|B_1\rangle = p|B^0\rangle + q|\bar{B}^0\rangle \quad (1.14)$$

$$|B_2\rangle = p|B^0\rangle - q|\bar{B}^0\rangle \quad (1.15)$$

in cui si richiede la normalizzazione dei coefficienti q e p

$$|p|^2 + |q|^2 = 1. \quad (1.16)$$

q e p sono legati agli elementi di matrice di H secondo la relazione:

$$\frac{q}{p} = \sqrt{\frac{M_{12}^* - \frac{i}{2}\Gamma_{12}^*}{M_{12} - \frac{i}{2}\Gamma_{12}}} \quad (1.17)$$

dove $M_{1,2}$ e $\Gamma_{1,2}$ sono la massa e l'inverso della vita media degli stati $|B_1\rangle$ e $|B_2\rangle$; essi compaiono nell'espressione degli autovalori dell'Hamiltoniana ??.

$$\mu_{1,2} \equiv M_{1,2} - \frac{i}{2}\Gamma_{1,2}. \quad (1.18)$$

Definendo $\Delta M \equiv M_2 - M_1$ e $\Delta\Gamma \equiv \Gamma_2 - \Gamma_1$ valgono le seguenti relazioni:

$$(\Delta M)^2 - \frac{1}{4}(\Delta \Gamma)^2 = 4|M_{12}|^2 - |\Gamma_{12}|^2 \quad (1.19)$$

$$\Delta M \cdot \Delta \Gamma = 4\text{Re}(M_{12}\Gamma_{12}^*). \quad (1.20)$$

$\Delta \Gamma$ non è stato misurato ma ci si aspetta che $\Delta \Gamma/\Gamma \sim 10^{-2}$ mentre ΔM è stato misurato e risulta $\Delta M/\Gamma \simeq 0.73$.

Nel sistema dei mesoni B la violazione di CP può essere osservata in diversi modi indipendenti: nel decadimento, nel mescolamento e nell'interferenza tra decadimenti con e senza mescolamento.

1) Violazione nel decadimento

La violazione nel decadimento, che si può avere anche con mesoni carichi, si verifica quando l'ampiezza di un canale è diversa da quella del trasformato secondo CP, cioè quando:

$$|A_f| \equiv |\langle f|H|B\rangle| \neq |\langle \bar{f}|H|\bar{B}\rangle| \equiv |\bar{A}_{\bar{f}}| \quad (1.21)$$

dove f e \bar{f} sono stati finali CP coniugati e A le ampiezze di decadimento. Questo può accadere a causa dell'interferenza di due diverse fasi complesse che compaiono nelle ampiezze A_f , $\bar{A}_{\bar{f}}$. Si può sempre scrivere:

$$\begin{aligned} A_f &\equiv \langle f|H|B\rangle = \sum_i A_i e^{i\delta_i} e^{i\phi_i} \\ \bar{A}_{\bar{f}} &\equiv \langle \bar{f}|H|\bar{B}\rangle = \sum_i A_i e^{i\delta_i} e^{-i\phi_i} \end{aligned} \quad (1.22)$$

dove A_i sono ampiezze reali, δ_i e ϕ_i rappresentano rispettivamente le fasi forti e le fasi deboli. Le fasi forti hanno origine dal possibile contributo di stati intermedi *on-shell* nei processi di decadimento e vengono chiamate in questo modo perchè in tali processi il contributo dominante è quello adronico. Queste fasi appaiono con lo stesso segno in A_f e in $\bar{A}_{\bar{f}}$ e quindi non violano CP. Le fasi deboli invece compaiono

nella matrice CKM cioè nel settore elettrodebole della Lagrangiana e possono violare CP. Se in un decadimento compaiono almeno due ampiezze A_i con ϕ_i e δ_i differenti, allora vi sarà *violazione* di CP e

$$\left| \frac{\bar{A}_{\bar{f}}}{A_f} \right| \neq 1. \quad (1.23)$$

Questo tipo di violazione di CP viene anche chiamato violazione diretta.

2) Violazione nel mescolamento

Nel caso in cui gli autostati dell'Hamiltoniana non siano anche autostati di CP si parla di violazione di CP nel mescolamento. Considerando l'espressione degli autostati di H in termini degli autostati del sapore possiamo dire che questo si verifica se:

$$\left| \frac{q}{p} \right| \neq 1 \quad (1.24)$$

3) Violazione nell'interferenza tra decadimenti con e senza mescolamento

Consideriamo uno stato finale autostato di CP f_{CP} accessibile sia nei decadimenti del B^0 che in quelli del \bar{B}^0 . La quantità interessante e indipendente dalla convenzione di fase è:

$$\lambda \equiv \frac{q}{p} \cdot \frac{\bar{A}_{\bar{f}}}{A_f}.$$

I precedenti tipi di violazione di CP portano a un modulo di λ diverso da uno. Tuttavia CP può essere violata anche se $|\lambda| = 1$ purchè la parte immaginaria di questa quantità sia diversa da zero in quanto la conservazione di CP implica che λ sia uguale a +1 o a -1.

Capitolo 2

PEP-II e l'esperimento BABAR

L'esperimento BABAR ha cominciato a prendere dati nel maggio 1999. Nei primi giorni in cui si sono avute collisioni l'acceleratore PEP-II ha fornito una luminosità pari a $\sim 5 \cdot 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Alla metà di giugno la luminosità ha superato $10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. In figura ?? e figura ?? è mostrato uno dei primi eventi adronici trovati.

2.1 La fisica dell'esperimento BABAR

L'obiettivo primario di BABAR è lo studio sistematico della asimmetria CP nei decadimenti dei mesoni B neutri [?]. In aggiunta a questo è prevista una determinazione accurata dell'elemento V_{ub} della matrice CKM, lo studio dei canali rari di decadimento del mesone B , della fisica del *quark* c , del leptone τ e della fisica a due fotoni.

Gli angoli della matrice CKM (Cap.1) si ottengono dalle distribuzioni delle asimmetrie dipendenti dal tempo osservate. La asimmetria dipendente dal tempo è definita dalla seguente relazione:

$$a_{f_{CP}} = \frac{\Gamma(\bar{B}_{\text{phys}}^0(t) \rightarrow f_{CP}) - \Gamma(B_{\text{phys}}^0(t) \rightarrow f_{CP})}{\Gamma(\bar{B}_{\text{phys}}^0(t) \rightarrow f_{CP}) + \Gamma(B_{\text{phys}}^0(t) \rightarrow f_{CP})} \quad (2.1)$$

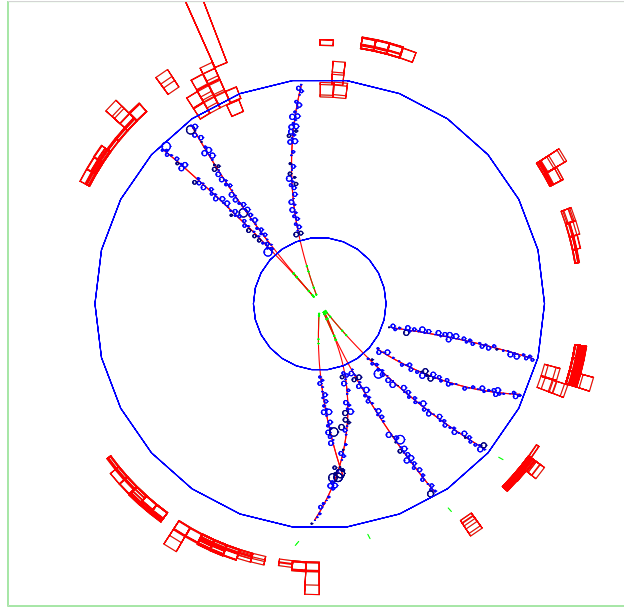


Figura 2.1: *Evento adronico, vista sul piano xy*

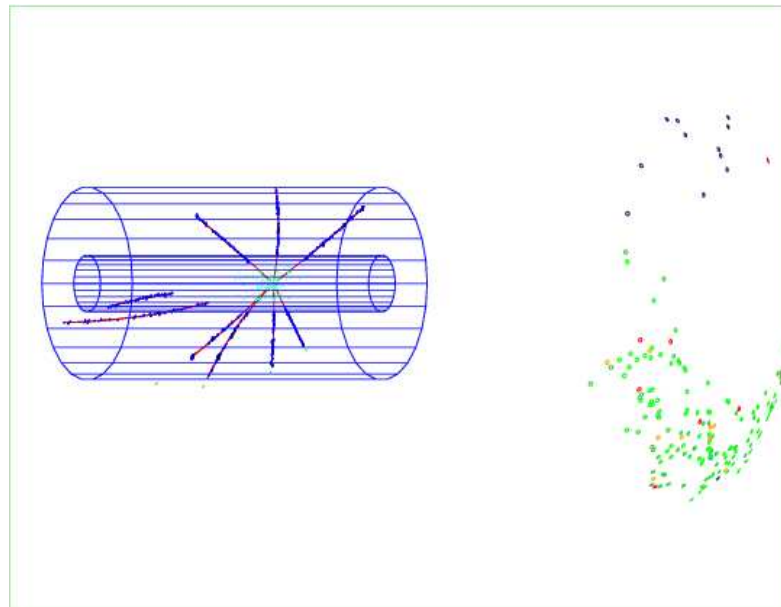


Figura 2.2: *Evento adronico, vista laterale, i puntini a destra nella figura costituiscono l'immagine delle particelle nel DIRC*

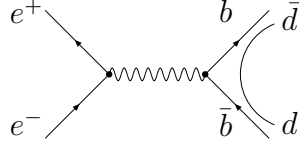


Figura 2.3: Il diagramma di annichilazione e^+e^- .

dove f_{CP} indica un generico stato finale di decadimento della B autostato di CP e $B_{\text{phys}}^0(t)$ ($\bar{B}_{\text{phys}}^0(t)$) indica lo stato della B (prodotta al tempo $t = 0$), al tempo t in cui è decaduto.

Alla soglia di produzione della $\Upsilon(4S)$ vengono prodotte coppie di mesoni $B\bar{B}$ (figura ??) secondo la ??:

$$e^+e^- \rightarrow \gamma^* \rightarrow \Upsilon(4S) \rightarrow B\bar{B} \quad (2.2)$$

Il processo di formazione della risonanza $\Upsilon(4S)$ è di natura elettromagnetica e il decadimento in una coppia di mesoni è mediato dalle interazioni forti. Questi processi conservano la simmetria di coniugazione di carica: la $\Upsilon(4S)$ decade quindi al tempo $t = 0$ in uno stato a due corpi con parità di coniugazione di carica uguale a quella iniziale, $C = -1$. Tale stato si può scrivere come:

$$|B^0\bar{B}^0, t = 0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|B^0(k, t = 0)\rangle|\bar{B}^0(\bar{k}, t = 0)\rangle + \frac{-1}{\sqrt{2}}|B^0(\bar{k}, t = 0)\rangle|\bar{B}^0(k, t = 0)\rangle \quad (2.3)$$

dove $k + \bar{k}$ è il quadrimpulso totale della coppia e^+e^- la cui componente spaziale è non nulla negli acceleratori asimmetrici.

Lo stato deve avere momento angolare orbitale $L = 1$ poichè la $\Upsilon(4S)$ ha momento angolare $J = 1$ e i mesoni B hanno *spin* nullo.

L'ampiezza di decadimento dello stato $|B^0\bar{B}^0, t=0\rangle$ negli stati finali f_a, f_b rispettivamente nell'istante t_a, t_b , si scrive:

$$\begin{aligned} \langle f_a(t_a) f_b(t_b) | B^0\bar{B}^0, t=0 \rangle = & \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\langle f_a | B^0(k, t_a) \rangle \langle f_b | \bar{B}^0(\bar{k}, t_b) \rangle + \right. \\ & \left. + (-1) \langle f_b | B^0(\bar{k}, t_b) \rangle \langle f_a | \bar{B}^0(k, t_a) \rangle \right) \end{aligned} \quad (2.4)$$

Definendo:

$$A_f \equiv \langle f | H | B^0 \rangle \quad \bar{A}_f \equiv \langle f | H | \bar{B}^0 \rangle \quad \bar{\rho}(f) \equiv \frac{\bar{A}_f}{A_f} \quad (2.5)$$

quadrando la ?? e considerando l'evoluzione temporale degli stati $|B^0\rangle$ e $|\bar{B}^0\rangle$ si ottiene la formula generale per la corrispondente probabilità di transizione.

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_{C=-1} \propto & \frac{1}{2} \exp(-\Gamma_B(t_a + t_b)) |A_a A_b|^2 \cdot \\ & \cdot \left\{ (1 + \cos \Delta M(t_a - t_b)) |\bar{\rho}(b) - \bar{\rho}(a)|^2 + \right. \\ & (1 - \cos \Delta M(t_a \pm t_b)) \left| \frac{p}{q} - \frac{q}{p} \bar{\rho}(a) \bar{\rho}(b) \right|^2 + \\ & \left. + 2 \sin \Delta M(t_a - t_b) \operatorname{Im} \left[\left(\frac{p}{q} - \frac{q}{p} \bar{\rho}(a) \bar{\rho}(b) \right) (\bar{\rho}(b) - \bar{\rho}(a))^* \right] \right\} \end{aligned} \quad (2.6)$$

A un certo istante $t_b = t_{tag}$, si osserva il decadimento di uno dei due mesoni neutri B (B_{tag}) in uno stato finale che ne identifica il sapore (attraverso decadimenti semileptonici $l^\pm X^\mp$); in questo modo, si conosce il sapore dell'altro mesone (B_{CP} se decade al tempo $t_a = t_{CP}$ in un canale rilevante nello studio della violazione di CP) a quell'istante. Si noti che non necessariamente si ha $t_{CP} > t_{tag}$; in ogni caso si assume t_{tag} come il tempo di riferimento con cui si descrive l'evoluzione dello stato $|B_{CP}\rangle$.

Sperimentalmente si conosce solamente la differenza $\Delta t = t_a - t_b$ ¹, quindi si integra la ?? rispetto a $(t_{tag} + t_{CP})$ e si definisce:

¹Non è possibile infatti misurare il tempo t_{tag} rispetto al tempo di decadimento della $\Upsilon(4S)$

$$A_l \equiv \langle l^+ X^- | H | B^0 \rangle = \langle l^- X^+ | H | \bar{B}^0 \rangle \quad (2.7)$$

$$\xi_f \equiv \frac{q}{p} \bar{\rho}(f) = \frac{q}{p} \frac{\bar{A}_f}{A_f} \quad (2.8)$$

In questo modo si ottiene la probabilità del decadimento congiunto di una coppia $B^0 \bar{B}^0$ negli stati finali $l^\pm X^\mp$, f *dipendente* dalla differenza temporale Δt :

$$\mathcal{P}(l^\pm X^\mp, f; \Delta t) \propto |A_l|^2 |A_f|^2 \exp(-\Gamma_B |\Delta t|) \cdot \left[\frac{1 + |\xi_f|^2}{2} \mp \frac{1 - |\xi_f|^2}{2} \cos(\Delta M \Delta t) \pm \text{Im} \xi_f \sin(\Delta M \Delta t) \right] \quad (2.9)$$

A partire dalla probabilità definita nella ??, si può dedurre l'espressione dell'asimmetria di CP dipendente dal tempo :

$$a_{f_{CP}} = \frac{(1 - |\xi_f|^2) \cos(\Delta M t) - 2 \text{Im} \xi_f \sin(\Delta M t)}{1 + |\xi_f|^2}. \quad (2.10)$$

dove $t (= \Delta t)$ è il tempo trascorso fra l'istante in cui viene identificata la B_{tag} e l'istante in cui decade la B_{CP} . La grandezza della asimmetria e quale angolo viene misurato dipendono dal canale preso in considerazione.

I principali canali che si studieranno a BABAR sono:

- $B_d \rightarrow \pi\pi, \rho\pi$ per $\sin 2\alpha$
- $B_d \rightarrow J/\psi K_S^0, D^+ D^-, D^{*+} D^{*-}$ per $\sin 2\beta$
- $B_d \rightarrow D^* \pi$ per $\sin(2\beta + \gamma)$

Affinchè queste misure siano possibili è necessario che:

- I vertici di decadimento delle due B siano ben separati, essendo la misura di tempo di decadimento di B_{CP} effettuata a partire dalla distanza di tali vertici. Questo è il motivo per cui in BABAR l'acceleratore è asimmetrico nelle energie dei due fasci.
- La risoluzione spaziale sui vertici di decadimento deve essere sufficientemente accurata e richiede perciò la presenza di un buon rivelatore di vertice;
- La procedura di identificazione del sapore delle B , detta procedura di *tagging* deve avere alta efficienza e purezza.
- È previsto che le asimmetrie siano piuttosto grandi, e che sia sufficiente solo qualche centinaio di eventi ricostruiti. Tuttavia i *branching ratio* in questione sono molto piccoli (per esempio $\sim 10^{-5}$ per $J/\psi(l^+l^-)K_S^0(\pi^+\pi^-)$), è quindi necessaria un'elevata produzione di B cioè un'elevata luminosità dell'acceleratore.

2.2 PEP-II

PEP-II [?] [?] è un doppio anello di accumulazione (dovendo accelerare fasci asimmetrici in energia) che è in grado di produrre $\Upsilon(4S)$ in moto con frequenza di 3Hz ad una luminosità nominale di $L = 3 \cdot 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. L'anello, mostrato in figura ??, ha una circonferenza di circa 2.2 km; l'esperimento BABAR si trova in corrispondenza dell'unico punto di interazione, IR2 (IR2, *Interaction Region 2*).

L'acceleratore opera a un energia nel centro di massa pari all'eccitazione della risonanza $\Upsilon(4S)$ cioè 10.59 GeV. Questo valore si ottiene facendo collidere i fasci di elettroni e positroni a energie nominali di 9 e 3.1 GeV. Le dispersioni dovute all'irraggiamento portano a delle incertezze in energia sui singoli fasci pari a $\sigma_{e^+} = 2.5 \text{ MeV}$ e $\sigma_{e^-} = 9 \text{ MeV}$. Essendo le energie dei fasci diverse tra loro, il sistema del centro di massa ha una velocità di trascinamento rispetto al sistema del laboratorio in direzione del moto del fascio di elettroni. La $\Upsilon(4S)$ prodotta acquista

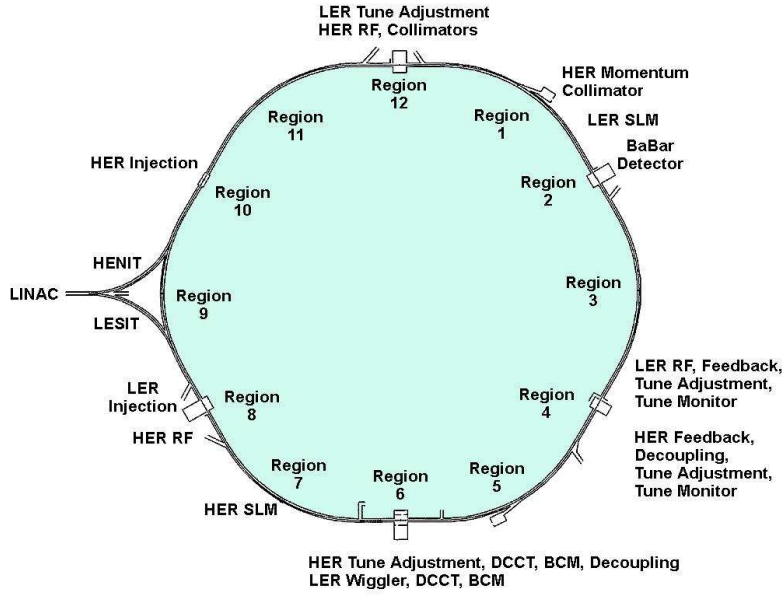


Figura 2.4: PEP-II

quindi un impulso lungo l'asse z dell'ordine di 6 GeV/c che si traduce in una separazione media tra i vertici di decadimento delle B di $\sim 250 \mu\text{m}$, compatibile con la risoluzione del rivelatore di vertice di BABAR. In un acceleratore simmetrico invece, la $\Upsilon(4S)$ produrrebbe nel laboratorio due B con impulso pari a 330 MeV/c quindi una separazione di vertici di $\sim 30 \mu\text{m}$, troppo piccola per potere essere risolta.

La luminosità di una macchina a fasci collidenti è data dall'espressione:

$$\mathcal{L} = \frac{N^+ N^- f}{A} \quad (2.11)$$

dove:

f = Frequenza di collisione ($= c/d$, d = distanza tra i pacchetti = 1.26 m, $1/f = 4.2$ ns).

A = Area effettiva di collisione.

N^\pm = Numero di particelle per pacchetto.

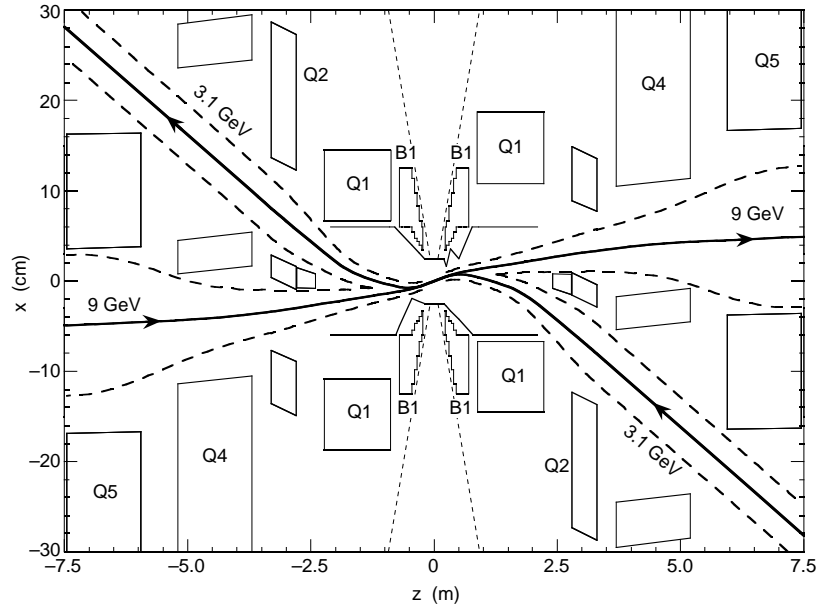


Figura 2.5: Vista trasversale della regione di interazione

La luminosità di progetto di PEP-II è $L = 3 \cdot 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e questo valore è ottenuto mediante un'elevata corrente (1658 pacchetti per fascio) e un intenso foccheggiamento. Una vista trasversale della regione di interazione è mostrata in figura ??.

I quadrupoli utilizzati per il foccheggiamento forte sono posti all'interno del rivelatore. I quadrupoli Q1 sono utilizzati per il foccheggiamento di entrambi i fasci, Q2 per il fascio a bassa energia mentre Q4 e Q5 per quello di alta energia. Non tutti i magneti possono essere di ferro: B1 e Q1 si trovano immersi nel campo magnetico del rivelatore (pari a 1.5 T) e sono magneti permanenti di Samario-Cobalto. Tali magneti sono posti su di un supporto cilindrico in fibra di carbonio di diametro di 43 cm insieme al tubo che contiene il fascio (*beam pipe*) e al rivelatore di vertice. I fasci interagiscono solo nella regione prossima al punto di interazione (IP), mentre al di fuori di essa vengono tenuti separati per evitare collisioni parassite; questo viene realizzato, come mostrato in figura ??, deflettendo i fasci nel piano orizzontale per mezzo dei dipoli B1.

Alcune caratteristiche di PEP-II sono riassunte in tabella ??.

	e^+	e^-
Beam energy (GeV)	3.1	9
Beam current (A)	2.14	0.98
β_y^* (cm)	1.5	2.0
ε_x (ε_y) (nm)	64 (2.6)	48 (1.9)
σ_x (μm at IP)	155	
σ_y (μm at IP)	6.2	
σ_z (cm)	1.0	1.15
Luminosity	$3 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	
Tune shift	0.03	
Beam aspect ratio (v / h at IP)	0.04	
Number of beam bunches	1658	
Bunch spacing (m)	1.26	
Beam crossing angle	0 (head-on)	

Figura 2.6: *parametri di PEP-II*

La particolare configurazione della regione di interazione espone il rivelatore a diversi tipi di fondo di cui si deve tenere conto: la radiazione di sincrotrone, le particelle disperse dai fasci per *bremsstrahlung*, la diffusione coulombiana sulle molecole del gas residuo nel tubo e le interazioni anelastiche tra gas residuo e fascio.

2.3 Il rivelatore di BABAR

La geometria del rivelatore di BABAR [?] tiene conto dell'asimmetria dell'apparato di produzione ed è quindi asimmetrica attorno al punto di interazione. Il *boost* è pari a $\beta\gamma = 0.56$. A causa di esso, le distribuzioni angolari nel sistema del centro di massa e del laboratorio sono differenti: per esempio i fotoni emessi nel centro di massa a $\theta^* = 90^\circ$ hanno nel sistema del laboratorio $\theta = 60^\circ$. Il rivelatore è stato costruito tenendo conto che la metà dei prodotti di decadimento della $\Upsilon(4S)$ viene emessa nella regione $\theta < 60^\circ$. È mantenuta invece la simmetria cilindrica attorno alla direzione del fascio. Un'immagine del rivelatore BABAR è mostrata in figura

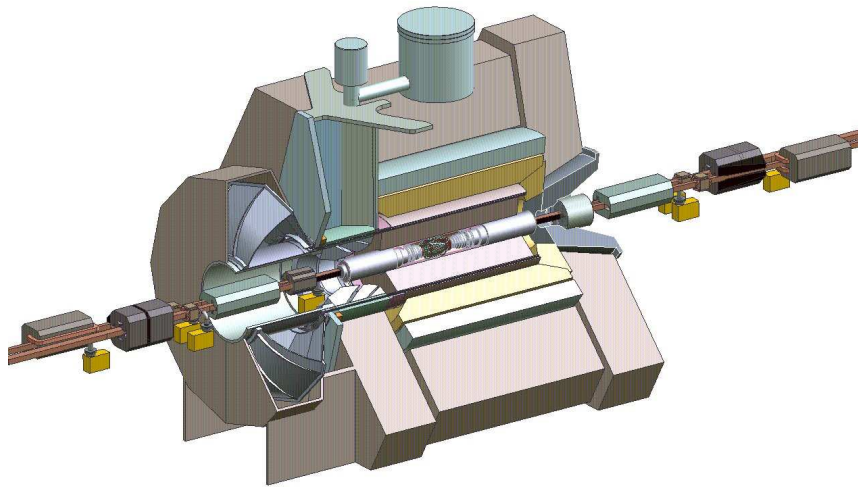


Figura 2.7: *Rivelatore di BABAR*

??.

I sotto-rivelatori sono, a partire dal punto di interazione verso l'esterno:

- Rivelatore di vertice al silicio (SVT: *Silicon Vertex Tracker*).
- Camera a deriva (DCH: *Drift CHamber*).
- Rivelatore Cherenkov (DIRC: *Detector of Internally Reflected Cherenkov light*).
- Calorimetro elettromagnetico (EMC: *ElectroMagnetic Calorimeter*).
- Bobina del magnete superconduttore con il ferro di ritorno instrumentato con rivelatori RPC (IFR: *Instrumented Flux Return*).

Le prestazioni del rivelatore di BABAR sono riassunte in tabella ??.

Le caratteristiche della camera a deriva verranno discusse nel capitolo 3.

Parameter	Value
Tracking coverage ($/4\pi$)	0.92
σ_{p_t}/p_t (%) (1 GeV pions at 90°)	0.36
σ_{z_0} (μm) (1 GeV pions at 90°)	52
Calorimetry coverage ($/4\pi$)	0.90
X_0 in front of Calorimeter (at 90°)	0.25
σ_E/E (%) (1 GeV γ at all angles)	1.8
γ efficiency within acceptance (at 100 MeV)	0.92
Charged Hadron ID coverage ($/4\pi$)	0.84

Figura 2.8: Prestazioni del rivelatore di BABAR

2.3.1 Rivelatore di vertice al silicio

Il compito principale del rivelatore di vertice al silicio è quello di ricostruire i vertici di decadimento dei due mesoni B primari per determinarne la distanza in modo da risalire all'intervallo temporale tra i due decadimenti. Per la misura della violazione di CP è necessario determinare la separazione tra i due vertici con una precisione migliore della metà della separazione media ($\sim 250 \mu\text{m}$). Questo corrisponde a una risoluzione sul singolo vertice di $\sim 80 \mu\text{m}$ ottenibile facilmente con i rivelatori a *micro – strip*. L' SVT viene anche utilizzato nel tracciamento insieme alla camera deriva. Per una data traccia l'informazione angolare migliore è fornita dai punti più vicini al punto di interazione, cioè quelli misurati dall'SVT, perchè muovendosi verso l'esterno (nella camera a deriva) la precisione è limitata dallo *scattering* multiplo. Inoltre, le particelle con impulso inferiore a 60 MeV/c non arrivano affatto alla camera a deriva e quindi per esse l'SVT fornisce tutte le informazioni sulla traccia disponibili. La camera raggiunge piena efficienza solo per tracce con impulso trasverso $p_t > 180 \text{ MeV}$ quindi anche nella regione $60 \text{ MeV} < p_t < 180 \text{ MeV}$ il rivelatore di vertice è essenziale nel tracciamento. In figura ?? è mostrata una sezione dell' SVT.

L'accettanza geometrica è limitata dalla presenza delle componenti della macchina acceleratrice; la regione angolare coperta dall' SVT è, nel sistema del laboratorio, $17.2^\circ < \theta < 150^\circ$. Le componenti sono state scelte in modo da essere particolar-

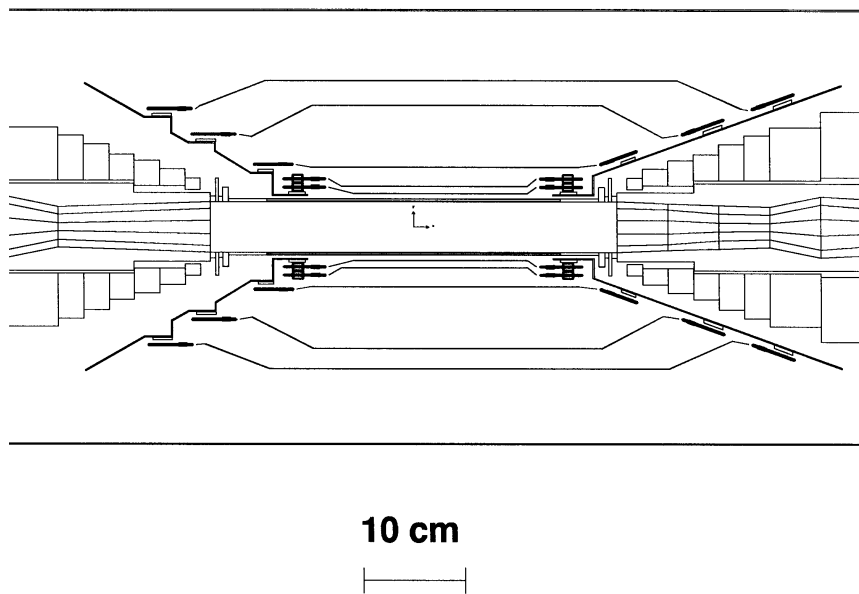


Figura 2.9: *Sezione del rivelatore di vertice*

mente resistenti al danneggiamento da radiazioni: le prestazioni del rivelatore si mantengono adeguate alla precisione e efficienza richiesta fino a dosi integrate dell'ordine di 2Mrad che, nelle condizioni tipiche di lavoro di PEP-II corrispondono a circa 10 anni di presa dati.

Come si vede dalla figura ?? il rivelatore di vertice consiste di cinque strati (*layer*) concentrici di *wafer* di silicio. I primi tre strati sono a simmetria cilindrica e sono molto vicini al punto di interazione mentre i due strati più esterni si trovano a 15 cm da esso e sono piegati alle estremità verso i dipoli B1 in modo da minimizzare la superficie di silicio necessaria per coprire l'angolo solido e lo *scattering* multiplo su tracce emesse a piccoli angoli.

2.3.2 Rivelatore Cherenkov

Il rivelatore Cherenkov identifica le particelle cariche attraverso la misura dell'angolo con cui viene emessa la luce Cherenkov. Esso è posto nell'intercapedine tra la camera a deriva e il calorimetro elettromagnetico, occupando una regione radiale di circa

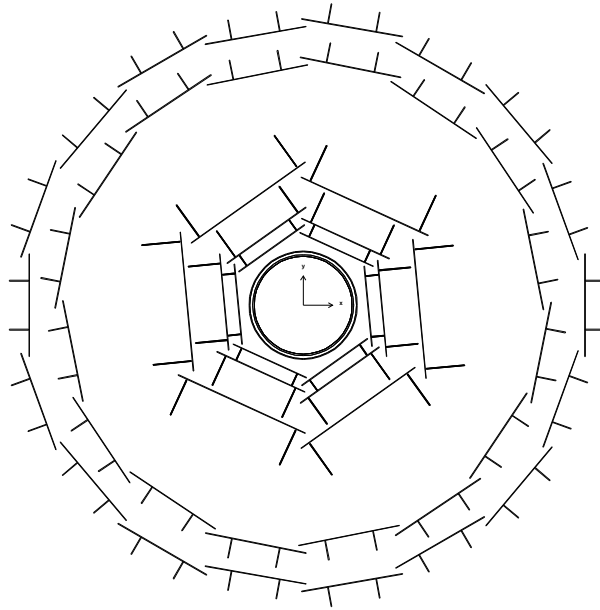


Figura 2.10: *Rivelatore di vertice, disposizione dei layer*

10 cm e una angolare con $25^\circ < \theta < 147^\circ$. I radiatori Cherenkov sono 156 barre di quarzo lunghe 4.7 m a sezione rettangolare, disposte parallelamente all'asse z a formare un prisma a 12 facce. In figura ?? è mostrata un'immagine del DIRC in cui sono indicate le barre di quarzo e i fotomoltiplicatori che si trovano sulle pareti della vasca (vedi dopo). L'utilizzo delle barre di quarzo presenta i vantaggi di minimizzare le dimensioni trasverse del rivelatore lasciando più spazio per il tracciamento (camera a deriva), mantenendo contenute le dimensioni del calorimetro elettromagnetico, e di interporre tra camera a deriva e calorimetro solo $0.21 X_0$, a incidenza normale, permettendo così di non deteriorare la rivelazione di fotoni di bassa energia.

La luce Cherenkov prodotta dalle particelle cariche con velocità $\beta > 1/n$ ($n =$ indice di rifrazione del quarzo $= 1.474$) si propaga attraverso la sbarra di quarzo mediante riflessioni multiple (figura ??) in cui l'angolo Cherenkov viene conservato; essa viene poi raccolta in una zona di lettura posteriore rispetto al rivelatore.

L'immagine Cherenkov prodotta da ogni particella proveniente dall'estremo di lettura delle barre raggiunge, attraverso una vasca contenente acqua purificata (che

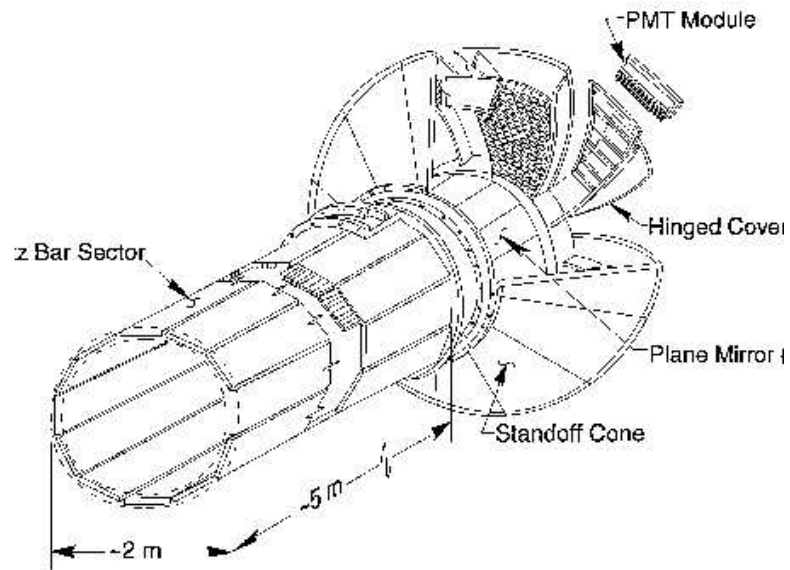


Figura 2.11: Immagine del DIRC

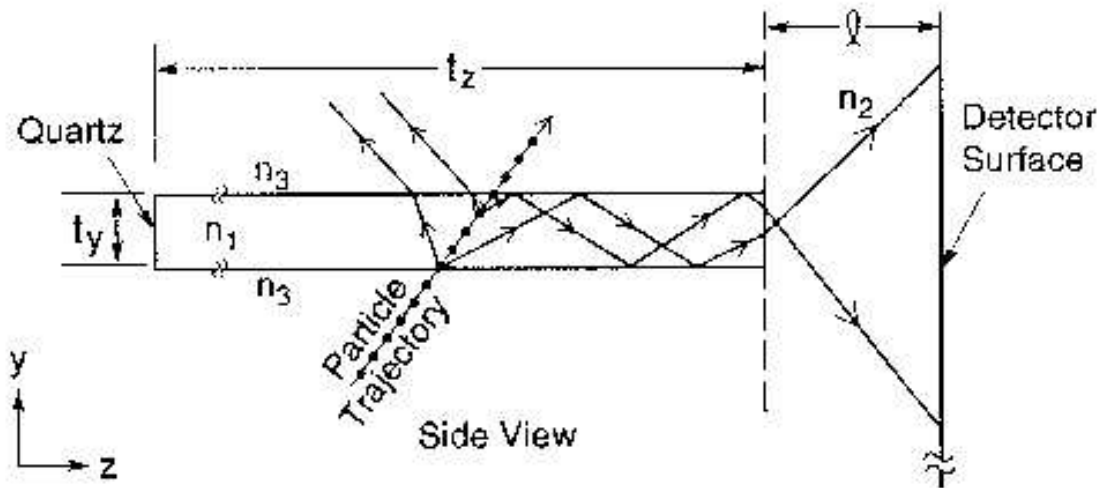


Figura 2.12: Riflessioni multiple della luce Cherenkov all'interno di una barra del DIRC

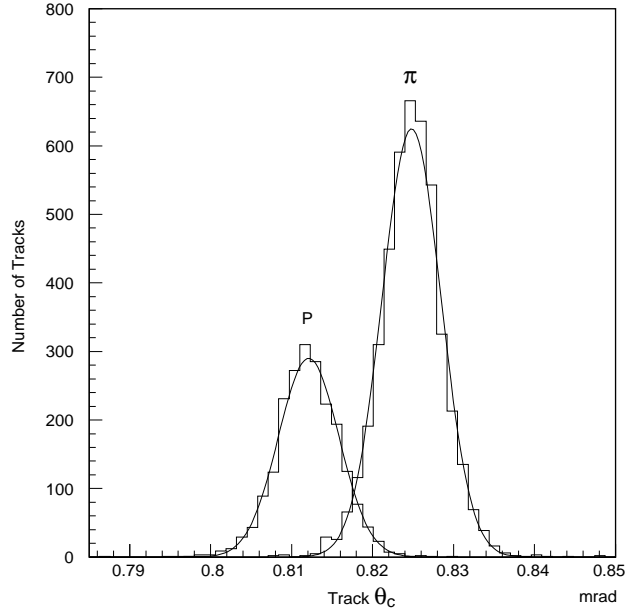


Figura 2.13: *Distribuzione degli angoli Cherenkov per tracce di protoni e pioni da 5.4 GeV a $Z = 220$ cm*

permette una buona trasmissione dei fotoni per tutti gli angoli di incidenza), una superficie toroidale su cui sono disposti dei fotomoltiplicatori. Le pareti della vasca d'acqua sono fatte di materiale riflettente per minimizzare il numero di fototubi necessari. Una volta raccolti i fotoelettroni, conoscendo la direzione della traccia, si ricavano le distribuzioni dell'angolo θ_c , relativo al cono Cherenkov che è legato alla velocità della particella dalla relazione $\cos\theta_c = 1/\beta n$. Un esempio di distribuzione degli angoli Cherenkov, misurata in un *test-beam*, per tracce di protoni e pioni da 5.4 GeV è mostrato in figura ??.

L'efficienza del DIRC ha il suo valore minimo per particelle con $\theta_{lab} = 90^\circ$ mentre aumenta spostandosi nella regione *forward* del rivelatore. Laddove il DIRC è inefficiente, in particolare modo per kaoni con impulso compreso nella regione con $p < 800$ MeV/c, si pensa di utilizzare il dE/dx della camera a deriva. La camera viene anche utilizzata nella regione angolare in avanti non coperta dal DIRC.

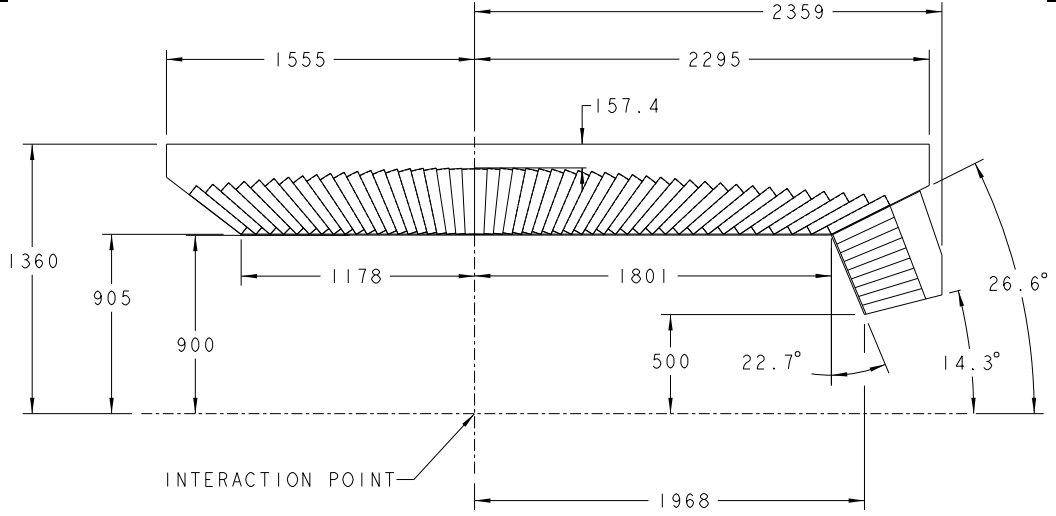
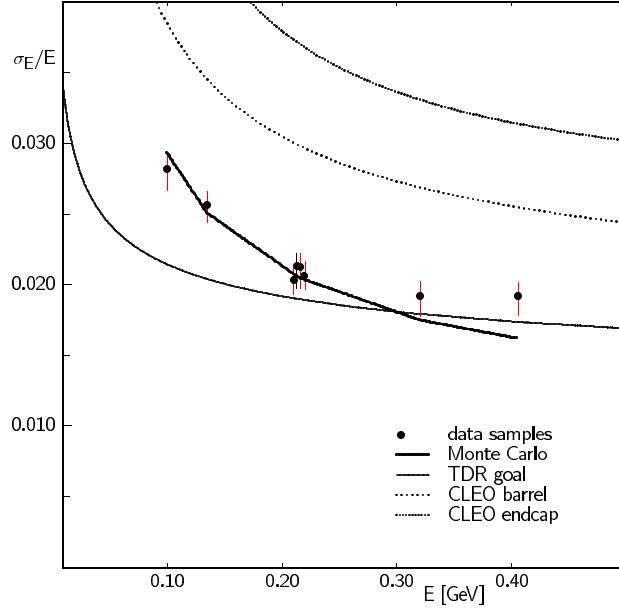


Figura 2.14: Sezione longitudinale del barrel e del forward endcap del calorimetro; le distanze sono date in mm

2.3.3 Calorimetro elettromagnetico

Il calorimetro elettromagnetico [?] è utilizzato nell'identificazione dei π^0 presenti negli autostati di CP in cui decade la B e nella distinzione e/π necessaria per il *tagging*. La necessità di identificare i π^0 con buona efficienza si traduce nella necessità di un'elevata risoluzione per i fotoni di bassa energia ($p < 100$ MeV). Questa e altre esigenze hanno portato alla scelta del CsI(Tl) per i cristalli. La geometria del calorimetro è mostrata in figura ??.

