

Università degli Studi di Ferrara
Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali
Corso di Laurea in Fisica ed Astrofisica



**Sviluppo di un sistema di lettura catodica
a pixel
per rivelatori di muoni**

Relatore:

Chiar. mo Prof. ROBERTO CALABRESE

Correlatore:

Dott. MIRCO ANDREOTTI

Laureando

LAURA BANDIERA

Anno Accademico 2006-2007

Lentamente muore chi diventa schiavo dell'abitudine, ripetendo ogni giorno gli stessi percorsi, chi non cambia la marca, chi non rischia e cambia colore dei vestiti, chi non parla a chi non conosce.

Muore lentamente chi evita una passione, chi preferisce il nero su bianco e i puntini sulle i piuttosto che un insieme di emozioni, proprio quelle che fanno brillare gli occhi, quelle che fanno di uno sbadiglio un sorriso, quelle che fanno battere il cuore davanti all'errore e ai sentimenti.

Lentamente muore chi non capovolge il tavolo, chi è infelice sul lavoro, chi non rischia la certezza per l'incertezza, per inseguire un sogno, chi non si permette almeno una volta nella vita di fuggire ai consigli sensati. Lentamente muore chi non viaggia, chi non legge, chi non ascolta musica, chi non trova grazia in se stesso. Muore lentamente chi distrugge l'amor proprio, chi non si lascia aiutare; chi passa i giorni a lamentarsi della propria sfortuna o della pioggia incessante.

Lentamente muore chi abbandona un progetto prima di iniziarlo, chi non fa domande sugli argomenti che non conosce, chi non risponde quando gli chiedono qualcosa che conosce.

Evitiamo la morte a piccole dosi, ricordando sempre che essere vivo richiede uno sforzo di gran lunga maggiore del semplice fatto di respirare. Soltanto l'ardente pazienza porterà al raggiungimento di una splendida felicità.

(P. Neruda)

Per Serena e Miriam

Indice

Introduzione	vii
1 Limited Streamer Tubes	1
1.1 L'esperimento BaBar	1
1.2 Il rivelatore di muoni IFR	5
1.3 LST, Limited Streamer Tubes	7
1.3.1 Descrizione dei componenti di un LST	7
1.3.2 Principi di funzionamento	9
1.3.3 Scelta del gas	13
1.3.4 Lettura del segnale	15
1.3.5 Vantaggi di un rivelatore LST	17
2 Setup sperimentale	19
2.1 Il sistema del gas	19
2.2 Condizionamento	21
2.3 Misura del Plateau	24
2.3.1 Plateau con miscele di gas non ottimali	25
2.3.2 Plateau con miscela di gas ottimale	29
3 Progettazione e Realizzazione dei prototipi di Pixel	33
3.1 Attuale lettura dei segnali per rivelatori di muoni	33
3.2 Descrizione del progetto	35
3.2.1 Progettazione dei prototipi di lettura a pixel	36
3.2.2 Realizzazione dei prototipi	39
4 Test di Funzionamento	45
4.1 Analisi dei segnali	45
4.2 Misure di efficienza	48
4.2.1 Preparazione dell'apparato di misura	49
4.2.2 Misure preliminari di efficienza	52

4.2.3	Migliorie all'apparato strumentale	59
4.3	Studi di molteplicità	75
	Conclusioni	77
	Ringraziamenti	79
	Bibliografia	81

Introduzione

Negli attuali e futuri esperimenti di fisica delle alte energie la rivelazione delle particelle dello stato finale è di fondamentale importanza per la ricostruzione dell'evento e il successivo confronto dei dati sperimentali con la teoria. Gli attuali rivelatori di muoni, le particelle cariche più penetranti, sono tipicamente costituiti da camere contenenti gas, che si ionizza al passaggio di radiazione carica (ad esempio muoni) producendo una scarica elettrica. Il segnale di tale scarica viene normalmente rivelato per induzione su strip metalliche, oppure sul filo anodico (es. RPC o LST nell'esperimento BaBar), poste lungo la camera. In questo modo si ottiene la misura della posizione della scarica nelle due coordinate ortogonali.

In presenza di due o più tracce simultanee, l'associazione delle coordinate nelle due dimensioni non è univoca, questo può comportare un problema con l'aumento della luminosità nei futuri esperimenti, come quelli previsti alle nuove macchine acceleratrici Super B Factory e International Linear Collider.

A tal problema si può ovviare utilizzando un sistema di lettura che abbia la possibilità di effettuare contemporaneamente la misura di entrambe le coordinate spaziali e ciò può essere ottenuto con un rivelatore con lettura a pixel anziché a strip. In tal modo si ottiene anche una riduzione della frequenza di conteggio per ogni singolo canale.

Lo svantaggio di un tale rivelatore consiste nell'aumento dei canali di lettura, ma tale aumento può essere limitato adottando pixel di dimensioni maggiori rispetto alla larghezza di una strip e utilizzando strati alternati di strip e pixel.

Il lavoro di questa tesi si inserisce nel Progetto Giovani Ricercatori, finanziato dall'Università degli Studi di Ferrara, e si propone la realizzazione e test di prototipi di un sistema di lettura a pixel per rivelatori di muoni LST (Limited Streamer Tubes).

La suddetta tesi è strutturata in quattro capitoli:

Capitolo1 Limited Streamer Tubes; dopo un'introduzione sull'esperimento Ba-Bar come esempio di esperimento di fisica delle alte energie, ed in modo particolare del suo rivelatore di muoni IFR, vengono descritte in questo capitolo la geometria e il principio di funzionamento delle camere LST.

Capitolo2 Setup Sperimentale; vengono descritti in dettaglio i test preliminari eseguiti sulle camere LST, al fine di trovare un regime di lavoro adeguato alla successiva analisi dei prototipi di pixel.

Capitolo3 Progettazione e Realizzazione dei prototipi di Pixel; vengono descritte le motivazioni che hanno portato alla nascita di questo progetto, che successivamente viene descritto in dettaglio. Viene inoltre motivata la scelta di geometrie e materiali per la realizzazione dei prototipi, di cui poi viene descritta la realizzazione materiale.

Capitolo4 Test di Funzionamento; i prototipi sono stati testati utilizzando camere LST per analizzarne il funzionamento e migliorarne, ove fosse necessario, il comportamento. Tali test sono l'analisi del segnale, misure di efficienza e studi di molteplicità.

Capitolo 1

Limited Streamer Tubes

In questo capitolo verrà descritto il principio di funzionamento dei rivelatori di particelle cariche Limited Streamer Tube (LST).

Nei primi 2 paragrafi faremo una panoramica dell'esperimento BaBar, ed in particolare ne descriveremo il rivelatore di muoni Instrument Flux Return (IFR), il quale è un attuale esempio di applicazione di camere LST. Tale introduzione è atta a contestualizzare e motivare le scelte che sono state fatte per la costruzione del prototipo a pixel, il quale è pensato per una tipologia di esperimento con caratteristiche simili a quelle di BaBar.

1.1 L'esperimento BaBar

Il rivelatore BaBar si trova sul *collider asimmetrico* PEP-II (Positron-Electron-Project, vedi fig.1.1), situato presso SLAC (Stanford Linear Accelerator Center). L'obiettivo principale di questo esperimento è quello di studiare la violazione della simmetria di CP nei decadimenti dei mesoni B, prodotti tramite la reazione:

$$e^+e^- \rightarrow \Upsilon(4S) \rightarrow B\bar{B} \quad (1.1)$$

PEP-II è stato costruito in maniera tale da operare ad energie del centro di massa di $\sqrt{s} = 10.58$ GeV, che corrisponde alla massa della risonanza $\Upsilon(4S)$. Questa scelta è motivata dal fatto che tale risonanza decade quasi esclusivamente in coppie $B^0\bar{B}^0$ o B^+B^- , facendo di BaBar l'ambiente ideale per lo studio dei mesoni B. L'energia del fascio di e^- è 9.0 GeV, mentre quella del fascio di e^+ è 3.1 GeV; da ciò risulta che la risonanza $\Upsilon(4S)$ viene prodotta con boost di

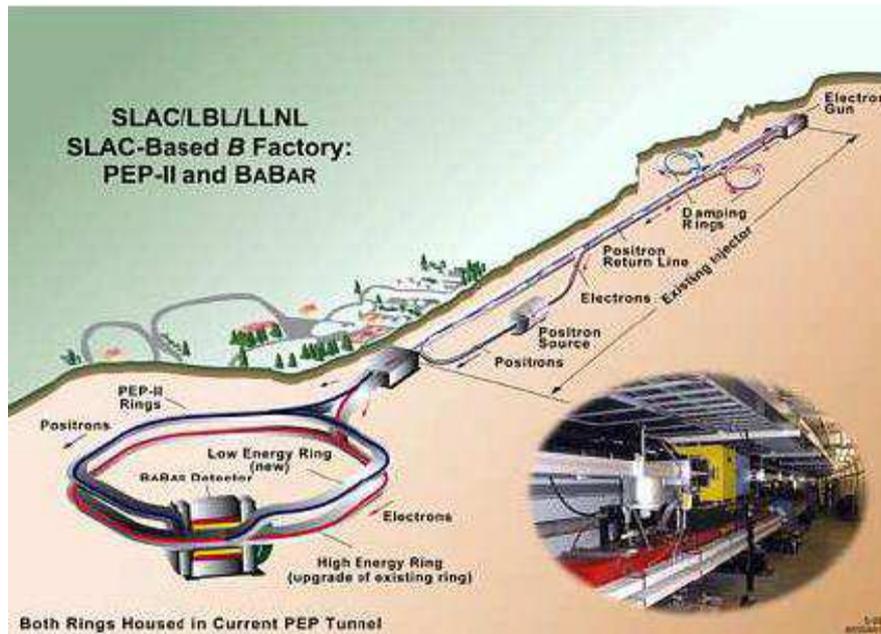


Figura 1.1: Vista del collider asimmetrico PEP-II

Lorentz di $\beta_{\gamma} = 0.56$, in maniera tale da avere una apprezzabile separazione spaziale dei vertici di decadimento dei due mesoni B. Se i due fasci possedessero la stessa energia, i due mesoni B sarebbero creati praticamente a riposo e non si riuscirebbe a distinguere i vertici di decadimento [1].

BaBar è composto da 5 sottorivelatori (vedi fig.1.2). L'IFR è quello più esterno posizionato subito dopo il magnete. I 5 rivelatori di cui è composto BaBar sono :

- **SVT (Silicon Vertex Tracks)**
Il rivelatore di vertice viene utilizzato per la ricostruzione dei vertici primari e secondari dei decadimenti dei due mesoni B. È localizzato attorno alla regione di interazione e ha la funzione di misurare la separazione longitudinale Δz tra i vertici di decadimento dei due B. L'SVT è l'unico rivelatore di Babar che ha un sistema di tracciamento entro un raggio di circa 22 cm dal punto di collisione dei due fasci.
- **DCH (Drift Chamber).**
Lo scopo primario della camera a deriva è quello di individuare e quindi misurare le tracce prodotte da particelle cariche con impulso trasverso (alla direzione del fascio) $p_t \geq 100 \text{ MeV}$. Altro scopo della DCH è la misura

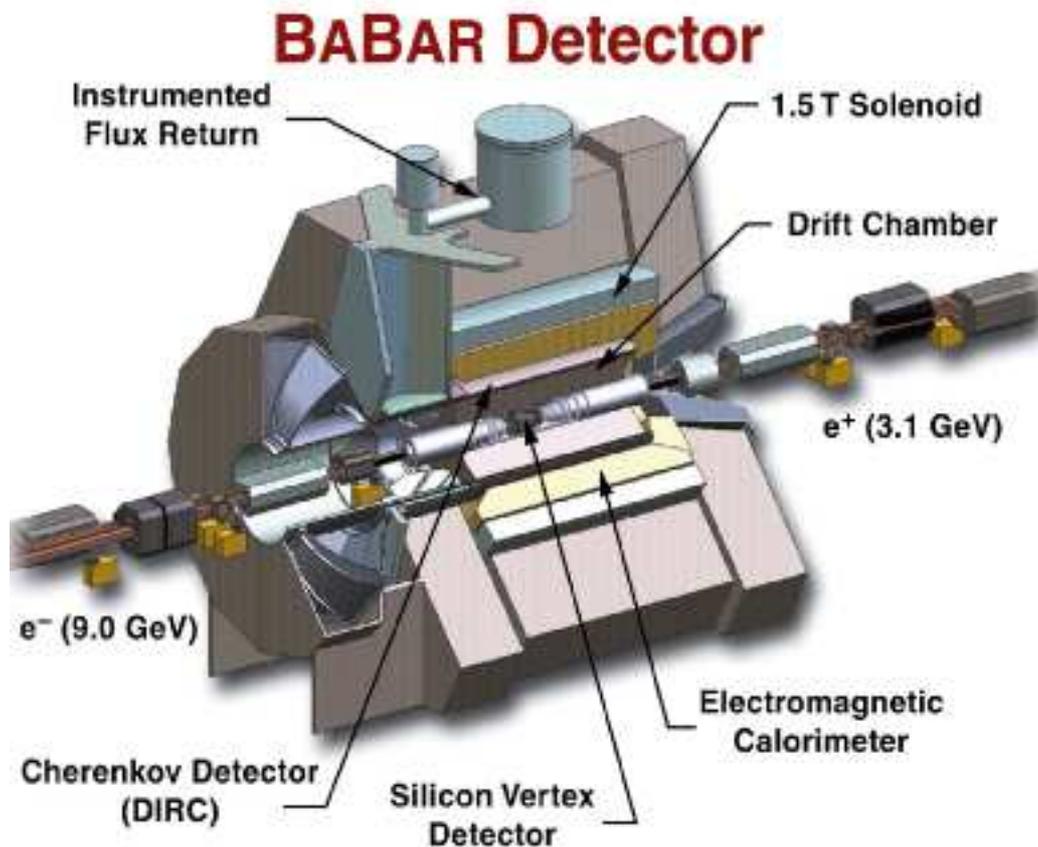


Figura 1.2: Schema del rivelatore BaBar. Se ne distinguono i sottorivelatori interni.

della perdita media di energia delle particelle per ionizzazione dE/dx (vedi fig.1.3), utilizzata per identificare le particelle.

- **DIRC** (Detection of internally Reflected Čerenkov Light).
È utilizzato per la rivelazione di particelle cariche. Può essere raggiunto solo dalle particelle che superano la DCH e per farlo devono avere $p_t \geq 250 \text{ MeV}$. Il DIRC sfrutta la radiazione Čerenkov (onda elettromagnetica con fronte d'onda a sviluppo conico), che viene a formarsi quando la velocità delle particelle nel mezzo considerato è maggiore della velocità della luce nel mezzo stesso. La luce Čerenkov così prodotta viene raccolta e, dalla conoscenza dell'angolo di emissione e dell'impulso della traccia, si riesce a determinare la *massa* della particella.
- **EMC** (Electromagnetic Calorimeter).

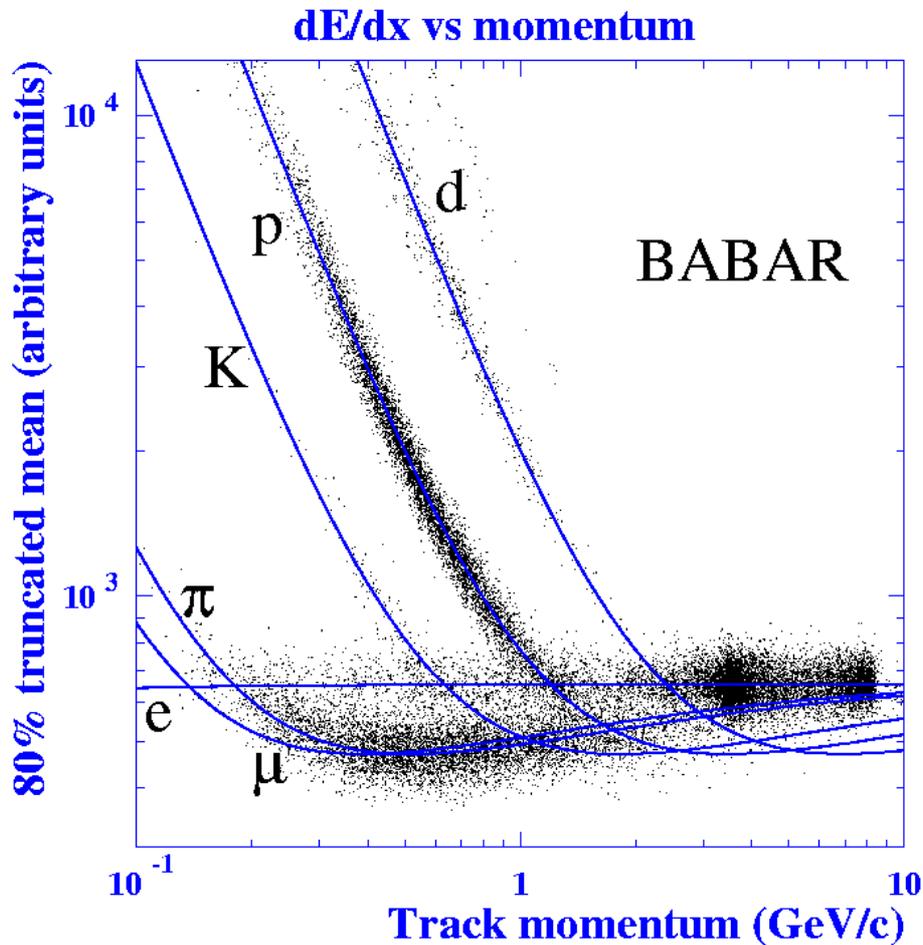


Figura 1.3: Perdita di energia in funzione del momento della particella. Le linee seguono l'andamento teorico della Bethe-Bloch, che descrive la perdita di energia di particelle cariche per mezzo di collisioni (inelastiche con gli elettroni ed elastiche con i nuclei). I punti rappresentano i dati sperimentali.

Il calorimetro elettromagnetico ha la funzione di rivelare l'energia di sciame elettromagnetici provocati da fotoni, elettroni e positroni, dei quali viene rivelata anche la posizione. Ad esempio, si può studiare la produzione di π^0 nei vari decadimenti rivelando l'energia e la posizione degli sciame prodotti dai fotoni a loro volta prodotti nel decadimento $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$. L'EMC rivela le suddette particelle ad energie comprese tra i 20 MeV e i 9 GeV.

- **Il Magnete.**

Il magnete è un solenoide di raggio 140cm costituito da materiale superconduttore e produce un campo magnetico di 1.5 Tesla. Ha l'obiettivo di creare

un campo magnetico lungo la direzione z del fascio, che provoca deviazioni nelle tracce di radiazione carica prodotta all'interno del rivelatore; rilevando quindi la curvatura della traccia e combinando tale informazione con quelle degli altri rivelatori, è possibile misurare l'impulso della particella.

- **IFR**(Instrumented Flux Return).
All'esterno del magnete vi è l'IFR, che è l'ultima parte del rivelatore BaBar. Verrà descritto in dettaglio nel prossimo paragrafo.

1.2 Il rivelatore di muoni IFR

Le funzioni principali dell'IFR sono :

- incanalare il flusso di ritorno del campo solenoidale;
- rivelare i muoni;
- distinguere i segnali prodotti dai muoni e dai pioni carichi;
- rivelare i K_L^0 .

I muoni¹ sono particelle molto penetranti per cui, alle energie che possiedono normalmente nell'esperimento BaBar, non decadono prima di arrivare all'IFR.

Il rivelatore è composto da tre sezioni che ne danno la massima copertura angolare:

1. **Barrel**: ha simmetria esagonale, si sviluppa attorno alla direzione z del fascio, subito dopo il magnete, ed è lungo circa 4 metri. Ha una copertura angolare di: $40^\circ \leq \theta_{lab} \leq 123^\circ$, dove θ_{lab} è l'angolo polare rispetto al sistema laboratorio.
2. **Forward endcap**: chiude la struttura della regione in avanti ed ha copertura angolare di $20^\circ \leq \theta_{lab} \leq 57^\circ$
3. **Backward endcap**: chiude la struttura della regione all'indietro ed ha copertura angolare di: $123^\circ \leq \theta_{lab} \leq 154^\circ$

¹I μ sono leptoni scoperti per la prima volta nel 1936 tra i raggi cosmici; hanno massa pari a circa $106 \text{ MeV}/c^2$ e vita media di circa $2.2 \times 10^{-6} \text{ s}$ [8]

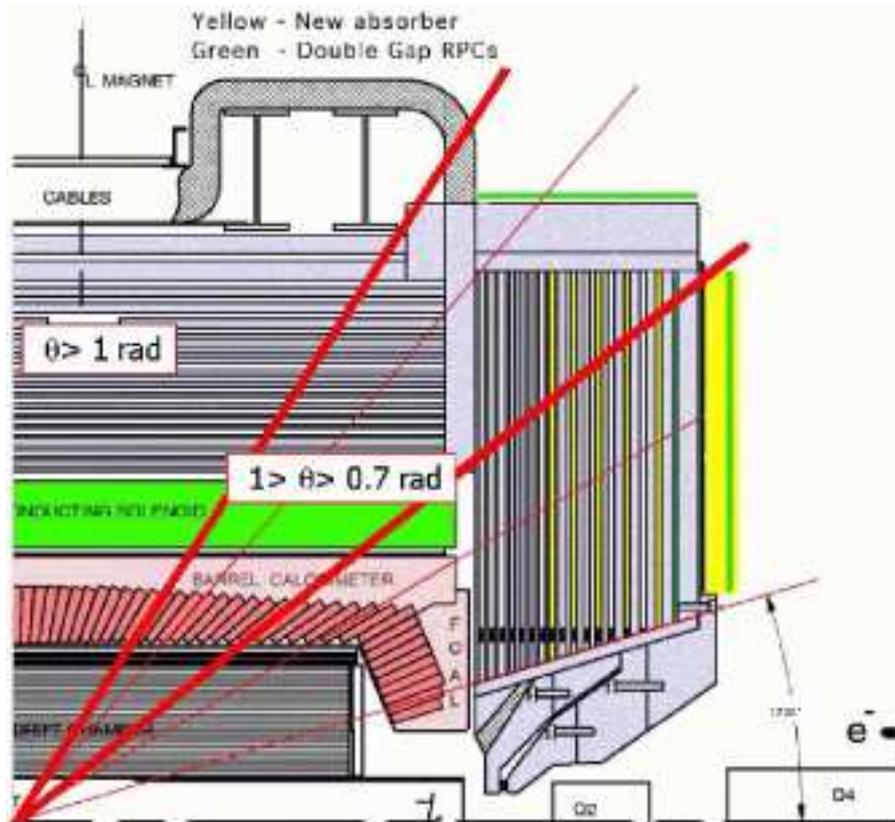


Figura 1.4: Sezione del rivelatore, nel quale si distinguono gli strati del Barrel e del Forward endcap, all'interno dei quali vengono inserite rispettivamente le camere LST e le RPC di nuova generazione.

In figura 1.4 si nota come le coperture angolari del Barrel e del forward endcap si sovrappongano per angoli compresi tra $40^\circ \leq \theta_{lab} \leq 57^\circ$; allo stesso modo si sovrappongono le coperture angolari del Barrel e del backward endcap[3].

La struttura portante dell'IFR è costituita da ferro per il ritorno del flusso, che ha inoltre la funzione di fermare gli adroni, i quali formano sciami adronici per interazione forte coi nuclei di ferro, lasciando passare i muoni. Questa struttura è completata con camere di rivelazione RPC o LST. Il Barrel è costituito da 6 sestanti suddivisi ognuno in 12 strati sovrapposti radialmente. Gli endcap invece sono suddivisi in 6 settori e 16 strati ortogonali all'asse z per il forward endcap, 18 per il backward endcap (vedi fig.1.5).

Nel progetto iniziale del Barrel ogni strato, detto gap, conteneva un RPC (Resistive Plate Chamber) a singolo layer. Durante i primi periodi di presa dati a

BaBar, gli RPC ebbero dei problemi di efficienza, per cui si decise di sostituirli. Per la sostituzione degli RPC vennero studiate le seguenti alternative:

- RPC di nuova generazione
- Scintillatori
- LST

Per vari motivi ([4]) furono scelti gli LST come upgrade dell'IFR.

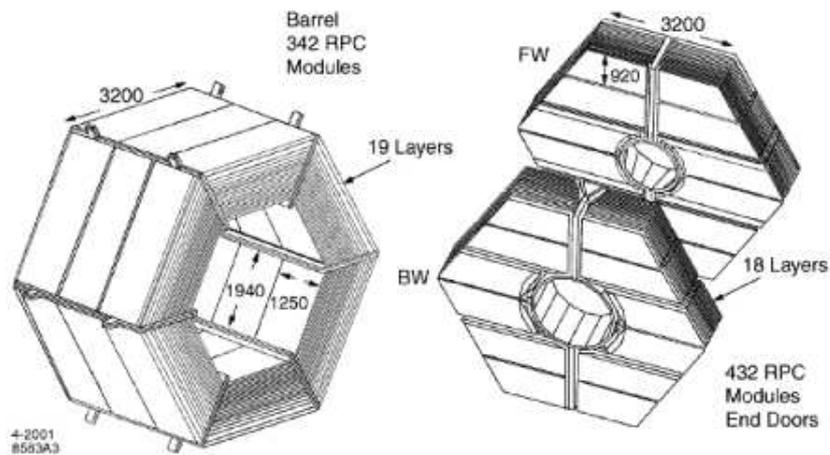


Figura 1.5: Barrel e Endcaps dell'IFR. Si distinguono i 6 sestanti del Barrel e i 6 settori degli Endcaps.

