

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI LECCE
FACOLTÀ DI SCIENZE MM. FF. NN.

Corso di Laurea in Fisica

TESI DI LAUREA

SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI
E RISULTATI PRELIMINARI
DELLA STAZIONE DI TEST DEGLI RPC
DI ATLAS

Relatore :
Chiar.mo Prof. Edoardo GORINI

Corelatore :
Dott. Gabriele CHIODINI

Laureando :
Michele BIANCO

Anno Accademico 2002-2003

La ricerca scientifica

*consiste nel vedere quello che ogni altro ha già visto
e nel pensare quello che nessun altro ha mai pensato.*

P. Szent-Gyorgy

Introduzione

Questo lavoro di tesi è stato sviluppato all'interno del gruppo di Fisica subnucleare dell'Università di Lecce in collaborazione con la sezione dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare di Lecce. Tali gruppi partecipano alla costruzione dello spettrometro per muoni di alta energia dell'esperimento ATLAS, in fase di realizzazione presso i laboratori internazionali del CERN di Ginevra. Scopo principale dell'esperimento è studiare il meccanismo responsabile della rottura spontanea della simmetria elettrodebole, utilizzando l'acceleratore protone protone, denominato LHC, avente un'energia nel centro di massa di 14 TeV.

Il lavoro che verrà descritto in questa tesi si inserisce nell'ambito della realizzazione della stazione di test dei rivelatori RPC di Lecce. Questi rivelatori sono destinati alla realizzazione del sistema di trigger dello spettrometro per muoni dell'esperimento ATLAS.

Obiettivi principali di questo lavoro sono stati la realizzazione della stazione di test e del suo programma di acquisizione dati. Inoltre tale lavoro ha portato alla caratterizzazione completa di un quadrupletto di RPC in grado di realizzare il sistema di trigger per la stazione stessa.

Nel primo capitolo viene introdotto il Modello Standard e la fisica di LHC, viene inoltre presentato l'esperimento ATLAS ed illustrate le richieste che esso deve soddisfare per il raggiungimento degli obiettivi di fisica per cui è preposto.

Nel secondo capitolo è riportata la descrizione dettagliata del principio di funzionamento di un rivelatore RPC, unitamente alle specifiche tecniche degli RPC di ATLAS.

Il terzo capitolo analizza le parti fondamentali che compongono la stazione di test sviluppate durante questo lavoro.

Il quarto capitolo descrive le caratteristiche fondamentali del software di acquisizione dati della stazione, realizzato completamente in questo lavoro di tesi.

Nel quinto ed ultimo capitolo vengono presentati i *primi* risultati ottenuti con la stazione di test di Lecce. In particolare viene dimostrata la validità del sistema di trigger basato su RPC, vengono mostrate le proprietà dei quattro rivelatori BOSB selezionati come camere di trigger e viene dimostrata

l'idoneità del sistema di acquisizione dati sviluppato.

Indice

1	Il Modello Standard e l'esperimento ATLAS a LHC	1
1.1	Introduzione	1
1.2	Struttura del Modello Standard	2
1.2.1	Il settore di Higgs	3
1.3	L'acceleratore LHC al CERN	4
1.4	La ricerca del bosone di Higgs a LHC	6
1.5	L'esperimento ATLAS	11
1.5.1	Il sistema di tracciamento	12
1.5.2	Il sistema calorimetrico	14
1.5.3	Lo spettrometro muonico	18
1.5.4	Sistema di acquisizione dati	21
1.5.5	Il sistema di trigger	21
2	I Rivelatori a Piatti piani Resistivi	23
2.1	Origine e struttura del rivelatore	23
2.2	Generazione e sviluppo del segnale	26
2.2.1	Generazione del segnale	26
2.2.2	Sviluppo del segnale proporzionale a valanga	28
2.2.3	Generazione di streamer	30
2.3	Controllo e limitazione dello streamer	33
2.4	Raccolta e propagazione del segnale	36
2.5	Capacità di conteggio di un RPC	38
2.6	Gli RPC di ATLAS	41
2.6.1	Test di accettazione	42
3	La Stazione di Test per gli RPC di ATLAS	45
3.1	Struttura della stazione	45
3.2	Il sistema del gas	46

3.3	Il sistema di distribuzione delle tensioni	48
3.4	Il sistema di acquisizione dei dati	50
3.4.1	I moduli Receiver	51
3.4.2	I moduli Latch	52
3.5	Il sistema di trigger	55
3.6	Programmi di gestione della stazione di test	57
4	Il programma di acquisizione dati “DAQ”	59
4.1	Introduzione	59
4.2	Descrizione generale	60
4.3	Il ciclo di acquisizione dati	64
4.4	Formato del file di configurazione e dei file di uscita	67
4.4.1	Il file di configurazione	67
4.4.2	Il file di descrizione	69
4.4.3	Il file dei dati	70
4.5	Monitor della presa dati	73
4.6	Possibilità di sviluppo del software	76
5	Risultati preliminari dei test	77
5.1	Introduzione	77
5.2	Caratteristica tensione-corrente e misura del rumore di un RPC	77
5.3	Verifica del corretto funzionamento della stazione di test . . .	83
5.4	Caratterizzazione delle camere di trigger per la stazione di test	84
5.4.1	Studio della curva di efficienza in funzione della tensione di soglia	89
5.5	Studi sulla velocità di acquisizione dati della stazione di test .	92
A	Il SubVI <i>Read All Bank</i>	97
A.1	Struttura del Vi	97

Capitolo 1

Il Modello Standard e l'esperimento ATLAS a LHC

1.1 Introduzione

Tutti i fenomeni noti in fisica delle particelle elementari sono in accordo con una teoria completamente formulata, finita, e nei limiti delle capacità tecniche attuali, calcolabile, che prende il nome di **Modello Standard (MS)** [1]. Il MS descrive le interazioni forti, elettromagnetiche e deboli alle quali tutti i fenomeni microscopici possono essere ricondotti.

Un aspetto fondamentale della teoria è la precisione con cui si possono calcolare una serie di osservabili sperimentali.

La scoperta delle correnti neutre J^{nc} [2], dei bosoni intermedi W^\pm , Z^0 [3] e le misure di precisione, effettuate al collisionatore LEP (Large Electron Positron collider), hanno confermato la validità della struttura del gruppo di simmetria elettrodebole [4] su cui si basa la teoria.

Nonostante questi successi il modello ha bisogno di ulteriori investigazioni, è infatti necessario comprendere a fondo il meccanismo della rottura spontanea della simmetria elettrodebole, dimostrando l'esistenza del bosone di Higgs oppure scoprendo nuova fisica oltre il modello standard stesso. A questo obiettivo è dedicato il programma futuro del CERN mediante la costruzione della macchina acceleratrice protone-protone LHC (Large Hadron Collider) e gli esperimenti ATLAS e CMS.

1.2 Struttura del Modello Standard

Il MS è una teoria di gauge rinormalizzabile che si basa sul gruppo di simmetria $G = SU(3)_c \times SU_L^{Weak}(2) \times SU_Y^{Weak}(1)$, dove $SU_c(3)$ è il gruppo di simmetria generato dalle cariche di colore, $SU_L^{Weak}(2)$ è il gruppo di simmetria generato dalle cariche di isospin debole e $SU_Y^{Weak}(1)$ è il gruppo di simmetria generato dalla ipercarica debole. Nel Modello Standard le particelle sono classificabili in due categorie fondamentali relativamente al loro spin:

- **Bosoni:** *particelle a spin intero mediatrici delle interazioni fondamentali e associate ai generatori del gruppo di simmetria locale (Tab.1.1).*

<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;">Elettrodebole</td> <td style="width: 50%; padding: 5px;">Forte</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">γ, Z^0, W^\pm</td> <td style="padding: 5px;">$g_{a=1\div 8}$</td> </tr> </table>	Elettrodebole	Forte	γ, Z^0, W^\pm	$g_{a=1\div 8}$
Elettrodebole	Forte			
γ, Z^0, W^\pm	$g_{a=1\div 8}$			

Tabella 1.1: Bosoni all'interno del Modello Standard.

- **Fermioni:** *particelle a spin semintero che costituiscono i campi di materia. Esse si suddividono in leptoni e quarks, raggruppabili in tre famiglie (o generazioni) di doppietti di isospin debole (Tab. 1.2).*

leptoni	$\begin{pmatrix} e \\ \nu_e \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \mu \\ \nu_\mu \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \tau \\ \nu_\tau \end{pmatrix}_L$
quarks	$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} b \\ t \end{pmatrix}_L$

Tabella 1.2: Generazioni di fermioni all'interno del Modello Standard.

Ai portatori delle forze ed ai campi di materia va aggiunto il bosone scalare di Higgs H , ritenuto responsabile della rottura spontanea della simmetria di gauge G . La rottura della simmetria è necessaria al fine di generare la massa dei bosoni intermedi Z^0 , W^\pm e dei fermioni in accordo con l'esperienza.

La richiesta rinormalizzabilità della lagrangiana del MS non permette l'introduzione diretta di termini di massa per i bosoni e i fermioni. Infatti ciò introdurrebbe delle divergenze nel calcolo perturbativo dei processi fisici, annullando il potere predittivo della teoria.

Al fine di superare quest'ostacolo è stato introdotto il meccanismo di Higgs della rottura spontanea di simmetria [5] che fornisce una massa non nulla ai bosoni intermedi, e preserva la rinormalizzabilità. Nella versione minimale si introduce un doppietto di campi scalari complessi ϕ :

$$\phi = \begin{pmatrix} \phi^+ \\ \phi^0 \end{pmatrix} = \sqrt{\frac{1}{2}} \begin{pmatrix} \phi_1 + i\phi_2 \\ \phi_3 + i\phi_4 \end{pmatrix} \quad (1.1)$$

ed un potenziale $V(\phi)$ avente la stessa simmetria della lagrangiana ma con un minimo $\phi_0 = 232 \text{ GeV} \neq 0$ che invece viola la simmetria. Lo stato fondamentale del campo di Higgs, accoppiandosi con le particelle mediatrici delle forze, genera le masse dei tre bosoni W^\pm e Z^0 e lascia nulla la massa del fotone. Conseguenza di questo schema è l'esistenza di un bosone neutro di spin 0, detto bosone di Higgs H , la cui massa m_H non è predetta dalla teoria, diversamente da m_{W^\pm} e m_{Z^0} .

1.2.1 Il settore di Higgs

Malgrado il grande successo del MS, non ultima la scoperta diretta del quark top al collisionatore protone-antiprotone Tevatron [6], rimane ancora inesplorato il cosiddetto settore di Higgs. La ricerca del bosone H del MS al collisionatore LEP fornisce un limite inferiore sulla massa pari a circa 112 GeV [7]. Inoltre la consistenza della teoria, unita alle misure di precisione fatte con diversi esperimenti, stabiliscono un limite superiore pari a circa 160 GeV [8].

Esistono forti motivazioni teoriche che rendono insoddisfacente il MS ad energie superiori alla scala elettrodebole. Infatti la presenza di campi scalari fondamentali nella teoria determina correzioni quantistiche che crescono

con il quadrato dell'energia. Ciò richiede una calibrazione molto fine dei parametri fondamentali. Tale "innaturalità" della teoria può essere superata postulando qualche forma di nuova fisica nella regione del TeV.

Una possibilità è che non esistono scalari fondamentali ed il bosone di Higgs sia in realtà una particella composta di fermioni. Ciò richiederebbe una nuova forza legante molto intensa detta *Technicolor*. Esisterebbero allora, nella regione del TeV, tutto uno spettro di nuovi adroni, stati legati di questa superforza. Purtroppo nessuno è finora riuscito a formulare una teoria realistica di questo tipo compatibile con le misure di precisione.

Un'altra possibilità, molto accreditata dai teorici, è l'esistenza di una simmetria di tipo nuovo tra fermioni e bosoni detta *Supersimmetria*. Una teoria supersimmetrica risolverebbe il problema della naturalità perchè non possiederebbe divergenze quadratiche anche in presenza di campi scalari. L'estensione minimale supersimmetrica del modello standard prevede l'esistenza di cinque campi di Higgs, due carichi e tre neutri, ed una pletora di nuove particelle. Gli esperimenti ad LHC sono in grado di confermare o di escludere la correttezza di tale modello.

1.3 L'acceleratore LHC al CERN

La macchina acceleratrice LHC è progettata per accelerare in direzioni opposte due fasci di protoni ad un'energia di 7+7 TeV ponendosi alla frontiera dell'energia oggi raggiungibile.

La necessità di collocare la macchina nello stesso tunnel circolare utilizzato da LEP (vedi Fig. 1.1) ha richiesto la costruzione di innovativi dipoli magnetici con superconduttori raffreddati con He superfluido. Tali dipoli, in grado di generare campi magnetici di circa 8.65 T, mantengono in orbita i fasci di protoni accelerati a 7 TeV. Nella Tab 1.3 sono riportati i principali parametri di progetto di LHC.

Il sistema d'iniezione di LHC (Fig. 1.2) è composto da diversi stadi di accelerazione in cascata dei protoni: l'acceleratore lineare LINAC (50MeV), acceleratore circolare BOOSTER (1 GeV), il protosincrotrone SP (26 GeV) ed, in fine, il super-protosincrotrone SPS (450 GeV).

I due fasci di protoni, accelerati da LHC, sono previsti intersecarsi in 4 regioni dette intersezioni, dove avvengono le collisioni protone-protone. Un altro parametro fondamentale di LHC, è la luminosità L dei fasci nella

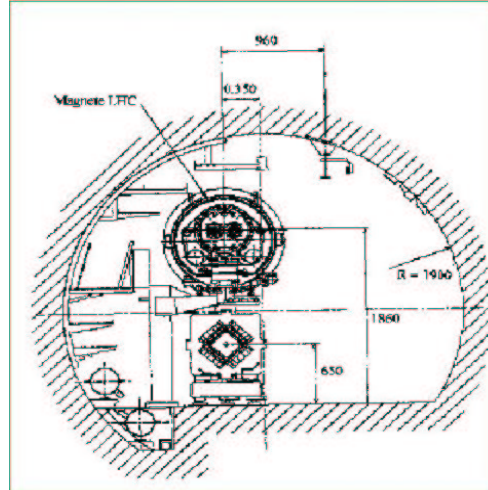


Figura 1.1: Sezione del tunnel dove alloggerà LHC.

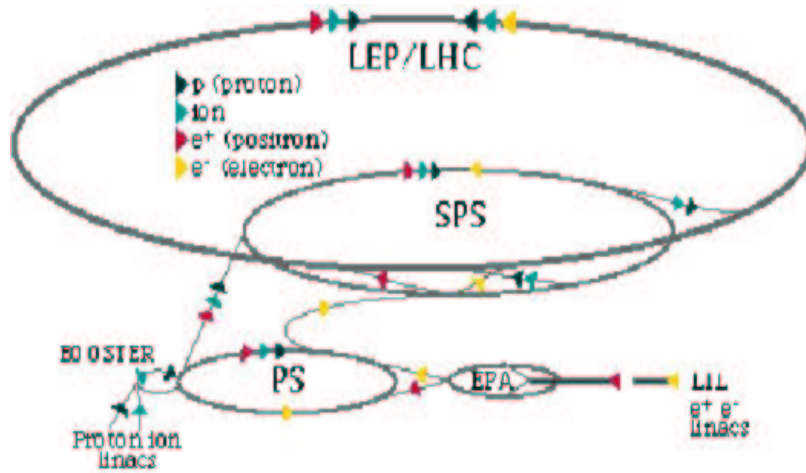


Figura 1.2: Complesso di acceleratori del CERN.

regione d'interazione. La luminosità è definita dalla seguente formula:

$$L = F \frac{f \cdot n_1 \cdot n_2}{4\pi \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (1.2)$$

dove:

- ◇ F è pari a circa 0.9 ed è il fattore di conversione che tiene conto dell'angolo d'incontro dei fasci collidenti.
- ◇ $f = 40$ MHz è la frequenza di attraversamento dei pacchetti di protoni.
- ◇ $n_{1(2)}$ è il numero di protoni presente in ogni pacchetto del fascio.
- ◇ $\sigma_{x(y)}$ è la larghezza dei pacchetti di protoni nella direzione di curvatura e nella direzione ortogonale al piano dell'acceleratore.

È prevista una prima fase a bassa luminosità con $L = 10^{32} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ed una seconda fase ad alta luminosità con $L = 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$.

La capacità di scoperta di LHC è determinata dalla sua energia e dalla sua luminosità. Infatti il numero di eventi interessanti prodotti in un secondo R (*Rate*) è dato da:

$$R = \sigma \cdot L \quad (1.3)$$

dove σ è la sezione d'urto di produzione dell'evento.

1.4 La ricerca del bosone di Higgs a LHC

I processi investigati nella ricerca del bosone di Higgs, sono stati selezionati in funzione della possibilità di separare il segnale S dal fondo B ciò rappresenta una delle maggiori problematiche dell'esperimento. Il rapporto segnale/fondo (S/B) varia in funzione della massa m_H , cosicchè processi più vantaggiosi per determinati valori di massa possono non esserlo per altri valori.

Nel caso delle collisioni protone-protone la sezione d'urto totale σ_{tot} , per un'energia del centro di massa di 14 TeV, è stimata essere di circa $\sigma_{tot} \cong 110 \text{mb}$ [8], ma escludendo le collisioni elastiche e diffrattive (a bassa molteplicità dello stato finale) si ottiene una sezione d'urto di circa 70 mb.

La maggior parte di tali eventi sono dovuti a collisioni a piccolo momento trasferito in cui le particelle, nello stato finale, hanno un elevato valore del momento longitudinale ed un basso valore del momento trasverso $\langle p_T \rangle \cong 500$ MeV. Questi eventi, detti *eventi di minimum-bias*, sono quelli meno interessanti.

Energia del fascio	7 TeV
Campo Magnetico	8.56 T
Luminosità	$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Frequenza di rivoluzione del fascio f	11.246 kHz
Lunghezza dell'acceleratore	26.66 Km
Corrente circolante	0.56 A
Distanza spaziale tra i pacchetti	7.48 m
Distanza temporale tra i pacchetti	25 ns
Funzione β nei punti d'interazione	0.5 m
Parametro fascio-fascio ξ	0.0032
Numero di protoni per pacchetto	$1.1 \cdot 10^{11}$
Numero di pacchetti	2835
Angolo d'incrocio tra i fasci	$200 \mu\text{rad}$
Durata della luminosità	10 h
Durata del fascio	22 h
Perdita di energia per giro	6.9 KeV
Potenza irradiata dal fascio	3.7 kW
Energia immagazzinata per ogni fascio	350 MJ
Larghezza del pacchetto di protoni σ	$15 \mu\text{m}$

Tabella 1.3: Caratteristiche tecniche del collisionatore LHC

Gli eventi interessanti, invece provengono da interazioni a piccola distanza e dunque a grandi valori del momento trasverso, in cui possono essere prodotte particelle massive. A seguito dell'elevato numero di eventi minimum-bias prodotti ad ogni intersezione dei pacchetti di protoni (*bunch-crossing*) e dell'elevata frequenza di collisione (ogni 25 nsec), esiste la necessità di minimizzare, nelle celle di rivelazione, la sovrapposizione di eventi provenienti da collisioni protone-protone diverse (*Pile-up*).¹ Gli esperimenti ad LHC, al fine di ridurre il fenomeno di pile-up, sono costruiti con rivelatori ad alta granularità, e con sistemi di elettronica veloce.

Prima di addentrarci nella descrizione dell'apparato di rilevazione ATLAS è opportuno descrivere i vari processi possibili di produzione e di decadimento

¹In un bunch-crossing in media avvengono circa 20 interazioni protone-protone che danno luogo ad un evento minimum-bias con una molteplicità media di 20 particelle.

del bosone di Higgs.

La produzione del bosone di Higgs può procedere attraverso un'interazione elementare a piccola distanza tra i partoni costituenti i protoni: gluoni g e quark q . In fig 1.3 sono riportati i principali processi di produzione dell'Higgs ad un collisionatore adronico.

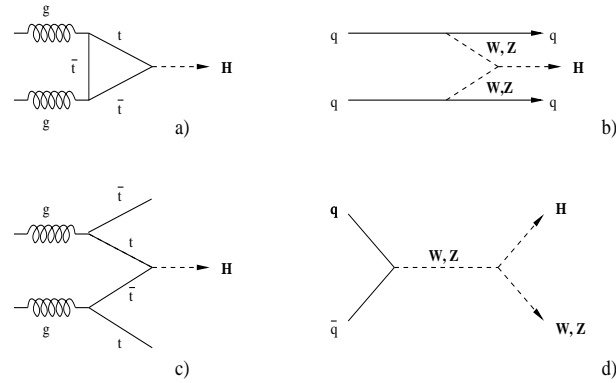


Figura 1.3: *Principali diagrammi di produzione dell'Higgs ad LHC : fusione di gluoni (a) , fusione di bosoni Z o W (b) , produzione in associazione con una coppia di quark top-antitop (c) produzione in associazione con un bosone(d).*

Attualmente i canali di decadimento giudicati più vantaggiosi per la scoperta dell'Higgs in funzione della sua massa sono i seguenti:

- Per $80 \text{ GeV} \leq m_H \leq 120 \text{ GeV}$ il decadimento che domina ($\cong 100\%$) è $H \rightarrow b\bar{b}$ in quanto il quark beauty (b) è la particella con massa maggiore in cui può decadere. L'elevato segnale di fondo, presente in questo canale, ne limita fortemente la possibilità di rilevazione. Il rapporto segnale/fondo è circa 10^{-5} , ma può essere incrementato richiedendo la presenza di un altro bosone di gauge o di un quark top proveniente dalla produzione associata [vedi fig. 1.3 (c) e (d)].

Un altro canale di decadimento accessibile in questo range di massa è $H \rightarrow \gamma\gamma$. Tale decadimento ha una piccola frazione di decadimento (*Branching-Ratio* BR) dell'ordine di 10^{-3} , ma ha un rapporto segnale/fondo di circa $\cong 10^{-2}$, quindi rilevabile.

- Per $120 \text{ GeV} \leq m_H \leq 600 \text{ GeV}$ il decadimento principale è senza dubbio $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4l$, dove l indica un leptone carico. All'interno di un

range di massa così ampio è necessario suddividere l'analisi in base al rapporto di massa tra H e Z. Se $m_H > 2m_Z$ allora i bosoni nello stato finale sono reali e la coppia di leptoni, prodotti di decadimento dei due Z, devono avere una massa invariante compatibile con m_Z . Se $m_H < 2m_Z$ uno dei bosoni Z è virtuale e solo una coppia di leptoni di carica opposta ha una massa invariante pari a m_Z . In quest'ultimo caso i fondi sono maggiori perchè un evento con quattro leptoni può provenire anche dai canali $ZZ^* \rightarrow 4l + X$ e $Zb\bar{b} \rightarrow 4l + X$. Questi fondi possono essere ridotti scartando gli eventi aventi vertici primari che oltre alle tracce dei quattro leptoni contengano almeno un'altra traccia, o vertici secondari dovuti al decadimento semileptonico dei quark b.

- Per $m_H \geq 600\text{GeV}$ i canali di decadimento più promettenti sono $H \rightarrow ZZ \rightarrow ll\nu\nu$ e $H \rightarrow ZZ \rightarrow lljj$ $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu jj$, dove ν indica un neutrino e j un jet adronico. Naturalmente, per poter identificare tali processi, è di fondamentale importanza la precisione del calorimetro adronico e la capacità di misurare il p_t momento trasverso mancante attraverso l'ermeticità del sistema calorimetrico.

In definitiva è possibile poter individuare il bosone di Higgs e misurarne con discreta precisione la massa su tutto lo spettro che va da 120 GeV a 1 TeV. Le figure che seguono riportano l'andamento della frazione di decadimento del bosone di Higgs e l'andamento della *significatività statistica* (S/\sqrt{B}) della misura in funzione della sua massa.

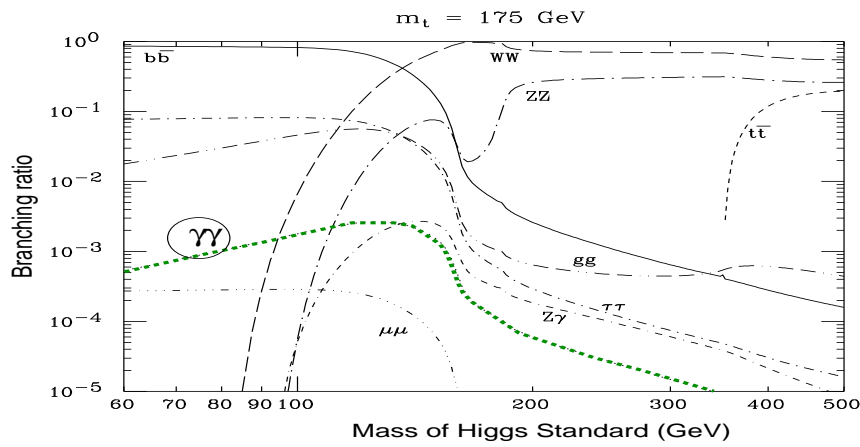


Figura 1.4: *Frazione di decadimento del bosone di Higgs del MS in funzione di m_H per diversi canali di decadimento.*

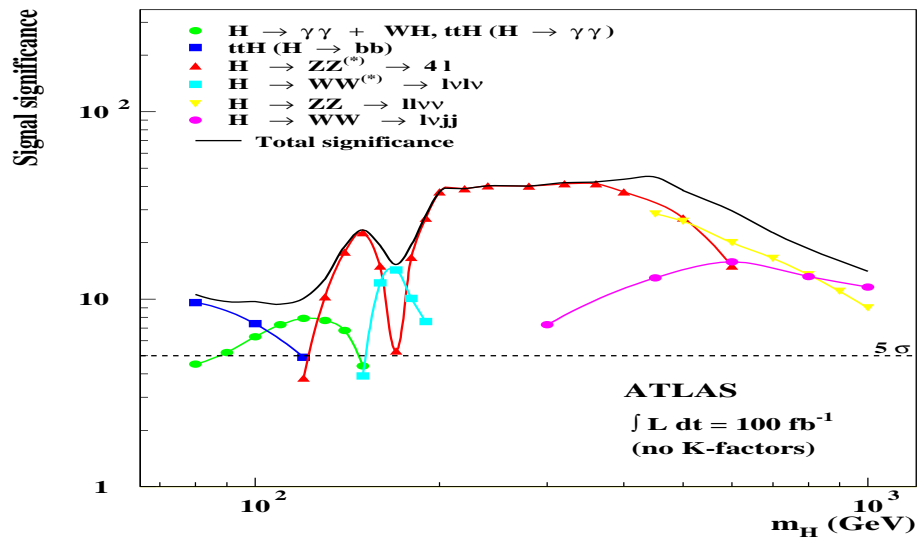


Figura 1.5: *Significatività, o potenziale di scoperta, del bosone di Higgs del MS nei vari canali in funzione di m_H .*

1.5 L'esperimento ATLAS

L'esperimento ATLAS è concepito per sfruttare a pieno la vasta potenzialità di scoperta di LHC, ciò lo rende un tipico esperimento *general purpose*. Pur avendo come scopo principale la ricerca del bosone di Higgs, le sue elevate prestazioni permettono di effettuare misure di precisione nei decadimenti del mesone B, nella violazione della simmetria CP (di Parità e coniugazione di Carica) e nella fisica dei quark t. Oltre alla capacità di operare all'elevata luminosità di LHC, altra caratteristica dell'esperimento, è la possibilità di misurare con precisione l'energia dei fotoni, degli elettroni e dei muoni isolati fino a $p_t \cong 1$ TeV. Questo permette di effettuare misure accurate sulle masse invarianti, così da poter rigettare, usando specifici tagli, gli eventi non desiderati. Il vasto campo di utilizzo e le elevate precisioni di misura si riflettono direttamente sulle dimensioni dell'apparato che complessivamente misura 22 metri di altezza e 46 metri di lunghezza. In fig. 1.6 è possibile vedere uno spaccato tridimensionale del rivelatore ATLAS.

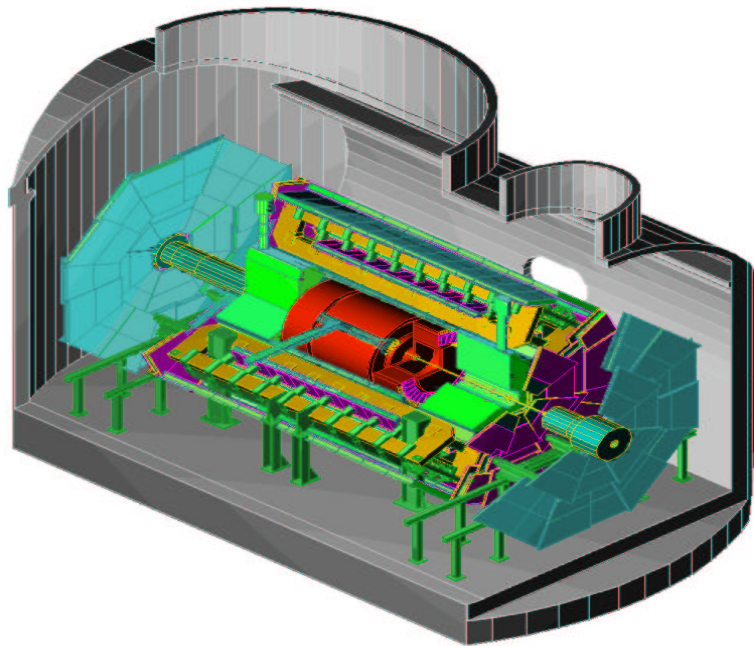


Figura 1.6: *Veduta artistica dell'apparato ATLAS collocato nella cavità sotterranea appositamente realizzata per l'esperimento.*

I sottosistemi di rivelazione, costituenti ATLAS, sono contenuti uno nell'altro. Partendo dal nocciolo centrale del rivelatore, e muovendoci verso l'esterno, descriveremo brevemente i vari sottosistemi. Nella descrizione dell'apparato utilizzeremo un sistema di coordinate cartesiane, in cui l'origine O coincide con l'intersezione dei fasci, l'asse z risulta essere l'asse di propagazione di uno dei fasci e il piano xy è il piano ortogonale ad essi. Su questo piano utilizzeremo le coordinate r , distanza dall'origine, e ϕ , l'angolo azimutale. Nel piano rz , inoltre, è utile introdurre la variabile η detta *pseudorapidità* definita come:

$$\eta = -\ln \left(\tan \frac{\theta}{2} \right) \quad (1.4)$$

dove θ è l'angolo poloidale definito rispetto all'asse z . La comodità di utilizzare la variabile η è dovuta al fatto che la molteplicità media delle particelle prodotte è uniforme se espressa in tale variabile ($dn/d\eta = \text{cost}$).