Il rivelatore è costituito da due componenti. Una componente, cilindrica con raggio interno di 90 cm e esterno di 135.6 cm, è disposta asimmetricamente rispetto al punto di interazione ed è costituita da 5880 cristalli sistemati in 49 file di dimensione differenti; essa viene chiamata *barrel* ed è posizionata esternamente al DIRC all'interno del criostato del magnete. L'altra componente, chiamata *forward endcap*, ha 900 cristalli, è conica e si trova nella regione frontale. I cristalli variano in lunghezza; la lunghezza media è di $16.5 X_0$. Complessivamente il calorimetro si estende in una regione angolare con $-0.775 < \cos\theta < 0.962$. La quantità di materiale di fronte al calorimetro è minimizzata in modo che ad incidenza normale ci

Figura 2.15: *Risoluzione in energia*

siano $0.41X_0$ (dovuti per metà alla presenza del DIRC), e che il *forward endcap* abbia $0.065X_0$ davanti dovuti all'*endplate* della camera a deriva. La risoluzione in energia dei fotoni a un angolo polare di 90° è data dall'espressione:

$$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{1\%}{\sqrt[4]{E(\text{GeV})}} \oplus 1.2\% \quad (2.12)$$

dove il termine costante deriva dalle perdite frontali e posteriori; tale risoluzione peggiora a piccoli angoli polari. La risoluzione angolare è dominata dall'ampiezza trasversa dei cristalli e dalla distanza media dal punto di interazione:

$$\sigma_\theta = \frac{3\text{mr}}{\sqrt[2]{E(\text{GeV})}} \oplus 2\text{mr} \quad (2.13)$$

In figura ?? è riportata la risoluzione in funzione dell'energia misurata.

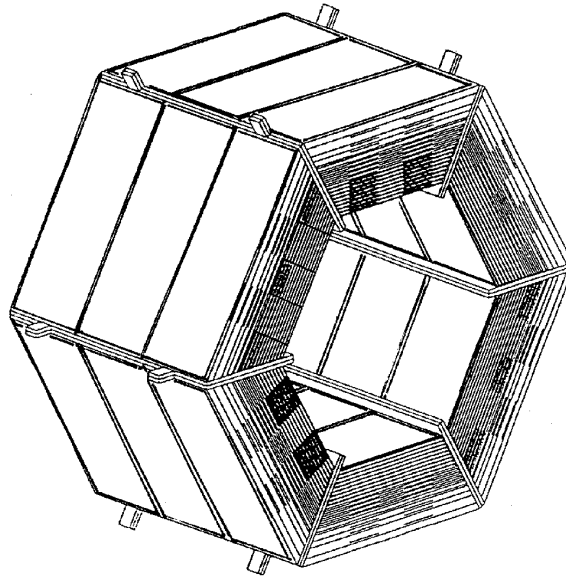


Figura 2.16: *Vista assonometrica del barrel dell'IFR*

2.3.4 IFR e magneti

Al di fuori della regione occupata dal calorimetro è collocato un magnete superconduttore, che genera un campo magnetico di 1.5 T. Il valore elevato di tale campo è richiesto per avere una buona risoluzione nella misura dell'impulso trasverso da parte della camera a deriva. Esternamente al magnete è posto l'IFR che serve per individuare i muoni e gli adroni neutri (in particolare i K_L^0); il rivelatore è realizzato sfruttando il ferro che chiude il flusso del campo magnetico. La vista assonometrica della parte centrale dell'IFR è riportata in figura ??.

L'IFR è costituito da 17 strati di rivelatori spessi circa 3 cm e da strati di ferro di spessore crescente all'aumentare della distanza dal fascio. Lo spessore complessivo del ferro è di 65 cm (quattro lunghezze di interazione). I moduli dell'IFR sono tre: il *barrel*, che circonda il fascio ed è diviso in sestanti lunghi ciascuno 3.75 m, il *forward endcap* ed il *backward endcap* che coprono rispettivamente la regione in avanti nel verso del *boost* e la regione angolare all'indietro; questi ultimi sono costituiti da piani esagonali con un foro centrale per permettere il passaggio delle

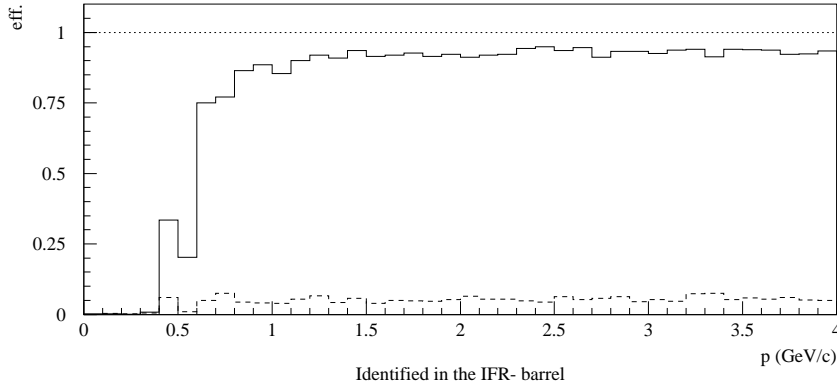


Figura 2.17: Efficienza di rivelazione dei μ in funzione dell'impulso (ottenuta con una simulazione) per il modulo barrel

strutture della macchina acceleratrice. La copertura angolare dell'IFR è $17^\circ < \theta < 150^\circ$. I rivelatori posti tra gli strati dell'assorbitore sono camere RPC (*Resistive Plate Counter*; Contatori a piatti resistivi). Gli RPC hanno basso costo e elevata affidabilità, questo è rilevante perchè l'IFR deve coprire una grande superficie.

La discriminazione tra π e μ è basata sulle diverse interazioni con la materia. In generale il criterio di separazione tra muoni e adroni è basato sul numero di *hit* che si hanno in ogni strato sensibile. Un muone lascia tipicamente un *hit* per *layer* mentre un pione quando interagisce nel ferro genera uno sciame adronico che produce *hit* multipli negli strati attivi. Inoltre il numero di strati attivi attraversati da un pione è in generale minore del numero di piani attraversati da un muone di pari momento. L'efficienza di rivelazione di muoni (figura ??) è sensibilmente maggiore di zero per momenti maggiori di 0.6 GeV/c; per muoni con momento maggiore di 1 GeV/c è prossima al 95%. La probabilità che un adrone venga scambiato per un pione è di circa il 3% ed è indipendente dal momento. Ulteriori studi sono necessari per migliorare questa figura di merito; il problema principale risiede nella limitata quantità del materiale assorbitore. Il mesone K_L^0 è identificato dal fatto che uno o più dei primi piani del rivelatore non presentano *hit* attivi.

2.3.5 Sistema di *trigger*

Il sistema di *trigger* [?] di BABAR è stato progettato tenendo conto delle particolarità dell'acceleratore PEP-II. Le collisioni dei fasci avvengono in PEP-II a una frequenza di 238 MHz mentre è richiesto che, la frequenza di eventi immagazzinati in modo permanente non superi 100 Hz. Inoltre, vista l'elevata luminosità della macchina, è presente un elevato *background* che produce alta *occupancy* nel rivelatore.

Il sistema di *trigger* deve essere capace di gestire la fisica e il *background* in caso di aumento della luminosità di PEP-II a $10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, deve essere efficiente per diversi stati finali dell'interazione tra e^+e^- ($\Upsilon(4S)$, $c\bar{c}$, $\tau^+\tau^-$) e per stati finali provenienti da interazioni $\gamma\gamma$. Inoltre esso deve essere in grado di acquisire anche certi stati finali, come e^+e^- , $e^+e^-\gamma$, e una piccola quantità di *trigger random* per misure di luminosità, calibrazioni, e monitoraggio. Un stima delle frequenze alla luminosità nominale per i processi sopra citati è data in tabella ??.

Processo	Rate
$\Upsilon(4S)$ risonanza	4 Hz
$q\bar{q}$	8 Hz
$\mu^+\mu^-$	2 Hz
$\tau^+\tau^-$	2 Hz
$\gamma\gamma$ signal	3 Hz
Bhabhas	10 Hz
eventi per la calibrazione	~ 10 Hz
eventi <i>random</i>	5 Hz
Totale	~ 45 Hz

Tabella 2.1: Frequenze aspettate alla luminosità nominale per alcuni tipi di eventi.

Lo schema del sistema di *trigger* di BABAR è mostrato in figura ??.

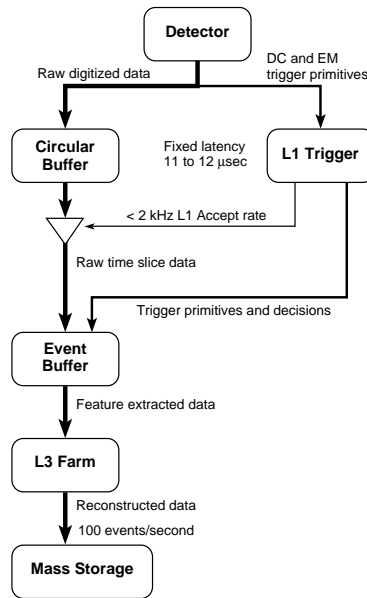


Figura 2.18: Schema del sistema di trigger

Sono presenti due livelli di *trigger*, chiamati Livello 1 (L1) e Livello 3 (L3). L'elettronica del rivelatore acquisisce in modo continuo e i dati vengono messi in un *buffer* circolare dove rimangono per $\sim 12\mu s$ che è il tempo massimo che L1 impiega per decidere se accettare o meno l'evento; quando l'evento arriva al termine del *buffer* viene passato al *DataFlow* solo se è arrivato anche un segnale di L1 *accept*. Il tempo di *trigger* è noto con una incertezza chiamata *jitter* che è di ~ 100 ns. Il *trigger* L1 riduce la frequenza degli eventi a 2 kHz e L3 a 100 Hz.

Il *trigger* di livello 1 [?] lavora a livello di *hardware* ed è costituito da tre sottosistemi: il *trigger* della camera a deriva (DCT, *Drift Chamber Trigger*), che trova tracce cariche, il *trigger* del calorimetro elettromagnetico (EMT, *ElectroMagnetic Trigger*), che trova *cluster* di energia, e il *trigger* globale (GLT, *GLobal Trigger*), che combina le informazioni dei primi due e prende la decisione di accettare o meno l'evento. Esiste anche l'IFT (*Instrumented Flux Trigger*), che svolge un ruolo ausiliario nell'identificazione dei raggi cosmici.

L1 separa eventi di fisica da eventi di *background* basandosi su combinazioni

Tracks in the Drift Chamber		Example cuts
A tracks	Tracks that reach the outer layers of the drift chamber.	na
A' tracks	A tracks above a certain p_t threshold.	$p_t > 0.800 \text{ GeV}/c$
B tracks	Tracks that reach the middle layers of the drift chamber.	na

Clusters in the Calorimeter		Example cuts
M clusters	Clusters with energies \geq minimum ionizing particles.	$E_{\text{clus}} > 0.120 \text{ GeV}$
G clusters	Clusters with energies above those of M clusters.	$E_{\text{clus}} > 0.160 \text{ GeV}$
E clusters	Clusters with energies well above those of G clusters.	$E_{\text{clus}} > 0.500 \text{ GeV}$
X clusters	Clusters in forward endcap for background veto.	$E_{\text{clus}} > 0.120 \text{ GeV}$
Y clusters	Clusters in backward barrel from asymmetric $e^+e^- (\gamma)$.	$E_{\text{clus}} > 2.000 \text{ GeV}$
E-M clusters	E clusters with M clusters back-to-back in ϕ .	see above

Matches Between the Drift Chamber and Calorimeter		
A-M matches	A tracks correlated in ϕ with barrel M clusters.	see above
A'-M matches	A' tracks correlated in ϕ with barrel M clusters.	see above
B-M matches	B tracks correlated in ϕ with barrel or endcap M clusters.	see above
BMX matches	veto X clusters that do not have a match with a B track	see above

IFR Trigger Inputs		
U	IFR track information.	n/a

Figura 2.19: *Oggetti definiti dal trigger*

delle seguenti caratteristiche dell'evento:

- Molteplicità delle tracce cariche.
- Molteplicità dei *cluster* nel calorimetro.
- Topologia dell'evento.

Sulle tracce cariche e sui *cluster* del calorimetro possono essere fatti dei tagli rispettivamente in impulso trasverso (p_t) e in energia (E_{clus}). Possono inoltre essere fatte delle richieste sulla separazione in angolo solido (ϕ) e sulla qualità del *match* traccia-*cluster*. Il *trigger* costruisce degli *oggetti* nella camera e nel calorimetro che analizza nella selezione degli eventi; la lista degli oggetti definiti è riportata in tabella ??.

Gli *oggetti* del *trigger* vengono combinati a formare *linee di trigger* che costituiscono le condizioni sulla base delle quali si accetta un evento. Alcune *linee di trigger* sono mostrate in tabella ??.

Trigger Line Name	Trigger Criterion
Drift Chamber Trigger Lines	
Open drift chamber trigger (D_2)	$(A \geq 1 \ \& \ B \geq 2) \text{ OR } A \geq 2$
3A trigger	$A \geq 3$
D'_2 trigger	$D_2 \ \& \ A' \geq 1$
D'^*_2 trigger	$D'_2 \ \& \ B^* \geq 2$
2A' trigger	$A \geq 2 \ \& \ A' \geq 1$
Calorimeter Trigger Lines	
Open calorimeter trigger (C_2)	$M \geq 2$
C'_2 trigger	$E-M \geq 1$
3M trigger	$M \geq 3$
Asymmetric bhabha trigger (Y trigger)	$Y \geq 1$
2G* trigger	$G^* \geq 2$
Trigger Lines using both Drift Chamber and Calorimeter	
2M&1A trigger	$M \geq 2 \ \& \ A \geq 1$
2M&1A' trigger	$M \geq 2 \ \& \ A' \geq 1$

Figura 2.20: Alcune linee di trigger

Ogni linea è caratterizzata dalla molteplicità richiesta per ogni oggetto, per esempio la seconda riga della tabella riporta una linea in cui si richiede un numero di tracce di tipo A (tracce lunghe nella camera) maggiore o uguale a 3. La logica della decisione è implementata in una tabella programmabile con 30 bit in uscita corrispondenti alle linee di *trigger* e il filtro è un *OR* logico di un numero di linee specificato attraverso una parola chiamata *trigger mask*. Le linee di *trigger* possono essere prescalate per ridurre la frequenza dove necessario e sono ordinate in base a una certa priorità; la linea con la priorità più alta determina il tempo di L1 *accept*.

Il *trigger* L3 è un *trigger software* che lavora nell'ambito dell'*On-line-Event-Processing* (Cap.4); esso riceve in ingresso gli eventi accettati da L1 e su di essi effettua un'ulteriore selezione separando gli eventi di *background* dagli eventi di fisica di interesse. In figura ?? è mostrato un raggio cosmico selezionato da L3 (visto con l'*event display* di L3).

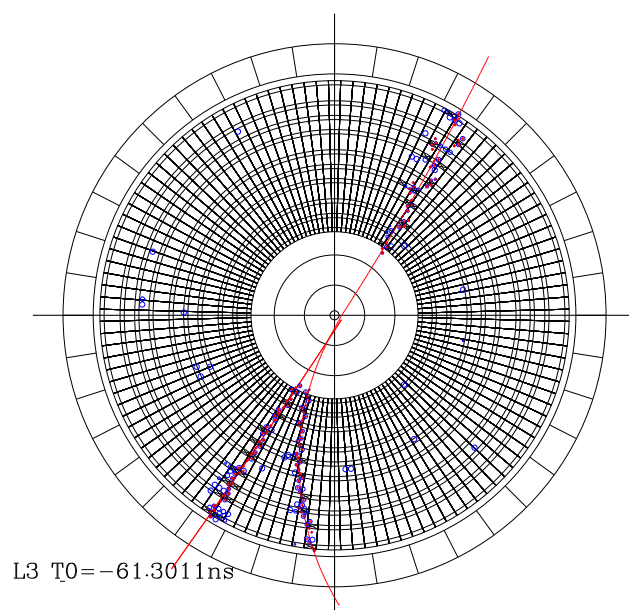


Figura 2.21: *Raggio cosmico visto con l'Event display del trigger di Livello 3*

Capitolo 3

La camera a deriva

La camera a deriva è il principale strumento per il tracciamento delle particelle cariche in BABAR. Essa assicura alta efficienza di ricostruzione per le tracce che abbiano un momento trasverso maggiore di 100 MeV/c. Inoltre la camera contribuisce all'identificazione delle particelle cariche attraverso una misura di dE/dx ed è infine utilizzata dal sistema di *trigger* dell'esperimento.

Riguardo alle misure di dE/dx il ruolo della camera è complementare a quello del DIRC che è efficace ad alti momenti e copre la regione centrale del rivelatore, mentre una frazione importante dei prodotti di decadimento è emessa nella regione in avanti. Studiando lo spettro (simulato) dei mesoni provenienti dai decadimenti esclusivi del B si trova infatti che una parte di essi, estremamente importante per lo studio della violazione di CP, viene prodotta con impulso di circa 100 MeV/c (per esempio in $B^0 \rightarrow D^{*-} D^{*+}$ in cui $D^{*+} \rightarrow \pi^+ D^0$), mentre un'altra, altrettanto importante con $p \sim 3$ GeV/c (mesoni primari di $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- / K^+ \pi^-$).

Le prestazioni della camera a deriva sono state studiate durante un lungo periodo di presa dati (raggi cosmici) che si è svolto, con alcune interruzioni, da luglio 1998 a gennaio 1999. Esse vengono discusse nel capitolo 5.

3.1 Caratteristiche meccaniche

La camera a deriva ha una geometria cilindrica [?], occupa la regione radiale con $22\text{ cm} < r < 80\text{ cm}$ ed è lunga 280 cm. Rispetto al punto di interazione, la camera è lunga 175 cm in avanti e 101 cm indietro; questo per privilegiare la parte anteriore dove si trova la maggior parte delle tracce a causa del *boost* (Cap.2). Il cilindro interno è un tubo di berillio di spessore 1 mm e quello esterno è in fibra di carbonio e ha uno spessore di 9 mm. La scelta di questi materiali è stata soprattutto fatta per la loro grande lunghezza di radiazione ($X_0 = 35.5\text{ cm}$ per il berillio e $X_0 = 24.9\text{ cm}$ per la fibra di carbonio); in questo modo si limitano l'effetto della diffusione multipla e le conversioni dovute alle interazioni dei fotoni con il tubo, e si interpone una quantità ridotta di materiale di fronte al DIRC e al calorimetro. I due cilindri servono anche come supporto per i due piatti (anteriore e posteriore) che chiudono la camera. Essi sono realizzati in alluminio e hanno dimensioni diverse: quello posteriore, dove è posizionata l'elettronica di lettura, ha uno spessore di 24 mm mentre quello anteriore è spesso 24 mm per $r \leq 47\text{ cm}$ e 12 mm per $r > 47\text{ cm}$. Anche questa scelta è stata fatta per minimizzare la quantità di materiale davanti al calorimetro, infatti tale raggio corrisponde ad un angolo polare di emissione di circa 300 mrad, dove inizia l'accettanza geometrica del *forward endcap* (Cap.2). I piatti devono sopportare un carico complessivo dovuto alla tensione dei fili pari a 2400 kg. In figura ?? è mostrata una sezione longitudinale della camera a deriva.

3.2 Geometria

La camera consiste di 40 strati (*layer*) di celle esagonali (in tutto 7104), raggruppate in dieci *superlayer* [?]. In media la sezione di una cella è di $(12 \times 18)\text{ mm}^2$. Tutte le celle hanno un filo centrale, il filo di *sense*, circondato da fili di campo disposti a formare approssimativamente un esagono. I fili di *sense* sono di tungsteno ricoperto d'oro, hanno uno spessore di $20\text{ }\mu\text{m}$ e sono posti a una tensione che può variare

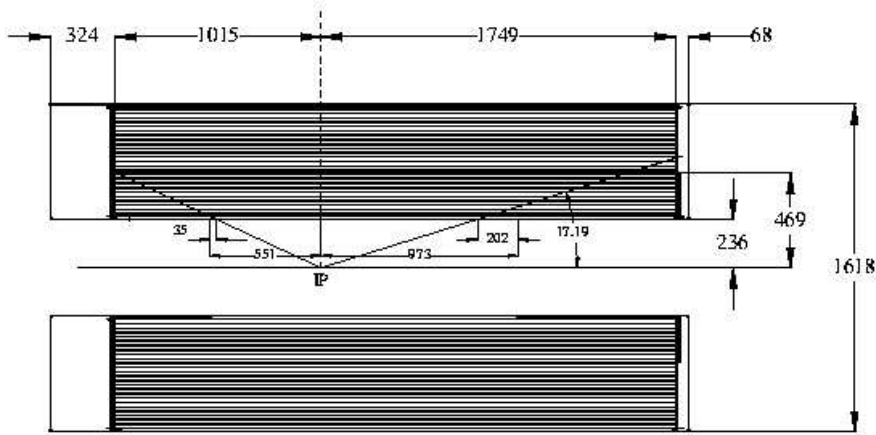


Figura 3.1: Sezione longitudinale della camera a deriva

tra 1960 V e 2020 V. I fili di campo, in alluminio, sono spessi $120 \mu\text{m}$ e sono posti a massa. Esistono differenti tipi di celle. Le celle interne di un *superlayer* sono esagonali, quelle di bordo invece, hanno sette lati e il filo di campo al vertice esterno è sostituito con un filo di *guard* (stesso materiale dei fili di campo ma diametro di $80 \mu\text{m}$) che è posto a una tensione di 300 V; i fili di *guard* servono per l'isolamento elettrico dei *superlayer*. Le celle dei *layer* che delimitano la camera, cioè quelle dei *layer* 1 e 40 hanno dei fili esterni posti a una tensione di 900 V, chiamati fili di *zipper* che servono per l'isolamento elettrico dell'intera camera. Le celle si differenziano anche nella geometria lungo l'asse z : i *superlayer* sono divisi in assiali (A), in cui i fili sono paralleli all'asse z , e stereo, in cui i fili formano un angolo con tale asse. Questa asimmetria serve per determinare la posizione della traccia lungo la coordinata longitudinale. I *superlayer* stereo possono essere di tipo U o V a seconda del segno dell'angolo stereo che in valore assoluto varia tra 45 mrad e 77 mrad. *Superlayer* assiali e stereo si alternano nel modo mostrato in figura ?? e questa alternanza rende necessarie delle regioni morte tra essi che possono arrivare sino a 5 mm.

Il numero di celle per *layer* è uguale per celle di uno stesso *superlayer* e aumenta

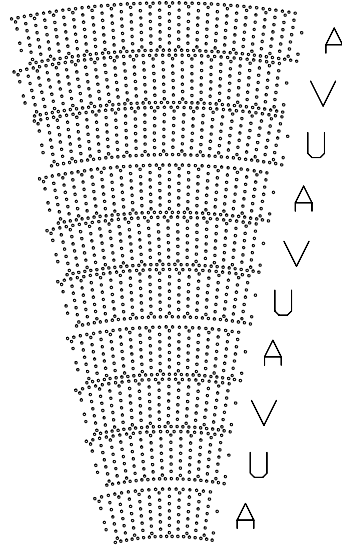


Figura 3.2: *Disposizione dei superlayer assiali e stereo*

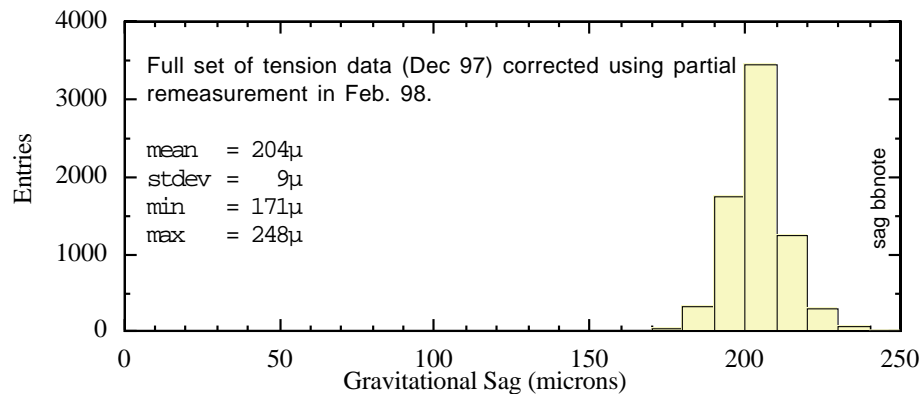
all'aumentare del raggio (tabella ??).

La convenzione per la numerazione dei fili della camera è tale che il filo numero zero di ogni *layer* si trova in corrispondenza del semiasse delle x sulla sinistra guardando il piatto posteriore dall'esterno della camera, e il numero incrementa muovendosi in senso orario. La geometria [?] di un filo è specificata dal suo punto di rilascio su ciascuno dei due piatti insieme alla sagitta gravitazionale e alla deflessione elettrostatica nel punto in corrispondenza del centro della camera. La distribuzione delle sagitte, misurata durante la tessitura della camera, è mostrata in figura ?. La determinazione della sagitta si è rivelata importante per il tracciamento quando le informazioni della camera vengono messe insieme a quelle del rivelatore di vertice.

La configurazione del campo elettrico è dipendente dalla geometria della cella.

In figura ?? e ?? sono mostrate le linee di campo e le isocrone per una cella interna (rispetto a un *superlayer*) e per una esterna. Come si vede, la forma del campo elettrico nei due casi è differente ai bordi delle celle. Inoltre per le celle es-

Layer	Axial/ Stereo	Cells/Layer	Layer	Axial / Stereo	Cells/Layer
1	A	96	21	V	192
2	A	96	22	V	192
3	A	96	23	V	192
4	A	96	24	V	192
5	U	112	25	A	208
6	U	112	26	A	208
7	U	112	27	A	208
8	U	112	28	A	208
9	V	128	29	U	224
10	V	128	30	U	224
11	V	128	31	U	224
12	V	128	32	U	224
13	A	144	33	V	240
14	A	144	34	V	240
15	A	144	35	V	240
16	A	144	36	V	240
17	U	176	37	A	256
18	U	176	38	A	256
19	U	176	39	A	256
20	U	176	40	A	256
			Total		7104

Figura 3.3: *Numero di celle per layer*Figura 3.4: *Distribuzione della sagitta gravitazionale*

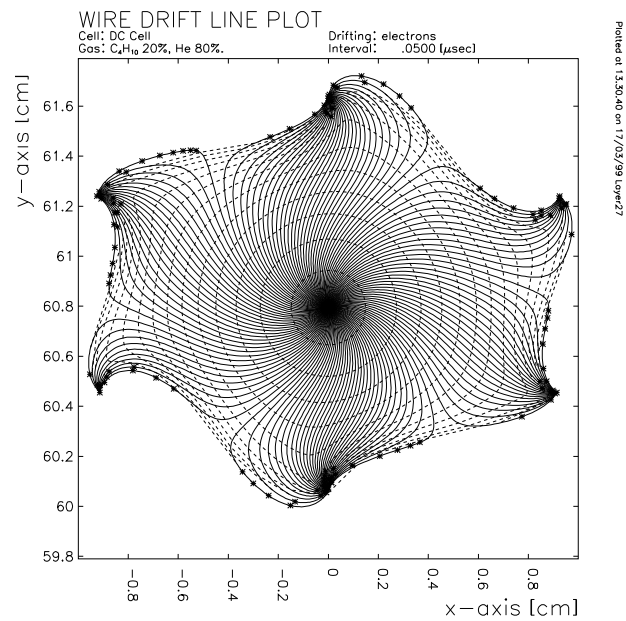


Figura 3.5: *Linee di campo e isocrone per una cella interna di un superlayer*

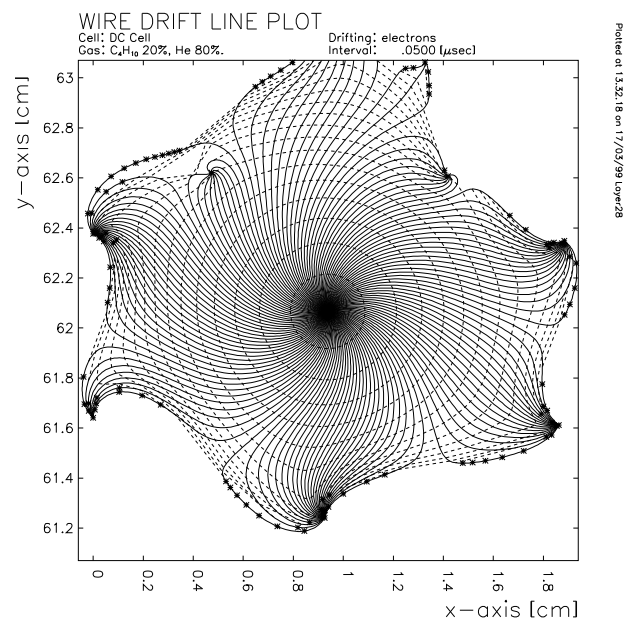


Figura 3.6: *Linee di campo e isocrone per una cella esterna di un supelayer*

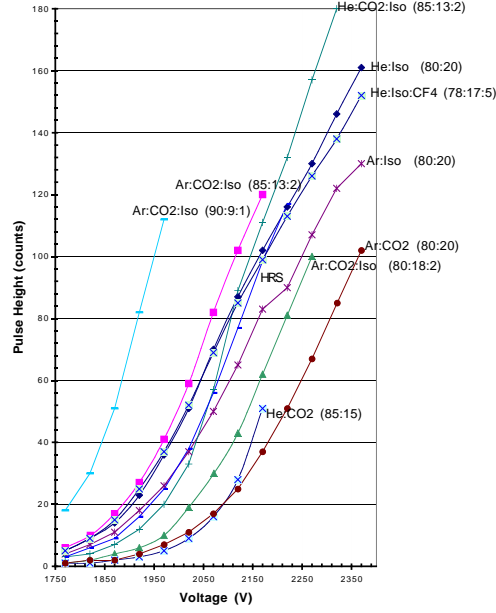


Figura 3.7: Ampiezza dell'impulso in funzione della tensione per varie miscele

terne la zona efficace del campo si estende oltre la regione geometrica delimitata dai fili. Queste differenze causano un diverso guadagno nelle due celle (che si traduce in una distribuzione diversa della carica raccolta) e una diversa distribuzione per i tempi di deriva. I *layer* 1 e 40 hanno configurazioni di campo ancora diverse a causa della presenza dei fili di *zipper*. Queste figure sono state ottenute con il programma Garfield [?] tenendo conto della presenza del campo magnetico in cui è immersa la camera (1.5 T). In assenza di campo magnetico le isocrone sono praticamente concentriche fino a ~ 300 ns (~ 0.6 cm); per tempi maggiori, la carica arriverà prima dai vertici della cella piuttosto che dai lati. Le linee di campo sono approssimativamente radiali e c'è simmetria di rotazione attorno al filo. La presenza di campo magnetico deforma le linee di campo. È stato anche osservato che in presenza di campo magnetico il campo elettrico è dipendente dall'angolo ϕ di ingresso della traccia nella cella; in particolare risulta diverso a destra e a sinistra del filo e di questo effetto bisogna tenere conto nella determinazione della relazione tempo-distanza (Cap.5).

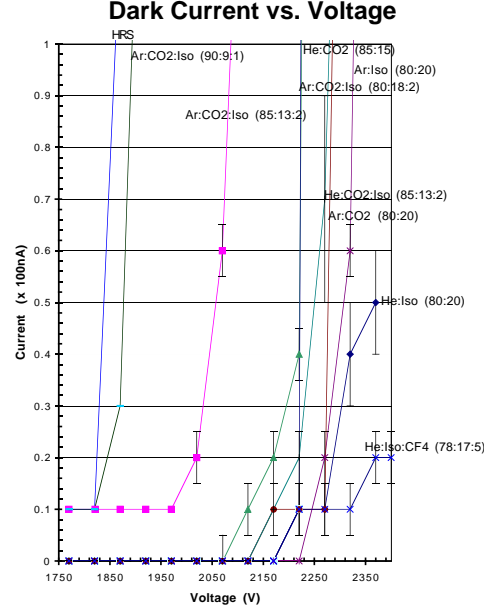


Figura 3.8: Correnti oscure in funzione della tensione per varie miscele

3.3 Miscela di gas

La miscela di gas utilizzata nella camera a deriva è costituita dall' 80% di Elio e 20% di Isobutano. Un particella carica produce in questa miscela una media di ~ 18 *clusters* di ionizzazione per centimetro per particelle al minimo della ionizzazione e un totale di ~ 40 elettroni di deriva per centimetro. Nella scelta della miscela [?] è stata soprattutto tenuta in considerazione la necessità di ridurre la quantità di materiale attraversato per minimizzare la diffusione multipla, in modo da avere una buona risoluzione anche per particelle a basso momento. Per questo è stata scelta una miscela a base di Elio che ha una lunghezza di radiazione elevata (5 volte quella dell'Argon) e assicura un piccolo angolo di Lorentz e quindi una relazione tempo-distanza più uniforme. La miscela scelta soddisfa anche altri requisiti come quello di avere, nell'intervallo di tensioni ideali per la camera di BABAR (1960 V-2020 V), un guadagno sufficientemente elevato e correnti oscure basse. Il guadagno deve essere alto affinché il segnale possa essere distinto facilmente dal rumore, mentre le correnti oscure devono essere tenute basse per evitare il danneggiamento dei fili

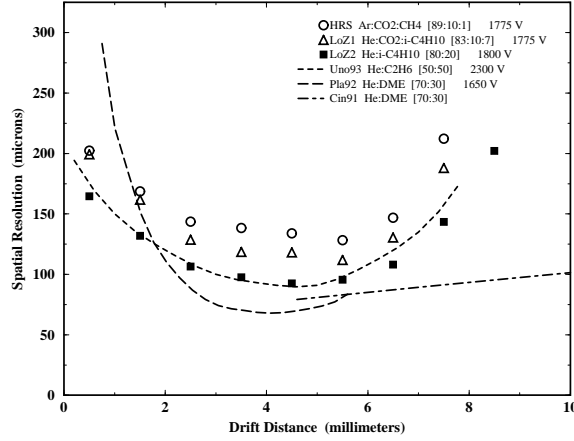


Figura 3.9: Risoluzione in funzione della distanza di massimo avvicinamento al filo per varie miscele

e una quantità di rumore eccessiva. L'ampiezza del segnale al filo e le correnti oscure in funzione della tensione sono riportate per varie miscele nelle figure ?? e ?. In figura ?? è mostrata la risoluzione spaziale in funzione della distanza di massimo avvicinamento al filo. Gli studi sulla miscela del gas sono stati effettuati sul prototipo della camera Proto II.

3.4 Elettronica

L'elettronica della camera a deriva [?] deve misurare il tempo di deriva degli elettroni di ionizzazione dal punto in cui essi vengono prodotti, al filo di *sense* e la carica totale raccolta. Il segnale relativo a ogni filo colpito da un *hit* deve inoltre essere inviato al sistema di *trigger*. Gli amplificatori, i digitizzatori e l'elettronica di interfaccia con il *trigger* si trovano sul piatto di alluminio posteriore, per minimizzare la quantità di materiale nella regione *forward*. Tale piatto è segmentato in 16 spicchi in direzione azimutale (*wedges*) e in tre parti radiali (ognuna dei quali comprende 3 *superlayer*, tranne la prima che ne contiene 4) come mostrato in figura ?. Ognuna delle quarantotto sezioni che si ottengono considerando insieme queste due segmentazioni è collegata a una *Front End Assembly* (FEA) che contiene l'elettronica di *front-*

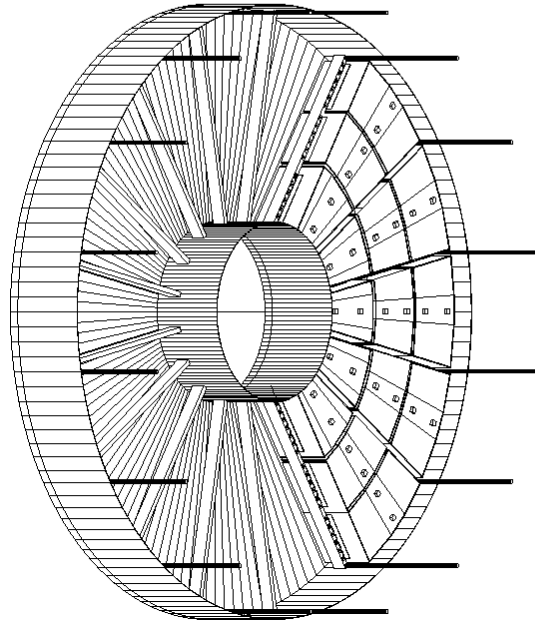


Figura 3.10: *Piatto posteriore della camera a deriva, con FEA montate in 5 delle 16 sezioni azimutali*

end per i fili connessi ad essa. L'elettronica è sostenuta da dei supporti radiali che conducono anche l'acqua per il raffreddamento.

Le FEA sono alimentate da un sistema di bassa tensione con $V = 5$ V. Il segnale dai fili viene portato alle FEA dagli stessi cavi che forniscono l'alta tensione. I canali del sistema di alta tensione sono in tutto 44; ogni canale alimenta un quarto di *superlayer* tranne quelli del primo *superlayer* che ne alimentano un ottavo. I quarti di *superlayer* alimentati da un canale sono ruotati di 45° rispetto ai quadranti della camera (un quadrante è delimitato dagli assi x e y). Come detto in precedenza, la tensione dei fili di *sense* è 1960 V mentre quelle per i fili di *guard* e di *zipper* sono 300 V e 900 V rispettivamente. Il valore dell'alta tensione determina il guadagno del gas e quindi influenza fortemente la distribuzione della carica raccolta al filo.

In un secondo momento nelle FEA della sezione radiale più interna è stata separata l'elettronica relativa al primo *superlayer*; si parla allora di FEE (*Front End*

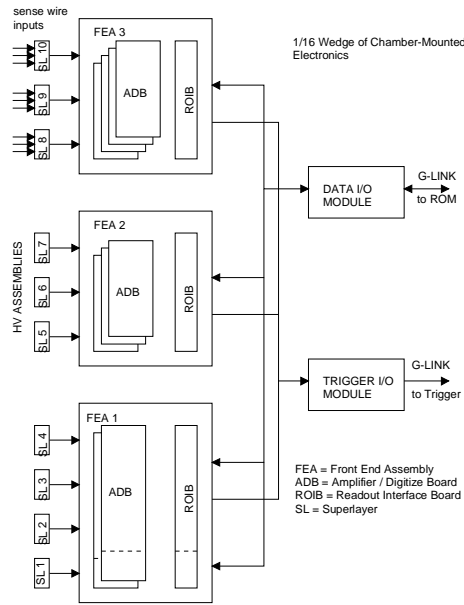


Figura 3.11: Elettronica di una wedge

Electronics) che sono in tutto 64. In figura ?? è mostrata l'elettronica di una *wedge*.

Ogni FEE contiene l'interfaccia con il *trigger*, con i moduli dell'elettronica di lettura (ROM: *Read Out Module*, Cap.4) e un certo numero, variabile a seconda della posizione della FEE nella *wedge*, di ADB (*Amplifier Digitizer Board*). Le componenti di un ADB sono mostrate in figura ??.

Sono presenti due amplificatori integrati (DCAC: *Drift Chamber Amplifier Chip*) a 4 canali che ricevono il segnale proveniente dai fili di *sense*. L'uscita del DCAC è costituita da un segnale analogico per la misura della carica e da uno discriminato per la misura del tempo. Essa viene inviata a uno degli 8 canali del digitizzatore ELEFANT (ELEctronics for Amplitude aNd Timing) che contiene un TDC con una precisione di 1.04 ns per conteggio e un FADC (*Flash ADC*) in grado di campionare la forma d'onda in ingresso. Il *clock* dell'ELEFANT è ottenuto dividendo per 4 il *master clock* di BABAR (59.9 MHz) e quindi corrisponde a un intervallo di campionamento del FADC di ~ 67 ns. Il valore misurato dal FADC è

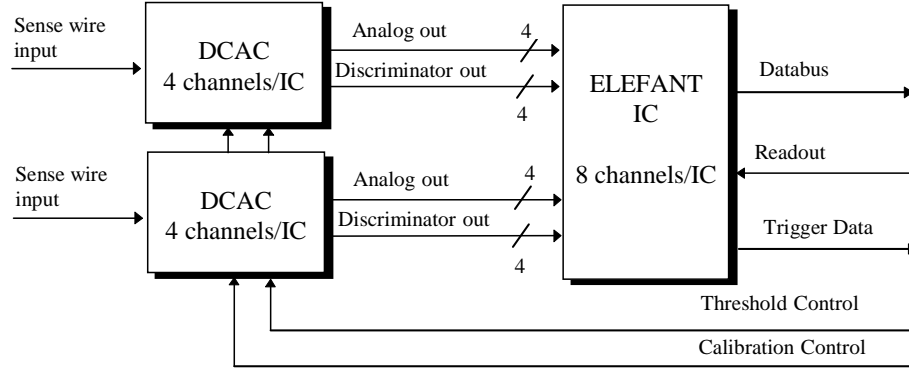


Figura 3.12: *Schema dell'elettronica di un ADB*

bilineare rispetto alla carica in ingresso e ciò estende l'intervallo di lavoro.