1.3 LST, Limited Streamer Tubes

1.3.1 Descrizione dei componenti di un LST

I rivelatori LST, o tubi di Iarocci, utilizzati nel laboratorio di Criogenia del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Ferrara ai fini del Progetto Giovani Ricercatori, sono gli stessi utilizzati nell'esperimento BaBar. Sono costituiti da un profilo a pettine in PVC, formato da 8 celle a forma di parallelepipedo di sezione $15 \times 17 \text{mm}^2$, aperte da un lato [7]. Il profilo è ricoperto di grafite con resistività superficiale compresa tra 0.1 e 1 $\text{M}\Omega/\text{sq}$. Lo strato di grafite funge da catodo; la scelta di un materiale resistivo piuttosto che un metallo permette di poter avere una lettura catodica dei segnali esterna alle camere. Nel paragrafo 1.3.4 verrà

spiegato in dettaglio il funzionamento della lettura catodica nei tubi di Iarocci. All'interno di ogni cella è inserito in posizione centrale un filo (in lega di berillio e rame, ricoperto da un sottile strato d'oro), che funge da anodo, del diametro di $100\mu m$; tale filo è più grosso rispetto ad altri tipi di camere a gas (es: MWPC) e quindi molto resistente. I fili sono saldati su di un cavaliere reggifilo (PCB holder) in polietilene rigido alle estremità del profilo. Lungo le celle sono sorretti da altri cavalieri (wire holder) aventi la funzione di limitare i movimenti del filo all'interno della cella, evitando così la distorsione del campo elettrico. Sul PCB holder sono montate le schede elettroniche per il collegamento dei cavi di alimentazione e per la saldatura dei fili. La grafite viene collegata a massa tramite l'utilizzo di una gomma conduttiva, inserita tra quest'ultima e il PCB holder. Il profilo così composto viene inserito in una camicia in PVC chiusa alle estremità da due tappi (endcaps) di plastica, sigillati con del mastice, così composti [9]:

- Il primo tappo contiene oltre ai 2 connettori per il gas, anche 4 connettori per il collegamento all'alta tensione (1 per ogni 2 celle adiacenti, che vengono alimentate insieme) ed un connettore per il ground.
- Il secondo tappo contiene solo i 2 connettori per il gas.

Inoltre gli LST utilizzati hanno lunghezza 3,75 m e sono alimentati da 4 canali di alta tensione (ognuno dei quali alimenta 2 celle adiacenti).

In figura 1.6 sono schematizzate tutte le varie parti di un LST, ed in figura 1.7 si può vedere un'immagine del tubo nella sua estremità.

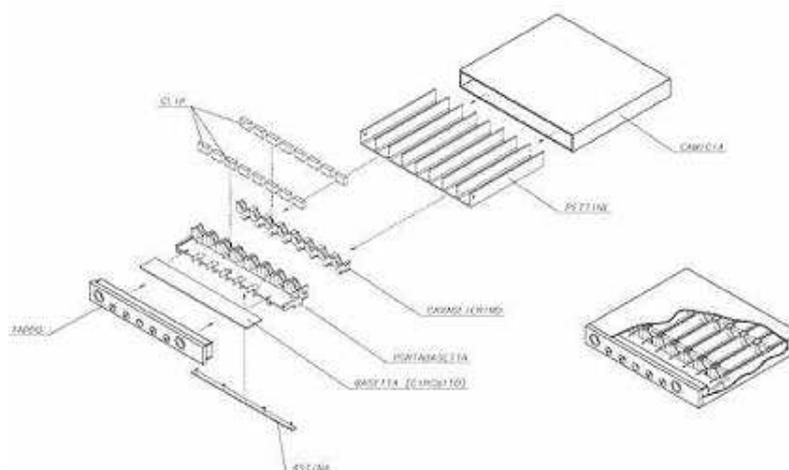


Figura 1.6: Schema di una camera LST

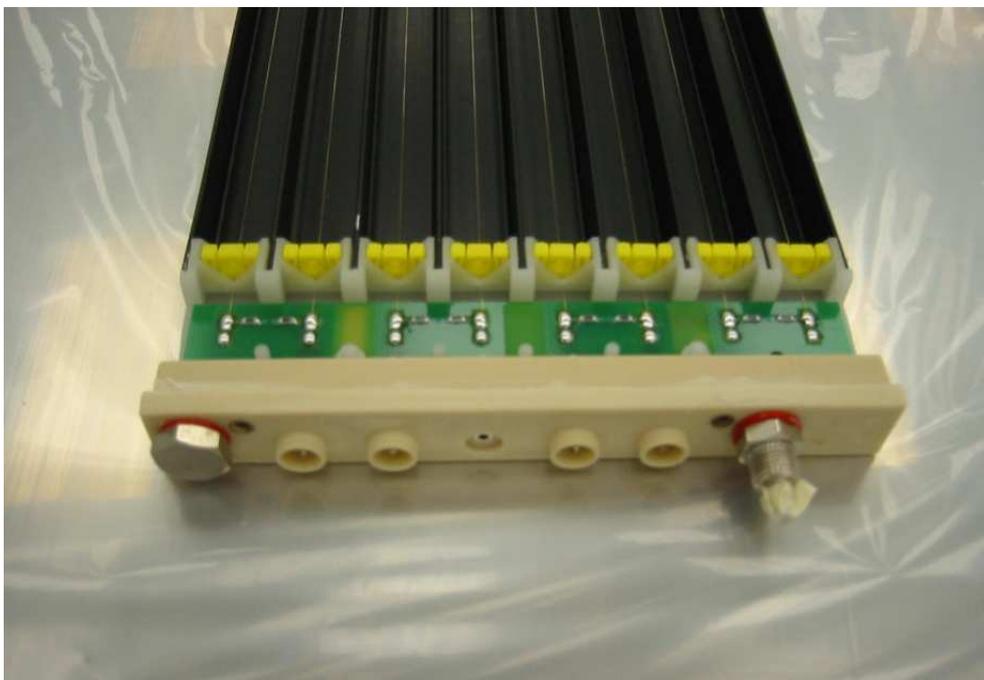


Figura 1.7: Particolare di un rivelatore LST.

1.3.2 Principi di funzionamento

Un LST è un rivelatore a gas, pertanto sfrutta il fenomeno di ionizzazione del gas al passaggio di radiazione. All'interno della camera il modulo del campo elettrico in prossimità del filo anodico è proporzionale all'inverso della distanza dal filo:

$$E \sim \frac{1}{r} \quad (1.2)$$

La geometria della camera è tale che lontano dal filo, le linee di campo non siano più a simmetria cilindrica, ma si pieghino verso i tre lati ricoperti di grafite (vedi fig.1.8).

Quando una particella carica attraversa il rivelatore cede energia alle molecole del gas tramite urti, in questo modo ionizza il gas dando vita ad un certo numero di coppie ione-elettrone, in proporzione all'energia persa dalla particella all'interno del rivelatore. Sotto l'azione del campo elettrico, generato dalla

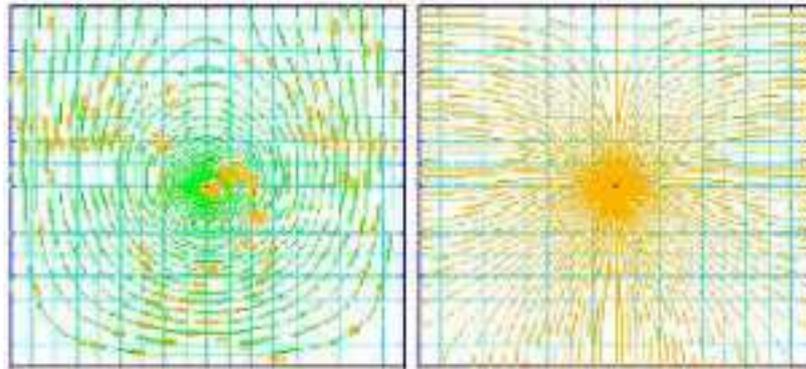


Figura 1.8: L'immagine a sinistra è riferita alle linee equipotenziali all'interno di una cella. Mentre nell'immagine a destra si osservano le linee di campo elettrico.

differenza di potenziale applicata, gli elettroni vengono accelerati verso l'anodo mentre gli ioni verso il catodo, dove vengono raccolti. L'intensità del segnale di carica all'anodo dipende fortemente dall'intensità del campo elettrico applicato [10].

Dal grafico in figura 1.9 possiamo vedere come varia la quantità di carica raccolta, al variare della tensione applicata ad una camera a gas generica e quindi al variare del campo elettrico. Il discorso che segue può essere comunque generalizzato a tutti i tipi di contatori a gas. Sempre in figura 1.9, possiamo distinguere 6 regioni di lavoro del rivelatore in funzione della tensione applicata e quindi del campo elettrico:

1. A tensione di ~ 0 Volt le coppie ione-elettrone si ricombinano, ma aumentandola anche di poco, si osserva che le forze di ricombinazione cominciano ad essere vinte dall'azione del campo elettrico e la corrente raccolta all'anodo comincia a crescere.
2. Ad un certo punto tutte le coppie ione-elettrone, formate per ionizzazione primaria al passaggio della particella, vengono raccolte e l'aumento della tensione non ha alcun effetto sulla corrente, la quale rimane pressochè costante. In questa zona piatta lavorano le **camere a ionizzazione**.
3. In questa zona cominciano a verificarsi dei fenomeni di moltiplicazione del segnale. Infatti il campo elettrico è abbastanza forte da accelerare gli elettroni primari ad un'energia sufficiente per compiere ionizzazioni secondarie. Gli elettroni secondari a loro volta vengono accelerati e generano ulte-

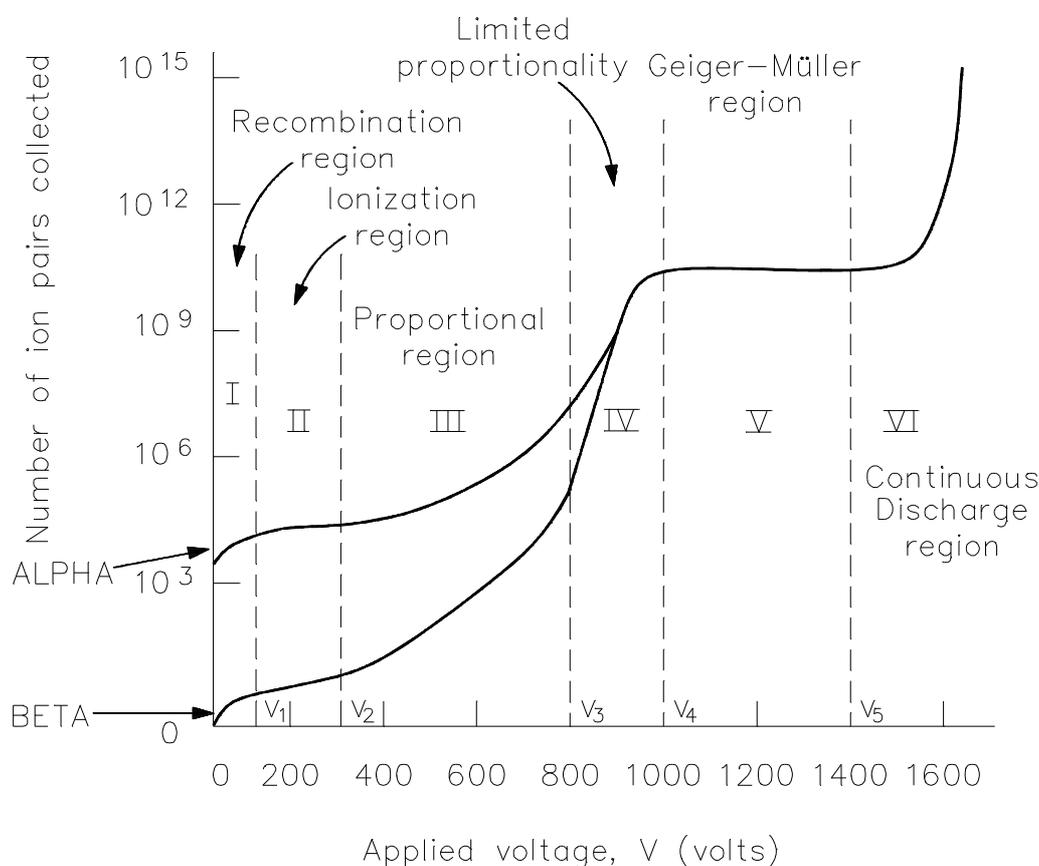


Figura 1.9: Numero di coppie ione-elettrone generate al passaggio di radiazione carica in funzione della tensione applicata. Tale grafico si riferisce a particelle α e β che ionizzano il gas al loro passaggio in un rivelatore cilindrico a singolo filo.

riori ionizzazioni e così via. Questo fenomeno è chiamato moltiplicazione a valanga e avviene in zone limitrofe all'anodo, dove il campo elettrico è più intenso. Il numero di coppie ione-elettrone create in questo modo è direttamente proporzionale al numero di elettroni primari, e quindi all'energia persa dalla particella all'interno del rivelatore. Ne risulta un'amplificazione proporzionale della corrente, con un fattore di moltiplicazione dipendente dalla tensione applicata. In questa regione lavorano le **camere proporzionali**, che possono avere fattori di moltiplicazione fino a $\sim 10^6$.

4. Incrementando la tensione si osserva che la quantità di carica, creata attraverso la moltiplicazione, genera una carica spaziale sufficientemente grande da distorcere il campo elettrico sull'anodo. La proporzionalità comincia a mancare; infatti questa zona è chiamata regione di limitata proporzionalità

o **regione a streamer limitato**. In presenza di miscele gassose con contenuti considerevoli di gas ad elevato potere di assorbimento di fotoni (*quencher*) e di fili anodici di diametro $\sim 100\mu\text{m}$, si può ottenere tale regime di lavoro, intermedio tra la regione proporzionale e quella di *Geiger-Muller*. Il nome *streamer limitato* nasce dal fatto che si viene a formare una scarica all'interno della camera, che rimane localizzata nella zona di ionizzazione primaria. In maniera molto rapida si passa dal regime proporzionale a quello di streamer limitato, a causa dei fotoni UV emessi durante la valanga, i quali hanno energia sufficiente ad estrarre nuovi elettroni dalle molecole del gas e generare in tal modo un nuovo streamer in aggiunta alla valanga originaria. Il fattore di amplificazione per camere che lavorano in questo regime può raggiungere ordini di 10^8 e la scarica può avere una lunghezza di qualche mm lungo le linee di campo (vedi fig.1.10).

5. In questa zona, chiamata **regione di Geiger-Muller**, invece di uno streamer localizzato, si ha una reazione a catena di molte valanghe, o scariche, lungo tutto il filo. Tali valanghe secondarie sono causate da fotoni ad alta energia emessi per diseccitazione delle molecole (fotoni UV), i quali migrano verso varie zone del rivelatore, causando ulteriori ionizzazioni. Anche in questo regime si usa gas quenching per arrestare la scarica, ma in minor quantità rispetto al regime di limitata proporzionalità. Il segnale di corrente in uscita dalla camera è completamente saturato ed ha un'ampiezza costante indipendentemente dalla carica di ionizzazione primaria. Come nella regione a streamer limitato, non si hanno informazioni sull'energia persa dalla particella nell'attraversare il rivelatore. In questa regione si può avere un fattore di moltiplicazione dell'ordine di 10^{11} .
6. Aumentando ancor di più la tensione applicata alla camera, si hanno scariche continue, in presenza o meno di radiazione.

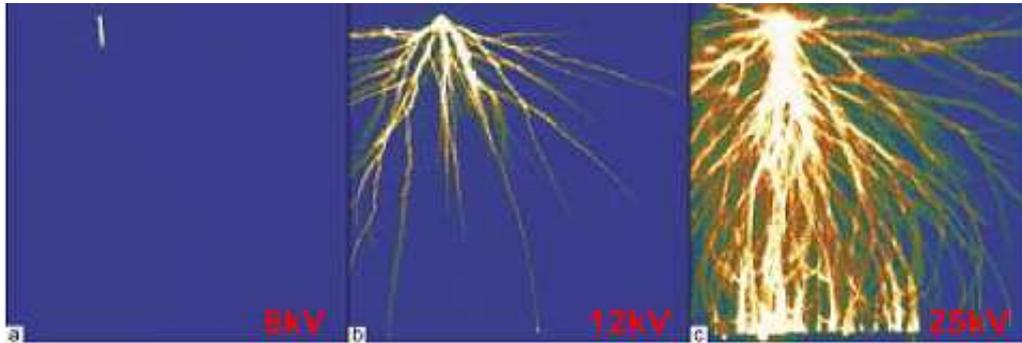


Figura 1.10: Dipendenza di forma e dimensioni dello streamer in funzione della tensione applicata. Lo streamer aumenta all'aumentare dell'alta tensione, come si vede dalle figure: (a) 6 kV; (b) 12 kV; (c) 25kV.

1.3.3 Scelta del gas

Gli LST lavorano nella regione a streamer limitato e in questo paragrafo verrà descritto il modo in cui viene scelta la miscela di gas adeguata.

Nell'attraversare la camera, la particella perde energia soprattutto per ionizzazione. Il gas da ionizzare non deve essere elettronegativo, al fine di evitare il fenomeno di cattura elettronica. Vengono utilizzati abitualmente i gas nobili (che hanno un'alta ionizzazione specifica), tra i quali l'Argon è il più utilizzato. Tuttavia con solo Ar il guadagno non supererebbe $10^3/10^4$, poichè aumentando ulteriormente la tensione si avrebbero scariche continue. L'Argon, dopo essere stato eccitato durante la formazione dello streamer, diseccitandosi emette fotoni UV (l'energia di eccitazione dell'Argon è infatti molto alta: 11,6 eV) in grado di estrarre elettroni dalle molecole del gas e dal catodo. Tali elettroni generano nuove valanghe che provocano scariche continue all'interno della camera (sesta zona del grafico in fig1.9). Questo problema si risolve aggiungendo alla miscela un gas poliatomico (quencher), ad esempio isobutano, che assorbe i fotoni in un ampio spettro di energia. La quantità di quencher deve essere elevata in modo tale che la zona di moltiplicazione resti in un canale di corrente localizzato (streamer limitato), che circonda il filo ma non si propaghi lungo di esso. In questa configurazione si raggiungono amplificazioni molto grandi dell'ordine di 10^8 . L'aggiunta dell'idrocarburo potrebbe rendere la miscela infiammabile, per cui viene aggiunta una percentuale elevata di gas non infiammabile, solitamente CO_2 .

Aumentando la tensione applicata o diminuendo la concentrazione di quencher all'interno della camera, si osserva un aumento dei conteggi di segnali. Si verifica in questo caso un fenomeno di *afterpulses*. Quest'ultimi sono prodotti dai fotoni UV, non assorbiti dal quencher, che urtando le pareti del catodo strappano fotoelettroni in grado di generare un nuovo streamer [6]. Tale segnale arriva con un netto ritardo all'anodo: l'intervallo di tempo tra i 2 impulsi è di qualche centinaio di ns.

La regione di streamer limitato si raggiunge solo in particolari condizioni :

- miscela sufficientemente ricca di quencher (la cui percentuale dipende dalle dimensioni dei tubi);
- opportuno valore dell'alta tensione di alimentazione scelto in base alla geometria dei tubi. In questo caso deve essere $<6000V$;
- scelta appropriata della geometria del rivelatore (dimensioni delle celle, del filo, ecc..).

Un'ulteriore richiesta per la miscela del gas è di fornire una curva di plateau avente la zona piatta abbastanza grande, dalla quale dedurre la tensione di lavoro. È bene ricordare l'influenza della miscela sulla curva di plateau; ad esempio si può verificare che all'aumentare della concentrazione del quencher, a parità di Argon, il plateau si sposta verso regioni a maggior tensione applicata[5].

In tabella 1.1 vediamo alcune scelte, per diversi esperimenti, di miscele sicure con le caratteristiche sopracitate, necessarie per un funzionamento stabile e a basso rumore delle camere LST:

Rivelatore	<i>Ar</i>	C_4H_{10}	CO_2
ZEUS	2.5%	9.5%	88%
SLD	3%	8%	89%
BaBar	3%	8%	89%

Tabella 1.1: Alcune miscele utilizzate in esperimenti nella fisica delle alte energie.

1.3.4 Lettura del segnale

Il segnale elettrico all'anodo o al catodo non è generato soltanto quando vi è una raccolta effettiva di carica sugli elettrodi. Bensì è un processo continuo, poichè il moto di cariche libere, all'interno del gas, richiama carica sugli elettrodi stessi. Nel caso di contatori a gas, il campo elettrico è inversamente proporzionale a r ed uno spostamento δr della distribuzione di cariche indurrà sugli elettrodi una carica $q \propto \frac{\delta r}{r}$. L'effetto è quindi molto maggiore nelle zone limitrofe al filo. La carica indotta, quindi il segnale elettrico, si compone di due contributi:

$$Q_{indotta} = Q_{ind.}(elettroni) + Q_{ind.}(ioni) \quad (1.3)$$

Il peso relativo dei due contributi dipende dal punto in cui il mezzo è stato ionizzato, all'interno del volume utile di ionizzazione.

Il segnale elettrico, indotto sui fili anodici di una camera LST, è negativo e dipende in maggior quantità dal contributo degli ioni positivi che si allontanano dal filo verso la grafite. Questo perché la quantità di carica indotta sugli elettrodi dipende dalla differenza di potenziale attraversata dagli elettroni e dagli ioni, e poichè la ionizzazione avviene in regioni vicine al filo, gli elettroni percorrono meno ΔV all'interno del tubo rispetto agli ioni [11].

Per leggere il segnale elettrico sul filo anodico, è necessario disaccoppiarsi dalla tensione di alimentazione tramite l'utilizzo di un condensatore (o 2 in serie).

La lettura catodica, negli LST, viene fatta esternamente ai tubi. Possibile perchè la grafite che funge da catodo della camera è semitrasparente ai segnali veloci. Se i catodi fossero metallici, costituirebbero gabbia di Faraday, ma poichè sono resistivi, hanno bisogno di tempo per schermare il segnale indotto dagli ioni ed elettroni in movimento all'interno del tubo. Questo implica che i segnali veloci passano e possono essere rivelati all'esterno della camera su strip metalliche. La carica indotta si distribuisce su più strip, causando una diminuzione in ampiezza del segnale rispetto a quello raccolto dal filo.

Posizionando piani di strip sopra e sotto ai tubi, ortogonalmente tra loro, si possono determinare le 2 coordinate relative al passaggio della particella. A BaBar, invece, è la lettura del segnale dal filo a fornire la coordinata ϕ (angolo azimutale attorno alla direzione del fascio), mentre il piano di strip ortogonali alla direzione dei fili, posto sotto il rivelatore, fornisce la coordinata z (lungo la direzione del fascio). La ricostruzione tridimensionale della traccia viene fatta associando

a queste 2 coordinate l'altezza dei vari layer attraversati dalla particella carica. I segnali in uscita dai fili e dalle strip vengono portati, tramite cavi flat, alle *front end cards* (FEC) poste all'esterno del rivelatore. Le LST-FEC sono schede elettroniche di lettura, composte da 16 canali ciascuna, utilizzate per l'amplificazione e la discriminazione del segnale, con la possibilità di programmare la tensione di soglia (vedi fig.1.11). Esistono due tipi di FEC : le w-FeC che amplificano il segnale in arrivo dai fili (negativo) e le s-FeC che amplificano i segnali delle strip (positivo). La differenza sta sostanzialmente nel guadagno, maggiore per le FEC di tipo s in quanto il segnale indotto sulle strip è piú piccolo di quello indotto sui fili. La scheda madre contenente le front end cards è munita di un componente FPGA (Field Programmable Gate Array), che contiene tutta la logica digitale del sistema di readout. I segnali digitalizzati (*hit*) vengono poi inviati al sistema di acquisizione dati DAQ di BaBar.

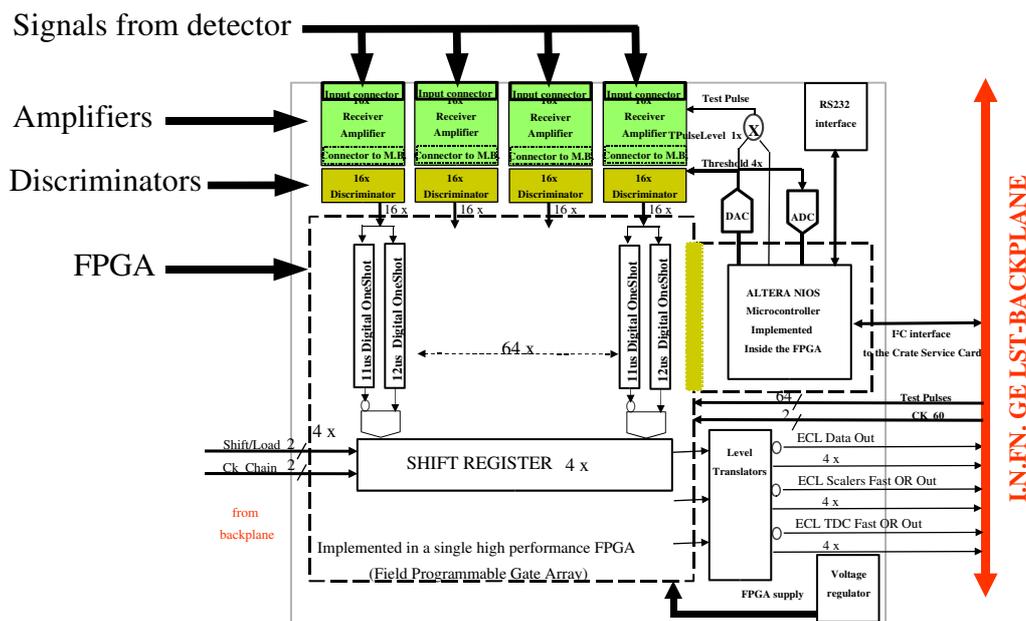


Figura 1.11: Diagramma schematico della Front End Card, usata per la lettura di LST, dove è possibile distinguere i diversi stadi: amplificazione, discriminazione, manipolazione degli hit di informazione e trasmissione.

1.3.5 Vantaggi di un rivelatore LST

In esperimenti tipo BaBar gli LST si hanno mostrato efficienza $>90\%$, in corrispondenza all'accettanza geometrica di tali rivelatori; sono semplici da costruire, robusti ed economici. In tabella 1.2 sono mostrate le caratteristiche generali degli LST utilizzati in diversi esperimenti di fisica delle alte energie.

Il loro utilizzo in questi esperimenti ha mostrato le possibilità di:

- minimizzare gli spazi morti;
- posizionare le camere all'interno del rivelatore in modo che sia semplice rimuoverle se necessario;
- fornire ogni LST di più canali indipendenti di lettura;
- posizionare l'elettronica di lettura all'esterno del rivelatore, in modo da non dover intervenire sul rivelatore in caso di problemi all'apparato elettronico;
- lettura dei segnali esterna alle camere, indipendente dalla tensione di alimentazione.