1.5.1 Il sistema di tracciamento

Il rivelatore interno (*Inner Detector*) occupa la cavità cilindrica definita dai criostati del solenoide superconduttore che genera il campo magnetico. Il suo compito è di ricostruire le tracce delle particelle cariche, di misurarne il momento e di ricostruire i vertici di decadimento primari e secondari. Il sistema è lungo complessivamente 6.8 m con un diametro pari a 1.15 m. Come si evince dalla figura 1.7 il rivelatore interno [9] si compone di tre strutture fondamentali. La prima struttura è detta *Barrel* e copre lungo z una distanza di 160 cm. Le altre due strutture, dette *end-caps*, sono poste ai lati e completano il sistema.

I requisiti tecnici del rivelatore interno sono i seguenti:

- Elevata granularità.
- Alta velocità di risposta.
- Elevata resistenza alle radiazioni.
- Buona risoluzione in momento.

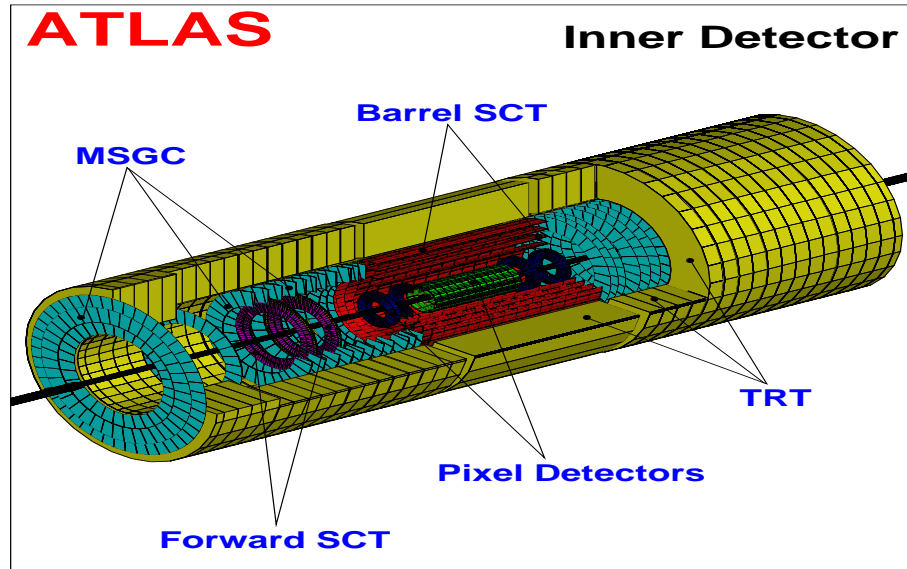


Figura 1.7: Sezione dell'inner detector dell'esperimento ATLAS.

Una richiesta stringente è la necessità di ridurre al minimo il materiale di cui è composto, questo al fine di non degradare la risoluzione in momento, per effetto dello scattering multiplo, e l'identificazione di elettroni e fotoni nel calorimetro e.m., per effetto della fotoconversione e del bremstrahlung. I rivelatori impiegati nella zona prossima all'intersezione dei fasci hanno un'elevata risoluzione spaziale, mentre quelli più esterni forniscono un elevato numero di punti per la definizione della traccia.

Nella regione in prossimità della zona d'interazione sono stati scelti come elementi traccianti rivelatori a semiconduttori al silicio segmentati in pixel (*Pixel Detector*) ed in strip (*Semiconductor Tracker SCT*). La risoluzione spaziale raggiungibile con questi rivelatori è di circa $12 \mu\text{m}$. Nella parte più esterna si utilizza un rivelatore a radiazione di transizione (*Transition Radiation Tracker TRT*), che impiega come elementi attivi i cosiddetti *straw tubes*. Gli *straw tubes*, simili nel funzionamento a tubi proporzionali, hanno il catodo costituito da una cannucchia realizzata avvolgendo due pellicole di materiale plastico e ricoperte da alluminio e carbonio. Tali rivelatori contengono una miscela composta da 70% di Xe, 20% di CO_2 e 10% CF_4 , hanno un diametro di 4 mm e raggiungono una risoluzione spaziale di circa $170 \mu\text{m}$. Interposto tra i vari strati di *straw tubes* è presente un radiatore di

polipropilene che permette l'identificazione degli elettroni.

Con questa configurazione le tracce con $|\eta| < 2.5$ vengono ricostruite con 43 punti: 7 derivanti da pixel e SCT e 36 dagli *straw tubes*. Si ottiene così una risoluzione in p_t migliore del 30% per $p_t = 500$ GeV. La tabella 1.4 riporta le caratteristiche principali dei rivelatori costituenti il sistema di tracciamento.

<i>Elemento</i>	<i>Posizione</i>	<i>Superficie copertura (m^2)</i>	<i>Risoluzione (μm)</i>	<i>Copertura in η</i>
Pixel	1 strato centrale removibile	0.2	$R\phi = 12$ $z = 66$	± 2.5
	2 strati centrali	1.4	$R\phi = 12$ $z = 66$	± 1.7
SCT	5 dischi laterali per lato	0.7	$R\phi = 12$ $z = 77$	1.7 – 2.5
	4 strati centrali	34.4	$R\phi = 16$ $z = 580$	± 1.4
	9 dischi laterali per lato	27.6	$R\phi = 16$ $z = 580$	1.4 – 2.5
TRT	Tubi centrali assiali		170 per tubo	± 0.7
	Tubi laterali radiali		170 per tubo	0.7 – 2.5

Tabella 1.4: Caratteristiche tecniche del rivelatore interno.

1.5.2 Il sistema calorimetrico

Il sistema calorimetrico di ATLAS identifica fotoni, elettroni, adroni isolati e jet adronici, misurandone in aggiunta l'energia e la direzione. L'ermeticità dell'intero apparato permette di calcolare l'energia trasversa mancante dell'evento.

Il sistema è costituito da un calorimetro elettromagnetico e da un calorimetro adronico, il primo interno all'altro ed entrambi esterni al solenoide del sistema di tracciamento. La figura 1.8 mostra l'insieme del sistema calorimetrico e la tabella 1.5 riporta i suoi valori principali di copertura e di granularità.

ATLAS Calorimetry

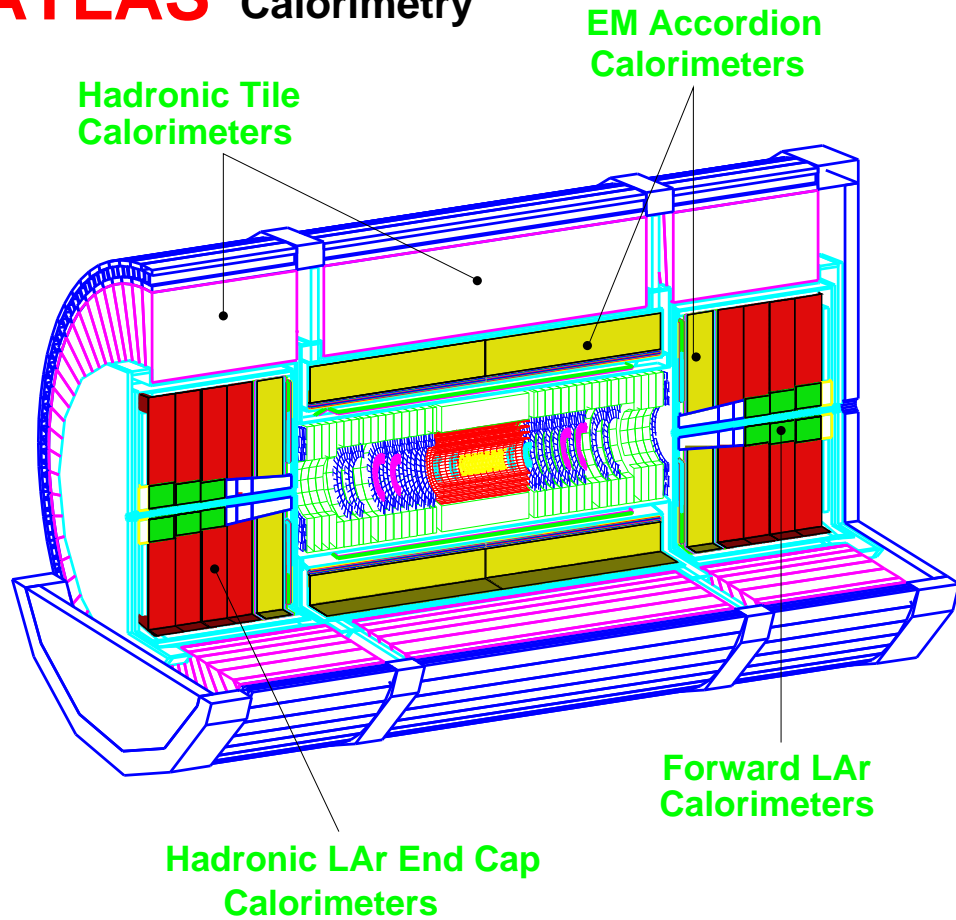


Figura 1.8: *Sistema calorimetrico di ATLAS.*

- **Il calorimetro elettromagnetico**

Le principali richieste che il calorimetro elettromagnetico soddisfa sono:

- Ricostruzione degli elettroni nell'intervallo di energia compreso tra 1 GeV e 5 TeV.
- Ottima risoluzione energetica tra 10 e 300 GeV con una precisione $\leq 1\%$ ad alte energie.

<i>Sistema</i>	<i>Copertura</i>	<i>Granularità $\Delta\theta \times \Delta\phi$</i>
EM Barrel	$ \eta < 1.475$	0.003.1
Barrel adronico	$ \eta < 1.6$	0.025.025 0.1.1
End-caps adroniche	$0.8 < \eta < 1.7$ $1.5 < \eta < 3.2$	0.1.1 0.2.2
Calorimetro in avanti	$3.2 < \eta < 4.9$	0.2.2

Tabella 1.5: Copertura e granularità dell'intero sistema calorimetrico

- Spessore totale di 24 lunghezze di radiazione per $\eta = 0$.
- Ottima separazione fotoni/jet ed elettroni/jet .
- Elevata granularità.

La complessa struttura è composta da una parte centrale, detta *Barrel*, e da due parti laterali, dette *End-caps*, alloggiate in tre diversi criostati. Il calorimetro utilizza come materiale assorbitore il piombo e come materiale di campionamento l'argon liquido.

Il materiale assorbente e gli elettrodi di rivelazione, separati da argon liquido, sono sagomati a fisarmonica (vedi fig. 1.9). Tale soluzione innovativa permette di migliorare notevolmente la risoluzione energetica degli sciami elettromagnetici. L'elettrodo è composto da tre strati di rame segmentati in celle e separati da Kapton. Il segnale di ionizzazione è letto per accoppiamento capacitivo dalle celle dello strato di rame centrale, mentre gli strati di rame esterni svolgono il ruolo di anodo e sono connessi all'alta tensione.

La risoluzione energetica del calorimetro elettromagnetico è data dalla seguente formula ²

$$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{a}{\sqrt{E}} \oplus \frac{b}{E} \oplus c \quad (1.5)$$

Dove il termine stocastico $a = 10\%$ tiene conto delle fluttuazioni statistiche, il termine $b < 0.5\%$ tiene conto del rumore elettronico e il termine costante $c = 0.7\%$ tiene conto degli errori sistematici e domina la risoluzione ad alte energie.

²Il simbolo \oplus indica la somma in quadratura dei tre termini.

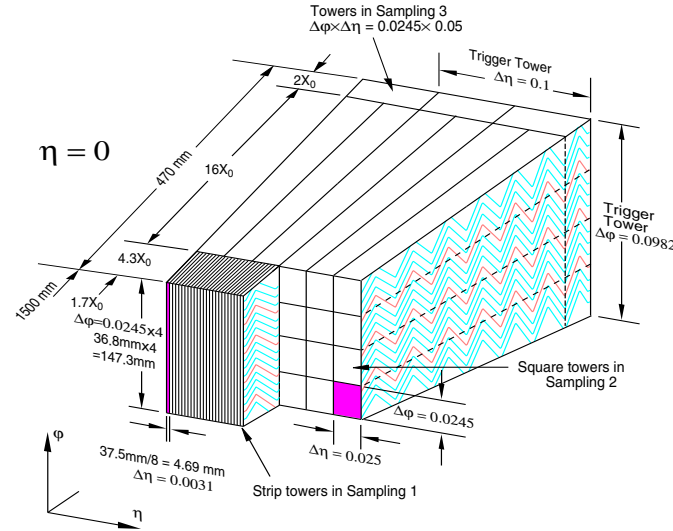


Figura 1.9: *Struttura ad "Accordium" degli elettrodi e segmentazione della parte barrel del calorimetro elettromagnetico.*

• Calorimetro adronico

Il calorimetro adronico utilizza diverse tecnologie di rivelazione a seconda della regione coperta: ferro-scintillatori nella regione "barrel" e "extended barrel", ferro-argon liquido nelle regioni "End-cap" e rame/tungsteno-argon liquido nella regione in avanti a piccoli angoli (*Forward calorimeter*). Il calorimetro adronico "end-cap" e "forward" sono alloggiati nello stesso criostato utilizzato dal calorimetro elettromagnetico "end-cap".

Un parametro fondamentale del calorimetro è lo *spessore*, il quale deve essere sufficientemente grande da garantire il contenimento degli sciami adronici. Lo spessore totale è di 11 lunghezze d'interazione λ [10] nella direzione di $\eta = 0$ di cui 1.5 è dovuto ai supporti esterni. La sua grande copertura in η e la sua buona ermeticità garantiscono ottime misure del momento trasverso mancante. La risoluzione energetica del calorimetro adronico è data dalle seguenti formule:

$$\frac{\sigma_E}{E} = 50\%/\sqrt{E} \oplus 3\% \text{ nel barrel} \quad (1.6)$$

$$\frac{\sigma_E}{E} = 100\%/\sqrt{E} \oplus 10\% \text{ negli end-caps} \quad (1.7)$$

1.5.3 Lo spettrometro muonico

Lo spettrometro muonico, esterno al sistema calorimetrico, ha il compito di identificare rapidamente muoni ad alto momento trasverso e misurare con precisione il momento, in un ampio intervallo di energia e pseudorapidità. Esso è composto da tre sistemi aventi ciascuno otto toroidi superconduttori (uno "barrel" e due "end-cap"). I toroidi sono disposti radialmente lungo l'asse z e simmetricamente lungo l'angolo azimutale ϕ . Il sistema tracciante è costituito da tre stazioni nella regione "barrel", disposte concentricamente al fascio, e da quattro stazioni nelle regioni "end-cap", disposte verticalmente. La notevole superficie dello spettrometro e la necessità di limitare i costi ha comportato la scelta d'impiegare rivelatori a gas per realizzare le stazioni di misura. Lo spettrometro utilizza quattro diverse tecnologie di rivelatori, relativamente all'uso (misura veloce o di precisione) e alla regione occupata ("barrel" o "end-cap").

Per la misura di precisione si utilizzano tubi a deriva (*Monitored Drift Tubes MDT*), ad eccezione della zona ad elevata pseudorapidità, dove si utilizzano, invece, rivelatori a strisce catodiche (*Cathode Strip Chambers CSC*). Per le misure veloci (*camere di trigger*) si utilizzano rivelatori a piatti piani resistivi (*Resistive Plate Chamber RPC*) nel barrel, e rivelatori a gap sottile (*Thin Gap Chambers TGC*) nelle regioni "end-cap". In fig. 1.10 sono riportate le posizioni delle varie camere all'interno dello spettrometro.

MDT

Gli MDT sono utilizzati come camere di precisione sia nella regione barrel che in quelle end-cap. Nella prima regione sono disposti sulle tre stazioni concentriche, ad una distanza di circa 5, 7.5 e 10 m dal fascio, e coprono l'intervallo di pseudorapidità $|\eta| < 1$. Nella seconda regione sono disposti sulle quattro stazioni verticali, ad una distanza di circa 7, 10, 14, e 22 m dal punto d'interazione, e coprono l'intervallo di pseudorapidità $1 < |\eta| < 2.7$. Gli MDT sono composti da tubi di alluminio di 30 mm di diametro, con pareti di 400 μm di spessore, e da un filo centrale in tungsteno-renio da 50 μm . La miscela di gas utilizzata è composta da Ar(93%)-CO₂(7%) mantenuta ad una pressione di 3 bar. La risoluzione spaziale ottenibile con un singolo filo è di circa 80 μm . Per migliorare la risoluzione e rimuovere l'ambiguità "destra-sinistra" ogni camera di MDT è composta da due piani, ognuno formato da tre o quattro strati di tubi. I due piani sono collocati su una struttura rigida

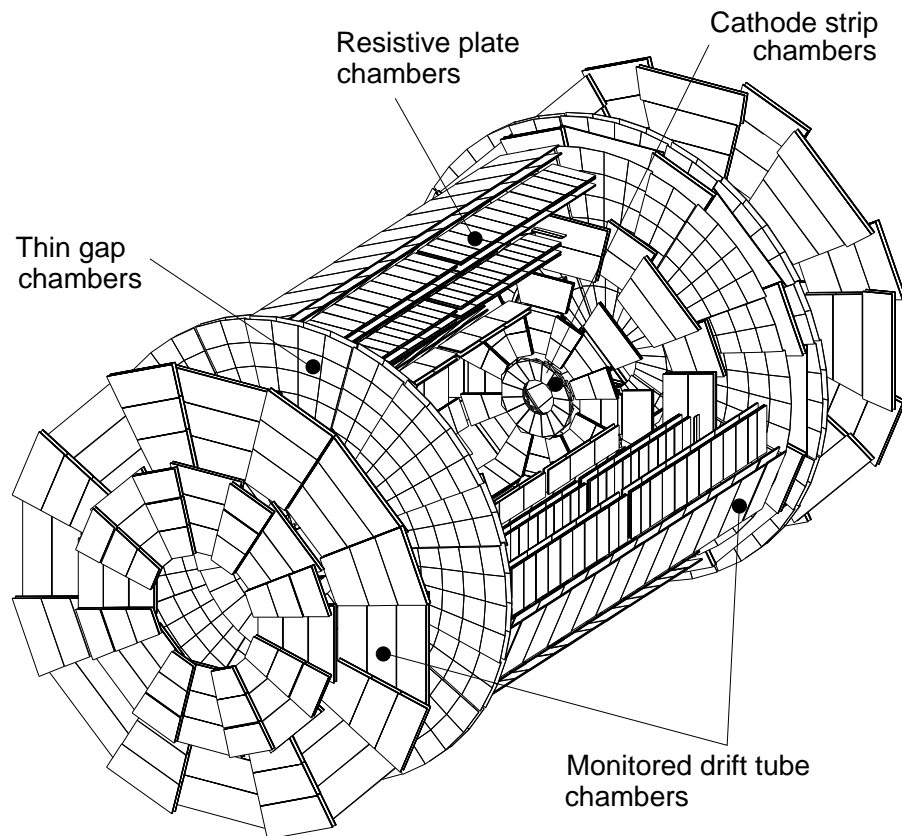


Figura 1.10: *Disposizione delle stazioni di misura nello spettrometro muonico di ATLAS.*

che da solidità al sistema e permette la misura della posizione relativa per mezzo di un sistema ottico.

CSC

I CSC sono utilizzati come rivelatori di precisione nelle prime stazioni end-cap e coprono l'intervallo di pseudorapidità $|\eta| > 2$, dove l'elevato flusso di particelle renderebbe gli MDT inutilizzabili. I CSC sono rivelatori proporzionali multifilo a celle simmetriche. Ogni cella è costituita da un filo anodico e da due catodi segmentati in strip da 5 mm. La misura di precisione delle coordinate spaziali è ottenuta misurando la carica indotta sulle strip catodiche dalla valanga propagatasi sul filo anodico. La risoluzione spaziale è di circa $60 \mu\text{m}$ e la risoluzione temporale è di circa 7 ns. La miscela di gas utilizzata è composta da $\text{Ar}(30\%)\text{-CO}_2(50\%)\text{-CF}_4(20\%)$.

RPC

Gli RPC sono utilizzati come camere veloci e sono posti sotto e sopra agli MDT della seconda stazione barrel e sotto gli MDT della terza stazione barrel, coprendo l'intervallo di pseudorapidità $|\eta| < 2.4$.

Gli RPC sono rivelatori a piatti piani resistivi. L'unità fondamentale è la gap di gas formata da due elettrodi piani di bakelite all'interno della quale è applicato un campo elettrico uniforme dell'ordine di 4.5 kV/mm . La miscela di gas utilizzata è composta da $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4(93.5\%)\text{-isoC}_4\text{H}_{10}(6\%)\text{-SF}_6(0.5\%)$. La misura delle coordinate spaziali è ottenuta misurando la tensione indotta per accoppiamento capacitivo su strisce metalliche poste su entrambe le superfici della gap di gas. Gli RPC lavorano in regime proporzionale con una risoluzione temporale di circa 2 ns e una risoluzione spaziale di circa 3 cm. Una descrizione più ampia di questo tipo di rivelatori è fornita nel prossimo capitolo.

TGC

I TGC sono utilizzati come rivelatori veloci posizionati in prossimità delle superfici della seconda stazione di MDT delle regioni end-cap, coprendo l'intervallo di pseudorapidità $1 < |\eta| < 2$. I TGC sono rivelatori proporzionali a multifilo nei quali la distanza tra i fili anodici è maggiore della distanza tra anodo e catodo (diversamente dai CSC). La distanza catodo-catodo è di 2.8 cm e determina lo spessore della camera. Il catodo è realizzato con un piano di grafite ed il diametro del filo anodico è di $50 \mu\text{m}$. Il segnale misurato è fornito dall'accoppiamento capacitivo delle strips o pad di lettura disposte dietro al catodo. I TGC lavorano in regime di valanga saturata

con una risoluzione temporale di circa 5 ns ed una risoluzione spaziale di circa 1 cm. La miscela di gas utilizzata è composta al 55% da CO_2 ed al 45% da $n - C_5H_{12}$. Tale miscela è particolarmente infiammabile ed impone particolari misure di sicurezza.

La tabella 1.6 riassume il numero di camere, l'area coperta e il numero di canali di lettura per ogni tipo di rivelatore adottato.

	<i>MDT</i>	<i>CSC</i>	<i>RPC</i>	<i>TGC</i>
Numero di camere	576	32	1194	192
Numero di canali di lettura	370000	67000	355000	440000
Area coperta (m^2)	5500	27	3650	2900

Tabella 1.6: Alcuni parametri dello spettrometro muonico.

1.5.4 Sistema di acquisizione dati

L'elevata luminosità di LHC e l'elevato numero di canali di ATLAS impongono una mole di dati da processare di circa 40 TB/s. Assumendo che il sistema di acquisizione possa salvare permanentemente dati ad una velocità di circa 100 MB/s è necessario un sistema di filtro degli eventi che riduca i dati di un fattore $4 \cdot 10^6$, rigettando gli eventi non interessanti. Il sistema di filtro agisce in tempo reale ed è suddiviso in tre stadi denominati trigger di primo, secondo e terzo livello. In Fig. 1.11 è riportato l'intero schema di acquisizione dati di ATLAS.

1.5.5 Il sistema di trigger

Il trigger di primo livello utilizza i dati provenienti dalle camere di trigger dello spettrometro muonico e dal sistema calorimetrico. Ogni qualvolta, nei dati associati alla stessa collisione, è presente uno o più oggetti ad alto impulso trasverso (muoni, elettroni, jet adronici o energia mancante), il trigger di primo livello trasferisce i dati dai rivelatori in appositi spazi di memoria (*Readout Drivers* RODs). I dati, prima di passare dalle RODs, vengono ordinati relativamente al numero di bunch-crossing. Il tempo di attesa della decisione è fissato a $2 \mu s$ (tempo di latenza del trigger di primo livello).

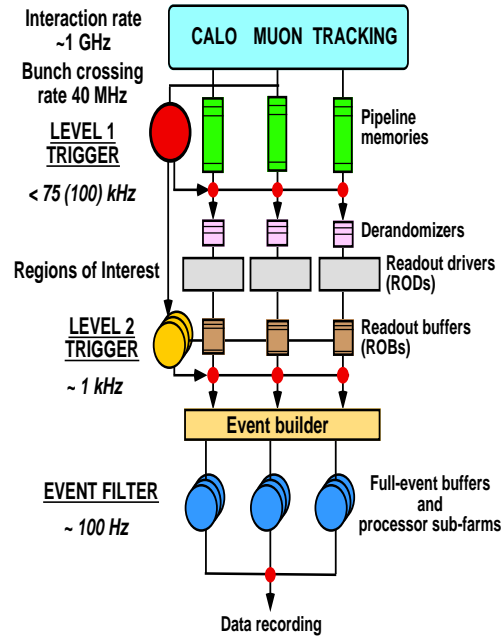


Figura 1.11: *Schema del sistema di trigger a tre livelli di ATLAS.*

Il trigger di secondo livello utilizza i dati provenienti da tutti i rivelatori ma analizza solo i dati delle porzioni utili (*Regions of Interest* RoIs) individuate dal trigger di primo livello, riducendo così i tempi di analisi. A questo stadio la natura dell'oggetto selezionato viene identificata (e , μ , τ , etc.) e le sue quantità fisiche misurate (carica, massa, impulso, etc.). Durante il tempo di latenza del trigger di secondo livello tutti i dati dell'evento processato vengono trasferiti in memorie di uscita (*Readout Buffer* ROBs). Gli eventi selezionati dal trigger di secondo livello sono ancora dispersi sui ROBs dei singoli rivelatori. Compito dell'*Event Builder* è ricomporli nei processori costituenti il trigger di terzo livello. L'ultimo stadio di trigger ricostruisce completamente l'evento, similmente ad un'analisi off-line. Gli eventi che superano i tagli fisici imposti, circa 100 eventi al secondo ed ognuno di circa 1 MB, sono salvati permanente su unità di immagazzinamento dati.

Capitolo 2

I Rivelatori a Piatti piani Resistivi

2.1 Origine e struttura del rivelatore

Gli studi effettuati nei primi anni ottanta da R. Santonico e R. Cardarelli [11][12], in merito a rivelatori di particelle a gas con campo elettrico uniforme, hanno portato alla realizzazione degli odierni rivelatori RPC (Resistive Plate Chamber).

Gli RPC possono essere considerati un'evoluzione dei rivelatori PPAC (Parallel Plate Avalanche Chamber)[13]. Entrambi prevedono come mezzo attivo di rivelazione una miscela di gas interposta tra elettrodi piani. Gli RPC sono costituiti da elettrodi ad alta resistività (bakelite $\rho = 10^{10} \div 10^{11} \Omega cm$) in luogo degli originari elettrodi metallici usati dai PPAC. Questa modifica strutturale permette di ridurre il tempo di ricarica degli elettrodi dopo l'avvenuta scarica, aumentando così il tasso dei conteggi permesso rispetto a rivelatori con piatti conduttivi. L'elevata capacità di conteggio e la risoluzione spazio-temporale ottenibile, dell'ordine di $1cm \times 1nsec$, unite ad un costo di produzione relativamente basso, rendono gli RPC idonei alla realizzazione di sistemi di trigger di notevoli dimensioni, quali quelli richiesti negli esperimenti ad LHC. L'unità di base di un RPC è costituita da due piatti piani resistivi (*elettrodi*) che delimitano il volume occupato dalla miscela gas (*gap*) e da due pannelli metallici per la lettura del segnale (*pannelli di Strip*). In Fig. 2.1 è riportata una sezione non in scala di un RPC.

Un reticolo di distanziatori di policarbonato, posto all'interno della gap,

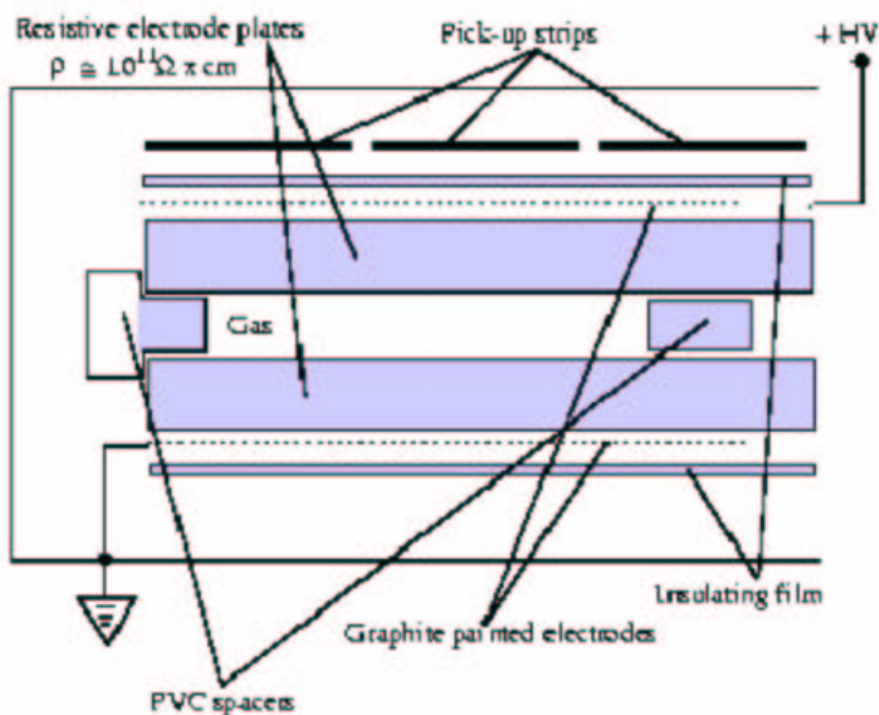


Figura 2.1: Sezione schematica di un RPC.

evita la formazione di sagitte e deformazioni della struttura del volume di gas che renderebbero il campo elettrico non uniforme. Per garantire un'uniforme distribuzione della carica, i piani di bakelite sono ricoperti, sulla faccia esterna alla gap, da un sottile strato di vernice grafitata che fissa la resistività superficiale ρ_s a $\cong 200 \div 300 K\Omega/\square^1$. La chiusura laterale del volume è garantita da una cornice di policarbonato perfettamente integrata con i condotti di flusso del gas. Per ridurre eventuali imperfezioni delle superfici interne della gap, che provocherebbero irregolarità locali del campo elettrico, l'intero volume è riempito di olio di lino, misto ad un solvente. L'olio viene poi fatto defluire ed il volume di gas è asciugato con flussaggio

¹La resistività superficiale si misura in Ω ma è prassi indicarla in Ω/\square . Ciò allo scopo di sottolineare il fatto che la resistenza superficiale misurata su un quadrato con due elettrodi posti ai lati è indipendente dalla dimensione del lato del quadrato di misura.

di aria secca che favorisce l'evaporazione del solvente. Questa operazione produce la polimerizzazione di un sottile strato di olio di lino $\cong 40\mu m$ sulle superfici degli elettrodi, regolarizzando le rugosità. L'intera struttura così realizzata è isolata mediante la deposizione di una pellicola di PET (Polietilene Tereftalato). Recentemente per limitare le fughe di corrente notate in prossimità delle cornici, è stato adottato un ulteriore rivestimento dei bordi dei volumi.