Se alla fine del *buffer* circolare in cui vengono messi i dati (Cap.2) arriva un segnale di accettazione di L1 (*L1 accept*), i dati relativi a una finestra temporale di $2.2 \mu\text{s}$, ritagliata in modo che il segnale di *trigger* sia posizionato a 201 ns dall'inizio di tale finestra, vengono inviati alle 4 ROM (una per quadrante). Queste ultime eseguono sui dati degli algoritmi di riformattazione (collettivamente chiamati *feature extraction*) descritti nel capitolo 5.

Capitolo 4

Il software di BABAR

4.1 Scelte di programmazione e struttura del codice

4.1.1 Il C++ e la programmazione a oggetti

La scelta di BABAR per la programmazione è il linguaggio C++ orientato a oggetti.

Il software per la ricostruzione e il software *on-line* sono scritti esclusivamente in C++. La simulazione veloce (Aslund) e quella dettagliata (bbsim), sono scritte in FORTRAN 77. Per il futuro si sta sviluppando la simulazione dettagliata basata su GEANT4 (C++).

Tre sono i principi fondamentali della programmazione orientata a oggetti: gli oggetti, le gerarchie delle classi e il polimorfismo. Un *oggetto* è un'entità che ha uno stato (i dati) e un comportamento (le funzioni); ogni oggetto è creato a partire da una classe, una specificazione dei dati e delle funzioni dell'oggetto stesso. Tutti gli oggetti di una stessa classe hanno operazioni comuni ma (in generale) stati diversi. La *gerarchia delle classi* è organizzata in modo tale che le classi in fondo alla gerarchia ereditino le caratteristiche da quelle che si trovano in cima. Questo meccanismo si chiama ereditarietà. Il *polimorfismo* permette a tipi differenti di oggetti che condividono un comportamento comune di essere utilizzati in un codice che non entra nella specificità del singolo oggetto.

Descrivere i calcoli in termini di oggetti e classi porta molti benefici. Gli oggetti combinano i dati attraverso le loro funzioni (dette funzioni membro); l'accesso ai dati è ristretto e "locale" e ciò facilita le modifiche del codice nel tempo. Utilizzando l'ereditarietà, nuovi oggetti possono essere definiti con estensioni minimali di quelli già esistenti. Infine, l'uso del polimorfismo permette di scrivere il codice in termini di aspetti comuni tra i vari oggetti, non tenendo conto delle differenze.

Ci sono molti linguaggi orientati a oggetti. Tra questi, il C++ è stato scelto dalla collaborazione BABAR per le sue caratteristiche specifiche, che si adattavano alle particolari esigenze dell'esperimento. Tra queste si possono ricordare l'ampia disponibilità e il basso costo dei compilatori, la possibilità di supportare piattaforme diverse, l'efficienza degli strumenti per lo sviluppo e per il *debugging* e l'elevato numero di librerie disponibili.

4.1.2 Il *database* orientato agli oggetti

BABAR utilizza un *database* orientato a oggetti, *Objectivity*. Questo *database* comprende tre fondamentali domini.

Il *condition database* gestisce le informazioni sulle condizioni con cui vengono acquisiti i dati. Esso include le calibrazioni (per esempio la relazione tempo-distanza della camera) e l'allineamento del rivelatore. È stato disegnato per permettere una completa descrizione del rivelatore in funzione del tempo.

L'*event Store* immagazzina gli eventi ricostruiti e gestisce la creazione di campioni di eventi che incontrano differenti criteri scelti dall'utente.

Gli *On-line database* sono specifici per il sistema *on-line* relativamente a quei compiti che non ricadono nei precedenti domini. Per esempio, devono gestire le risorse allocate nelle partizioni (paragrafo 4.2). Essi comprendono il *configuration database* che contiene tutti i parametri scelti nell'acquisizione come il valore delle alte tensioni e le percentuali nelle misture di gas, e l'*ambient database*, che raccoglie i valori effettivamente misurati per tali parametri e le variabili ambientali, come la

pressione atmosferica, la temperatura etc.

4.1.3 L'organizzazione del codice

L'unità di base del *software* di BABAR è il *pacchetto*. Un pacchetto è costituito da codice capace di svolgere un preciso compito, per esempio trovare i *cluster* nel calorimetro elettromagnetico o simulare la risposta della camera a deriva. Un insieme consistente di tutti i pacchetti di BABAR con tutte le librerie e gli eseguibili viene chiamato *release*.

Il codice è organizzato all'interno di un'architettura chiamata *Framework*. Il pacchetto *Framework* di BABAR contiene le classi per l'ingresso e l'uscita di un evento, per le calibrazioni, il controllo e la gestione del ciclo che processa gli eventi. L'unità di base del *Framework* è il *modulo* (in generale a ogni pacchetto corrisponde un modulo); i moduli contengono codice che preleva dati da ogni evento, esegue algoritmi specifici e può o meno rimettere i risultati nell'evento in modo che possano essere utilizzati in fasi successive. Un programma eseguibile è costituito da uno o più moduli compilati e *linkati* insieme; ciascuno di essi viene poi abilitato o disabilitato al tempo dell'esecuzione e ciò determina se verrà utilizzato o meno nel processare i dati. Questo è possibile tramite l'interprete *tcl* (*tool command language*) che è l'interfaccia tra utente e *Framework*. I moduli possono venire associati in *sequenze* cioè liste in cui i essi vengono eseguiti nell'ordine in cui appaiono. Infine moduli e sequenze vengono combinati in *percorsi* (*path*). Un percorso è una sequenza completa, che parte da un modulo di ingresso e termina in un modulo di uscita. La presenza di moduli di filtro può terminare l'esecuzione di un percorso senza che l'evento processato arrivi in uscita. Possono essere specificati percorsi multipli e ciascuno di essi può essere attivo o inattivo.

4.2 Il sistema *on-line*

Il *software on – line* di BABAR comprende i processi relativi al percorso dei dati dall'elettronica di *front – end* fino all'immagazzinamento nel *database*, i sistemi di *monitoring* e varie forme di controllo del *run*. Questi compiti vengono svolti dalle principali componenti del sistema *on – line* che sono il *DataFlow*, il *Run Control*, l'*On Line Event Processing* e la *Prompt Reconstruction*. Esiste un'altra componente, il *Detector Control* che controlla le componenti *software* e *hardware* del rivelatore (ad esempio il sistema di alta tensione della camera).

4.2.1 *Run Control*

L'esperimento BABAR consiste di un insieme di componenti. Il comportamento di ognuna di queste componenti può essere rappresentato attraverso gli stati di una *Finite State Machine* (FSM [?]). Il controllo [?] dell' esperimento è quindi equivalente al controllo degli stati delle FSM che lo compongono.

Le varie FSM sono organizzate secondo una gerarchia. A un dato livello della gerarchia i dettagli dei livelli inferiori (*children*) e superiori (*parent*) sono nascosti. Il livello più in alto si chiama **BaBar** e contiene FSM figlie che rappresentano i sottosistemi corrispondenti ai vari rivelatori. Ciascun rivelatore contiene ulteriori FSM che rappresentano le sue componenti (per esempio il sistema del gas della camera). Il numero di livelli varia tra i rivelatori. I comandi vengono propagati dai livelli superiori a quelli inferiori e gli utenti devono comunicare con il livello più alto (**BaBar**). In questo modo il comportamento e il controllo di ogni componente è incapsulato in oggetti a un livello superiore ed è possibile configurare l'esperimento, iniziare e terminare un *run* senza una conoscenza dettagliata dei rivelatori. Le FSM sono gestite da uno *State Manager* che le vede come oggetti il cui principale attributo è lo *stato*, il quale può assumere una lista finita di valori. Il controllo si ottiene attraverso comandi cui gli oggetti rispondono. Un comando inizia un'*azione* durante la quale l'oggetto può cambiare stato. Il *Run Control* si interfaccia con il resto del sistema

on-line mediante una serie di processi che incapsulano il comportamento e lo stato delle componenti specifiche. Tali processi vengono chiamati *proxy* e possono essere di tipi differenti a seconda delle caratteristiche delle componenti che rappresentano; per esempio possono avere un'identità unica (*proxy solidi*) come quello per il sistema del gas della camera, oppure possono esistere in varie copie (*proxy virtuali*) quando rappresentano un'entità condivisa tra varie partizioni come nel caso dell'OEP. Esiste comunque un processo *proxy* per ogni componente *atomica* dell'esperimento (una componente atomica corrisponde alla granularità più fine, dettagli al di sotto di questo livello sono nascosti al *Run Control*).

4.2.2 On-line Data Flow (ODF)

Il sistema di acquisizione dei dati [?] ha una componente *software* e una *hardware*; quella *software* è chiamata *DataFlow* mentre quella *hardware* è chiamata *Piattaforma*. Spesso ci si riferisce a entrambe come al *DataFlow* di BABAR.

Il *DataFlow* è responsabile di unire i dati che provengono dall'elettronica di *front-end*, processarli in modo preliminare (questo passo viene chiamato *feature – extraction*) e consegnarli all'OEP.

Ogni componente del *DataFlow* ha una doppia identità: l'*indirizzo* (*address*) e l'*etichetta* (*tag*). L'indirizzo specifica la locazione di una componente all'interno di una piattaforma, mentre l'etichetta specifica la locazione della componente corrispondente nel rivelatore. Infatti, ogni componente del rivelatore ha una precisa relazione con una componente della piattaforma (per esempio il numero del *crate* è un indirizzo mentre un quadrante della camera è un'etichetta). Indirizzo e etichetta servono per contraddistinguere i contenitori che trasportano i dati attraverso la piattaforma (e fuori da essa). Questi contenitori, chiamati *Tagged Container*, sono i blocchi fondamentali per la trasmissione dei dati.

Gli elementi fondamentali di una piattaforma sono: i *master* di controllo, che costituiscono l'interfaccia con il *trigger* e distribuiscono il *clock* e i segnali di co-

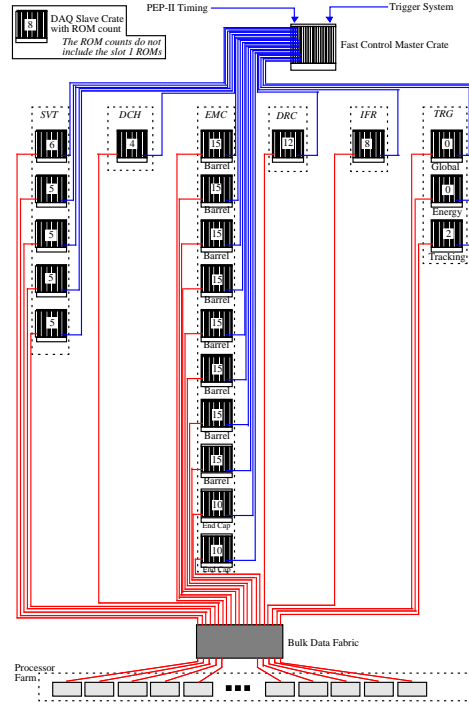


Figura 4.1: Piattaforma in IR-2

mando, i moduli di *Read Out* (ROM: *Read Out Module*), che sono dei particolari moduli VME la cui funzione è quella di prendere i dati dall'elettronica di *front-end* ed eseguire la *feature - extraction* (Cap.3) e la *bulk data fabric*, che trasporta i dati dentro e fuori la piattaforma. Ogni piattaforma richiede un *clock* e un sistema di *trigger* esterno; essa ha 32 linee di ingresso per il *trigger* che generano il segnale di accettazione di *trigger* di livello uno (*L1 accept*) che poi si propaga per tutta la piattaforma. La figura ?? mostra la piattaforma di IR-2 (regione di interazione 2, Cap.2).

Come si vede, una piattaforma può gestire l'elettronica di più di un rivelatore. I vari rivelatori, benchè capaci di operare indipendentemente, non possono in principio essere indipendenti trovandosi nella stessa piattaforma. Per massimizzare le risorse, la piattaforma viene *partizionata*, cioè viene divisa in modo che le operazioni relative ai vari rivelatori vengano effettuate in parallelo.

La piattaforma del *DataFlow* è stata disegnata tenendo conto delle esigenze stringenti imposte dall'esperimento relativamente alle dimensioni e alla frequenza degli eventi; le varie componenti sono organizzate secondo una gerarchia che permette di eseguire le operazioni con un alto grado di parallelismo. Questa gerarchia si riflette nella definizione di quattro livelli mostrati in figura ??.

I livelli *source* e *segment* gestiscono la comunicazione con l'elettronica di *front-end* comprese la configurazione delle componenti e la lettura dei dati. Il livello *fragment* costituisce l'interfaccia con la *Bulk Data Fabric*. Esso mette insieme i dati che escono dai livelli precedenti e consegna il risultato al livello successivo. Il livello *event* rende disponibili gli eventi all'OEP.

Le attività del *DataFlow* ai vari livelli vengono coordinate dal *Run Control* attraverso i corrispondenti *proxy*; tutti i livelli si trovano sempre nel medesimo stato e ogni transizione tra stati è iniziata dal *Run Control* stesso.

Le informazioni di controllo e i dati, vengono distribuite attraverso la piattaforma in *flussi* (*stream*) di datagrammi. Un cliente può estrarre le informazioni portate dalle *stream* attraverso meccanismi chiamati *appliance*. Benchè ogni applicazione definisca meccanismi specifici, alcuni di essi sono predefiniti dal *DataFlow* come quelli che permettono il flusso di informazioni tra due livelli adiacenti della gerarchia della piattaforma.

4.2.3 On-line Event Processing (OEP)

L'OEP [?] riceve eventi completi dall'*Event Builder* del *DataFlow*, esegue gli algoritmi del *trigger* di livello tre, controlla la qualità dei dati attraverso i processi di *Fast Monitoring* e svolge altri compiti del sistema *on-line* come quello di fornire il supporto ad alcune attività legate alle calibrazioni. Infine, l'OEP deve rendere disponibili gli eventi per la ricostruzione alla *Prompt Reconstruction*.

Il lavoro svolto dall'OEP viene distribuito tra i nodi di una *farm* costituita da macchine unix (all'inizio saranno 32). Su ognuna di queste macchine vengono

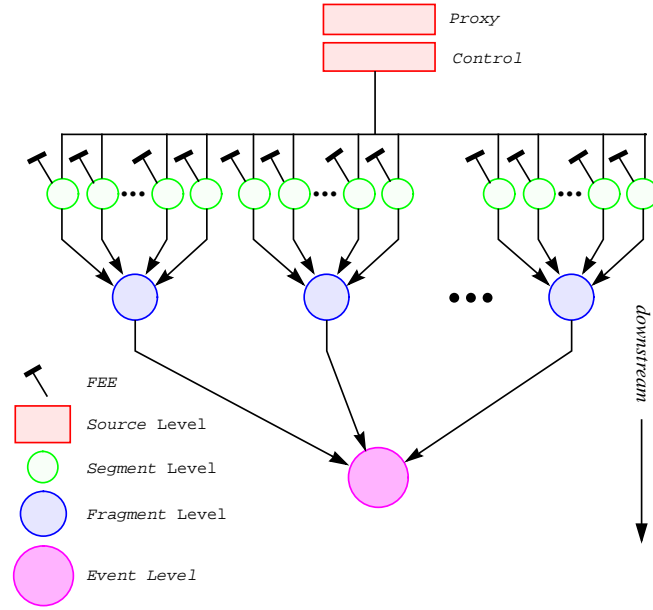


Figura 4.2: Gerarchia della piattaforma in IR-2

eseguiti processi identici in parallelo. Il contesto *on-line* in cui è inserito l'OEP è mostrato in figura ???. Come si può osservare, l'OEP riceve eventi che hanno superato il filtro del *trigger* di livello 1 dal *DataFlow* e comandi dal *Run Control* attraverso un processo *proxy* virtuale. Esso interagisce con i database *on-line*, per esempio nei processi di calibrazione e fornisce eventi ai processi di *Fast Monitoring*, a clienti remoti come l'*Event Display* e li consegna alla *Prompt Reco* per la ricostruzione attraverso il *logging manager* (paragrafo 4.2.4).

I processi possono essere eseguiti sia su eventi provenienti dal rivelatore durante la presa dati vera e propria (attraverso il *DataFlow*), sia su dati presi in precedenza.

Su ogni nodo della *farm* l'OEP utilizza una struttura a moduli (*OepFramework*) simile a quella della ricostruzione. I due *Framework* hanno un interfaccia comune cosicchè i moduli che analizzano i dati grezzi possono essere eseguiti indifferentemente in entrambi (questi moduli vengono chiamati moduli *generici*). Ci sono però dei casi di incompatibilità dovuti al fatto che l'ambiente *on-line* richiede degli strumenti specifici che non sono presenti nel *Framework off-line*. Vari processi possono

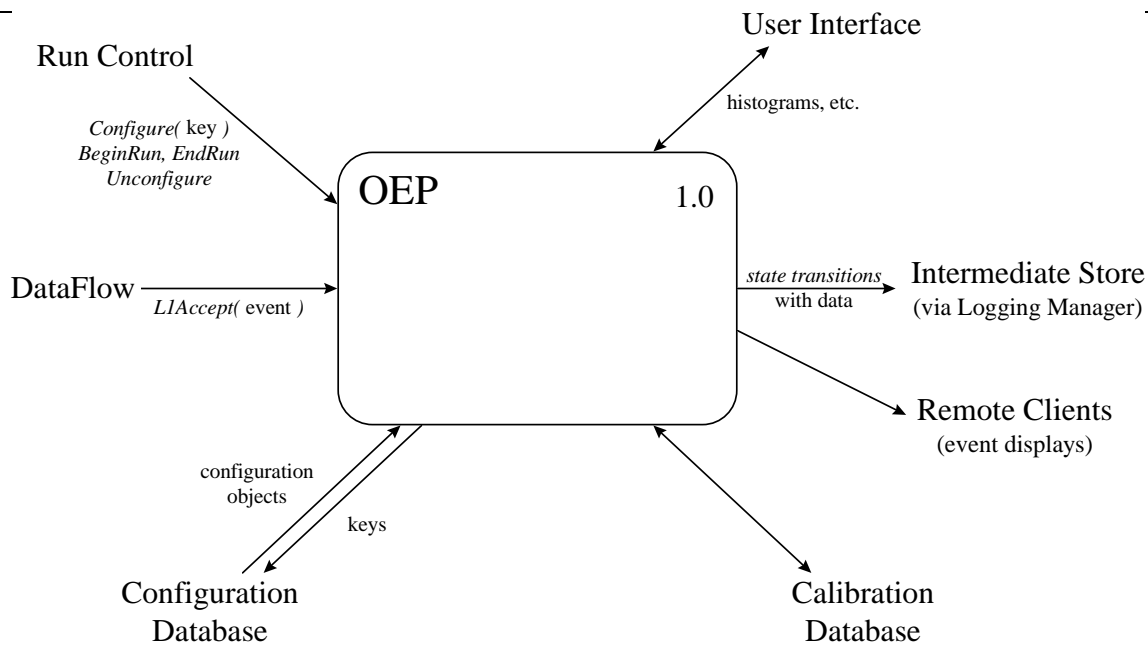


Figura 4.3: Contesto on – line in cui è inserito l'OEP

essere eseguiti contemporaneamente, cosicchè i moduli di ogni istanza dell' OEP non devono essere necessariamente contenuti in un singolo eseguibile. Ogni sotto-sistema fornisce almeno cinque sequenze. Due sequenze servono per la conversione *Tagged Container-digi* (nei due sensi), dove il *digi* è un diverso formato per i dati in cui ogni canale che ha avuto un *hit* ha un oggetto corrispondente. Due sequenze sono relative a processi di configurazione e una sequenza è per il *Fast Monitoring*. Esiste un'istanza del processo *OepFramework* per ogni nodo della *farm*; ognuno di questi processi viene iniziato, coordinato e terminato dall'*OepManager* (uno per partizione) che ha anche la responsabilità di controllare se l'OEP sta causando tempo morto e quindi *back pressure* sul *DataFlow*. L'*OepManager* svolge la funzione di *proxy* (virtuale) rispetto al *Run Control*. Le risorse della *farm* sono gestite da un processo chiamato *Global Farm Manager*.

I processi dell'OEP si dividono in *privilegiati* e a *campionamento*. I processi privilegiati accedono al 100 % del flusso dei dati e possono contribuire al tempo morto.

I processi a *campionamento*, invece, non accedono a tutti i dati e in nessun modo possono causare un tempo morto; il tempo che essi impiegano a processare un evento condiziona solamente la frequenza di accesso ai dati. Si prevede che per ogni nodo dell'OEP vi saranno i seguenti processi:

- Un processo privilegiato che esegue gli algoritmi di *trigger* di terzo livello e ha a disposizione il 50% della CPU.
- Un processo privilegiato che misura la luminosità.
- Sei processi a campionamento. Tre processi monitorano rispettivamente il 100%, il 20% e il 5% degli eventi accettati dal *trigger* di terzo livello e complessivamente dispongono del 28% della CPU (Cap.6). Questo impone delle limitazioni sui tempi che il *monitoring* ha a disposizione per l'analisi di un evento. Un processo con selezione di eventi Bhabha sugli eventi accettati da L3 esegue la calibrazione del calorimetro (4% della CPU) e due processi monitorano gli eventi accettati da L1 (4% della CPU).

La parte restante della CPU viene utilizzata in processi di controllo e di interfaccia.

4.2.4 *Prompt Reconstruction*

Il compito della *Prompt Reconstruction* [?] è quello di ricostruire in tempi brevi tutti gli eventi che hanno passato il filtro del *trigger* di livello tre, di fornire le costanti di calibrazione e informazioni sulla qualità dei dati. In questo modo è possibile diagnosticare tempestivamente eventuali problemi del rivelatore in modo tale che possano essere risolti senza perdere luminosità integrata. Questa funzione è particolarmente importante durante la fase iniziale dell'esperimento. Molte *costanti di calibrazione*, come i piedistalli e il guadagno delle componenti elettroniche sono calcolate durante speciali *run*, altre, come la relazione tempo-distanza della camera a deriva (Cap.5) e le correzioni relative all'allineamento tra camera e rivelatore di vertice, richiedono un largo numero di eventi ricostruiti. La *Prompt Reconstruction* deriva queste quantità da un insieme precedente (ma recente) di dati e le applica

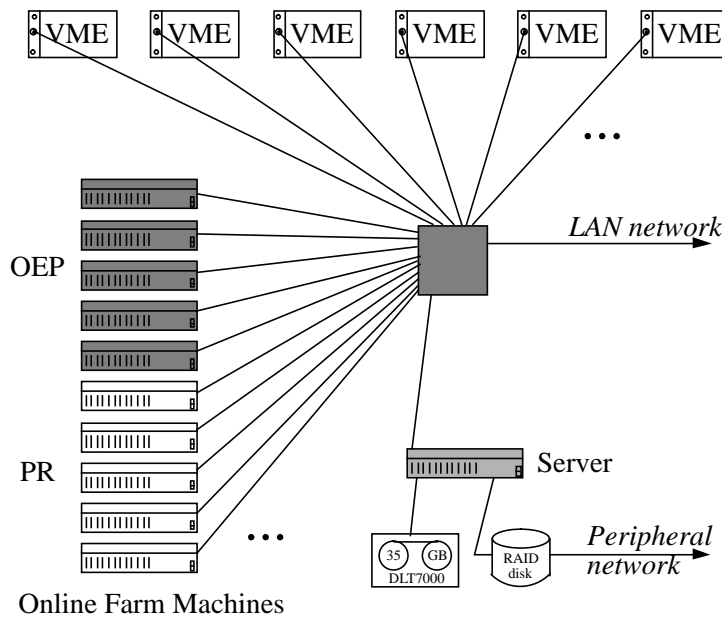


Figura 4.4: Architettura della Prompt Reconstruction

ai dati correnti. Le costanti generate da ogni blocco di eventi ricostruiti vengono messe nel *condition database* per essere rilette durante la ricostruzione del blocco successivo.

I risultati della *Prompt Reco* sono monitorati dal *Prompt Monitoring* che ha quindi il compito di controllare le prestazioni della camera, la qualità dei dati, e il funzionamento degli algoritmi di ricostruzione e di calibrazione. A differenza del *Fast Monitoring*, il *Prompt Monitoring* analizza gli eventi ricostruiti e ha quindi a disposizione una serie di informazioni relative alle tracce.

I risultati della *Prompt Reconstruction* dovrebbero essere disponibili con due ore di ritardo rispetto all'acquisizione dei dati e gli eventi ricostruiti vengono immagazzinati nell'*event store* di *Objectivity*. L'architettura della *Prompt Reconstruction* è mostrata in figura ??.

I dati provenienti dall'OEP vengono temporaneamente depositati su un disco dove ogni trenta minuti si chiude un *file* (chiamato *constant block*) e se ne apre un altro. Una volta chiuso, il file viene passato alla *Prompt Reco* che processa gli

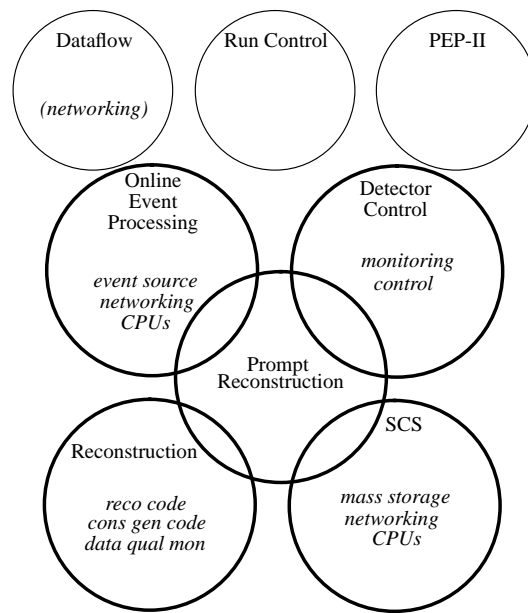


Figura 4.5: *Interazione della Prompt Reco con le altre componenti del sistema on-line*

eventi sui nodi di una *farm* di *computer*. Questo sistema è stato ideato per impedire l'introduzione di tempo morto nel sistema. Le interazioni della *Prompt Reco* con le altre componenti del sistema *on – line* sono mostrate in figura ??.

I principali processi su cui si basano le operazioni della *Prompt Reco* sono: il *Global Farm Manager* che gestisce le risorse della *farm* e il *Logging Manager* che è responsabile dell'immagazzinamento dei dati intermedio che avviene nel passaggio dall'OEP alla *Prompt Reco* e di quello nell'*event store*.

Capitolo 5

Run di cosmici e prestazioni della camera

5.1 Introduzione

Le prestazioni della camera a deriva di BABAR sono state studiate a fondo mediante due *run* di presa dati di raggi cosmici [?] che hanno preceduto il *run* di fisica. Durante questi *run*, che si sono svolti nel periodo che va da luglio 1998 a gennaio 1999, sono state messe a punto le procedure di base per il corretto funzionamento della camera (*feature-extraction*, calibrazione *on-line*) e per l'interpretazione dei dati (relazione tempo-distanza, misura del dE/dx). Durante questi *test* è stato inoltre provato il sistema di *monitoring on-line*, descritto nel capitolo 6, sperimentando le tecnologie ad esso associate.

L'analisi dei dati, raccolti in diverse configurazioni (con e senza il campo magnetico, in modo *stand-alone* e con la camera integrata in BABAR), ha permesso lo studio dell'entità e dell'origine del rumore presente nella camera a deriva. Una discussione dettagliata di tale analisi, rilevante anche per gli istogrammi del *Fast Monitoring*, è presentata nel capitolo 7. Nell'ambito dello studio del dE/dx si è investigata inoltre (paragrafo 5.8.1) la possibilità di usare il tempo di volo come

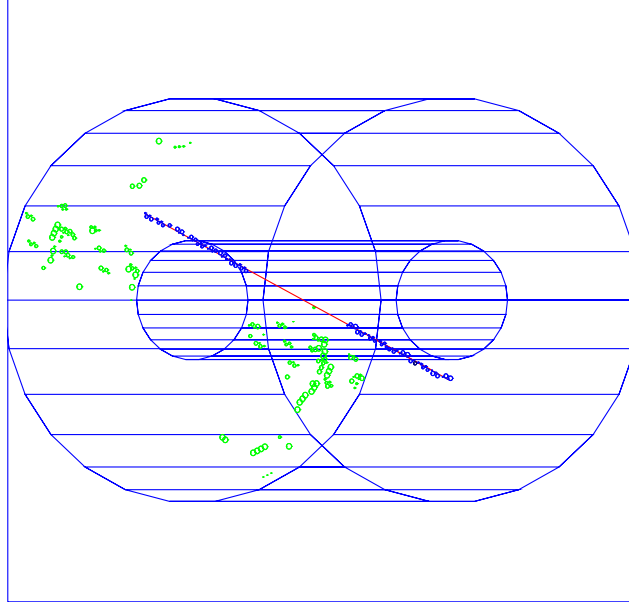


Figura 5.1: *Evento che mostra un raggio cosmico che attraversa la camera a deriva*

discriminante ai fini dell'identificazione delle particelle.

In figura ?? è mostrato un raggio cosmico attraverso la camera a deriva.

5.2 Configurazione della camera

Il *trigger* utilizzato durante il *run* di cosmici è determinato dalla coincidenza del segnale di due fotomoltiplicatori posti alle estremità di una barra di scintillatore plastico disposto lungo l'asse della camera. A seconda della larghezza della finestra temporale della coincidenza si selezionano topologie diverse di eventi: con una finestra sufficientemente larga le tracce acquisite sono distribuite uniformemente in z (*trigger* centrale), con una finestra più stretta si considerano invece tracce che passano in vicinanza del piatto instrumentato della camera (*trigger rear*). Prima di integrare la camera con gli altri sotto-rivelatori nell'acquisizione, la configurazione finale del *trigger* veniva simulata inviando il segnale dello scintillatore ad uno dei canali dell'elettronica di *front-end* non connesso a un filo della camera. Il segnale

veniva ritardato di circa $1.5 \mu\text{s}$ per evitare che eventuali *cross-talk* si sovrapponevano al segnale fisico. Un ulteriore ritardo di $10.5 \mu\text{s}$ portava a $12 \mu\text{s}$ il ritardo complessivo per simulare il tempo di latenza del *trigger* di primo livello (Cap.2).

Il *setup* dell'elettronica, dell'alta tensione e del gas erano quelli definitivi, mentre le componenti *hardware* e *software* del *DataFlow* erano speciali, per poter permettere alla camera di prendere dati senza gli altri rivelatori. Solo a gennaio si sono effettuati i primi *test* del *DataFlow* integrato. Inoltre nel primo periodo del *commissioning* il sistema di acquisizione era in grado di utilizzare solo una ROM e quindi venivano letti alternativamente solo 2 dei 4 quadranti della camera.

5.3 Feature extraction

I dati provenienti dall'elettronica di *front-end*, descritta nel capitolo 3, sono processati nelle ROM dalla *feature extraction*. Quest'ultima è costituita da un insieme di algoritmi che riformattano i dati e forniscono in uscita tutte le quantità rilevanti relative a un *hit* (numero del filo, numero del *layer*, tempo di deriva, carica raccolta, etc.). Come spiegato nel capitolo 3, la finestra di acquisizione dura $2.2 \mu\text{s}$ e contiene 32 intervalli di campionamento di $\sim 67 \text{ ns}$ l'uno. Ogni campione riporta una misura di carica nella maggiore parte dei casi e una misura di tempo se un segnale ha superato la soglia del discriminatore del TDC. Ogni volta che il campione riporta una misura di tempo viene posto un veto di due campioni al TDC per non perdere troppe informazioni sulla forma d'onda. Le informazioni relative ad ogni intervallo di campionamento sono contenute in un byte in cui viene specificato il valore del FADC o del TDC e se il valore misurato dal FADC ha superato di due conteggi il valore di due campioni precedenti (delta bit, Cap.5 e Cap.6).

Gli algoritmi della *feature extraction* riducono queste informazioni a una parola di *status*, alla carica totale raccolta al filo e alla lista dei tempi di deriva. La parola di *status* specifica il numero di campioni in cui è presente il TDC, il numero di

campioni utilizzati nel calcolo della carica e contiene i bit della *bad-flag* (descritti in dettaglio nel capitolo 6) che segnalano eventuali patologie nella forma d'onda.

Il tempo di ogni *hit* viene calcolato dalla *feature extraction* sommando al tempo misurato dal TDC (all'interno dei 67 ns relativi al campione) il tempo corrispondente al campione dove è caduto l'*hit* e sottraendo il T0 dell'elettronica calcolato dalla *calibrazione on-line* (paragrafo 5.5.4). I conteggi del FADC vengono convertiti in unità di carica applicando un'opportuna relazione bilineare ai singoli campionamenti. Quando tra due campionamenti è presente un *hit* di TDC il segnale del FADC è ricostruito per interpolazione. A questo valore vengono infine applicate le costanti di calibrazione cioè si sottrae il valore del piedistallo e si moltiplica per il guadagno analogico. Le unità in cui viene espressa la carica in uscita della *feature extraction* sono unità arbitrarie.

5.4 Calibrazione *on-line*

La calibrazione *on-line* ha lo scopo di monitorare e calcolare periodicamente (circa ogni ora in un *run* di fisica) una serie di costanti di calibrazione relative al funzionamento dei TDC (T0), alle soglie dei discriminatori (*noise floor*) e ai FADC (guadagno analogico e piedistalli). I segnali di riferimento necessari alla calibrazione vengono generati da circuiti interni ai preamplificatori e i dati vengono processati dalle ROM. Durante il *run* di cosmici è stata osservata una dipendenza significativa delle costanti di calibrazione dalla temperatura. Sono stati effettuati degli studi specifici in seguito ai quali le costanti di calibrazioni vengono corrette tenendo conto di questo effetto.

5.4.1 *Noise Floor*

Il *noise floor* è definito come la soglia del discriminatore del TDC per cui la frequenza di *hit* è di 100 kHz. Un canale è classificato come rumoroso se questa soglia supera i 200 mV. La misura viene effettuata contando il numero di *hit* registrati

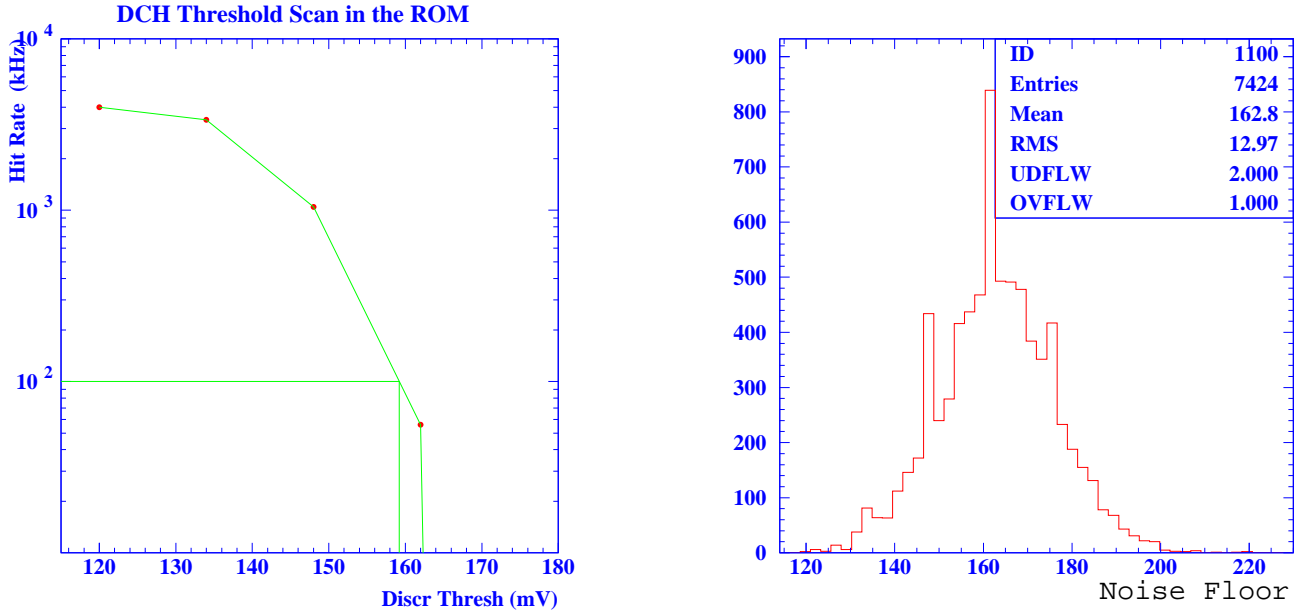


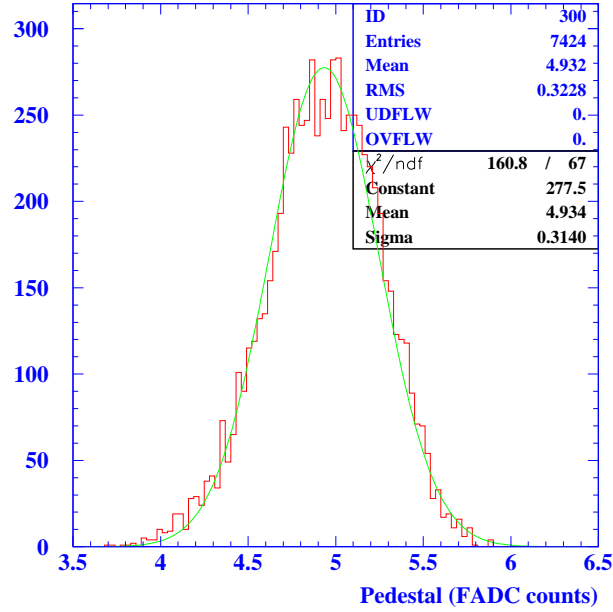
Figura 5.2: a) Frequenza di hit TDC in funzione della soglia del discriminatore b) Distribuzione del noise floor

in circa 100 *trigger* generati a differenti soglie comprese tra 120 e 250 mV. La frequenza di *hit* ad ogni soglia viene estratta dividendo il numero di *hit* per il numero di *trigger* tenendo conto che ogni evento corrisponde a un intervallo di $2.2 \mu\text{s}$. Il *noise floor* è ottenuto interpolando linearmente la frequenza di *hit* in funzione della soglia del discriminatore (figura ??a) in corrispondenza di 100 kHz. In figura ??b. è mostrata la distribuzione del *noise floor*; per ogni *run* di calibrazione essa viene confrontata con una distribuzione di riferimento per verificare se il rumore nella camera è rimasto costante.

In base alla definizione di *noise floor* sono stati individuati nella camera ~ 20 canali rumorosi.

5.4.2 Piedistalli

Il piedistallo è definito come il valore medio misurato dal FADC quando la tensione del circuito preamplificatore (V_{ref}) è posto a 1 V. Per evitare di risentire dell'in-

Figura 5.3: *Distribuzione del piedistallo*

fluenza dell'intervallo di campionamento del FADC il piedistallo è misurato per 10 valori differenti di V_{ref} e il valore corrispondente a $V_{ref} = 1$ V si estrae eseguendo un fit lineare. La distribuzione dei piedistalli per un *run* di cosmici è mostrata in figura ???. Come si vede, il valore medio della distribuzione è di circa 5 conteggi e la distribuzione è piuttosto stretta.

5.4.3 Guadagno analogico

Il guadagno analogico è definito come la pendenza della retta che esprime la relazione tra l'integrale medio della forma d'onda misurata dal FADC in funzione della carica iniettata nel preamplificatore. La misura viene effettuata generando dieci impulsi corrispondenti a una carica diversa scelta in modo da esplorare tutto l'intervallo dinamico del FADC. Per evitare *cross-talk* si considerano i canali di uno stesso preamplificatore singolarmente. Una tipica distribuzione del guadagno analogico è mostrata in figura ??.

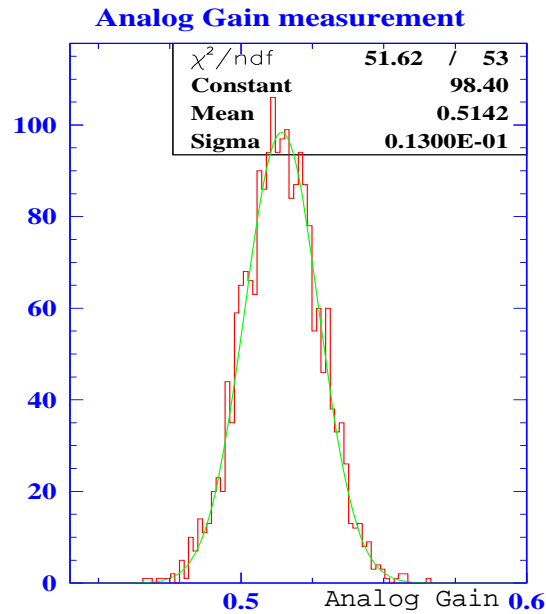


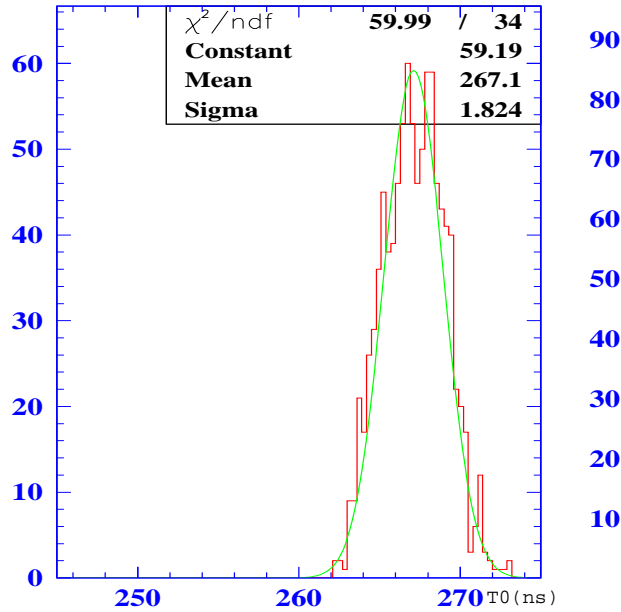
Figura 5.4: Distribuzione del guadagno analogico

5.4.4 T0

La componente elettronica del T0 è misurata (per ogni canale) usando impulsi di calibrazione generati a tempi noti. Sono effettuate 10 misure e gli intervalli temporali (ritardi) sono incrementati di 16.8 ns poichè il circuito di calibrazione è sincronizzato con il *clock* di BABAR (59.5 MHz). Per ogni valore del ritardo sono effettuate 10 misure e viene eseguito un fit lineare alla distribuzione dei conteggi del TDC in funzione del ritardo in cui la pendenza è tenuta fissa a 1.04 ns/conteggio. Un esempio di distribuzione di T0 è riportato in figura ?? (al T0 viene sottratta una costante che vale ~ 250 ns).