Esperimento	tubi	lunghezza	mortalità
BABAR	1300	3.75m	$\approx 0.1\%$
ZEUS	3400	10m	$\approx 2\%$
DELPHI	19000	$\leq 4.1\text{m}$	$\approx 6\%$
OPAL	6700	$3 \leq L \leq 7.3\text{m}$	$\approx 6\%$
SLD	10000	$1.9 \leq L \leq 8.6\text{m}$	$\approx 7\%$
MACRO	6000	12m	$\approx 0.1\%$

Tabella 1.2: Nella tabella sono riportati i maggiori esperimenti che hanno utilizzato LST come rivelatori di muoni e le caratteristiche principali.

Capitolo 2

Setup sperimentale

Per poter svolgere tutti i vari test sui prototipi di pixel realizzati in questo lavoro, i quali verranno descritti in dettaglio nel prossimo capitolo, si è dovuto in primo luogo preparare l'apparato sperimentale. Si è quindi proceduto con la preparazione del sistema del gas per farlo scorrere all'interno degli LST e del sistema ad alta tensione per l'alimentazione e test elettrici sulle camere. Tutti questi preliminari sono descritti in dettaglio nei prossimi paragrafi.

2.1 Il sistema del gas

Il sistema del gas si basa sul controllo del volume di gas che scorre all'interno dei tubi. Nel nostro caso disponiamo di 10 tubi disposti su tre strati (3 tubi adiacenti nei due piani più in alto e 4 nel piano più in basso); ogni strato è separato dall'altro con un foglio di rame connesso a massa, al fine di schermare le camere. Il gas viene condotto all'interno degli LST in sequenza, attraverso gli appositi ugelli, dalla camera 1 alla 10 secondo la numerazione rappresentata in figura 2.1. In figura 2.2 si vede la disposizione su strati degli LST, con relative camere di entrata e uscita del gas.

La miscela del gas è stata scelta secondo i criteri precedentemente enunciati nel

1	2	3	
4	5	6	
7	8	9	10

Figura 2.1: Schema di numerazione delle camere

paragrafo 1.3.3, ed è costituita da:

Ar	3%
C_4H_{10}	9%
CO_2	88%

Ognuna di queste linee di gas viene collegata all'apposito flussimetro per poi convogliare il tutto all'interno del miscelatore. L'uscita dello stesso viene poi connessa mediante un tubo alla prima camera del sistema. Il gas attraversa poi tutte le camere e in uscita viene monitorato tramite l'utilizzo di un gorgogliatore. Inoltre vengono periodicamente controllate le pressioni dei vari gas, in uscita dalle bombole.

I flussimetri vengono controllati per mezzo di un display (vedi fig.2.3), sul quale

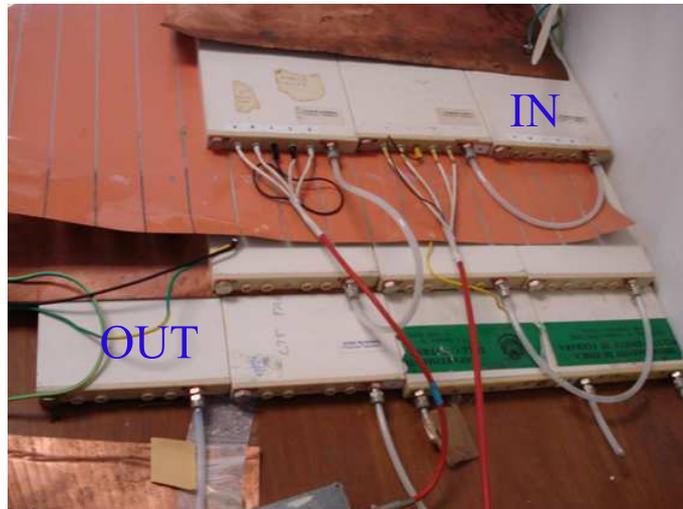


Figura 2.2: Immagine del sistema del gas utilizzato in laboratorio. Sono indicate le camere di entrata e uscita del gas dal sistema. Sono visibili inoltre le connessioni ad HV, gli ugelli e i piani di massa inseriti tra gli strati di LST.

si possono impostare le concentrazioni relative ad ogni gas che si desidera utilizzare. Il flusso totale di gas è stato impostato a 2 l/h, quindi ci sono 1.6 ricambi di gas al giorno.

Sul display vengono quindi impostate le percentuali di flusso totale, ricalcolate rispetto alle portate massime dei flussimetri, che sono:

- Ar 25cc/min
- C_4H_{10} 50cc/min
- CO_2 200cc/min

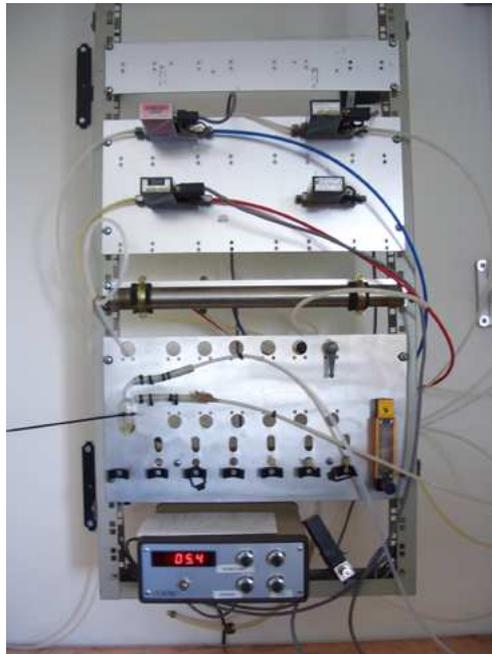


Figura 2.3: Immagine di flussimetri, miscelatore e display di controllo

2.2 Condizionamento

Il *condizionamento* è uno dei vari test preliminari che vengono eseguiti su camere LST per garantirne un buon funzionamento.

I tubi appena costruiti possono avere al proprio interno residui di grafite, polvere e altre particelle. Queste imperfezioni possono compromettere il corretto funzionamento delle camere. Al fine di rimuovere le impurità dalle superfici interne delle camere, viene eseguita una procedura, chiamata appunto condizionamento. Tale procedura consiste in un aumento graduale della tensione di alimentazione mediante vari step, per ognuno dei quali viene misurata la corrente assorbita dalla camera, che non deve superare una determinata soglia. Inizialmente si lascia assorbire al tubo una corrente anche elevata, al fine di bruciare polvere e imperfezioni.

Una superficie viene ritenuta idonea se il valore della corrente rimane stabile per diversi minuti, sotto la soglia (tipicamente 200/250 nA), prima di passare allo step di tensione successivo. Al contrario, in presenza di imperfezioni, si possono formare delle scariche ed il valore della corrente può superare la soglia. A questo punto si abbassa la tensione fino a zero per spegnere la scarica e poi si ricomincia da capo. Le scariche che vengono a formarsi permettono

di bruciare le impurità interne ai tubi; ripetendo questo procedimento molte volte, si osserva che la corrente comincia a diminuire nel tempo durante il condizionamento. Alla fine di tale processo le camere devono mantenere un valore di corrente stabile ed entro la soglia in funzione della tensione di lavoro [1].

In laboratorio disponiamo di un alimentatore ad alta tensione mod.CAEN SY546, che provvede all'alimentazione degli LST. Tale alimentatore può contenere fino a 8 elementi(*board*), di 12 canali ciascuna; si può controllare e monitorare lo stato di ogni canale. L'apparato deve provvedere a fornire tensioni fino a 6000V ed a proteggere da sovracorrenti.

L'alimentatore può essere controllato tramite PC via porta seriale, per mezzo di un emulatore di terminale (minicom in linux), oppure via CAENET per mezzo della scheda PCI caenet A1303 inserita all'interno del calcolatore, che gestisce appunto l'alimentatore stesso. Nel nostro caso si controlla l'alimentatore via porta seriale, con la possibilità di inserire i parametri di controllo che si ritengono opportuni[13].

I parametri principali dell'apparato sono:

- Vset: valore di tensione di alimentazione impostato (fino a 6KV)
- Iset: valore di corrente massimo permesso (che può essere impostato fino a $5\mu\text{A}$)
- Ramp-Up: velocità di salita massima in V/s
- Ramp-Down: velocità di discesa massima in V/s
- Vmon: valore di tensione monitorata (sensibilità di 1V)
- Imon: valore di corrente monitorata (sensibilità di 1nA)
- Trip: tempo massimo impostato, in cui un canale può rimanere in OVC (overcurrent)

Il valore della corrente massima (Iset) può essere impostato per ciascun canale; mentre la tensione impostata(Vset)è la stessa per ogni canale della board. Tramite PC si sono stabiliti i valori di Iset a $1\mu\text{A}$ e di trip a 60s. In figura 2.4 è visibile l'apparato di alimentazione CAEN SY546.

Il condizionamento è stato eseguito manualmente, non disponendo di un programma automatico a tal fine. Poichè i tubi erano già stati alimentati per molto

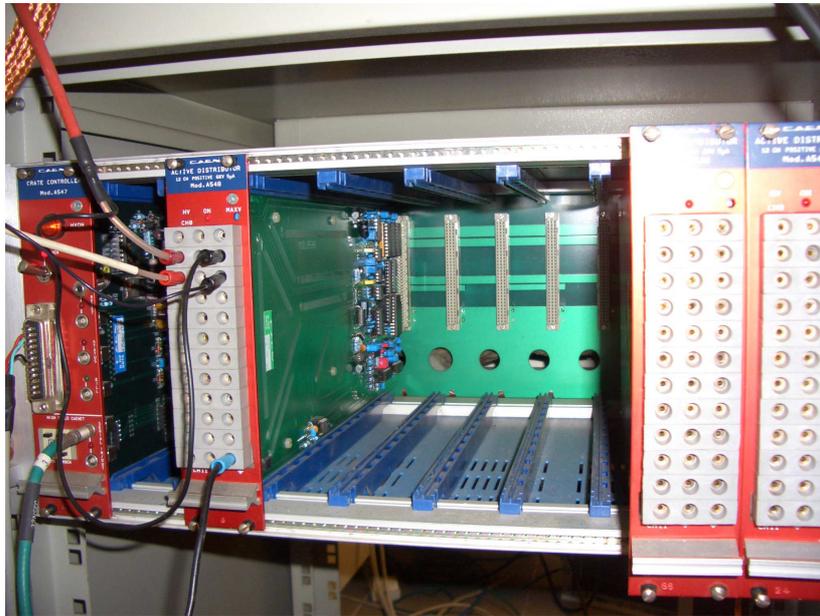


Figura 2.4: Immagine dell'HV supply CAEN SY546. Nel crate di alimentazione sono inseriti quattro moduli. Quello più a sinistra è il pannello frontale che, attraverso un interruttore, gestisce l'abilitazione/disabilitazione delle uscite. Gli altri moduli sono boards e ad una di queste sono collegati due cavi di alimentazione di camere LST.

tempo, non è stato necessario eseguire un vero e proprio processo di conditioning.

Ciascuna delle 10 camere è stata collegata a un canale di una board. Per ognuna di esse si è variata la tensione da 4500 V a 5900 V, mantenendola costante qualche minuto per ogni valore di V_{set} . La corrente monitorata non doveva superare i 200/250 nA; in caso contrario la camera non sarebbe stata ritenuta buona ai fini sperimentali, a causa delle troppe scariche generate al suo interno. Tre tubi (camere 8,9,10) hanno avuto questo problema, andando in OVC molto oltre i 1000 nA. Si è deciso quindi di accantonarle e posizzarle in fondo al sistema del gas. Le altre 7 camere mantenevano una corrente inferiore a 200 nA fino a tensioni di 5800/5900 V, per cui si è deciso di procedere alla determinazione dell'intervallo di plateau per ognuna di esse.

2.3 Misura del Plateau

Attraverso la determinazione delle curve di plateau si stabilisce il punto di lavoro delle camere LST. Tale procedimento viene eseguito sui tubi che hanno superato il condizionamento con successo. Si tratta di porre in relazione i conteggi in singola (relativi al passaggio dei raggi cosmici attraverso le camere) forniti da un contatore collegato all'uscita della camera, per diverse tensioni di alimentazione della stessa. La zona di plateau della curva è la regione stabile, piatta, in cui il numero di conteggi risulta quasi costante per piccole variazioni di tensione. Si capisce allora l'importanza di far funzionare l'LST nella zona di plateau ai fini di un corretto utilizzo della camera stessa.

In pratica la misura dei conteggi viene eseguita inviando il segnale in uscita dalla camera¹, mediante cavo coassiale, ad un discriminatore, che trasforma il segnale analogico in un segnale di logica NIM (-800mV). Successivamente si porta l'uscita del discriminatore ad un contatore per eseguire la misura.

Il discriminatore *Phillips model 711* è uno strumento in grado di eseguire una selezione tra gli impulsi analogici negativi in arrivo dalla camera, scartando quelli il cui valore di tensione è inferiore ad una certa soglia (threshold) scelta. Quando invece un impulso supera la tensione di soglia, il discriminatore invia in uscita un segnale in logica NIM (-800mV). La funzione di questo dispositivo è duplice: eliminare il rumore di fondo e rendere il segnale analizzabile dal contatore.

Per la scelta della tensione di soglia ($-1V < V_{th} < -10mV$) da impostare al discriminatore, si deve tener conto di diversi problemi. In primo luogo è necessario impostare una soglia non troppo bassa in modulo, per evitare la lettura del rumore di fondo; né troppo alta, per evitare la perdita di segnali buoni. Allo stesso scopo, occorre regolare la larghezza del segnale NIM ($width < 1000ns$) in modo da includere l'intero segnale analogico e per non contare segnali doppi in caso di afterpulse. Tale larghezza non deve essere comunque troppo grande, in quanto un valore troppo alto causerebbe la mancata rivelazione dei segnali che hanno una bassa separazione temporale da quelli che li precedono.

A questo punto l'uscita NIM del discriminatore viene collegata, tramite cavetto LEMO (di impedenza 50Ω), all'entrata del contatore della CAEN *QUAD SCALER AND PRESET COUNTER-TIMER mod.N145*. Tale modulo conta gli impulsi che giungono in un determinato intervallo di tempo. Il contatore è costituito da 4 canali (CH1-CH4: contatori ad incremento positivo) adibiti al conteggio di impulsi

¹Il segnale è relativo a tutti e quattro i canali della camera LST, che vengono alimentati insieme.

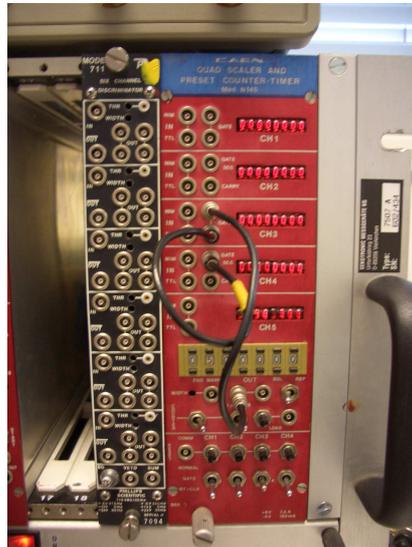


Figura 2.5: Moduli discriminatore e contatore, inseriti nel crate di alimentazione NIM. A sinistra: discriminatore **Phillips model 711** a 6 canali. A destra: contatore **CAEN QUAD SCALER AND PRESET COUNTER-TIMER mod.N145** a 4 canali.

di logica NIM o TTL, ognuno dei quali possiede due porte di ingresso in parallelo e un display luminoso in cui visualizzare il numero di conteggi. Il tempo di acquisizione viene programmato sul contatore stesso a 60s. Vi è quindi un quinto canale (CH5: cronometro ad incremento negativo), che può essere usato sia come preset-counter che come timer. In questo caso viene utilizzato come timer, cioè viene decrementato da un clock interno; sul display di tale canale si visualizza il tempo rimanente durante la fase di conteggio. I quattro contatori (CH1-CH4) lavorano in modalità GATE, cioè il contatore viene incrementato dagli impulsi del segnale di input solo se l'input gate è settato attivo [12]. In figura 2.4 vi è un'immagine dei moduli appena descritti, inseriti all'interno di un crate di alimentatore NIM.

Dopo aver spiegato in dettaglio l'apparato utilizzato per la misura dei conteggi, si passa ora all'esecuzione della misura del plateau e alla valutazione dei dati raccolti con l'utilizzo di diverse miscele di gas.

2.3.1 Plateau con miscele di gas non ottimali

La prima miscela di gas che è stata utilizzata è: $Ar / C_4H_{10} / CO_2$ (3/9/88)%. La misura dei conteggi in singola viene eseguita variando la tensione da 5000 a

5900V, a passi di 100V. Si imposta tramite minicom la tensione di alimentazione (Vset) sul PC e poi si esegue il conteggio per il tempo stabilito di 60s. Terminata la misura si passa allo step di tensione successivo ripetendo lo stesso procedimento. In figura 2.6 e 2.7 si possono osservare le curve di plateau relative alla camera 2 e alla camera 3. Si può notare un principio di plateau verso i 5800 V, per cui la tensione di lavoro sarebbe troppo alta. Una delle richieste sulla tensione di lavoro applicata alle camere è che non sia troppo elevata (<6kV), come si è spiegato nel paragrafo 1.3.3. A questo punto non resta che cambiare miscela, diminuendo la percentuale di isobutano e contemporaneamente aumentando quella di Argon. Infatti, sempre nel paragrafo 1.3.3, si è spiegato come la percentuale del quencher influisca sul valore della tensione di lavoro. Maggiore è la concentrazione di isobutano, maggiore sarà il valore di tensione in corrispondenza del quale inizia il plateau. Volendo ottenere un plateau a tensioni meno elevate, è necessario diminuire la percentuale di quencher.

Si è scelta quindi una miscela, in sostituzione alla precedente, composta dalle seguenti concentrazioni di gas: $Ar / C_4H_{10} / CO_2$ (4/8/88)%. È stato poi allargato a $3 \mu s$ il segnale in uscita al discriminatore, con lo scopo di aumentare il tempo morto in cui il sistema di acquisizione rimane inattivo dopo l'arrivo del segnale, per diminuire il contributo degli afterpulses. In questo modo si dovrebbe osservare un appiattimento della zona di plateau, nel caso in cui si sia effettivamente spostata verso regioni a tensione più bassa. Dalle figure 2.8 e 2.9, in cui sono rappresentate le curve di plateau delle camere 2 e 3, notiamo che non ci sono stati rilevanti cambiamenti. La regione di plateau inizia a tensioni troppo elevate, esattamente come nel caso precedente. Queste prerogative non consentono di trovare una buona tensione di lavoro.

Si è cercata la curva di plateau per gli altri tubi che avevano passato con successo il conditioning, ma hanno fornito risultati peggiori delle camere 2 e 3. Le tensioni di soglia al discriminatore variano da camera a camera; sono state scelte in base ai criteri esposti nel paragrafo 2.3.

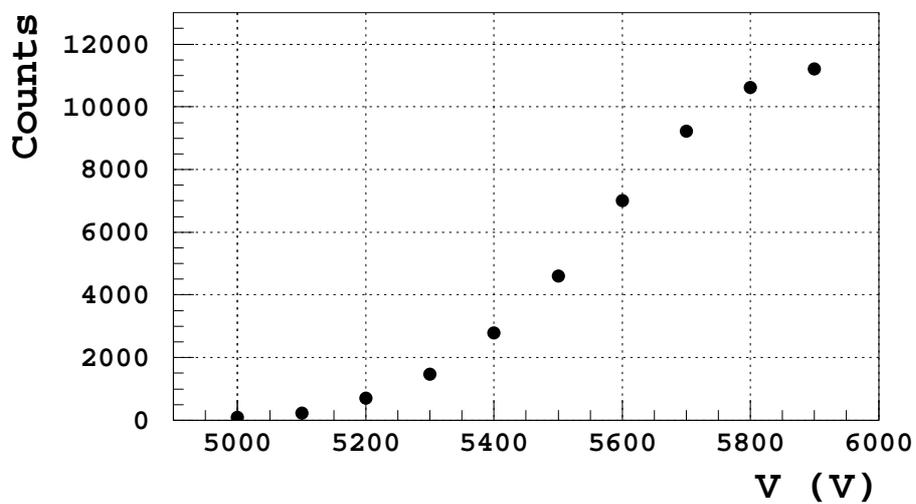


Figura 2.6: MISCELA: 3/9/88. Curva di plateau della camera 2. Impostazioni al discriminatore: $V_{th}=-58\text{mV}$; width= $1\mu\text{s}$.

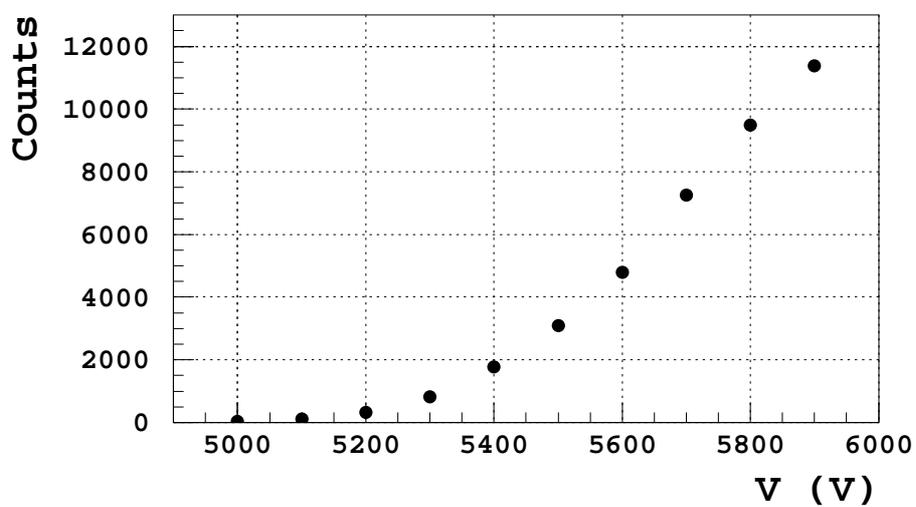


Figura 2.7: MISCELA: 3/9/88. Curva di plateau della camera 3. Impostazioni al discriminatore: $V_{th}=-70\text{mV}$; width= $1\mu\text{s}$.

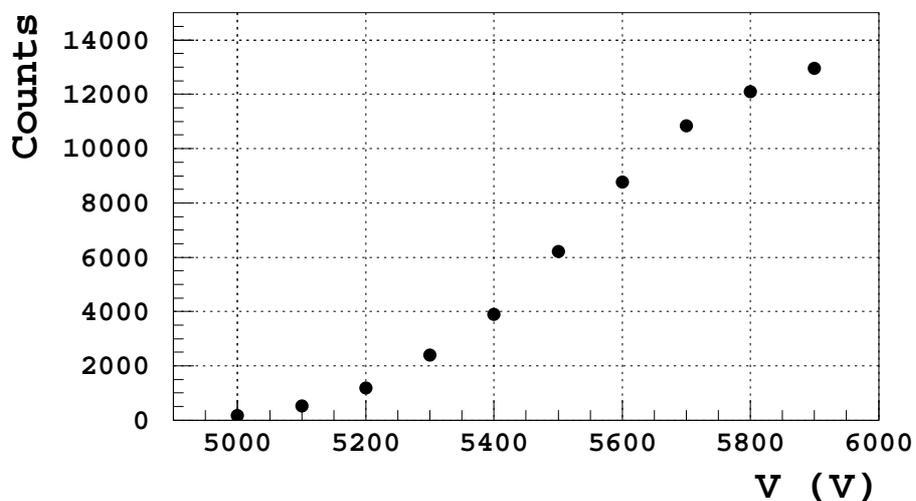


Figura 2.8: MISCELA: 4/8/88. Curva di plateau della camera 2. Impostazioni al discriminatore: $V_{th}=-58\text{mV}$; width= $3\mu\text{s}$.

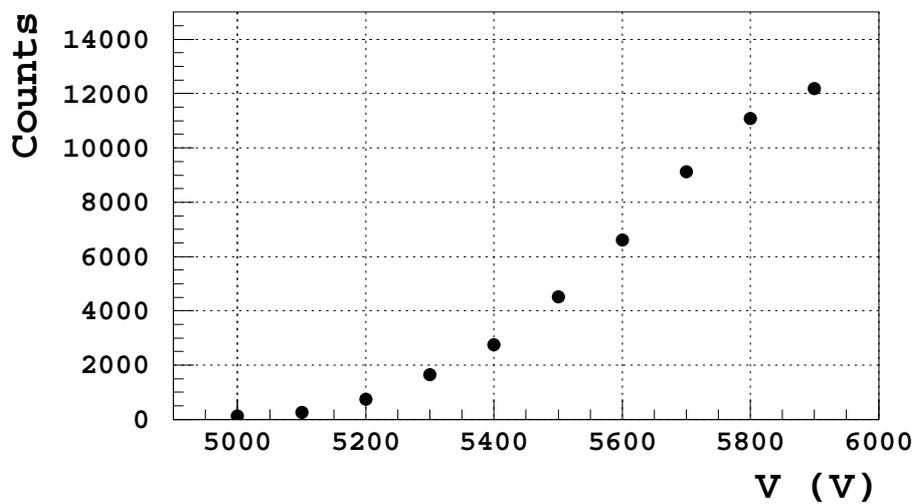


Figura 2.9: MISCELA: 4/8/88. Curva di plateau della camera 3. Impostazioni al discriminatore: $V_{th}=-70\text{mV}$; width= $3\mu\text{s}$.

2.3.2 Plateau con miscela di gas ottimale

In risoluzione ai problemi illustrati nel precedente paragrafo, si è passati ad una miscela di gas molto diversa:

Ar	16%
C_4H_{10}	8%
CO_2	76%

Si osservi come la concentrazione di Argon sia stata notevolmente aumentata, rispetto a quella di isobutano. In tal modo è diminuita anche la percentuale di anidride carbonica, ma rimane comunque nullo il rischio di infiammabilità della miscela. La regione di plateau dovrebbe essersi arretrata notevolmente, verso regioni a minor tensione applicata. Quindi si suppone di poter trovare una tensione di lavoro sufficientemente minore di 6000V. Subito si è potuto notare un aumento della corrente monitorata (I_{mon}) a tensioni $>5700V$). Ciò è dovuto all'aumento di concentrazione di gas ionizzato che ha causato un abbassamento della tensione di lavoro; infatti, a tensioni troppo alte, al di sopra di quella di lavoro, si possono formare delle scariche. A tal proposito si osserva che alcune camere, che avevano passato con successo il condizionamento, vanno in OVC ($I_{mon} > 1000nA$) a tensioni $\geq 5500V$. Tali LST sono le camere 4,6,7. La camera 5 non va in sovracorrente, ma a 5500V genera una corrente di $\sim 600nA$, che è comunque troppo alta per ritenere la camera buona. Tali camere necessitano di un condizionamento eseguito in maniera più approfondita.

