

CAPITOLO 2

Lo spettrometro per muoni

La presenza di muoni nello stato finale è una delle segnature più importanti nella nuova fisica che verrà studiata ad LHC. Nella regione più esterna dell'apparato ATLAS sarà realizzato uno spettrometro dedicato alla rivelazione di μ . Nel capitolo precedente sono state descritte le caratteristiche generali e gli obiettivi principali in base ai quali è stato progettato l'esperimento ATLAS. In questo capitolo viene descritto lo schema generale dello spettrometro [2] e viene dedicata una particolare attenzione alla descrizione della struttura dello spettrometro nella regione di *barrel* ($|\eta| < 1.05$) e ai rivelatori usati per il sistema di trigger. La progettazione del concentratore ottico, che è stata sviluppata durante questo lavoro di tesi, si inquadra infatti nell'architettura del sistema di trigger ed acquisizione dati di questa sezione dell'apparato.

La fisica dei muoni ad LHC

Buona parte degli eventi interessanti della fisica studiata ad LHC è caratterizzata dalla presenza di muoni nello stato finale. Il modello standard, ad esempio, prevede il decadimento del bosone di Higgs nel canale puramente leptonico $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow \mu\mu ll$, per il quale il momento dei muoni può assumere valori di $5 < p_T < 50$ GeV/c. Analogamente, nello studio della violazione di CP, che è un altro obiettivo di studio dell'esperimento ATLAS, è possibile osservare una asimmetria nella produzione di $\mu^+\mu^-$, in decadimenti CP coniugati. Per la fisica del quark B, invece, la funzione principale dello spettrometro sarà quella di fornire il trigger. In figura 2.1 sono riportate le sezioni d'urto di produzione di muoni attese alle energie raggiunte ad LHC, nella regione di *barrel* dello spettrometro. Sono rappresentate particelle con impulso trasverso $p_T > 3$ GeV/c: ad energie inferiori, infatti, i muoni vengono assorbiti nel sistema di calorimetri dell'apparato, prima di arrivare allo spettrometro.

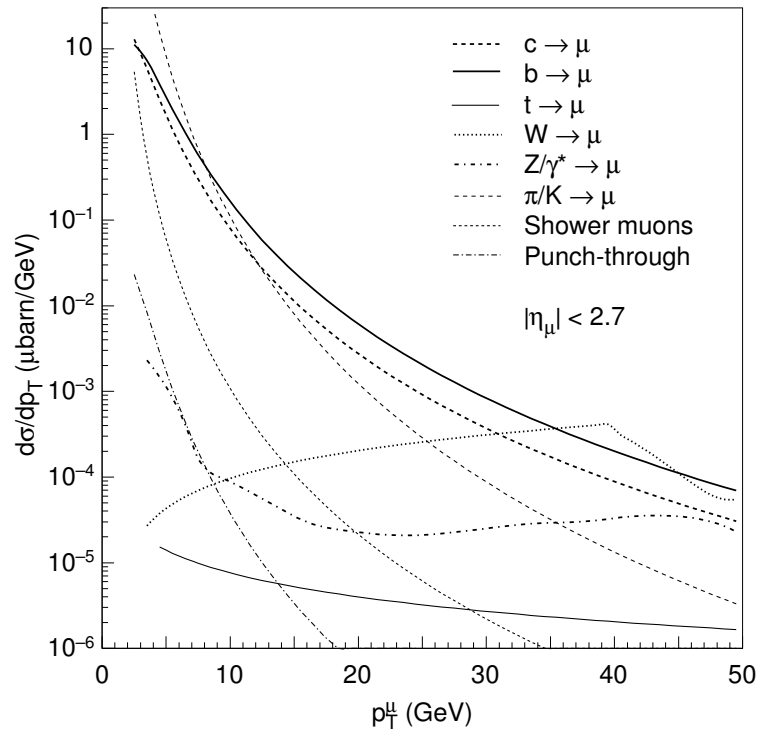


Figura 2.1 Sezioni d'urto di produzione di muoni ad LHC

Come si può vedere, per valori di $p_T > 10$ GeV/c, la produzione di muoni è dominata dai decadimenti semileptonici dei quark c e b ; i decadimenti delle particelle W danno un contributo significativo solo ad energie maggiori di 40 GeV. Per valori di impulso trasverso $p_T < 10$ GeV/c, invece, la sezione d'urto è dominata dai decadimenti dei mesoni π e K .