5.5 Tracciamento

La procedura di tracciamento viene eseguita in due passi: il primo, è un processo di *pattern recognition* ed è un procedimento puramente geometrico che consiste nella ricerca delle tracce nella camera a deriva, mentre il secondo consiste nell'e-

Figura 5.5: Distribuzione del $T0$

seguire il fit alle tracce individuate. Esistono due algoritmi indipendenti per il *pattern recognition* che vengono eseguiti in sequenza. Entrambi assumono che le tracce provengano dall'origine e non fanno nessun tentativo di associare tracce in settori opposti della camera ad un'unica particella. Questo significa che ai raggi cosmici che passano per lo scintillatore sono associate due tracce; solo dopo il fit la traccia con $T0$ minore viene dichiarata entrante e viene eseguito il fit una seconda volta in senso cronologico inverso. Ogni algoritmo lavora sui segmenti trovati nella camera cioè su insiemi di *hit* in *layer* consecutivi di un *superlayer*. Il primo algoritmo (*DchTrackFinder*) cerca nei segmenti dei *superlayer* assiali una correlazione tra i parametri ϕ (angolo di uscita della traccia) e ω (curvatura). Una volta trovati dei candidati per tracce bidimensionali vengono associati i segmenti dei *superlayer* stereo e viene cercata una traccia in tre dimensioni. Il secondo algoritmo (*DcxTrackFinder*) prende segmenti da tre *superlayer* adiacenti, costruisce candidati per tracce elicoidali e poi tenta di associare segmenti di altri *superlayer*. Il fit viene eseguito considerando tutti gli *hit* di una traccia identificata da uno di

questi due algoritmi. In un secondo momento gli *hit* con i residui più grandi vengono scartati e il fit viene eseguito nuovamente.

I parametri che descrivono una traccia ricostruita nella camera sono:

- Curvatura (ω).
- Angolo azimutale (ϕ_0).
- Tangente dell'angolo di dip ($\tan(\theta)$).
- Coordinata longitudinale al punto di massimo avvicinamento (z_0).
- Distanza radiale dall'asse dei fasci al punto di massimo avvicinamento (d_0).

5.6 Calibrazione *off-line*

La determinazione della relazione tempo-distanza (relazione t-d), che permette di risalire alla minima distanza dal filo a cui è passata una particella a partire dal tempo di deriva misurato, è essenziale per la corretta ricostruzione delle tracce. Durante il *run* di cosmici essa veniva calcolata *off-line*, mentre nella configurazione finale dell'esperimento viene calcolata dalla *Prompt Reconstruction* (Cap.4). Il procedimento utilizzato consiste nel ricostruire le tracce utilizzando la relazione tempo-distanza calcolata nell'ultimo *run*. Ogni *layer* ha una t-d diversa per tenere conto delle diversità geometriche delle celle. Successivamente ogni *hit* assegnato alla traccia (HOT, *hit on track*), viene rimosso temporaneamente e il fit viene eseguito nuovamente senza quello specifico *hit*. Viene quindi considerato il tempo di arrivo dell'HOT preso in considerazione in funzione della distanza di massimo avvicinamento (DOCA: Distance Of Closest Approach) della traccia e viene prodotto un nuovo insieme di parametri per la relazione t(x). La procedura viene iterata fino a che non si raggiunge una posizione di minimo (definito arbitrariamente a $100\ \mu\text{m}$) nella differenza tra la posizione della traccia ottenuta e la posizione dell'*hit* (residuo). La funzione scelta per la calibrazione alla fine del *commissioning* è un polinomio

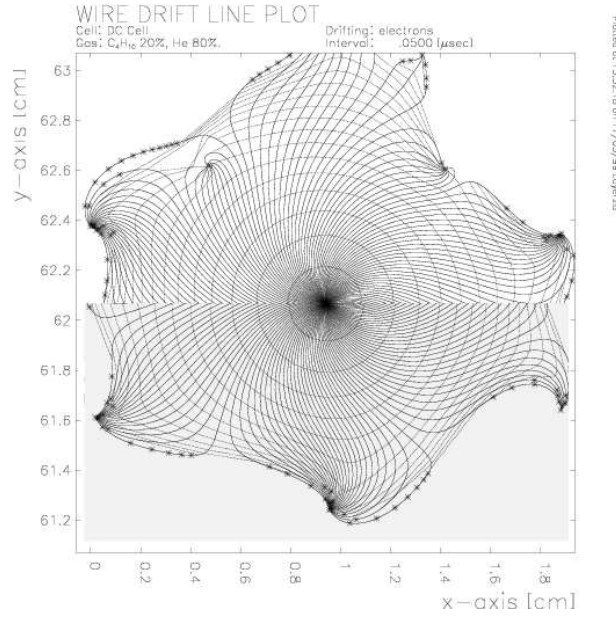


Figura 5.6: *Linee di deriva e isocrone di una cella in cui nella parte inferiore è stata invertita destra e sinistra*

di Chebyshev [?] di quarto grado (cinque parametri): È stato osservato che in presenza di campo magnetico la simmetria destra-sinistra nella cella scompare. Come si può vedere dalla figura ??, in cui viene ribaltata di 180° la parte inferiore della cella rispetto a un asse parallelo al foglio, le isocrone non vanno a sovrapporsi. Per questo motivo, la relazione tempo-distanza viene calcolata separatamente per la parte destra e per quella sinistra della cella.

In figura ?? è riportato il fit alla relazione tempo-distanza ottenuto in un *run* di cosmici con la procedura spiegata.

5.7 Risoluzione spaziale

La risoluzione spaziale è calcolata a partire dalla distribuzione dei residui del fit alla traccia. In figura ?? è mostrato il valore medio dei residui in funzione della DOCA ottenuta per un tipico *run*. Si osserva che la risoluzione è di circa $\sim 100 \mu\text{m}$ nella zona centrale della cella e che essa peggiora per $\text{DOCA} < 0.2 \text{ cm}$ e DOCA

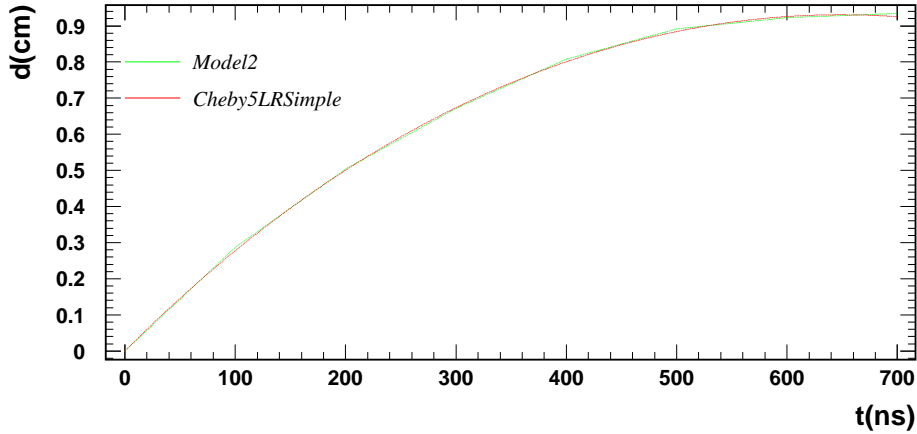


Figura 5.7: *Relazione tempo-distanza (fit con un polinomio Chebyshev.)*

> 0.8 cm. Questo accade perchè ai bordi della cella le isocrone non possono essere più considerate circolari mentre in vicinanza del filo il campo elettrico diventa molto intenso. Questi fattori rendono la relazione tempo-distanza meno accurata in queste zone.

La dipendenza della risoluzione da vari parametri è stata studiata approfonditamente. Una discussione di questa analisi può essere trovata in [?]; ad ogni modo non sono state trovate dipendenze significative a parte un aumento della risoluzione in funzione dell'alta tensione compatibile con l'aumento del guadagno.

5.8 dE/dx

La camera a deriva viene utilizzata nell'identificazione delle particelle cariche attraverso la misura del dE/dx . Il contributo della camera è essenziale in quelle regioni di impulso dove l'efficienza del DIRC è insufficiente o nulla ($p < 800$ MeV, regione in avanti non coperta dal DIRC). Durante il *run* di cosmici sono stati svolti numerosi studi sulla risoluzione del dE/dx della camera. Nel calcolo del dE/dx il dx utilizzato è quello geometrico, calcolato facendo l'intersezione della traccia ricostruita con i bordi della cella, mentre per il dE il calcolo è più complesso. La distribuzione

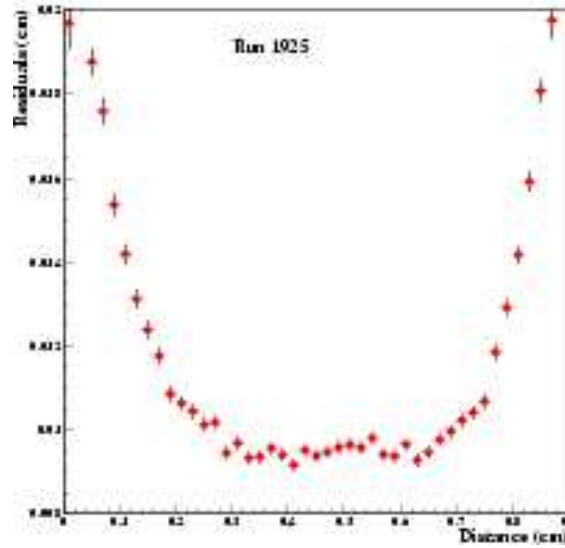


Figura 5.8: Valore medio dei residui in funzione della distanza dal filo

della carica rilasciata in una cella è una distribuzione di Landau. Per usare come estimatore del dE/dx il valor medio della Landau è stato usato il metodo della media troncata per minimizzare l'influenza delle fluttuazioni degli eventi con grande rilascio di energia che popolano la coda della distribuzione. Il parametro rilevante in questo metodo è la frazione di *hit* usati per il calcolo del valor medio (frazione di troncamento). In figura ?? è riportato l'andamento del dE/dx in funzione della frazione di troncamento.

Prima di applicare questo metodo è però necessario fare delle normalizzazioni in modo che la risposta delle celle sia la stessa per la ionizzazione relativa a uno stesso segmento di traccia. La calibrazione *on-line* compensa solo per le differenze tra i vari circuiti elettronici mentre non tiene conto delle differenze di guadagno delle celle. Infatti *layer* differenti hanno guadagni diversi a causa delle diverse geometrie delle celle (Cap.3), come si può vedere in figura ??a. Attualmente si corregge questo effetto dividendo la carica per la media della Landau per i vari *layer*. Un altro effetto rilevante è il variare del dE/dx al variare dell'angolo polare θ : come si può vedere dalla figura ??b particelle che passano verticali hanno un dE/dx più piccolo perchè

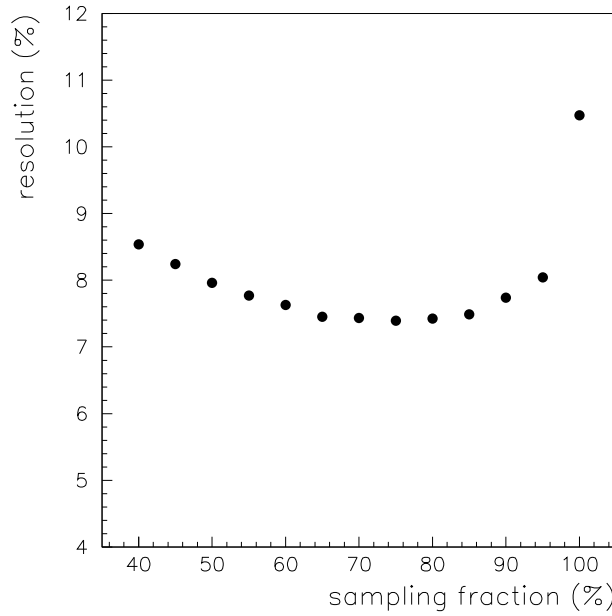


Figura 5.9: $dEdx$ in funzione della frazione di hit usati nell'algoritmo della media troncata

c'è una maggiore densità spaziale di carica nella valanga. Per correggere si effettua un fit con una funzione empirica per le tre topologie diverse di *layer*:

- *layer* 1 e 40
- *layer* interni di un *superlayer*
- *layer* di bordo dei *superlayer*

Esistono poi delle correzioni di ordine superiore dovute alla dipendenza del dE/dx dalla singola cella, dall'angolo di ingresso della traccia nella cella e dalla DOCA. In figura ?? è mostrato l'andamento del $dEdx$ in funzione di $\beta\gamma$; in nero sono riportati i valori ottenuti senza nessuna correzione, gli altri corrispondono all'applicazione in cascata delle varie correzioni (i punti rossi sono per le correzioni di guadagno, quelli verdi per $\tan(\theta)$, quelli blu per ϕ). La risoluzione risultante è ~ 6.5 % per particelle al minimo della ionizzazione.

La figura ??a mostra la curva di Bethe-Bloch ottenuta con i raggi cosmici. Misurando il dE/dx della particella, utilizzando la curva di ionizzazione, si ricava

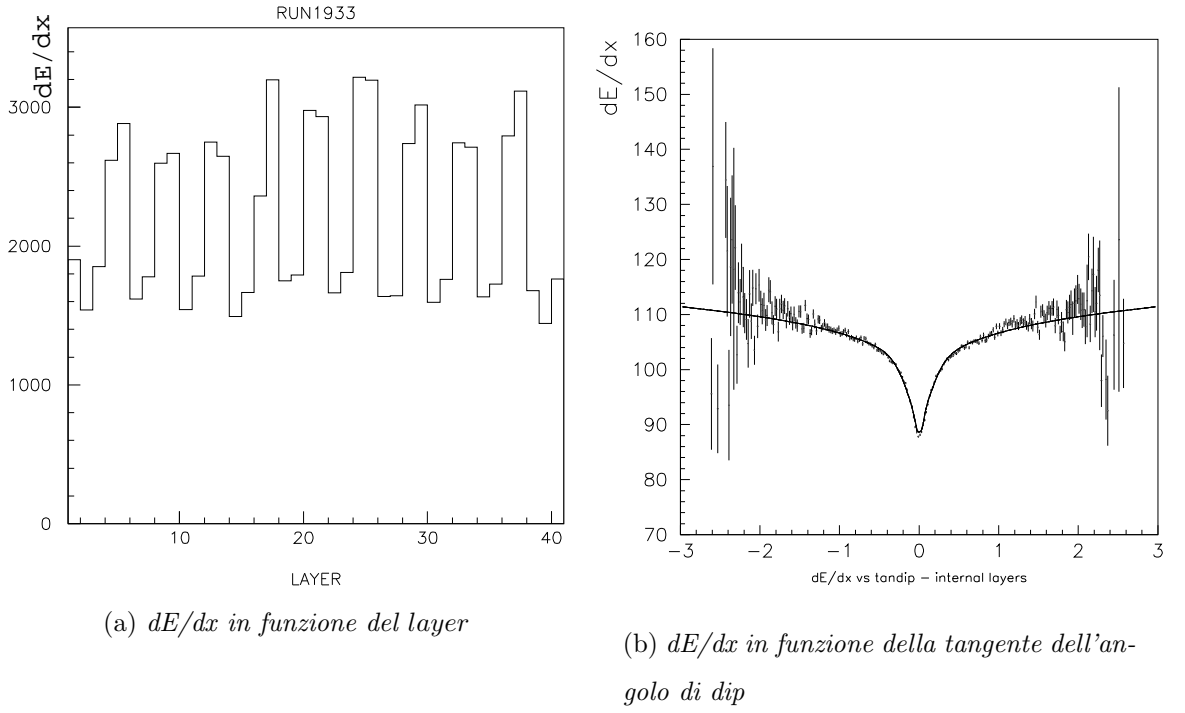
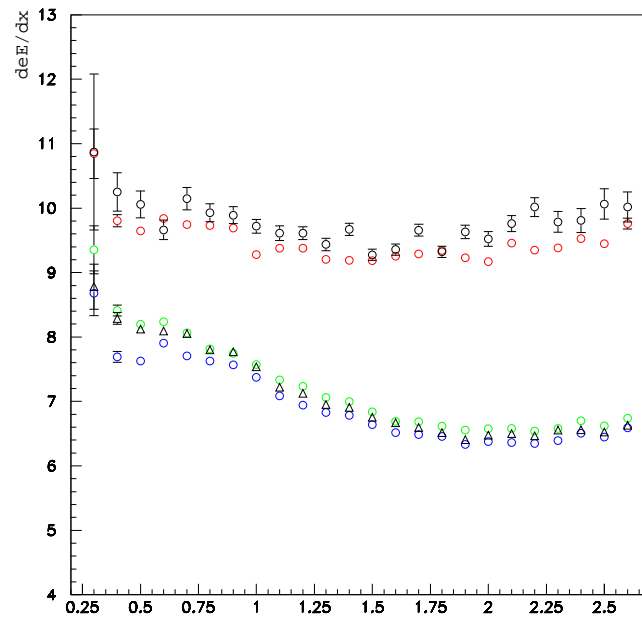


Figura 5.10:

Figura 5.11: dE/dx in funzione di $\beta\gamma$ per le varie correzioni apportate

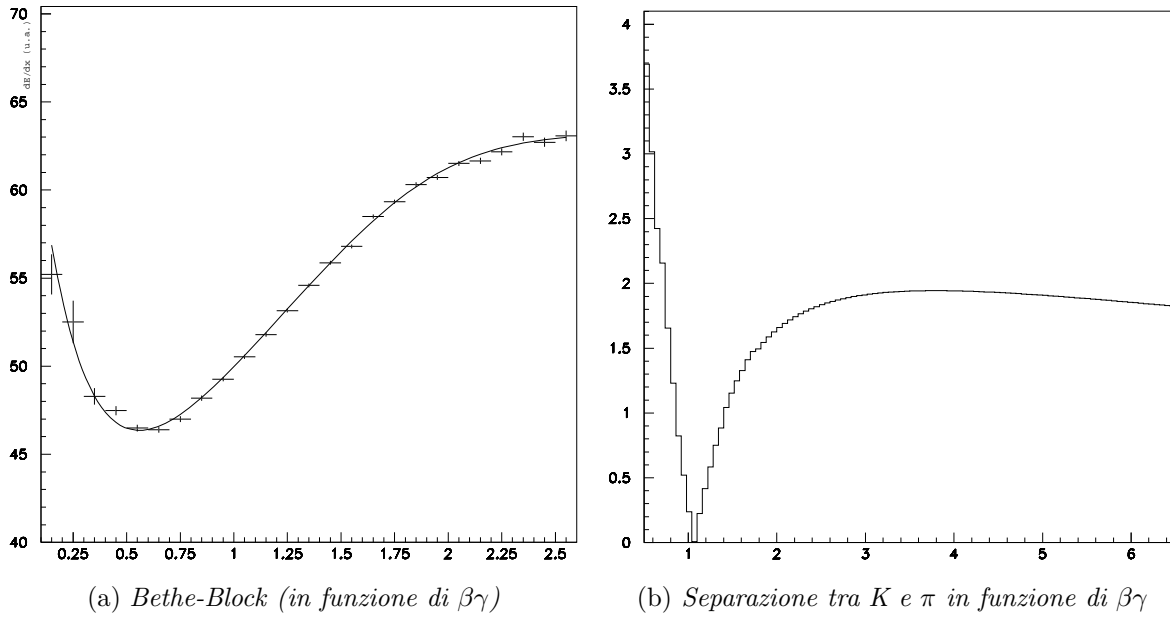


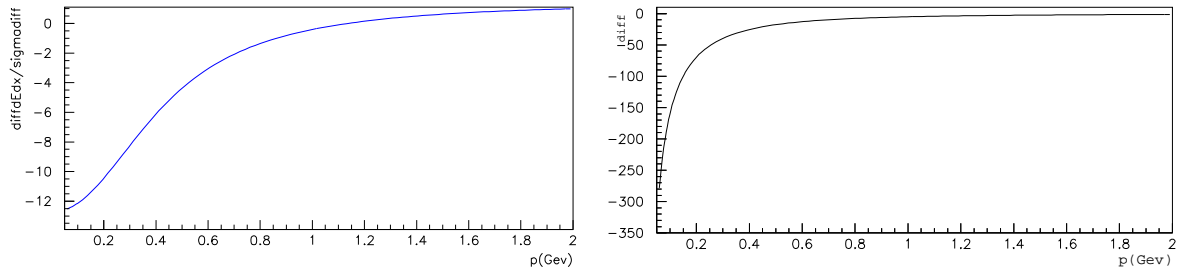
Figura 5.12:

il $\beta\gamma$ della particella e, utilizzando anche l'informazione sull'impulso fornita dalla camera, si ricava la massa. La figura ??b mostra la separazione π -K (in termini di numero di sigma) in funzione dell'impulso.

5.8.1 Identificazione delle particelle con il tempo di volo

In alcune regioni cinematiche, la separazione data dal dE/dx non è soddisfacente (per esempio per valori di $\beta\gamma$ intorno a 1.4, la separazione è $\sim 0.6 \sigma$). Per questo motivo, è stata investigata la possibilità di contribuire all'identificazione delle particelle con la camera a deriva attraverso misure del tempo che esse impiegano per arrivare dal punto di interazione ai fili (tempo di volo), nella regione in cui il dE/dx non fornisce una buona separazione.

In primo luogo, è stato quindi effettuato un confronto tra la separazione ottenuta con il dE/dx (in unità di σ) e la differenza di DOCA corrispondente a diversi tempi di volo, in funzione dell'impulso. Nelle figure ??a e ??b viene effettuato il



(a) Separazione π - K data da una misura del dE/dx

(b) Separazione π - K data da una misura di tempo di volo.

Figura 5.13:

confronto per due particelle che è importante separare per lo studio della violazione di CP, il π e il K .

Il tempo da cui si ricava la relazione tempo-distanza, e quindi la DOCA, è dato da:

$$t_d = t_{raw} - t_{volo} - t_0 \quad (5.1)$$

$$(5.2)$$

in cui

t_d = tempo di deriva

$t_{volo} = f/\beta$ (f = lunghezza di volo)

t_{raw} = tempo misurato

t_0 = t_0 dell'elettronica, etc.

La quantità riportata in ??b è:

$$diff = \frac{v_d}{c} f \left(\frac{1}{\beta(particella1)} - \frac{1}{\beta(particella2)} \right) \quad (5.3)$$

dove è stato assunto:

$f = 80$ cm (caso pessimistico in cui la particella ha attraversato verticalmente tutta

la camera).

$v_d/c = 6 \cdot 10^{-5}$ (velocità di deriva media degli elettroni).

Dal grafico sembra che la risoluzione della camera ($100 \mu\text{m}$) non sia sufficiente a distinguere le due particelle. Ad ogni modo è stato valutato l'effetto dei differenti tempi di volo sul χ^2 delle tracce effettuando una simulazione veloce, in cui sono state svolte le seguenti operazioni:

- Sono stati simulati 40 *hit* con lunghezza di volo associata f :
 $f = 20 + i \cdot 1.5$ (i è il numero di *layer*, 1.5 cm è la dimensione della cella e 20 cm la distanza radiale a cui si colloca la camera. I residui sono distribuiti normalmente con valore medio zero e $\sigma = 100 \mu\text{m}$ (risoluzione spaziale della camera).

- È stato calcolato il χ^2 per le varie particelle:

$$\chi_k^2 = \sum_i \frac{(\text{residuo}_i + \frac{v_d}{c} f (\frac{1}{\beta_0} - \frac{1}{\beta_k}))^2}{\sigma^2} \quad (5.4)$$

L'ipotesi 0 è l'ipotesi di partenza che corrisponde all'ipotesi di pione.

- È stato calcolato il $\Delta\chi^2 = \chi_k^2 - \chi_0^2$ in funzione del momento. Il risultato per e , K e p è riportato nelle figure ??a, ??b, e ??.

Il contenuto di tali figure può essere riassunto in tabella ??, dove le quantità sono state riportate in termini di $\beta\gamma$ per renderle indipendenti dalla particella presa in considerazione.

Si può osservare che una misura di tempo di volo permette un'identificazione delle particelle per $\beta\gamma=0.2$ essendo significativa la differenza dei χ^2 (e la differenza di DOCA al di sopra della risoluzione spaziale), dove il dE/dx separa le particelle con 12σ . Dove la separazione in dE/dx è scarsa ($\beta\gamma=1.4$) questo non è possibile. Si può quindi concludere che una misura di tempo di volo non è di aiuto nell'identificazione delle particelle nella regione in cui la separazione data dal dE/dx non è sufficiente.

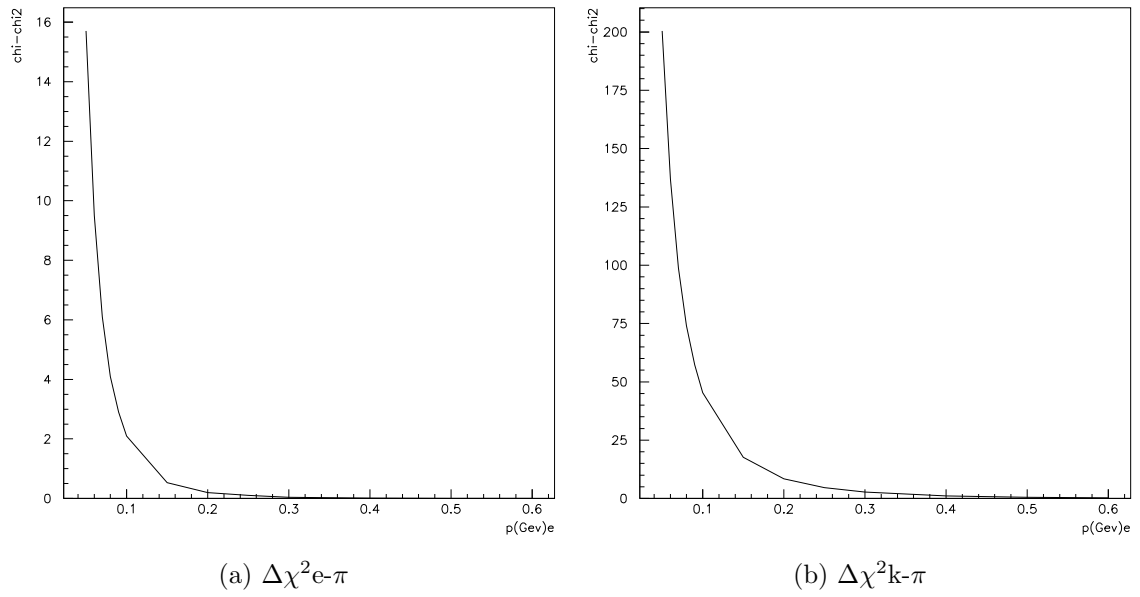
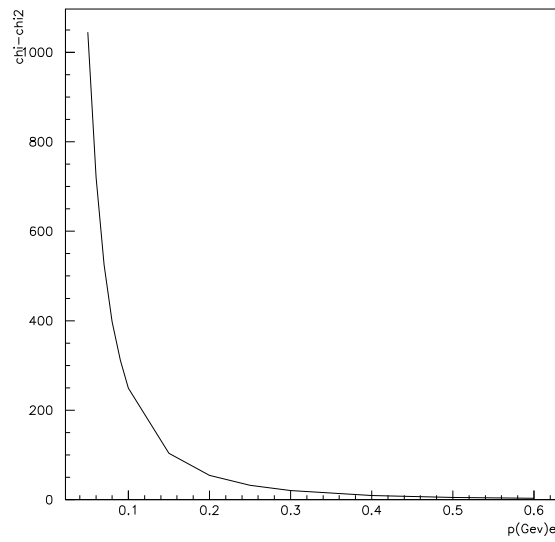


Figura 5.14:

Figura 5.15: $\Delta\chi^2_{p-\pi}$

$\beta\gamma$	$\text{diff}(\text{dEdx})/\sigma(\text{diff})$	$\text{diff}(\text{micron})$	$\text{delta}\chi^2$
0.2	12.1	160.5	45.3
0.4	10.5	69.9	18.4
0.7	5.24	34.4	2.1
1.4	0.6	10.5	0.2

Tabella 5.1:

5.9 Risultati del *commissioning*

In conclusione il *run* di cosmici ha permesso di comprendere a fondo il rivelatore e di mettere a punto tutte le tecniche necessarie al suo corretto funzionamento. I risultati del *run* di cosmici sono stati molto positivi: la camera è risultata stabile dal punto di vista dell'*hardware* e le prestazioni sono state in buon accordo con quelle richieste a livello di progettazione (risoluzione spaziale $\sim 100\ \mu\text{m}$, risoluzione sul dE/dx $\sim 6.5\%$ per particelle al minimo della ionizzazione).

Capitolo 6

Sistema di *Fast Monitoring*

Il compito del sistema di *monitoring* è quello di fornire informazioni sul funzionamento della camera in tempi brevi. Questo permette di intervenire rapidamente all'occorrere di un problema evitando così di perdere luminosità integrata e di danneggiare il rivelatore.

Il *monitoring* veloce, che si colloca nell'ambito dell'OEP, utilizza i dati provenienti dalle ROM e controlla il corretto funzionamento del sottosistema durante la presa dati con lo scopo di individuare ed evidenziare problemi a livello *hardware* nella camera (elettronica di *front-end*, alta tensione, etc.) o nel trasporto dei dati all'OEP. Il *Fast Monitoring* permette inoltre di controllare in tempo reale il livello di *background* indotto dall'acceleratore.

6.1 Sistema di istogrammazione distribuita

BABAR ha delle esigenze speciali per l'istogrammazione *on-line*. I processi *on-line*, infatti, vengono eseguiti dai nodi di una *farm* di *computer* (Cap.4); ogni nodo riceve una frazione di eventi dal *DataFlow* e su di essa svolge varie operazioni tra cui il riempimento degli istogrammi del *Fast Monitoring*. È quindi necessario, per avere statistica significativa in breve tempo, un sistema in grado di raccogliere le informazioni da tutti i nodi relative a una certa grandezza e presentarle in un uni-

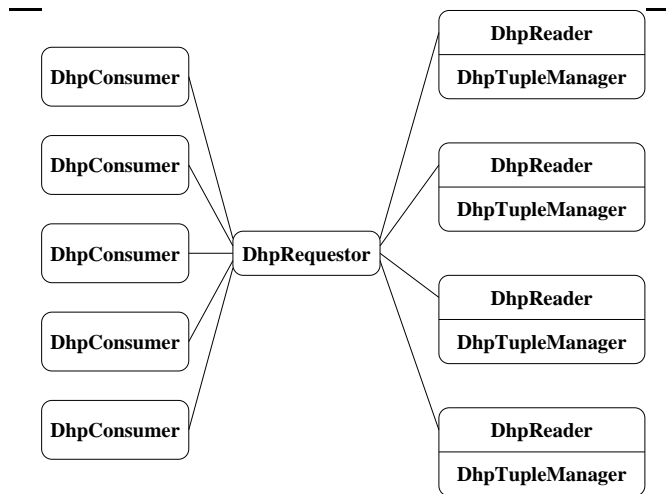
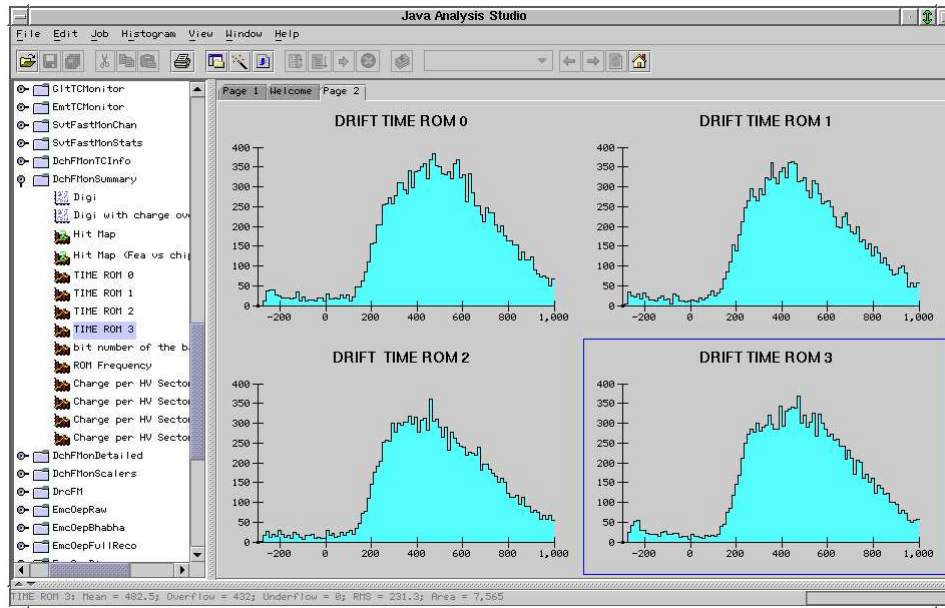


Figura 6.1: Struttura di DHP

co istogramma. Il pacchetto che svolge i compiti relativi all'istogrammazione distribuita è chiamato DHP (*Distributed Histogramming Package*, [?]); un disegno schematico della struttura dei processi relativi a DHP è mostrato in figura ??.

Ogni processo di *monitoring* contiene un *DhpTupleManager* che si occupa della gestione degli istogrammi, cioè di creare gli istogrammi e di renderli disponibili per la lettura mettendoli in un'area di memoria condivisa (*shared memory*). Per ogni *manager* esiste un processo chiamato *DhpReader* che legge gli istogrammi dai segmenti di memoria condivisa e li fornisce al *DhpRequestor*; quest'ultimo ha il compito di mettere insieme le informazioni provenienti dai vari nodi. C'è un solo *requestor* per tutti i *reader* che viene eseguito su di una macchina diversa; per la comunicazione tra questi due processi viene utilizzato un *corba-server*¹. Il *DhpConsumer*, infine, fornisce metodi per l'accesso agli istogrammi da parte degli utenti. Tale accesso è gestito da un meccanismo tipo *client-server* che utilizza di nuovo un *server* CORBA; gli oggetti sono definiti attraverso uno speciale linguaggio chiamato IDL (*Interface Definiton Language*), che è indipendente dal linguaggio originario e permette a processi scritti in linguaggi differenti di comunicare. In questo

¹CORBA, *Common Object Request Broker Architecture* [?] è un sistema per accedere a oggetti remoti specifico per linguaggi orientati agli oggetti.

Figura 6.2: *Pannello di JAS*

modo è possibile scrivere il codice che riempie gli istogrammi in C++ e utilizzare un *presenter* implementato in *Java*.

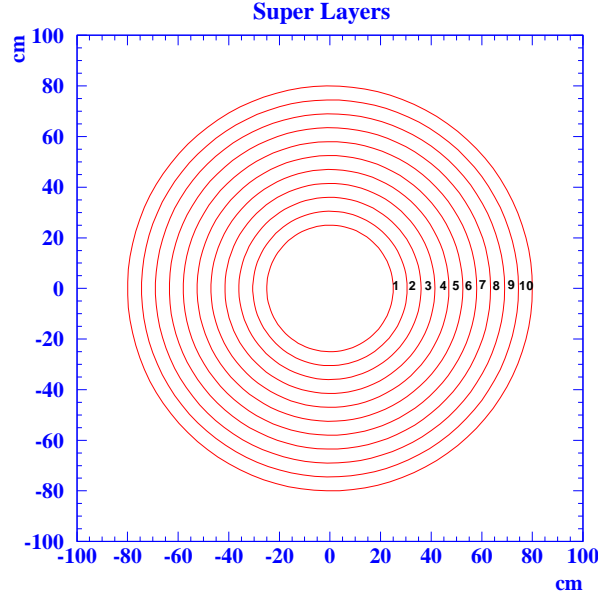
La soluzione adottata in BABAR per la presentazione degli istogrammi è costituita da *JAS* (*Java Analysis Studio*, [?]), un' applicazione implementata in linguaggio *Java* per l'analisi dei dati in esperimenti di fisica delle alte energie. Con *JAS* è possibile accedere a dati in vari formati (anche quello dei *database* orientati agli oggetti) sia localmente sia da *server* remoti. Gli istogrammi sono prelevati dal *server* CORBA e mostrati in pagine predefinite programmabili in linguaggio HTML. Un esempio di pannello *JAS* è mostrato in figura ??.

6.2 Istogrammi del *Fast Monitoring*

Il *Fast Monitoring* viene eseguito a livello di OEP sui nodi della *farm on-line*. Esso è composto da più processi che campionano gli eventi dal flusso principale dell'OEP (Cap. 4) in modo da non causare tempo morto e quindi *back pressure*

sul *DataFlow*. Nonostante questo, il codice del *Fast Monitoring* deve essere sufficientemente veloce per accumulare la statistica necessaria a evidenziare eventuali problemi in tempi brevi con le risorse di CPU a disposizione. I dati provenienti dal *DataFlow* arrivano all'OEP immagazzinati in *Tagged Container (TC)*, (*Tagged Container* è il nome dato alla particolare struttura con cui vengono organizzati i dati a livello di *DataFlow*); esistono 4 *TC* per evento relativi alla camera, uno per ROM, chiamati DchTCSlot. Attraverso una sequenza di conversione, dai *TC* vengono costruiti degli *oggetti*, detti *digi*, che contengono tutte le quantità necessarie per caratterizzare il segnale di una cella (numero di filo, numero di *layer*, tempo di arrivo di tutti gli *hit*, carica totale raccolta al filo, parola di *status*). Dai *digi* sono escluse tutte le informazioni relative al funzionamento del *DataFlow* come la parola di *damage*, che segnala la presenza di errori nella trasmissione dei dati, o la dimensione dell'evento in bytes, che permette di controllare l'*occupancy* della camera prima della conversione $TC \rightarrow Digi$. Il vantaggio di monitorare le grandezze a livello di *TC* è che esse non sono affette da eventuali problemi nella conversione in *digi*. Nel 10 % dei casi ai *TC* sono aggiunte le informazioni relative alla forma d'onda associata al segnale che costituiscono l'ingresso della *feature extraction*: esse sono il valore della carica o del tempo di ognuno dei 32 campioni della finestra di acquisizione, il bit che specifica se è presente una misura di ADC o di TDC e il delta bit del FADC (paragrafo 6.2.5).

È utile individuare le zone della camera che hanno un comportamento simile per quanto riguarda le distribuzioni delle grandezze contenute in *TC* e *digi*. Gli istogrammi vengono quindi riempiti seguendo segmentazioni elettroniche o geometriche diverse a seconda degli aspetti che si vogliono mettere in evidenza. Nella scelta delle segmentazioni, bisogna tenere conto che il numero di segmenti non deve essere troppo elevato per non rendere eccessivo il numero di istogrammi da controllare e il numero di eventi necessario per accumulare una statistica significativa. Le segmentazioni geometriche sono: filo, *layer*, *superlayer* (mostrata in figura ??) e *layer identifier*. La segmentazione per filo è la più fine possibile e quindi quella che

Figura 6.3: *I superlayer*

dà l'informazione più dettagliata; tuttavia, visto l'elevato numero di celle nella camera (7104), non è utile per avere in breve tempo delle informazioni significative (è utilizzata solo per l'istogramma *Wire Occupancy*, paragrafo 6.2.1). Poichè la fisica è simmetrica nell'angolo azimutale le segmentazioni per *layer* e *superlayer* permettono di verificare il funzionamento della camera controllando che la distribuzione di eventi di fisica sia quella aspettata. Inoltre queste segmentazioni permettono di studiare la distribuzione spaziale del *background* (che si concentra nei *layer* interni). Il *layer identifier* invece, distingue la posizione dei *layer* all'interno dei *superlayer* e i *layer* di bordo (*layer* 1 e 40). La geometria differente di queste celle (Cap.3) si traduce in una diversa configurazione del campo elettrico e quindi in un diverso guadagno e in una diversa relazione tempo-distanza. La distribuzione della carica raccolta e del tempo di deriva saranno quindi differenti. Sebbene questa segmentazione nasconda la dipendenza dai moduli dell'elettronica, permette di controllare la forma delle distribuzioni guardando un numero limitato di istogrammi (6).

Le segmentazioni elettroniche sono: l'amplificatore, l'ELEFANT (detto anche

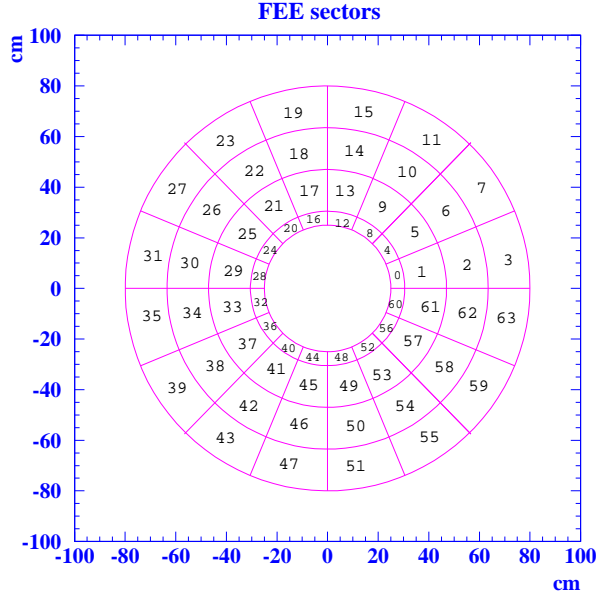


Figura 6.4: Le FEE

chip), la FEE (figura ??), la ROM e il canale dell'alta tensione (figura ??). Esse permettono di tenere sotto controllo il funzionamento delle varie componenti elettroniche, individuando quelle che eventualmente hanno un problema.

Bisogna inoltre tenere conto che una parte dei *digi* è relativa al rumore presente nella camera; è quindi importante, per una maggiore chiarezza degli istogrammi, separarlo dal segnale fisico. In questo modo, da una parte si monitora il segnale vero e proprio mentre dall'altra si tiene sotto controllo il rumore. Il rumore della camera deriva, studiato con un'analisi *off-line* durante il *commissioning* della camera (presentata nel Cap.7), è per la maggior parte a bassa carica, eliminabile con un taglio a 50 u.a.. Si tratta, a parte una piccola percentuale di *cross-talk*, di rumore elettronico dovuto allo scattare dei TDC in corrispondenza del *clock* dell'ELEFANT.

Gli istogrammi del *Fast Monitoring* possono essere divisi nelle seguenti categorie:

- Istogrammi di *occupancy*.
- Istogrammi di controllo delle *bad flag*.

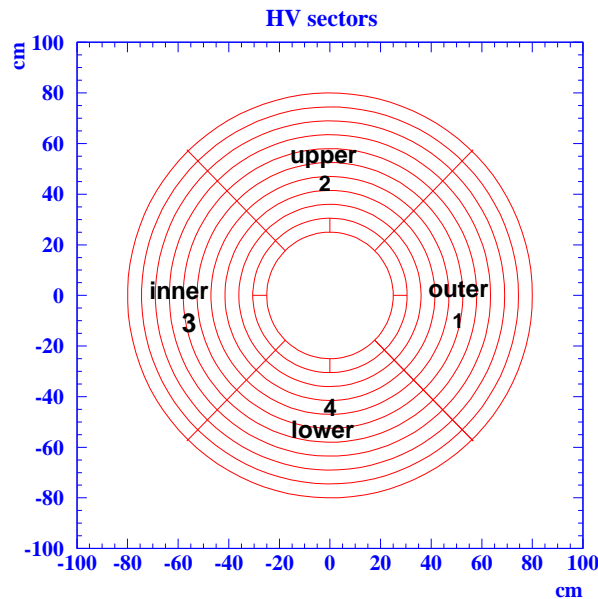


Figura 6.5: I canali dell'alta tensione, le denominazioni *inner* e *outer* sono intese rispetto all'anello di PEP II.