Le camere 1,3,2 si comportano ancora molto bene, fornendo correnti inferiori a 200/250nA, fino ad una tensione di alimentazione di 5900V. Le curve di plateau relative a queste camere sono visibili nelle figure 2.10, 2.11, 2.12. Dai grafici si osserva che la regione di plateau è arretrata notevolmente, come volevamo. Per queste camere si può quindi determinare una tensione di lavoro abbastanza bassa, di 5500V.

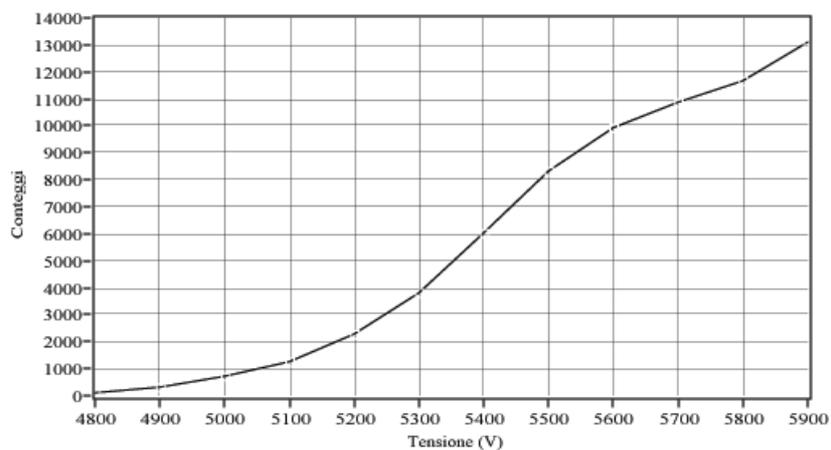


Figura 2.10: MISCELA: 16/8/76. Curva di plateau della camera 1. Impostazioni al discriminatore: $V_{th}=-80\text{mV}$; $\text{width}=3\mu\text{s}$.

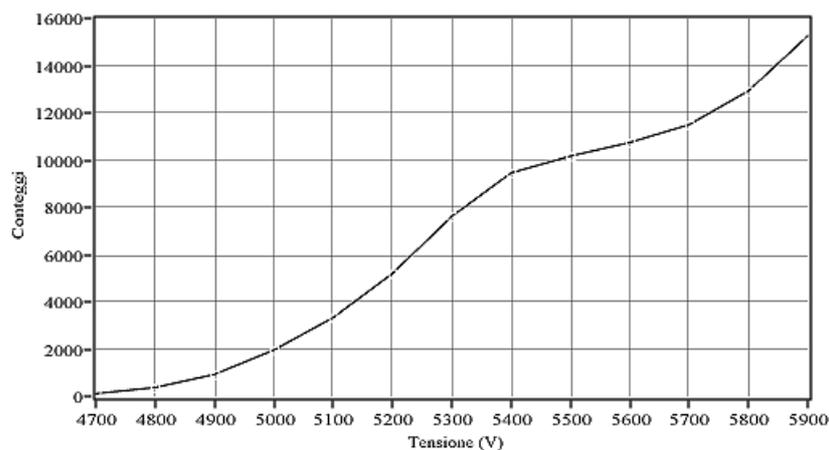


Figura 2.11: MISCELA: 16/8/76. Curva di plateau della camera 3. Impostazioni al discriminatore: $V_{th}=-80\text{mV}$; $\text{width}=3\mu\text{s}$.

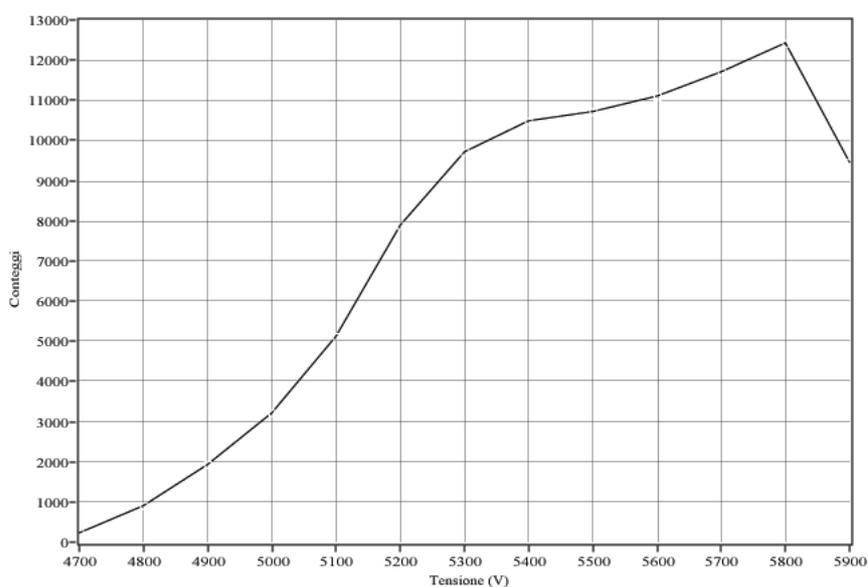


Figura 2.12: MISCELA: 16/8/76. Curva di plateau della camera 2. Impostazioni al discriminatore: $V_{th} = -80\text{mV}$; $\text{width} = 3\mu\text{s}$. A 5900 la camera va in OVC per un tempo maggiore di quello di trip, per cui automaticamente viene riportata a 0V la tensione di alimentazione. Ciò non influisce con la ricerca della tensione di lavoro, la quale è molto minore di 5900V, cioè 5500V.

Capitolo 3

Progettazione e Realizzazione dei prototipi di Pixel

In questo capitolo verrà descritto in dettaglio il Progetto Giovani Ricercatori, in cui si inserisce il lavoro di questa tesi, e le motivazioni che hanno portato alla scelta di uno sviluppo di un sistema di lettura catodica a pixel per rivelatori di muoni. Verrà inoltre descritta in dettaglio tutta la fase di costruzione dei prototipi di piani di lettura a pixel.

In un tipico esperimento di fisica delle alte energie, come BaBar, l'identificazione di μ e π carichi (che hanno massa simile, rispettivamente di circa $106 MeV/c^2$ e $140 MeV/c^2$) viene effettuata misurando il numero di lunghezze di interazione attraversate dalla particella all'interno del rivelatore di muoni. I pioni tendono a formare sciami adronici per interazione forte col materiale (ferro nel caso dell'I-FR) e quindi, a parità di impulso, attraversano minor materiale rispetto ai leptoni. Entrambe le particelle sono molto penetranti, per cui il rivelatore di muoni, che ha la funzione di distinguerle, viene posto all'esterno di tutti gli altri rivelatori[2].

3.1 Attuale lettura dei segnali per rivelatori di muoni

Gli attuali rivelatori di muoni sono tipicamente costituiti da camere a gas (come gli LST). La traccia della particella viene ricostruita misurando la posizione della scarica che si viene a formare all'interno del gas al suo passaggio. Tale scarica viene normalmente osservata per induzione su strip metalliche (vedi fig.3.1) esterne alla camera, oppure sul filo anodico. Posizionando due piani di strip ortogonali su entrambe le facce della camera, lungo tutta la sua lunghezza, si ottiene la po-

sizione della scarica nelle due coordinate mediante la lettura dei segnali sui due piani di strip.

Tale configurazione (vedi fig.3.2) genera un'ambiguità di lettura, in presenza di

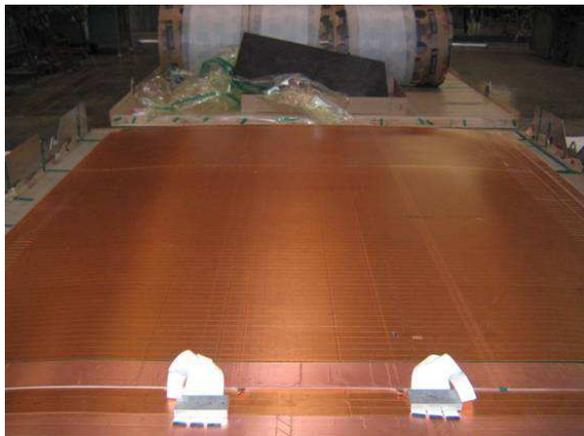


Figura 3.1: Immagine di un piano di strip utilizzato a BaBar, per la lettura catodica delle camere LST all'interno dell'IFR

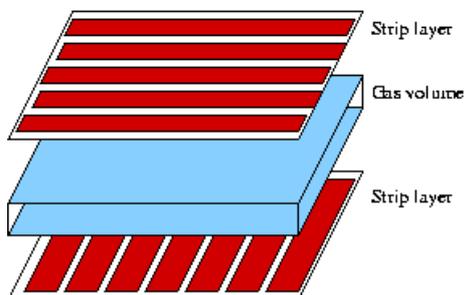


Figura 3.2: Schema del posizionamento dei piani di strip all'esterno delle camere LST.

due o più tracce simultanee. L'associazione delle coordinate nelle due dimensioni non è univoca, il che rende più complessa la ricostruzione delle traiettorie di particelle passate contemporaneamente all'interno del rivelatore. In figura 3.3 si osserva che, in presenza di passaggi simultanei di due particelle, si accendono due strip su entrambi i piani di lettura esterni alla camera, il che implica la presenza di due possibilità di ricostruzione delle tracce. Tale indeterminazione può comportare un problema con l'aumento della luminosità, e quindi degli eventi, nei futuri esperimenti quali quelli previsti alle nuove macchine acceleratrici Super B Factory e International Linear Collider.

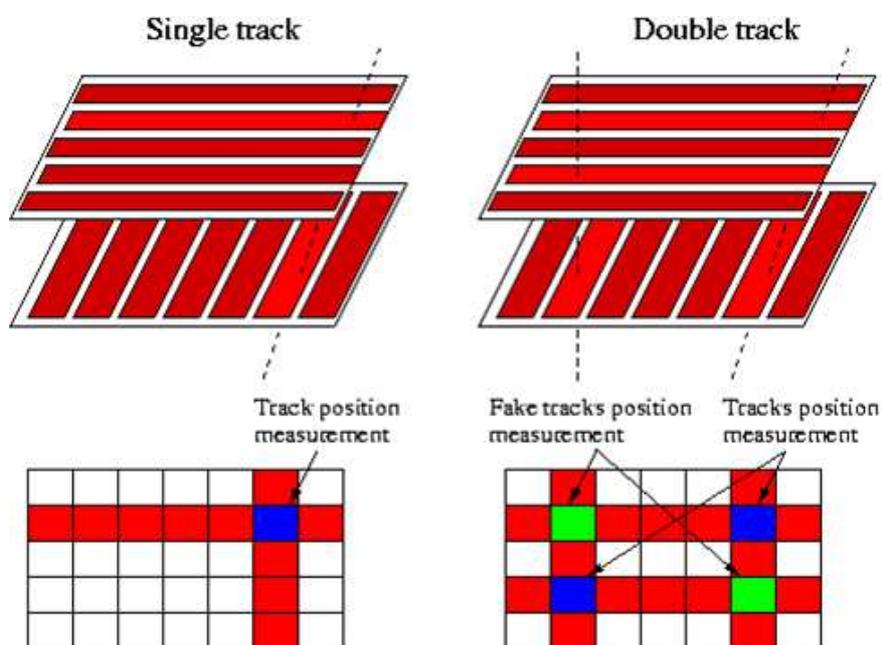


Figura 3.3: Figura a sinistra: caso di traccia singola. La posizione della traccia è misurata univocamente. Figura a destra: traccia doppia. Ambiguità nella misura delle due tracce

3.2 Descrizione del progetto

Lo scopo del progetto è lo sviluppo di una lettura catodica a pixel di camere per la rivelazione di muoni, come gli LST di BaBar, al fine di eliminare l'ambiguità nella ricostruzione della traccia.

Con l'utilizzo di pixel, che sono sostanzialmente rettangoli di rame in alternativa alle strip, si ha la possibilità di effettuare contemporaneamente la misura di entrambe le coordinate spaziali. In figura 3.4 è rappresentato lo schema di un piano di pixel.

L'introduzione di pixel genera un aumento quadratico dei canali di elettronica di lettura. Si può ovviare a questo inconveniente intervallando piani di strip tradizionali con alcuni piani di pixel. In questo modo i pixel non sostituirebbero completamente le strip, ma avrebbero la funzione esclusiva di risolvere l'ambiguità nell'associazione delle due coordinate in presenza di segnali simultanei. I pixel possono avere dimensioni maggiori della larghezza delle strip, il che diminuirebbe ulteriormente i canali di lettura dei segnali.

Immaginando l'inserimento di piani di pixel all'interno dell'IFR, si può

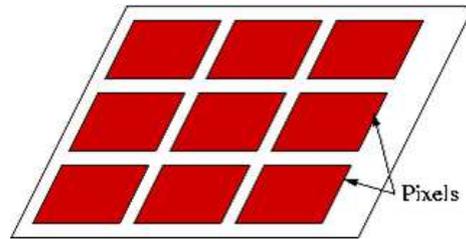


Figura 3.4: Schema di un piano di pixel per la lettura catodica di rivelatori di muoni

pensare a una disposizione in cui i pixel vengono inseriti ogni 3 o 4 piani di strip, all'interno dei 12 layer. È bene ricordare che, in BaBar, le strip sono inserite ortogonalmente alle camere LST, sotto le stesse, in tutta la loro lunghezza, fornendo così la coordinata z , mentre la coordinata ϕ è fornita leggendo il segnale sui fili interni ai tubi.

In figura 3.5 è schematizzata la configurazione sopra descritta, che risolve il problema di non univocità nell'associazione delle coordinate, senza aumentare eccessivamente i canali di lettura. Si osserva come il primo piano di pixel sia stato inserito nel primo layer, poichè i primi strati sono fondamentali per la rivelazione di altre particelle, oltre a μ e π , come il k_L^0 (di massa pari a circa 0.5 GeV), che non decade fino all'IFR, dove viene fermato nei primi strati di ferro generando sciame adronici.

3.2.1 Progettazione dei prototipi di lettura a pixel

In fase di progettazione, per la scelta delle dimensioni ottimali dei prototipi, si è dovuto tener conto di diversi fattori quali: dimensione delle camere, risoluzione spaziale e angolare tipica di rivelatori di muoni in Fisica delle Alte Energie.

Descriviamo di seguito come questi fattori abbiano determinato le dimensioni dei pixel.

- **Dimensione delle camere LST**

I tubi disponibili in laboratorio, sono costituiti da 8 celle di larghezza 17mm, separate da pareti di 1mm. Per ottenere pixel sovrapponibili completamente a 1 o più celle, si dovrà scegliere larghezze multiple intere di 18 mm.

Si è quindi deciso di costruire prototipi di pixel di tre dimensioni distinte, come si può vedere in tabella 3.1. Le larghezze w corrispondono alle due

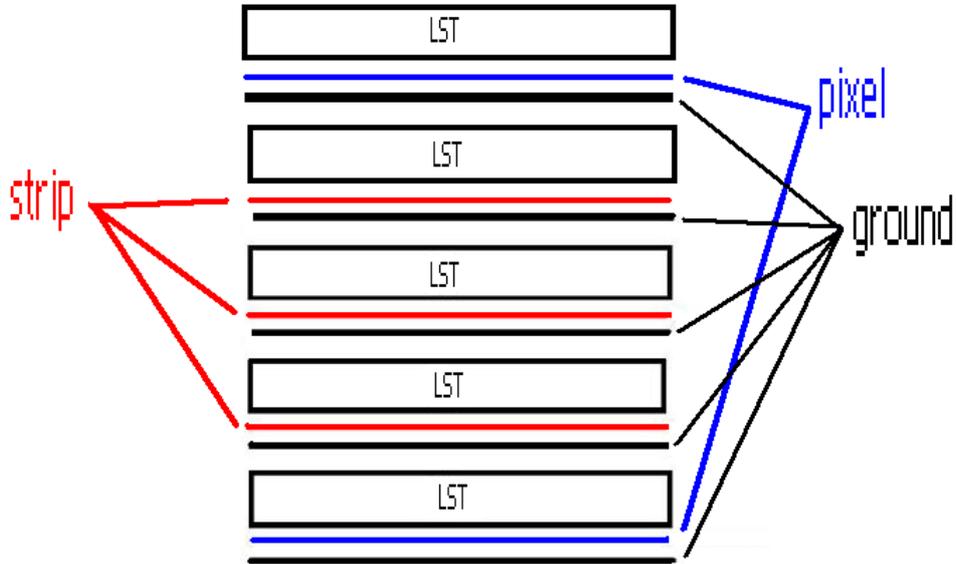


Figura 3.5: Configurazione di un immaginario inserimento dei piani di pixel nei layer dell'IFR.

coordinate ϕ e z , riferendoci all'esperimento BaBar. Da notare che i pixel L e C, si sovrappongono esattamente a 2 celle, mentre P copre la larghezza di 4 celle.

pixel	w_ϕ	w_z
L	36mm	200mm
C	36mm	100mm
P	72mm	100mm

Tabella 3.1: Dimensioni dei prototipi

- **Risoluzione angolare e spaziale**

Poiché in esperimenti come BaBar la funzione principale del rivelatore di muoni è di distinguere i pioni carichi dai muoni, attraverso la misura della profondità di lunghezza della traccia, le strip e i fili hanno anche il compito di determinare il numero dei layer attraversati dalla particella carica. Misure ad elevate risoluzioni angolari e spaziali sono lasciate ai rivelatori più

interni. Detto questo bisogna aggiungere che ad esempio l'IFR, con lettura a fili e strip, ha una buona risoluzione angolare, pur avendo una discreta risoluzione spaziale, poichè i rivelatori di muoni si trovano solitamente a distanze dell'ordine del metro dal punto di interazione dei due fasci (vedi tabella 3.2). Il primo layer dell'IFR si trova a distanza $d=1820\text{mm}$ dal vertice di interazione.

Il calcolo delle risoluzioni spaziali e angolari viene eseguito in due modi diversi:

$$\sigma(rad) = \frac{w(mm)}{d(mm)} \quad (3.1)$$

$$\sigma(mm) = \frac{w(mm)}{\sqrt{12}} \quad (3.2)$$

	$\sigma(rad)$	$\sigma(mm)$
fili (ϕ)	0.01	5
strip (z)	0.02	10

Tabella 3.2: Risoluzioni angolari ($\sigma(rad)$) e spaziali ($\sigma(mm)$) dei segnali letti sui fili e sulle strip dell'IFR. Le strip hanno risoluzioni angolari e spaziali 2 volte meno precise, rispetto ai fili, poichè hanno larghezza di 2 celle. Le risoluzioni angolari sono riferite al primo layer dell'IFR, in modo da avere una stima dell'errore più grande possibile.

I pixel, che hanno il solo compito di risolvere l'ambiguità nell'associazione delle coordinate, possono avere dimensioni più elevate delle strip e quindi risoluzioni meno precise. Nonostante ciò, è necessario avere una discreta risoluzione, spaziale e angolare, in modo da minimizzare la possibilità di passaggi contemporanei di due particelle su di un solo pixel.

In tabella 3.3 sono rappresentate le risoluzioni angolari $\sigma_z(rad)$ e $\sigma_\phi(rad)$ e le risoluzioni spaziali $\sigma_z(mm)$ e $\sigma_\phi(mm)$ riferite all'esperimento BaBar dei pixel L, C, P.

Confrontando i dati in tabella 3.3 con quelli in tabella 3.2, possiamo notare che c'è stata una perdita in risoluzione nel caso dei pixel, di entità comunque non troppo grande.

pixel	$\sigma_z(rad)$	$\sigma_\phi(rad)$	$\sigma_z(mm)$	$\sigma_\phi(mm)$
L	0.11	0.02	58	10
C	0.05	0.02	29	10
P	0.05	0.04	29	21

Tabella 3.3: Risoluzioni angolari e spaziali dei pixel, riferiti al primo layer dell'IFR.

3.2.2 Realizzazione dei prototipi

I prototipi sono stati realizzati utilizzando dei piani di strip di rame in uso nell'esperimento BaBar, il che è risultato conveniente per ottenere misure precise, in quanto tali strip hanno larghezza pari alla dimensione di due celle, cioè 36 mm. I piani di strip sono costituiti da striscie di rame estremamente sottili, inserite tra due fogli di mylar: pellicola in poliestere trasparente le cui caratteristiche principali sono antiaderenza e inestensibilità. Su di un altro foglio di mylar è incollato il piano di massa; il tutto è incollato al piano di strip, dalla parte del mylar, allo scopo di isolare strip e massa.

Si è tagliata una parte del piano di strip (privo di massa), in maniera tale da ottenere un'area che contenesse esattamente 8 pixel del prototipo considerato. La scelta di 8 pixel è stata dettata dalla conformazione della scheda utilizzata per accoppiare i segnali in uscita dai prototipi con il readout dell'elettronica, chiamata *Transition Board*. Tale scheda infatti, possiede 2 connettori di entrata per cavi flat da 8 canali ed un'uscita da 16 canali per cavo ribbon. In figura 3.6 sono visibili i 2 connettori di entrata e quello in uscita, collegati tra loro per mezzo di resistenze da 100 Ω .

Il numero di pixel stabilito è inoltre sufficientemente elevato da permettere l'esecuzione dei vari test, che verranno descritti nel prossimo capitolo.

Nella costruzione del prototipo P, il quale deve essere di larghezza w_ϕ doppia rispetto alla strip, si sono collegate due strip adiacenti con collegamenti di rame. Il prototipo costruito in questo modo presenta al suo interno un passo di mylar, privo di rame, di larghezza 2 mm, che è la spaziatura tra le strip. La larghezza lungo ϕ di tutto il pixel è 74mm, ma la larghezza dell'area attiva è $w_\phi=72$ mm (vedi fig.3.10).

Dopo aver realizzato le diverse geometrie di L, C, P, si sono create delle piccole aperture nel mylar fino allo strato di rame, per poter saldare i cavi flat sui vari pixel. Si è completato il prototipo incollando il foglio di massa a quello di pixel

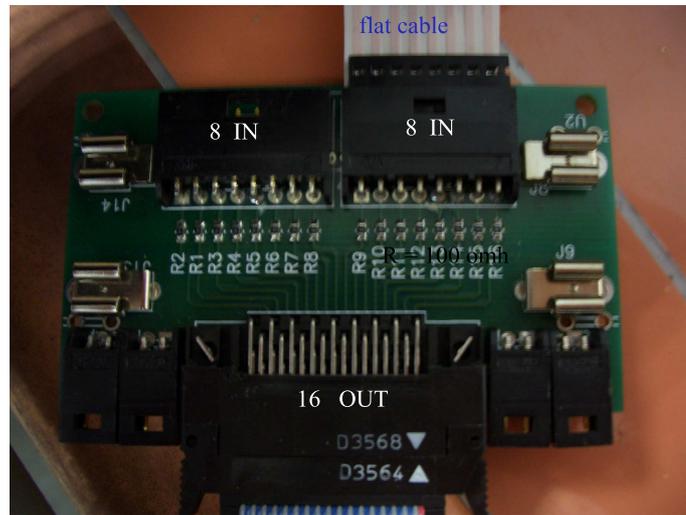


Figura 3.6: Immagine della **Transition Board**: sono stati evidenziati ingressi e uscite. Si possono vedere anche i cavi flat, provenienti dal prototipo, in entrata ad un connettore della scheda.

utilizzando del biadesivo. In ultimo è stato saldato un cavo sul foglio di massa per la connessione a terra.

In figura 3.7 si può vedere lo schema del prototipo con tutte le varie parti appena descritte.

Nelle figure 3.8, 3.9, 3.10, sono visibili le foto rispettivamente dei prototipi L,

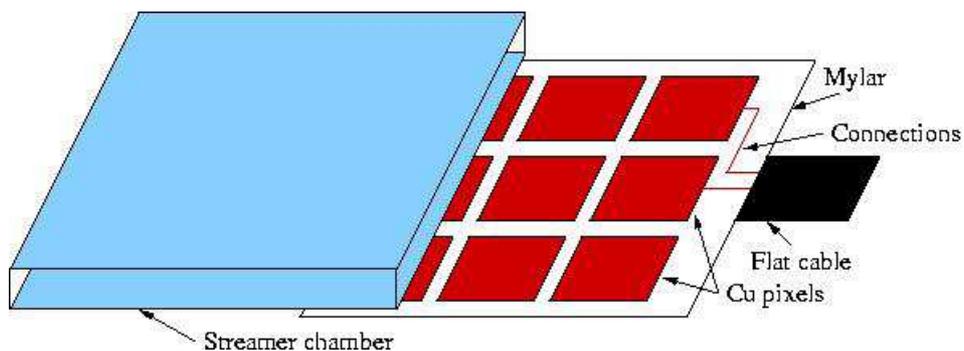


Figura 3.7: Schema di un foglio di pixel.

C, P realizzati in laboratorio. Il contorno blu delimita la grandezza di un pixel e inoltre si notano i punti in cui si sono saldate le connessioni o i ponti nel caso del prototipo P, i cavi flat di uscita dei segnali e il cavo di massa.

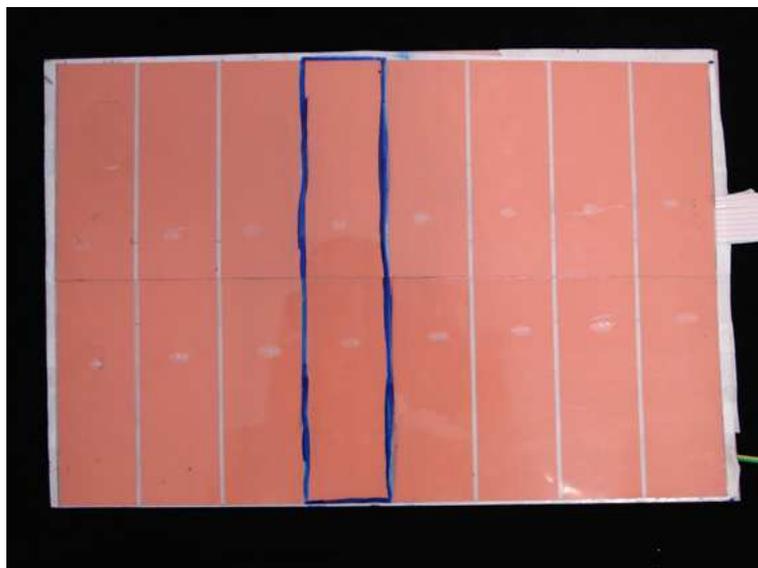


Figura 3.8: Immagine del prototipo L di dimensioni 200x36 mm².