La lettura del segnale è effettuata mediante strisce (*strips*) di rame, affacciate sui piani esterni alla gap fatte in modo tale che il segnale si propaghi in due direzioni opposte con una minima perdita d'informazione. Le strips presentano un'estremità connessa all'elettronica di front-end e l'altra terminata verso massa da una resistenza, pari alla propria impedenza caratteristica, per evitare riflessioni del segnale. I piani di lettura vengono realizzati mediante l'incollaggio di una lamina di rame di $40\mu m$ su di una pellicola di PET di $190\mu m$ e su un supporto di poliestirene estruso di 2 mm. Sull'altra faccia del polistirene viene posto un altro strato di PET ed una lamina di rame. (Fig. 2.2)

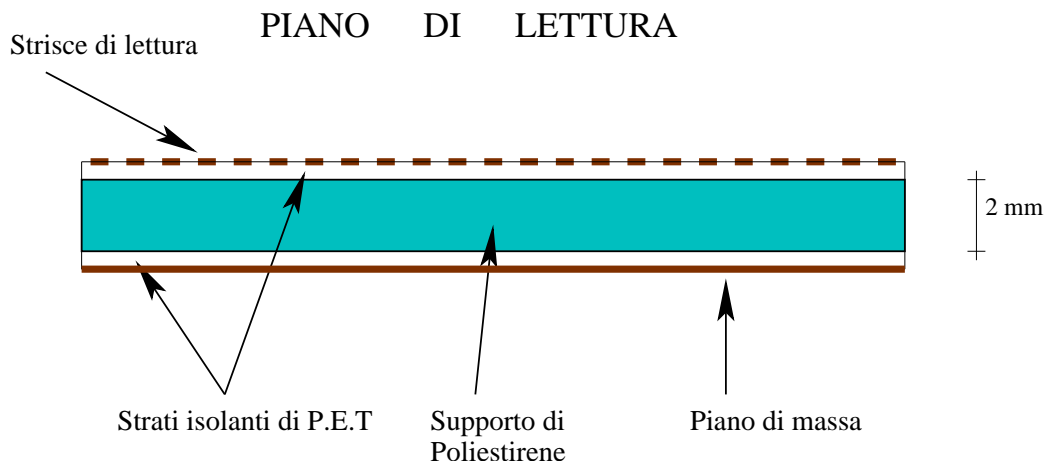


Figura 2.2: Sezione di un piano di lettura.

Le strips, separate da una distanza di 2 mm, sono larghe 3 cm. Un filo conduttore collegato a massa è interposto per limitare il cross-talk. Le strip sono raggruppate a 8 a 8 e ciascun gruppo è letto da una scheda integrata, che contiene l'elettronica necessaria per integrare e discriminare il segnale.

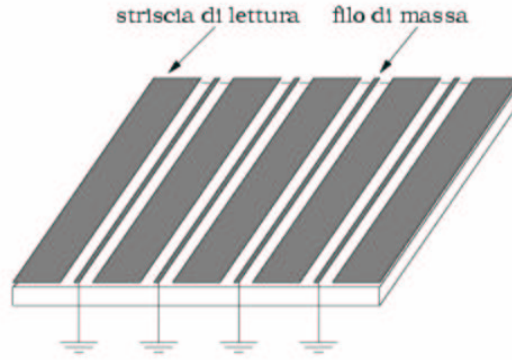


Figura 2.3: Vista di un piano di strips.

2.2 Generazione e sviluppo del segnale

Discutiamo nel seguente paragrafo come il segnale è generato in un RPC a seguito del passaggio di una particella ionizzante.

2.2.1 Generazione del segnale

Il passaggio di una particella, attraverso la materia, provoca una deflessione della stessa, a causa dello scattering colombiano, ed una perdita di energia, dovuta alle interazioni anelastiche della particella con gli elettroni atomici. Questo secondo effetto (*Ionizzazione primaria*) è particolarmente rilevante perchè su esso si basa la tecnica di rivelazione delle particelle. È questo un processo di natura statistica, la cui energia media ceduta per unità di cammino è descritta dalla formula di Bethe-Bloch [10].

$$-\frac{dE}{dx} = kz^2 \frac{Z}{A\beta^2} \left[\ln \frac{2\gamma^2 \beta^2 m_e c^2}{I} - \eta \right] \quad (2.1)$$

dove $k = 4\pi N_a r_e^2 m_e c^2$, η è un parametro di densità, N_a il numero di Avogadro. L'andamento tipico della curva di Bethe-Bloch (Fig. 2.4) presenta un minimo detto "minimo di ionizzazione". I muoni di alta energia sono oltre tale minimo, nella regione in cui la ionizzazione primaria dipende logicamente dall'energia della particella.

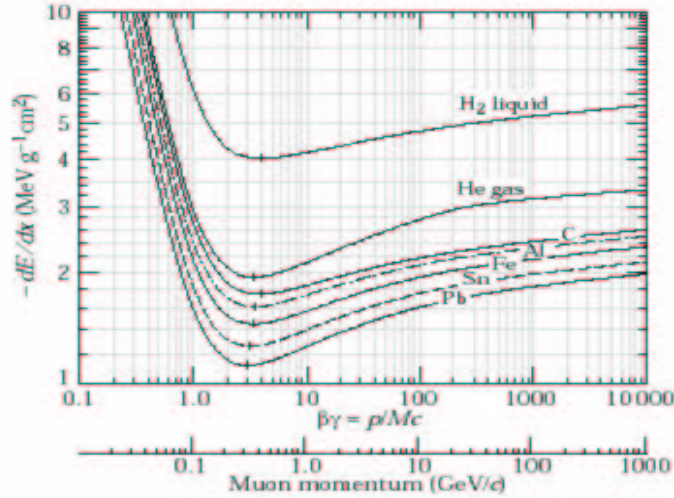


Figura 2.4: *Curva di Bethe-Bloch.*

In una generica collisione ionizzante $X + q \rightarrow X^+ + q + e^-$ la probabilità P che un elettrone venga emesso con energia E , in funzione della densità ρ del gas e della profondità di penetrazione è data da:

$$P(E) = K \frac{Z \rho x}{A \beta^2 E^2} \quad (2.2)$$

dove $K = 4\pi N_a z^2 e^4 / mc^2$. L'energia massima ceduta W_{Max} si ha ovviamente per una collisione frontale. È consuetudine esprimere la probabilità $P(E)$ in funzione della lunghezza di penetrazione ridotta o densità di massa $\epsilon = \rho x$

$$P(E)dE = \frac{K Z^2 \epsilon}{A \beta^2 E^2} dE = W \frac{dE}{E^2} \quad (2.3)$$

dove $\frac{K Z^2 \epsilon}{A \beta^2} = W$.

Detta E_0 l'energia minima (*di soglia*), che un elettrone prodotto per ionizzazione deve possedere affinché possa generare nuova ionizzazione (*Ionizzazione secondaria*), il numero medio di elettroni emessi con energia superiore all'energia di soglia sarà quindi:

$$N(E \geq E_0) = \int_{E_0}^{W_{max}} P(E)dE = W \left(\frac{1}{E_0} - \frac{1}{W_{max}} \right) \cong \frac{W}{E_0} \quad (2.4)$$

Il numero di ionizzazioni primarie all'interno di un dato materiale di specificato spessore, è distribuito secondo una statistica di Poisson, che risulta essere completamente determinata se specifichiamo il cammino medio di ionizzazione della particella λ . Si ottiene, per una particella al minimo di ionizzazione, un numero di coppie elettrone-ione, per unità di lunghezza pari a:

$$n_p = 1/\lambda \quad (2.5)$$

Il cammino medio di ionizzazione per la miscela di gas tipica utilizzata ad ATLAS risulta essere $\lambda = 130\mu m$, di conseguenza il numero di coppie primarie $e^- - ione^+$ sarà $n_p \cong 15$. Se un elettrone, generato dalla ionizzazione primaria, ha energia maggiore dell'energia di soglia di ionizzazione del gas, può produrre esso stesso ionizzazione detta ionizzazione secondaria. L'insieme della ionizzazione principale e secondaria costituiscono la ionizzazione totale e l'insieme di elettroni che si sviluppano a partire da un elettrone prodotto da ionizzazione primaria è detto cluster.

2.2.2 Sviluppo del segnale proporzionale a valanga

Il numero complessivo di elettroni generato nei processi di ionizzazione è comunque modesto, inoltre l'agitazione termica e gli effetti di ricombinazione tendono ad annullarlo rapidamente. L'applicazione di un campo elettrico alle estremità del volume di gas somma al moto di agitazione termica un moto di deriva. Se il campo è sufficientemente intenso, gli elettroni raggiungono rapidamente un'energia superiore alla soglia di ionizzazione, divenendo a loro volta in grado di generare coppie $e^- - ione^+$ e dando così luogo ad una valanga, la cui crescita è in prima approssimazione esponenziale. Detto n il numero di elettroni che derivano lungo una linea di campo, e detto $\alpha = 1/\lambda$ il numero di elettroni secondari prodotti per unità di cammino (primo coefficiente di *Townsend* [14]) allora la loro crescita è descritta da:

$$dn = n\alpha dx \quad (2.6)$$

Se si indica con Δx lo spazio a disposizione degli elettroni iniziali n_0 , al termine dello sviluppo della valanga si ottiene un numero di elettroni pari a:

$$n = n_0 e^{\alpha \Delta x} \quad (2.7)$$

Le ricombinazioni $e^- - ione^+$ ed eventuali effetti di cattura elettronica da parte di gas elettronegativi riducono lo sviluppo della valanga ed il coefficiente α deve essere sostituito da un coefficiente di ionizzazione efficace $\eta(x)$. Il guadagno effettivo M è quindi dato dal rapporto tra la carica finale, frutto della moltiplicazione a valanga, e la carica iniziale prodotta dal passaggio della particella.

$$M = \frac{n(x)}{n_0} = \exp \left(\int_{x_0}^x \eta(x') \right) \quad (2.8)$$

In Fig. 2.5 è riportato schematicamente lo sviluppo di un segnale all'interno di un RPC.

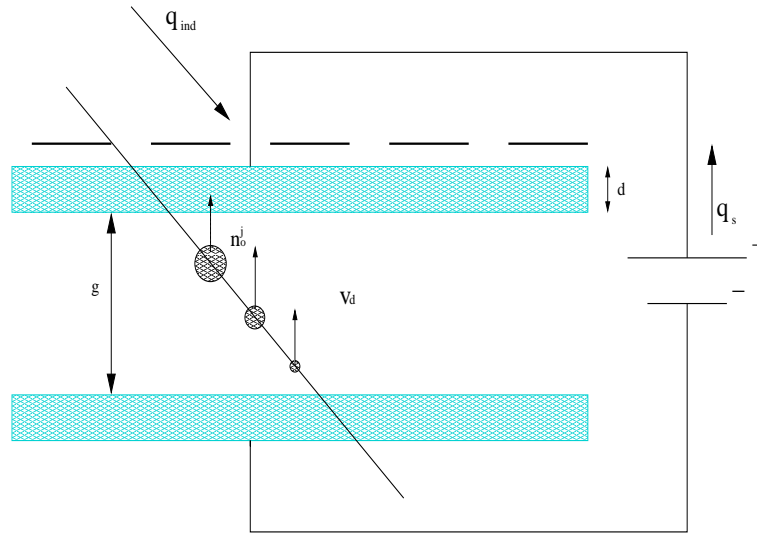


Figura 2.5: *Generazione e sviluppo di un segnale in un RPC*

2.2.3 Generazione di streamer

Sperimentalmente si è osservato [14] che se il guadagno netto di carica è superiore ad $\alpha g \cong 20$ (condizione di Meek), dove g è la dimensione della gap, si ha la generazione di streamer, definibile come una transizione di stato da gas a plasma.

Un'efficace interpretazione dello streamer è dovuta a Raether [14]. Nei comuni RPC, ad un guadagno $\alpha g \cong 20$, corrisponde la generazione di un numero di elettroni pari a $N \cong 10^7$. La maggiore mobilità degli elettroni rispetto agli ioni, fa sì che la carica all'interno della gap si disponga a forma di goccia Fig. 2.6 .

Possiamo stimare il campo generato dalla carica presente nella testa della valanga attraverso un semplice modello. Per un raggio della testa della valanga di $100\mu m$ tale campo è:

$$E_s = \frac{N_e}{4\pi\epsilon_0 R^2} = \frac{10^7 \cdot 1.6 \times 10^{-19} C}{\pi \cdot 8.85 \times 10^{-12} Fm^{-1} \cdot 10^{-8} m^2} = 1.4 \times 10^4 V/cm \quad (2.9)$$

Questo campo di carica spaziale è quindi confrontabile con i valori medi di campo presenti negli RPC.

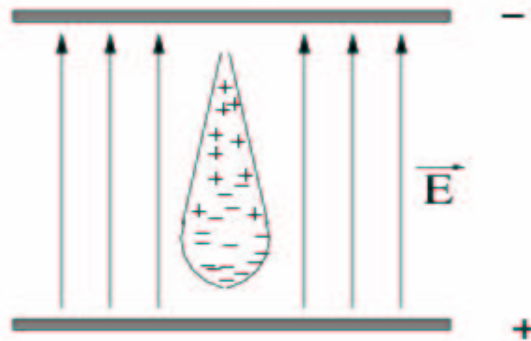


Figura 2.6: *Forma assunta dalla valanga in un RPC a causa della maggiore mobilità degli elettroni.*

Di conseguenza il campo effettivo risulterà distorto, molto più intenso alle estremità della valanga che al centro. Questa condizione dovrebbe portare

ad un'ulteriore deformazione della valanga che dovrebbe diventare più larga ed allungata, rallentandone lo sviluppo fino a raggiungere una condizione di equilibrio, denominata *valanga saturata*.

In realtà la ricombinazione di elettroni di alta energia con ioni ed una loro successiva diseccitazione, produce fotoni ultravioletti che possono generare nuove valanghe satelliti ai bordi della valanga principale, come mostrato in Fig. 2.7.

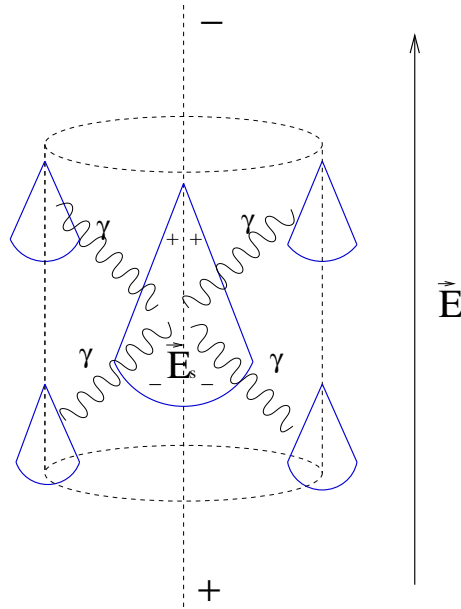


Figura 2.7: *Schema pittorico della generazione di uno streamer.*

Nello stato stazionario il numero di ioni che arriva al catodo in un secondo deve essere uguale al numero di elettroni che arrivano sull'anodo. La corrente circolante allora sarà:

$$I = I_0 \cdot e^{\alpha g} \quad (2.10)$$

dove I_0 è l'iniziale corrente generata dal passaggio delle particelle ionizzanti in prossimità del catodo. Nei processi di breakdown nei gas, accanto al processo di ionizzazione principale, è presente anche un processo

secondario. Tale processo consiste nell'estrazione di elettroni dal catodo dovuta ai fotoni ultravioletti emessi dalla valanga principale e non catturati dal gas di *quencher* (*iso* - C_4H_{10}). Questa produzione di elettroni può superare la produzione primaria per per ionizzazione.

Il processo di moltiplicazione secondaria può così essere riassunto:

- γ = numero medio di elettroni secondari estratti dal catodo per ogni elettrone secondario che arriva all'anodo [Secondo coefficiente di Townsend].
- n_0 = numero di elettroni generati per ionizzazione principale in prossimità del catodo.
- n'_0 = numero di elettroni emessi per effetto fotoelettrico dal catodo
- n''_0 = numero totale di elettroni prodotti in prossimità del catodo

allora

$$n''_0 = n_0 + n'_0 \quad (2.11)$$

in media ogni elettrone allontanandosi dal catodo per effetto del campo elettrico produce $[e^{\alpha g} - 1]$ elettroni poichè il numero di elettroni prodotti nella gap è $n''_0(e^{\alpha g} - 1)$, quindi per definizione

$$\gamma = \frac{n'_0}{n''_0(e^{\alpha g} - 1)} \quad (2.12)$$

ottenendo

$$n'_0 = \gamma n''_0(e^{\alpha g} - 1) \quad (2.13)$$

poichè abbiamo definito $n''_0 = n_0 + n'_0$ si ricava $n''_0 = n_0 + n''_0\gamma(e^{\alpha g} - 1)$, allora il numero di elettroni che si allontanano istantaneamente dal catodo sono:

$$n''_0 = \frac{n_0}{1 - \gamma(e^{\alpha g} - 1)} \quad (2.14)$$

La moltiplicazione effettuata dal campo produrrà un numero finale di elettroni n_f pari a:

$$n_f = n_0'' e^{\alpha g} = \frac{n_0 e^{\alpha g}}{1 - \gamma(e^{\alpha g} - 1)} \quad (2.15)$$

quindi nello stato stazionario la corrente I che circola nel circuito sarà data da :

$$I = \frac{I_0 e^{\alpha g}}{1 - \gamma(e^{\alpha g} - 1)} \quad (2.16)$$

Quest'equazione descrive l'incremento della corrente all'interno della gap, all'aumentare della tensione applicata agli elettrodi aumenterà $e^{\alpha g}$ quindi $\gamma(e^{\alpha g} - 1) \rightarrow 1$ e la corrente $I \rightarrow \infty$.

Questa condizione è nota come criterio di Townsend per il breakdown e può essere scritta come:

$$\gamma(e^{\alpha g} - 1) = 1 \quad (2.17)$$

2.3 Controllo e limitazione dello streamer

Pur producendo segnali d'intensità superiore agli RPC operanti in regime di valanga proporzionale, 100 mV rispetto a 2-3 mV, gli RPC in regime di streamer a causa della maggiore carica prodotta, presentano tempi morti superiori. Di conseguenza, non possono essere efficienti in presenza di elevati flussi di particelle, poichè l'area interessata dalla scarica ha tempi più lunghi di ricarica. La scelta obbligata di utilizzare gli RPC in regime di valanga proporzionale impone l'uso di elettrodi a bassa resistività e l'introduzione di un'adeguata elettronica di amplificazione per l'utilizzo del segnale generato. Rimane comunque una probabilità residua che si sviluppino scariche a streamer.

Sulla base di precedenti test [15] si è dimostrata la possibilità di ridurre sensibilmente lo sviluppo della carica prodotta in un RPC mediante l'utilizzo di gas fortemente elettronegativi. Partendo dall'originaria miscela proposta per gli RPC di ATLAS ($C_2H_2F_4/iso - C_4H_{10}$) sono state introdotte limitate

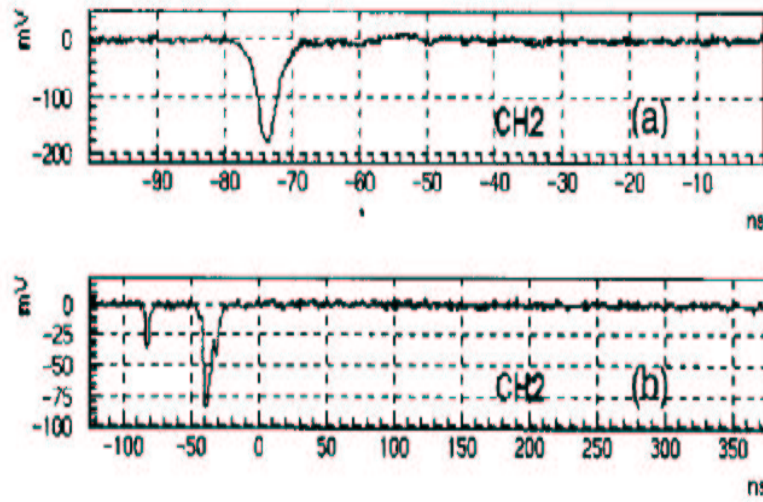


Figura 2.8: (a) Carica prodotta da una valanga (segnale esternamente amplificato di un fattore 25). (b) Carica prodotta da una valanga e seguente streamer (segnale non amplificato esternamente).

quantità di SF_6 al fine di limitare lo sviluppo della valanga e prevenire la transizione valanga-streamer. Sono state testate le miscele ternarie con percentuali di SF_6 pari a 1%, 2% e 5% per un intervallo di tensione compreso tra -0.8kV e +1.3kV relativamente al ginocchio dei plateau di efficienza. Tutti i risultati sono riportati in Tab. 2.1 .

Concentrazione di SF_6	$V(50\%)$	$V(95\%)$	$V(98\%)$	$V_{streamer}$
0%	8300	8700	8800	9000
1%	8700	9200	9400	10300
2%	8950	9400	9600	10600
5%	9600	10000	10300	11200

Tabella 2.1: Valore della tensione in corrispondenza ai valori di efficienza del 50%, 95%, 98% e tensione di soglia per la generazione di streamer per concentrazioni di SF_6 pari a 0%, 1%, 2%, e 5% [16].

Risulta sufficiente l'introduzione di piccole quantità di SF_6 per elevare notevolmente la soglia di produzione di streamer. Il meccanismo attraverso il quale tale gas si rende così efficiente nel limitare lo sviluppo della carica è collegato al valore della sua affinità elettronica (1.06 ± 0.06 eV) [17]. Comunque questo parametro da solo non è sufficiente a spiegare l'intero meccanismo. I dati suggeriscono che alle basse concentrazioni usate, l'effetto di cattura elettronica (*attachment*) è debole nel primo stadio della valanga ed ha il solo effetto di spostare la tensione di lavoro di poche centinaia di volt, mentre è molto più forte quando la valanga entra in saturazione. Ciò si spiega assumendo che la sezione d'urto di attachment è una funzione fortemente decrescente del campo elettrico. Accade quindi che, quando la valanga si sviluppa, l'effetto di soppressione dello streamer aumenta notevolmente per effetto della diminuzione di campo all'interno della stessa valanga, come descritto in §2.2.3. In Fig. 2.9 è riportato l'andamento del primo coefficiente di Townsend e del coefficiente di attachment in funzione del campo elettrico applicato per la miscela di gas indicata.

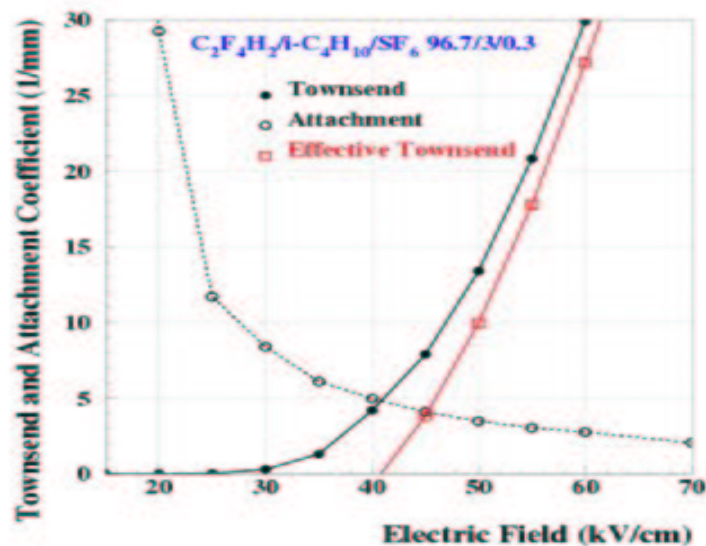


Figura 2.9: Andamento del coefficiente di Townsend, di attachment e di Townsend effettivo per la miscela degli RPC di ATLAS. Le curve sono ottenute con il programma di simulazione *IMONTE* [18].

2.4 Raccolta e propagazione del segnale

Noto il numero di elettroni $N(t)$ che nel tempo attraversano la gap, è possibile ricavare la corrente circolante nel rivelatore mediante la seguente formula:

$$I_{gap}(t) = e \frac{N(t)}{g} v_d \quad (2.18)$$

dove v_d è la velocità di deriva degli elettroni. La valanga generata induce una carica q_e sulle strips pari a:

$$q_e = \frac{k}{\eta g} \sum_j Q_j M \exp[\eta(g - x_j)] - 1 \quad (2.19)$$

dove l'indice j corre su tutti i cluster di elettroni generati dal passaggio della particella. Il segnale verrà rilevato solo se $q_e > q_{thr}$ dove q_{thr} è la soglia in carica dell'elettronica. Un cluster di elettroni è quindi rilevato solo nel caso in cui è generato alla distanza dal catodo:

$$x_j < x_{thr} = g - \frac{1}{\eta} \left(\frac{q_{thr}}{A} + 1 \right) \quad (2.20)$$

dove

$$A = \frac{kQ_j M}{\eta g} \quad (2.21)$$

Se un cluster venisse generato ad una distanza $x_j > x_{thr}$ dal catodo, allora non si svilupperebbe a sufficienza per poter essere rivelato. Un attento studio dei tempi delle modalità di risposta delle strips al segnale indotto, dovrebbe includere il computo di tutte le resistenze e capacità presenti all'interno del circuito relativo ad una cella di rivelazione interessata dalla scarica. Assumendo però che il tempo di generazione del segnale sia molto più piccolo di qualunque costante di tempo del sistema, il circuito può essere ridotto a quello mostrato in Fig. 2.10

In tale circuito equivalente, C_g è la capacità della gap, C_b è la capacità della porzione S dei piatti di bakelite e $R_0/2$ la resistenza di carico. Indicando



Figura 2.10: *Circuito equivalente visto dalla strip di lettura durante la lettura della carica.*

con g lo spessore della gap, s lo spessore della bakelite, con ρ la sua resistività e con ϵ_r la sua costante dielettrica relativa, si ha:

$$C_g = \frac{\epsilon_0 S}{g} \quad C_b = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{s} \quad (2.22)$$

Applicando al capo Y una tensione impulsata $\delta(t)$, si ottiene una corrente in uscita dalle strips [19],[20] pari a:

$$i(T) = kQ(x) \frac{v_d}{g} \quad (2.23)$$

dove k è un parametro legato alla geometria della cella.

Dall'espressione per $I_{gap}(t)$ 2.18 si ricava :

$$i(T) = kI_{gap}(t) \quad (2.24)$$

per un comune RPC con $g = s = 2mm$ ed $\epsilon_r = 5$ si ottiene un valore per k pari a $k = 0.07$ [20], quindi mediamente solo il 70% del segnale generato nel volume di gas sarà raccolto dalle strips di lettura.

Date le dimensioni previste per gli RPC di ATLAS la lunghezza delle strips varierà da $\sim 1m$ a $\sim 5m$, dovranno quindi essere considerate come vere e proprie linee di trasmissione e dovranno presentare un comportamento puramente resistivo per ridurre al minimo la deformazione del segnale. Inoltre, per evitare riflessioni di segnale, le estremità non connesse all'elettronica di front-end dovranno essere terminate su un'impedenza pari al carico dell'elettronica di front-end (mediamente 50Ω). La disposizione delle strisce di lettura fa sì che strips adiacenti si comportino come un filtro passa alto a causa dell'accoppiamento capacitivo. In un tale sistema le componenti ad alta frequenza, che compongono i brevi segnali generati dalle valanghe ($\sim 2 \div 3$ ns) possono indurre segnale sulle strip vicine a quella di raccolta (cross-talk). Per limitare la portata di tale fenomeno, tra due strips adiacenti è stato posizionato un filo conduttore collegato a massa il quale tende a catturare le linee di campo che si generano tra due strips contigue.

2.5 Capacità di conteggio di un RPC

L'uso di piatti resistivi, come già detto, fa sì che la zona interessata dalla scarica è limitata ad una piccola porzione del rivelatore che può quindi essere immaginato come un insieme di rivelatori indipendenti. Il modello elettrico di una di queste cellette è raffigurato in Fig. 2.11, dove C ed R sono la capacità e la resistenza degli elettrodi costituenti la celletta, C_g ed R_g la capacità e la resistenza della parte di gap ricadente nella celletta.

In assenza di ionizzazione la resistenza R_g è praticamente infinita e la differenza di potenziale HV si trasferisce ai capi di C_g . La corrente I_g rappresenta la corrente di gap dovuta al passaggio di una particella ionizzante, in tal caso il condensatore C_g si scarica, trasferendo l'alta tensione ai capi di C . Dalla risoluzione del circuito di Fig. 2.11.b si ricava il tempo caratteristico:

$$\tau \cong R(C + C_g) = 2\rho_v \frac{s}{S} \left(\frac{\epsilon_s S}{s} + \frac{\epsilon_{gas} S}{g} \right) \quad (2.25)$$

dove g è la dimensione della gap, s lo spessore degli elettrodi e S l'area interessata dalla scarica.