- Istogrammi della carica.
- Istogrammi dei tempi.
- Istogrammi di quantità relative alle forme d'onda.

È anche importante poter valutare la risposta della camera in tempi brevi senza aspettare l'accumularsi di statistica sufficiente in un istogramma, in particolare per quelle grandezze che sono molto sensibili a una variazione delle condizioni durante il *run*. Soprattutto nel primo periodo in cui PEP-II studiava i fasci era importante controllare che l'*occupancy* della camera dovuta al *background* non fosse troppo elevata. A questo scopo sono stati utilizzati degli istogrammi particolari, chiamati *scaler* che permettono di controllare l'evolversi di una certa quantità in funzione del tempo. In pratica gli *scaler* accumulano una certa grandezza per un intervallo temporale scelto dall'utente entro certi limiti e controllato attraverso il *time-stamp* che il *DataFlow* assegna agli eventi. Alla fine dell'intervallo viene fatta la media dei valori accumulati e il risultato viene riportato sul grafico. Il tempo che intercorre tra

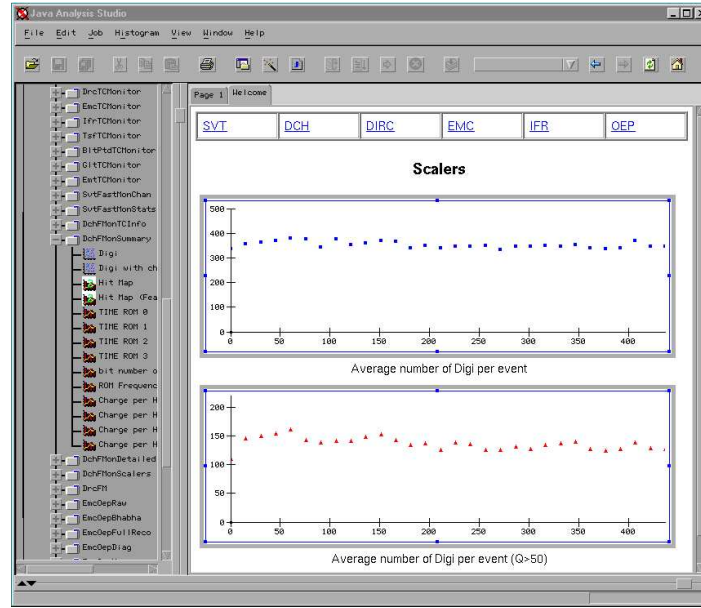
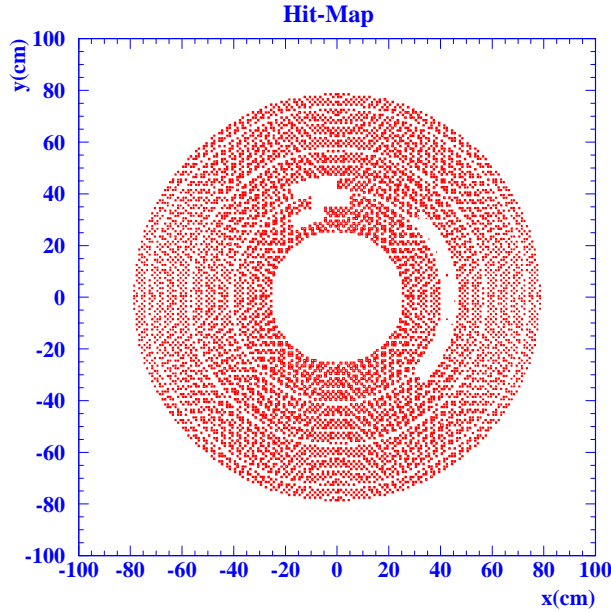


Figura 6.6: *Scaler: Numero di digi e numero di digi ad alta carica*

un punto e un altro può essere scelto tra 5 e 60 secondi; esso deve essere molto minore della durata del *run* ma non troppo perchè esiste un valore massimo di intervalli temporali che si possono considerare. Gli *scaler* implementati per monitorare il *background* di PEP-II sono il numero medio di *digi* e di *digi* con $Q > 50$ in funzione del tempo (figura ??). Un aumento del *background* è immediatamente visibile da questi istogrammi.

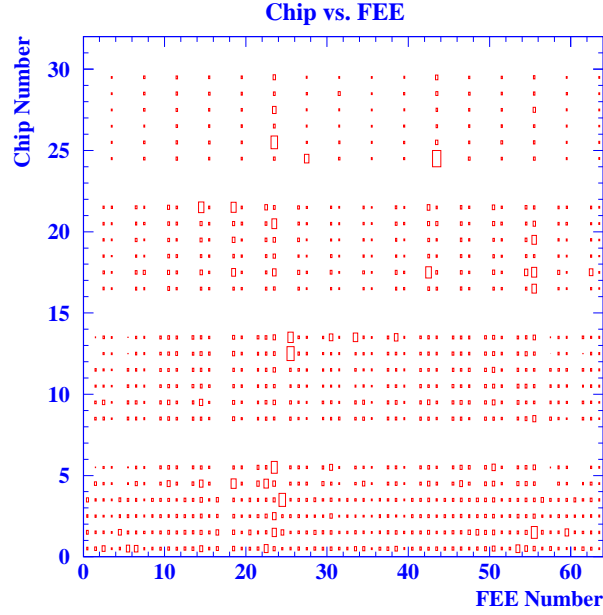
6.2.1 Istogrammi di *occupancy*

Gli istogrammi di *occupancy* hanno la funzione di individuare eventuali zone morte nella camera dovute al malfunzionamento di una componente elettronica, di monitorare il rumore, il *background* dell'acceleratore, e la risposta del rivelatore ai segnali di fisica. L'occupazione geometrica della camera è data dall'istogramma **Hit-Map**, che mostra la distribuzione spaziale dei *digi* riportando le coordinate x-y dei fili accesi sul piatto anteriore. In figura ?? è mostrata l'*Hit-Map* (per *digi* ad alta carica) in un run in cui un canale dell'alta tensione e una FEE non erano attivi: si può

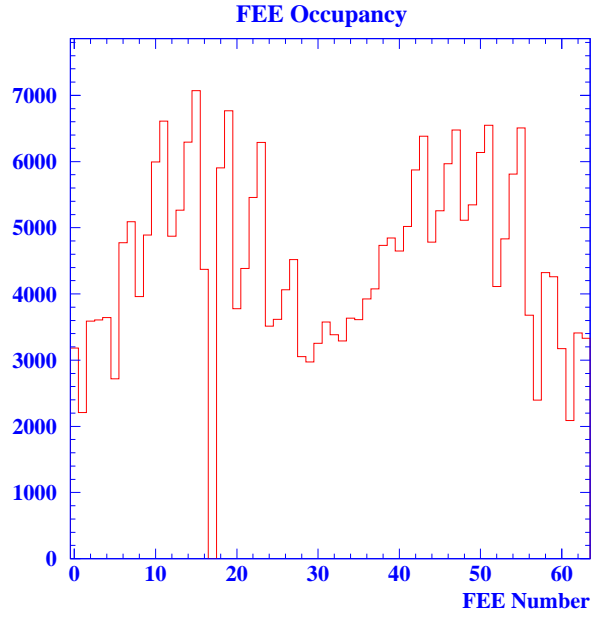
Figura 6.7: *Hit-Map*

notare infatti che mancano *digi* in un quarto di *superlayer* (*superlayer* 4) e nella FEE 17. La minore concentrazione di *digi* nella zona in corrispondenza dell'asse x è dovuta al fatto che il run preso in considerazione è un run in cui sono stati acquisiti raggi cosmici, i quali hanno una distribuzione angolare che privilegia la direzione verticale.

La zona priva di *digi*, corrispondente alla FEE mancante, appare con i segmenti dei tre *superlayer* che la compongono spostati l'uno rispetto all'altro perchè i *superlayer* 2 e 3 sono stereo (Cap.3) e le coordinate dei fili sono prese sul piatto opposto rispetto a quello dove sono collocate le componenti dell'elettronica. I *digi* presenti nella zona non alimentata dall'alta tensione sono dovuti alla piccola parte di rumore elettronico non eliminato dal taglio in carica. Il fatto che nella FEE 17 non si osservi nessun tipo di attività indica che il modulo era spento o mascherato a livello di ROM durante la presa dati. L'*Hit-Map* ha il vantaggio di mettere in evidenza in modo semplice e chiaro problemi del tipo esposto ma non permette di identificare con esattezza il componente difettoso. Per questo motivo, accanto

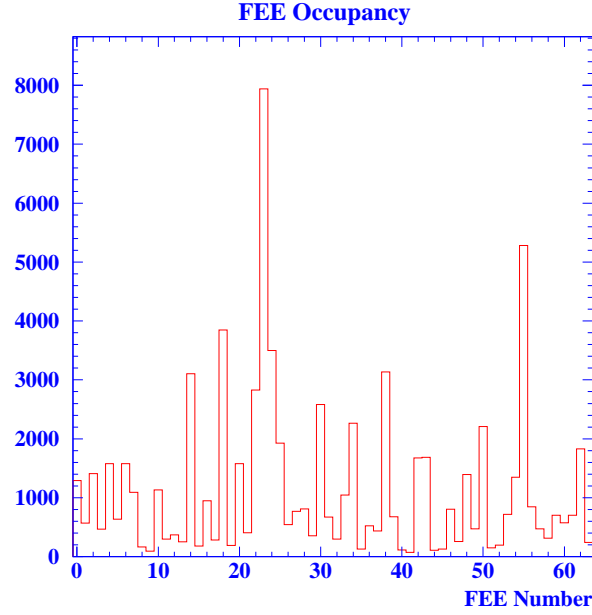
Figura 6.8: *Hit-Map Chip vs. FEE*

all'Hit-Map "geometrica" è stata introdotta una mappa dei *digi* (**Hit-Map Chip vs. FEE**) che ne mostra la distribuzione in funzione delle coordinate elettroniche dei *chip* preposti alla digitizzazione del segnale (ELEFANT). I *chip* sono identificati dal numero della FEE su cui sono montati e dalla loro numerazione all'interno della FEE stessa. Il numero di *chip* presenti in una FEE dipende dalla posizione di quest'ultima all'interno di uno dei sedici spicchi in cui è divisa la camera ai fini del montaggio dell' elettronica di *front-end* (*wedge*). L'istogramma ripropone questa segmentazione ripetendo 16 volte il susseguirsi dei *chip* all'interno delle quattro FEE che equipaggiano una *wedge*. La prima colonna relativa a una *wedge* si riferisce alla FEE più interna sulla quale sono montati 4 *chip* mentre le FEE successive ne hanno rispettivamente 12, 18 e 24. La FEE mancante evidenziata prima nella Hit-Map geometrica, compare in questo istogramma come una colonna vuota in corrispondenza del numero di FEE 17 (figura ??) mentre è meno evidente la mancanza del canale di alta tensione che, non seguendo la stessa segmentazione, si manifesta come un' assenza di *chip* secondo uno schema più complesso.

Figura 6.9: *FEE Occupancy*

La segmentazione scelta arriva fino al livello del *chip*, cioè un gruppo di otto fili, e permette di monitorare con grande efficacia il comportamento dell'elettronica. Con questo istogramma si possono anche individuare i *chip* rumorosi (per esempio il numero 24 della FEE 17). Per questo istogramma che è più orientato a monitorare il funzionamento dell'elettronica piuttosto che il segnale e il *background* si è scelto di non applicare il taglio in carica. La distribuzione del segnale all'interno delle FEE è considerata invece nell'istogramma **FEE Occupancy** in cui è riportato il numero di *digi* con carica sopra la soglia per ogni FEE. La normalizzazione tiene conto che la FEE più interna di ogni *wedge* è relativa solo a un *superlayer* e non a tre come le altre; questa normalizzazione è corretta nel caso di tracce provenienti dalla zona centrale in cui ci si aspetta un *digi* per *layer* e solo se si effettua il taglio in carica poichè il numero di *hit* di rumore dipende dal numero di fili. In figura ?? è mostrata la *FEE-Occupancy* per il *run* considerato in precedenza; si può notare che la colonna corrispondente alla FEE 17 è vuota.

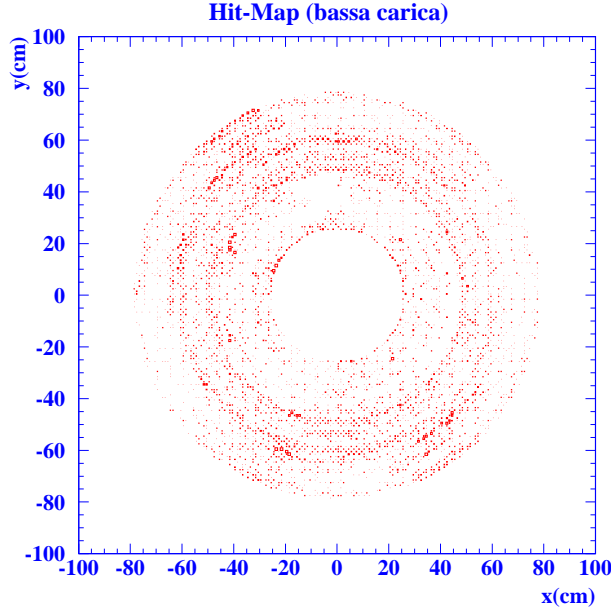
La struttura frastagliata è dovuta al fatto che il *run* preso in considerazione è

Figura 6.10: *FEE Occupancy*

un run di cosmici (questo si può vedere dall'involuppo della distribuzione) con un tipo di *trigger* che non richiede che le tracce passino per il centro (*trigger* di IFR): la normalizzazione, per quanto detto prima, non è corretta. La *FEE-occupancy* a bassa carica (figura ??) monitora invece il rumore elettronico (essa è quindi normalizzata al numero di fili).

Come si vede, le FEE più rumorose sono quelle nella zona centrale delle *wedge* [?]. Questo è confermato dalla *Hit-Map* a bassa carica mostrata in figura ??.

L'*occupancy* dei singoli canali viene monitorata dagli istogrammi di **Wire Occupancy**. Si tratta di 10 istogrammi (uno per *superlayer*) che riportano il numero di *digi* per filo. In figura ?? è mostrato uno di questi istogrammi per il *superlayer* 3 per il run con la FEE mancante. I fili relativi a *layer* diversi sono separati da un certo numero di bin vuoti per maggiore chiarezza. Oltre ai *digi* mancanti in corrispondenza della FEE mascherata, si possono anche notare dei fili rumorosi nel *layer* 10 e 12. Essendo un numero elevato di canali, non è possibile identificare i fili morti e rumorosi; questo viene fatto con una procedura illustrata nel paragrafo

Figura 6.11: *Hit-Map a bassa carica*

6.2.8.

Anche questo istogramma è sensibile alla distribuzione spaziale degli eventi monitorati. In figura ?? è possibile riconoscere la distribuzione dei raggi cosmici: in corrispondenza del punto centrale e degli estremi del blocco di fili corrispondente a un *layer* (cioè nella direzione orizzontale) si ha un *occupancy* minore. Se invece consideriamo gli eventi *triggerati* dal passaggio dei fasci (*trigger* di *bunch crossing*), si può osservare che il *background* ha una distribuzione spaziale asimmetrica. Infatti in figura ?? viene considerata la *wire-occupancy* per il *layer* 2, in un run di questo tipo. La distribuzione è pronunciata in corrispondenza della linea orizzontale nella parte *inner* della camera (bordi del grafico).

L'*occupancy* della camera dovuta al *background* di fascio è evidente anche dall'istogramma di **Layer Occupancy** (tagliata in carica), mostrato per lo stesso run preso in considerazione nella figura ??.

Come ci si aspetta la molteplicità del *background* è maggiore nei *layer* più interni. Nell'istogramma c'è evidenza di una alta *occupancy* in alcuni *layer*, non

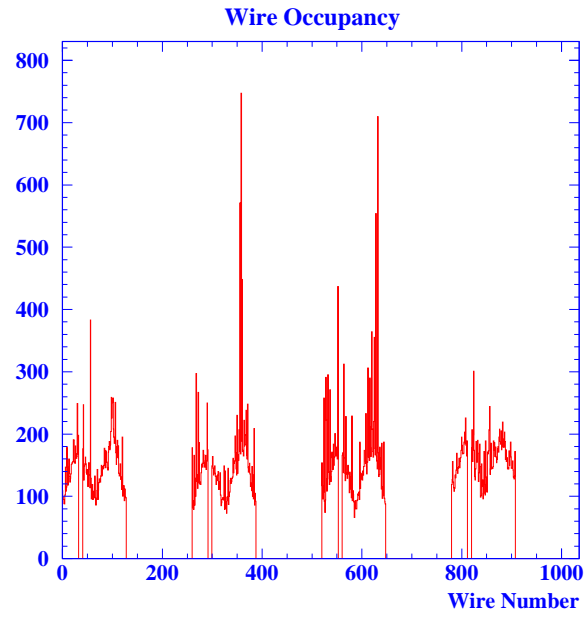


Figura 6.12: *Wire-Occupancy per il superlayer 3 (layer 9,10,11,12), run di cosmici*

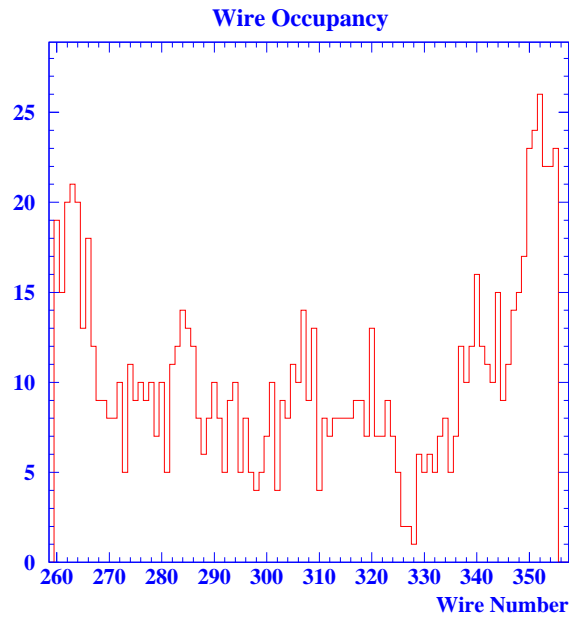
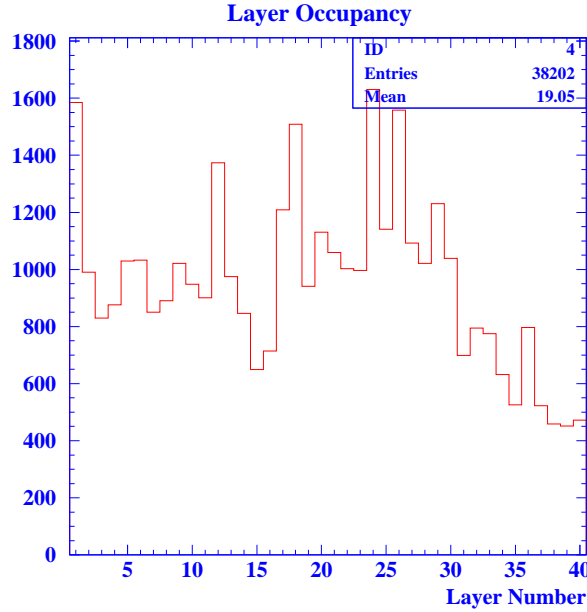


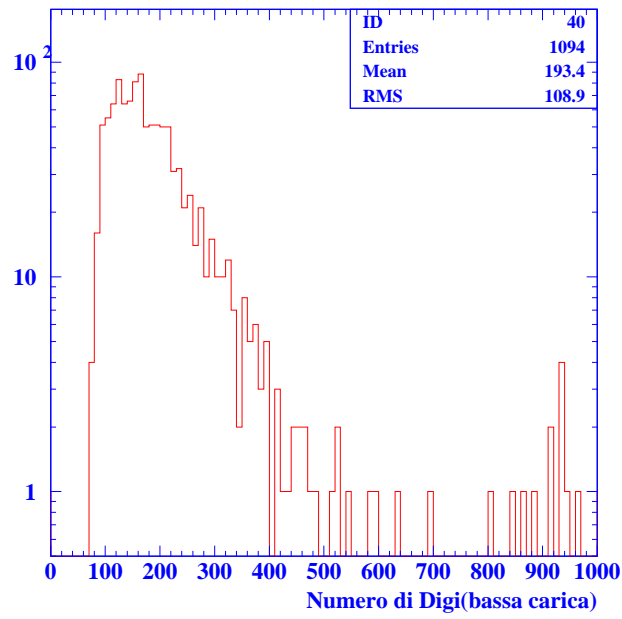
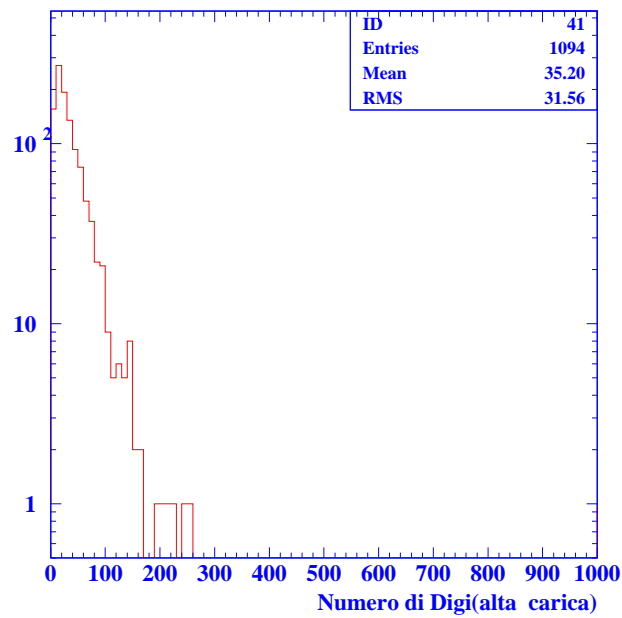
Figura 6.13: *Wire-Occupancy per il layer 2, trigger di bunch crossing*

Figura 6.14: *Layer Occupancy, trigger di bunch crossing*

riconducibile unicamente al *background*. Questo fenomeno, osservato per la prima volta in *run* presi mentre PEP II era acceso, è dovuto alla presenza di rumore ad alta carica concentrato in alcuni fili ed è stato discusso più in dettaglio nel capitolo 7. Un'altra quantità utile a quantificare l'occupazione della camera è il **Numero di Digi per evento**. La distribuzione a bassa carica (figura ??) monitora il rumore elettronico. In figura ?? è mostrata la distribuzione ad alta carica per eventi *triggerati* dal passaggio del fascio.

La forma del secondo istogramma è fortemente dipendente dal tipo di *trigger*. L'istogramma del numero di *digi* con $Q > 50$ è mostrato, per un run di cosmici con *trigger* di camera, in figura ?. Il valore medio del numero di *digi* ad alta carica è in questo caso 87 che è vicino al valore aspettato per due tracce che attraversano tutti i *layer* (un cosmico dritto, passante per il centro dovrebbe avere ~ 80 *digi* per evento).

L'occupazione complessiva della camera, che è la combinazione delle distribuzioni ad alta e a bassa carica è mostrata in figura ?? sovrapposta alla distribuzione del

Figura 6.15: *Numero di digi per evento a bassa carica*Figura 6.16: *Numero di digi per evento ad alta carica, trigger di bunch crossing*

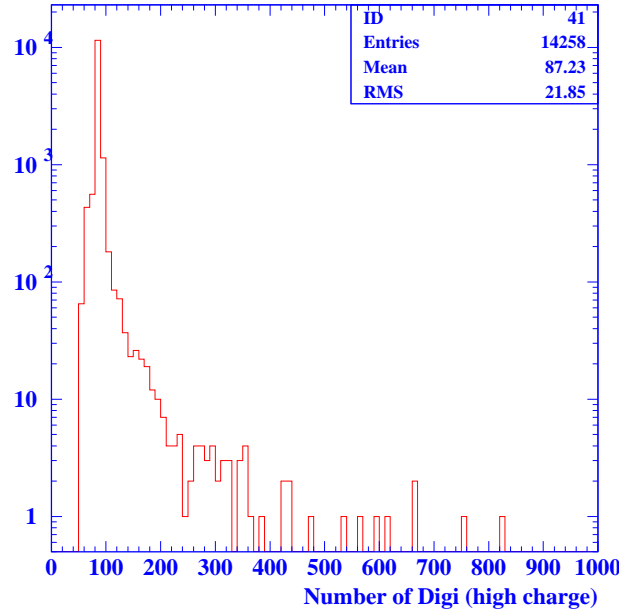


Figura 6.17: Numero di digi per evento ad alta carica, run di cosmici

numero di *digi* per evento che non hanno un bit di *bad-flag* acceso (paragrafo 6.2.2); da essa si evince che il numero di *digi* con *bad flag* non è correlato con il numero totale di *digi*.

L'*occupancy* per evento a livello di TC è monitorata dagli istogrammi (uno per ROM) che rappresentano il **Numero di bytes per evento**. Un esempio è mostrato in figura ?? dove la media è 1.3 Kb per ROM per evento. Come è stato detto in precedenza, è utile monitorare questa grandezza al livello di TC per controllare che la conversione TC \rightarrow *digi* sia avvenuta senza problemi.

Infine viene monitorato il funzionamento delle ROM con l'istogramma **ROM Frequency** (figura ??); esso controlla il numero di ROM coinvolte nella lettura di un evento. Vista l'*occupancy* della camera e la distribuzione del rumore ci si aspetta che tutte e 4 le ROM siano sempre presenti. La mancanza di una ROM può quindi individuare un problema a livello di trasferimento già segnalato dalla parola di *damage* (paragrafo 6.2.2). Per questo motivo l'istogramma riporta anche i casi in cui gli eventi sono danneggiati (mentre i dati relativi a ROM danneggiate non

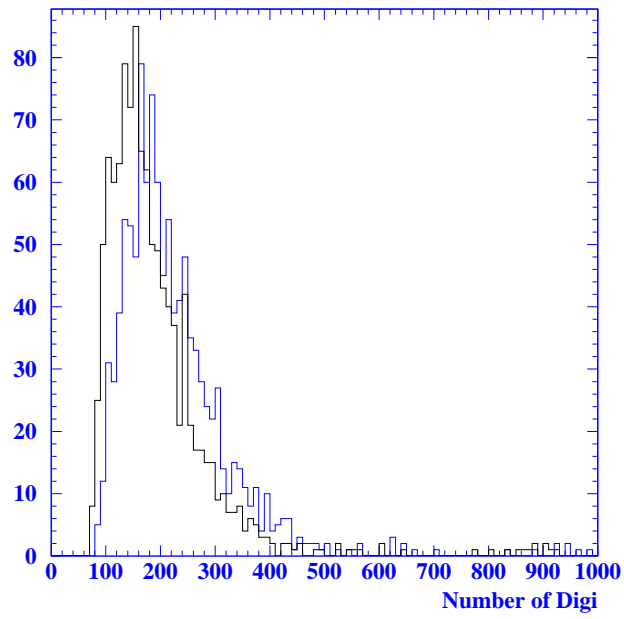


Figura 6.18: *Numero di digi per evento prima e dopo il taglio sui digi con la bad-flag, trigger di bunch crossing*

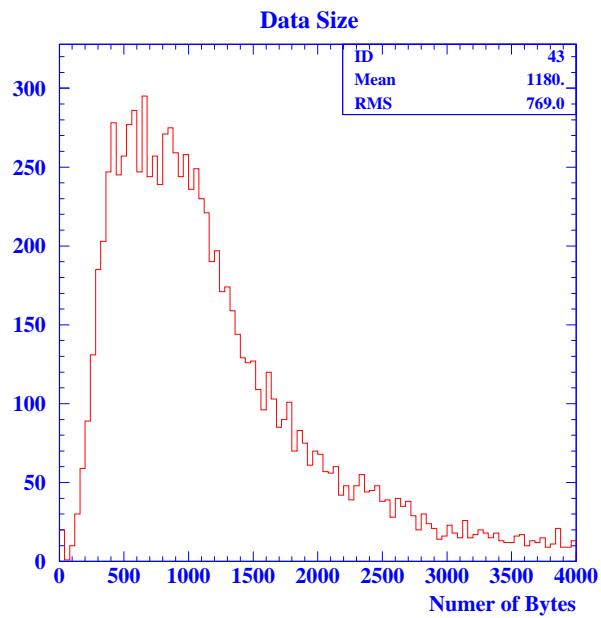
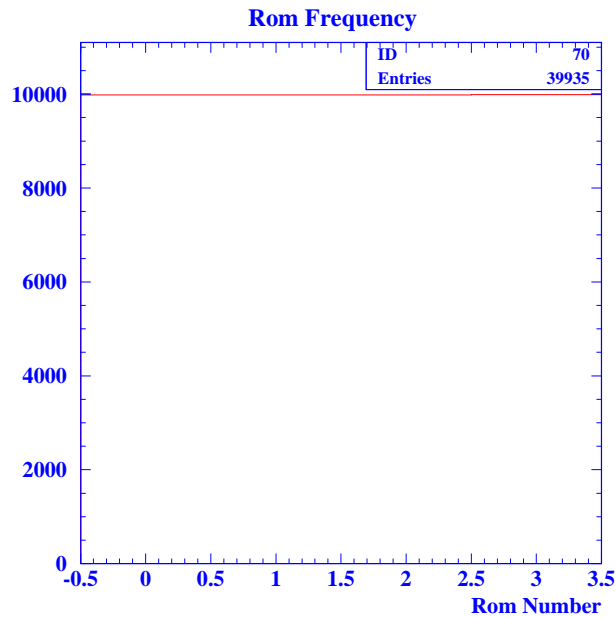


Figura 6.19: *Numero di bytes per evento*

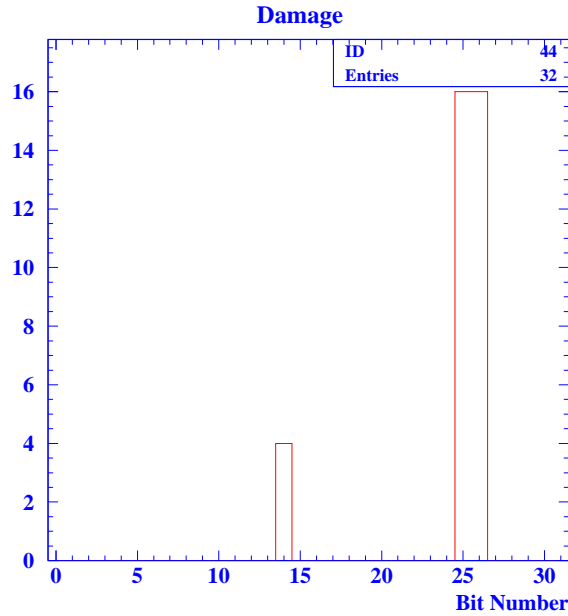
Figura 6.20: *ROM Frequency*

vengono trasmessi).

6.2.2 Istogrammi di controllo delle *bad flag*

Le parole di *bad flag* segnalano un'anomalia nei dati acquisiti. I dati della camera relativi a un evento vengono messi in 4 *Tagged Container*, ciascuno dei quali contiene i dati trasmessi da una ROM. Quando si verifica un problema nell'acquisizione, il *DataFlow* non trasmette i dati danneggiati, ma invia all'OEP una parola a 32 bit, chiamata **damage** in cui viene specificato il tipo di errore. Il *trigger* di livello 3, al momento, scarta tutti gli eventi per cui almeno una ROM ha un bit di questa parola acceso sebbene sarebbe più saggio conservare l'evento e conoscere l'informazione del danneggiamento. È stato osservato che per la camera a deriva lo 0.1 % degli eventi è danneggiato e i bit che si accendono sono:

- Bit 1: *Dropped – Contribution*. Nell'acquisizione il *DataFlow* ha perso informazioni relative alla camera.

Figura 6.21: *Damage*

- Bit 13: *Out-of-Sync*. I dati della camera non sono sincronizzati con quelli degli altri rivelatori nella costruzione dell'evento nell'*Event Level* del *DataFlow* (Cap 4).
- Bit 14: *FEX – Error*. La dimensione dei dati è maggiore della capacità della memoria della ROM (il limite è 24 Kbytes per evento).
- Bit 25 e 26: *DLINKA – TimeOut/Overflow*. La dimensione dei dati è maggiore della capacità della memoria di una FEE.

In figura ?? è mostrato l'istogramma del *damage* per una ROM in cui sono accessi i bit relativi agli *overflow* di ROM e FEE.

La parola di *damage* è definita per ogni sotto-rivelatore. La camera ha poi una parola di *bad-flag* specifica. Essa è costituita dagli ultimi 4 bit assegnati della parola di *status* inviata dalla *feature extraction* insieme alla lista dei tempi e alla carica raccolta. In figura ??a è mostrato l'istogramma che riporta il valore della

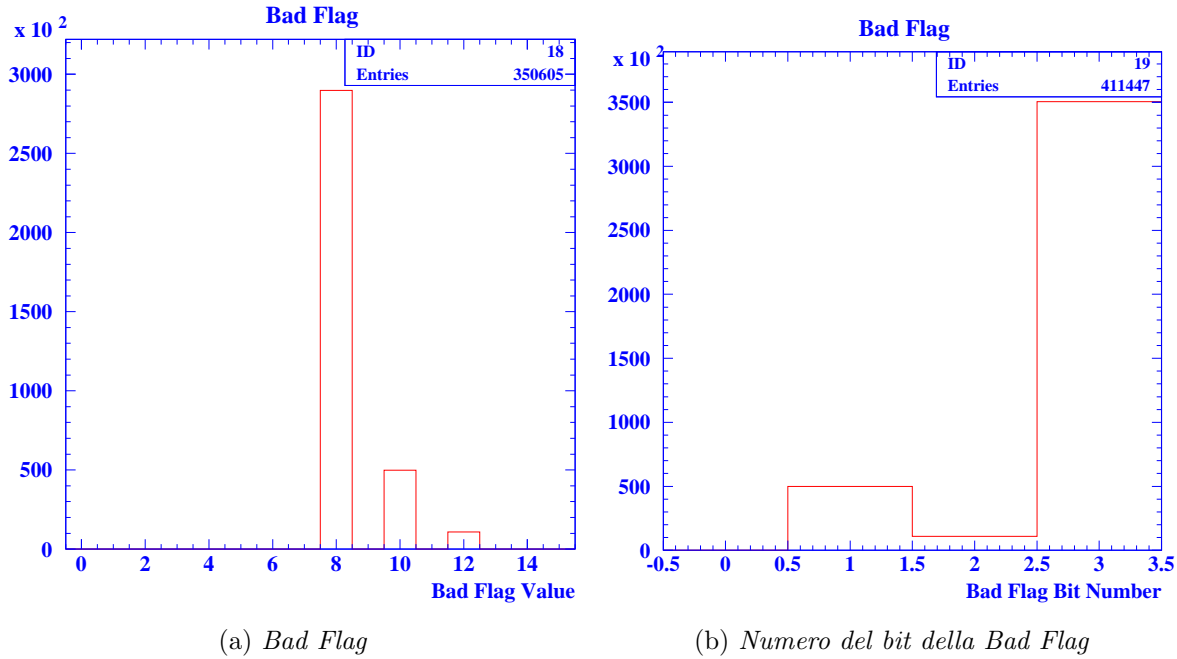


Figura 6.22:

Bad Flag mentre in figura ??b. è mostrato il **numero del bit della parola di Bad-Flag**. Il significato dei bit è il seguente, partendo dal meno significativo:

- *Bad – waveform.* È acceso quando il numero di *hit* TDC nella forma d'onda è maggiore di 10. Poichè il TDC ha un veto di due campioni ogni volta che si è verificato un *hit*, il numero massimo di *hit* TDC è 11.
- *Bad-pedestal.* Segnala che il valore del piedistallo calcolato è differente in modo significativo da quello misurato dalla calibrazione *on – line*.
- *Clipped-waveform.* Indica che l'ADC è andato in saturazione, e che quindi la carica raccolta è sottostimata.
- *Raw data appended.* Segnala che al *TC* corrispondente è stata appesa la forma d'onda.

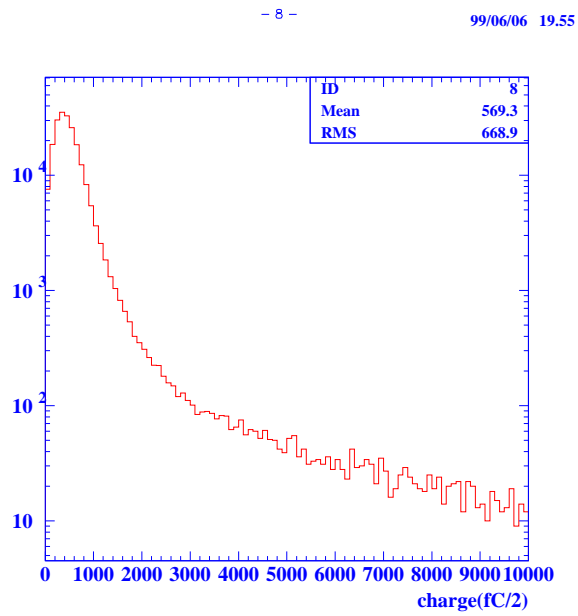
Per permettere l'analisi *off-line* di questi eventi, ogni volta che uno dei primi tre bit si accende la forma d'onda viene appesa ai dati; questo è il motivo per cui il valore della parola di *flag* è sempre maggiore di 8.

6.2.3 Istogrammi della carica

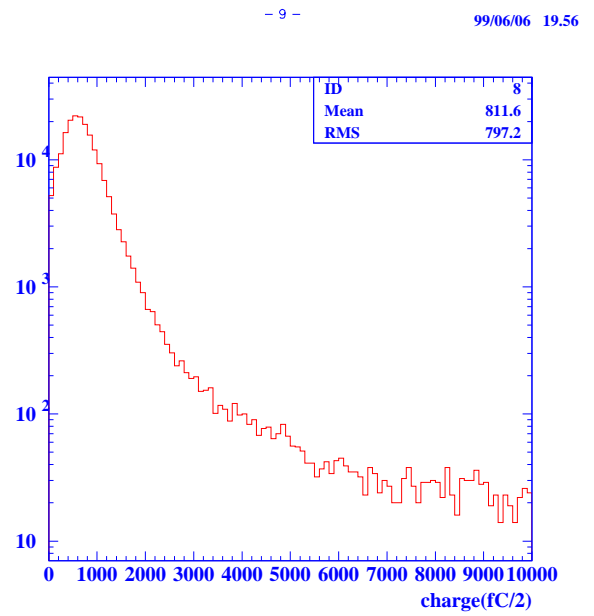
La carica raccolta al filo dipende da vari fattori: l'alta tensione e la geometria della cella, la miscela del gas, la temperatura, la pressione [?] e il guadagno dell'amplificatore. Le distribuzioni di carica risentono anche dell'*occupancy* delle celle e del tipo di particelle presenti. Infatti un'*occupancy* troppo alta potrebbe dare effetti di carica spaziale e ridurre il guadagno mentre l'impulso e la massa delle particelle determinano il dE/dx .

La presenza di diverse geometrie delle celle (Cap.3) viene presa in considerazione nell'istogramma **carica per layer identifier** in cui il *layer identifier* vale 1 per il *layer* 1, 2 e 5 per i *layer* esterni (2 per il primo *layer* e 5 per il quarto) dei *superlayer*, 3 e 4 per quelli interni, 6 per il *layer* 40. In figura ??a e ??b sono mostrate le distribuzioni della carica (con $Q > 50$ u.a.) per un *layer* interno e uno esterno. Come si vede il valore medio per il *layer* interno è minore del 30 % rispetto a quello per il *layer* esterno; questo è dovuto al maggiore guadagno delle celle di tipo 2 e 5.

I problemi dell'elettronica e del sistema di alta tensione vengono messi in evidenza dagli istogrammi che riportano il valore medio e l'RMS della distribuzione della carica seguendo l'opportuna segmentazione. Essi sono tagliati a 50 unità di carica perchè il rumore elettronico a bassa carica maschererebbe l'effetto che si vuole evidenziare, e sono: **carica media per settore di HV**, **carica media per FEE** e **carica media per preamplificatore**. In figura ?? è mostrata la carica per i canali dell'alta tensione nel settore *lower* della camera. In realtà i canali dell'alta tensione in ogni quarto di camera sono solo 11, nell'istogramma è invece riportato un punto per *layer* (40) per tenere conto delle diverse geometrie delle celle, e si media



(a) *Distribuzione della carica raccolta per un layer interno*



(b) *Distribuzione della carica raccolta per un layer esterno*

Figura 6.23:

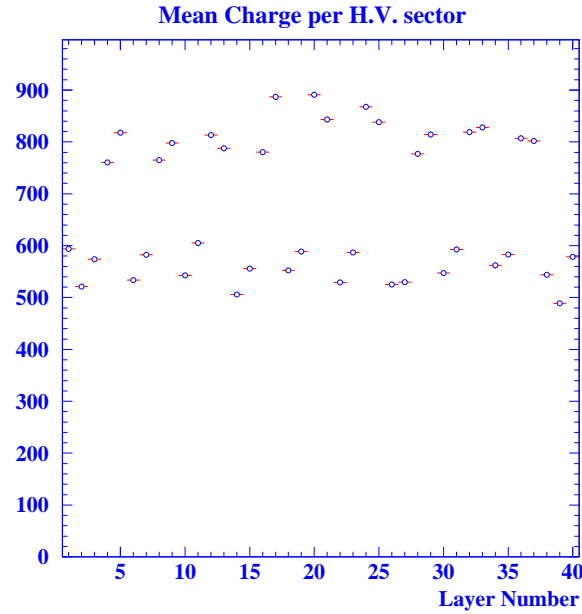


Figura 6.24: Carica per canale di HV, settore lower

sui due canali del primo *superlayer*. I punti si dispongono su due linee; quella in basso corrisponde ai *layer* interni e l'altra a quelli esterni. Si riscontra la variazione percentuale osservata in figura ??.

In figura ?? è mostrata la carica media per il settore che conteneva il canale spento nel *run* preso in considerazione all'inizio del paragrafo 6.2.1; si osserva che i *layer* del *superlayer* 4, hanno delle barre di errore più grandi a causa della bassa statistica, essendo presenti in esso solo pochi *digi* di rumore ad alta carica.

In figura ??a e ??b sono mostrate le cariche medie per FEE e per preamplificatore; questi istogrammi permettono di monitorare il comportamento degli ADC e dei DCAC (Cap.3). Gli istogrammi di carica per DCAC sono 16, uno per *wedge*, e quindi ognuno di essi è relativo a 116 amplificatori (ricordiamo che in una *wedge* ci sono 58 *ELEFANT* ognuno dei quali è collegato a due DCAC); per maggiore chiarezza è stato lasciato uno spazio tra gli amplificatori di due FEE contigue.