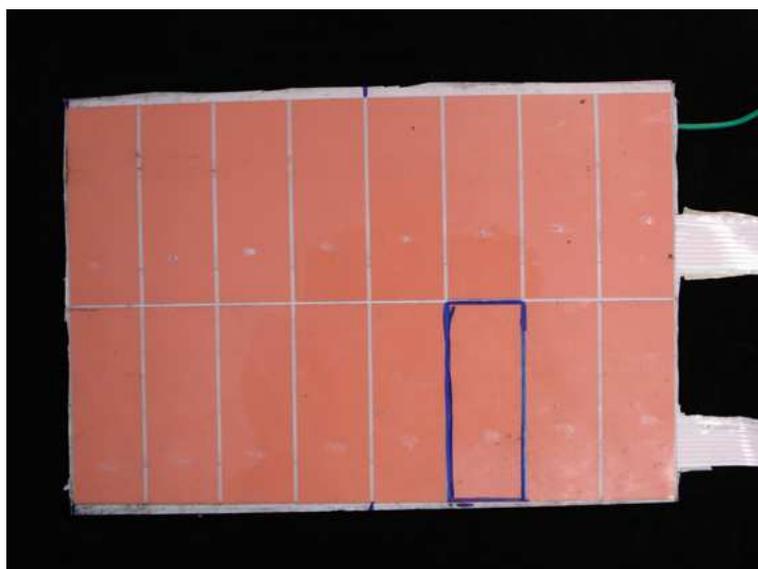


Figura 3.9: Immagine del prototipo C di dimensioni 100x36 mm². Nell'immagine si può vedere che in questo caso sono stati realizzati due prototipi C da 8 pixel ciascuno; possono quindi essere utilizzate entrambe le entrate della transition board.

Durante la fase di test dei prototipi, non riuscendo ad ottenere risultati ottimali, come vedremo nel prossimo capitolo, si è deciso di costruire un nuovo prototipo con caratteristiche diverse. A differenza dei prototipi descritti in precedenza,

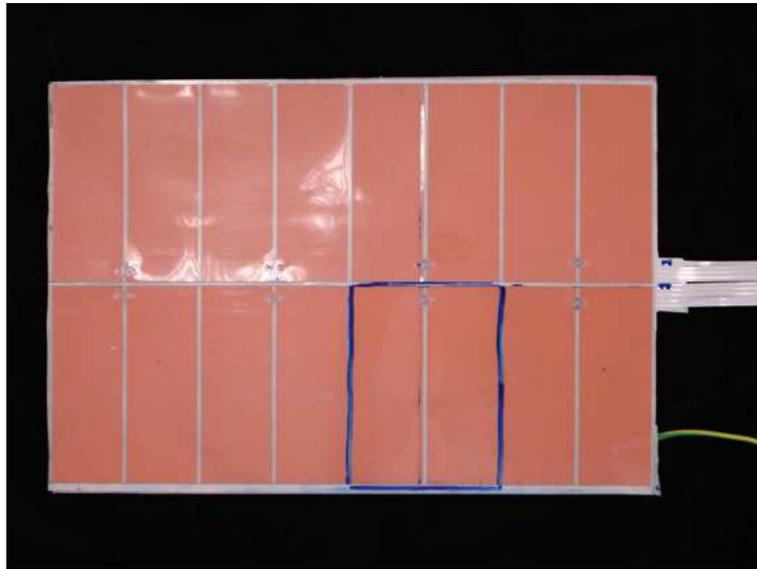


Figura 3.10: Immagine del prototipo P di area attiva $100 \times 72 \text{ mm}^2$. Da notare il passo inattivo di 2mm interno al pixel.

il nuovo prototipo non è stato realizzato riutilizzando piani di strip, ma incollando su di un foglio di mylar, gli 8 pixel ricavati da un sottile foglio di rame con un lato isolante. La geometria del nuovo prototipo è la stessa del prototipo P; in questo modo un ipotetico comportamento differente durante lo svolgimento dei test di questi due prototipi potrebbe dipendere solamente dalla diversa tipologia di costruzione. Per l'analogia di geometrie col prototipo P, il nuovo prototipo è stato chiamato **newP**.

Il modello di prova newP è stato diviso in due sottoprototipi (vedi fig.3.11) di quattro pixel ciascuno, allo scopo di poter offrire due alternative ai primi prototipi realizzati, che sono:

- **newP_u**, dove la *u* sta per up, così chiamato poichè i 4 pixel, di cui è composto, sono posizionati con il lato di rame verso l'esterno. Tale prototipo è posizionato vicino alle uscite dei connettori.
- **newP_d**, dove la *d* sta per down. In questo caso i quattro pixel volgono il lato conduttore verso il foglio di mylar. Si trova nella parte più lontana dalle uscite dei connettori.



Figura 3.11: Immagine del prototipo **newP**. Si distinguono i due diversi sottoprototipi; **newP_u** e **newP_d**

Capitolo 4

Test di Funzionamento

In questo capitolo si descriveranno i vari test svolti in laboratorio sui prototipi di pixel e ne verranno commentati i risultati. In primo luogo si farà l'analisi dei segnali, poi misure di efficienza e molteplicità. Durante lo svolgimento dei test si sono fatte migliorie al fine di ottenere risultati sempre più idonei all'eventuale utilizzo dei prototipi in esperimenti di fisica delle alte energie.

4.1 Analisi dei segnali

Il primo test svolto è stato un'analisi di forma e dimensione dei segnali, tramite un oscilloscopio su cui fosse possibile memorizzare le immagini. L'oscilloscopio in questione è il modello Tektronix TDS 754 (con frequenza di acquisizione 500 MHz), che consente la registrazione di immagini su floppy disk.

A tensione di lavoro stabilita di 5500V si sono acquisite le immagini dei segnali raccolti su filo, pixel e strip, portati alle entrate dell'oscilloscopio per mezzo di cavi LEMO di impedenza 50Ω .

In figura 4.1 si possono osservare le differenze tra le immagini acquisite di questi 3 segnali. Le immagini (a) e (b) rappresentano i segnali raccolti sui fili, da notare che sono molto ampi (il picco è $\sim 500\text{mV}$), poiché sui fili viene raccolta l'intera carica indotta durante lo streamer. Sono segnali veloci mediamente di larghezza $\sim 100\text{ns}$.

Le immagini (c) e (d) rappresentano invece segnali indotti su di un pixel del prototipo C ed è evidente la differenza in ampiezza con i segnali indotti sui fili. Infatti i pixel raccolgono solo una parte della carica indotta durante lo streamer, mentre parte del segnale viene indotto su pixel adiacenti (**molteplicità**). La molteplicità di pixel è uno dei motivi per cui le ampiezze dei segnali in tensione indotti sui

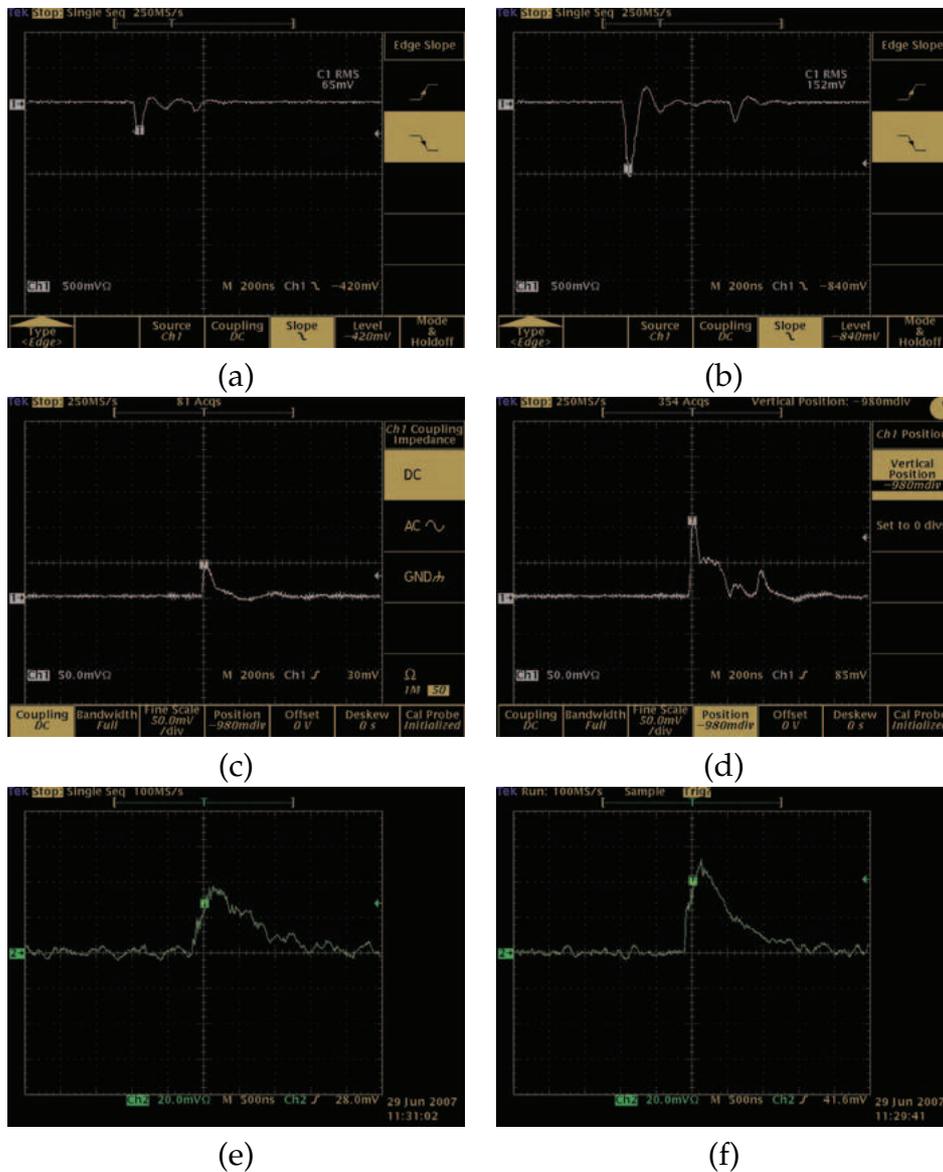


Figura 4.1: (a),(b): esempi di segnali indotti sui fili. Sono segnali negativi, veloci (100ns) e piuttosto ampi dell'ordine di centinaia di mV. (c),(d): esempi di segnali indotti sui pixel. Sono segnali positivi, veloci (200ns) e poco ampi, dell'ordine di decine di mV fino a valori massimi di ~ 80 mV. (e),(f): esempi di segnali indotti sulle strip. Sono segnali positivi, meno veloci dei segnali di pixel e fili (1.5μs) e molto piccoli, non superano quasi mai i 50 mV di ampiezza. In tutte le immagini sono visibili fenomeni di afterpulses.

pixel sono piccole rispetto ai fili, $\sim 50/80\text{mV}$. Come per i fili, anche in questo caso si tratta di segnali veloci di larghezza $\sim 200\text{ns}$. Le immagini dei segnali raccolti su gli altri prototipi sono del tutto analoghe a quelle raccolte dal prototipo C. Per poter analizzare in maniera dettagliata le possibili differenze dovute alle diverse geometrie di tali prototipi, saranno necessari ulteriori test, come l'acquisizione di spettri di carica.

Le immagini (e) e (f) corrispondono a segnali indotti su strip di dimensioni $400 \times 4000 \text{ mm}^2$ e mostrano ampiezze mediamente inferiori a 50mV . Tali segnali sono più lenti rispetto ai segnali dei pixel (width $\sim 1000\text{ns}$) a causa della diversa capacità. L'ampiezza dei segnali è invece simile a quella dei pixel, poichè in entrambi i casi è presente il fenomeno di molteplicità.

Segnali piccoli, come quelli raccolti da pixel e strip, necessitano di amplificazione prima di essere elaborati, poichè l'elettronica in uso potrebbe non vederli, generando così una perdita di segnali. Ad esempio, se si vogliono discriminare i segnali è necessario che abbiano un'ampiezza almeno pari alla soglia minima di discriminazione disponibile e sarebbe meglio se fossero molto più ampi.

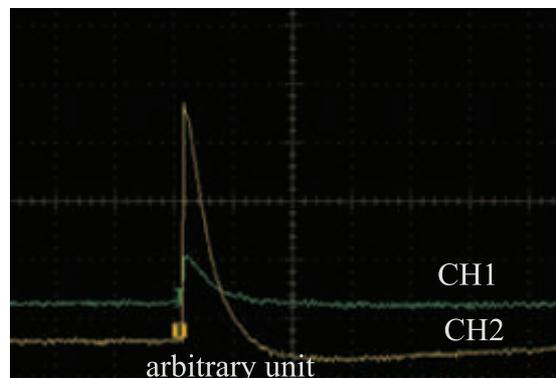


Figura 4.2: Immagini relative ai segnali del pixel attraversato dalla particella (CH2) e del pixel adiacente (CH1). Notare che il segnale prodotto sul pixel adiacente risulta inferiore rispetto al segnale indotto sul pixel attraversato. Le unità di misura sono arbitrarie.

Tramite oscilloscopio è stata successivamente effettuata un'analisi della molteplicità, cioè la formazione di un segnale su più pixel adiacenti, non attraversati dalla particella carica che ha prodotto lo streamer.

Per fare ciò si è acceso un solo canale di alimentazione della camera 2 e si sono acquisiti i segnali prodotti sul pixel posizionato sopra il canale acceso, quindi sicuramente attraversato dalla particella, e sul pixel adiacente posizionato sopra un

canale spento dell'LST. In figura 4.2 si osservano le immagini del pixel colpito e del pixel adiacente esterno al canale. Si nota che il segnale raccolto sul pixel *colpito* (CH2) è sempre più grande. Il che consente di determinare quale sia il pixel su cui effettivamente è passata la particella, che è quello su cui viene indotta la maggior quantità di carica. Uno studio più esauriente di molteplicità verrà descritto al paragrafo 4.3.

4.2 Misure di efficienza

L'efficienza, ε , di un rivelatore è definita come il rapporto tra il numero N di particelle rivelate e il numero N_0 di particelle realmente incidenti sulla superficie del rivelatore stesso:

$$\varepsilon = \frac{N}{N_0} \quad (4.1)$$

Si vorrebbe un'efficienza il più possibile prossima ad uno, ma la rilevazione sperimentale di ε risulta tuttavia piuttosto difficoltosa, in quanto tale valore risulta dipendente dalle condizioni sperimentali.

L'efficienza può essere misurata per mezzo di circuiti di *coincidenza*, vale a dire circuiti in grado di determinare quando impulsi prodotti da più rivelatori giungono contemporaneamente all'apparato analizzatore. Infatti il numero di particelle individuate in coincidenza da più rivelatori attraversati dalla stessa radiazione si può esprimere come il prodotto tra il numero delle particelle incidenti e i valori dell'efficienza dei singoli rivelatori; si ha, rispettivamente per due e tre rivelatori:

$$N_{12} = \varepsilon_1 \varepsilon_2 N_0 \quad (4.2)$$

$$N_{123} = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 N_0 \quad (4.3)$$

e da queste si ottiene facilmente:

$$\varepsilon_3 = \frac{N_{123}}{N_{12}} \quad (4.4)$$

possibile quindi misurare ε_3 conoscendo N_{123} e N_{12} . L'errore sulla misura di ε_3 viene calcolato mediante il seguente procedimento:

$$\delta\varepsilon_3 = \frac{\sqrt{N_{123} \left(1 - \frac{N_{123}}{N_{12}}\right)}}{N_{12}} \quad (4.5)$$

4.2.1 Preparazione dell'apparato di misura

In pratica, ciò che è stato svolto in laboratorio consiste nel cablare 2 circuiti di coincidenza multipla, doppia e tripla rispettivamente, al fine di determinare l'efficienza dei prototipi.

Per realizzare tali circuiti si è reso necessario l'utilizzo di 2 scintillatori come rivelatori in coincidenza, oltre a 2 camere LST. Gli scintillatori utilizzati sono costituiti da materiali plastici che quando vengono attraversati da una particella carica emettono luce in un tempo brevissimo ($< 10^{-8}$ s) ed in quantità proporzionale all'energia persa dalla particella nell'attraversarli. Tale luce prodotta viene portata, attraverso guide di luce, ad un fotomoltiplicatore che trasforma per effetto fotoelettrico il segnale luminoso in segnale elettrico al fotocatodo e lo amplifica notevolmente per mezzo di una serie di dinodi.

I circuiti di coincidenza sono stati realizzati mediante l'uso di moduli elettro-



Figura 4.3: Moduli di logica NIM, inseriti nel crate di alimentazione.

nici in logica NIM (vedi fig.4.3), per questo motivo è stato necessario discriminare i segnali analogici provenienti dai diversi rivelatori. Oltre a contatore e discriminatore, sono stati utilizzati alcuni nuovi moduli:

- **Phillips Logic Unit mod.758** offre la possibilità di essere utilizzato sia come porta AND che come porta OR a due ingressi. In questo caso è stato utilizzato come porta OR ed è stata impostata al massimo la larghezza del segnale in uscita, cioè 150ns. In questo modo si realizza un OR fra segnali che possono avere ritardi diversi a causa della diversa velocità di risposta dei vari rivelatori.

- **LeCroy Coincidence Unit mod.465** è costituito da tre porte AND a quattro ingressi, che si possono abilitare/disabilitare. La larghezza del segnale in uscita è stata impostata a 200ns.
- **LeCroy FAN IN/FAN OUT mod.429A** è un modulo a quattro ingressi che opera come una porta OR dei segnali NIM in ingresso. Non è possibile impostare la larghezza del segnale, che è fissata a ~150/200ns.

Utilizzando i moduli appena descritti si sono realizzati i circuiti di coincidenza doppia e tripla. La coincidenza doppia è stata eseguita utilizzando l'OR di due camere LST, LA e LB, e l'OR di due scintillatori, SA e SB, posizionati sopra le camere ortogonalmente ad esse (vedi fig.4.4). L'area di intersezione tra fototubi e LST è l'area attiva attraverso la quale passano le particelle in coincidenza su entrambi i rivelatori. Le camere LA e LB sono rispettivamente la 3 e la 2, scelte per il buon rendimento mostrato durante i test preliminari di condizionamento e plateau.

La coincidenza tripla è stata realizzata posizionando il prototipo di 8 pixel tra scintillatori e LST. In figura 4.4 si osserva come l'area attiva di intersezione tra LST e PMT (fototubi) sia contenuta all'interno dell'area del prototipo. Questo modo di procedere per la misura dell'efficienza è chiamato *coincidenza a sandwich* e garantisce che tutte le particelle rilevate in coincidenza doppia N_{12} , siano passate attraverso il prototipo. In questo modo la perdita di conteggi in coincidenza tripla può essere imputabile solamente alla scarsa efficienza del terzo rivelatore, cioè i pixel.

In figura 4.5 è rappresentato lo schema circuitale appena introdotto, di cui di seguito si studieranno i dettagli. Le porte logiche rappresentano i moduli coincidenza, logic unit e fan-in fan-out in analogia evidente con i circuiti di logica.

Tra i segnali provenienti da LA e LB, e da SA e SB, e così tra quelli provenienti dagli 8 pixel del prototipo, vengono eseguiti OR logici, utilizzando i moduli Logic Unit e FAN IN/FAN OUT, in modo da ottenere 3 segnali corrispondenti ai 3 piani di rivelazione. Le porte OR di LST e PMT formano così due sistemi di rivelazione in grado fornire un'area più piccola dell'area coperta dai pixel, ma che li copra sufficientemente tutti e 8. Per la misura di efficienza degli 8 pixel del prototipo C, che hanno un'area pari alla metà dell'area degli altri due prototipi, viene utilizzato un solo scintillatore.

I segnali in uscita dalle due coincidenze vengono portati a due canali del contatore e la misura viene fatta contemporaneamente per un tempo stabilito di

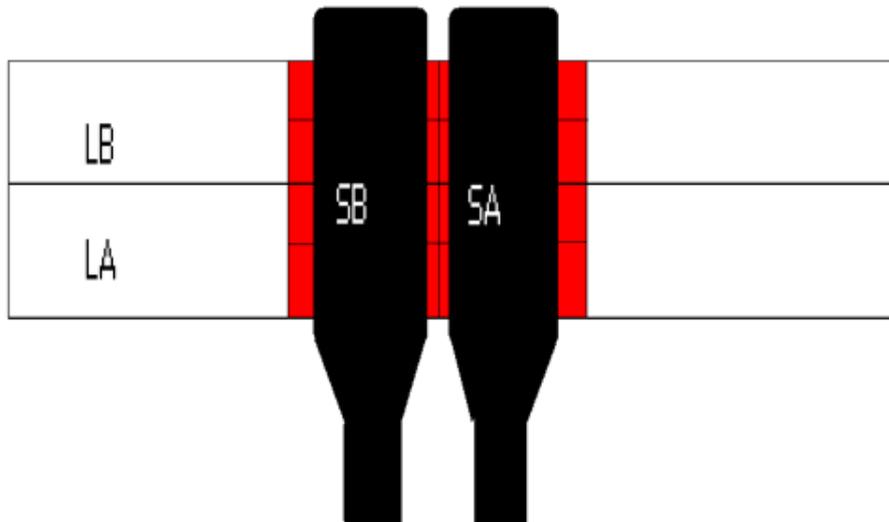


Figura 4.4: Schema dell'area attiva di rivelazione. *Sandwich* tra LST e PMT.

500 s. I valori ottenuti in questo modo, N_{12} e N_{123} , determineranno il valore dell'efficienza secondo la formula 4.4. L'efficienza calcolata in tal modo dipenderà da diversi fattori dovuti alla strumentazione utilizzata, quali la larghezza dei segnali discriminati e in uscita dalle OR, la soglia imposta al discriminatore per pixel, camere LST e fototubi e dall'alimentazione fornita agli ultimi due.

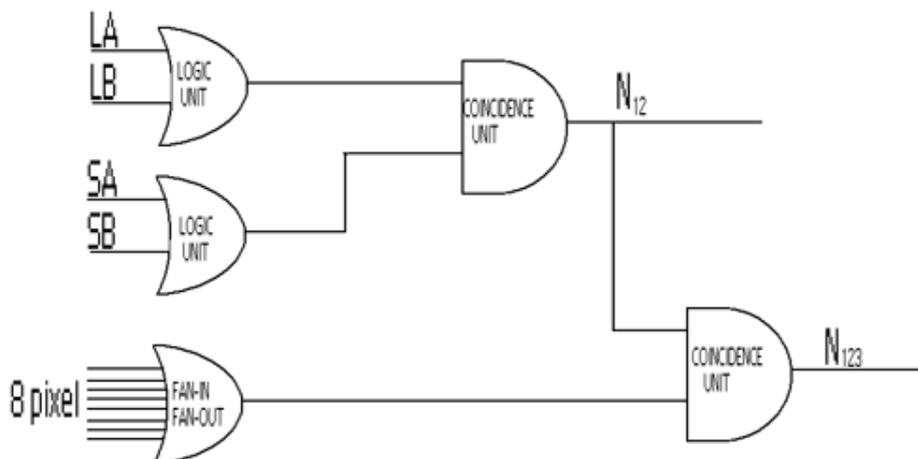


Figura 4.5: Circuiti di coincidenza.

Precedentemente è stata mostrata l'esigenza di convertire i segnali analogici, provenienti dai vari rivelatori, in segnali in logica NIM, per poter utilizzare i moduli descritti nella realizzazione dei circuiti di coincidenza doppia e tripla. Ciò rappresenta un problema nel caso dei pixel, di cui si vuole calcolare appunto l'efficienza. Il discriminatore *Phillips model 711* genera segnali NIM (-800 mV) perciò lavora a tensioni di soglia negative. Gli impulsi analogici indotti sui pixel sono invece positivi per cui è necessario invertirli prima di portarli in entrata al discriminatore.

Nel paragrafo 4.1 è stato spiegato come segnali così piccoli dell'ordine di decine di mV necessitino di amplificazione prima di poter essere discriminati, poichè la tensione di soglia minima di discriminazione impostabile è -10mV.

Per risolvere questi problemi è stata utilizzata una scheda elettronica a otto ingressi ai quali sono collegate le uscite analogiche della *transition board*. Tale scheda è composta da otto circuiti logici costituiti da **amplificatori a configurazione invertente mod. BBOPA 2650U** (vedi fig.4.6), che viene alimentata dal crate di alimentazione NIM. Ogni circuito amplifica e inverte il segnale indotto sui pixel portandolo ad un uscita per cavo LEMO. A questo punto i segnali possono essere discriminati; la tensione di soglia di discriminazione dovrà essere scelta tenendo conto del guadagno dell'amplificatore. Questo tipo di elettronica di lettura, composto da amplificatori separati dai discriminatori, consente di poter visualizzare i segnali amplificati sull'oscilloscopio prima della discriminazione per verificarne ad esempio il guadagno in tensione. Un'elettronica di readout di questo tipo può essere modificata secondo necessità e risulta quindi utile durante i test preliminari per la verifica del corretto funzionamento dei prototipi.

4.2.2 Misure preliminari di efficienza

Prima di procedere con l'esecuzione dei test, si sono impostate le tensioni di lavoro e di soglia al discriminatore per camere e scintillatori. Rispettivamente le tensioni di lavoro sono state impostate a 5500V e 2000V, mentre le tensioni di soglia a 80mV e 50mV. Per la scelta dei valori impostati alle camere si è fatto riferimento a quelli stabiliti al paragrafo 2.3.2; mentre per gli scintillatori sono stati scelti valori di tensione di lavoro e soglia trovati in precedenza durante altre esperienze di laboratorio.