Per $\epsilon_b \cong 5\epsilon_0$, $\epsilon_{gas} \cong \epsilon_0$ e $s = g = 2$ mm si stima:

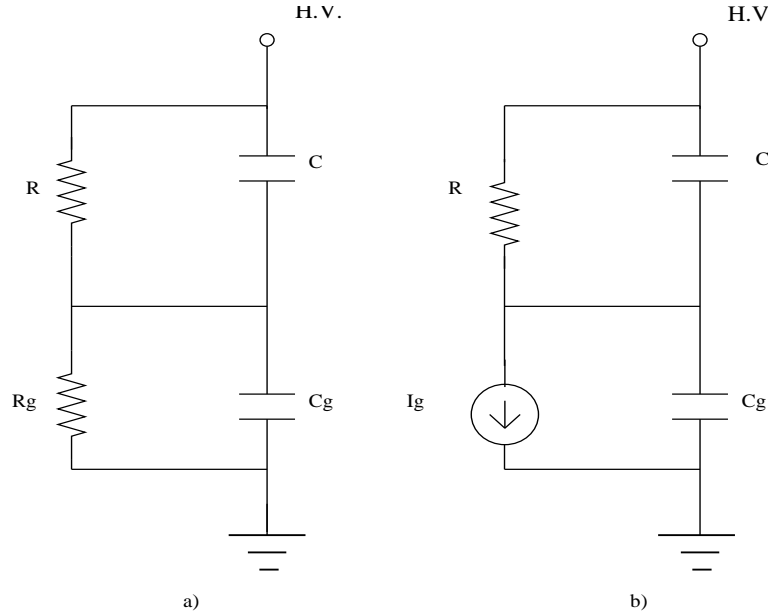


Figura 2.11: *Schema elettrico equivalente relativo ad una singola cella di rivelazione.*

$$\tau = 12\rho_v\epsilon_0 \quad (2.26)$$

Questo parametro τ non dipende da S e sostituendo $\rho_v = 10^{11} \div 10^{12} \Omega cm$ ed $\epsilon_0 = 8.86 \times 10^{-12} F/m$ risulta in un range $\tau \sim 10 msec \div 1 sec$. Per gli RPC operanti in regime di valanga saturata, la carica prodotta dal passaggio di una particella ($\sim 2 pC$) abbassa la tensione sugli elettrodi di poche decine di Volt, lasciando comunque il sistema efficiente. Un eventuale inefficienza è provocata dal contemporaneo passaggio di più particelle in grado di abbassare il potenziale sugli elettrodi di diverse centinaia di Volt. Detto τ_r l'effettivo tempo di ricarica del sistema, il rate di conteggio di una singola cella sarà:

$$f_{\tau_r} = \frac{1}{\tau_r} \quad (2.27)$$

La superficie S che definisce la cella è comunque superiore alla superficie S_0 realmente interessata dalla scarica. È infatti possibile definire [21] una

lunghezza caratteristica x_0 , dipendente dal rapporto tra resistività di volume e di superficie degli elettrodi, che definisce la dimensione media della singola cella. La superficie S è legata a x_0 mediante la seguente formula:

$$S = kx_0^2 = a \left(1 + \frac{\rho_v}{\rho_s d} \right) d^2 \quad (2.28)$$

dove d è lo spessore degli elettrodi ed a un fattore di proporzionalità compreso tra 1 e 2.

Per gli RPC di ATLAS $\rho_v \cong 2 \cdot 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$, $\rho_s \cong 10^{10} \Omega/\square$, si ottiene:

$$S = a \left(1 + \frac{2 \cdot 10^{10}}{10^{10} \cdot 0.2} \right) (0.2)^2 \cong 0.5 \text{cm}^2 \quad (2.29)$$

Il numero di celle in cui potrà essere suddiviso un RPC sarà pari al rapporto tra l'area totale A e l'area della singole cella S :

$$N = \frac{A}{S} = \frac{A}{a \left(1 + \frac{\rho_v}{\rho_s d} \right) d^2} \quad (2.30)$$

Il numero di conteggi per unità di superficie è di conseguenza stimabile in:

$$f_s = \frac{N}{A} = \frac{1}{S} \quad (2.31)$$

Riassumendo, il flusso massimo di particelle rilevabile (*rate capability*) da un RPC è dato da:

$$\Phi = f_\tau f_s = \frac{1}{\tau_r a \left(1 + \frac{\rho_v}{\rho_s d} \right) d^2} \quad (2.32)$$

Studi specifici sul rate capability [22] dimostrano che, in regime di valanga saturata, il flusso massimo tollerato dagli RPC con efficienza $> 95\%$ è 3KHz/cm^2 , 7KHz/cm^2 , e 10KHz/cm^2 per tensioni pari a 9.9KV , 10KV , e 10.3KV , come mostrato in Fig. 2.12.

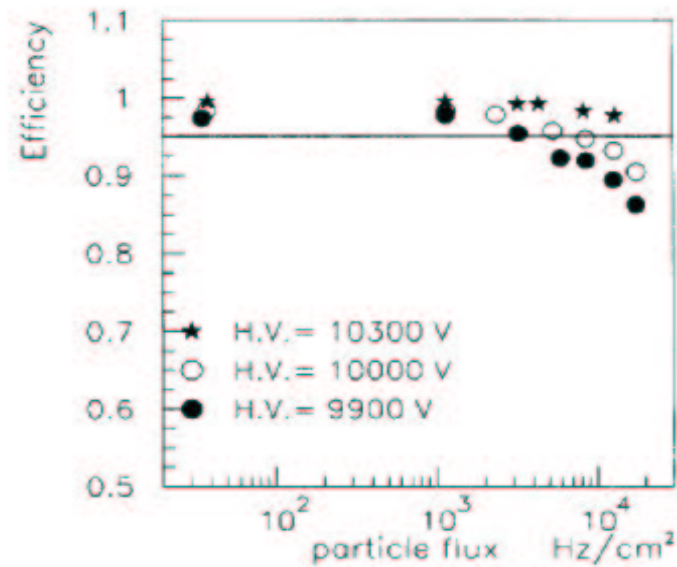


Figura 2.12: Efficienza di rivelatori RPC operanti in regime di valanga in funzione del flusso di particelle [22].

2.6 Gli RPC di ATLAS

Come detto nel §1.5.3, il compito di fornire all'esperimento ATLAS il segnale di trigger per i muoni nella regione del barrel è affidato agli RPC. Le camere sono costituite da quattro unità elementari (*gap*) disposte su due strati sovrapposti (*layer*). Ciascuna *gap* è dotata di strip di lettura lungo la coordinata ϕ ed η nel sistema di coordinate ATLAS. L'intero set di RPC può essere suddiviso in due famiglie, *standard*: camere rettangolari uniformi; *speciali*: camere di forma irregolare con eventuale presenza di fori, da posizionare nelle vicinanze di supporti o dei raggi di allineamento. La volontà di ottenere la massima ermeticità del sistema e la diversa posizione assunta all'interno dello spettrometro determina un'ulteriore suddivisione delle camere standard, contraddistinte dagli acronimi **BMS**, **BML**, **BOS**, **BOL**, dove **B** sta per barrel, **M** ed **O** indicano Middle o Outer ed **S** ed **L** Large o Small a seconda della dimensione. Tutte le diverse tipologie di RPC previste nello spettrometro di ATLAS sono state progettate presso il Laboratorio CAD dell'INFN di Lecce.

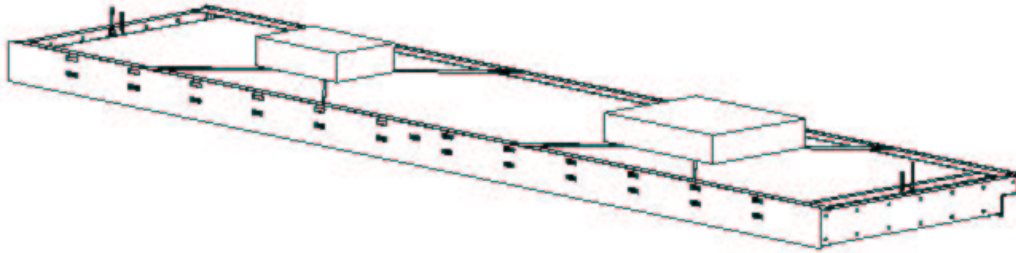


Figura 2.13: *Modulo RPC provvisto di trigger box.*

2.6.1 Test di accettazione

Al fine di garantirne un corretto funzionamento, i rivelatori, prima di essere inviati al CERN per il collocamento nell'apparato, sono sottoposti ad una serie di controlli di qualità [25].

- **Elettronica di Front-end (FE)**

La qualità delle connessioni del FE possono essere verificate usando il *pulse test facility* montato sulle schede di terminazione. Queste schede permettono di impulsare separatamente le strips pari e dispari inducendo opportuni segnali di test. L'analisi degli impulsi sul FE permette di verificare le corrette connessioni ed il livello di cross-talk tra strips adiacenti.

- **Volumi di gas**

La tenuta dei volumi di gas è testata applicando una sovrappressione di 10 mbar, se la pressione diminuisce meno di 1 mbar in 120 minuti l'unità è considerata idonea, altrimenti è disassemblata per cercare ed eliminare le perdite. Dopo la certificazione, il volume di gas è flussato con la corretta miscela di gas per 24 h per un ricambio totale di cinque volumi, prima di essere polarizzata con l'alta tensione (HV).

- **H.V. e rumore intrinseco**

Il test di H.V. prevede un rapido scan di tensione tra 8000 e 10000 Volt

a step di 200V ogni cinque minuti misurando la corrente che scorre all'interno della gap, è richiesta una corrente inferiore a $30 \mu A$, durante lo scan sono raccolte ed analizzate le risposte dei piani di strips, la camera è ritenuta idonea se il rumore intrinseco è inferiore ai $2 Hz/cm^2$.

- **Efficienza ed uniformità**

Il test ha lo scopo di certificare l'efficienza e l'uniformità delle camere le quali vengono suddivise in *pads* le cui dimensioni variano di tipologia in tipologia di camera. Verrà misurata l'efficienza e l'uniformità di ogni singola pad. L'intero rivelatore è definito efficiente se tutte le pads avranno un'efficienza superiore al 97% ed uniforme se il punto di lavoro al 50% dell'efficienza è raggiunto da tutte le pads in un intervallo di 200 Volt.

- **Interferenza**

Terminato lo studio dell'efficienza al fine di analizzare eventuali effetti d'interferenza tra elementi di gap sovrapposte, sono acquisiti due set da 10^5 eventi, alimentando alternativamente le varie gap.

Nelle figure seguenti sono riportati i progetti dei servizi degli RPC di ATLAS [26].

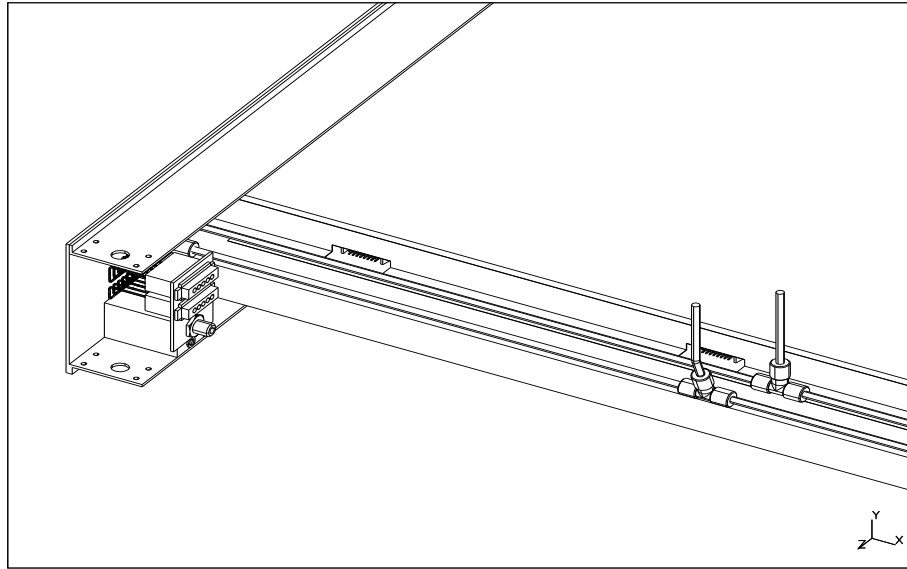


Figura 2.14: *Particolare dei servizi di connessione delle linee del gas di un RPC.*

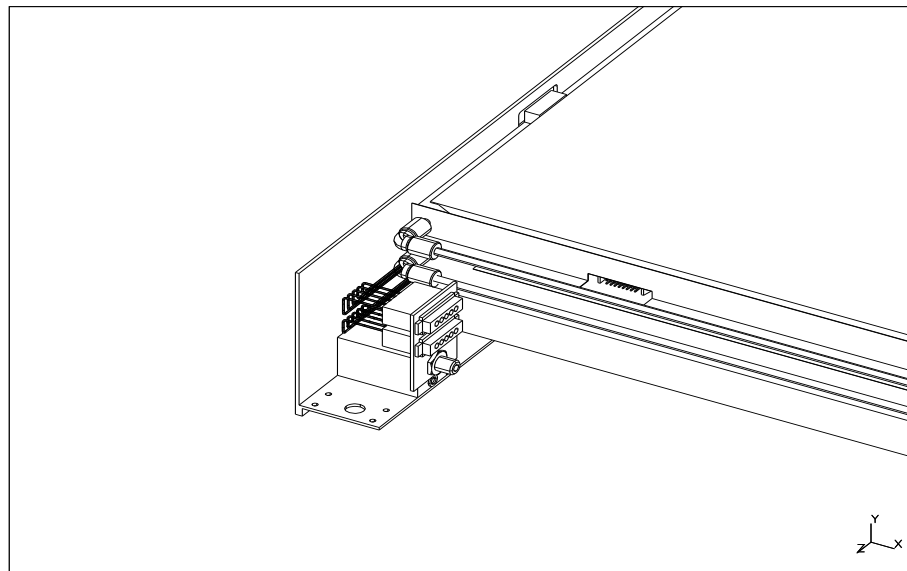


Figura 2.15: *Particolare dei servizi delle connessione elettriche di un RPC.*

Capitolo 3

La Stazione di Test per gli RPC di ATLAS

3.1 Struttura della stazione

La necessità di garantire per tutti gli RPC prodotti gli standard di qualità richiesti (§2.7.1), ha portato alla costruzione di tre *stazioni di test* con raggi cosmici. Le tre strutture, sono state realizzate presso le sedi delle sezioni dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare di Lecce, di Napoli [28] e di Roma 2. La stazione di test di Lecce è in grado di testare contemporaneamente due pacchi di quattro camere (quadrupletti) utilizzando i raggi cosmici. A tal scopo le camere sotto test sono disposte orizzontalmente tra due coppie di RPC in grado di selezionare raggi cosmici che attraversano la struttura (camere di trigger). In fig. 3.1 è possibile osservare la disposizione delle camere sottoposte a test e delle camere di trigger.

In questo lavoro mi sono occupato della progettazione, della realizzazione e della dimostrazione di buona funzionalità delle parti essenziali che compongono la stazione di Lecce. Le componenti principali della stazione di test sono le seguenti: il sistema del gas, il sistema di distribuzione delle tensioni, il sistema di acquisizione dei dati e l'insieme dei programmi necessari al suo funzionamento. I paragrafi seguenti si occuperanno della descrizione dettagliata delle componenti sopra elencate.

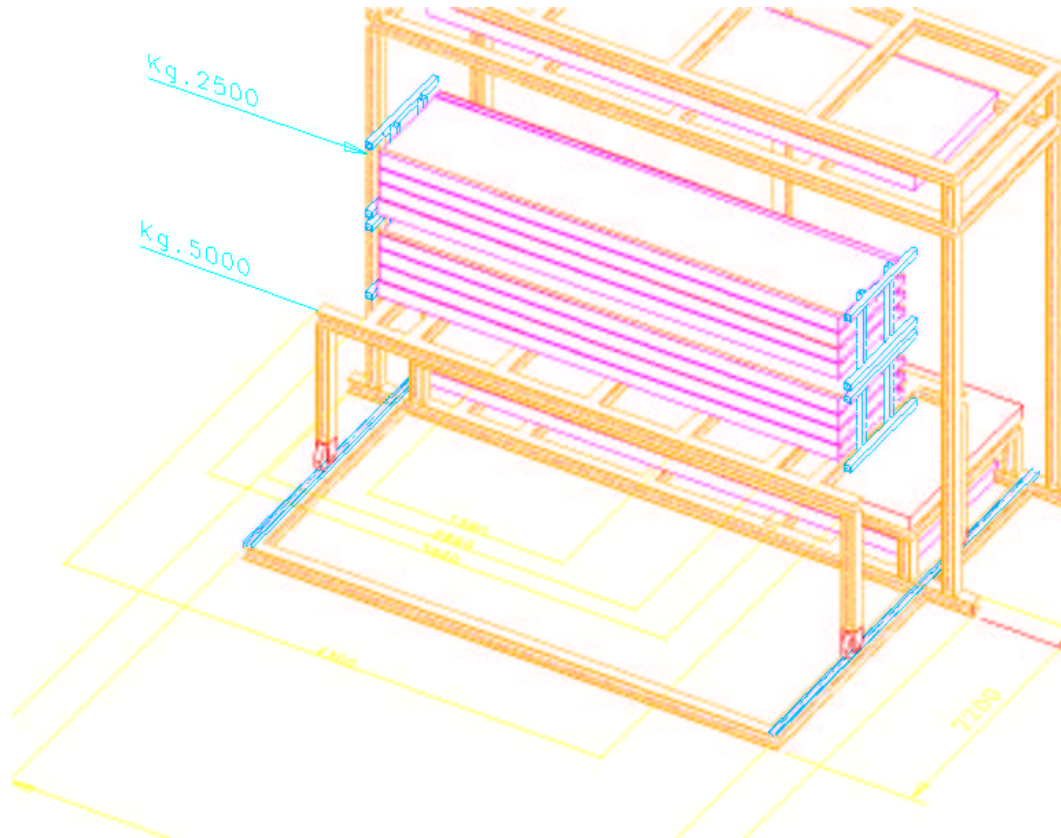


Figura 3.1: *Veduta generale della stazione di test.*

3.2 Il sistema del gas

In un RPC l'elemento attivo di rivelazione delle particelle è costituito dalla miscela di gas contenuta nelle gap. È perciò fondamentale che il sistema del gas fornisca una miscela di composizione costante con un flusso continuo ed omogeneo. Tale sistema, riportato in fig. 3.2, è costituito da una strumentazione di controllo della composizione della miscela di gas, da un sistema di distribuzione parallela, da valvole pneumatiche per la chiusura e l'apertura delle linee di distribuzione e da misuratori differenziali di pressione.

I tre serbatoi dei gas componenti la miscela, costituiti da bombole, sono collocati all'esterno del laboratorio per motivi di sicurezza. Tre condotti separati collegano i serbatoi a tre flussimetri di massa indipendenti che

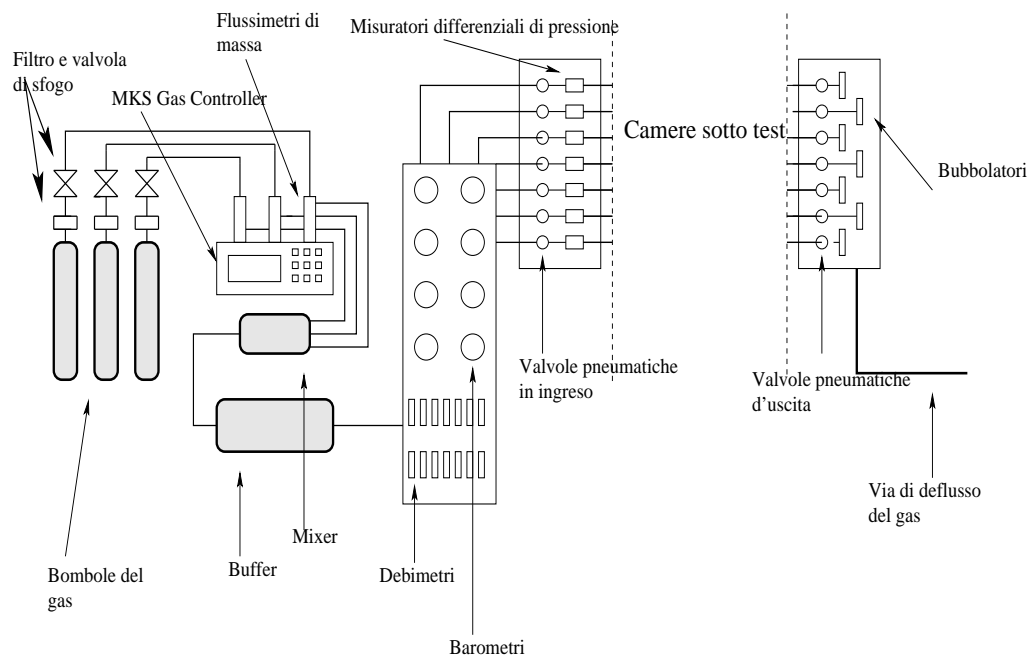


Figura 3.2: *Schema del sistema del gas.*

regolano il flusso dei gas. Ogni condotto è munito di un filtro, per l'eliminazione delle eventuali impurezze, e di una valvola di sicurezza, per evitare rischi di sovrappressione. I flussimetri di massa sono controllati da uno strumento regolatore del flusso, detto *MKS gas controller*, il quale è interfacciabile mediante una porta seriale RS232. Tale strumento permette di regolare e di monitorare i flussi di ogni singola linea di gas garantendo l'esatta composizione della miscela finale. A valle dei flussimetri di massa è collocato un miscelatore (*Mixer*) all'interno del quale i tre gas vengono mescolati grazie ad un sistema di dischi forati. La miscela, così realizzata, attraversa un serbatoio (*buffer*) da 25 litri, il cui scopo è di rallentare eventuali cambiamenti di composizione della miscela, che possono avvenire nel miscelatore.

Dal buffer si dipartono 24 linee parallele, una per ogni layer dei 12 RPC previsti nella configurazione finale della stazione di test, su cui sono collocati dei regolatori manuali di flusso (*debimetri*) e dei barometri. Delle valvole pneumatiche sono posizionate a monte ed a valle dei rivelatori, allo scopo di poter impedire l'ingresso e l'uscita del gas dalle camere, durante i test di tenuta dei volumi di gas (*Leak Test*). Per motivi di sicurezza sono

state scelte valvole normalmente chiuse in ingresso e valvole normalmente aperte in uscita, questo per evitare danneggiamenti delle camere in caso di malfunzionamento del sistema. A valle delle valvole pneumatiche d'uscita la miscela di gas è convogliata in una serie di bubbolatori e fatta defluire all'esterno del laboratorio.

Una serie di misuratori differenziali di pressione, di tipo *TEKKAL SAT 750*, sono stati interposti tra le valvole pneumatiche d'ingresso e le camere RPC sottoposte a test. Tali strumenti, funzionanti con un'alimentazione comune di 24 V, permettono di monitorare costantemente la differenza di pressione tra le linee e l'ambiente. La misura è realizzata convertendo i segnali di corrente, forniti dagli strumenti, in segnali di tensione, attraverso delle resistenze, e leggendo le tensioni mediante una scheda di conversione analogico digitale, di tipo National Instrument *ADC SCB-100*. La risposta in uscita di ogni singolo strumento *TEKKAL SAT 750* è stata calibrata utilizzando uno strumento di riferimento ad elevata risoluzione quale è l'*MKS Baratron 220DD*. Le costanti delle curve di calibrazione, ottenute da un'interpolazione lineare, sono state inserite nel programma di monitor (vedi §3.6).

3.3 Il sistema di distribuzione delle tensioni

Le camere RPC di ATLAS necessitano di quattro alimentazioni di alta tensione, per la polarizzazione dei piani di bakelite delle gap e di una coppia di otto tensioni di alimentazione e di soglia, per il funzionamento dei canali di elettronica dei pannelli di strip. Le alte tensioni sono generate con il sistema CAEN SY1527. Tale sistema può alloggiare fino ad otto moduli, ognuno dei quali dotato di sei canali in grado di generare una tensione fino ad un valore massimo di 15 kV. Il sistema di distribuzione dell'alta tensione prevede che ogni canale alimenti una sola gap. L'apparato è controllato localmente, attraverso una tastiera ed un monitor digitale, e da computer remoti, attraverso un indirizzo IP .

In fig. 3.3 è riportato il layout delle principali sezioni meccaniche dello strumento SY 1527.

La tensione di alimentazione delle schede di front-end V_{ee} è ottenuta con un sistema di generatori Elind, in grado di fornire in uscita una tensione regolabile, tra i 4 ed i 6 Volt, ed una corrente massima di 3 A. Complessivamente sono stati collocati 12 alimentatori Elind su due pannelli

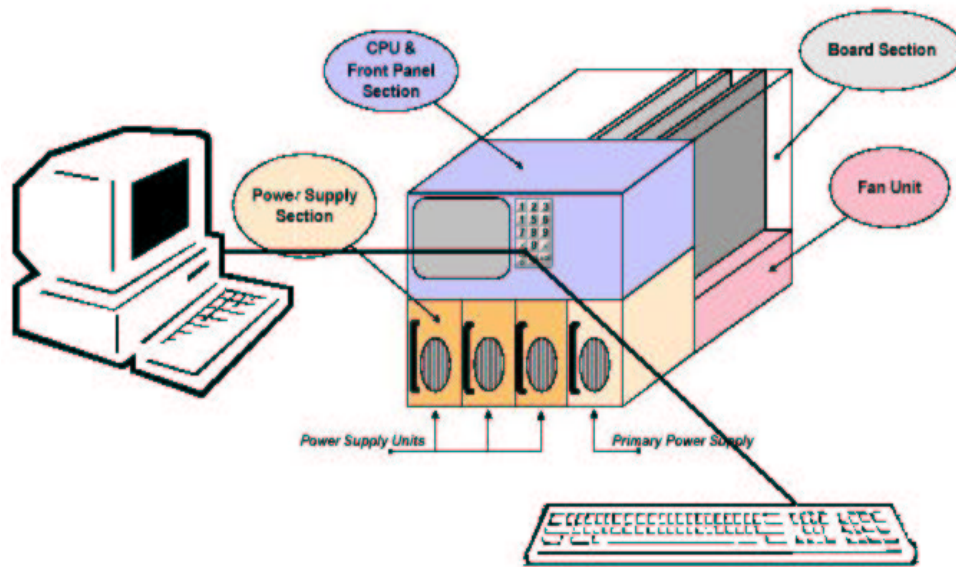


Figura 3.3: Modalità di controllo del sistema CAEN SY1527.

di servizio disposti ai lati della struttura di test. In tale configurazione ogni singolo dispositivo può alimentare fino ad otto piani di strip, quattro di tipo ϕ e quattro di tipo η , collocati nel lato destro o sinistro di due camere. La corrente erogata da ogni singolo alimentatore è letta da due schede di conversione analogico digitale, di tipo National Instrument *ADC SCB-100* ognuna provvista di 16 canali, poste sui pannelli di servizio. Inoltre, le stesse schede, sono utilizzate per la lettura della caduta di tensione delle resistenze di shunt per la misura delle correnti di gap.

Le tensioni di soglia delle schede di front-end V_{th} sono generate da due schede di conversione digitale-analogico National Instrument *DAC SCB-68* a 16 canali. La distribuzione delle basse tensioni (V_{ee} e V_{th}) sui pannelli di strip, è realizzata per mezzo di connettori seriali a 9 pin. Al fine di evitare eventuali loop di massa tra gli alimentatori Elind e le schede DAC si è inserito in serie sul filo di ground di tutti i canali una resistenza del valore di $1K\Omega$.

È importante sottolineare che la soglia effettiva del blocco di discriminazione, detta soglia fisica V_{sf} , è determinata da V_{th} e V_{ee} mediante la seguente formula:

$$V_{sf} = V_{th} - \frac{V_{ee}}{3} \quad (3.1)$$

dove V_{th} e V_{ee} sono valori negativi, infatti l'elettronica di front-end funziona con tensioni di polarizzazione negative.

Le schede ADC e DAC utilizzate, compresa quella del sistema del gas, sono collocate all'interno di due computer posti in prossimità dei pannelli di servizio, ove sono fissate le scatole di diramazione dei rispettivi segnali.

3.4 Il sistema di acquisizione dei dati

Il sistema di acquisizione dati è basato su dei moduli VME realizzati appositamente dal gruppo di elettronica della sezione INFN di Lecce, denominati **Latch** [32]. Tali moduli sono connessi all'elettronica di front-end mediante moduli d'interfaccia realizzati dal gruppo di elettronica della sezione INFN di Roma 2, denominati **Receiver** [33]. Nella configurazione finale, quattro camere di trigger ed otto sottoposte a test, il numero di canali d'acquisire sarà pari a 4608. Siccome un modulo Latch è in grado di acquisire sino a 96 canali ed un modulo Receiver è in grado d'interfacciare sino a 64 canali, la stazione necessita di ben 48 moduli Latch e 72 moduli Receiver. L'impiego di un numero così elevato di moduli e la topologia dei canali di elettronica sugli RPC, ha reso necessario una razionale disposizione ed organizzazione del rack in cui sono alloggiati i moduli (cinque create per i moduli Receiver e tre per i moduli Latch), questo allo scopo di ridurre l'ingombro dei cavi necessari al cablaggio dell'intera stazione e garantirne un facile accesso. Si è scelto di disporre i moduli su un unico rack, posto a lato della stazione, e di posizionare i create dei moduli receiver alla stessa altezza delle camere interfacciate. Tale scelta ha come vantaggi immediati di minimizzare la lunghezza dei cavi di connessione ed evitare limitazioni d'accesso ai rivelatori. I cavi di connessione, realizzati con flat-cable a 16 vie, scorrono orizzontalmente lungo apposite canaline. Inoltre i cavi sono stati etichettati, su entrambi i lati, per rendere possibile l'individuazione della scheda elettronica a cui sono associati.

La fig. 3.4 riporta la disposizione dei vari create all'interno del rack e le linee di connessione Receiver-Latch.



Figura 3.4: *Disposizione dei create dei moduli Receiver e Latch all'interno del rack e sua posizione nella stazione di test.*

3.4.1 I moduli Receiver

I moduli Receiver, il cui scopo è terminare correttamente i canali di front-end e trasformarne il segnale nello standard TTL, possiedono 64 canali d'ingresso disponibili su otto connettori da 16 pin. Ogni singolo canale possiede un discriminatore che permette di aumentare l'immunità al rumore, attraverso la regolazione di un livello di soglia comune. I segnali così processati sono disponibili in uscita del modulo Receiver in gruppi di 32 canali su connettori a 64 vie posti sul back-end del create. Sul back-end del create è disponibile la funzione OR logico dei segnali di ogni singolo connettore d'ingresso. In fig. 3.5 è riprodotto un modulo Receiver.