Assumendo una sezione d'urto in interazione profondamente inelastica protone-protone a 14 TeV di circa 80 mb, il flusso di muoni atteso nell'apparato è stimato in alcuni KHz cm^{-2} , ad $\eta=0$ e nell'attività ad alta luminosità. Tale frequenza, invece, è più elevata nella regione di pseudorapidità $|\eta| \sim 2.2$, arrivando fino ad alcune decine di KHz cm^{-2} .

Inoltre, nell'apparato esiste un fondo non trascurabile agli eventi indotti da muoni.

Il fondo maggiore è rappresentato da neutroni a bassa energia, fotoni, elettroni, muoni ed adroni derivanti dall'interazione degli adroni primari con i vari elementi dell'apparato, quali i calorimetri o i materiali che schermano i magneti; mentre buona parte delle particelle secondarie viene assorbita, i neutroni possono, invece, dare luogo, tramite processi nucleari, a gas di fotoni e, conseguentemente, elettroni prodotti per effetto Compton o a protoni. Questi, a causa del loro elevato numero, possono dar luogo nei rivelatori di trigger a coincidenze accidentali che simulano la presenza di un μ nello stato finale. La frequenza di eventi attesa è 5.2 Hz cm^{-2} nella regione di *barrel* dell'apparato, e di 4.5 Hz cm^{-2} nelle regioni di *end-cap* ad energie inferiori a 2 MeV. Ad energie maggiori, i flussi attesi sono rispettivamente 2 Hz cm^{-2} e 3.1 Hz cm^{-2} .

Significativo è anche il fondo dovuto alla penetrazione di radiazione cosmica nella caverna in cui è installato l'esperimento. La caverna è situata ad una profondità di circa 75 metri; tuttavia, muoni che incidono sulla superficie terrestre ad energie maggiori di 20 GeV riescono a raggiungere ugualmente l'apparato. Assumendo un flusso di muoni cosmici al livello del mare di $\sim 100 \text{ Hz m}^{-2}$, la frequenza corrispondente, per muoni con un

impulso trasverso $p_T > 6 \text{ GeV}/c$, è stimata essere $\sim 100 \text{ Hz}$. La frequenza di muoni cosmici nell'apparato, ad energie maggiori di 20 GeV , è invece soltanto $\sim 10 \text{ Hz}$.

In ogni caso, il rumore di fondo è inferiore di almeno un ordine di grandezza alla frequenza di produzione di muoni in interazione protone-protone, ma rappresenta, tuttavia, una sorgente di eventi interessanti nello spettrometro nei primi periodi di funzionamento, per la calibrazione dell'apparato.

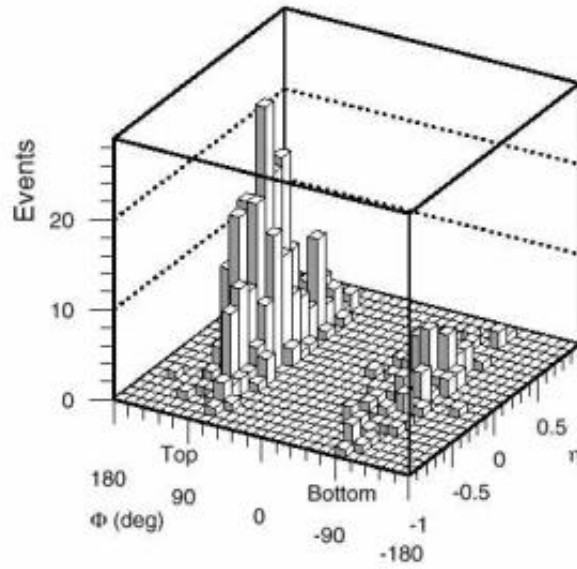


Figura 2.2 La distribuzione in η e in ϕ degli eventi indotti dalla radiazione cosmica all'interno dello spettrometro, per valori di $p_T > 6 \text{ GeV}/c$

E' da tener presente, inoltre, la radiazione ad elevata pseudo-rapidità, che viene generata dall'interazione del fascio di protoni con la nube di particelle residua nella camera di accelerazione di LHC, derivante da collisioni precedenti (interazione *beam-halo*). I muoni prodotti hanno una distribuzione centrata attorno ad una energia di pochi GeV , ma con una coda fino a $p_T \sim 500 \text{ GeV}/c$. La frequenza di evento corrispondente è 250 Hz per $p_T > 6 \text{ GeV}/c$, mentre è di 16 Hz a $p_T > 20 \text{ GeV}/c$.