Questi istogrammi, riportando solo *digi* a carica alta, non sono idonei a monitorare il rumore dell'elettronica che invece si può osservare con le distribuzioni

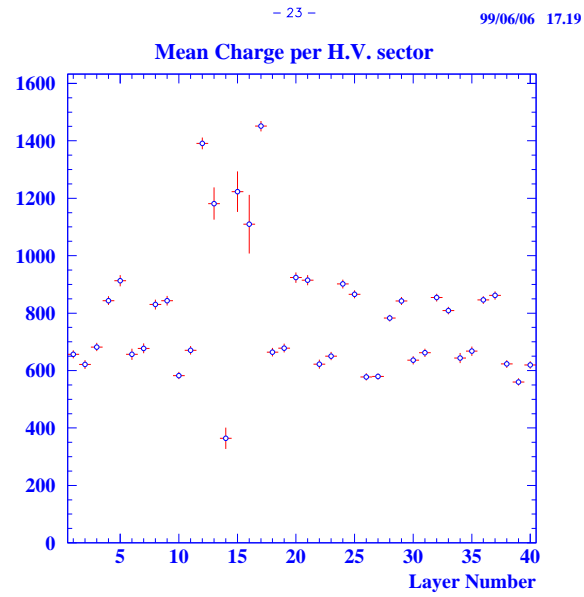
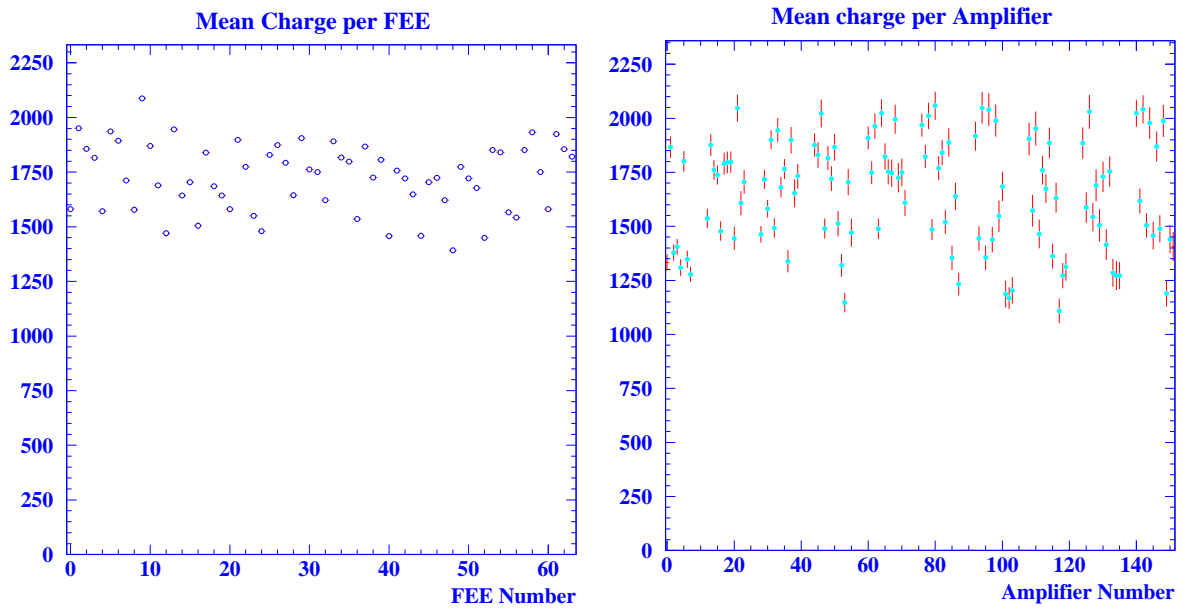
Figura 6.25: *Carica per canale di HV, settore outer*(a) *Carica media per FEE*(b) *Carica media per Amplificatore*

Figura 6.26:

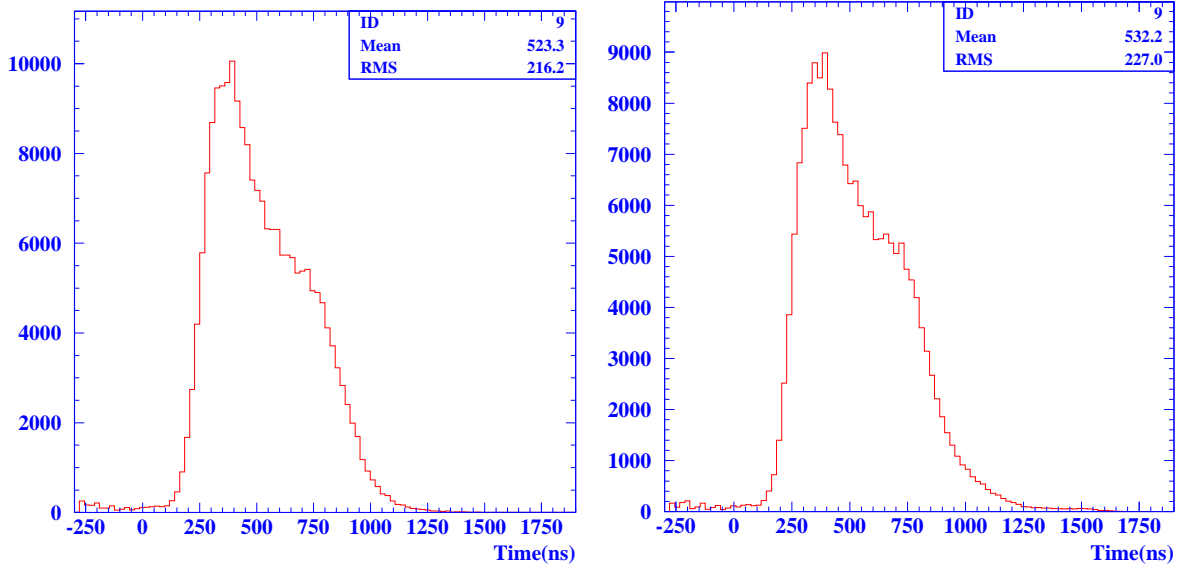
temporali, come detto in precedenza.

6.2.4 Istogrammi dei tempi

Le distribuzioni dei tempi permettono di controllare molti aspetti del funzionamento del rivelatore e dell'acquisizione. Da una parte esse sono correlate alle caratteristiche della cella (campo elettrico) e ai meccanismi di trasporto degli ioni nel gas, dall'altra danno informazioni sul funzionamento dell'elettronica di lettura (TDC), sul *trigger* (sincronismo e *jitter*) e sul rumore.

La forma della distribuzione viene monitorata attraverso i sei istogrammi **tempo per layer identifier** che separano i contributi provenienti da celle con geometria differente. Nelle figure ??a e ??b sono mostrate le distribuzioni per un *layer* interno e uno esterno a un *superlayer*. In esse si può notare la differenza della configurazione del campo elettrico osservando le larghezza e la forma delle distribuzioni (le RMS differiscono del 4%).

Attraverso questi istogrammi è possibile monitorare la posizione della distribuzione all'interno della finestra di acquisizione di $2.2 \mu\text{s}$ (sincronismo del *trigger*) e l'entità del *jitter*. Se il *jitter* è troppo elevato e la distribuzione non è posizionata bene all'interno della finestra, è possibile perdersi una parte della distribuzione compromettendo così la relazione tempo-distanza e la misura del dE/dx (per alcuni segnali non si raccoglie tutta la carica). Il *jitter* si può stimare dal fronte di salita della distribuzione. Nella figura ?? è preso in considerazione un *run* di cosmici e in figura ??a un *run* in cui si hanno avuto collisioni in cui si può osservare un *jitter* maggiore. La distribuzione temporale dipende dal tipo di *trigger* con cui sono stati acquisiti gli eventi utilizzati nel riempimento degli istogrammi; in figura ??b è mostrata la distribuzione temporale per eventi acquisiti con *trigger* di *bunch crossing*. In questo *run* i fasci erano costituiti da 32 pacchetti equispaziati in una zona dell'anello e una parte era lasciata vuota per lasciare tempo di liberare la regione di interazione dalle particelle residue delle interazioni avvenute al passaggio



(a) Distribuzione del tempo di deriva per il layer identifier 3, run di cosmici

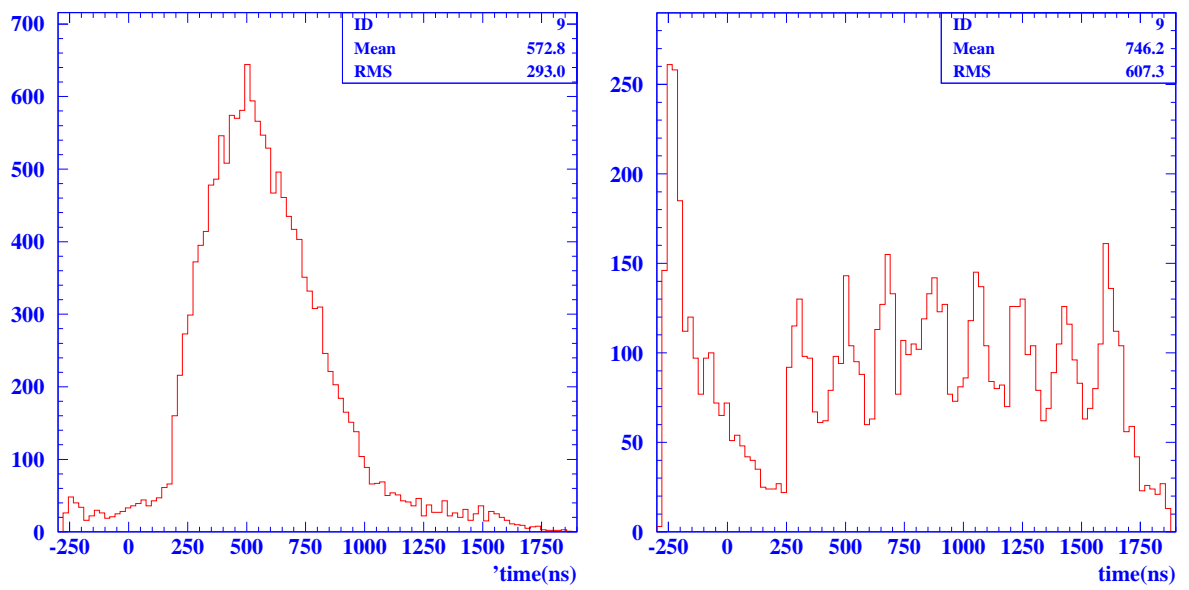
(b) Distribuzione del tempo di deriva per il layer identifier 5, run di cosmici

Figura 6.27:

dei fasci (zona di *ion-cleaning*). Dalla figura si può ricavare la lunghezza di questa zona. Infatti la distanza tra i picchi delle distribuzioni temporali dei pacchetti è di ~ 168 ns che corrisponde a una separazione dei pacchetti di ~ 50 m. Essendo i pacchetti 32 e la lunghezza di PEP 2.2 Km, risulta che la zona di *Ion-cleaning* è di ~ 600 m.

Queste osservazioni mettono in evidenza che il controllo delle distribuzioni temporali è essenziale anche per l'interpretazione degli altri istogrammi del *Fast Monitoring* e che per evidenziare al meglio aspetti diversi del funzionamento della camera o delle condizioni in cui opera è necessario disporre di più processi su diverse selezioni di eventi. Questo argomento sarà ripreso nel paragrafo 6.2.7.

Per le distribuzioni temporali citate sopra è particolarmente importante l'applicazione del taglio in carica. Come spiegato in precedenza il rumore a bassa carica è in gran parte causato dagli scatti del TDC in corrispondenza del *clock* dell'ELEFANT.



(a) *Distribuzione del tempo di deriva, run con collisioni*

(b) *Distribuzione del tempo di deriva, trigger di bunch crossing*

Figura 6.28:

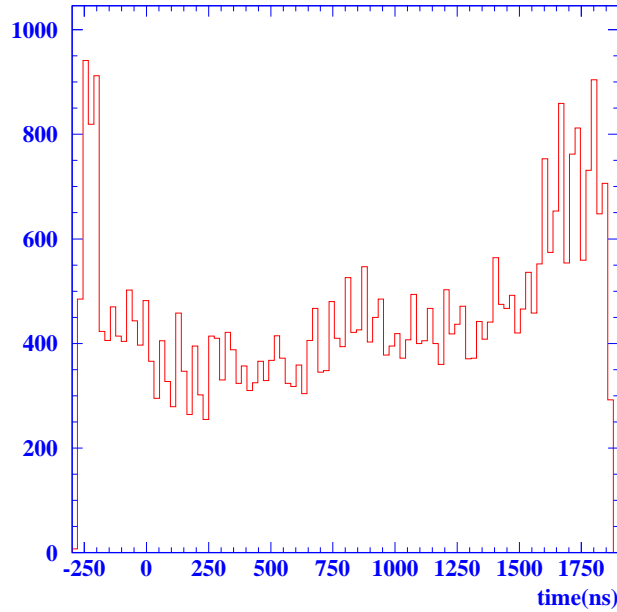


Figura 6.29: *Distribuzione del tempo di deriva senza il taglio in carica. Trigger di bunch crossing*

In figura ?? è mostrata la distribuzione temporale corrispondente a quella della figura ??b senza taglio in carica. Si osserva che la distribuzione è completamente dominata dagli *hit* di rumore (è evidente la periodicità di ~ 67). La componente a tempi negativi sopravvive al taglio in carica (figura ??b). Il rumore ad alta carica è discusso in qualche dettaglio nel capitolo 7.

La quantità di rumore a bassa carica è diversa a seconda del TDC preso in considerazione. Si è osservato che la segmentazione per FEE è adeguata per individuare le componenti elettroniche rumorose (anche se una FEE contiene molti TDC). In figura ?? è mostrata una tipica distribuzione dei tempi per una FEE rumorosa.

6.2.5 Istogrammi di quantità relative alla forma d'onda

In questa categoria rientrano istogrammi relativi a quantità ottenute dai dati in ingresso alle ROM. Queste informazioni non sono disponibili per tutti i *digi* ma solo quelli a cui sono appese le forme d'onda (10 % dei *digi* più ogni volta che si accende

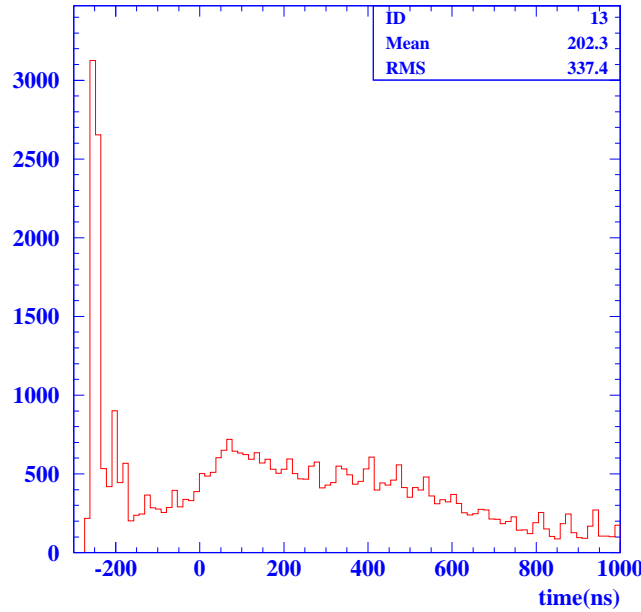


Figura 6.30: *Distribuzione del tempo di deriva, FEE 44*

un bit della *bad flag*). Questi istogrammi permettono di monitorare direttamente i dati grezzi, prima che essi vengano trasformati dalla *feature extraction*.

A questo livello è possibile avere sotto controllo la distribuzione dei tempi misurati dal TDC all'interno dei campioni di 67 ns in cui è segmentata la finestra di acquisizione di $2.2 \mu\text{s}$. Poichè il tempo del TDC è misurato rispetto al *clock* dell'elettronica, questa distribuzione dovrebbe essere piatta. Tuttavia la presenza di rumore associato al *clock* dell'ELEFANT causa un picco in corrispondenza dell'inizio della finestra temporale (come si vede in figura ??).

La presenza di altri picchi nella figura dovrebbe essere dovuta alla presenza di rumore associato all'accoppiamento dei TDC con il *clock* di BABAR (59.9 MHz) che avviene attraverso un altro rivelatore (per esempio questo accade con il calorimetro elettromagnetico). Se così fosse i picchi dovrebbero essere distanziati di ~ 16 ns; la struttura più complessa dell'istogramma può essere attribuita al fatto che componenti diverse dell'elettronica si accoppiano al *clock* con fasi diverse.

Sono anche disponibili i valori della carica misurati dall'ADC nei diversi campi-

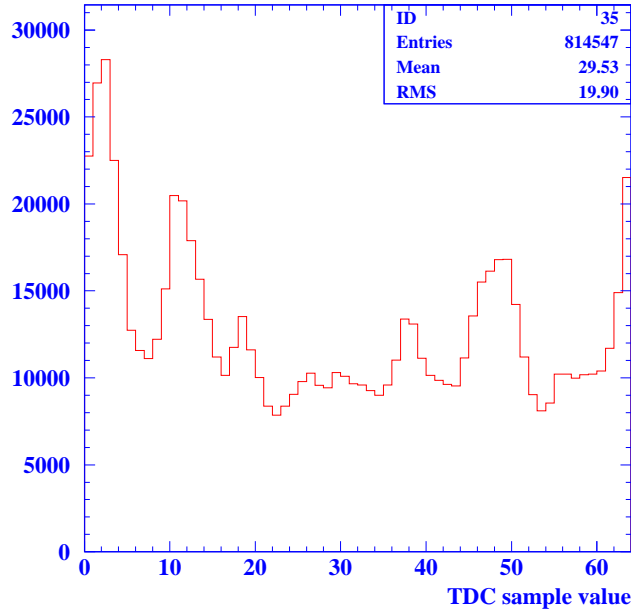


Figura 6.31: Valore del TDC per campione

oni; è quindi possibile avere informazioni sulla forma dell'impulso che vengono perse una volta che la *feature extraction* calcola la carica totale raccolta. In figura ?? sono mostrate le distribuzioni della **carica** per campione e della **carica massima** misurata nella finestra temporale (cioè l'altezza della forma d'onda). Entrambi questi valori sono riportati dopo la linearizzazione (si può notare la bilinearità dell'FADC, Cap.5). Dalla prima distribuzione si possono monitorare i piedistalli (picco centrato a 5 che è lo stesso valore trovato dalla calibrazione *on-line*); il picco ad alta carica si riferisce a campioni in cui l'ADC è andato in saturazione. Il picco a bassa carica della seconda distribuzione corrisponde a *digi* in cui il valore massimo misurato dal FADC è il valore corrispondente al piedistallo e quindi la sua altezza misura il numero di *digi* di rumore. L'altezza del picco degli *overflow* si può confrontare con il numero di volte che si è acceso il bit 3 della *bad flag*. La figura si riferisce allo stesso *run* di figura ?? e il numero di *digi* in questione è in entrambi i casi $\sim 10^4$.

Infine, viene monitorato il **delta bit del FADC** (Cap.5); esso dice quante volte in una forma d'onda la carica misurata dall'ADC era maggiore di una certa soglia

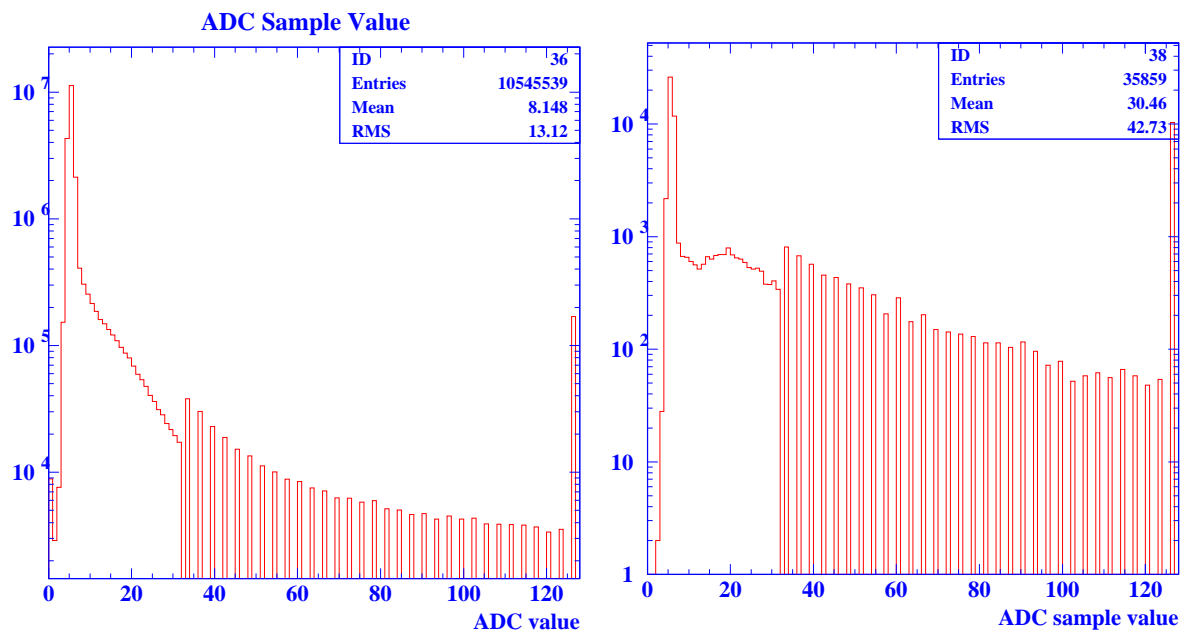
(a) *Carica misurata dall'ADC nel campione*(b) *Massimo valore della carica misurata dall'ADC*

Figura 6.32:

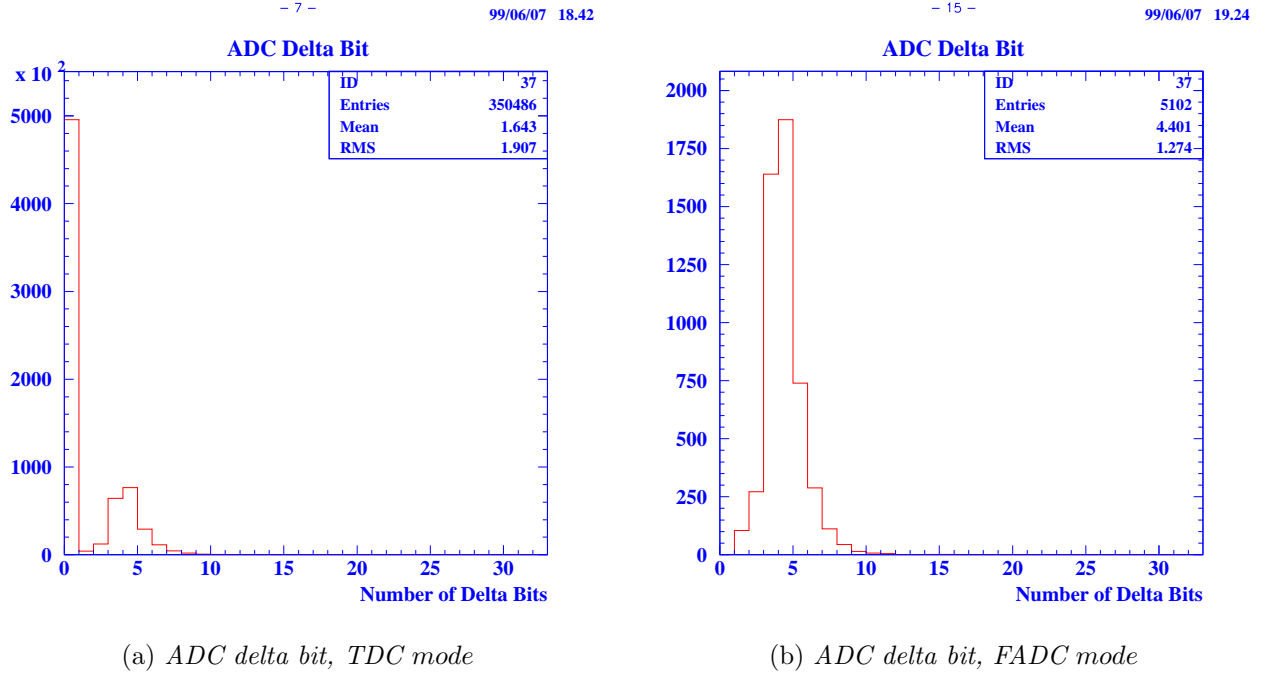


Figura 6.33:

(fissata a due conteggi) di quella relativa a due campioni prima. Anche questa distribuzione tiene sotto controllo i *digi* di rumore; infatti in assenza di segnale fisico la distribuzione della carica nella finestra temporale sarà piatta e il delta bit varrà sempre zero. Dalla figura ??a si vede che il valore tipico per il segnale è circa 5 delta bit per *digi*.

Il delta bit acceso indica la presenza di segnale, oltre il livello del piedistallo, nella forma d'onda. Questa informazione è stata utilizzata per sperimentare un diverso modo di acquisire durante il *commissioning* dell'apparato in cui l'elettronica viene configurata in modo da registrare un *hit* solo quando in un campione il valore del delta bit è uno (*FADC mode*). È stato quindi tagliato il rumore corrispondente al picco a zero di questa distribuzione (l'effetto sul rumore di questo approccio è stato studiato nel capitolo 7). In figura ??b è mostrato lo stesso istogramma per un *run* in *FADC mode*.

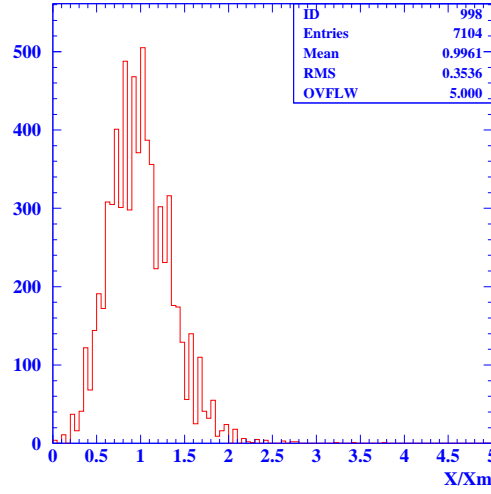
6.3 Individuazione dei fili morti e dei fili rumorosi

Non essendoci istogrammi che monitorano la singola cella, per i motivi citati nel paragrafo 6.2, sono stati implementati degli algoritmi (non ancora ottimizzati) che individuano i fili morti e quelli rumorosi. Sono stati introdotti due criteri diversi per identificare i fili morti o particolarmente inefficienti. Il primo metodo seleziona i canali senza nessun *hit*. Ad alta statistica, questo permette sicuramente di individuare i fili per cui i corrispondenti canali dell'ELEFANT sono rotti. Tuttavia, bisogna tenere conto che può accadere che l'elettronica di un filo sia funzionante mentre è rotto il connettore che lo collega all'ingresso del preamplificatore; in questo caso può essere presente un certo numero di *hit* dovuto al rumore dell'elettronica. Quest'ultimo potrebbe essere eliminato effettuando il taglio in carica, ma rimarrebbero comunque gli *hit* di rumore ad alta carica. Inoltre un filo può essere inefficiente, per esempio, per una diminuzione del guadagno della cella. Una possibilità è quella di considerare morti o inefficienti quei fili per cui il numero di *hit* è minore di una certa percentuale del valore medio di *hit* del *layer* in cui si trova. Il punto in corrispondenza del quale effettuare il taglio può essere determinato considerando la distribuzione (considerando solo *hit* con $Q > 50$) della quantità:

$$\frac{x}{x_m} = \frac{\text{numero di } hit \text{ per filo}}{\text{numero medio di } hit \text{ per filo nel layer}} \quad (6.1)$$

Tale distribuzione è mostrata in figura ??.

Un algoritmo più sofisticato che studia lo spettro della carica di questi fili, dovrebbe distinguere tra i casi sopra citati (filo con il connettore staccato, filo inefficiente). Al momento il secondo metodo individua i fili con un numero di *hit* diverso da zero e inferiore al 5% del valore medio; tali fili, vengono chiamati “sospetti” e per il momento si controlla solo che non aumentino al passare del tempo. Dalla distribuzione della stessa quantità riportata nella ?? senza il taglio in carica si può individuare il punto dove tagliare per selezionare i fili rumorosi. Attualmente viene fatto un taglio al 300% del valore medio. In questo discorso bisogna tenere presente che è necessario considerare una tipologia di eventi in cui la distribuzione spaziale

Figura 6.34: Distribuzione di x/x_m

sia uniforme. Per esempio, con i raggi cosmici, questi algoritmi non sono efficaci perchè essi causano un'*occupancy* maggiore nelle zone *upper* e *lower* della camera e quindi alcuni fili possono sembrare morti mentre invece non lo sono. Quindi questi algoritmi dovrebbero essere inseriti solo per quei processi di *Fast Monitoring* che analizzano *stream* di eventi che illuminano uniformemente la camera (paragrafo 6.2.7).

6.4 Le stream di eventi utilizzate per il monitoring

Nel riempimento degli istogrammi del *Fast Monitoring* bisogna tenere conto che le distribuzioni delle quantità monitorate sono fortemente condizionate dal tipo di eventi considerati e che istogrammi con segmentazioni diverse hanno differenti esigenze rispetto alla frequenza degli eventi da analizzare. Risulta quindi opportuno avere dei processi di *Fast Monitoring* separati che riempiono con topologie differenti di eventi un sottoinsieme di istogrammi opportunamente scelto. Il disegno dell'OEP (Cap.4) prevede che su ognuno dei nodi della *farm on-line*, 5 processi di

Fast Monitoring analizzino contemporaneamente eventi provenienti da *stream* diverse. Ogni *stream* è ottenuta dagli eventi accettati da L1 o L3 filtrandoli sulla base della maschera di *trigger* (Cap.2). La frequenza di eventi delle *stream* deve essere compatibile con le risorse di CPU allocate per il processo (Cap.4). Sono previsti i seguenti processi:

- *Stream* ad alta frequenza proveniente da L1. Essa fornisce alta statistica in tempi brevi (la frequenza di eventi accettati da L1 è 2 kHz), e riempie l'insieme di istogrammi per il *monitoring* generale che deve dare informazioni sul funzionamento della camera in tempi brevi.
- *Stream* a bassa frequenza proveniente da L1. Essa contiene gli istogrammi con le segmentazioni più fini per il *monitoring* dettagliato che possono essere riempiti durante il *run* con minore priorità.
- *Stream* proveniente da L1 che seleziona *trigger* di *bunch crossing*. Il passaggio dei fasci avviene con una frequenza elevata ma questo *trigger* viene prescalato a livello *hardware* fino a una frequenza di 2Hz. Questa *stream* verrà utilizzata per monitorare il *background* e quindi verranno riempiti solo gli istogrammi di *occupancy* e gli *scaler* che sono quelli che danno le informazioni significative.
- *Stream* di Bhabha. Essa ha il vantaggio di illuminare uniformemente la camera in ϕ con eventi dalle caratteristiche note.
- *Stream* di eventi accettati da L3. Si tratta di tre processi con insiemi di istogrammi diversi, uno per il *monitoring* dettagliato, uno per quello generale e uno per gli *scaler*. Gli eventi che hanno superato la selezione effettuata da L3 permettono di monitorare la risposta della camera dopo l'eliminazione del *background*.

La scelta della maschera di *trigger* non è stata ancora effettuata. Si pensa di non utilizzare un *trigger* di camera perchè in questo caso un malfunzionamento

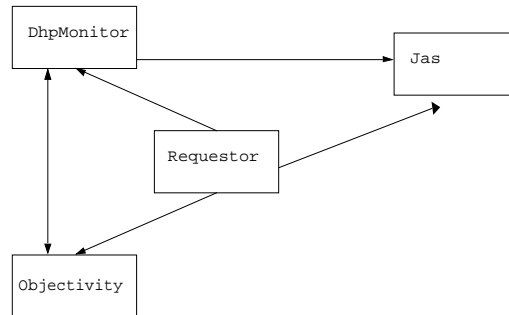


Figura 6.35: Schema delle interazioni di DhpMonitor

della camera si rifletterebbe sul tipo di eventi monitorati e potrebbe nascondere il problema. Inoltre, deve essere scelto un tipo di *trigger* che tenga conto della priorità e della velocità delle linee attivate (Cap.2) poichè esse influenzano la collocazione e la forma della distribuzione temporale all'interno della finestra di acquisizione. Questo si può vedere in figura ?? dove è mostrata la distribuzione dei tempi di deriva corrispondente a linee di *trigger* differenti (la distribuzione più a sinistra corrisponde a un *trigger* di IFR mentre quella più a destra a un *trigger* di camera).

6.5 Confronto con gli istogrammi di riferimento

Uno dei compiti del *Fast-Monitoring* è quello di segnalare i problemi in modo automatico, in modo che non sia necessario che gli istogrammi siano controllati da un esperto del rivelatore. Questo verrà fatto attraverso dei controlli automatici con degli istogrammi di riferimento. Attualmente, essendo un momento di studio del rivelatore e di PEP-II, le condizioni di *run* cambiano spesso e con esse l'aspetto di

molti istogrammi. Infatti il tipo di *trigger* influenza gli eventi selezionati e quindi l'*occupancy* della camera, le distribuzioni temporali e le correnti dei fasci hanno un impatto sul *background* e i rivelatori accesi o spenti durante i *run* influenzano il rumore elettronico. Come soluzione temporanea si utilizzano dei *reference* differenti che separano i tipi di *trigger* più diversi.

I confronti *on-line* degli istogrammi saranno effettuati utilizzando i pacchetti di DHP. Il pacchetto DhpMonitor permette i confronti automatici tramite *test* del χ^2 e *test* di Kolmogorov; un eventuale fallimento del test può essere segnalato a seconda della gravità del problema, con una *mail* agli esperti o un messaggio di errore sul pannello *JAS*. Gli istogrammi di riferimento sono letti dal *conditions* database (Cap.4) mentre gli istogrammi da confrontare sono invece prelevati dal *requestor* secondo lo schema mostrato in figura ??.

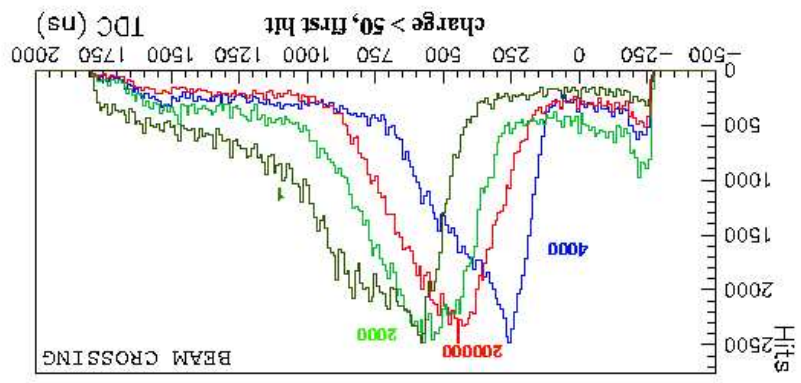


Figura 6.36: Distribuzione temporale per diverse linee di trigger all'interno della finestra di acquisizione.

Capitolo 7

Studi di rumore

7.1 Introduzione

Durante il *run* di cosmici che si è svolto tra ottobre '98 e gennaio '99 (Cap.5) è stata effettuata un'analisi *off-line* del rumore presente nella camera a deriva al fine di stabilire un criterio per identificarlo e separarlo dal segnale. L'analisi ha evidenziato che la maggior parte del rumore è dovuta al *pick-up* di segnali di sincronizzazione da parte dei TDC e può essere discriminata con un taglio sul valore della carica associata. Questo ha permesso di introdurre nel *Fast Monitoring* la possibilità di controllare separatamente il rumore dell'elettronica e il segnale rendendo più immediata la comprensione delle variazioni della risposta della camera osservate nelle diverse condizioni di lavoro che si sono presentate durante il periodo di *commissioning* dell'apparato e nella fase di *tuning* dell'acceleratore. Il taglio viene anche applicato dalla *Prompt Reconstruction* in modo da eliminare il rumore elettronico che potrebbe interferire nella ricostruzione.

7.2 Rumore in assenza di campo magnetico

La prima parte del *run* si è svolta con il magnete spento. Lo studio in assenza di campo magnetico va considerato come uno studio preliminare: un'analisi completa

è stata effettuata sui dati presi con il magnete acceso. Sono stati studiati 30000 eventi di un *run* con le caratteristiche riassunte in tabella ??.

Alta tensione (V)	1960
Soglia del discriminatore (mV)	200
Percentuale isobutano(%)	20
Ossigeno (ppm)	65
Pressione atmosferica (mbar)	1006
<i>Trigger</i>	centrale

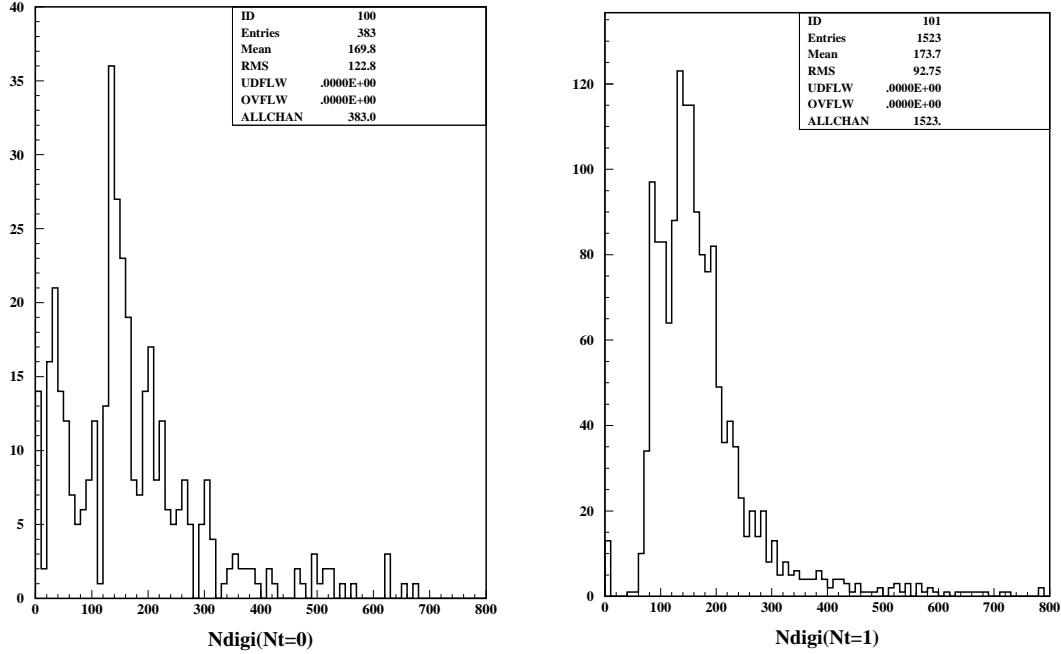
Tabella 7.1:

7.2.1 Distribuzione del numero di *digi*

Come prima cosa è stata studiata la distribuzione del numero di *digi* per evento in funzione del numero di tracce ricostruite (N_t). Le tracce selezionate dallo scintillatore (che costituiva il *trigger* durante il *run* come spiegato nel capitolo 5) passano nella zona centrale della camera quindi ci si aspettano circa 40 *digi* (1 per *layer*) se il cosmico ha attraversato solo metà della camera e 80 *digi* se la particella ha attraversato completamente il rivelatore dando luogo a due tracce contrapposte.

Le distribuzioni sono mostrate nelle figure ??a, ??b e ?? per 0, 1 e 2 tracce ricostruite. Si possono notare immediatamente dei picchi non correlati al numero di *digi* atteso visto il numero di tracce ricostruite. In ogni caso il picco a zero *digi* corrisponde a eventi in cui tutte le ROM sono andate in *overflow* (eventi con più di 800 *digi*, Cap.6). La maggiore parte degli eventi ha due tracce ricostruite (79.3 %); è comunque utile prendere in considerazione tutti casi:

- $N_t = 0$ (figura ??a). Possono essere distinti due picchi: il primo è centrato a ~ 40 *digi* mentre il secondo è a ~ 150 . Sono stati guardati eventi di questo tipo ed è risultato che il primo picco è puro rumore ($\sim 0.2\%$ degli eventi) mentre il



(a) Numero di digi per evento con 0 tracce ricostruite

(b) Numero di digi per evento con 1 traccia ricostruita

Figura 7.1:

secondo è dovuto a inefficienze di tracciamento poichè si tratta di eventi con due tracce di cui nessuna è stata ricostruita ($\sim 0.4\%$ degli eventi).

- $N_t = 1$ (figura ??b). Sono presenti due picchi: uno a ~ 90 che corrisponde a eventi a una traccia ($\sim 1.2\%$ degli eventi) e il secondo a ~ 140 in cui ci sono eventi con due tracce di cui una sola è stata ricostruita ($\sim 1.5\%$ degli eventi).
- $N_t = 2$ (figura ??). É presente un picco centrato a ~ 140 digi per evento.

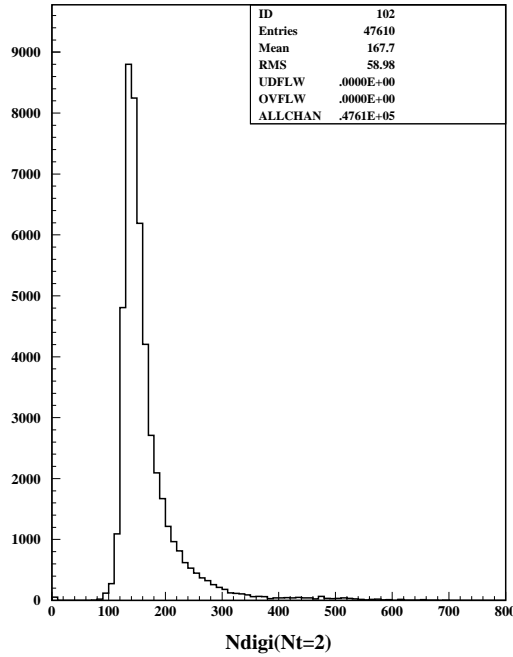


Figura 7.2: Numero di *digi* per evento con 2 tracce ricostruite

In queste distribuzioni bisogna tenere conto della presenza degli elettroni a bassa energia (δ -ray) prodotti nelle interazioni dei muoni; ad essi sono associate tracce curve (non ricostruite, visto che in assenza di campo magnetico l'algoritmo di tracciamento era ottimizzato per tracce dritte) a causa della diffusione multipla, con un numero di *digi* variabile. Sono inoltre presenti i *digi* di *rumore*. Per capire l'origine del rumore si è fatta l'ipotesi che esso sia costituito da due componenti: una indotta dalla presenza di un segnale in una cella vicina, e quindi correlata al numero di *hit* sulla traccia, e l'altra indipendente dal segnale. Dalle distribuzioni considerate in precedenza si può dare una prima valutazione del rumore correlato alla traccia assumendo una relazione di proporzionalità tra il numero di *hit* sulla traccia e il numero di *digi* di rumore che esso provoca. I valori medi delle corrispondenti distribuzioni sono quindi:

$$x_n = x_0 + k * x_d \quad (7.1)$$

$$x_m = x_n + x_d \quad (7.2)$$

dove:

x_n = Valore medio del numero di *digi* di rumore.

x_0 = Valore medio del numero di *digi* di rumore indipendente dalla traccia.

x_d = Valore medio del numero di *hit* sulla traccia.

x_m = Valore medio del numero di *digi*.