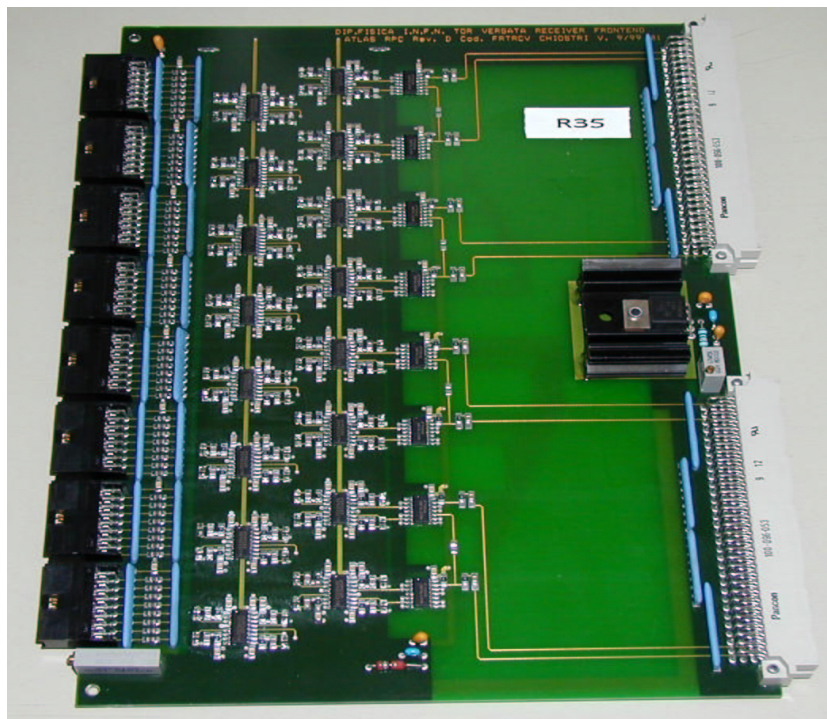


Figura 3.5: Il modulo *RECEIVER* utilizzato nella stazione di test di Lecce.

3.4.2 I moduli Latch

I moduli Latch campionano i segnali d'ingresso ogni 15 ns in una memoria *FIFO* lunga 31 bit. Nella memoria *FIFO*, istante per istante, è contenuto il risultato dei 31 campionamenti. Al sopraggiungere del cosiddetto segnale di Stop l'acquisizione si interrompe e l'interno della memoria *FIFO* contiene la finestra temporale del segnale, lunga 465 ns, precedente il segnale di *Stop*. Il campionamento dei segnali d'ingresso riparte dopo l'arrivo del cosiddetto segnale di *Clear*. I moduli Latch utilizzati nella stazione di test sono in grado di rilevare segnali con una durata minima di 3 ns.

Ogni modulo Latch permette l'acquisizione di 96 canali in modo indipendente. Gli ingressi sono suddivisi in sei connettori ed i dati relativi sono immagazzinati in tre banchi di memoria separati (*Bank*), ognuno dei quali in grado di contenere l'istogramma temporale di 32 canali. I create dei moduli Latch sono interposti tra i create dei moduli Receiver e montati

su lati opposti del rack al fine di facilitarne la connessione. La connessione tra i moduli Latch ed i moduli Receiver è realizzata mediante l'uso di cavi flat-cable a 64 vie con due connettori sul lato dei moduli Latch ed un solo connettore sul lato dei moduli Receiver, cosicchè ad un unico Receiver corrispondono due Bank su un Latch. A seguito del diverso numero di canali presente sui connettori d'uscita del modulo Receiver, rispetto al numero di canali presenti sui connettori d'ingresso del modulo Latch, è necessario suddividere il flat-cable di 64 vie in due flat-cable da 32 vie.

Nella parte inferiore di un modulo Latch sono disponibili la funzione logica OR di tutti i segnali d'ingresso e di quelli associati ad ogni singola Bank. Accanto a tali uscite sono posti gli ingressi dei segnali di Stop e di Clear i quali sono terminati con una resistenza $100\ \Omega$ sul modulo. La resistenza di terminazione puo essere esclusa attraverso la rimozione di un ponticello, ciò rende possibile la connessione parallela tra due o più moduli, infatti essa richiede la terminazione del segnale su un unico modulo. Tutti questi segnali sono di tipo ECL. In fig. 3.6 è riprodotto un modulo Latch utilizzato nella stazione di test di Lecce.

I moduli Latch occupano uno spazio di memoria VME di 512 byte. I primi 128 byte sono riservati alle informazioni sullo stato del modulo (*Status*), mentre i rimanenti 3×128 byte sono destinati ai tre banchi di memoria. Al fine di comprendere come selezionare correttamente l'indirizzo VME di base del modulo Latch (*Base Address*), in fig. 3.7 l'indirizzo VME di 32 bit è stato suddiviso in 4 byte. Il primo byte è vincolato a zero, il secondo byte è selezionabile a multipli di due con un gruppo di sette ponticelli, mentre il terzo ed il quarto byte sono selezionabili senza vincoli mediante due gruppi di otto ponticelli. Grazie a tale tecnica i primi 9 bit sono liberi per l'indirizzamento del sottospazio di memoria occupato dal modulo Latch, evitando così il conflitto tra moduli aventi una differente configurazione di ponticelli.

È possibile leggere lo Status del modulo o i suoi dati indirizzando opportunatamente lo spazio di memoria VME assegnatogli. L'indirizzo *Base Address* + 00000000 contiene lo status del modulo (0 indica la fase di acquisizione, 7 indica che è arrivato un segnale di stop, cioè che ci sono dati da leggere). I dati sono accessibili mediante gli indirizzi *Base Address* + XXYYYYYY00 dove XX è un numero binario a due bit (compreso tra 1 e 3) che indica un banco di memoria e YYYYYY è un numero binario a sei bit (compreso tra 0 e 31) che contiene i dati relativi al banco di memoria specificato. I dati letti sono lunghi 32 bit (*Longword*), dove il

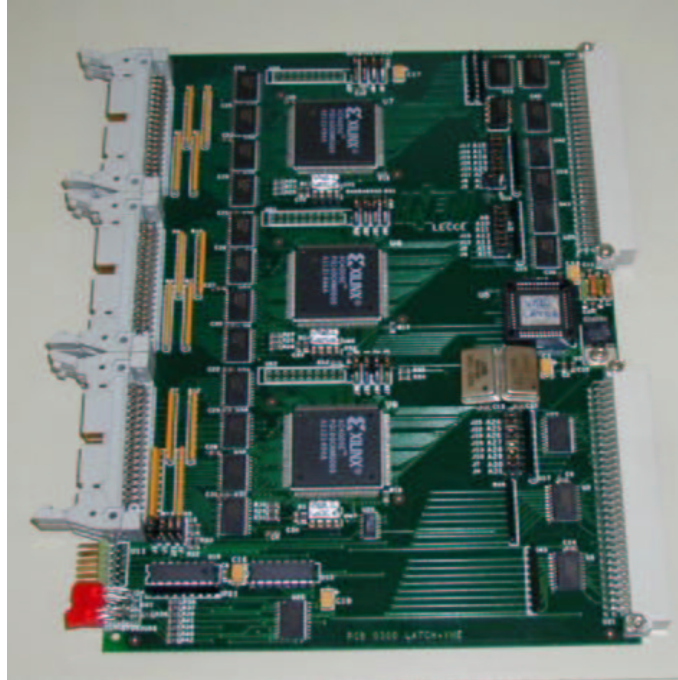


Figura 3.6: *Modulo LATCH.*

bit a_i $i = 0, \dots, 31$ da informazioni sulla risposta del canale i -esimo. Più specificatamente, per $YYYYYY$ compreso tra 0 e 30, a_i indica se il canale i -esimo ha risposto in corrispondenza del bin temporale $YYYYYY$, mentre per $YYYYYY$ uguale a 31 a_i indica se il canale i -esimo ha risposto almeno in un bin temporale.

È possibile azzerare i dati contenuti nei banchi di memoria ed avviare un nuovo campionamento, scrivendo zero all'indirizzo base (ciò equivale ad inviare un segnale di clear). I dati contenuti nei moduli Latch sono letti attraverso un modulo della National Instrument VME-MXI 2 collocato su ogni crate. Tali moduli convertono lo standard VME nello standard MXI e sono acquisiti in parallelo attraverso una scheda PCI-MXI inserita nel computer di acquisizione posto in prossimità del rack.

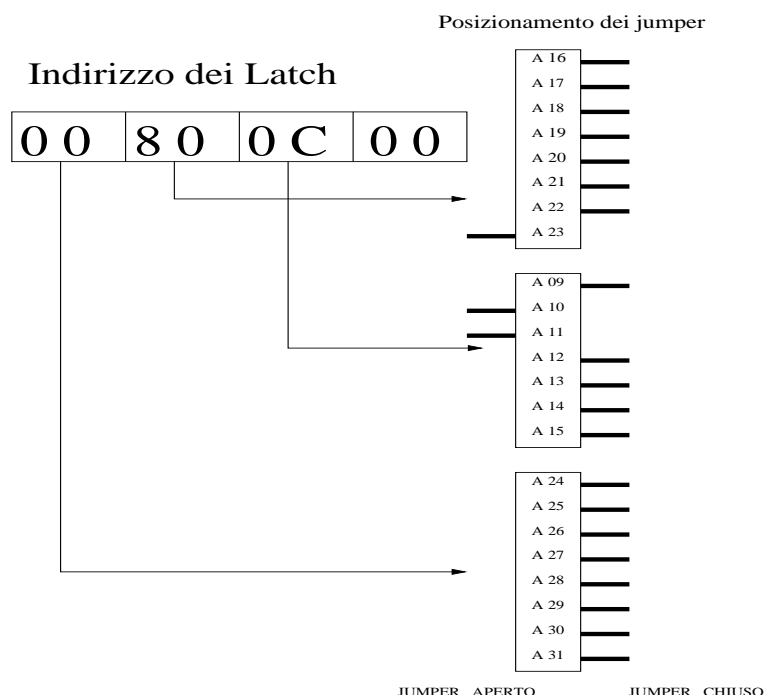


Figura 3.7: Modalità d'indirizzamento dei moduli latch.

3.5 Il sistema di trigger

In fig. 3.8 è rappresentato uno schema della stazione di test che indica la posizione delle camere utilizzate per il trigger dei raggi cosmici.

È possibile notare che un raggio cosmico attraversante le camere di trigger deve necessariamente attraversare anche le camere sottoposte a test. Quindi inviando il segnale di stop ai moduli Latch, in corrispondenza di un simile evento, sarà possibile ricostruire nello spazio il passaggio della particella leggendo i dati immagazzinati nelle memorie dei Latch. I rivelatori componenti il sistema di trigger sono acquisiti allo stesso modo delle camere sottoposte a test. Grazie a tale scelta è possibile utilizzare i segnali di OR dei moduli Latch e realizzare la logica di trigger per generare il segnale di stop, inoltre è possibile utilizzare anche le camere di trigger per il tracciamento dei raggi cosmici¹. La logica di trigger è costruita realizzando l'AND logico

¹Nella stazione di test di Napoli il segnale di trigger è generato mediante scintillatori ed il tracciamento è realizzato con due camere a deriva.

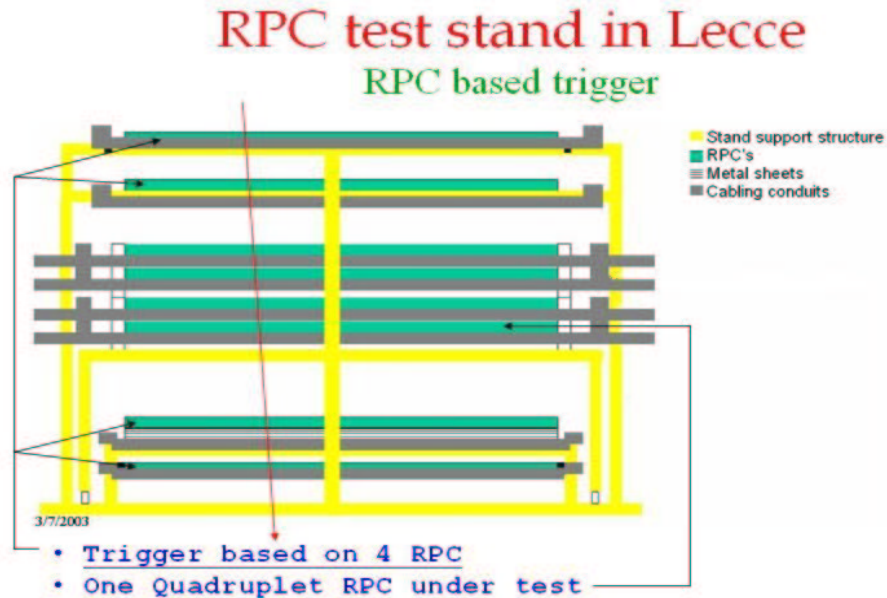


Figura 3.8: Stazione di test degli RPC con indicazione delle camere di trigger e test.

dell'OR logico tra i banchi di memoria che leggono i pannelli di strips, aventi medesima orientazione ed appartenenti allo stesso layer di rivelazione. La logica è realizzata utilizzando un create NIM contenente una serie di moduli in grado di realizzare le funzioni logiche sopra menzionate. A tal fine è anche necessario disporre di moduli di conversione ECL-NIM, per leggere i segnali OR provenienti dai moduli Latch, e di moduli di conversione NIM-ECL, per generare il segnale di stop. La flessibilità del sistema permette anche la scelta di logiche di trigger meno stringenti o con differenti configurazioni geometriche. Ad esempio è possibile richiedere un numero di coincidenze inferiore tra i vari layer di rivelazione oppure che il raggio cosmico selezionato non attraversi il piano di separazione tra due gap adiacenti (vedi fig. 3.1).

Tenendo conto della copertura angolare della stazione e considerando un flusso di raggi cosmici di circa $100 \text{ Hz}/m^2$ è previsto un tasso di eventi di circa $35 \div 45 \text{ Hz}$.

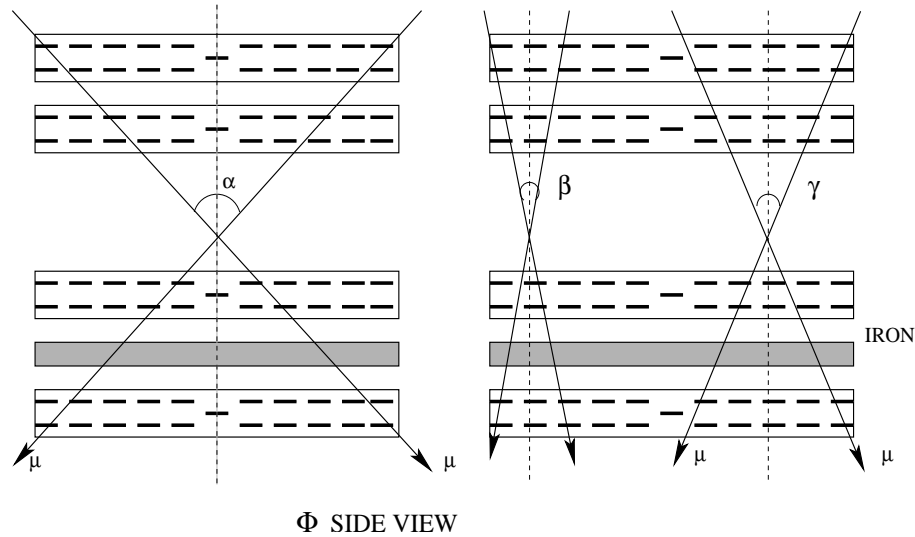


Figura 3.9: Possibili tipologie di trigger.

3.6 Programmi di gestione della stazione di test

Il controllo e l'acquisizione dei dati della stazione di test sono realizzati in gran parte mediante schede della National Instrument inserite sui bus PCI di tre computer. Questo ha condotto alla scelta di realizzare i programmi di gestione nell'ambito del pacchetto di programmi Labview della National Instrument. Labview rende disponibili moltissimi strumenti di alto livello permettendo all'utente di realizzare interfacce grafiche, controllare dispositivi fisici ed elaborare informazioni. Con tale linguaggio abbiamo realizzato due sofisticati programmi: il primo, denominato *Detector Control System* (DCS), per il controllo ed il monitoraggio dei parametri della stazione, ed il secondo, denominato *Data Acquisition System* (DAQ), per l'acquisizione dei dati.

Il programma DCS permette d'impostare tutti i parametri di funzionamento della stazione di test (alte tensioni, basse tensioni, tensioni di soglia, parametri della miscela del gas) e monitorarli assieme alle condizioni ambientali (pressione, umidità e temperatura) dell'ambiente circostante. I valori impostati e letti dei parametri menzionati sono periodicamente salvati

all'interno di un file specifico, in formato binario, denominato *DCSout.bin*.

Il programma DAQ permette di acquisire i dati contenuti nei moduli Latch, relativi ad un certo numero di eventi (*Run*), e di salvarli ordinatamente in un file binario, denominato *RUNXXX.dat*, dove XXX rappresenta il numero progressivo identificante la presa dati. Al fine di correlare i dati alle condizioni di acquisizione il programma DAQ nel suo flusso dati anche le informazioni del programma DCS contenute nel file *DCSout.bin*.

Al fine di acquisire automaticamente una serie di run, per la determinazione delle curve di efficienza degli RPC in funzione dell'alta tensione e per diversi valori della tensione di soglia, i due programmi sono posti in comunicazione con un file denominato *flag.bin*. Tale file è accessibile in scrittura ed in lettura da entrambi i programmi e permette la sincronia tra la modifica del parametro ed il run.

L'analisi dei dati relativi ad uno o più run è compiuta off-line su una macchina Linux, mediante il programma MALIS [35], scritto in C++ ed in grado di leggere i file dati generati dal software DAQ.

Capitolo 4

Il programma di acquisizione dati “DAQ”

4.1 Introduzione

Gli eventi, prodotti durante una presa dati della stazione di test, devono essere immagazzinati permanentemente su disco, in modo tale da poter essere, successivamente analizzati con facilità, da programmi specifici (analisi off-line). Per tale compito ho sviluppato un completo programma di acquisizione dati, denominato DAQ, utilizzando il pacchetto di programmi fornito da Labview (Vedi §3.6). Il programma DAQ è stato ideato al fine di soddisfare le seguenti richieste:

- **Rapidità di acquisizione**

Deve introdurre, nell'acquisizione di un evento, un tempo morto inferiore al tempo medio di passaggio dei raggi cosmici nella stazione di test ($\sim 40Hz$).

- **Flessibilità di utilizzo**

Deve permettere di gestire, con facilità, configurazioni di rivelatori diversi, in numero ed in tipologia.

- **Completezza dell'informazione d'uscita**

Deve, oltre a salvare ordinatamente gli eventi acquisiti, fornire un'informazione completa delle condizioni di presa dati e delle loro variazioni.

- **Monitoraggio della presa dati**

Deve possedere strumenti tali da permettere una verifica rapida dei dati acquisiti senza dover necessariamente ricorrere alla più accurata analisi off-line.

4.2 Descrizione generale

Il software di acquisizione è realizzato mediante il programma Labview. Il linguaggio di programmazione di Labview utilizza oggetti grafici per rappresentare funzioni. Tali oggetti grafici sono messi in relazione funzionale tra loro attraverso un diagramma grafico (*Diagramm*) e le variabili associate sono visualizzabili su un pannello grafico (*Panel*).

Al fine di mantenere il programma sufficientemente snello e duttile, i diversi blocchi funzionali sono stati raccolti all'interno di sotto programmi indipendenti, detti *Sub Vi*. I SubVi di Labview sono equivalenti ai programmi principali, detti Vi (*Virtual instrument*), ma possono essere richiamati dal programma principale come delle funzioni. Essi non modificano la dimensione fisica del programma ma facilitano la comprensione del funzionamento dei diagrammi. Labview fornisce un grafico, **Vi Hierarchy**, che rappresenta il collegamento gerarchico tra i SubVI utilizzati nel programma, sia quelli elementari, direttamente forniti da Labview, sia quelli più complessi, realizzati dal programmatore.

In Fig. 4.1 è riportato il collegamento dei blocchi di SubVi all'interno del programma DAQ (**Vi Hierarchy**).

Il pannello grafico permette di creare un'interfaccia ad alto livello tra utente ed il programma realizzato (*Grafical User Interface GUI*). In Fig. 4.2 è possibile vedere la GUI del programma DAQ.

Sulla GUI è modificabile il nome della cartella dove è collocato il DAQ (*Main Dir*). È possibile notare come la GUI contiene al suo interno diverse sezioni, ognuna corrispondente ad un sotto pannello *Tabs*. Tali sezioni corrispondono a momenti diversi di utilizzo del programma e sono denominate: *Configuration*, *Run* ed *Analyze*. Il corretto utilizzo del programma richiede l'esecuzione di un'operazione preliminare, ovvero è necessario far riconoscere al sistema l'hardware di acquisizione. Per far questo è sufficiente far eseguire il programma *VXI Resource Manager*, presente all'interno del programma *Measurement & Automation Explorer* (M.A.X.), inserito nel pacchetto di applicazioni Labview. La sezione *Configuration*

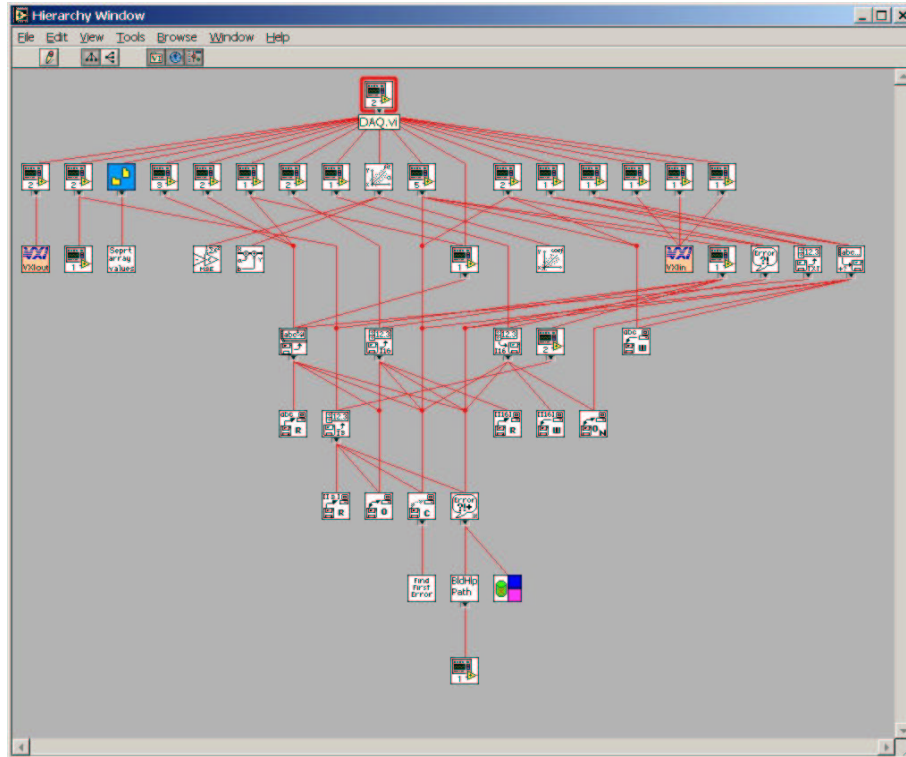


Figura 4.1: Il grafico Vi Hierarchy del programma DAQ.

permette di selezionare un file di configurazione **.cfg*, che riflette come i banchi di memoria dei moduli Latch sono connessi ai piani di strip, e generarne con facilità uno nuovo con la stessa estensione.

La sezione *Run* permette di acquisire, premendo il pulsante *Start Run*, un numero di eventi preselezionato leggendo i banchi di memoria definiti dal file di configurazione. Tali eventi vengono salvati ordinatamente in un file d'uscita *runXXX.dat*, dove XXX rappresenta un numero progressivo associato al run automaticamente incrementato. La sezione Run genera automaticamente un messaggio d'errore *Latch non presenti* se la configurazione selezionata dovesse contenere indirizzi di moduli Latch non presenti nei creates. In caso di errore, nel vettore *Latch not found*, il programma elenca i banchi di memoria non individuati e l'acquisizione non viene attivata. Il programma DCS è in grado di lanciare l'acquisizione dei dati in modo automatico, senza bisogno di premere il pulsante *Start run*, se

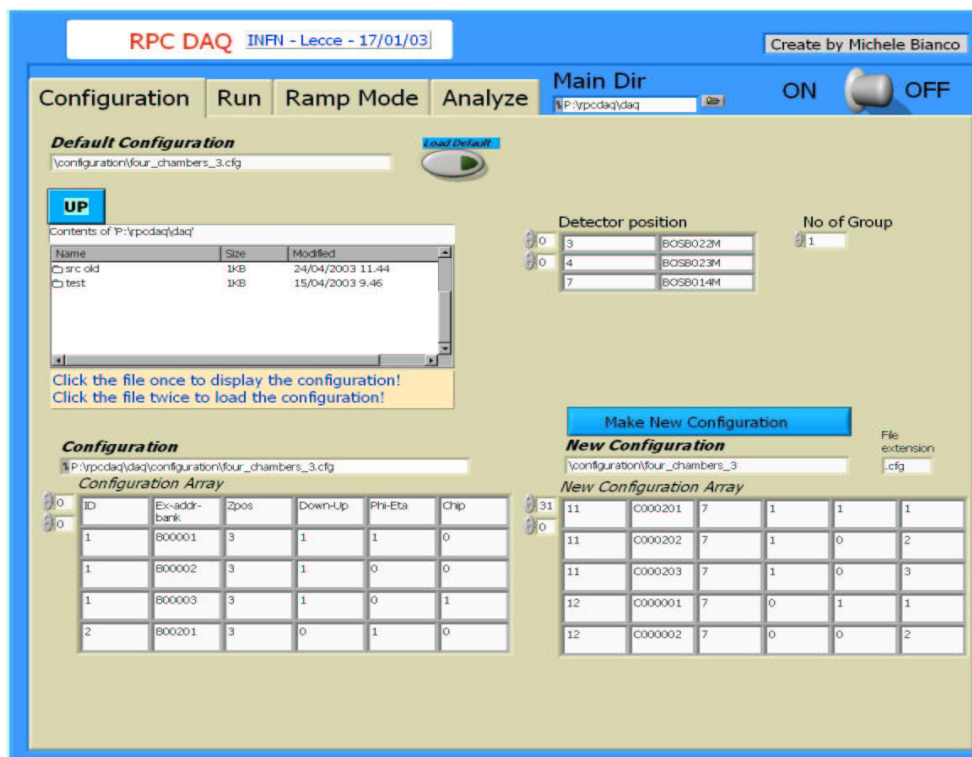


Figura 4.2: GUI del programma DAQ: sezione configuration .

esso è nella cosiddetta modalità rampa (*Scan HV/Th*).

Tale acquisizione automatica (*Ramp mode*) non inizia fintanto che la variabile *Ref lev* è superiore alla variabile *HV* letta nel file di sincronia DAQ-DCS detto *flag.bin*. La modalità *Ramp mode* permette di acquisire una serie di run consecutivi con uno o più rivelatori aventi diverse alte tensioni o tensioni di soglia, secondo una sequenza stabilita dal programma DCS. In entrambe le modalità di presa dati, l'acquisizione può essere interrotta in ogni istante premendo il tasto *Stop Run*, senza pregiudicare gli eventi acquisiti fino a quel momento che vengono regolarmente salvati.

In Fig. 4.3 e 4.4 sono riportate le GUI delle sezioni *Run* ed *Analyze* del programma DAQ.

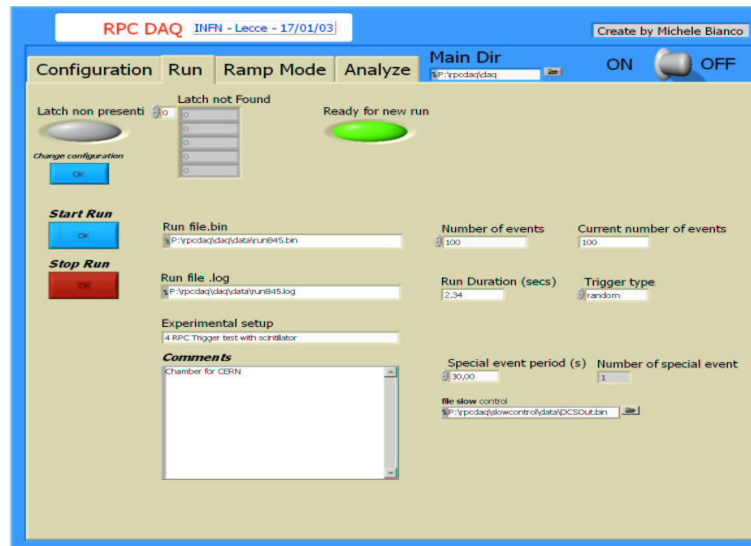


Figura 4.3: GUI del programma DAQ: sezione Run.

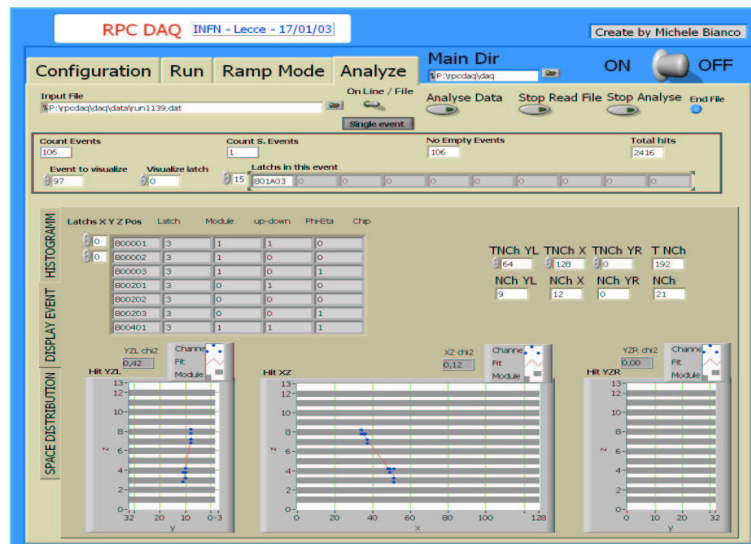


Figura 4.4: GUI del programma DAQ: sezione Analyze.

4.3 Il ciclo di acquisizione dati

Il ciclo di acquisizione dei dati è composto da una fase di preparazione per l'acquisizione dell'evento, un ciclo di attesa dell'evento e da una sequenza di lettura e scrittura dati. La fase di preparazione è compiuta via software scrivendo il valore zero negli indirizzi di base dei moduli presenti nel file di configurazione. Tale operazione equivale all'invio hardware del segnale di clear (come descritto nel paragrafo §3.4.2). Dopo la fase di preparazione i banchi di memoria iniziano il campionamento dei canali d'uscita dei rivelatori. Al sopraggiungere del segnale hardware di stop, generato dal sistema di trigger, il campionamento s'interrompe e l'evento è immagazzinato nei banchi di memoria pronto per la lettura. Al fine di rilevare la presenza dell'evento il programma legge ciclicamente lo status dei moduli Latch (metodo *Polling*). Il ciclo di attesa s'interrompe non appena in un qualsiasi modulo è letto il valore 7, cioè un segnale di stop è stato ricevuto dai moduli. A questo punto inizia la fase di trasferimento dei dati dai moduli nel file di uscita temporaneo. Ciò è compiuto mediante la sequenza di lettura e scrittura dati. In tale sequenza viene compiuto un ciclo sui banchi di memoria configurati e vengono letti completamente solo i banchi di memoria in cui almeno un canale ha risposto. Ciò è possibile leggendo per ogni banco di memoria l'indirizzo *Base Address + XX11111100* (vedi dettagli in §3.4.2). L'evento così acquisito viene memorizzato in una matrice (*Data Event*). La matrice *Data Event*, di 32 colonne, possiede una riga di descrizione dell'evento ed una riga per ogni banco di memoria letto. Gli eventi accumulati sono immagazzinati in una matrice di 32 colonne (*Event Block*), la quale viene periodicamente completata con le informazioni provenienti dal programma DCS. La matrice *Event Block* è salvata nel file di uscita ogni qualvolta si raggiungono 100 eventi .