Prima di eseguire i test, si è dovuta cercare la tensione di soglia da impostare al discriminatore per i prototipi L, C, P: a tale scopo si sono acquisiti i conteggi in singola dei segnali in uscita al discriminatore al variare della tensione di soglia

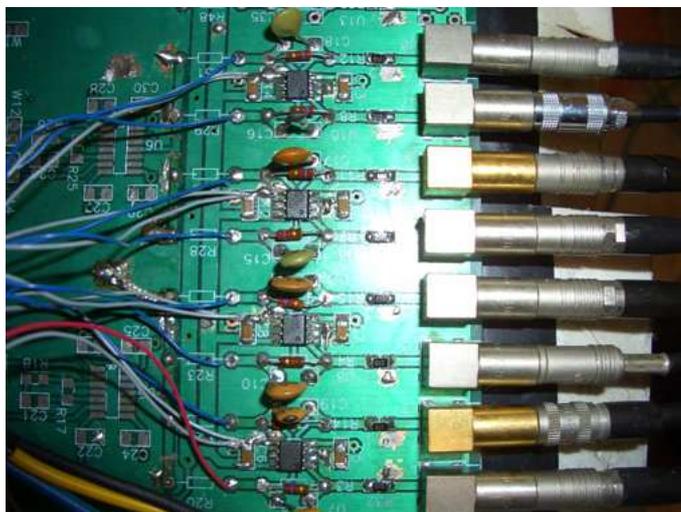


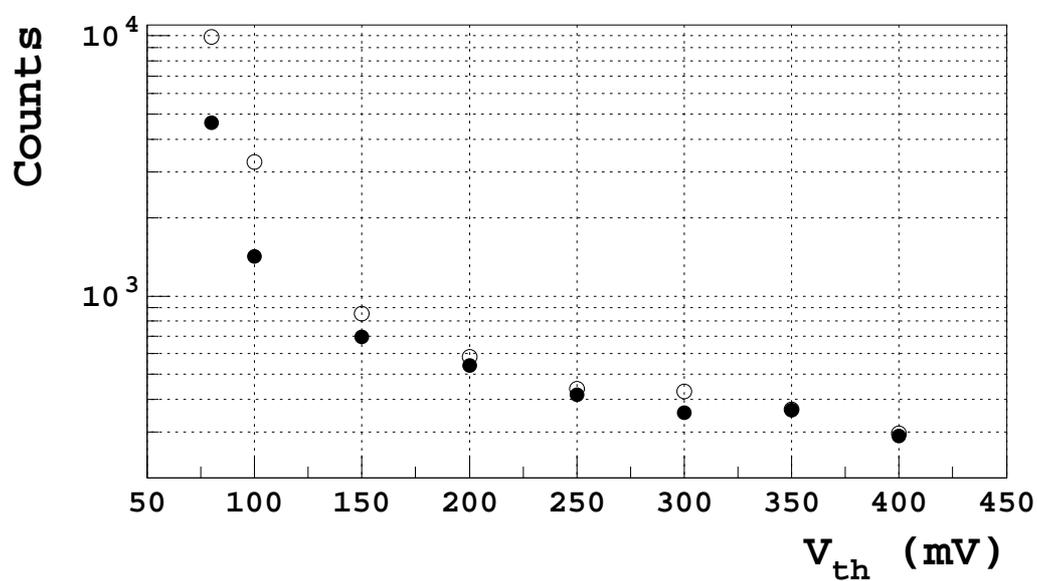
Figura 4.6: Scheda costituita da 8 circuiti di amplificazione, composti da amplificatori invertenti mod. BBOPA 2650U.

per un tempo di 100s. Tale misura è stata eseguita per due pixel di ogni prototipo, posizionati uno su LA e uno su LB, a tensione di lavoro e a camere spente. Osservando le due curve prodotte in questo modo si può stabilire come tensione di soglia ottimale, la soglia minima della zona della curva a tensione di lavoro in cui i conteggi rimangono quasi costanti. Dalla curva a camera spenta si può verificare che per il valore di soglia stabilito il rumore sia quasi nullo. La tensione di soglia così scelta consente di eliminare parecchio rumore, senza troppe perdite di segnali buoni, durante la discriminazione.

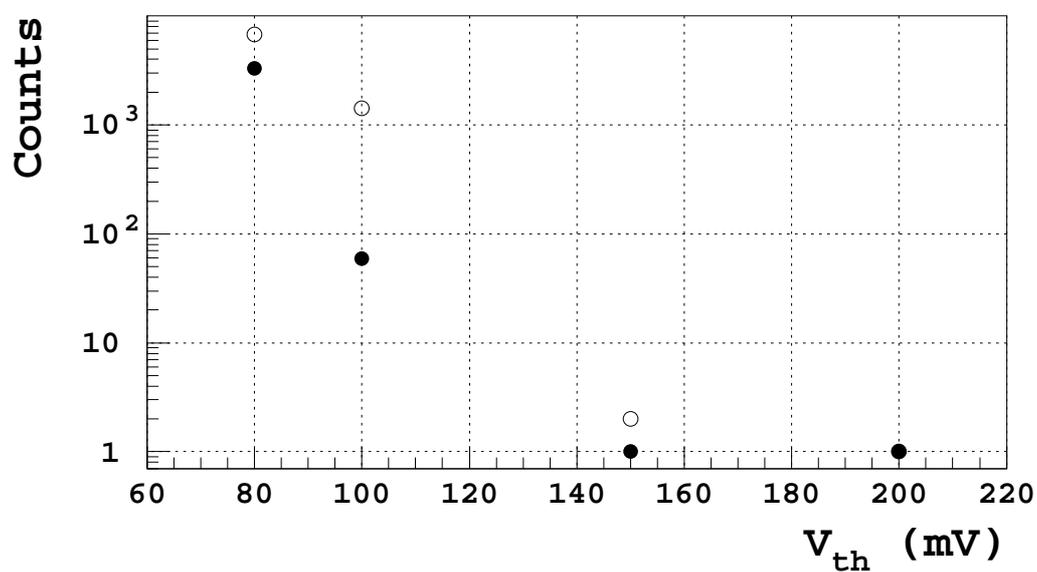
In figura 4.7 sono rappresentate le due curve in scala logaritmica per due pixel del prototipo L. Si osserva come, secondo i criteri appena illustrati, una scelta ottimale per la tensione di soglia al discriminatore sia 150 mV. Nelle figure 4.8 e 4.9 sono invece rappresentate le curve in scala logaritmica per i prototipi C e P. Per le stesse motivazioni viste nel caso di L, anche in questi due casi si può stabilire una V_{th} ottimale di 150 mV.

A questo punto è stato possibile effettuare le prime misure di efficienza a tensione di lavoro di 5500V e con soglia (V_{th}) stabilita di 150mV. I primi risultati hanno mostrato efficienza troppo bassa $\sim 83\%$, per i tre prototipi L,C,P, rispetto ad un valore atteso più prossimo all'unità.

Per ottimizzare la rivelazione al fine di incrementare il valore dell'efficienza, sono state effettuate diverse modifiche sull'apparato sperimentale.

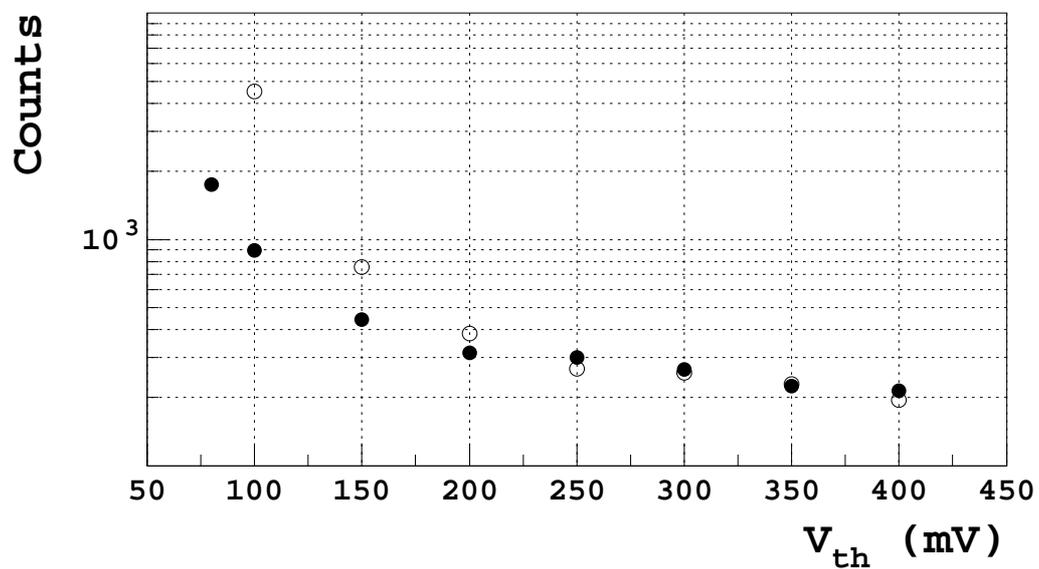


(a)

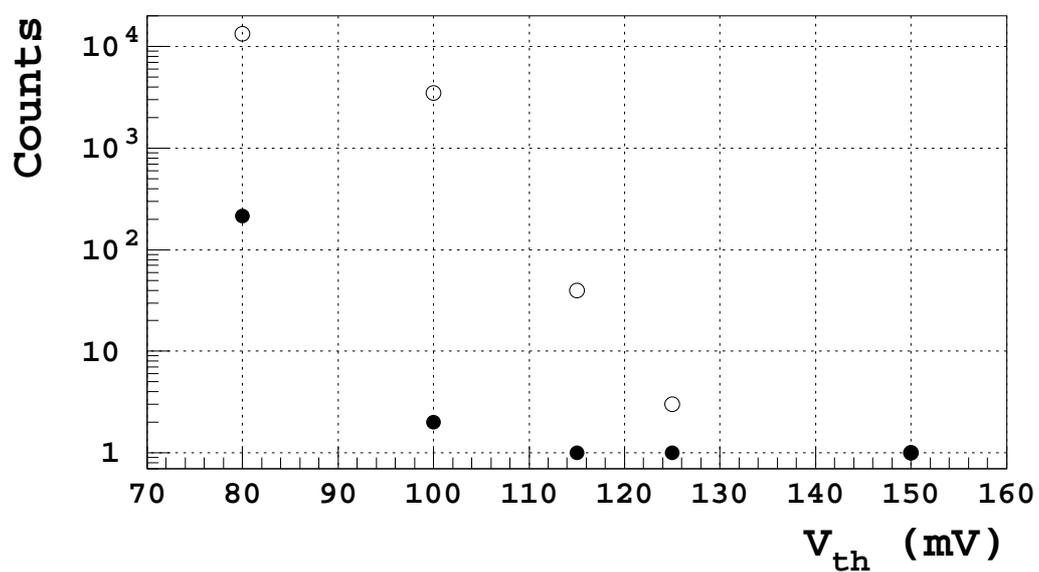


(b)

Figura 4.7: PROTOTIPO L. miscela: 16/8/76. Curve di conteggi in singola in funzione della tensione di soglia al discriminatore per 2 pixel del prototipo. (a) Curva a tensione di lavoro di 5500V; (b) Curva a camera spenta.

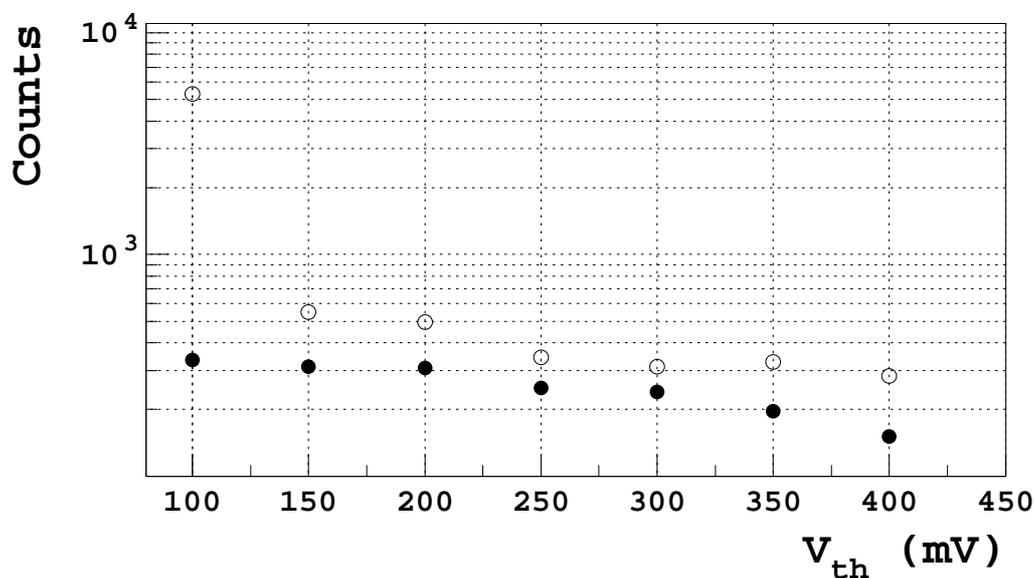


(a)

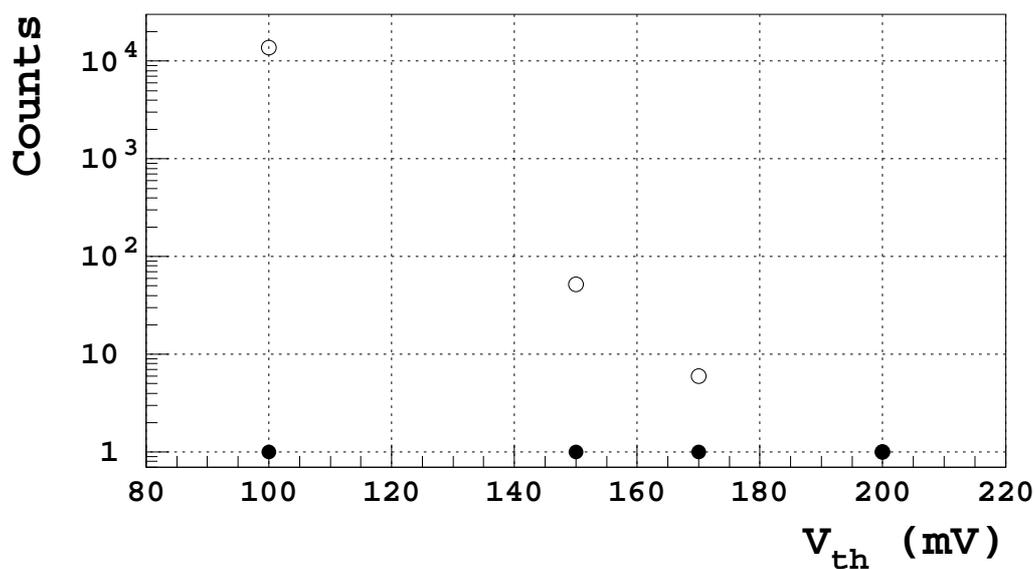


(b)

Figura 4.8: PROTOTIPO C. miscela: 16/8/76. Curve di conteggi in singola in funzione della tensione di soglia al discriminatore per 2 pixel del prototipo. (a) Curva a tensione di lavoro di 5500V; (b) Curva a camera spenta.



(a)



(b)

Figura 4.9: PROTOTIPO P. miscela: 16/8/76. Curve di conteggi in singola in funzione della tensione di soglia al discriminatore per 2 pixel del prototipo. (a) Curva a tensione di lavoro di 5500V; (b) Curva a camera spenta. In entrambe le curve per una tensione di soglia di 100 mV si notano differenze nel livello di rumore tra i due pixel; nel caso del pixel rappresentato dai cerchi vuoti a tale soglia si è di poco sotto la soglia del rumore, mentre nel caso di quello rappresentato dai cerchi pieni a 100 mV si è ancora di poco sopra la soglia del rumore. Tali differenze possono essere state causate dal fatto che i segnali vengono amplificati da circuiti diversi.



Figura 4.10: Immagine dell'apparato di coincidenza composto da scintillatori SA e SB posti sopra i tubi LA e LB. Si notano i diversi moduli posizionati sui PMT per aumentare la pressione sulle camere.

La prima modifica effettuata è stata l'allargamento del segnale in uscita dalle porte OR di LST e PMT ad $1 \mu\text{s}$ per aumentare la coincidenza, utilizzando due moduli Coincidence; mentre l'impulso digitale in uscita dalla OR dei pixel è stato portato in ingresso ad un Dual Timer (modulo di ritardo) dove è stato allargato a $2 \mu\text{s}$, con lo scopo di far coincidere i pochi segnali in anticipo dei pixel rispetto alla porta AND di camere e fototubi, che erano stati osservati sull'oscilloscopio. Dopo questa prima modifica l'efficienza è rimasta pressoché invariata.

Una possibile causa di inefficienza si è pensato potesse essere la perdita in collezione del segnale all'interno dello strato di aria presente tra PVC dei tubi e mylar dei pixel. Posizionando diversi moduli sopra gli scintillatori, con lo scopo di aumentare la pressione su camere e pixel, si è diminuita la pellicola di aria compresa tra questi (vedi fig.4.10).

Anche l'ampiezza dei segnali può influire sull'efficienza, infatti più ampi sono più hanno possibilità di essere collezionati dall'elettronica di lettura. Per tale motivo i prototipi sono stati inseriti sotto la superficie inferiore degli LST, poiché il campo elettrico più intenso nella zona inferiore delle celle induce segnali sui pixel che sono leggermente più ampi rispetto alla zona superiore.

Dopo queste modifiche, l'efficienza ha raggiunto valori dell'86% circa a tensione di lavoro e soglia ottimale.

Nelle figure 4.11 e 4.12 si possono osservare gli andamenti dell'efficienza del prototipo P in funzione di soglia e tensione applicata (*plateau di efficienza*). Si nota come la diminuzione della soglia di discriminazione generi lo stesso effetto dell'aumento della tensione applicata, cioè un aumento in efficienza dovuto in entrambi i casi all'aumento dei conteggi causati dal rumore e, nel caso dell'aumento di tensione, all'amplificazione maggiore dei segnali. A tensione di lavoro di 5500V e soglia ottimale 150mV, l'efficienza assume un valore di $\sim 86\%$.

Le misure di efficienza viste finora sono state studi preliminari per la verifica del corretto funzionamento dei prototipi e per la valutazione di eventuali cause di inefficienza, per tale motivo l'apparato strumentale utilizzato è stato modificato in vari modi. Nel prossimo paragrafo vedremo invece le ulteriori modifiche eseguite su tale apparato al fine di renderlo il più stabile possibile e quindi avere allo stesso tempo un funzionamento a sua volta più stabile per ogni prototipo.

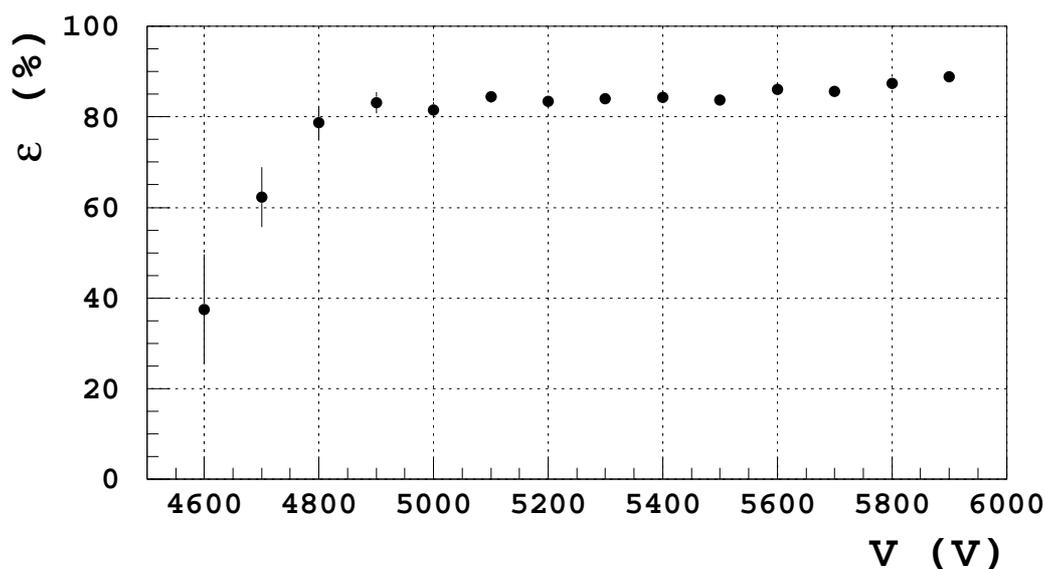


Figura 4.11: PROTOTIPO P. Miscela:16/8/76. Plateau di efficienza a tensione di soglia di 150mV.

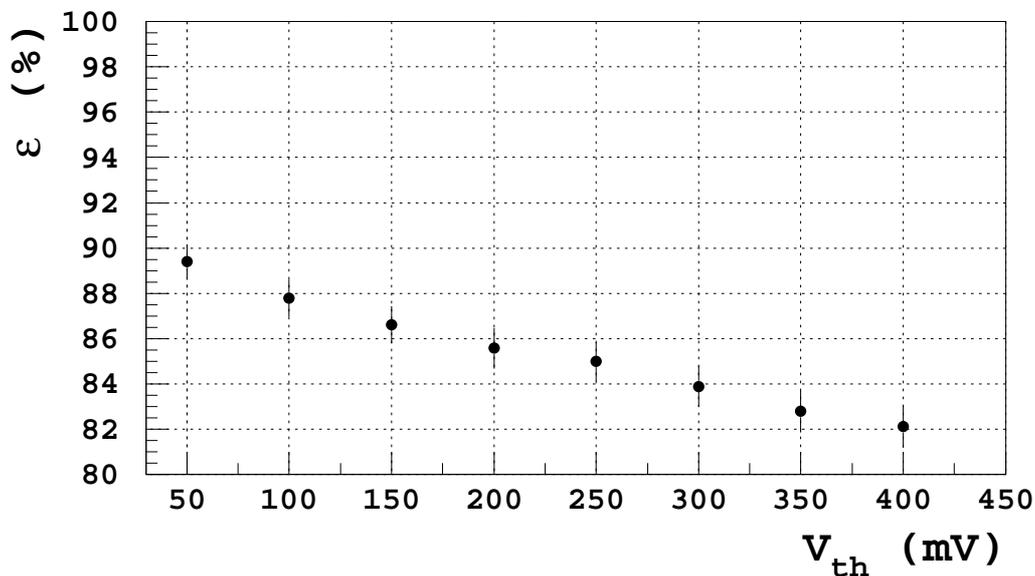


Figura 4.12: PROTOTIPO P. Miscela:16/8/76. Efficienza VS tensione di soglia, a tensione di lavoro di 5500V.

4.2.3 Migliorie all'apparato strumentale

In questo paragrafo verranno descritte le modifiche attuate sull'apparato di misura e sui prototipi stessi ai fini di ottenere un apparato strumentale stabile e quindi ripetibile in altri esperimenti dello stesso tipo.

Tali modifiche consistono in:

1. Ricerca di una miscela di gas più simile a quelle utilizzate in diversi esperimenti, quali BaBar. Cioè una miscela più povera di Argon;
2. Introduzione del nuovo prototipo newP, costruito senza riutilizzare piani di strip e ottimizzazione delle connessioni a massa dell'elettronica di lettura.
3. Introduzione di un'elettronica di read-out stabile, sFEC, già collaudata all'interno dell'esperimento BaBar.

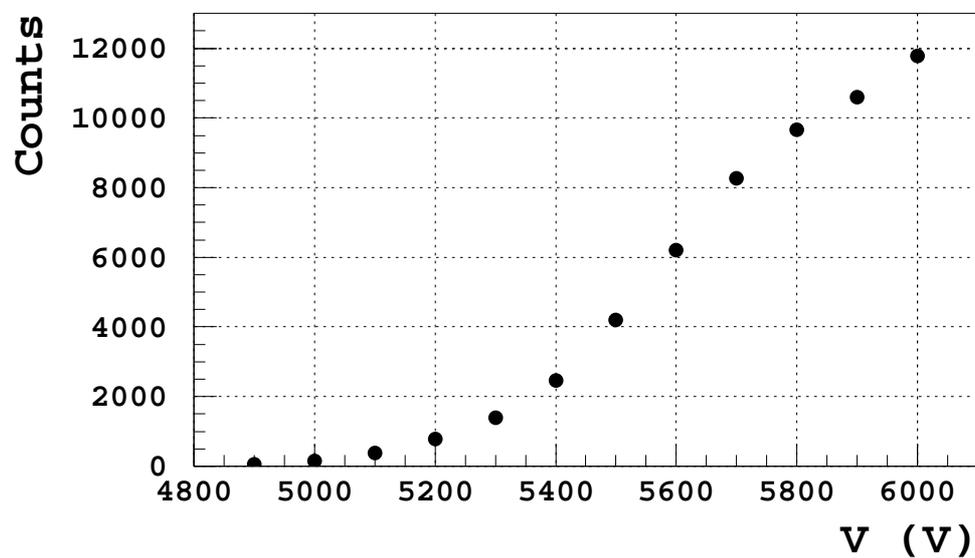
Migliorie effettuate alla miscela di gas

Al punto 1 viene esposto il problema di non lavorare con una miscela di gas per le camere LST simile a quelle utilizzate negli esperimenti di fisica delle alte energie, mostrate in tabella 1.1. Si è quindi deciso di provare una miscela di gas ternaria più simile a queste, cioè $Ar/C_4H_{10}/CO_2$ (8/8/84)%. Sono poi state misurate le

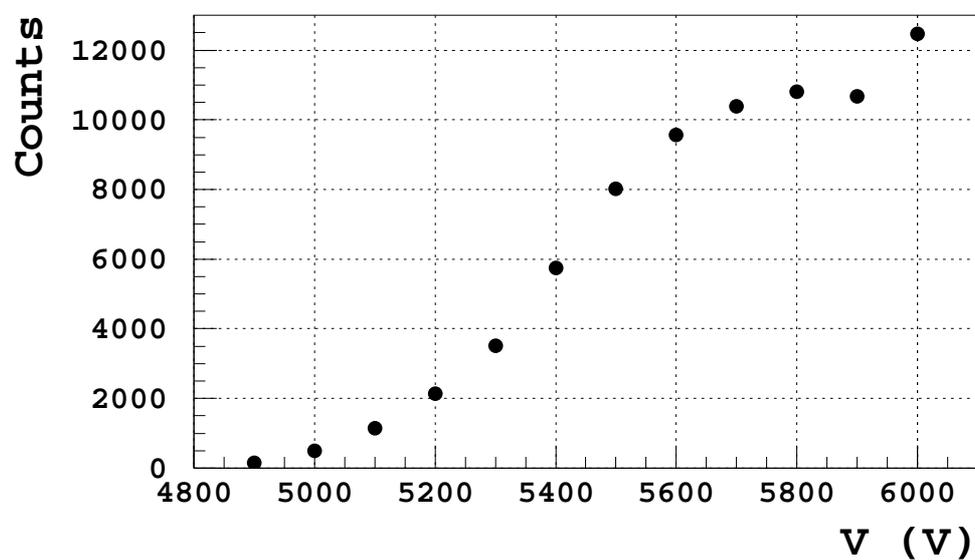
curve di plateau delle camere LA ed LB raffigurate in figura 4.13; è evidente come la regione di plateau inizi a tensioni troppo elevate, circa a 5700V, per entrambe le camere.