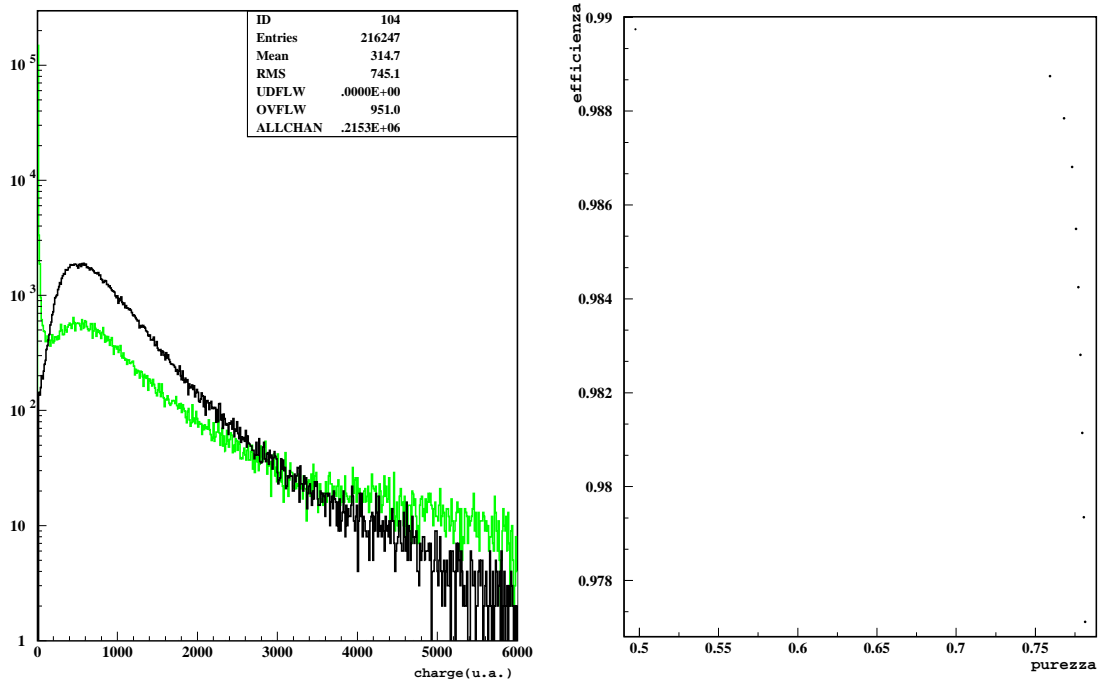
k = Frazione di rumore correlato alla traccia

Sostituendo $x_0 = 40$, che si ricava dal primo picco in figura ??a (*digi* in assenza di tracce), $x_m = 140$ (figura ??b) e $x_d = 80$, il rumore correlato alla traccia (k) risulta del 25% (20% del rumore totale).

7.2.2 Taglio in carica e rumore del TDC

Per individuare la natura del rumore sono state prese in considerazione le distribuzioni della carica e dei tempi di deriva. In figura ??a sono sovrapposte le distribuzioni della carica raccolta per *hit* sulla traccia (*HOT*, *Hit-On-Track*) e non sulla traccia (*HNOT*, *Hit-Not-On-Track*). La distribuzione dei *NHOT* ha un pronunciato picco a bassa carica, che può essere associato a rumore, più una parte che ha la forma di una distribuzione fisica, che corrisponde principalmente ai *digi* delle tracce non ricostruite (si può notare la coda ad alte energie rilasciate, tipica di particelle di bassa energia) e agli *hit* non assegnati a una traccia ricostruita pur appartenendovi (*hit missing*).

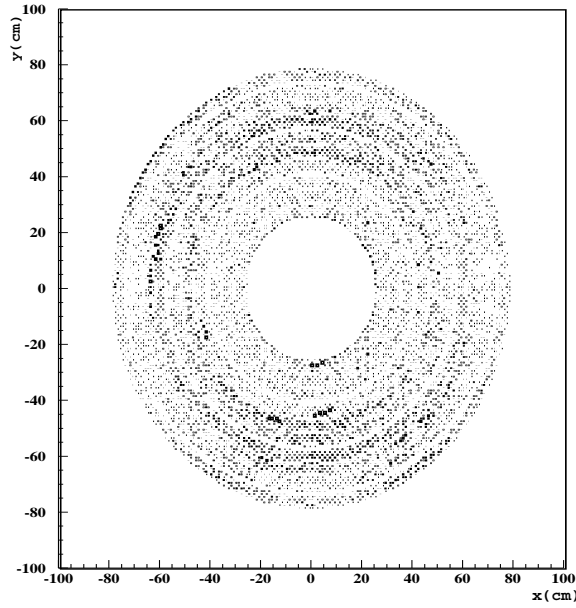
La distribuzione mostra quindi che la carica potrebbe essere un buon parametro per separare il segnale dal rumore. Il valore del taglio è stato ottimizzato studiando,



(a) *Distribuzione della carica per HOT e HNOT*

(b) *Efficienza in funzione della purezza per diversi valori del taglio*

Figura 7.3:

Figura 7.4: Mappa degli hit con $Q < 50$ u.a.

in funzione della carica, l'efficienza (ϵ) della selezione e la purezza (π) del campione selezionato. Le due variabili sono state definite come:

$$\epsilon = \frac{\text{Numero di } HOT \text{ con carica maggiore del taglio}}{\text{Numero totale di } HOT} \quad (7.3)$$

$$\pi = \frac{\text{Numero di } HOT \text{ con carica maggiore del taglio}}{\text{Numero di } HOT \text{ e di } NHOT \text{ con carica maggiore del taglio}} \quad (7.4)$$

L'andamento dell'efficienza in funzione della purezza è mostrato in figura ??b. È stato scelto un taglio a $Q_{cut} = 50$ u.a. che corrisponde a $\epsilon \sim 98.5\%$ e $\pi \sim 80\%$; dopo di esso non si guadagna in purezza ma comincia a aumentare rapidamente la percentuale di *hit* sulla traccia che si perdono con il taglio.

In figura ?? è riportata la distribuzione spaziale degli *hit* con $Q < 50$ u.a.. La regione più rumorosa risulta essere quella delle FEE centrali.

Per comprendere la provenienza del rumore a bassa carica è stata presa in considerazione la distribuzione dei tempi di deriva. In figura ?? sono riportate le

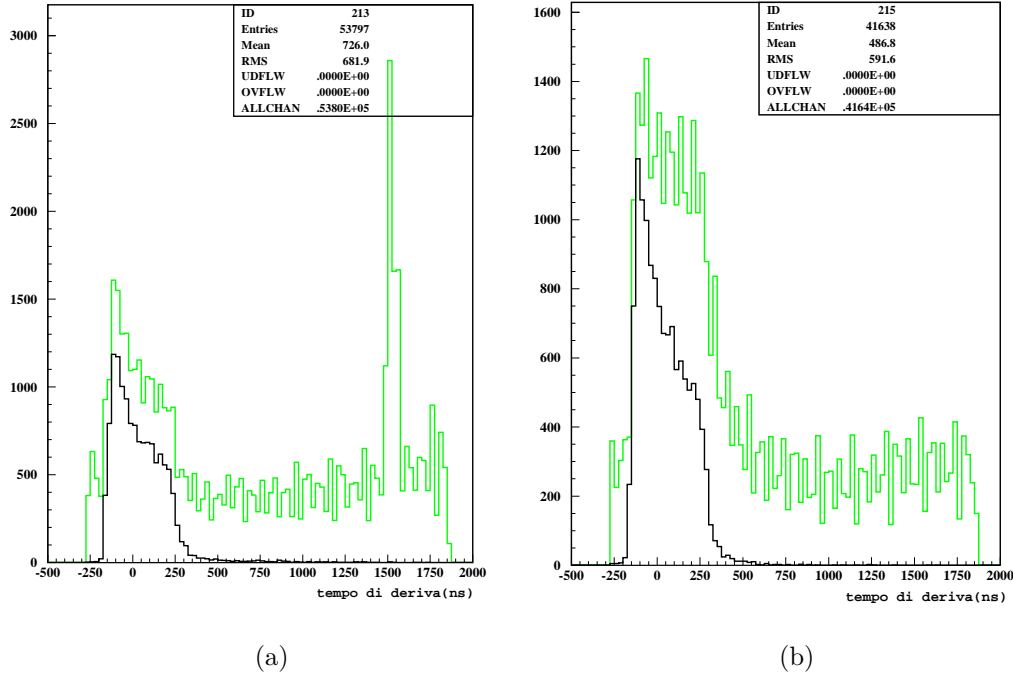


Figura 7.5: Distribuzione dei tempi di deriva per i layer 29 e 30

distribuzioni temporali prima e dopo il taglio in carica per i layer 29 e 30; la distribuzione prima del taglio è quella che si presenta con una struttura frastagliata di periodo di ~ 67 ns, che corrisponde alla frequenza del *clock* dell'*ELEFANT*. Come si vede il taglio in carica elimina questa struttura. Si può quindi concludere che è presente del rumore causato dallo scattare dei *TDC* in corrispondenza del *clock* dell'elettronica senza un corrispondente segnale nell'ADC, eliminabile con un taglio a $Q = 50$ u.a..

Il picco a ~ 1500 ns nel layer 29 corrisponde al tempo di *trigger*; infatti nel layer 29 erano temporaneamente posizionati i fili del *trigger* e 1500 ns è proprio il ritardo inserito per evitare che questo picco coprisse il segnale (Cap.5).

Le figure ??a, ??b e ??, mostrano come cambia la distribuzione del numero di *digi* dopo il taglio.

Nel caso di 0 tracce ricostruite, risulta evidente una periodicità di 40 *digi* che corrisponde a un numero crescente di tracce non ricostruite. Un evento tipico del

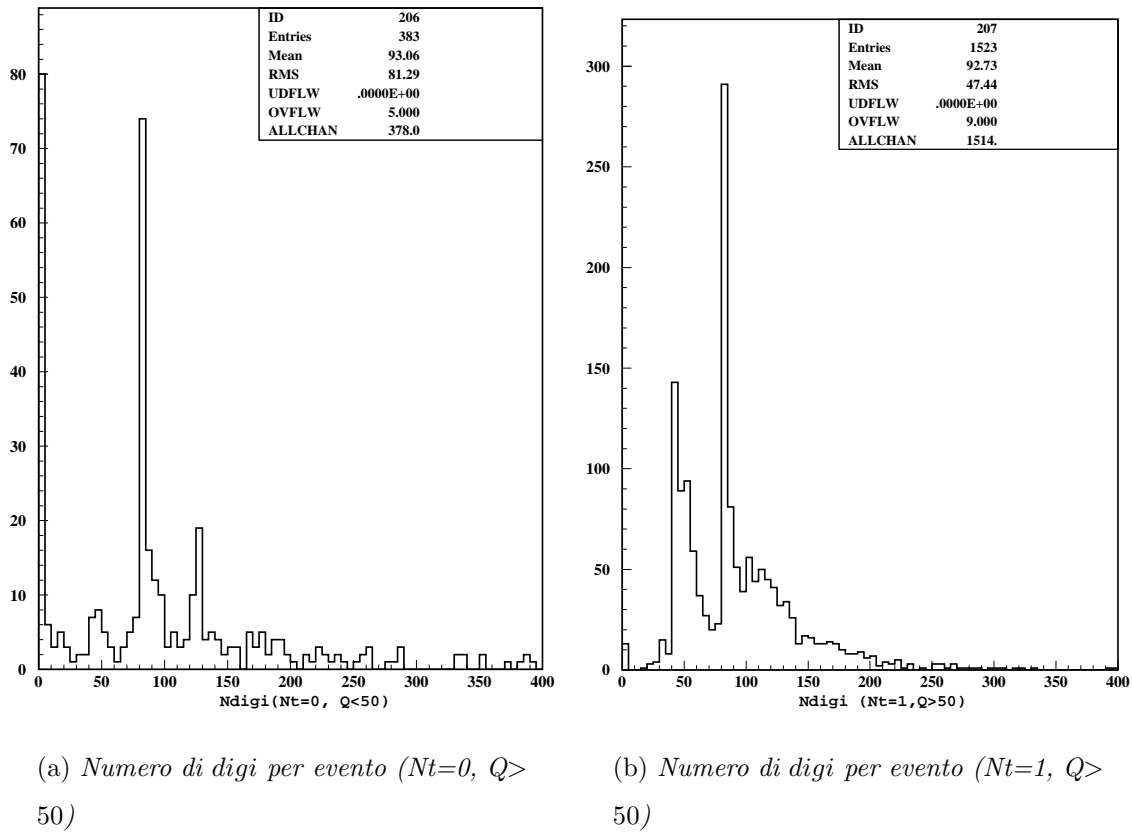


Figura 7.6:

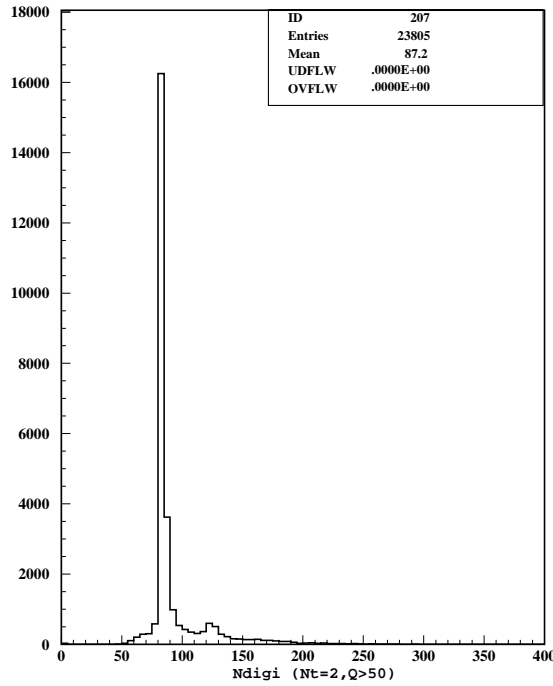


Figura 7.7: Numero di *digi* per evento ($N_t=2, Q>50$)

primo picco è mostrato in figura ??, mentre eventi degli altri picchi sono nelle figure ?? e ??.

Il significato del colore degli *hit* è il seguente:

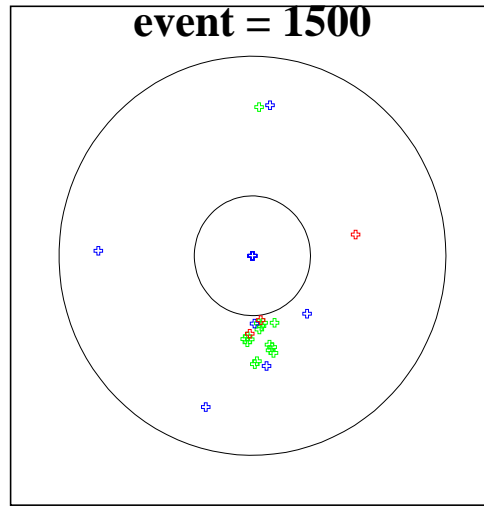
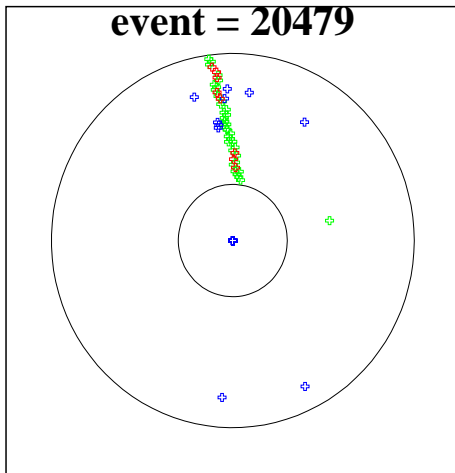
-nero = *hit* sulla traccia.

-rosso = *hit* con un bit della *bad – flag* acceso (Cap 5).

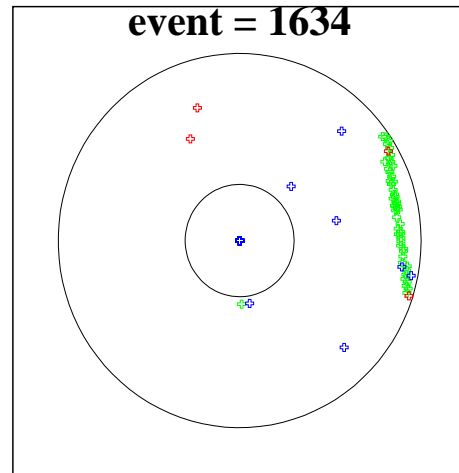
-blu = *hit* con $Q<50$.

-verdi = *hit* che non rientra in una delle due categorie precedenti e che però non è stato associato a una traccia.

Nella distribuzione di figura ?? (numero di *digi* in eventi con una sola traccia ricostruita) il primo picco corrisponde effettivamente ad eventi con solo una traccia ricostruita (figura ??a) mentre il secondo è dovuto a eventi a due tracce in cui solo una è stata correttamente ricostruita (figura ??b). La coda della distribuzione è dovuta essenzialmente a topologie come quelle mostrate nelle figure ??a , ??b, ??) dovute

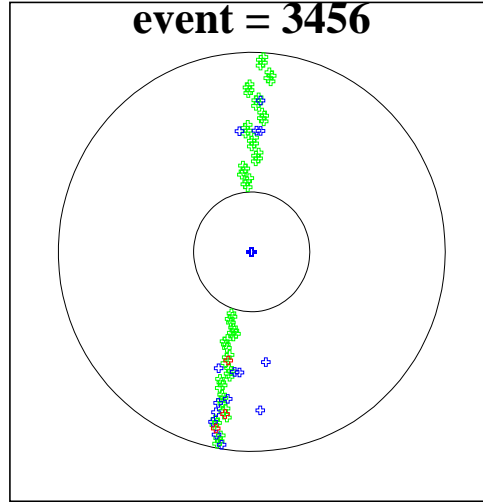
Figura 7.8: $Nt=0$ Puro rumore (Primo picco)

(a)



(b)

Figura 7.9: $Nt=0$ secondo picco.

Figura 7.10: $Nt=0$ terzo picco

principalmente a δ -ray o conversioni sulle pareti interna o esterna della camera.

Il grafico relativo a eventi con due tracce ricostruite presenta invece un solo picco pronunciato che corrisponde a eventi come quello mostrato in figura ??b. Il valore del picco, ottenuto con fit gaussiano (figura ??), è di 81.5 *digi* per evento. Il risultato del fit indica quindi che in media ci sono 1.5 *digi* in più di quanto ci si aspetterebbe in un attraversamento ideale della camera (un *hit* per *layer*). A questo valore possono contribuire sia *hit* di rumore ad alta carica (per esempio *cross-talk*) che *hit* di segnale nel caso che la particella attraversi un *layer* nella zona di confine tra due celle contigue.

Gli eventi a sinistra del picco (figura ??a) corrispondono a casi in cui il cosmico non ha attraversato tutta la camera ma è uscito attraverso i piatti. Ciò può essere verificato in figura ??a dove tutti gli *hit* cadono al di fuori della regione del piano z_0 -tandip (Cap 5) dove la traccia attraversa l'intera camera (parte interna al rombo). Gli eventi nel picco a destra del picco principale sono eventi a tre tracce in cui una non è stata ricostruita, come mostrato in figura ?? b. Nuovamente la coda verso

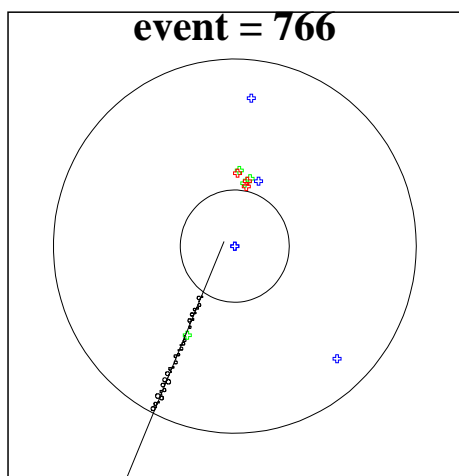
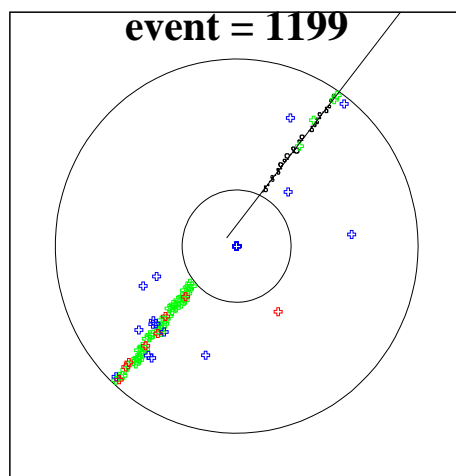
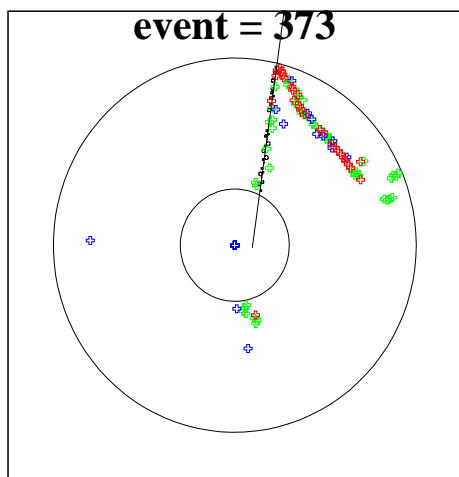
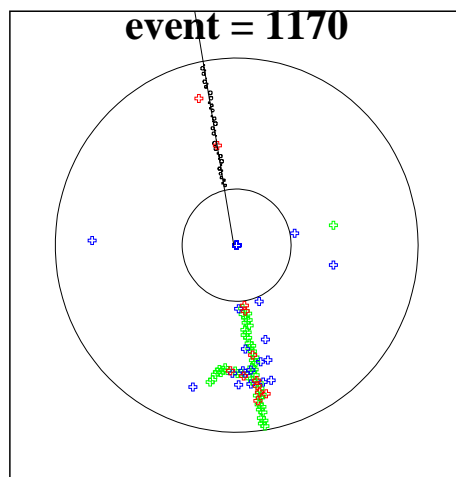
(a) $Nt=1$ primo picco(b) $Nt=1$ secondo picco

Figura 7.11:



(a)



(b)

Figura 7.12: $Nt=1$ zona successiva ai picchi

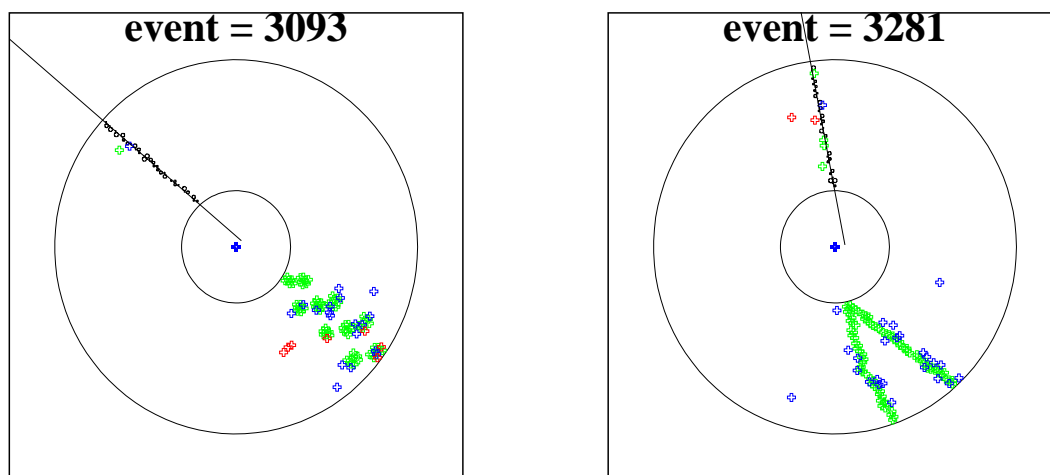
(a) $N_{trk}=1$ zona successiva ai picchi(b) $N_{trk}=1$ coda

Figura 7.13:

destra della distribuzione è dovuta principalmente a inefficienze della ricostruzione per quegli eventi dove interazioni con il materiale danno luogo a più tracce curve o che non puntano al centro della camera.

Da questa analisi su dati presi in assenza di campo magnetico è già evidente che un taglio in carica elimina gran parte del rumore elettronico presente nella camera a deriva. La presenza di particelle a basso impulso rende tuttavia difficile uno studio quantitativo che è invece possibile in campo magnetico dove i δ -ray vengono assorbiti nella cella dove sono stati prodotti.

7.3 Rumore in presenza di campo magnetico

In presenza di campo magnetico le particelle di basso impulso (δ -rays) hanno una traiettoria con un raggio di curvatura molto piccolo e depositano tutta l'energia in una o poche celle. Ad esse quindi non è associata una traccia e il numero di *hit* nella camera diminuisce.

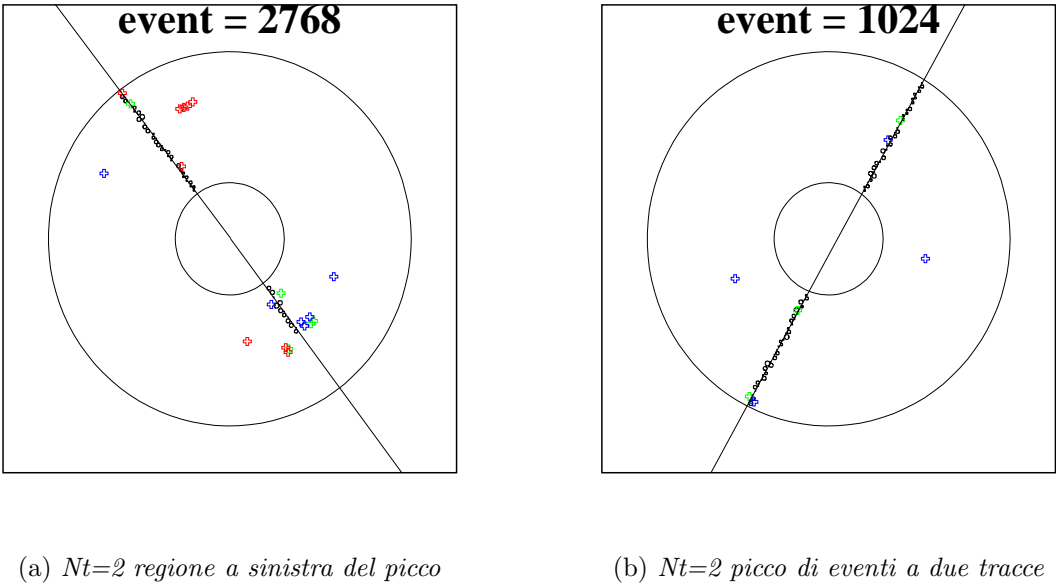


Figura 7.14:

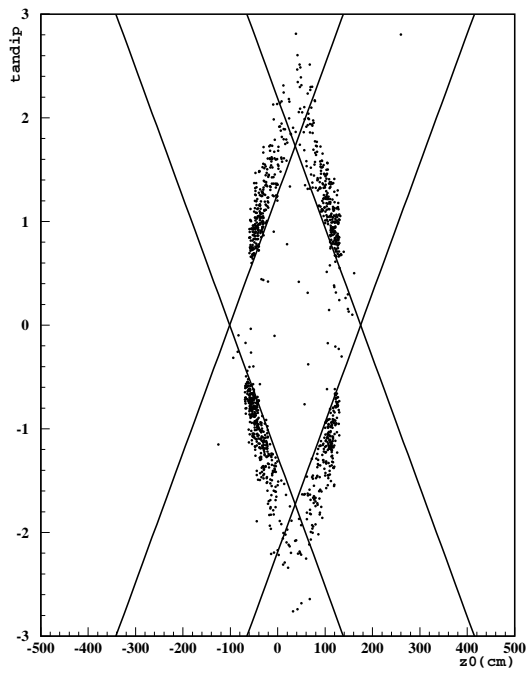
7.3.1 Distribuzione del numero di *digi*

Le caratteristiche del *run* preso in considerazione sono riportate in tabella ??; sono stati analizzati 10000 eventi.

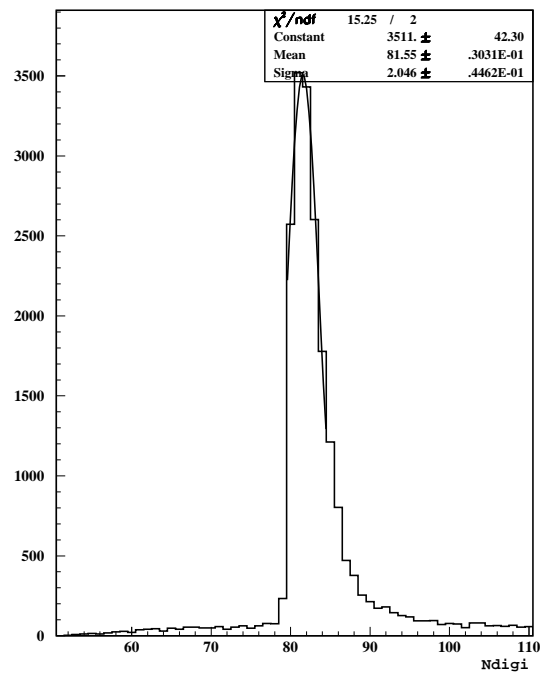
Alta tensione (V)	1960
Soglia del discriminatore (mV)	200
Percentuale isobutano(%)	20
Ossigeno (ppm)	80
Pressione atmosferica (mbar)	1006
Trigger	centrale

Tabella 7.2:

La distribuzione del numero di *digi* per evento è riportata in figura ??; come aspettato il valore medio è diminuito (153.2 anzichè 170). Nelle figure ?? e ?? si



(a) *Tandip in funzione di z_0 per tracce che non attraversano tutta la camera*



(b) *Fit gaussiano al picco di eventi a due tracce*

Figura 7.15:

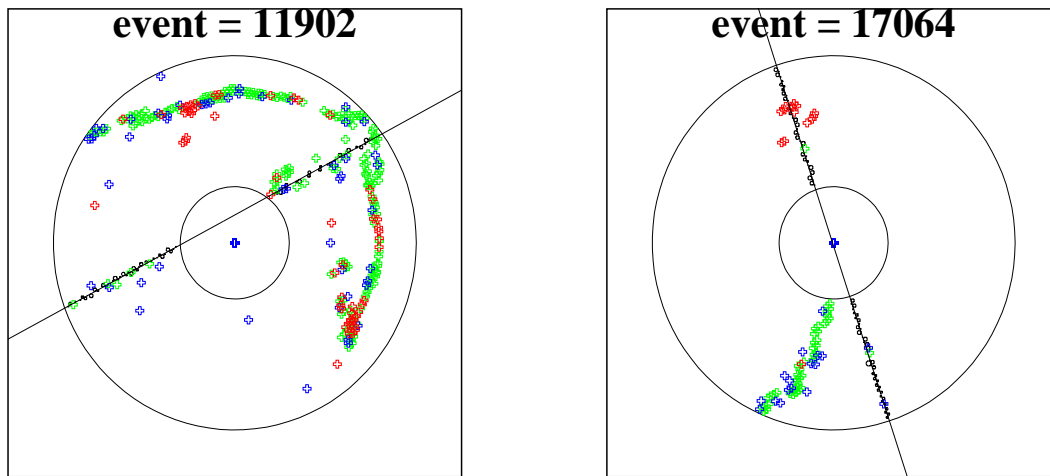
(a) $N_t=2$ coda a destra del picco(b) $N_t=2$ picco di eventi a tre tracce

Figura 7.16:

distinguono i casi $N_t = 0, 1, 2$.

In tabella ?? sono paragonate la percentuale di eventi con N_t tracce ricostruite e la media del numero di *digi* per evento con le corrispondenti quantità in assenza di campo magnetico.

N_t	% eventi (B off)	media Ndigi	% (B on)	media Ndigi
0	2.6	169.8	1.1	108.5
1	2.5	173.7	3.9	145.5
2	79.0	167.7	92.8	151.0

Tabella 7.3:

Analizzando separatamente i vari casi:

- $N_t = 0$. La struttura a picchi è scomparsa confermando quindi l'interpretazione data ad essa in assenza di campo magnetico.

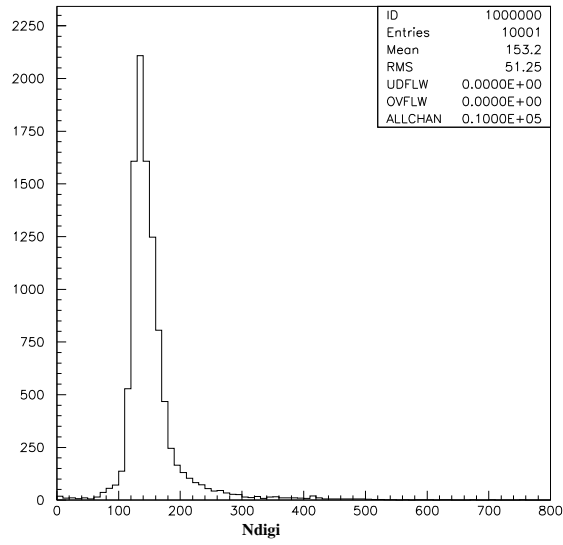


Figura 7.17: Numero di digi per evento

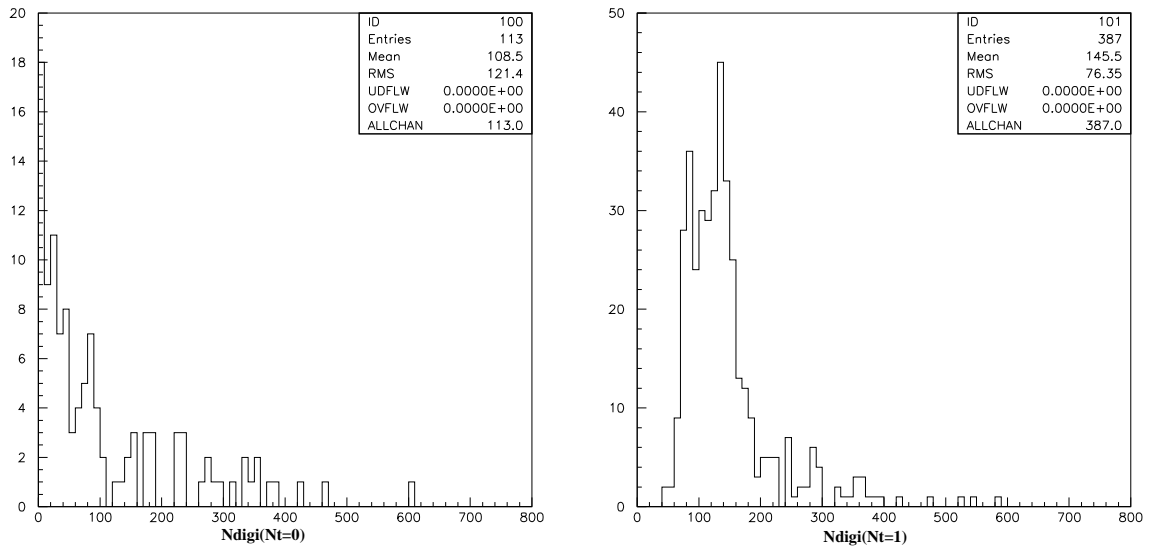
(a) Numero di digi per evento ($N_t = 0$)(b) Numero di digi per evento ($N_t = 1$)

Figura 7.18:

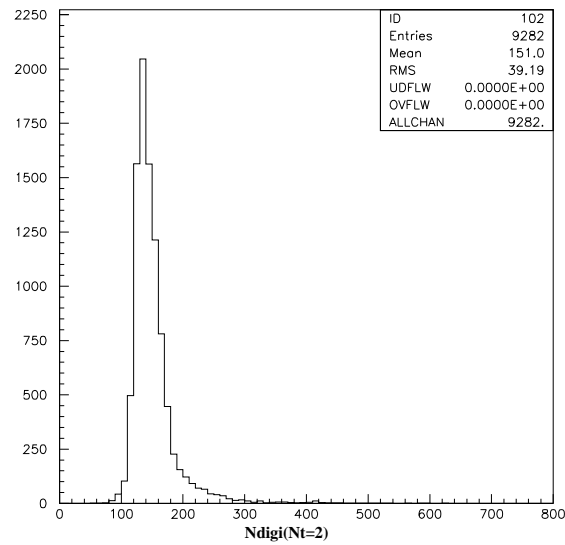


Figura 7.19: Numero di *digi* per evento ($N_t = 2$)

- $N_t = 1$. Sono presenti due picchi: uno a 40 e l'altro a 120, come in assenza di campo magnetico. Si tratta di eventi a una traccia o a due tracce con una traccia non ricostruita. Questo risultato era atteso nell'ipotesi che il rumore a bassa carica sia dovuto a *pick-up* dell'elettronica e quindi indipendente dalla presenza del campo magnetico. Infatti assumendo il valore medio dello spettro di impulso dei μ pari a 5.7 GeV (media della distribuzione di impulso delle tracce ricostruite, figura ??) si ottiene una curvatura di circa 13 metri: i cosmici attraversano la camera praticamente dritti e il numero di celle attraversate per eventi a una e a due tracce è uguale a prima.
- $N_t = 2$. Picco a 140 *digi* per evento. La percentuale di eventi di questo tipo è aumentata del 13 % in corrispondenza della diminuzione di eventi a più tracce.

Per dare una stima del rumore correlato alla traccia viene presa in considerazione la relazione applicata in precedenza:

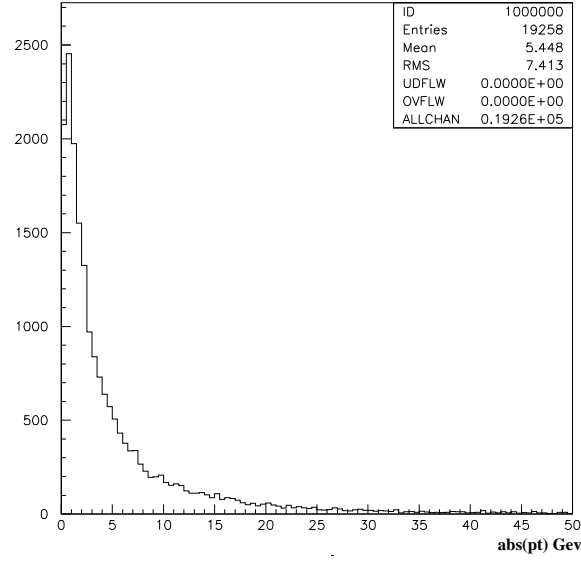


Figura 7.20: Distribuzione di impulso delle tracce

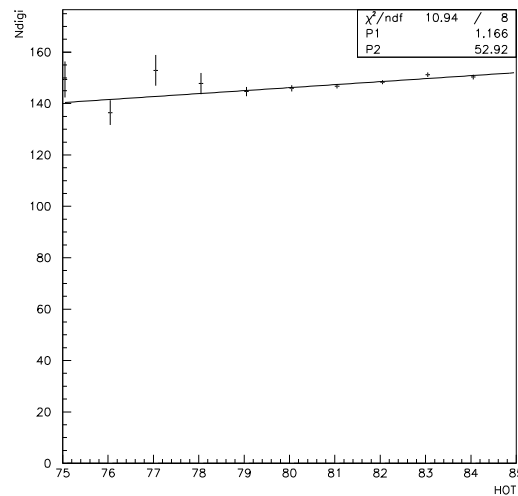
$$x_m = (k + 1)x_d + x_0 \quad (7.5)$$

Per ricavare k e x_0 è stato effettuato un fit lineare alla figura ?? dove sono riportati il numero di *digi* in funzione del numero di *hit* sulla traccia più quelli *mancanti* per evento. Un *hit* è dichiarato *mancante* quando la traccia è passata per la cella ma in essa non è stato trovato nessun HOT. Sono stati utilizzati solamente eventi a due tracce con un numero di HOT vicino a 80, per evitare tracce ricostruite solo parzialmente. Dal fit risulta:

$$k = 0.16 \pm 0.07$$

$$x_0 = 52.9 \pm 6.1$$

Per una traccia che attraversa 40 *layer* abbiamo quindi ~ 6 *digi* di rumore; essi costituiscono l' 11 % circa del rumore totale. La maggior parte del rumore è invece indipendente dal segnale. Nei paragrafi successivi si è cercato di identificare l'origine di queste componenti.

Figura 7.21: Numero *digi* in funzione di numero *hot*

7.3.2 Ottimizzazione del taglio in carica

In assenza di campo magnetico è stato identificato rumore a bassa carica correlato agli scatti del TDC in corrispondenza del *clock* dell'elettronica.

In figura ??a è mostrata la sovrapposizione delle distribuzioni della carica per *hit* sulla traccia con quella per *hit* non sulla traccia. Si può notare una diminuzione della coda ad alta carica nella distribuzione degli *hit* non sulla traccia.

Per ottimizzare il taglio in carica sono state considerate efficienza e purezza come in precedenza (figura ??b). In tabella ?? sono riportati i valori corrispondenti ad alcuni punti del grafico. Si può notare che l'assenza di δ -ray comporta una maggiore purezza dei tagli. In tabella ?? sono riportati per i vari valori del taglio la posizione del picco della distribuzione del numero di *digi* per eventi con due tracce ricostruite (fit gaussiano). Sono stati considerati solo tagli in cui il numero di *hit* sulla traccia persi è inferiore all' 1%.