Il ciclo di acquisizione è implementato attraverso un loop infinito, detto *While Loop*, in cui le diverse fasi d'acquisizione sono temporalmente ordinate mediante una funzione detta *Sequence*. Questa funzione *Sequence* è composta da quattro blocchi di programma. La fase di lettura è implementata con due blocchi uno per la lettura dei dati e l'altro per la costruzione della matrice *Data Event*. All'esterno della funzione *Sequence* è costruita e salvata la matrice *Event Block*. In Fig. 4.5 è possibile osservare il diagramma del ciclo di acquisizione. Le fasi di acquisizione, implementate attraverso tre blocchi specifici, effettuano operazioni di lettura e di scrittura VME mediante l'utilizzo delle funzioni di Labview denominate *VXIin* e *VXIout*.

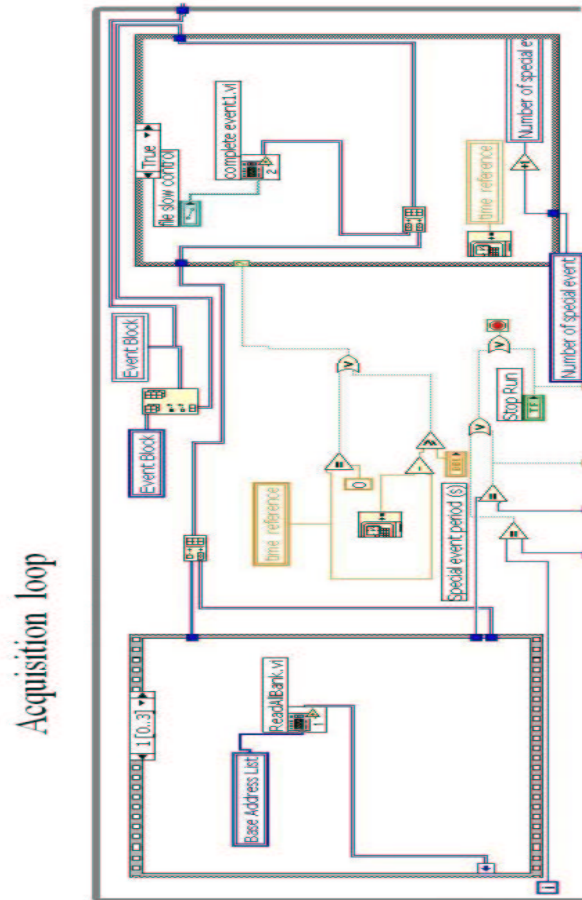


Figura 4.5: Ciclo di acquisizione per mezzo del SubVi Read All Bank.

In tali funzioni (vedi Fig. 4.6) è necessario specificare l'indirizzo VME in cui leggere o scrivere e la lunghezza del dato da leggere (nel nostro caso Longword di 4 byte).

Nelle figure 4.7 e 4.8 sono mostrati i diagrammi delle fasi di Clear e di attesa dello Stop . Al più complesso ciclo di acquisizione, contenuto nel SubVi *Read All Bank*, è dedicata l'appendice A.

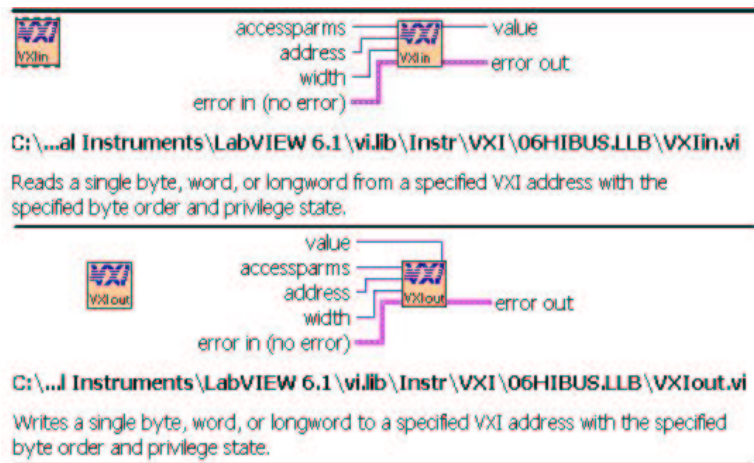


Figura 4.6: Le funzioni di Labview, VXIin e VXIout.

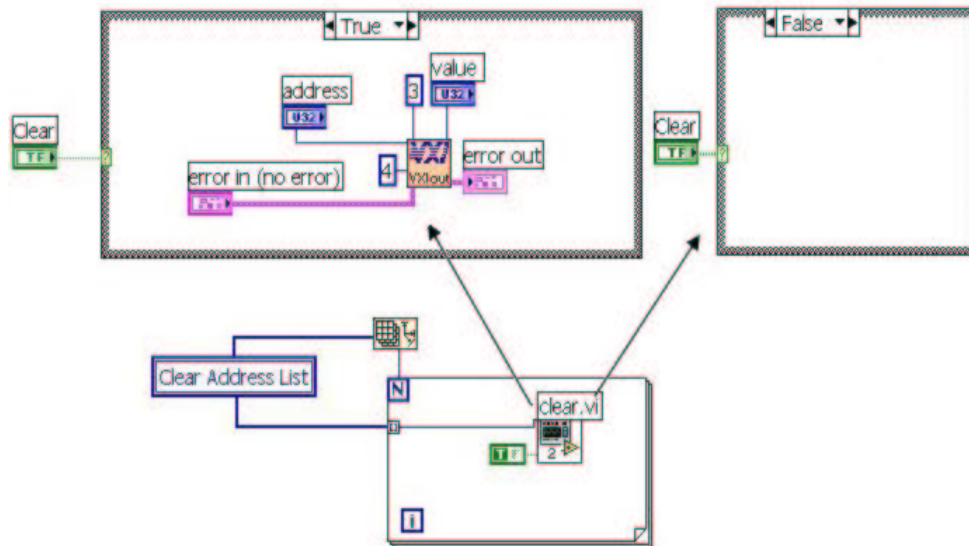


Figura 4.7: Diagramma della fase preliminare all'acquisizione: sequenza di Clear.

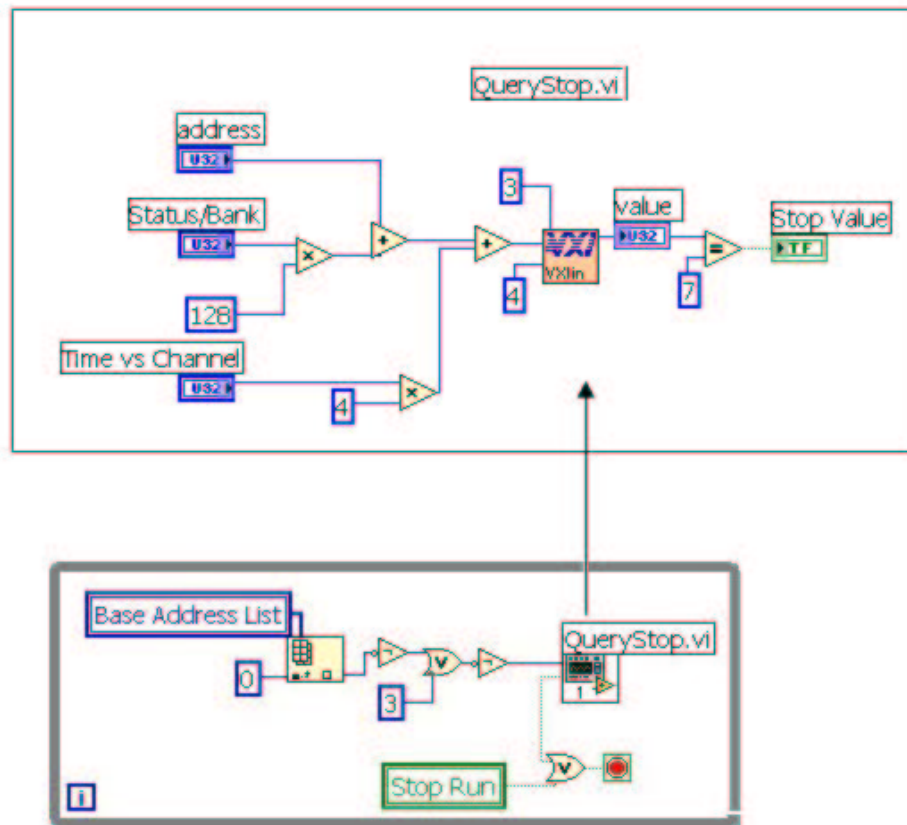


Figura 4.8: Ciclo di attesa dello Stop (Polling).

4.4 Formato del file di configurazione e dei file di uscita

4.4.1 Il file di configurazione

I file di configurazione *.cfg sono generabile utilizzando la sezione Configuration e sono collocati nella cartella denominata *Configuration*.

In Fig. 4.9 è riportato un esempio di file di configurazione al fine di illustrarne

ID	Ex-addr-bank	Zpos	Down-Up	Phi-Eta	Chip	Dec-addr-bank	Dec-addr-latch
1	800001	3	1 0	0	8388609	8388608	
1	800002	3	1 0	1	8388610	8388608	
1	800003	3	1 1	0	8388611	8388608	
2	800201	3	0 0	0	8389121	8389120	
2	800202	3	0 0	1	8389122	8389120	
2	800203	3	0 1	0	8389123	8389120	

Figura 4.9: *Formato del file di configurazione.*

il formato.

Il file è composto da una matrice di 8 colonne e di N righe, dove ogni riga riporta i parametri degli N banchi di memoria dei moduli Latch che si vogliono acquisire. Al fine di facilitare la comprensione del file la matrice è preceduta da una stringa che descrive i vari parametri.

I primi due parametri, *ID* e *Ex-addr-bank*, si riferiscono alla configurazione hardware del banco di memoria. Il primo rappresenta un numero arbitrario di identificazione del modulo, a cui il banco di memoria appartiene, mentre il secondo è un numero esadecimale che identifica univocamente il banco di memoria. Il parametro *Ex-addr-bank* è dato dalla somma dell'indirizzo di base del modulo incrementato di XX , dove XX può assumere i valori 1, 2 o 3 in corrispondenza della posizione del banco di memoria all'interno del modulo. Grazie al fatto che i primi due byte dell'indirizzo di base di un modulo sono sempre nulli tale convenzione permette di identificare un banco di memoria senza ambiguità. Il ciclo di acquisizione utilizza questo parametro per individuare i banchi di memoria da leggere.

I quattro parametri successivi, *Zpos*, *Down-Up*, *Phi-Eta* e *Chip* identificano univocamente la posizione geometrica delle strip nella stazione di test. Tali parametri sono utilizzati dai programmi di analisi dati, in

particolare dalla sezione *Analyze*, per ricostruire nello spazio le tracce delle particelle. Il parametro *Zpos*, un numero da 1 a 12, individua la posizione verticale del rivelatore nella stazione, dove il valore 1 è assegnato alla camera posta in basso ed il valore 12 alla camera posta in alto. Il parametro *Down-Up*, un numero tra 0 e 1, individua il layer inferiore o superiore del rivelatore. Il parametro *Phi-Eta*, un numero tra 0 e 1, individua la coordinata di misura. Infine il parametro *Chip* identifica la posizione del gruppo di 32 canali letti dal banco di memoria, lungo l'asse di misura.

È utile sottolineare che, essendo i connettori dei canali d'uscita cablati sui cavi tutti allo stesso modo, la posizione dei canali 0-7, associati ad un connettore, sono orientati in modo opposto tra il layer superiore ed il layer inferiore. Nel caso dei pannelli di strip ϕ di un layer superiore, all'interno di un connettore, ad un canale di numero più elevato corrisponde una coordinata più alta, mentre per il layer inferiore è vero l'opposto. Nel caso dei pannelli di strip η sinistri, di un layer superiore, ad un canale di numero più elevato corrisponde una coordinata più alta, mentre per il layer inferiore è vero l'opposto. Nel caso dei pannelli di strip η destri la situazione è ribaltata rispetto a quelli sinistri. Nella ricostruzione spaziale delle tracce è necessario tener conto di tali inversioni.

Gli ultimi due parametri sono gli indirizzi di base ed il parametro *Ex-addr-bank* scritti in decimale e sono utilizzati internamente dal programma.

4.4.2 Il file di descrizione

Al termine della fase di acquisizione il programma DAQ produce, oltre al file dati, anche un file di uscita di tipo ASCII e di nome RUNXXX.log dove il numero XXX corrisponde al numero del run. I file .log generati sono collocati nella cartella denominata *Data*, assieme ai file di dati. All'interno del file *.log sono racchiuse una serie di informazioni generali riguardanti il *run*. In Fig. 4.10 è riportato un esempio del file di uscita *.log .

Il file .log è stato introdotto per poter determinare le condizioni con cui è stata effettuata la presa dati. Ad ognuna di queste condizioni è associata una stringa esplicativa di 100 caratteri, ad eccezione della stringa relativa alla voce *comment*, di lunghezza pari a 1000 caratteri. Il gruppo dei primi 22 caratteri, terminante con il carattere “:”, è utilizzato per identificare il parametro, mentre i restanti caratteri ne descrivono il valore. Per comodità, in coda al file, è riprodotto il file di configurazione utilizzato nella presa dati.

```

Main directory      : P:\rpdac\daq
Configuration file  : P:\rpdac\daq\configuration\halfmodule.cfg
Software           : P:\rpdac\Daq\src\Prova di DAQ5.vi
Comment           : EsaFluoro
Experimental setup  : 4 RPC Trigger test with scintillator
Run file           : run250.bin
Log file           : run250.log
Begin run          : 09/04/2003 21.09.30
Run Duration (sec) : 113
Trigger type       : cosmic
Number of event set : 500
Number of event taken : 500
File size (bytes)  : 71154
Complete event     : every 5 minutes
Mapping           : 6

```

ID	Ex-addr-bank	Zpos	Up-Down	Phi-Eta	Chip	Dec-addr-bank	Dec-addr-latch
1	800001	3	1	0	0	8388609	8388608
1	800002	3	1	0	1	8388610	8388608
1	800003	3	1	1	0	8388611	8388608
2	800201	3	0	0	0	8389121	8389120
2	800202	3	0	0	1	8389122	8389120
2	800203	3	0	1	0	8389123	8389120

Figura 4.10: *Formato del file *.log* .

4.4.3 Il file dei dati

Il risultato dell'acquisizione dati è salvato in un file, denominato RUNXXX.dat, in modo tale da poter compiere una completa analisi off-line. I file dati sono salvati in formato binario, al fine di ridurre le dimensioni nella cartella *Data*. Il file di dati, è costituito da due blocchi fondamentali, il blocco di descrizione del run (*Header Run*) e dal blocco degli eventi (*Event Block*). In Fig. 4.11 è riportato il contenuto del blocco Header Run. Al fine di rendere possibile la corretta lettura del file da parte di qualsiasi sistema operativo (*Machine Independent*), i primi quattro byte del blocco *Header Run*, sono costituiti dalla sequenza **1234** ed i quattro successivi riportano la dimensione dell'header stesso. In questo modo, leggendo i primi quattro byte del file è possibile verificare se il programma li riproduce nella corretta sequenza e, leggendo i quattro successivi, i programmi di analisi possono

superare automaticamente il blocco header ed individuare immediatamente il blocco degli eventi. Il blocco degli eventi è costruito dalla successione di due tipi: *Data Event*, contenenti i dati fisici e *DCS Event*, contenenti i dati provenienti dal programma DCS.

```

1234 xxxx
Main directory      :P:\rpcdaq\daq
Configuration file  :P:\rpcdaq\daq\configuration\Two_quarter_chambers.cfg
Software           :P:\rpcdaq\Daq\src\Prova di DAQ3.vi
Comment           :
Experimental setup  :4 RPC Trigger test with scintillator
Run file           :run341.bin
Log file           :run341.log
Begin run          :06/17/2003 11:52:05 AM
Run Duration (sec) :0
Trigger type       :random
Number of event set :20
Number of event taken :20
File size (bytes)  :4960
Complete event     :Every 300Sec
Mapping            :6
File DCS size      :4322
Header DCS size    :3810
Main directory     :P:\rpcdaq\slowcontrol\new
Software type      :Slow_Control0_D.vi
Configuration file  :P:\rpcdaq\slowcontrol\new\configuration\TwoChambers.cfg
Comment           :Test
Experimental Setup :Two detectors
Ascii Log File     :P:\rpcdaq\slowcontrol\new\data\ppp5.dat
Bin Log File       :P:\rpcdaq\slowcontrol\new\data\ppp5.bin
Time              :06/17/2003 11:48:22 AM
Number of detectors :3
Description of detect.: 03BOSB000T 04BOSB000T 05BOSB000T
Num. of Power Supplies:12
Power Supplies Connect:M1R M2R M3R M4R NC NC M1L M2L M3L M4L NC NC
Number of Tekkal    :16
Tekkal Connections  :M1RD M1RU M2RD M2RU M3RD M3RU M4RD M4RU NC NC NC NC NC NC NC NC
Number of Gases     :3
Type of Gases       :Master Gas=C2H2F4 Slave one=SF6 Slave two=C4H10
Number of DAC       :2
DAC Connections     :ThR ThL
Number of ADC       :3
ADC Connections     :IGapR+PS1-6 IGapL+PS7-12 TEK1-16
Scan procedure      :HV

```

Figura 4.11: *Formato del blocco Header del file *.dat .*

Come è possibile notare il blocco *Header Run* contiene tutte le informazioni relative alla stazione di test: programmi utilizzati e loro

4.5 Monitor della presa dati

L'ultima sezione del programma DAQ, è riservata all'analisi dei dati acquisiti. Tale sezione è in grado di analizzare in tempo reale gli eventi acquisiti (*On line*) oppure il contenuto del file RUNXXX.dat (*Off line*).

L'analisi in tempo reale degli aventi è realisticamente utilizzabile solo nel caso in cui gli eventi contengano pochi canali, altrimenti il tempo di elaborazione di un evento è eccessivamente lungo (vedi paragrafo successivo per ulteriori miglioramenti). L'analisi del file dati è possibile evento per evento oppure cumulativamente premendo o meno il pulsante *Single event*.

Il risultato dell'analisi è visualizzato mediante diversi istogrammi, organizzati in sottosezioni. Nella prima sottosezione, *Display event*, è mostrata la posizione geometrica dei canali che hanno risposto all'interno della stazione di test Fig. 4.14.



Figura 4.14: Sottosezione *Display event* dove è mostrata la ricostruzione di un raggio cosmico.

Nella seconda sottosezione, *Spatial Distribution*, è mostrato il profilo dei canali che hanno risposto per ogni singolo pannello di strips (di tipo ϕ o di tipo η posto a destra o a sinistra) relativo alla gap della camera selezionata. Questa funzione, oltre a permettere di individuare rapidamente i connettori non funzionanti, permette di discriminare facilmente tra run realizzati in autotrigger o con il trigger ausiliario fornito dagli scintillatori.

In Fig. 4.15 a) e b) sono riportate le distribuzioni spaziali dei dati prodotti in un run con trigger di scintillatori e con trigger generato dagli RPC stessi.

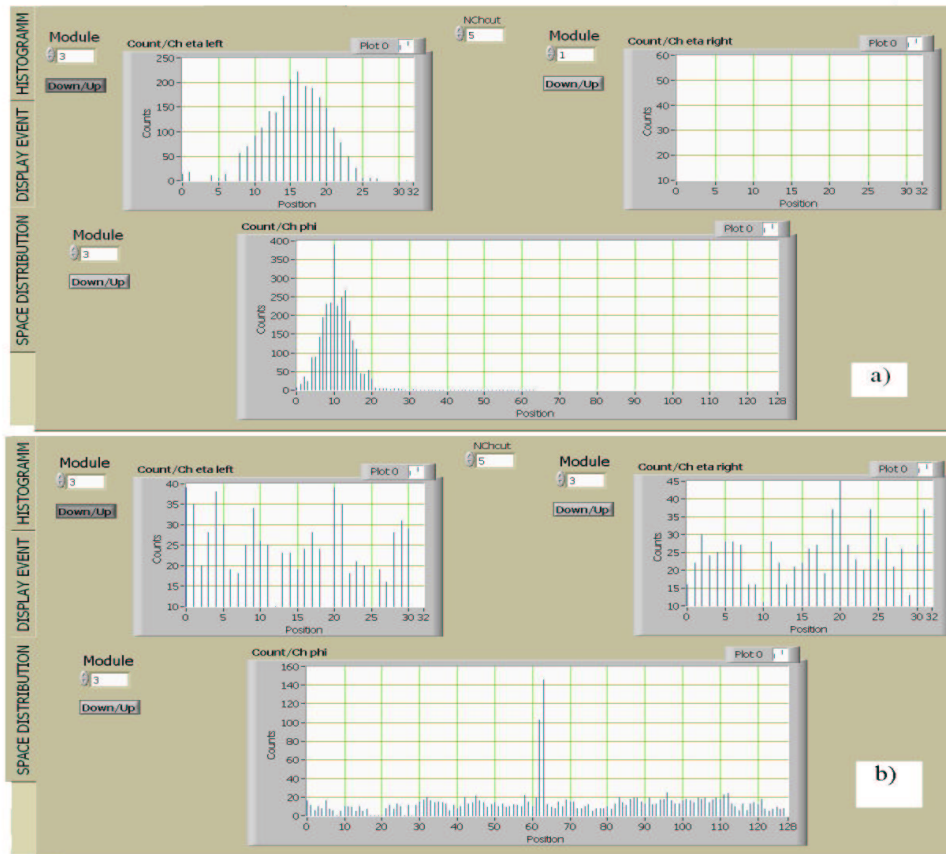


Figura 4.15: *Istogrammi della sezione Spatial Distribution che mostrano i profili spaziali degli eventi: a) trigger con scintillatori (distribuzione localizzata) e b) trigger con RPC (distribuzione piatta, si noti la presenza di canali rumorosi sul pannello ϕ).*

Nella terza ed ultima sottosezione, *Histogram*, (vedi Fig. 4.16) sono mostrate distribuzioni relative ad un banco di meomria, selezionabile tra quelli acquisiti. L'istogramma *All Channels Response* riporta la distribuzione temporale della risposta dei canali. L'istogramma *Time bin / ch* riporta il numero di conteggi dei canali pesato con la molteplicità temporale. L'istogramma *Channels Response* riporta la distribuzione temporale della risposta di un singolo canale, selezionabile sul bordo superiore del grafico (*Visualize channel*). L'ultimo istogramma, *Time Response*, riporta il numero di conteggi dei canali nello specifico bin temporale, selezionabile sul bordo superiore del grafico (*Visualize time*).

All'interno della schermata sono presenti quattro grafici così come riporta la Fig. 4.16.

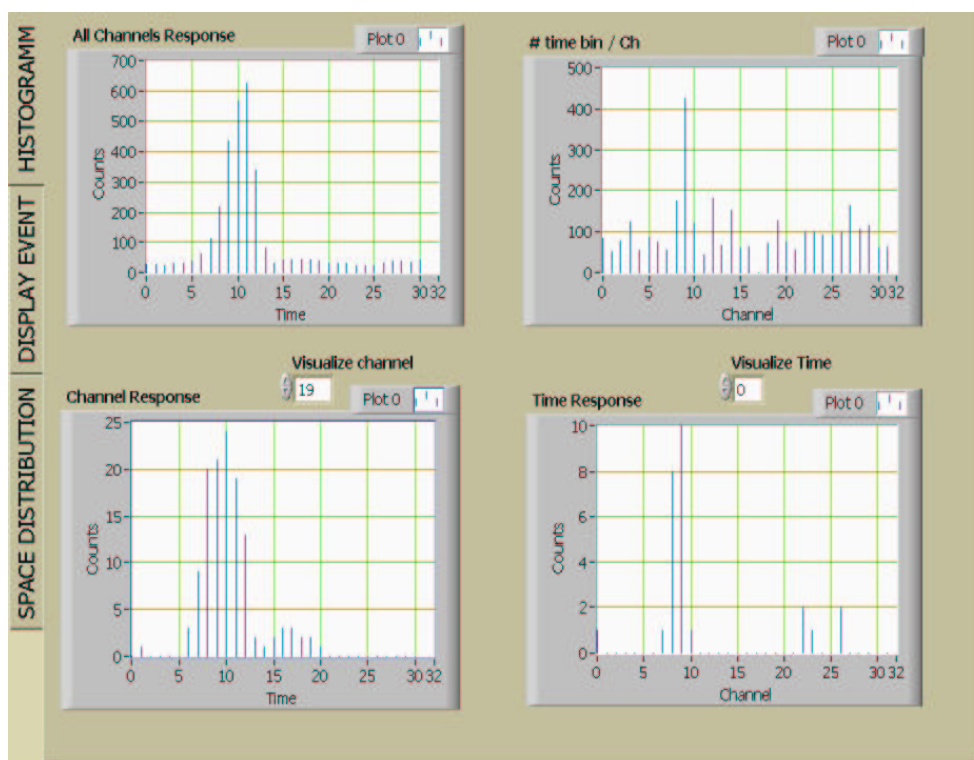


Figura 4.16: *Istogrammi della sottosezione Histogram.*

4.6 Possibilità di sviluppo del software

Il programma di acquisizione sviluppato è in grado di soddisfare alle esigenze della stazione di test in modo completo. Tuttavia esiste la possibilità di ulteriori miglioramenti grazie alla voluta flessibilità con cui si è progettato fin dall'inizio. I principali miglioramenti apportabili sono i seguenti:

- **Aumento della velocità di acquisizione**

La velocità di acquisizione è legata alla velocità di lettura del bus VME. Il programma odierno utilizza la funzione *VXIin*, la quale legge un indirizzo VME alla volta. Utilizzando invece una funzione che legge un blocco di indirizzi VME (*VXImove*) ci si aspetta un aumento della velocità di acquisizione. Data l'architettura, del programma realizzato, l'unica variazione da apportare riguarda esclusivamente il SubVi di acquisizione Read-All-Bank.

- **Riduzione della dimensione dell'evento**

È possibile ridurre la dimensione dell'evento leggendo un intervallo temporale inferiore a quello disponibile nei moduli Latch oppure leggendo esclusivamente i bin temporali in cui almeno un canale ha risposto. Tali tecniche permettono di evitare di salvare informazioni che contengono esclusivamente degli zeri. Ciò si tradurrebbe in una riduzione delle dimensioni del file di uscita e delle matrici interne utilizzate da Labview. Anche in questo caso è sufficiente apportare delle modifiche al SubVi Read-All-Bank.

- **On-Line Display**

Attualmente il programma non è in grado di monitorare in tempo reale gli eventi accumulati in presa dati. Tale utilissimo strumento è implementabile o migliorando l'attuale sezione Analyze o realizzando un programma autonomo che, lanciato su un diverso computer, non introduca ritardi apprezzabili nella presa dati.

Capitolo 5

Risultati preliminari dei test

5.1 Introduzione

In questo capitolo sono descritte le misure preliminari compiute con la stazione di test realizzata. Tali misure hanno permesso di dimostrare la buona funzionalità del sistema e di selezionare quattro camere RPC da impiegare nel sistema di trigger.

5.2 Caratteristica tensione-corrente e misura del rumore di un RPC

Prima di sottoporre le camere RPC ad una caratterizzazione esaustiva con raggi cosmici si effettuano dei test preliminari. Tali test consistono in una verifica dei volumi di gas, una misura della caratteristica tensione-corrente, una verifica della corrente assorbita dall'elettronica di front-end ed una misura del rumore del rivelatore.

Questi test, sebbene molto semplici, permettono una verifica veloce della qualità del rivelatore. Una conferma dell'assenza di fratture nei volumi di gas è ottenuta provvedendo al flussaggio della miscela di gas prescelta, misurando la pressione differenziale all'ingresso ed osservando la fuoriuscita del gas dai bubbolatori. Il test di tenuta completa dei volumi di gas (*Leak Test*), previsto per gli RPC di ATLAS, è attualmente in corso di realizzazione. Prima di applicare l'alta tensione ai rivelatori è necessario assicurarsi che la quantità d'aria presente nei volumi di gas sia trascurabile. A tal fine si aspetta un

periodo di tempo tale da garantire un ricambio della miscela pari a cinque volumi di gas. Ultimata questa fase l'alta tensione è lentamente applicata sugli elettrodi di bakelite (*Condizionamento della camera*). Nei test descritti la crescita dell'alta tensione è stata fissata a 5 V/sec tra 0 e 5 kV e a 2 V/sec tra 5K e 10 kV. Questo al fine di evitare il formarsi di alti campi elettrici, in prossimità di piccole irregolarità o impurezze residue (ad esempio sugli elettrodi), d'intensità sufficiente a generare intense scariche localizzate che potrebbero danneggiare la camera.

Durante la fase di condizionamento, contemporaneamente all'applicazione dell'alta tensione, il programma DCS acquisisce il valore della corrente totale assorbita (I_{Leak}) e quello della corrente che fluisce all'interno del volume di gas (I_{Gap}). L'andamento della corrente rispetto alla variazione della tensione rappresenta la caratteristica tensione-corrente della singola gap. La corrente I_{gap} è dovuta alla corrente che fluisce negli spaziatori e nelle cornici di chiusura dei volumi di gas e alla corrente media dovuta alle scariche interne. La corrente di Leak è data dalla corrente I_{gap} aumentata dalla corrente che fluisce esternamente alla gap e alla corrente media dovuta alle scariche esterne.