Si è quindi cercato di appiattire la regione di plateau, allargando il segnale in uscita al discriminatore ($1\mu s$) a $5\mu s$ per mezzo di un Dual Timer. Dai grafici in figura 4.14 si osserva che le due curve non hanno subito sostanziali modifiche.

Si è deciso per tanto di cambiare ulteriormente la miscela di gas, scegliendo concentrazioni dei vari gas intermedie tra quelle appena viste e quelle ottimali scelte durante i primi studi di set-up sperimentale (vedi paragrafo 2.3.2). La nuova miscela è composta da: $Ar / C_4H_{10} / CO_2$ (12/8/80)%. Impostando nuovamente una larghezza di $5\mu s$ al discriminatore, si è proceduto con le nuove misure delle curve di plateau delle camere LA ed LB. I grafici delle curve sono mostrati in figura 4.15 ed è possibile notare come entrambe le regioni di plateau siano arretrate a causa dell'incremento di concentrazione di Argon. Per entrambe le camere può essere stabilita una tensione di lavoro di 5500V come in precedenza; il vantaggio è di lavorare con una miscela di gas a minor concentrazione di Argon, e quindi più simile alle miscele già in uso in vari esperimenti.

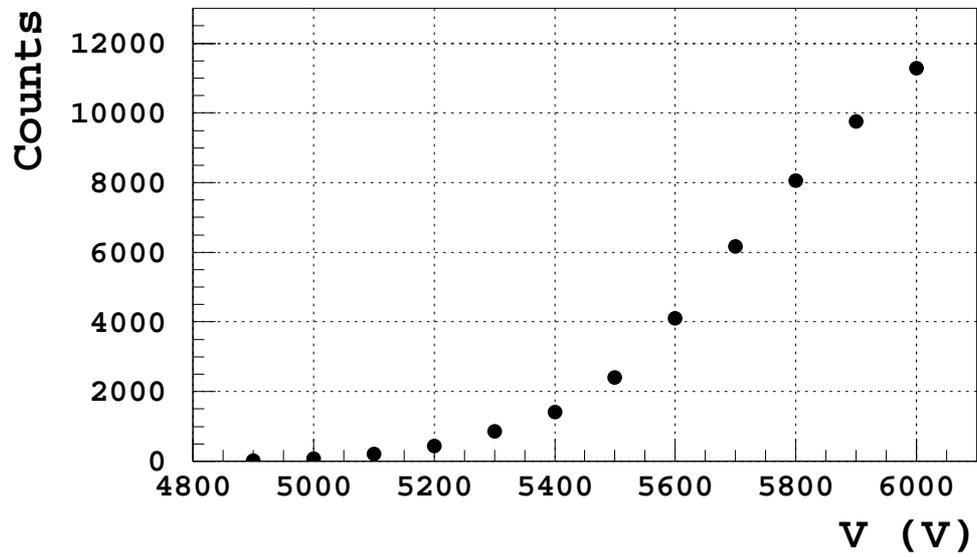


(a)

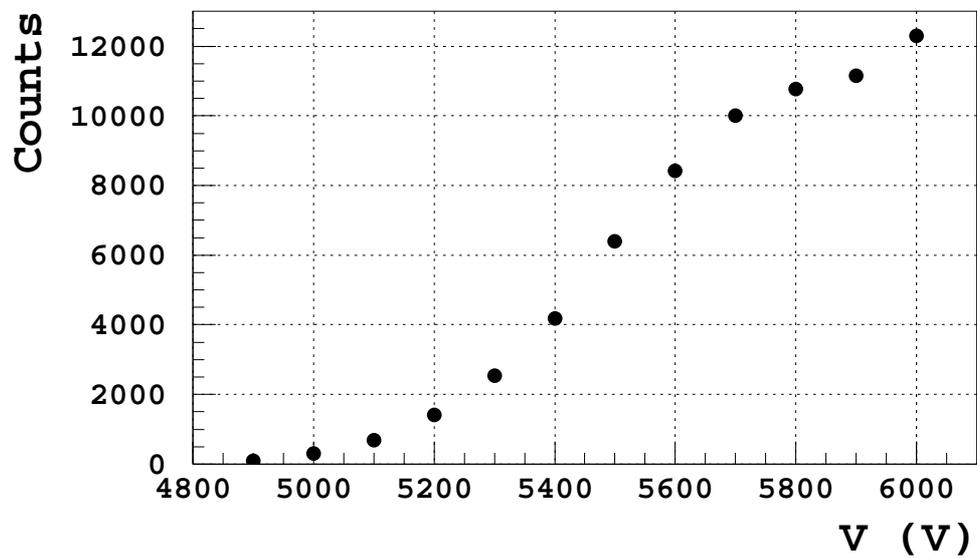


(b)

Figura 4.13: MISCELA: 8/8/84. Curve di plateau di camere LST. Impostazioni al discriminatore: $V_{th}=80\text{mV}$; $\text{width}=1\mu\text{s}$. (a) Plateau camera LA; (b) Plateau camera LB.

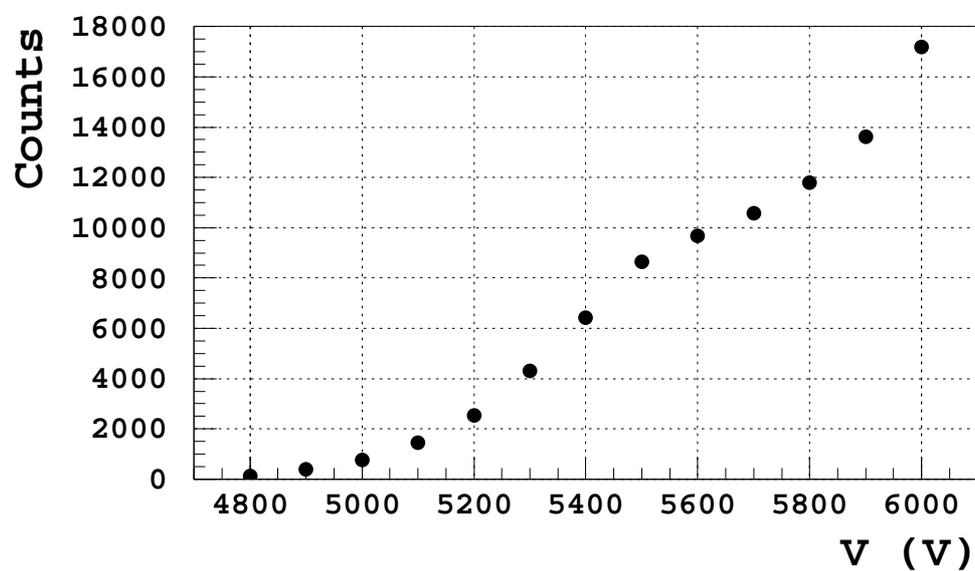


(a)

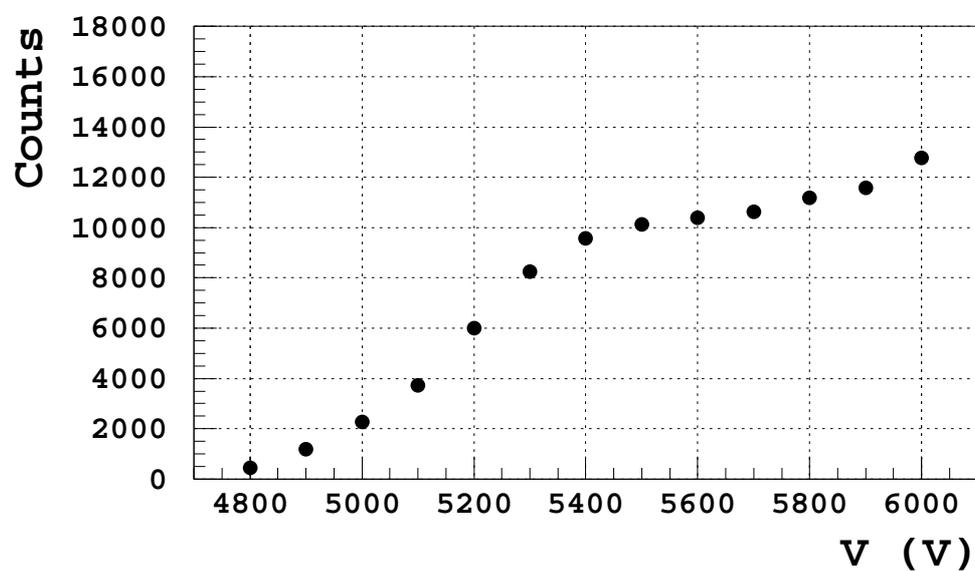


(b)

Figura 4.14: MISCELA: 8/8/84. Curve di plateau di camere LST. Impostazioni al discriminatore: $V_{th}=80\text{mV}$; $\text{width}=5\mu\text{s}$. (a) Plateau camera LA; (b) Plateau camera LB.



(a)



(b)

Figura 4.15: MISCELA: 12/8/80. Curve di plateau di camere LST. Impostazioni al discriminatore: $V_{th}=80\text{mV}$; $\text{width}=5\mu\text{s}$. (a) Plateau camera LA; (b) Plateau camera LB.

Migliorie di meccanica di costruzione dei prototipi e di connessioni a massa dell'elettronica di lettura

Al punto 2 di pag.59 viene mostrata la possibilità di utilizzare un prototipo differente per costruzione dagli altri (newP). La geometria di tale prototipo è la stessa del prototipo P, in quanto è l'unico che consente di fare studi di molteplicità in entrambe le direzioni spaziali. Si ricorda che tale prototipo è stato costruito utilizzando un foglio di mylar e un foglio di rame molto sottile con un lato isolante. newP è stato realizzato per avere un modello diverso per costruzione dalle strip e soprattutto modificabile secondo necessità, infatti le geometrie e i materiali di costruzione delle strip non sono modificabili. In questo caso la necessità era di diminuire lo strato di isolante compreso tra tubi e pixel di rame. Infatti, poichè si era osservato un aumento di efficienza in corrispondenza della diminuzione della pellicola di aria compresa tra prototipi e camere, si poteva sperare in un ulteriore aumento di efficienza dall'eliminazione dello strato, pur estremamente sottile, di mylar.

Inoltre si sono ottimizzati l'isolamento e la connessione a massa della scheda elettronica di amplificazione mod. BBOPA 2650U, poichè, visualizzando i segnali in uscita da tale scheda sull'oscilloscopio, ci si è accorti che a volte subivano sbalzi di rumore o modifiche in forma.

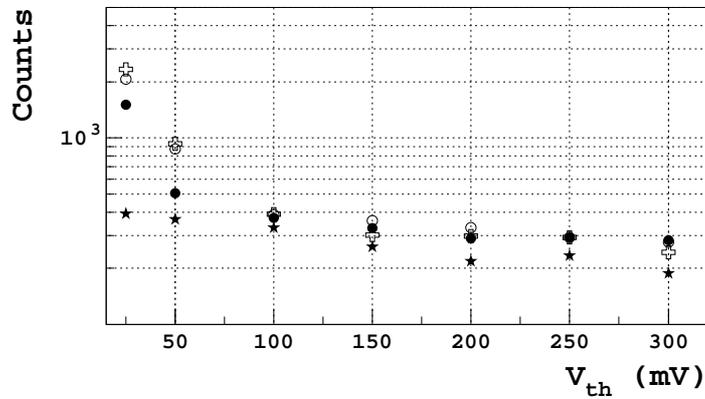
A questo punto è necessario stabilire la tensione di soglia al discriminatore per la nuova miscela di gas. I grafici in figura 4.16 rappresentano i conteggi in singola in funzione della soglia, in scala logaritmica, a tensione di lavoro dei quattro pixel dei prototipi newP_u e newP_d e di quattro del prototipo P. Il tempo di acquisizione è di 100s. Osservando tali curve si può nuovamente scegliere una tensione di soglia ottimale al discriminatore di 100/150mV.

Sono state effettuate in seguito misure di efficienza in funzione di soglie basse a tensione di lavoro, per valutare se ci sono evidenti cambiamenti in ε tra la soglia di 100mV e quella di 150mV. Nei grafici in figura 4.17 sono rappresentate le curve di efficienza in funzione della soglia di discriminazione per i prototipi newP_u, newP_d e P. Osservando tali grafici e tenendo conto dell'errore sulla misura calcolato secondo la formula 4.5, che in ogni caso è sempre $<1.5\%$, si nota come non ci siano sostanziali differenze tra le misure di ε per i tre diversi prototipi; possiamo dire perciò che la tesi sostenuta in precedenza riguardo ad un'ipotetica inefficienza di costruzione dei prototipi L, C, P, non era corretta.

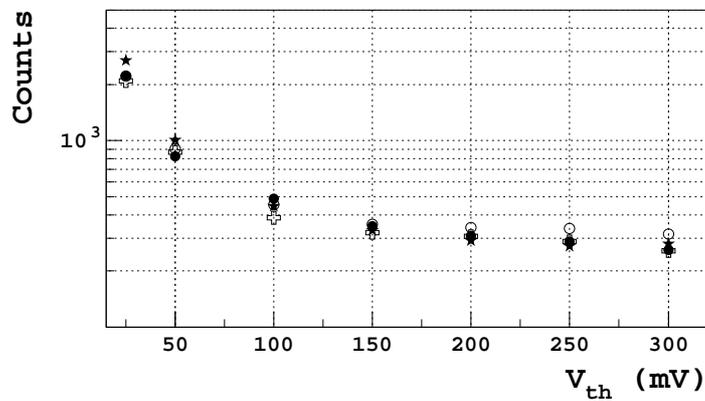
Inoltre l'efficienza rimane in un intervallo di valori compreso tra $87 \div 92\%$ per un intervallo di soglie compreso tra $50\text{mV} \leq V_{th} \leq 150\text{mV}$, per questo motivo e tenen-

do conto degli errori sulle misure è conveniente scegliere una soglia di discriminazione di 150 mV che garantisce pari efficienza di soglie minori, scartando al contempo maggior rumore.

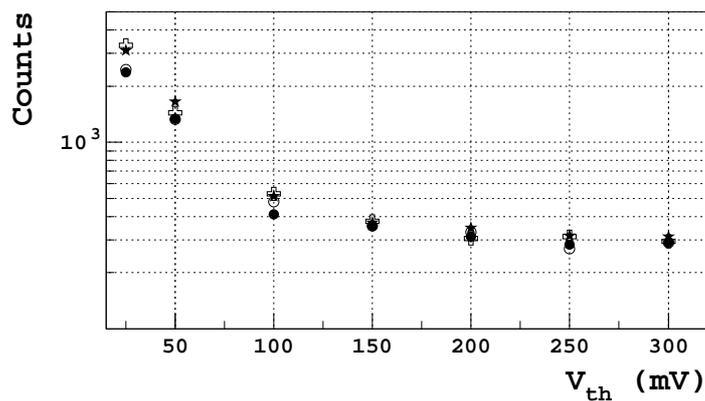
Concludendo possiamo aggiungere che il cambio di miscela di gas, con relativa diminuzione della concentrazione di Argon, non ha influito negativamente sull'efficienza, il che è positivo, poichè rende possibile lavorare a correnti (assorbite dalle camere) minori per la stessa tensione di lavoro; in questo modo l'usura delle camere risulta minore. Le modifiche effettuate all'elettronica di amplificazione possono avere inoltre contribuito ad un miglioramento in efficienza dall'86% al 90% circa.



(a)

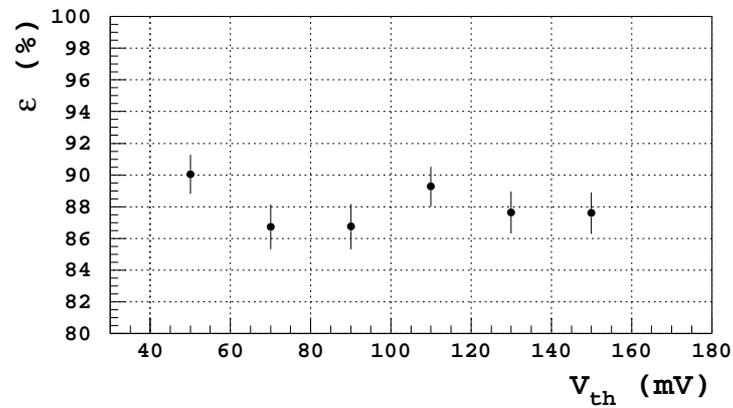


(b)

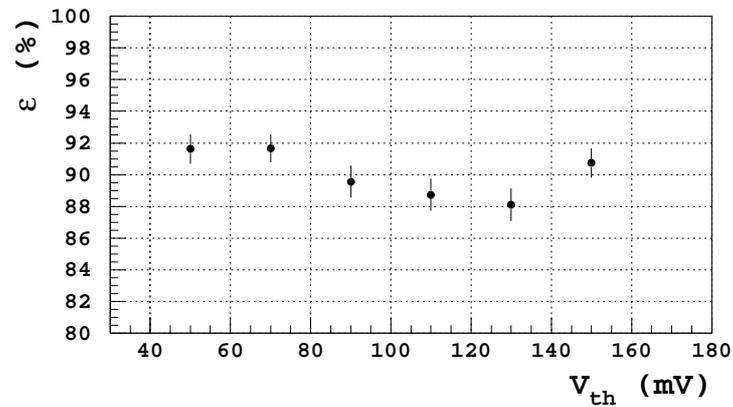


(c)

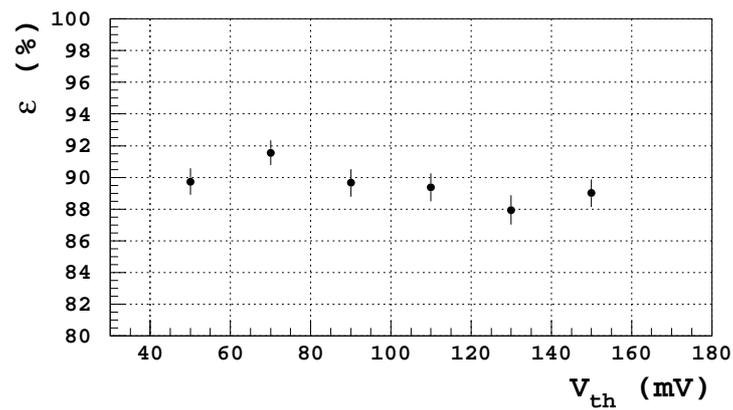
Figura 4.16: MISCELA: 12/8/80. Conteggi in singola in funzione della tensione soglia impostata al discriminatore, per 4 pixel di ogni prototipo. Tensione di lavoro di 5500V. (a) Prototipo newP_u; (b) prototipo newP_d; (c) prototipo P.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.17: MISCELA: 12/8/80. Curve di efficienza in funzione della soglia. Tensione di lavoro di 5500V. (a) Prototipo $newP_{uj}$; (b) prototipo $newP_{di}$; (c) prototipo P.

Migliorie in stabilità dell'elettronica di lettura

Infine al punto 3 di pag.59 viene posta la necessità di lavorare con un'elettronica di lettura stabile come le FEC, già in uso nell'esperimento BaBar. L'elettronica utilizzata finora, composta da scheda costituita da **amplificatori a configurazione invertente mod. BBOPA 2650U** e discriminatore NIM **Phillips model 711**, è stata utile nei primi test di verifica del corretto funzionamento dei prototipi. Infatti un'elettronica di questo tipo è facilmente modificabile poichè separa amplificazione e discriminazione, offrendo la possibilità di aggiungere/togliere parti elettroniche alla scheda in modo da poter modificare il guadagno di amplificazione.

Nelle prossime misure di efficienza dei prototipi utilizzeremo invece una s-FEC, per osservare così il funzionamento dei pixel con un'elettronica di read-out stabile e collaudata. Le front end cards sono schede che amplificano il segnale e lo trasformano in segnale digitale TTL. Sono comandate via porta seriale da un simulatore di terminale su PC (CAEN-HP), per mezzo del quale si possono cambiare diverse impostazioni, ad esempio la tensione di soglia di discriminazione. Le uscite della transition board vengono connesse alle entrate di amplificatori, di cui è composta la FEC, e successivamente le uscite di tali integrati vengono connesse alle entrate di discriminatori programmabili, i quali generano in uscita impulsi digitali TTL. In figura 4.18 sono rappresentate un'immagine dell'alimentatore della FEC e un'immagine della FEC in cui sono visibili le parti appena descritte.

È stato necessario convertire il segnale TTL in segnale di logica NIM per poter eseguire le misure con gli stessi moduli usati in precedenza; tale conversione è stata eseguita per mezzo di due convertitori, TTL-ECL ed ECL-NIM. Il convertitore TTL-ECL è costituito da integrati alimentati dallo stesso alimentatore della FEC. Il secondo convertitore è invece costituito da un modulo NIM, **Lecroy model 4616 ECL-NIM-ECL**, costituito da 16 entrate e 16 uscite ECL e 16 IN/OUT NIM. Le 8 uscite dei discriminatori sono state portate all'entrata del primo convertitore, le cui uscite sono state successivamente connesse in entrata al secondo convertitore per mezzo di un cavo flat. In figura 4.19 vi sono le immagini dei due convertitori.

Il primo test, eseguito con l'utilizzo della nuova elettronica di readout, è stato l'acquisizione dei conteggi in singola di pixel, a tensione di lavoro e a camere spente, in funzione della soglia di discriminazione per un tempo di 500s; tale

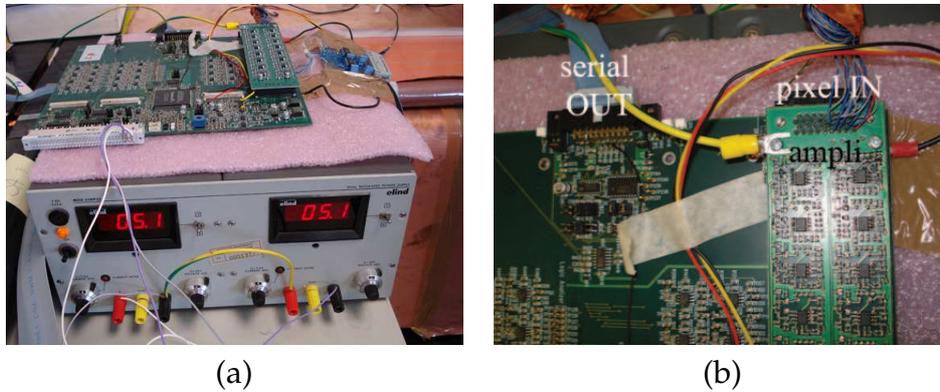


Figura 4.18: (a): immagine dell'alimentatore (± 5 Volt) e della FEC posta sopra lo stesso; (b): particolare della FEC in cui si distinguono le entrate dei pixel, gli amplificatori e l'uscita seriale del collegamento a terminale.

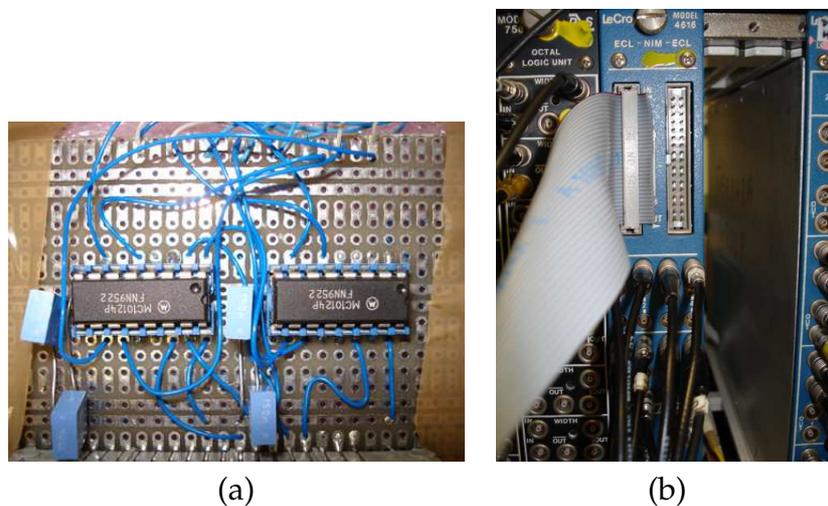
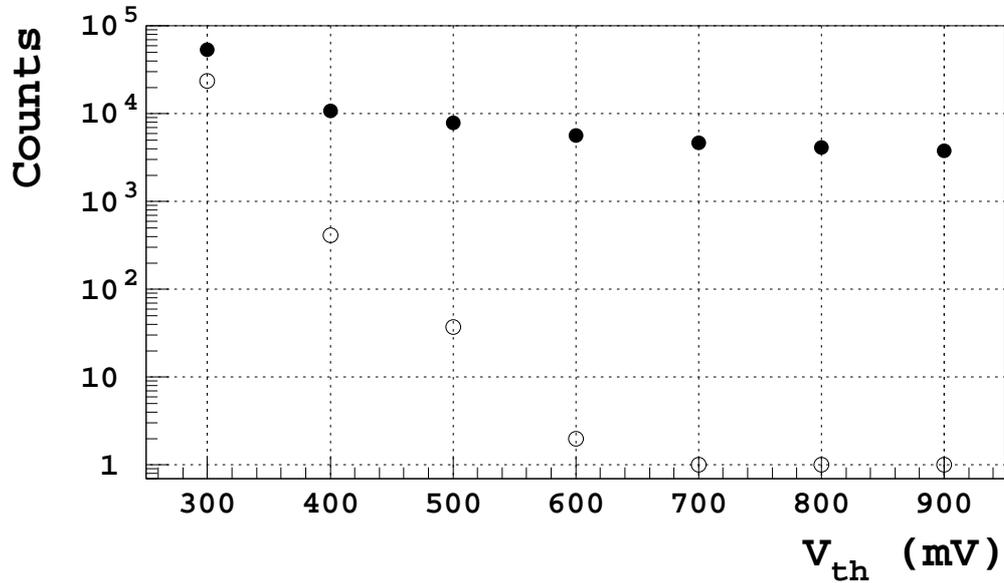


Figura 4.19: (a): serie di convertitori integrati TTL-ECL; (b): modulo Lecroy model 4616 ECL-NIM-ECL, usato come convertitore ECL-NIM. Si notano l'entrata ECL connessa al cavo flat proveniente dalla FEC e le uscite NIM collegate a cavi LEMO che andranno alle entrate di altri moduli NIM.