La posizione del picco non varia in modo significativo. Risulta che il taglio a 50 u.a. realizza ancora un buon compromesso nella massimizzazione di efficienza e

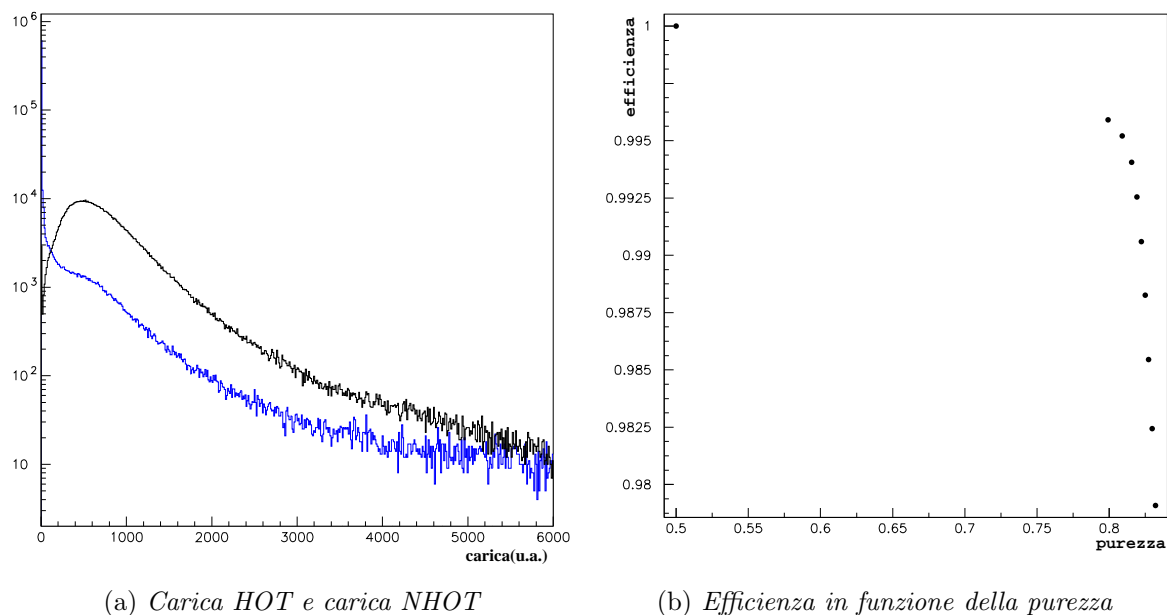


Figura 7.22:

purezza e anzi esse sono maggiori che in assenza di campo magnetico. Selezionando gli *hit* con $Q > 50$ u.a. il calcolo del numero di *digi* per evento è stato ripetuto e il risultato è riportato nelle figure ??a, ??b e ?? per i casi $N_t = 0, 1, 2$.

Per zero tracce ricostruite, sopravvive solo il picco a zero. Nel caso di una traccia ricostruita rimangono i picchi a una e a due tracce, mentre per due tracce ricostruite si trova che il picco è a 85.3 ± 3.8 *digi* (fit gaussiano); la coda a sinistra del picco è data come in assenza di campo magnetico da eventi in cui la traccia non ha attraversato tutta la camera mentre il picco di eventi a tre tracce è sparito. Per capire se rimane altro rumore dopo il taglio (rumore ad alta carica) è stata considerata la distribuzione di *hit* sulla traccia per evento con carica maggiore del taglio (compresi gli *hit mancanti*, figura ??). Il picco corrispondente a due tracce ricostruite è a 82.3 ± 2.4 che è compatibile con la posizione di quello in figura ?? entro gli errori.

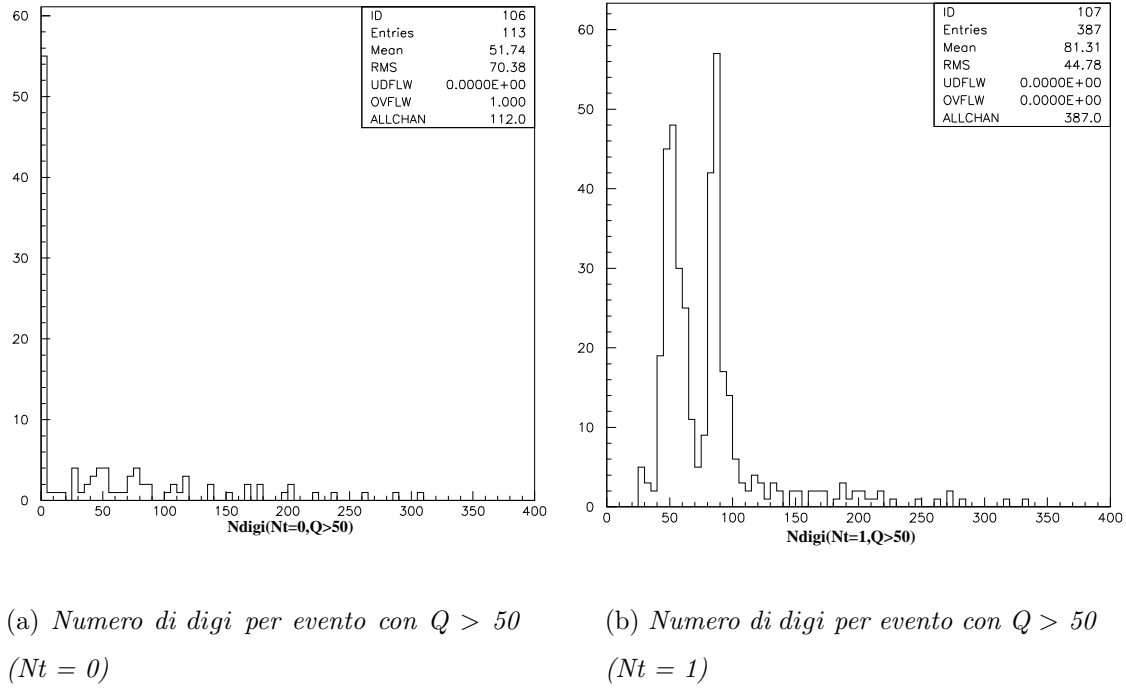
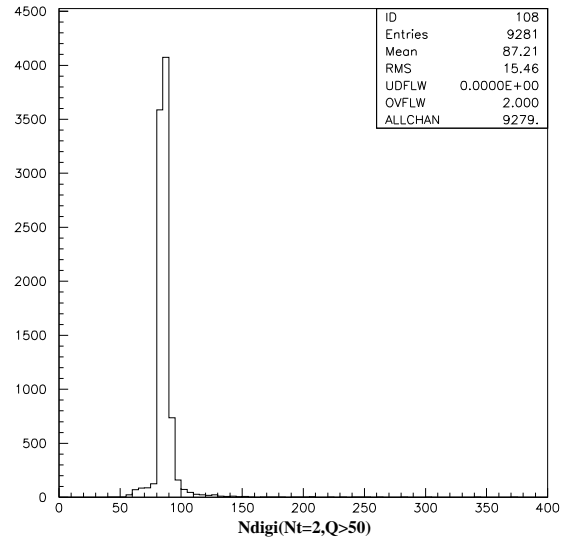


Figura 7.23:

Figura 7.24: Numero di digi per evento con $Q > 50$ ($Nt = 2$)

taglio	efficienza	purezza
12	99.6	80.0
24	99.5	80.2
36	99.4	81.0
48	99.2	82.0
60	99.1	82.2
72	98.8	82.5

Tabella 7.4:

taglio (u.a.)	12	24	36	48	60
picco eventi a due tracce	87.6 ± 3.8	86.6 ± 3.5	85.7 ± 3.7	85.6 ± 3.2	84.4 ± 2.9

Tabella 7.5:

7.3.3 Caratteristiche del rumore a bassa carica

Nella distribuzione dei tempi di deriva per i *digi* a bassa carica (figura ??a) è presente la struttura periodica dovuta al *clock* dell'*ELEFANT*.

Dalla figura ??b si vede che il taglio è ancora efficace nell'eliminare il rumore correlato al TDC. In figura ??a e ??b sono mostrate le distribuzioni della parola di *bad flag* e la distribuzione spaziale per questi *digi*; solo lo 0.1 % di *hit* ha un'un *bit* della *bad – flag* acceso e la zona più rumorosa è localizzata nelle FEE centrali delle *wedge*. L'assenza di correlazione tra rumore a bassa carica e valore della *bad – flag* si deduce dalla figura ?? dove è mostrato il numero di *digi* a bassa carica per evento in funzione di quelli *bad*. Si conclude che questi *digi* non sono caratterizzati in modo significativo dalla parola di *bad-flag*.

La figura ?? mostra la distribuzione del numero di *digi* (non sulla traccia) a bassa carica per evento; il valore del picco ottenuto con fit gaussiano è di 48.2 *digi* con una sigma di 10.4 *digi*.

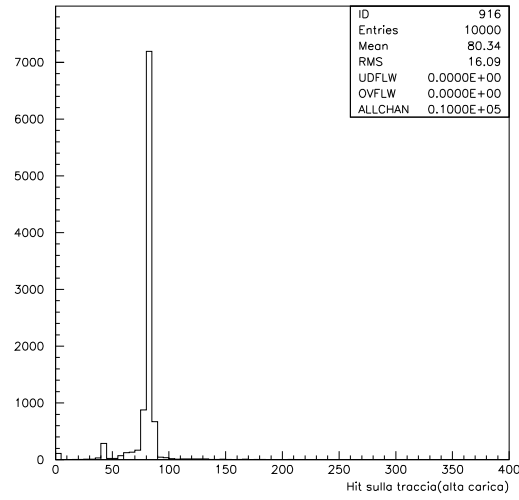
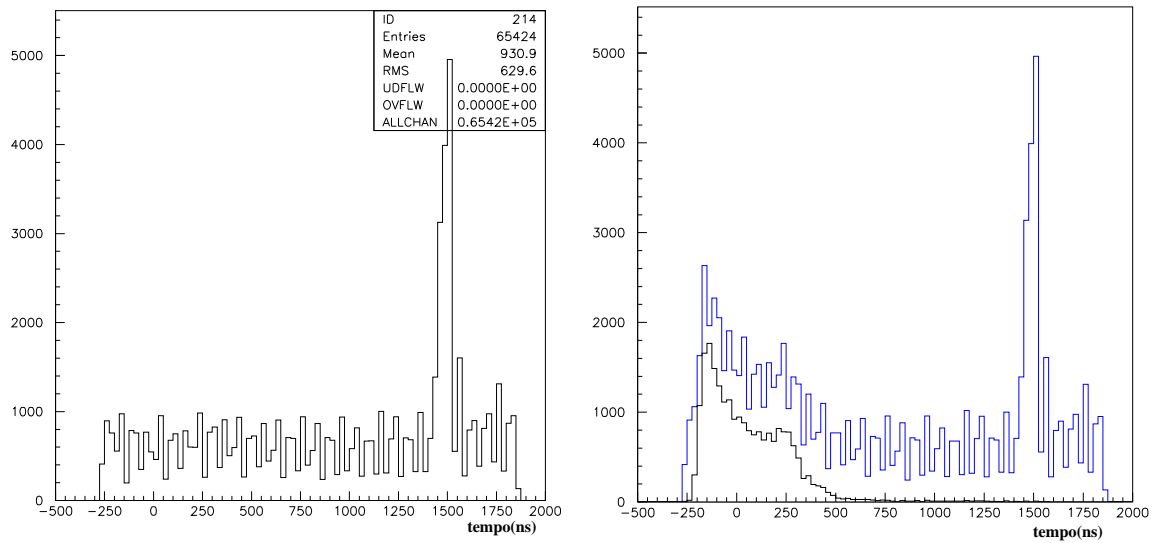
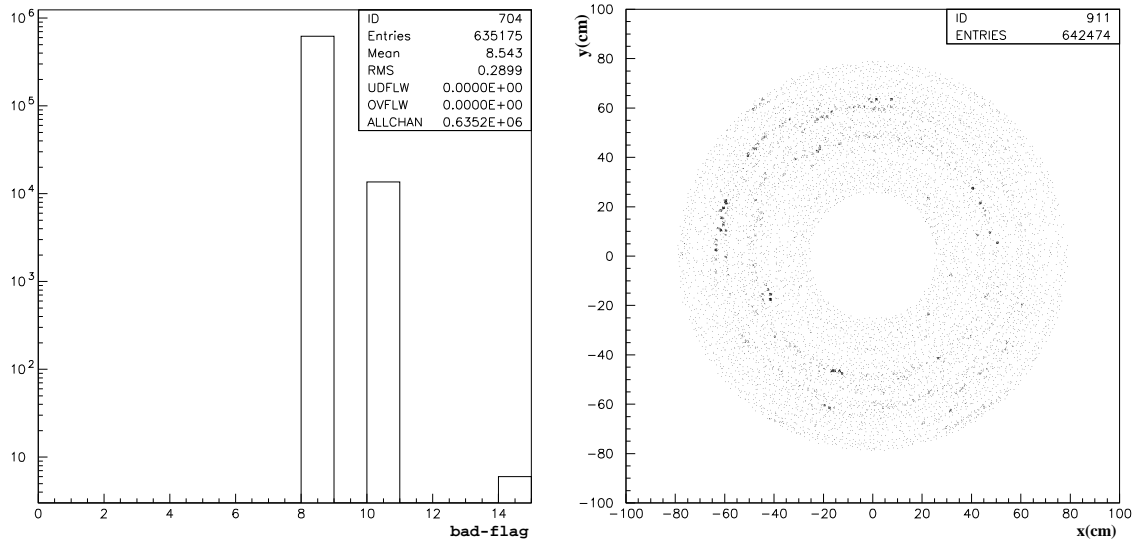


Figura 7.25: Numero di hit sulla traccia per evento

(a) Distribuzione dei tempi di deriva $Q < 50$ per il layer 29

(b) Distribuzione temporale layer 29 prima e dopo il taglio

Figura 7.26:



(a) Valore della bad – flag per digi a bassa carica

(b) Distribuzione spaziale per digi a bassa carica

Figura 7.27:

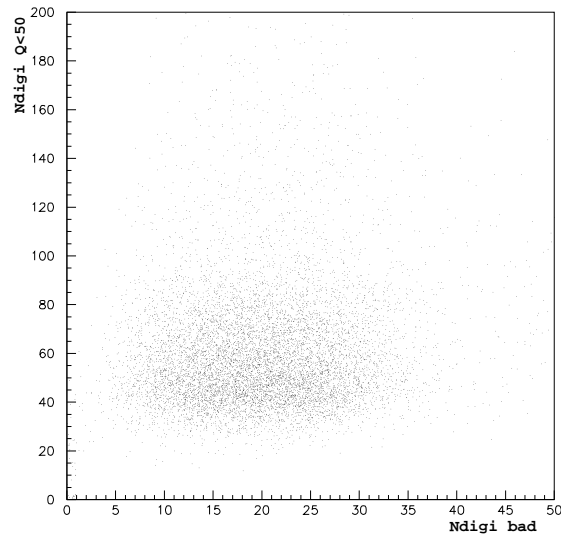


Figura 7.28: Numero di hit a bassa carica in funzione del numero di hit bad

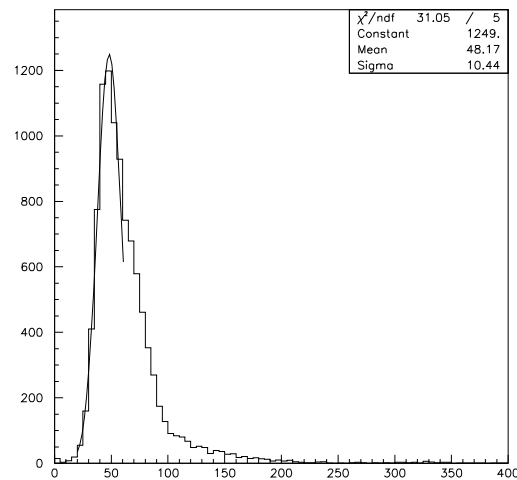
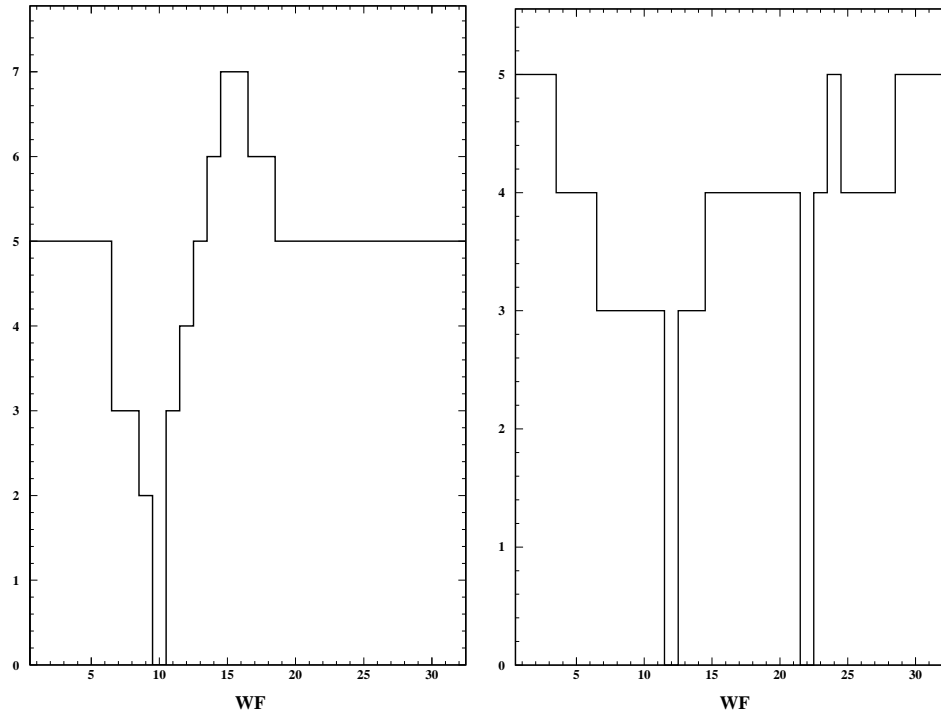


Figura 7.29: Numero di digi a bassa carica

Confrontando questo valore con il valore medio del rumore indipendente dalla traccia nell'equazione ?? si vede che essi sono consistenti entro gli errori. Per quanto riguarda il rumore correlato alla traccia, una serie di studi [?] ha messo in luce la presenza nella camera a deriva di una piccola quantità di *cross-talk*. Si ha *cross-talk* di due diversi tipi:

- Segnale negativo indotto da un *hit* in una cella vicina. Questo effetto riduce l'accuratezza della misura di carica nella cella presa in considerazione ed è particolarmente pericoloso quando avviene in corrispondenza del fronte di salita della forma d'onda perchè in questo caso può compromettere anche la misura di tempo (figura ??a). Un campione di questi *hit* può essere selezionato richiedendo *hit* sulla traccia a bassa carica, visto che il segnale indotto deprime l'altezza della forma d'onda, e viene quindi eliminato dal taglio in carica.
- *Cross-talk* elettronico indotto da un *hit* sulla traccia in un canale dello stesso *chip*. Le forme d'onda corrispondenti non hanno carica positiva, se non quella



(a) *Forma d'onda con cross-talk
sul fronte di salita*

(b) *Forma d'onda con cross-talk
elettronico*

Figura 7.30:

dovuta alle fluttuazioni dei piedistalli (figura ??b) e quindi anche la maggiore parte di questo rumore è a bassa carica.

Gli *hit* di *cross-talk* elettronico possono essere individuati andando a cercare una correlazione temporale con un *hit* sulla traccia che si è verificato in un canale dello stesso *chip*. Per un dato *hit* sulla traccia si riporta la differenza temporale tra il tempo corrispondente e i tempi di tutti gli *hit* negli altri canali del *chip*. La distribuzione (con il taglio in carica, figura ??) mostra una chiara correlazione dei tempi nel picco in corrispondenza di $\sim 60-70$ ns. Il motivo dello spostamento del picco rispetto allo zero non è chiaro, ma potrebbe essere che gli *hit* di *cross-talk* avvengano in corrispondenza del fronte di discesa del segnale del discriminatore corrispondente all'*hit* iniziale.

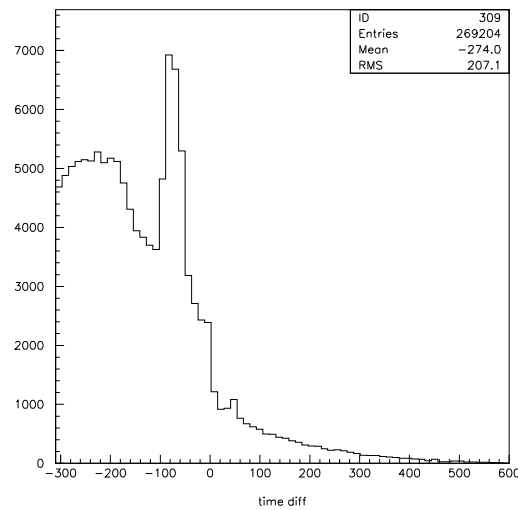


Figura 7.31: Differenza tra i tempi di deriva di un *HOT* e di un *digi* nello stesso *Chip*

Una stima del numero di *hit* di *cross-talk* può essere data misurando l'area del picco; risulta che il 4% degli *hit* a bassa carica è dovuto a questo tipo di rumore. Tenendo conto che essi sono il 3% del rumore totale mentre il rumore correlato alla traccia è l'11% di quello totale, si può concludere che il *cross-talk* a bassa carica costituisce il 30 % del rumore correlato alla traccia.

7.3.4 Rumore ad alta carica

Il rumore preso in considerazione fino ad adesso è a bassa carica, non essendo a esso associato nessun segnale fisico (a parte il primo tipo di *cross-talk* a cui si è accennato nel paragrafo precedente). Tuttavia può capitare che un *hit* di rumore superi il taglio in carica. Per valutare il peso del rumore del TDC ad alta carica è stato studiato un *run* preso senza alta tensione. Le condizioni nel *run* studiato sono quelle riportate in tabella ??, che sono le condizioni scelte alla fine del *commissioning* per i *run* di fisica.

Il numero di eventi analizzati è 5000. In figura ?? sono mostrate le *occupancies* per *layer* prima e dopo del taglio in carica; si trova che il rumore ad alta carica

Alta tensione (V)	1960
Soglia del discriminatore (mV)	200
Percentuale isobutano(%)	20
Ossigeno (ppm)	5

Tabella 7.6:

indipendente dalla traccia è lo 0.5 % di quello totale.

Il rumore ad alta carica è concentrato in *layer*, in corrispondenza delle stesse zone dove è maggiore il rumore a bassa carica. Andando a guardare la *wire-occupancy* per i *supelayer* 7 e 8 (figura ??), dove si trovano due *layer* con alta *occupancy* a $Q > 50$ u.a., cioè il 26, il 28 e il 29, si trova che solo alcuni fili causano l'elevato numero di *hit*.

Per comprendere l'origine di questo rumore, è stata studiata la distribuzione di carica per alcuni di questi fili. In figura ?? sono mostrate le distribuzioni di carica per un filo normale e per il filo 26 del *layer* 26 (primo picco a partire da sinistra in figura ??a). Il filo normale ha una distribuzione a bassa carica che viene eliminata con il taglio a 50 u.a. mentre il filo 26 ha un certo numero di *digi* con carica intorno a ~ 160 u.a..

In figura ?? è mostrata la distribuzione temporale (tagliata a $Q=50$ u.a.) per il filo 26 del *layer* 26 in cui si può riconoscere la periodicità caratteristica degli *hit* di rumore del TDC.

In conclusione risulta che il taglio in carica rimuove il 95% del rumore non correlato alla traccia; la piccola percentuale di rumore ad alta carica è ancora legata al TDC, è concentrata in alcuni fili e non è sufficientemente significativa per giustificare un innalzamento del taglio.

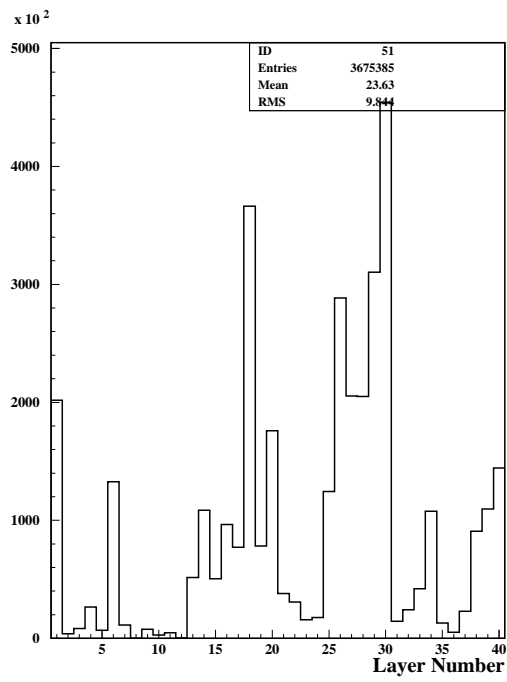
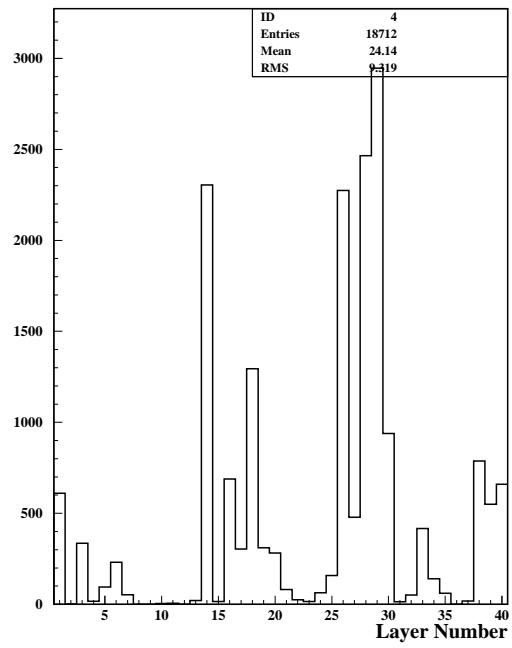
(a) *Layer occupancy* $Q < 50$ (b) *Layer occupancy* $Q > 50$

Figura 7.32:

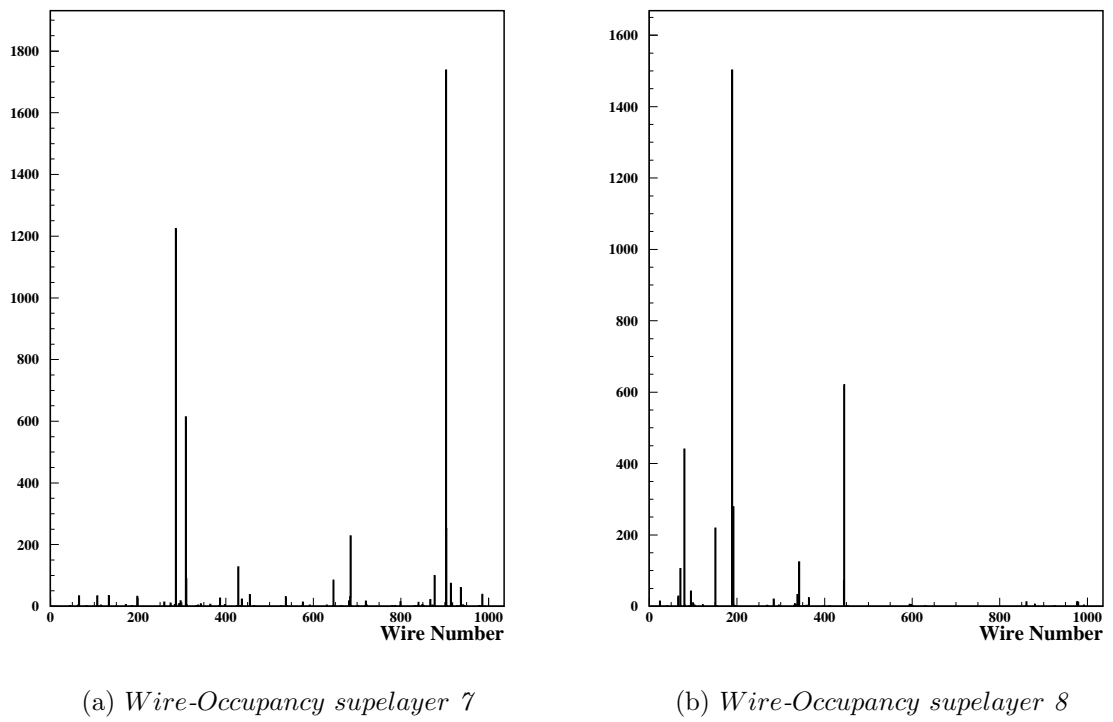
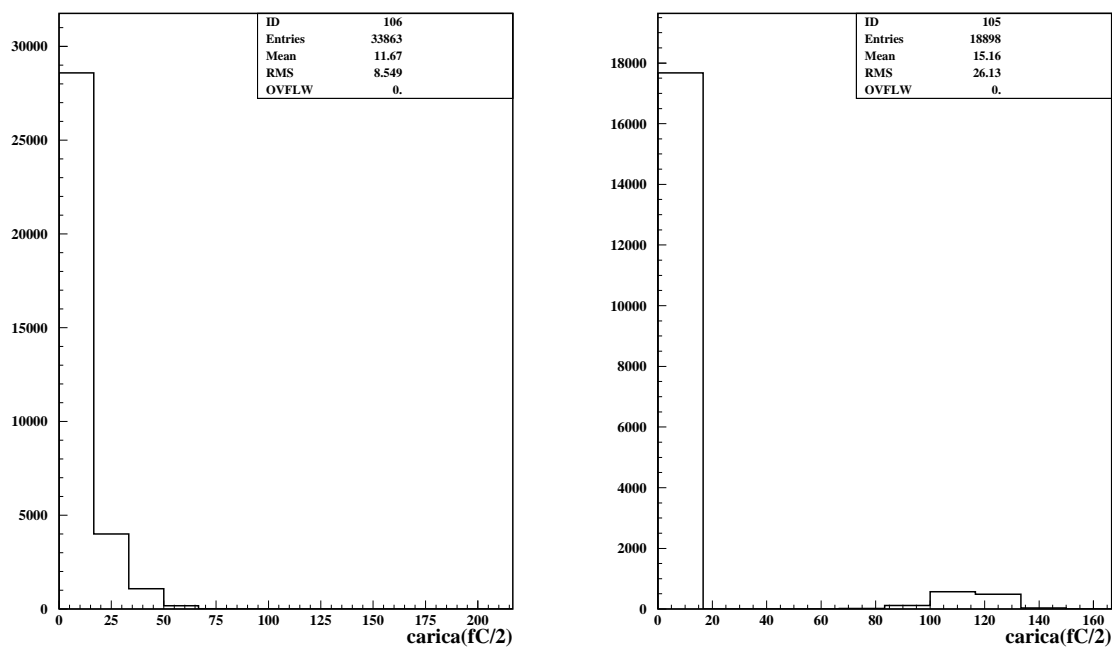


Figura 7.33:



(a) Distribuzione della carica per un filo con solo rumore a bassa carica

(b) Distribuzione della carica per il filo 26 del layer 26

Figura 7.34:

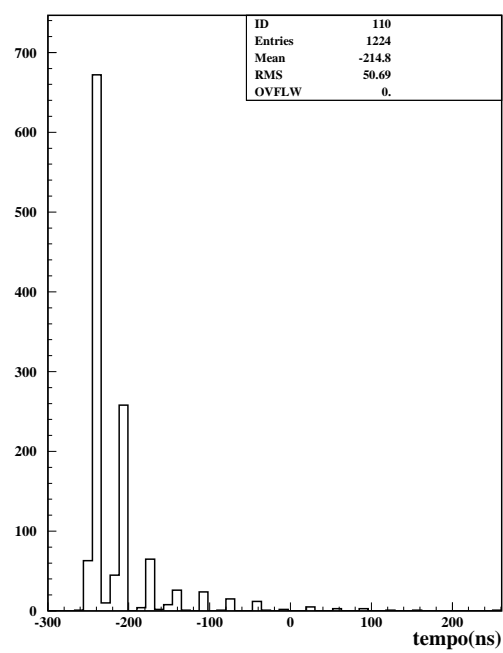


Figura 7.35: *Distribuzione dei tempi di deriva per il filo 26 layer 26, $Q > 50$*

7.3.5 Mascheramento del rumore a bassa carica nell'acquisizione

Nel mese di gennaio '99 la camera ha cominciato a prendere dati assieme agli altri rivelatori. All'inizio, è risultato che il calorimetro elettromagnetico interferiva con la camera a deriva, provocando una maggiore quantità di rumore TDC. Si è quindi tentato di ridurre questo rumore a livello di acquisizione per evitare un eccessivo numero di *hit* nella camera. Trattandosi principalmente di rumore a bassa carica, si è cercato un modo di selezionare *hit* con una quantità di carica significativa. Per fare questo è stata sperimentata una diverso modo di acquisire dati, corrispondente ad una diversa configurazione dell'elettronica della camera, chiamato *FADC-mode* (o *analog mode*), in cui cambia la "definizione" di *hit*. In precedenza (*TDC-mode*), si aveva un *hit* ogni volta che un segnale era andato sopra soglia del discriminatore del TDC, mentre in *analog mode* si acquisisce quando un FADC riporta un valore maggiore di una certa soglia (fissata a due conteggi) del valore misurato due campioni prima. Bisogna notare che in questo modo il rumore non viene eliminato, ma soltanto mascherato; è quindi possibile, a causa della separazione di almeno due campioni imposta tra i segnali dei TDC, che gli *hit* di rumore facciano perdere comunque gli *hit* corrispondenti al vero segnale.

Si vuole verificare che questa configurazione elimina effettivamente il rumore dei TDC. È stato preso in considerazione un *run* di raggi cosmici con *trigger* di IFR e sono stati analizzati 5000 eventi. Dalla distribuzione dei tempi di deriva (figura ??, *layer* 29) si vede immediatamente che la struttura periodica è assente, senza avere effettuato nessun taglio.

Nella distribuzione di carica per *hit* sulla traccia e non sulla traccia (mostrate, sovrapposte, in figura ??a) si osserva che il picco a bassa carica è sparito e il numero di *hit* con $Q < 50$ u.a. è lo 0.5% del totale mentre prima era il 42%.

Il numero di *digi* per evento con $Q < 50$ è diminuito drasticamente come si vede in figura ??b.

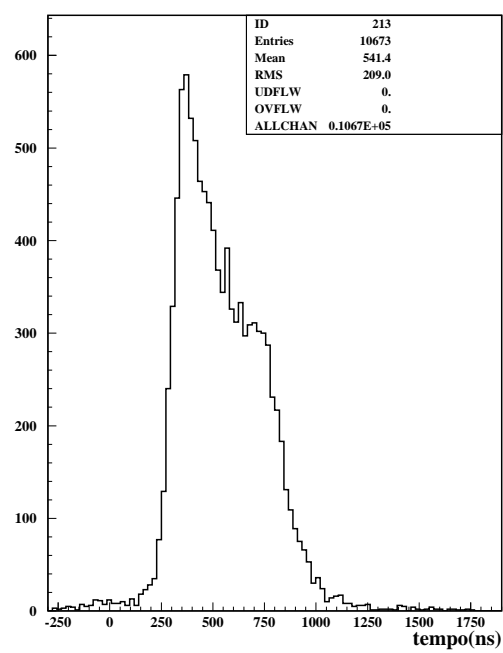
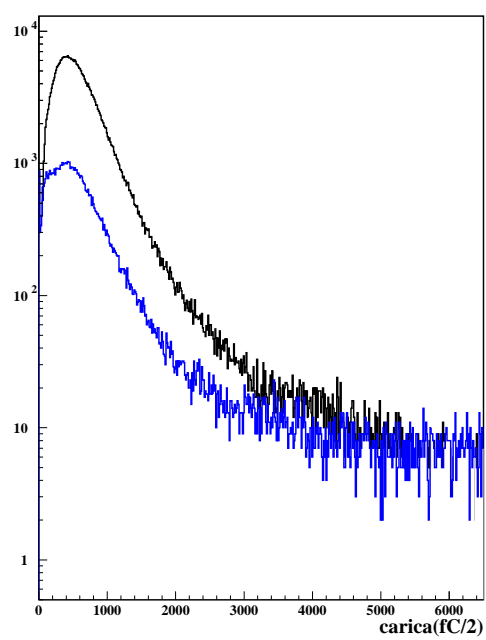
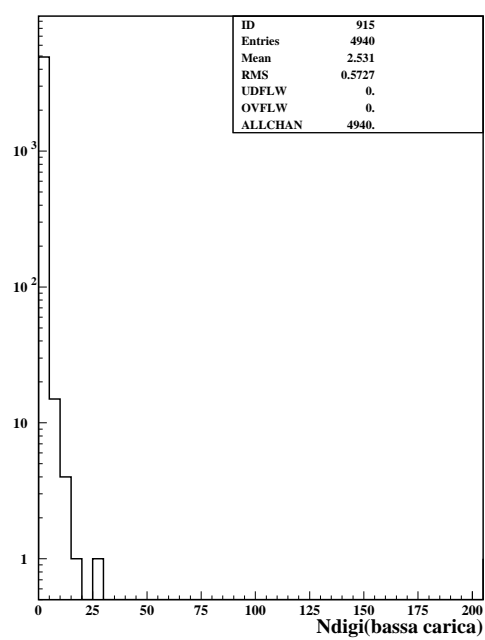


Figura 7.36: *Distribuzione dei tempi di deriva per il layer 29*



(a) Distribuzione della carica per HOT e NHOT



(b) Numero di digi con $Q < 50$

Figura 7.37:

Si può quindi concludere che il *FADC-mode* elimina la maggior parte di rumore proveniente dal TDC. Esistono tuttavia degli aspetti negativi in questo modo di operare come il fatto che possono capitare dei *digi* senza *hit* TDC. Alcuni studi hanno evidenziato che l'*analog mode* non ha un effetto significativo sul dE/dx mentre diminuisce l'efficienza per *hit* sulla traccia del 2%.

Conclusioni

Il sistema di *monitoring* realizzato permette di individuare i problemi presenti nella camera a deriva e fornisce molte informazioni sulla risposta della camera stessa. Esso è stato molto utile nella comprensione del rivelatore durante il *commissioning* e in particolare in fase di *tuning* dei fasci per tenere sotto controllo il *background* dell'acceleratore. Le prospettive future consistono in uno studio finalizzato alla scelta delle *stream* di eventi da monitorare e nello sviluppo dei metodi per il confronto con gli istogrammi di riferimento.

Non sembra esserci la possibilità di dare un contributo significativo all'identificazione delle particelle con una misura del tempo di volo in quanto la risoluzione temporale della camera a deriva non è sufficiente.

L'analisi del rumore ha portato alla conclusione che la maggior parte del rumore nella camera a deriva è rumore elettronico causato dallo scattare dei TDC in corrispondenza del *clock* dell'ELEFANT. Si tratta di rumore a bassa carica, eliminabile con un taglio a 50 u.a. È presente anche una certa quantità di *cross-talk*, solo in parte a bassa carica e una piccola quantità di rumore associato ai TDC con $Q > 50$ u.a.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare i miei relatori, il Prof. Nando Ferroni e il dr. Silvio Morganti e tutti i membri del gruppo BABAR Roma: Giancarlo Piredda, Sandra Mazzoni, Emanuele Leonardi, Fabio Ferrarotto, Caterina, Katia, Luca, Francesca P., Marco S., Marcello, Sha, Franz, Francesca B., Marco Q e naturalmente Fulvio. Vorrei ringraziare anche Cristina Bulfon e Gabriella Bucci. Un ringraziamento molto speciale al mio post-doc preferito, Riccardo.

E a Daniele.

Bibliografia

- [1] C. S. Wu *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **105**, 1413 (1957);
- [2] J. H. Christenson, J. W. Cronin, V. L. Fitch, R. Turlay, *Phys. Rev. Lett.* **13**, 138 (1964);
- [3] A. Pich, *The Standard Model of Weak Interaction*, Lecture given at the XXII Int. Winter Meeting on Fundamental Physics, (1994) *bfhep-ph/9412274*;
- [4] Particle Data Group, Review of Particle Properties, *Phys.Rev D***45**, (1992).
- [5] M. Kobayashi, K. Maskawa, *Progr. Theor. Phys.* **bg** 49, 652 (1973);
- [6] L. Wolfenstein, *Phys. Rev. Lett.* **51**, 1945 (1983);
- [7] N.Cabibbo, *Phys. Rev. Lett.* **10**, (1963) ;
- [8] BABAR Collaboration, *The BABAR Physics Book, Physics at an Asymmetric B Factory*, SLAC Report 504 (October 1998) **957**;
- [9] BABAR Collaboration, *The BABAR Physics Book, Physics at an Asymmetric B Factory*, SLAC Report 504 (October 1998) **5**;
- [10] PEP-II Collaboration, *PEP-II Conceptual Design Report*, SLAC Report SLAC-418 (1993)
- [11] BABAR Collaboration, *The BABAR Physics Book, Physics at an Asymmetric B Factory*, SLAC Report 504 (October 1998) **78**;

- [12] R. Aleksan *et al.*, *Report of the ad Hoc Calorimeter Commitee*, BABAR Note 157 (1994)
- [13] G. P. Dubois-Felsmann *et al.*, *Overview of the BABAR Software Trigger*, BABAR note *L3PDR-OVRW* (1998)
- [14] S. K. Gehrig *et al.*, *Level 1 Global Trigger Efficiency, Rate and Event Time Jitter Simulation Results*, BABAR Note 338 (1996)
- [15] G. Sciolla, *The BABAR Drift Chamber*, *Nucl.Instrum. and Meth. in Phys. Res. A* **419**, 310-314 (1998)
- [16] M.Kelsey, *Drift Chamber Wire Identification Numbers*, BABAR NOTE 331 (1996);
- [17] C.Hearty, *Internal Geometry of the BaBar Drift Chamber*, BABAR NOTE 486 (1999);
- [18] A.O'Neill and C.Hearty, *A Suitable Non-Flammable Gas for Testing the BABAR Drift Chamber*, *TNDC-98-85* (1998);
- [19] D. Coupal, *Drift Chamber Electronics System Description*, *TNDC-97-68* (1997)
- [20] Rob Veenhof, *Garfield, a drift chamber simulation program*, *CERN Program Library*
- [21] R.T.Hamilton *et al.*, *BaBar Note 387, DataFlow Reference Manual*
- [22] B. Franek, N. Geddes, *Conceptual Design of the BABAR Run Control*, (1996)
- [23] M. E. Huffer *et al.*, *DAQ Programmer's Guide*, BABAR Note 386
- [24] G. P. Dubois-Felsmann, *OEP Conceptual Design*, *BABAR Online System Review* (1996)

- [25] T. Glanzman *et al.*, *The BABAR Prompt Reconstruction System*, SLAC-PUB-7977 (1998)
- [26] D. Boutigny *et al.*, *Report on the Status and Analysis of the BABAR Drift Chamber (August Cosmic Run)*, BABAR Note 469
- [27] Arfken, *Mathematical Methods for Physicists*, 13.3 (1970)
- [28] S.D.Metzler and W.F.Brisken, *Distributed Histogramming Package*, BABAR draft document (1996)
- [29] Object Management Group, *Common Object Request Broker Architecture* (1995)
- [30] A.S.Johnson *Java Analysis studio* SLAC-PUB-7963
- [31] D.Boutigny *et al.*, *Report on the Status and Analysis of the BABAR Drift Chamber (August Cosmic Run)* BABAR NOTE 469, *TNDC-NOTE 98-92*, **8** (1998)
- [32] W. Blum, L. Rolandi, *Particle Detection with Drift Chambers*, (1993)
- [33] D.Boutigny *et al.*, *Report on the Status and Analysis of the BABAR Drift Chamber (August Cosmic Run)* BABAR NOTE 469, *TNDC-NOTE 98-92*, **35** (1998)