In Fig. 5.1 e in Fig. 5.2 sono riportate rispettivamente le caratteristiche tensione-corrente della camera BOSB-023, della pre-produzione di ATLAS, e della camera BMLA-001, della odierna produzione di ATLAS¹. Le camere della pre-produzione di ATLAS differiscono da quelle della produzione per il valore della resistività superficiale della bakelite, pari a $\rho_s \cong 10^{11}\Omega/\square$ per le prime e a $\rho_s \cong 2 \cdot 10^{10}\Omega/\square$ per le seconde², e per l'introduzione di una pellicola di P.E.T. lungo i bordi della gap di gas. La pellicola di P.E.T. è stata aggiunta al fine di ridurre eventuali fughe di corrente e si è dimostrata essere efficace per questo compito.

È possibile osservare che la corrente assorbita dalla camera BMLA-001 è inferiore di circa un fattore 10 rispetto alla corrente assorbita dalla camera BOSB-023, sebbene le due camere possiedono un'estensione delle superfici attive paragonabile. Ciò è dovuto alla presenza dello strato di P.E.T. aggiuntivo presente sulle nuove camere. Generalmente ad una camera con alte correnti assorbite corrisponde una camera rumorosa.

¹Le camere di tipo BOSB della pre-produzione sono quelle tra cui si selezioneranno le camere per il sistema di trigger della stazione di test.

²Come spiegato in §2.6 una diminuzione della resistività degli elettrodi permette un aumento della capacità di conteggio del rivelatore.

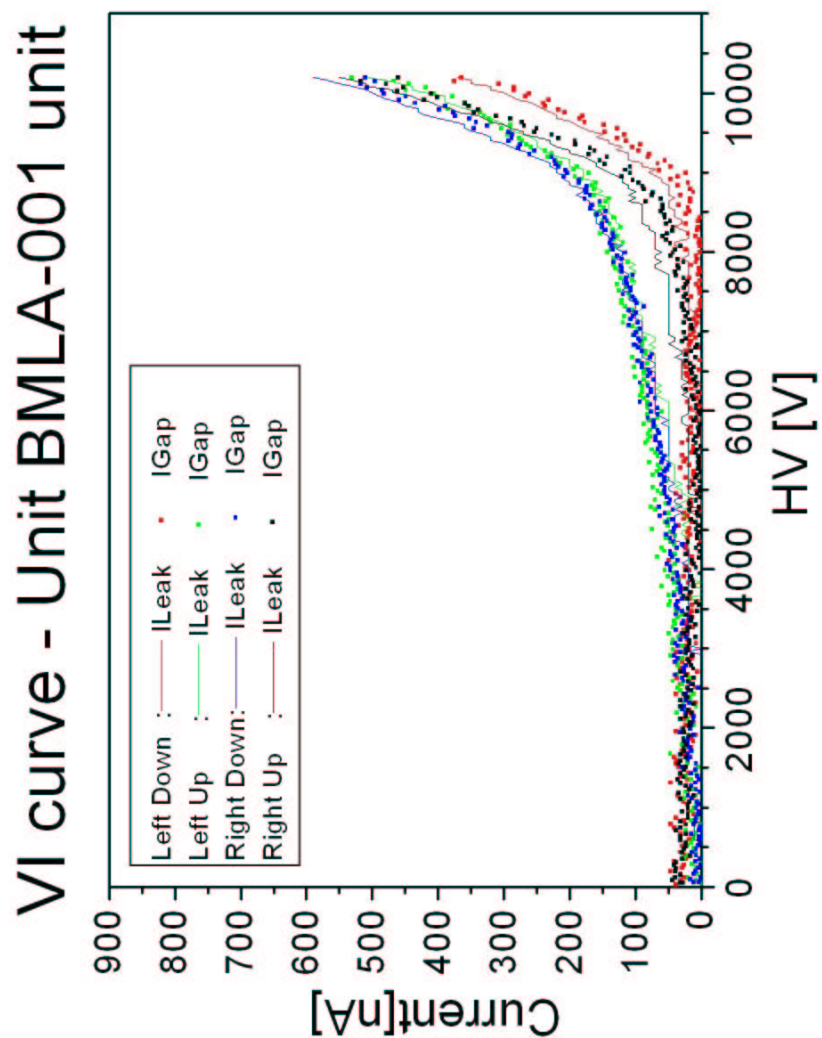


Figura 5.1: Curva tensione corrente della camera BMLA-001 ($T = 22^{\circ}\text{C}$, composizione del gas: $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$ (96.5%) - iso C_4H_{10} (3%) - SF_6 (0.5%)).

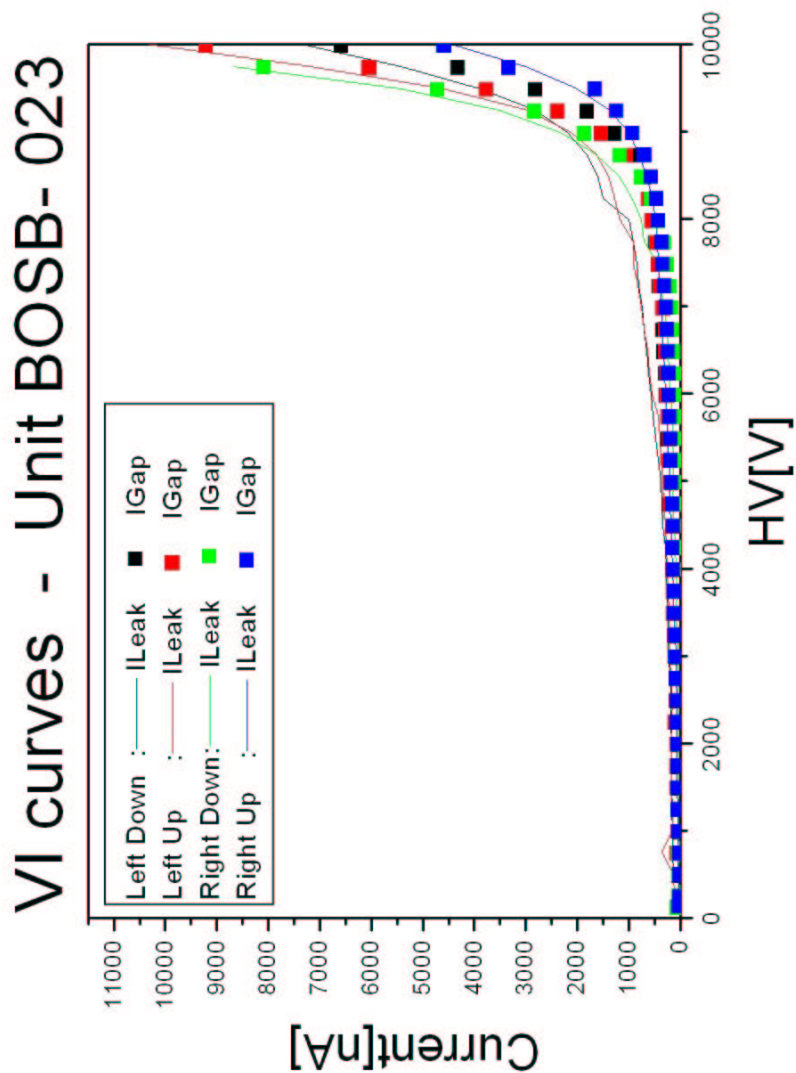


Figura 5.2: Curva tensione corrente della camera BOSB-023 ($T = 22^{\circ}C$, composizione del gas: $C_2H_2F_4(96.5\%)-isoC_4H_{10}(3\%)-SF_6(0.5\%)$).

A conferma di ciò si è misurato il numero di conteggi globale dei pannelli di strip per entrambe le camere. In Fig. 5.3 è riportato l'andamento delle coincidenze tra i piani di strip η e ϕ della gap inferiore e superiore poste nel lato sinistro dei rivelatori.

È possibile osservare come i conteggi delle gap della camera BOSB-023 sono circa un fattore 10 più grandi rispetto a quelli delle gap della camera BMLA-001. Confermando che la camera con correnti più elevate è anche la più rumorosa. La Fig. 5.3 dimostra che la coincidenza tra piani di strip di una gap non è sufficiente a selezionare il passaggio di un raggio cosmico. Infatti il tasso di raggi cosmici che attraversano una gap è atteso essere di circa 150 Hz^3 , decisamente inferiore alla frequenza di conteggio di una gap.

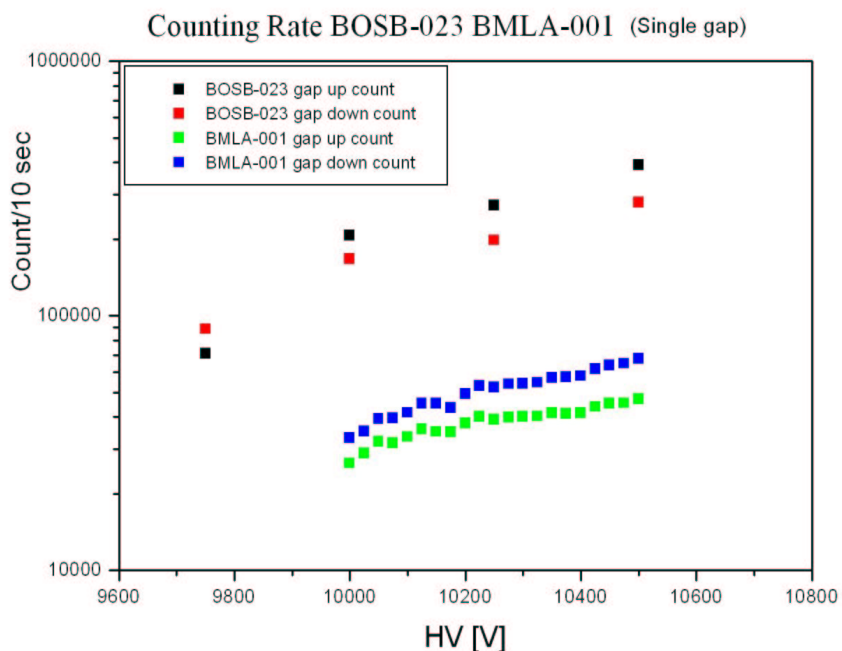


Figura 5.3: Conteggi delle singole gap poste sul lato sinistro delle camere BOSB-023 e BMLA-001 ($T = 22^{\circ}\text{C}$, composizione del gas: $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$ (96.5%)- $\text{isoC}_4\text{H}_{10}$ (3%)- SF_6 (0.5%).

³Il tasso di raggi cosmici assunto è di $100 \text{ Hz}/\text{m}^2$ [36]

In Fig. 5.4 è riportato il conteggio dei due rivelatori sotto esame (concidenza tra i conteggi di due gap).

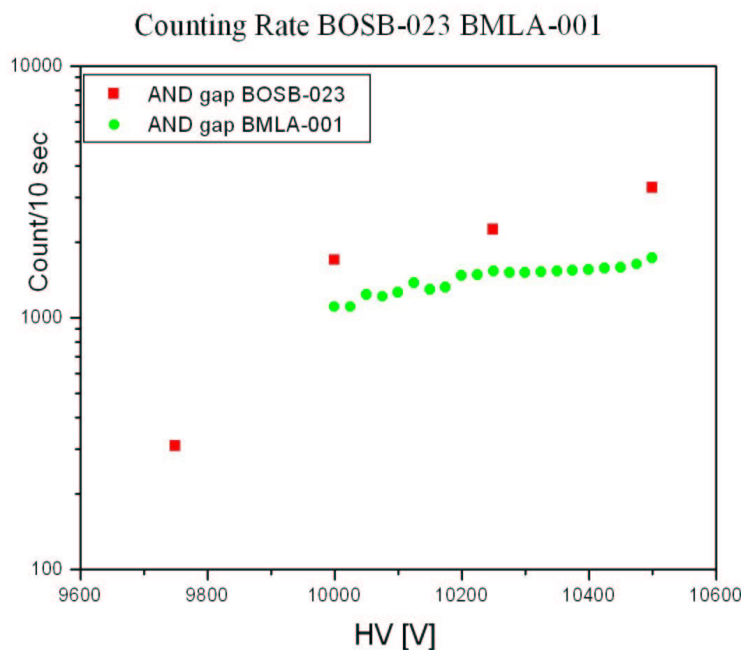


Figura 5.4: *Tasso di concidenza tra i conteggi delle gap poste nel lato sinistro delle camere BOSB-023 e BMLA-001 ($T = 22^{\circ}C$, composizione del gas: $C_2H_2F_4$ (96.5%)- $isoC_4H_{10}$ (3%)- SF_6 (0.5%).*

Il grafico mostra che il conteggio della camera BMLA-001 è compatibile con quello atteso dal passaggio dei raggi cosmici, mentre quello della camera BOSB-023 presenta un eccesso di conteggi di circa il 50% dovuto a coincidenze casuali tra le due gap. Nonostante ciò c'è d'aspettarsi che, realizzando la concidenza tra due rivelatori di tipo BOSB della pre-produzione, sia possibile abbattere il rumore e selezionare raggi cosmici. Tale aspettativa è dimostrata ampiamente nel paragrafo §5.3 .

5.3 Verifica del corretto funzionamento della stazione di test

L'elevato numero di elementi, che compongono la stazione di test, ha richiesto un lungo e meticoloso lavoro di verifica, al fine di assicurarne il perfetto funzionamento. In una prima fase sono stati verificati i funzionamenti delle singoli componenti (hardware e software) e successivamente l'insieme dell'intero sistema.

La verifica globale è stata effettuata con l'implementazione di un sistema di trigger indipendente dai rivelatori in esame. Il sistema di trigger ausiliario è stato relizzato mediante l'utilizzo di una serie di scintillatori plastici, ognuno dei quali letto da fotomoltiplicatori posti su entrambe le estremità. Gli scintillatori plastici sono stati disposti su due piani, sopra e sotto un quadrupletto di camere di tipo BOSB mediante un carrello scorrevole (vedi figura 5.5). La superficie attiva dei piani, posti ad una distanza di 65 cm l'uno dall'altro, era di circa $80 \times 80 \text{ cm}^2$. Il tasso di eventi selezionati, mediante tale sistema, è stato misurato essere di circa 5 Hz ma sufficiente per gli scopi prefissi.



Figura 5.5: *Sistema di scintillatori con cui si è realizzato il sistema di trigger ausiliario.*

In figura 5.6 è possibile osservare come, il profilo degli eventi ricostruito mediante il sistema di trigger ausiliario, rifletta correttamente la posizione geometrica dell'area sottesa dalla parte attiva degli scintillatori. In ogni istogramma è riportata la posizione dell'asse di giacitura dei due piani rispettivamente all'asse centrale della gap analizzata.

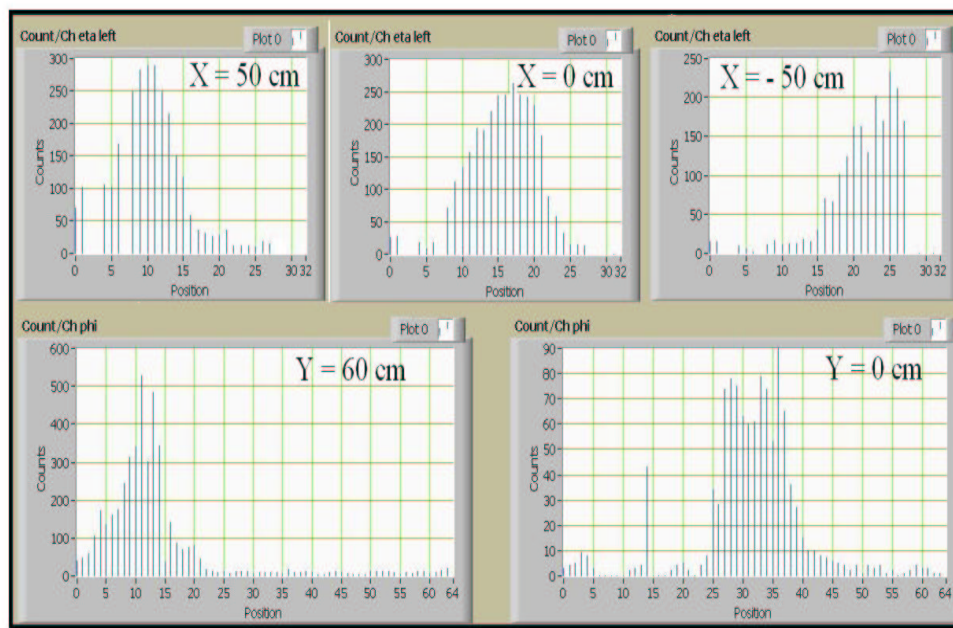


Figura 5.6: *Profili delle risposte dei pannelli di strip relativi a posizioni differenti del sistema di trigger ausiliario rispetto al punto centrale della gap esaminata.*

5.4 Caratterizzazione delle camere di trigger per la stazione di test

Al fine di caratterizzare una serie di camere di tipo BOSB, da cui selezionare le camere di trigger per la stazione di test, si è configurato un quadrupletto di RPC che ha superato i test preliminari descritti in §5.1. La procedura di test è consistita in due serie distinte di misure e di una fase di analisi off-line.

Nella prima serie si sono acquisiti dati generando il segnale di trigger con

un generatore di segnali (*Random trigger*). Questo allo scopo di misurare la rumorosità dei singoli canali di front-end delle camere ed identificare l'eventuale presenza di canali non funzionanti.

Nella seconda serie di misure si è acquisito dati utilizzando, alternativamente, una coppia di rivelatori per generare il segnale di trigger e determinando la curva di efficienza della coppia rimanente. In questa serie di misure si è determinata l'efficienza dei singoli pannelli di strip al variare dell'alta tensione sugli elettrodi ed al variare della tensione di soglia del front-end. L'efficienza di un pannello è stata ottenuta cercando, in prossimità della proiezione della traccia ricostruita utilizzando le camere di trigger, i canali che hanno risposto⁴.

La fase di analisi dati si è avvalsa dell'utilizzo del programma MALIS [35] in C++ in grado di produrre una serie dettagliata d'informazioni sul funzionamento delle camere ed in particolare di ricostruire tracce in entrambe le proiezioni. Le informazioni prodotte sono state visualizzate in istogrammi che descrivono misure specifiche dei singoli pannelli di strip. In ogni istogramma i pannelli di strip sono individuati dalla coordinata di misura (ϕ o η), dalla posizione verticale (up o down) e dal lato di collocazione (left o right). In una prima fase dell'analisi vengono prodotti i file **noise** e **dead channel**, mediante lo studio di questi file sono state estratte le informazioni relative al comportamento dei singoli canali. Nella seconda fase vengono prodotti i file **res**, **eff** e **plateau** all'interno dei quali sono riportate le curve di efficienza dei pannelli di strip esaminati e tutte le informazioni relative alle modalità di risposta degli stessi: *cluster size, molteplicità, time distribution,...*

Nelle figure 5.7 e 5.8 sono invece riportate le curve di efficienza in funzione dell'alta tensione di ogni pannello di strip della camera BOSB-022 per una tensione di soglia pari a -1 V. La curva di efficienza, interpolata attraverso la funzione definita dalla formula:

$$Eff = \frac{Eff_{plateau}}{1 + 81 \frac{\Delta_{10\%}^{90\%}}{V_{1/2} - V}} \quad (5.1)$$

è caratterizzata dai parametri $Eff_{plateau}$, $V_{1/2}$ e $\Delta_{10\%}^{90\%}$, dove $Eff_{plateau}$ è l'efficienza estrapolata a valori infiniti di alta tensione, $V_{1/2}$ è il valore di

⁴L'intervallo di fiducia nel quale si è cercato i canali che hanno risposto è stato pari a più o meno una strip rispetto alla posizione individuata dalla proiezione della traccia.

5.4 Caratterizzazione delle camere di trigger per la stazione di test

alta tensione per il quale $Eff = 0.5 \cdot Eff_{plateau}$ e $\Delta_{10\%}^{90\%}$ è l'intervallo di alta tensione in cui l'efficienza varia da $0.1 \cdot Eff_{plateau}$ a $0.9 \cdot Eff_{plateau}$.

(T=20 C, P= 980 hPa)

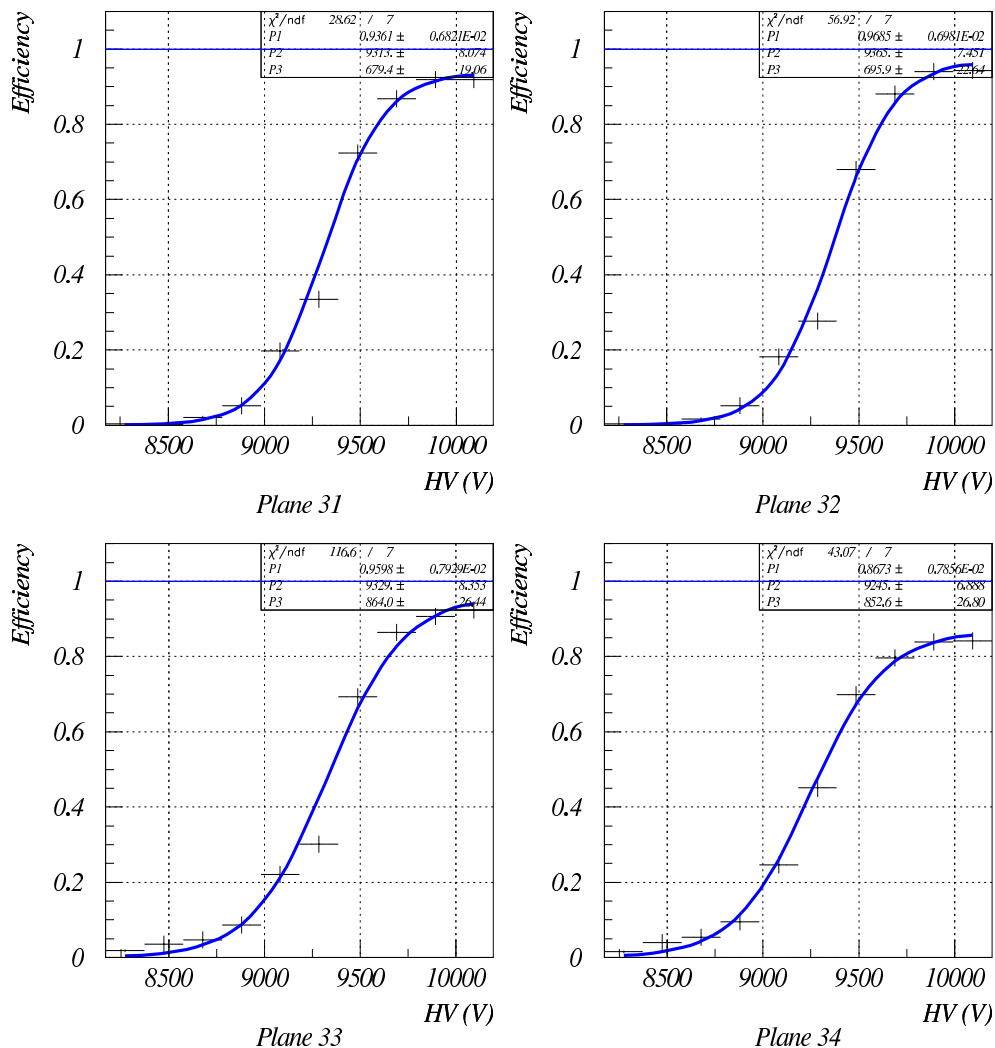


Figura 5.7: Curve di efficienza dei pannelli di strip left della camera BOSB-022 ($T = 31^{\circ}C$, composizione del gas: $C_2H_2F_4$ (93.5%)- $isoC_4H_{10}$ (6%)- SF_6 (0.5%)).

(T=20 C, P= 980 hPa)

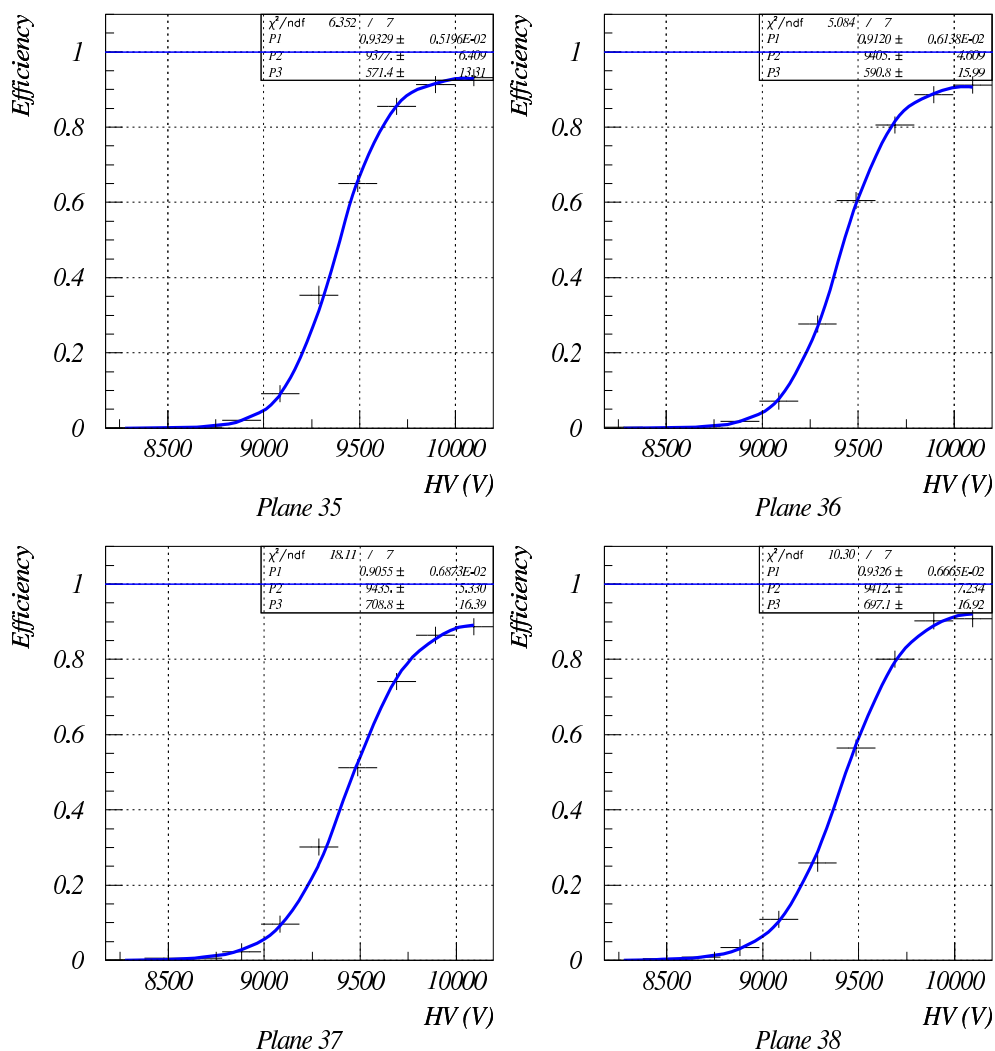


Figura 5.8: Curve di efficienza dei pannelli di strip right della camera BOSB-022 ($T = 31^{\circ}\text{C}$, composizione del gas: $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$ (93.5%) - iso C_4H_{10} (6%) - SF_6 (0.5%)).

In tab. 5.1 sono riportati il numero di canali non funzionanti, per ogni pannello di strip, dei quattro rivelatori sottoposti a test.

Pannello di strip	<i>BOSB-014</i>	<i>BOSB-019</i>	<i>BOSB-022</i>	<i>BOSB-023</i>
ϕ_{left}^{up}	1	4	14	1
η_{left}^{up}	1	2	2	2
η_{left}^{down}	11	8	5	1
ϕ_{left}^{down}	5	15	0	1
ϕ_{right}^{up}	10	6	0	4
η_{right}^{up}	1	1	3	3
η_{right}^{down}	2	3	0	0
ϕ_{right}^{down}	2	2	3	0

Tabella 5.1: Numero di canali non funzionanti nei rivelatori sottoposti a test individuato mediante misure con “random trigger”.

Nella tabella 5.2 è riportato il parametro misurato $Eff_{plateau}$, detto *Efficienza di plateau*, per ogni pannello di strip presente nella camera BOSB-014 unitamente ai valori dei parametri $V_{1/2}$ e $\Delta_{10\%}^{90\%}$. Le misure sono state compiute con una tensione di soglia $V_{th} = -1$ V, una miscela di gas di composizione $C_2H_2F_4(93.5\%)-isoC_4H_{10}(6\%)-SF_6(0.5\%)$ ed a una temperatura di $30,5^{\circ}C$. Il valore dell’alta tensione applicata è sempre rinormalizzato alla temperatura di $20^{\circ}C$ ed alla pressione di 980 mbar mediante la formula:

$$V = V_a \times \frac{P_0}{P} \times \frac{T}{T_0} \quad (5.2)$$

dove V_a è il valore di alta tensione effettivamente applicato, T e P sono la temperatura assoluta e la pressione atmosferica del laboratorio, $T_0 = 293^{\circ}K$ e $P_0 = 1010$ mbar [16].

Pannello di strip	$Eff_{plateau}$	$V_{1/2}$	$\Delta_{10\%}^{90\%}$
ϕ_{left}^{up}	$97,0 \pm 0,4$	9279 ± 5	586 ± 15
η_{left}^{up}	$98,4 \pm 0,4$	9303 ± 4	600 ± 17
η_{left}^{down}	$97,0 \pm 0,6$	9327 ± 3	511 ± 26
ϕ_{left}^{down}	$97,3 \pm 0,4$	9252 ± 6	655 ± 15
ϕ_{right}^{up}	$94,1 \pm 0,6$	9386 ± 3	485 ± 21
η_{right}^{up}	$97,3 \pm 0,4$	9352 ± 4	595 ± 13
η_{right}^{down}	$98,6 \pm 0,3$	9330 ± 4	564 ± 15
ϕ_{right}^{down}	$94,7 \pm 0,4$	9246 ± 4	615 ± 21

Tabella 5.2: Efficienze di plateau e valori dei parametri $V_{1/2}$ e $\Delta_{10\%}^{90\%}$ dei pannelli di strip della camere BOSB-014.

5.4.1 Studio della curva di efficienza in funzione della tensione di soglia

La curva di efficienza delle camere è strettamente dipendente dalla tensione di soglia dell'elettronica di front-end. Al fine di determinare il valore della tensione di soglia, per la quale l'efficienza delle camere è massima, è stato effettuato uno studio della variazione della curva di efficienza al variare di V_{th} . In Fig. 5.9 e in Fig. 5.10 sono riportate rispettivamente le curve di efficienza e l'efficienza di plateau del pannello di strip ϕ_{right}^{down} della camera BOSB-022 per quattro diversi valori della tensione di soglia.