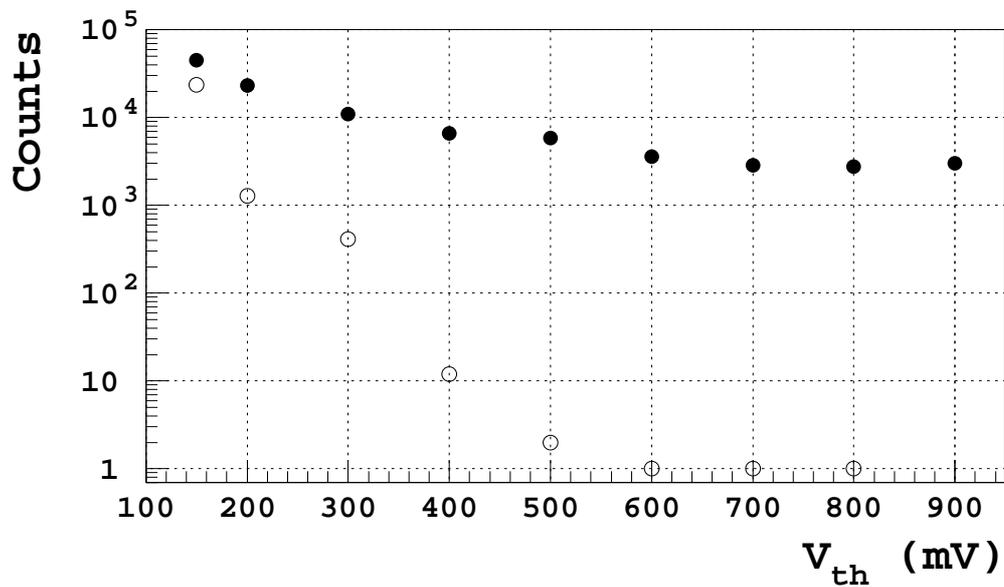
procedimento è stato eseguito per i quattro prototipi realizzati in laboratorio. Dai grafici in scala logaritmica nelle figure 4.20 e 4.21 si può osservare come, per ogni prototipo, la zona stabile di conteggi inizi a tensione di soglia di 400 mV. Il guadagno in amplificazione delle FEC è in effetti molto più grande rispetto a quello della scheda elettronica utilizzata in precedenza. Per questi motivi si può scegliere una tensione di soglia ottimale al discriminatore di 400mV.

Il successivo test effettuato consiste in una misura di efficienza in funzione della soglia applicata, a tensione di lavoro costante di 5500V. L'errore in percentuale prodotto in queste misure di efficienza è $\leq 0,8\%$, come si può vedere nelle curve rappresentate nelle figure 4.22 e 4.23, dalle quali si nota inoltre come, al di sopra della soglia ottimale di 400mV, l'efficienza sia pressochè costante intorno al 91% per tutti i prototipi. ε è invece molto alta per soglie inferiori a quella ottimale, fino quasi al 100%, poichè viene contata un'enorme quantità di rumore e quindi tali misure di efficienza non vengono tenute in considerazione. Il lieve incremento di efficienza rispetto alle misure fatte in precedenza può essere dovuto alla maggior amplificazione dei segnali prodotta dalle FEC.

In conclusione si può osservare che i miglioramenti effettuati di elettronica di lettura e miscela di gas hanno portato ad avere un apparato strumentale più stabile e riproducibile in altri esperimenti, portando l'efficienza a valori intorno al 90%.

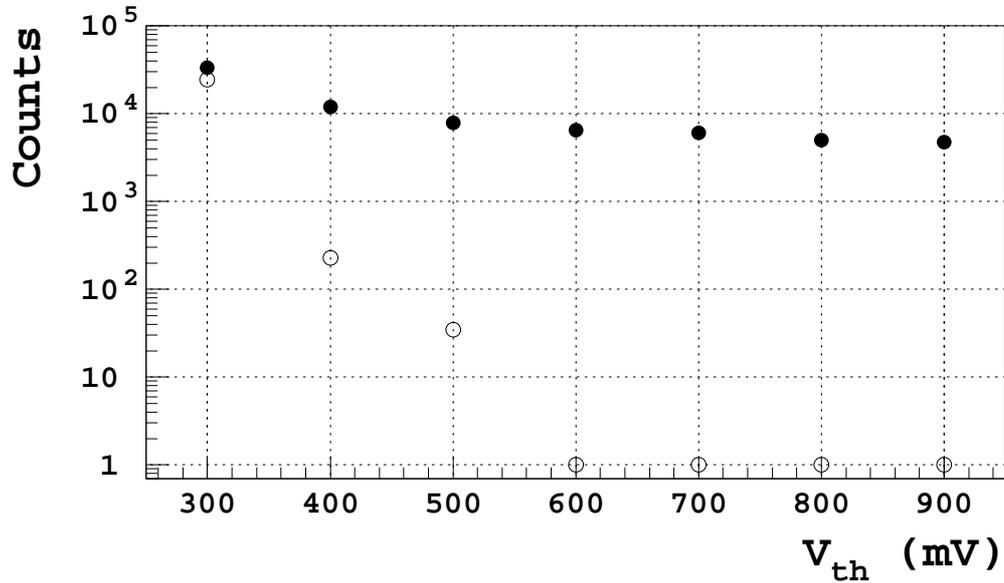


(a)

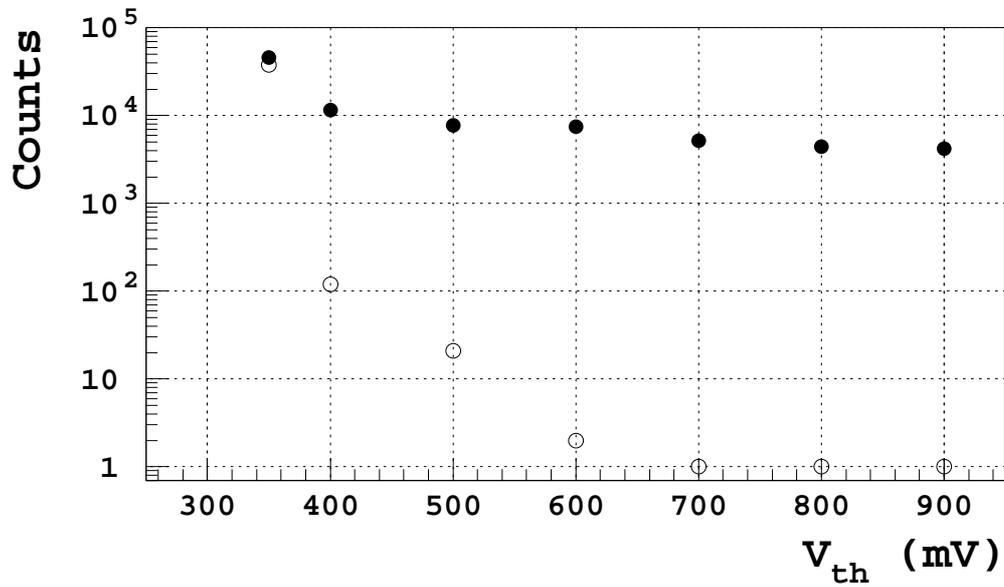


(b)

Figura 4.20: MISCELA: 12/8/80. Curve di conteggi in singola in funzione della soglia, per un pixel di ogni prototipo. I cerchi pieni sono riferiti alla curva a tensione di lavoro di 5500V; i cerchi vuoti alla curva a camera spenta. (a) Prototipo L; (b) prototipo C.

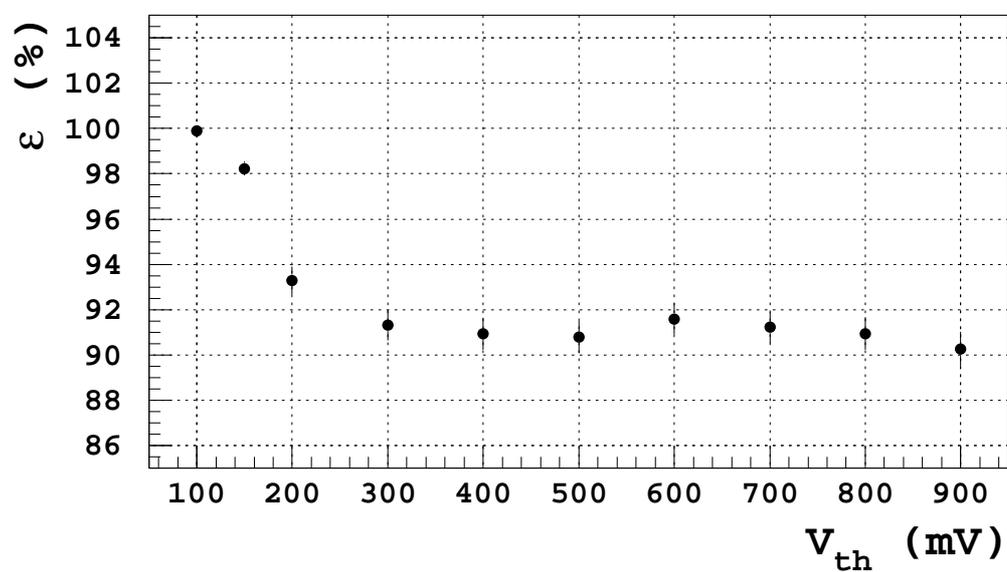


(a)

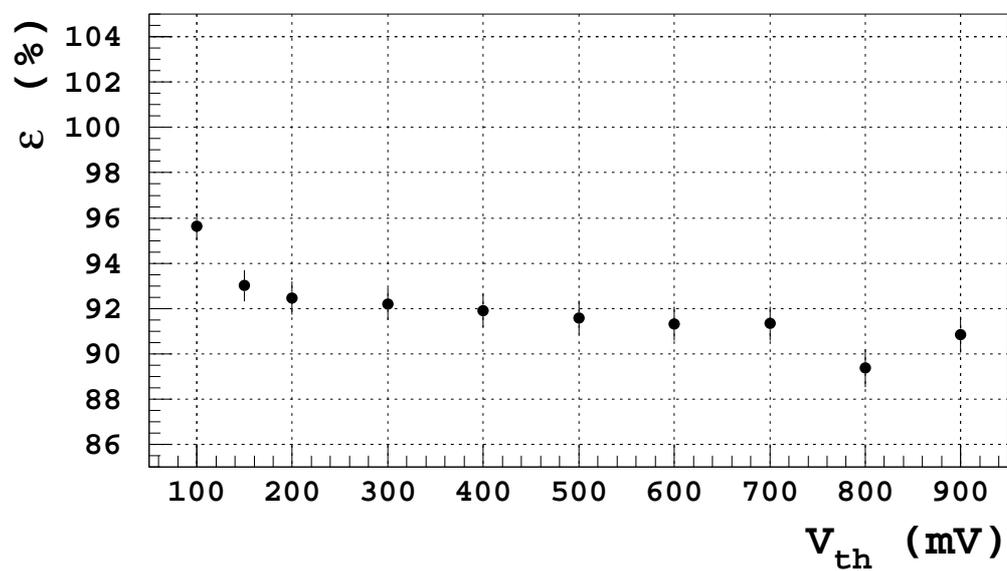


(b)

Figura 4.21: MISCELA: 12/8/80. Curve di conteggi in singola in funzione della soglia, per un pixel di ogni prototipo. I cerchi pieni sono riferiti alla curva a tensione di lavoro di 5500V; i cerchi vuoti alla curva a camera spenta. (a) Prototipo P; (b) prototipo newP.

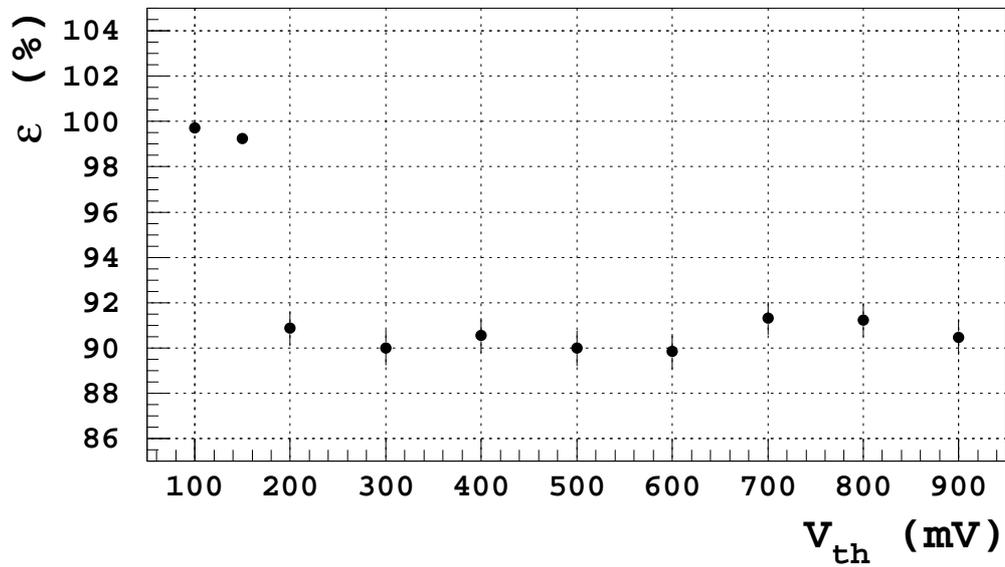


(a)

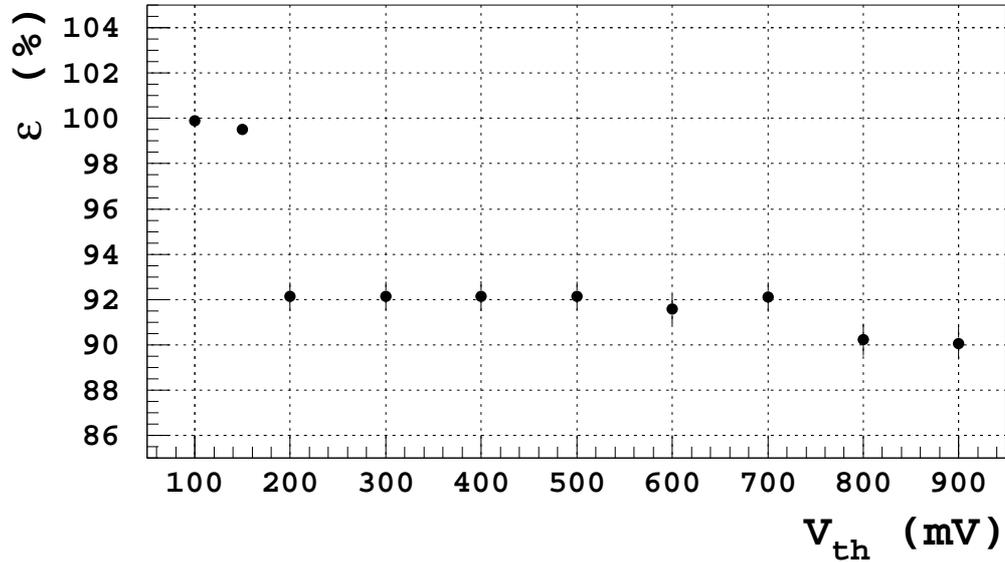


(b)

Figura 4.22: MISCELA: 12/8/80. Curve di efficienza in funzione della soglia di discriminazione programmata alla FEC. (a) Prototipo L; (b) prototipo C.



(a)



(b)

Figura 4.23: MISCELA: 12/8/80. Curve di efficienza in funzione della soglia di discriminazione programmata alla FEC.(a) Prototipo P; (b) prototipo newP.

4.3 Studi di molteplicità

In questo paragrafo verrà mostrato un esempio di studio di molteplicità per il prototipo P. Il concetto di molteplicità si può spiegare osservando che la carica indotta esternamente alla camera, durante la formazione dello streamer, si distribuisce su diversi pixel esterni alla stessa. In poche parole, si *accendono* più pixel al passaggio di una particella carica e non solamente quello effettivamente attraversato dalla stessa. Il segnale raccolto sarà più ampio nel caso di pixel attraversati, cioè quelli posti esattamente sopra o sotto il punto della cella in cui è stato generato lo streamer.

Per studiare tale fenomeno sono stati utilizzati circuiti di coincidenza come nel caso studi di efficienza. Dopo aver scelto un pixel come trigger vengono realizzate due coincidenze:

1. **Prima coincidenza:** eseguita tra PMT, LST e pixel-trigger allo scopo di determinare il numero di particelle che attraversa il pixel scelto come trigger (N_0).
2. **Seconda coincidenza:** viene realizzata tra l'uscita della prima coincidenza e una porta AND dei segnali discriminati, negati o diretti, raccolti dai restanti pixel, a seconda del valore di molteplicità preso in esame. Ha lo scopo di determinare se sono presenti segnali anche su più pixel, oltre al segnale sul pixel-trigger. Il valore misurato da tale coincidenza (N), rappresenta il numero delle volte che è presente un segnale su di n (= *valore di molteplicità in esame*) pixel.

Le due coincidenze vengono effettuate contemporaneamente per un tempo di 1000s. N_0 sarà diverso per ogni acquisizione, per cui il valore N deve essere normalizzato rispetto a N_0 .

Per lo studio di molteplicità ≥ 2 si eseguono più acquisizioni, quante sono le configurazioni possibili, e tali valori vengono sommati per determinare il numero di conteggi corrispondente al valore di molteplicità che si sta studiando. Ad esempio nel caso di molteplicità 2 ci sono diverse acquisizioni da eseguire poiché si devono considerare diverse configurazioni: vi è molteplicità 2 nel caso sia presente un segnale sul pixel-trigger e sul pixel adiacente alla sua destra, ma anche nel caso in cui il segnale sia presente sul trigger e sul pixel adiacente alla sua sinistra, ecc..

Il grafico in figura 4.24 mostra i conteggi relativi ai diversi valori di molteplicità nel caso del prototipo P. Si nota subito che molteplicità 2 sia il caso più frequente.

Calcolando inoltre la media pesata dei diversi valori si può determinare il valor medio di molteplicità per il prototipo P; in questo caso è circa 2.

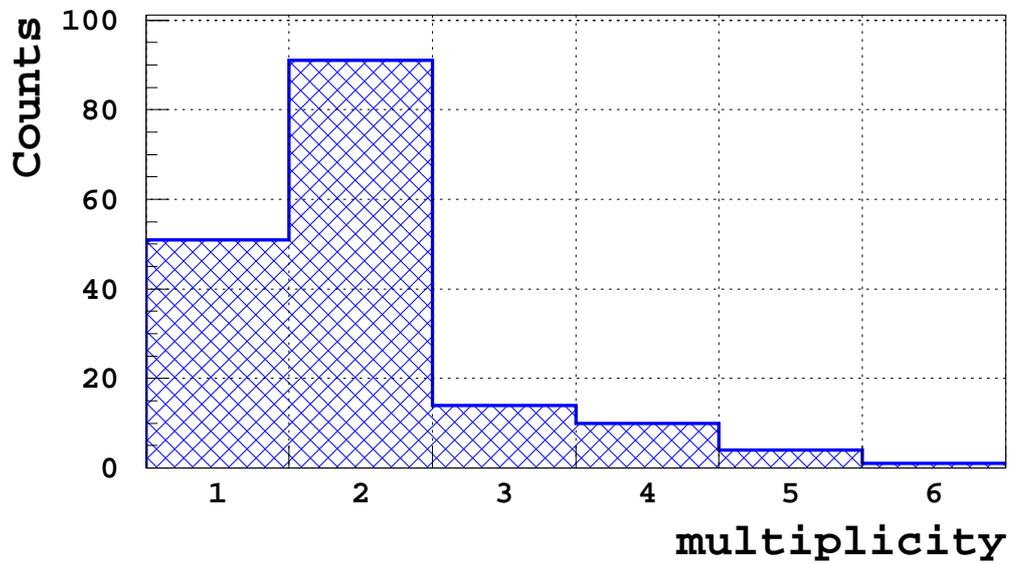


Figura 4.24: Istogramma di molteplicità. Il caso molteplicità due è il più probabile.

Conclusioni

Scopo di questa tesi è lo studio sperimentale di un prototipo di rivelatore di muoni LST con lettura a pixel. Questo rivelatore elimina l'ambiguità nella ricostruzione delle tracce che può esserci con lettura tramite strip.

Sono stati realizzati dei prototipi a pixel ed è stata misurata un'efficienza di poco superiore al 90%. Pur non essendo ancora una misura ottimale, questa è stata migliorata con diversi accorgimenti da un valore iniziale intorno all'83%. Sono state studiate diverse configurazioni dell'apparato di rivelazione e di elettronica di lettura del segnale che, oltre a migliorare l'efficienza, hanno portato ad avere un apparato strumentale stabile.

Lo studio di molteplicità ha mostrato come il valore medio di pixel attivati sia 2, il che rende ancora possibile la determinazione delle due coordinate del punto in cui la particella ha attraversato il rivelatore.

Sarà necessario eseguire ulteriori test sui prototipi, al fine di valutare e migliorare il loro funzionamento. In futuro continueremo il lavoro di ottimizzazione delle prestazioni del rivelatore, in particolare per ottenere valori di efficienza ancora più alti.

Ringraziamenti

Innanzitutto ringrazio il prof. Roberto Calabrese per avermi dato la possibilità di partecipare a questo progetto. Un ringraziamento davvero enorme va al dott. Mirco Andreotti e al dott. Gianluigi Cibinetto che mi hanno davvero aiutato molto e sopportato il mio essere morbosamente logorroica. Ci tengo a ringraziare tutti quelli che mi hanno seguito pazientemente e mi hanno insegnato tanto in questi mesi, in particolare Roberto, Matteo e Angelo. Un ringraziamento importante va al prof. Livio Piemontese, per avermi fornito esaurienti spiegazioni sugli LST.

Voglio ringraziare tutti i compagni del laboratorio di Criogenia che mi hanno fatto piegare dalle risate, cioè Roger, la Vale e Mauro.

Grazie lo devo dire soprattutto ai miei genitori, che hanno sopportato il mio periodo di crisi di un anno e mezzo. Mamma ti ringrazio davvero per aver sempre voluto per me la mia felicità e nient'altro. Grazie anche a te, papà, per essere riuscito a cambiare in questi ultimi anni ed aver aperto un dialogo con me. Ringrazio mia sorella Lisa, che mi ha sempre capito e sostenuto come una seconda mamma. D'altronde sei mamma di due bambine bellissime, le mie nipotine Arianna e la piccola Alice.

Voglio ringraziare enormemente il Leo, per le sue dettagliate spiegazioni sulle camere di rivelazione a gas, ma non posso certo dimenticare il mio Leo, per la pazienza avuta nel sopportarmi questi ultimi mesi (diciamo un anno).

Ringrazio tutti i membri del CDC che mi sono stati vicini in questi anni e mi hanno fatto passare momenti davvero unici a cominciare da Mirri, sei un'amica davvero speciale, Gio e Pox, due fantastici coinquilini, Sue, mi sei stata davvero vicino in questi ultimi mesi, Gamba, Nama, Harry, Luke e così tutti gli altri. Il nostro anno è il migliore!

Un grazie a tutti i coinquilini di via Frizzi, passati, presenti e futuri, per avermi fatto compagnia in questi due anni di vita a Ferrara.

Non posso dimenticare Cirille che mi è stato sempre vicino in momenti in cui avevo più bisogno, grazie davvero.

Grazie alle altre 3 disgrazie Serre, Alle e Bea: compagne del liceo e di avventure. Serre, in maniera particolare, ha condiviso con me momenti indimenticabili in giro per l'Europa e nella nostra meravigliosa Roma. Le notti passate a dormire in treno o persino all'aperto, le giornate a Campo dé Fiori, agli Champs-Élysées, lungo i canali di Amsterdam o lungo la Rambla. Le chiacchiere e birre nei pub di Praga e Dublino e persino sugli scogli a Riomaggiore. Sono talmente tante le cose che abbiamo vissuto insieme che non bastano certo due righe.. Tante cose sono cambiate in questi anni, ma tu ci sei sempre e ti ringrazio per questo.

Bibliografia

- [1] Mirco Andreotti, Tesi di dottorato in Fisica, *Study of the $B^0 \rightarrow D^* l \nu$ Decay with the Partial Reconstruction Technique* (2005).
- [2] Particle Data Group, S. Eidelman *et al.*, Phys. Lett. B **592**, 1 (2004).
- [3] BaBar Collaboration, *The BaBar Physics Book*, SLAC-R-505 (1998).
- [4] The LST Team, *A Barrel IFR Instrumented with Limited Streamer Tubes*, (Proposal from the BaBar Collaboration to the SLAC Experimental Program Advisory Committee), 2003.
<http://www.slac.stanford.edu/BFROOT/www/Detector/LST/LSTprop-A4-May30-ajss.pdf>
http://www.fe.infn.it/electron/babar_ifr.htm
- [5] G. Cibinetto *et al.*; "A Barrel IFR instrumented with limited streamer tubes for BaBar experiment", Int. J Mod. Phys. A20 3834-3838, 2005.
- [6] <http://oldserver.ba.infn.it/montarul/phd/node52.html>. Esperimento MACRO, *Il sistema dei tubi a streamer*.
- [7] http://village.flashnet.it/users/polhitec/streamer_tube.htm, *Limited Streamer Tube Chambers (LST)*.
- [8] Isabella Garzia, Tesi di laurea in Fisica e Astrofisica, *Il Rivelatore di muoni dell'esperimento BaBar*.
- [9] Mauro Munerato, Tesi di laurea in Fisica e Astrofisica, *Progettazione e realizzazione del nuovo rivelatore di muoni per l'esperimento BaBar*.
- [10] W.R.Leo, *et al.*, *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiment*, Springer-Verlag, Second Revised Edition (1987).

- [11] G.Battistoni, E.Iarocci, G.Nicoletti, L.Trasatti, *Detection of induced pulses in proportional wire devices with resistive cathodes*, Nucl.Instrument.Meth. 152 (1978) 423.
- [12] <http://www.caen.it>, sito del gruppo CAEN.
- [13] Ruggero Sinigaglia, Tesi di laurea in Informatica, *Realizzazione di librerie per il controllo di un sistema ad alta tensione per rivelatori di muoni*.