È interessante notare che l'efficienza di plateau al crescere del valore di V_{th} , cioè al diminuire della soglia fisica V_{sf} (vedi §3.3), cresce fino ad un valore massimo per poi ridursi. Tale riduzione dell'efficienza è causata dall'eccessivo incremento del rumore del rivelatore che rende difficoltosa la ricostruzione della traccia. Tali risultati sono confermati dai dati della stazione di test di Napoli [37].

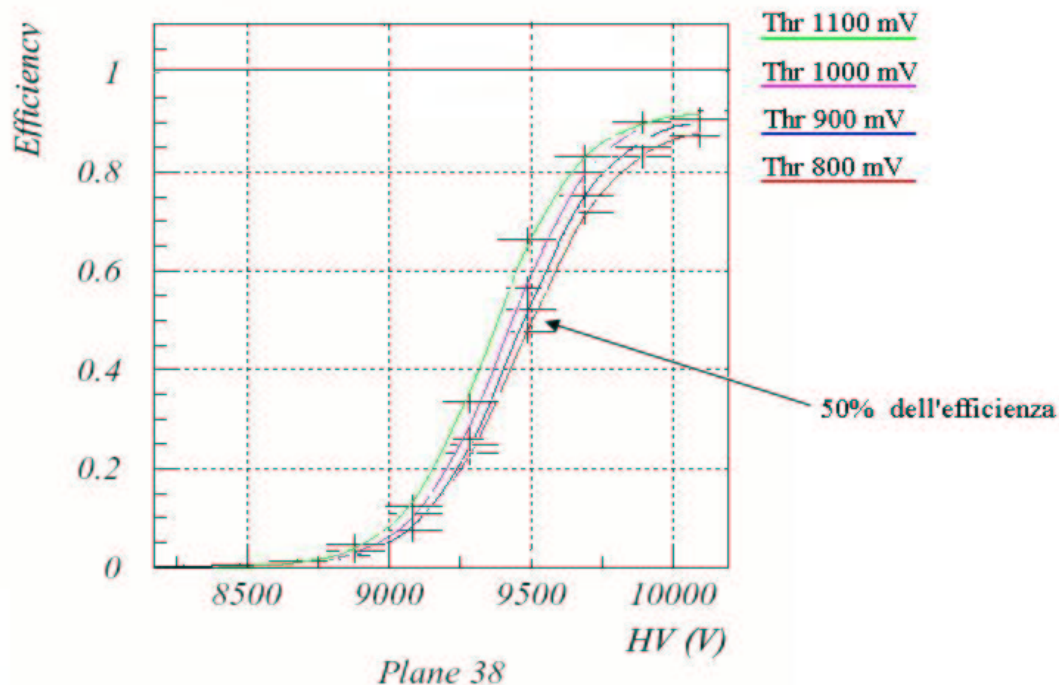


Figura 5.9: Curve di efficienza a V_{th} pari a: -800 mV (a), -900 mV (b), -1000 mV (c), -1100 mV (c). Si noti l'arretramento e la modifica dell'inclinazione in funzione del valore della tensione di soglia (Le misure si riferiscono al pannello di strips $\phi_r^{down:right}$ della camera BOSB-022).

In Fig. 5.11 ed in Fig. 5.12 sono riportati rispettivamente l'andamento del parametro $V_{1/2}$ e $\Delta_{10\%}^{90\%}$ per quattro diversi valori della tensione di soglia. Tali figure mostrano come al crescere della tensione V_{th} entrambi i parametri subiscono una diminuzione, infatti in Fig. 5.9 è possibile osservare un sensibile arretramento del "ginocchio" ed un aumento dell'inclinazione della curva di efficienza al variare di V_{th} . Infatti, per soglie fisiche inferiori la camera è in grado di rilevare anche valanghe elettroniche che hanno subito un'inferiore moltiplicazione. Conseguentemente la camera sarà efficiente per valori più piccoli di alte tensioni. Inoltre l'incremento di sensibilità farà sì che la camera raggiunga alti valori di efficienza più rapidamente al crescere dell'alta tensione.

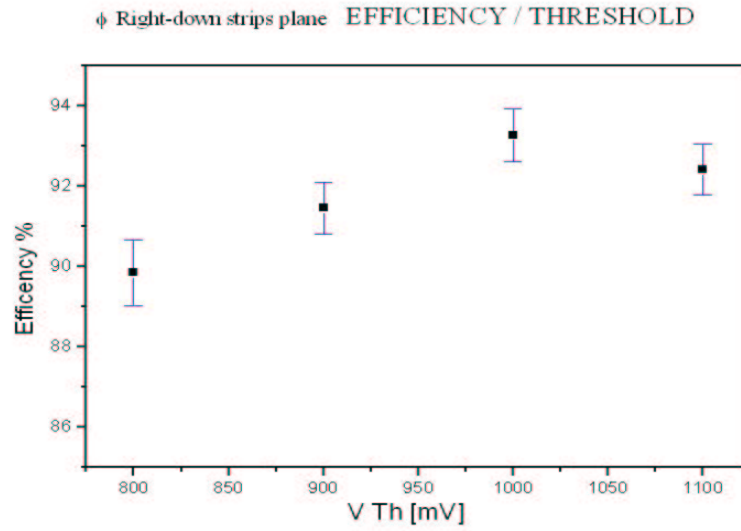


Figura 5.10: *Andamento dell'efficienza in funzione della tensione di soglia (I dati sono estratti dalle curve di Fig. 5.9).*

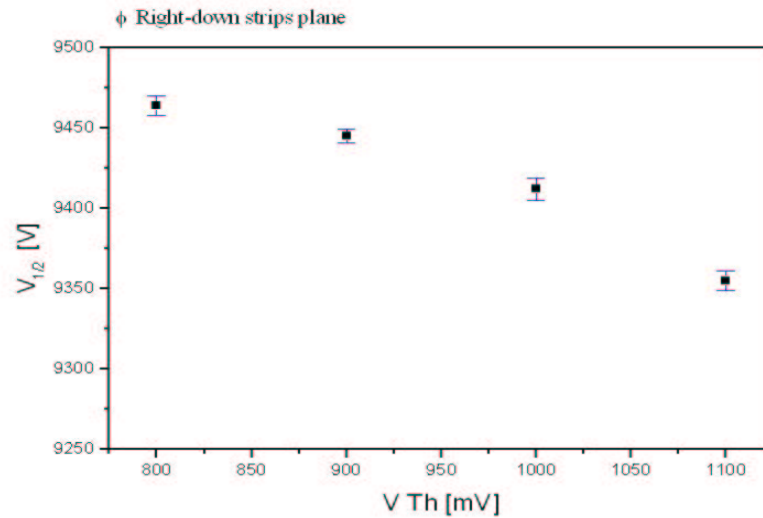


Figura 5.11: *Variazione del parametro $V_{1/2}$ della curva di efficienza al variare della tensione di soglia (I dati sono estratti dalle curve di Fig. 5.9).*

5.5 Studi sulla velocità di acquisizione dati della stazione di test⁹²

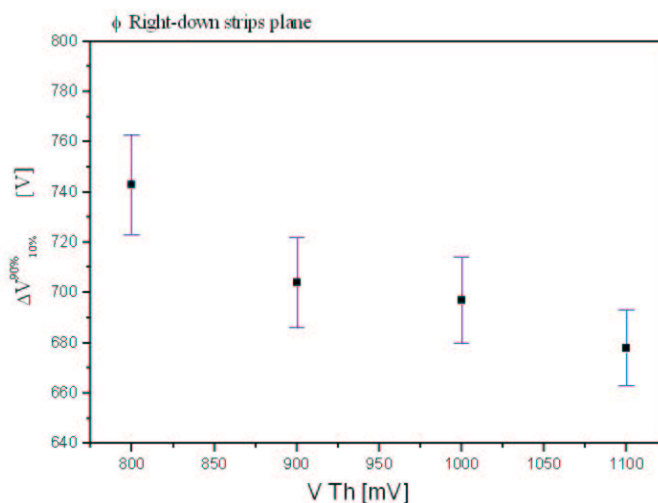


Figura 5.12: *Variazione del parametro $\Delta V_{10\%}^{90\%}$ della curva di efficienza al variare della tensione di soglia (I dati sono estratti dalle curve di Fig. 5.9).*

Il trigger per la stazione di test

Le misure compiute nelle pagine precedenti mostrano che le camere BOSB analizzate, pur non avendo sempre elevati valori di efficienza e presentando un discreto numero di canali non funzionanti, possono comunque essere utilizzate per la realizzazione del trigger della stazione di test. Infatti è stato dimostrato che sono stati sufficienti due rivelatori RPC per la selezione dei raggi cosmici. Quindi l'utilizzo contemporaneo di quattro rivelatori RPC, come sistema di trigger, rappresenta una scelta conservativa, in grado di selezionare particelle distribuite uniformemente sulle camere sottoposte a test.

5.5 Studi sulla velocità di acquisizione dati della stazione di test

Il tempo impiegato per compiere un test completo sulle camere RPC è direttamente legato alla capacità di acquisizione dei dati generati dai

5.5 Studi sulla velocità di acquisizione dati della stazione di test⁹³

rivelatori in esame. Al fine di verificare la velocità di acquisizione effettiva del sistema di acquisizione dati è stato analizzato il tempo impiegato dal sistema per trasferire e salvare i dati.

Lo studio della velocità di acquisizione in funzione della dimensione del file prodotto ha evidenziato un rallentamento del sistema in funzione non della dimensione del file prodotto ma in funzione della durata dell'acquisizione stessa. Un'attenta analisi ha portato ad individuare come causa di ciò l'inserimento dei dati provenienti dal DCS. Ogni qualvolta il programma deve inserire un evento da DCS è costretto ad interrompere l'acquisizione e a ricopiare i dati del monitoraggio della stazione. Sottraendo i tempi morti, così introdotti, il rapporto tra la dimensione del file prodotto ed il tempo di acquisizione, assume un andamento perfettamente lineare (vedi Fig. 5.13), è quindi possibile determinare la reale velocità di trasferimento dati che risulta pari a: $84,0 \pm 1.4$ KB/s .

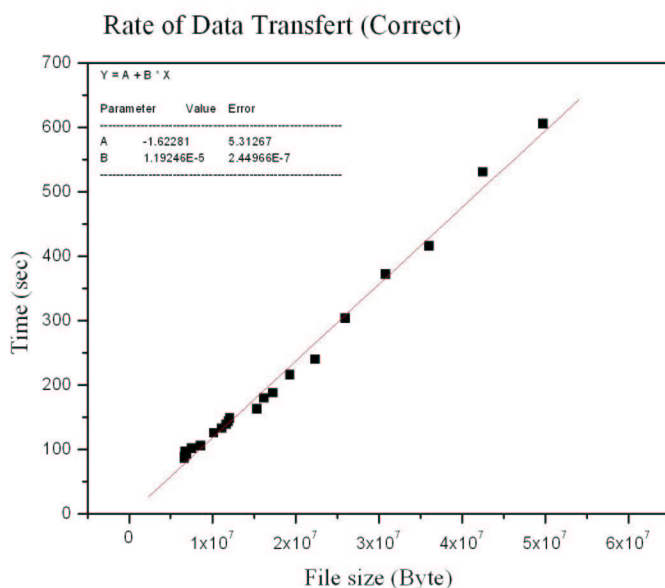


Figura 5.13: *Rapporto tra i tempi di acquisizione e la dimensione dei file prodotti.*

Il tasso di acquisizione degli eventi è quindi indipendente dal numero di eventi acquisiti, ma dipende strettamente dalla dimensione dei dati stessi.

5.5 Studi sulla velocità di acquisizione dati della stazione di test

Infatti nelle acquisizioni fin qui realizzate il tasso è variato da circa 220 Hz, per l'acquisizione di eventi di dimensione media pari a 380 byte, a circa 19 Hz per la l'acquisizione di eventi di dimensione media pari 4.4 KB.

Nella configurazione finale della stazione di test un evento costituito da un raggio cosmico, che lascia segnale su tutti pannelli di strip delle 12 camere attraversate e del quale si acquisisce l'intera finestra temporale, avrà una dimensione media pari a circa 6.5 KB. Questo comporta, data la velocità di trasferimento dati attuale, un tasso di acquisizione massimo sostenibile di circa 13 Hz.

È possibile incrementare il tasso di acquisizione riducendo la finestra temporale letta. La lunghezza temporale media del segnale è di circa 120 ns, è quindi sufficiente l'acquisizione di 10 bin temporali dei moduli Latch (150 ns) per garantire l'intera lettura del segnale. Un evento così acquisito ha una dimensione media pari a 2 KB ed il tasso di acquisizione sostenibile raggiunge circa 40 Hz, paragonabile al flusso di raggi cosmici che attraversano la stazione.

Conclusioni

La certificazione di qualità, richiesta per i rivelatori RPC dello spettrometro muonico di ATLAS, ha richiesto la realizzazione di una *stazione di test* con raggi cosmici presso, la sezione dell'INFN di Lecce.

In questo lavoro di tesi è stato descritto, oltre alla fisica degli RPC e dell'esperimento ATLAS, il contributo da me dato nella progettazione, realizzazione e nella dimostrazione di buona funzionalità della stazione di test di Lecce.

Durante i mesi trascorsi in laboratorio ho messo a punto gli strumenti e le tecniche sperimentali necessari al funzionamento del sistema. Tali aspetti sono riassunti nel terzo capitolo, in particolare viene data una specifica descrizione del sistema di acquisizione dati.

Una parte considerevole del mio lavoro, descritta nel quarto capitolo, ha riguardato la progettazione del software di acquisizione dati (programma *DAQ*) mediante l'utilizzo del pacchetto di applicazioni Labview. Le richieste di *rapidità di acquisizione*, *flessibilità di utilizzo* e *monitoraggio della presa dati* hanno imposto uno studio approfondito delle modalità di trasmissione dati, tra stazione di test e software di acquisizione, ed un sofisticato utilizzo dell'ambiente grafico di Labview. Il programma realizzato è in grado di acquisire e salvare ordinatamente gli eventi prodotti, durante le fasi di presa, dati alle velocità richieste.

La verifica del funzionamento dell'intero sistema è stata effettuata mediante la caratterizzazione di rivelatori RPC di tipo BOSB della riproduzione di ATLAS. I risultati dei test di caratterizzazione sono esposti nel quinto capitolo, unitamente alla procedure adottate per la loro realizzazione. In quest ultimo capitolo è dimostrata la capacità di selezione dei raggi cosmici mediante l'utilizzo di una coppia di rivelatori RPC e le proprietà basilari delle camere scelte per la costituzione del sistema di trigger della stazione. È inoltre riportato lo studio dell'efficienza dei rivelatori in

funzione della tensione di soglia, che ha permesso di individuare il miglior punto di lavoro delle camere RPC, e la misura della velocità di acquisizione raggiunta con il sistema d'acquisizione dati.

A conclusione di questo lavoro possiamo affermare che la stazione di test per gli RPC di Lecce è un sistema collaudato nelle sue componenti principali, perciò in grado di certificare gli standard di qualità richiesti agli RPC di ATLAS.

Appendice A

Il SubVI *Read All Bank*

A.1 Struttura del Vi

In questa appendice è analizzato il SubVI *Read All Bank*, all'interno del quale avviene la lettura dei dati acquisiti dai moduli latch. In Fig. A.1 è riportata il pannello di controllo del SubVi.

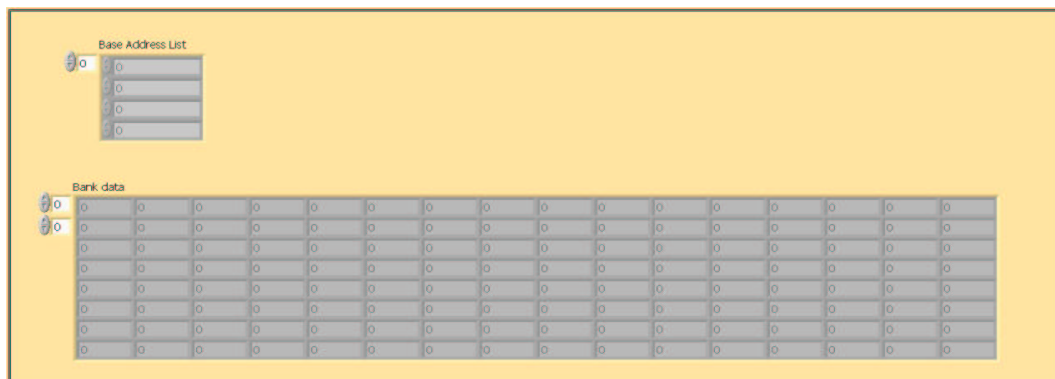


Figura A.1: *Pannello di controllo del SubVi Read All Bank.*

Il programma si presenta all'utente composto da un vettore d'ingresso (*Base Address List*) e da una matrice d'uscita dati (*Bank data*). Il vettore *Base Address List* permette l'inserimento degli indirizzi esadecimali delle bank interessate all'acquisizione, la matrice *Bank data*, invece visualizza i dati acquisiti, ovvero, i trentuno bin temporali di ogni banco di memoria

latch preceduti dall'indirizzo esadecimale VME del banco di memoria di appartenenza.

La struttura del programma, è composta da un *sequence* principale di due pagine che costruisce gli indirizzi dei moduli latch da acquisire e da un *sequence* secondario, a sua volta di due pagine, nel quale vi è la lettura dei dati, dal bus VME. Nella prima pagina del *sequence* principale, mostrata in Fig. A.2, sono semplicemente azzerate le variabili *number of bank*, *Bank data*, e *List Latch* utilizzate dal Vi, per evitare sovrapposizioni di dati.

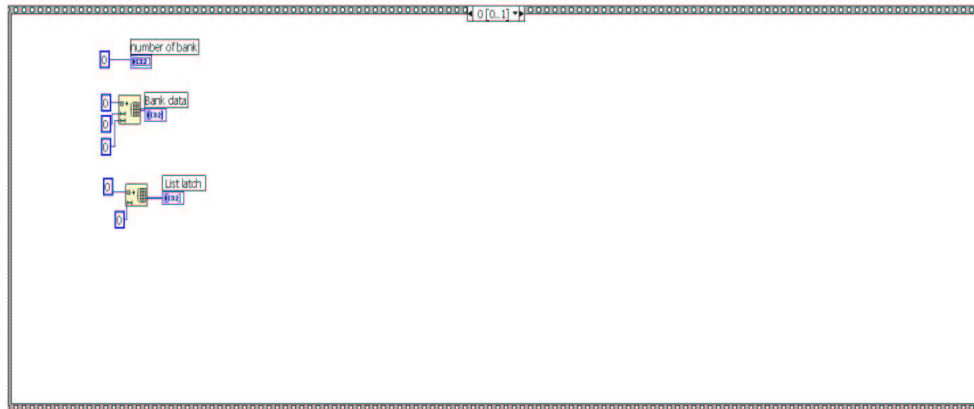


Figura A.2: *Prima pagina del sequence principale del Vi Read All Bank.*

Nella seconda pagina dello stesso *sequence*, riportata in Fig. A.3, dal vettore *Adres list*, sono ricavati, attraverso un ciclo *For* gli indirizzi dei latch da acquisire. Inoltre nella prima pagina del *sequence* secondario, inserito in un ciclo *For*, è costruito il vettore *number of bank* contenente, il numero identificativo della posizione del banco di memoria, nel modulo latch di appartenenza.

Nella seconda pagina del *sequence* secondario, è composto l'indirizzo VME del trentaduesimo bin di ogni banco di memoria presente nella configurazione adottata. Tale indirizzo è posto in ingresso della funzione elementare *VXIn*, in questo modo, di ogni banco di memoria è letto l'*or* logico di tutti i bin. Se risulta vuoto, la funzione restituisce uno zero ed il programma passa ad interrogare l'*or* logico del banco di memoria successivo. In questo modo si evita di acquisire tutti i banchi indiscriminatamente, ma vengono acquisiti solo quelli non vuoti.

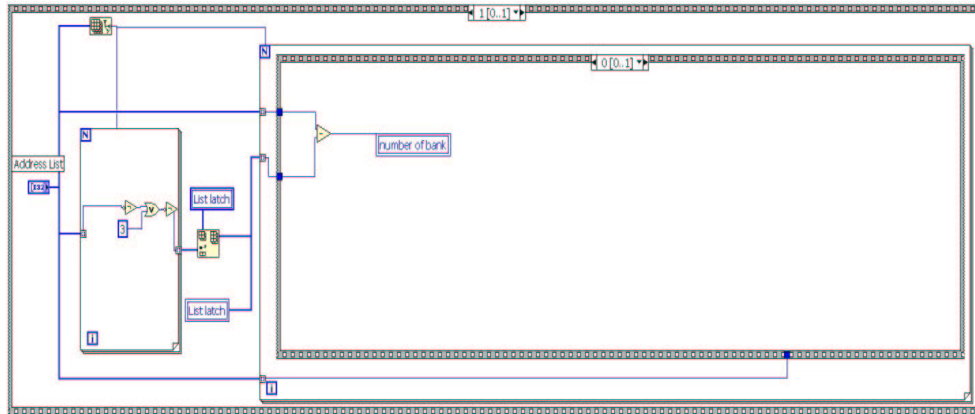


Figura A.3: Seconda pagina del sequence principale del Vi Read All Bank.

In Fig. A.4 è riportato il *sequence* nella quale avviene la lettura dell'*or* logico di ogni banco di memoria.

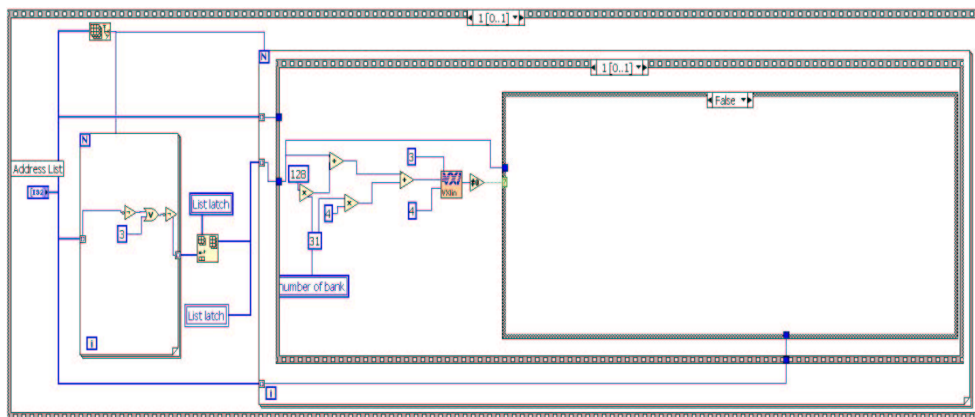


Figura A.4: Diagramma di lettura dell'*or* logico dei banchi di memoria presenti nella configurazione.

Se il banco di memoria risulta non vuoto, il programma entra nella fase di acquisizione. All'interno di un ciclo *For* sono composti gli indirizzi VME di tutti i canali presenti nella banco in esame. Di volta in volta, l'indirizzo composto, è trasmesso all'ingresso della funzione *VXIn* che ne legge il contenuto e ne restituisce il valore. All'uscita del ciclo *For* è poi creato

un vettore contenente i trentuno bin temporali letti, anteceduto dall'indirizzo del banco di memoria di cui fanno parte, ed è inserito nella matrice *Bank Data* che è il risultato ultimo del SubVi *Read All Bank*. Tale matrice è quindi trasferita al Vi principale, ovvero al programma DAQ. In Fig. A.5 è riportata la fase di acquisizione dei dati e la realizzazione della matrice *Bank Data*.

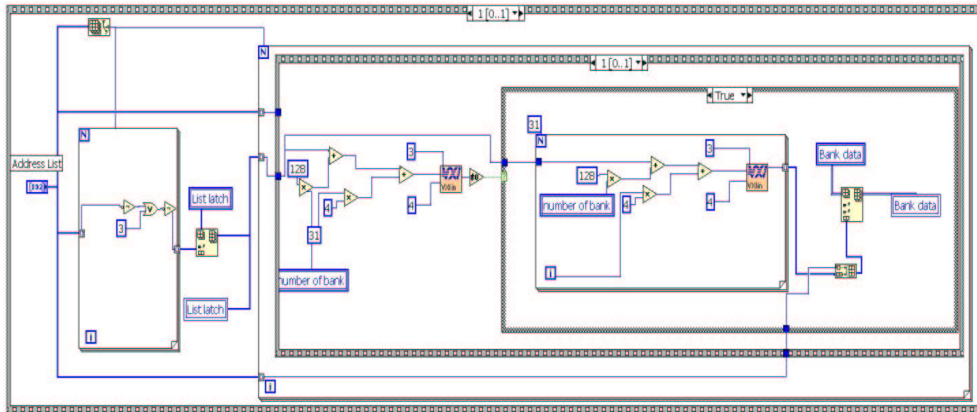


Figura A.5: *Acquisizione dei dati.*

Bibliografia

- [1] F. Halzen e A.D. Martin: *QUARKS AND LEPTONS An Introductory Course in Modern Particle Physics*. John Wiley e Sons New York 1984.
- [2] Gargamelle Collaboration: F.J. Hasert et al. Phys Lect. 46B, 138 (1973).
- [3] *Recent Result from the UA1 Experiment at CERN*. SLAC Pubs and Reports SS186-013.
- [4] R. Eiseberg e R. Resnick: *Quantum Physics*. John Wiley e Sons, New York 1974.
- [5] S. Weinberg: *Recent Progress in the Gauge Theories of the Weak and Electromagnetic Interaction*. Rev. Mod. Phys. 46, 255, (1974).
- [6] D. E. Groom et al.: *The Review of Particle Physics*. The European Physical Journal, C15, 1 (2000).
- [7] F. Giannotti: *Physics at LHC*. Summer student lecture programe 2001.
- [8] W. Martin: *Electroweak Precision Data - Global Higgs Analysis*. UCD-EXP/030401 hep-ex/0304023.
- [9] *ATLAS detector and physics performance*. Technical Designe Report, May 1999.
- [10] Claus Grupen: *Physics of Particle Detection*. Lecture Department of Physics, University of Siegen.
- [11] R. Santonico R. Cardarelli: *Development of resistive plate counters*. Nuclear Instruments and Methods, Roma, 1981.

-
- [12] R. Cardarelli: *Sviluppo dei rivelatori ad elettrodi piani resistivi e loro possibili applicazioni in esperimenti di fisica passiva*. Roma Tesi di laurea A.A. 1984/85 .
- [13] F. Bella, C. Franzinetti: *Nuovo Cimento* 10. 1335-1461, 1953.
- [14] H. Raether: *Electron avalanches and breakdown in gases*. London Butterworths 1964.
- [15] R.Cardarelli, V.Makeev, R.Santonico: *Avalanche and streamer mode operation of resistive plate chambers*. Nuclear Instruments and Methods A 382, 470- 474 (1996).
- [16] P. Camarri, R. Cardarelli, A. Di Ciaccio, R. Santonico: *Streamer suppression with SF₆* Nuclear Instruments and Methods, 414, 317 (1998).
- [17] J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol.29, No. 3, 2000.
- [18] W. Riegler, C. Lippmann: *The Physics of Resistive Plate Chamber*.Frontier Detector for Frontier Physics Elba 27 May 2003.
- [19] S.Ramo, Proc. IRE 27 584 (1939).
- [20] E.Gatti et al., Nuclear Instruments and Methods 193, 651 (1982).
- [21] Y. Inoue, Y. Muranishi, M.Nakamura, E. Nakano, T. Takahashi, Y. Teramoto: *High voltage distribution in RPCs*. Nuclear Instruments and Methods A 372, 44 (1996).
- [22] R. Arnaldi et al. : *Study of Resistive Plate Chambers for the Alice dimuon spectrometer*. Nuclear Physics 78, 84-89 Suppl (1999).
- [23] E. Cerron Zeballos, I. Crotty, D. Hatzifotiadou, J. Lamas Valverde, S. Neupane, M.C.S. Williams and A. Zichichi: *The multigap Resistive Plate Chambers*. Nuclear Instruments and Methods A 306, 512 (1995).
- [24] M. Abbrescia et al. : *The simulation of resistive plate chambers in avalanche mode: charge spectra and efficiency*. Nuclear Instruments and Methods A 431, 413-427 (1999).
- [25] Resistive Plate Chambers P.R.R.. ATLAS RPC Collaboration (1999).

-
- [26] <http://CAD.infn.le.it>
- [27] http://www.caen.it/computing/opc_server.html
- [28] P. Iengo e ATLAS Napoli Group: *Cosmic Ray Test in Naples*. Muon Week CERN 19 Feb 2003.
- [29] <http://www.ni.com>
- [30] <http://www.ni.com/datasocket>
- [31] G. F. Tassielli: Tesi di Laurea: *Sistema di controllo e risultati preliminari della stazione di test degli RPC di ATLAS*. UNIVERSITÀ DEGLI STUDI di Lecce A.A. 2002/2003.
- [32] R. Assiro e P. Creti: Atlas Latch VME, Technical Information. INFN-LE March 2000.
- [33] R. Cardarelli e A.Di Ciaccio: *First-Level trigger for LHC experiment*. RD27 Status Report 9 Jan (1994).
- [34] <http://www.ni.com/products/>
- [35] Programma in C++ sviluppato dal Prof. Edoardo Gorini e dalla Dott.sa Margherita Primavera. Università di Lecce.
- [36] T.K.Gaisser: *Cosmic Rays and Particle Physics*. University Press, Cambridge 1990.
- [37] P. Iengo e ATLAS Napoli Group: *Aggiornamento sui risultati dei test sugli RPC a Napoli*. RPC Internal Meetings 28-29 January 2003, Lecce.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare i miei relatori Prof. E. Gorini e Dott. G. Chiodini, per il paziente e costante aiuto ricevuto nella realizzazione di questo lavoro di tesi.

Un doveroso ringraziamento va alla sezione dell'INFN di Lecce nelle persone del Prof. F. Grancagnolo ed il Dott. R. Perrino per avermi dato la possibilità di svolgere il mio lavoro all'interno della collaborazione ATLAS e per gli innumerevoli consigli ricevuti.

Un caloroso ringraziamento va ai tecnici dell'INFN G. Fiore e A. Miccoli per il prezioso aiuto datomi in laboratorio e soprattutto per il necessario supporto morale.

Un sentito grazie va a C. Chiri e F. Salamida per i consigli e gli aiuti ricevuti durante la scrittura di questa tesi.

Un pensiero tutto particolare va a Gianfranco con cui ho condiviso con grande allegria un anno di lavoro e di difficoltà ed a Karen che nel frattempo mi ha fatto da "mamma".

Per ultimi, ma primi nei miei pensieri, voglio ringraziare i miei genitori e le mie sorelle che mi hanno permesso di raggiungere questo traguardo circondato dall'affetto e dalla tranquillità che solo loro sanno dare.