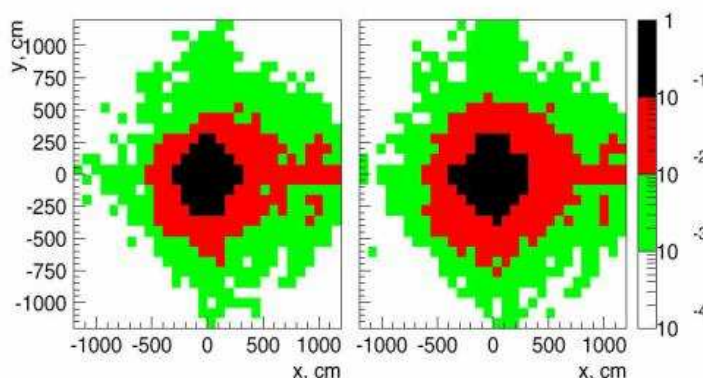


Figura 2.3 La distribuzione nel piano x-y dei muoni prodotti per interazione *beam-halo*

Infine, bisogna considerare la produzione nell'apparato di protoni, pioni e muoni ad energie ~ 100 MeV. In tal caso le particelle potrebbero indurre segnali in diversi piani di rivelatore simulando un evento a $p_t \sim 6$ GeV/c. Il flusso atteso è 1.4 Hz cm^{-2} e 3.0 Hz cm^{-2} nelle regioni di *barrel* ed *end-cap* rispettivamente, dove il 60 % degli eventi è legato ai muoni prodotti in interazione protone – protone.

La struttura dello spettrometro

Lo spettrometro dedicato per la rivelazione dei muoni verrà costruito nella regione più esterna dell'apparato ATLAS.

Lo spettrometro per la rivelazione di muoni è un sistema di tracciamento in un campo magnetico toroidale con camere di precisione e rivelatori di trigger dedicati. In particolare, come mostrato in figura 2.4, nella regione di *barrel* dell'apparato ($|\eta| < 1,05$), il campo è generato da un sistema di bobine assemblate radialmente. Le bobine sono contenute in criostati individuali. In questo modo la struttura aperta del sistema minimizza il

contributo della diffusione multipla alla risoluzione in momento dell'apparato.

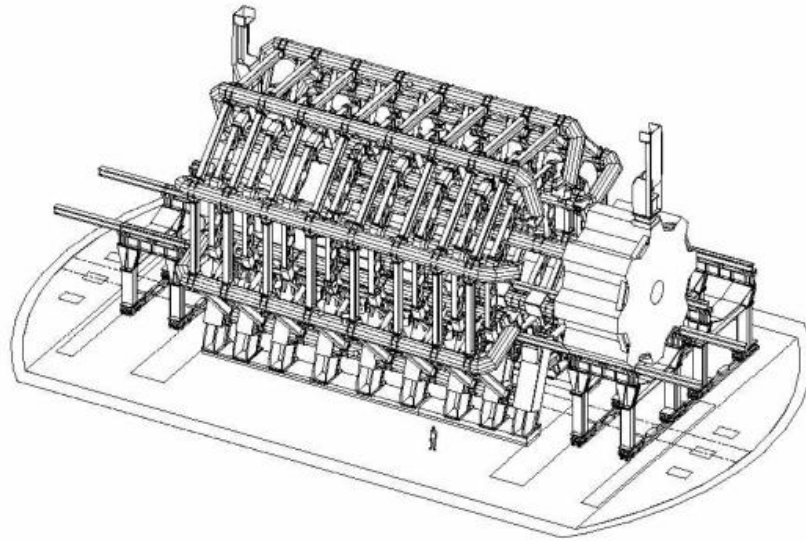


Figura 2.4 La struttura del magnete dell'apparato ATLAS

Nella tabella 2.1 sono riassunte le caratteristiche generali e gli obiettivi principali seguiti nel progetto dello spettrometro: sono indicati alcuni degli eventi interessanti nella ricerca ad LHC.

Parametri	Eventi	Obiettivi	Commenti
$\Delta p_t/p_t$ a 20 GeV/c	$H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$	1-2 %	risoluzione limitata da perdite in energia e scattering multiplo
$\Delta p_t/p_t$ a 75 GeV/c	$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$	1-2 %	
$\Delta p_t/p_t$ a 100 GeV/c	$Z \rightarrow \mu^+\mu^-$	< 10 %	risoluzione limitata dall'ottimizzazione dei costi.
accettanza in η	tutti	~ 3	accettanza limitata dall'integrazione del sistema e dalle strutture

Tabella 2.1 Parametri di progetto dello spettrometro

L'intera struttura ha diametro interno 9.4 m, diametro esterno 22 m, lunghezza 19.5 m. Il campo ha intensità variabile, dipendente dalla pseudorapidità, nell'intervallo 0.5-2 T.

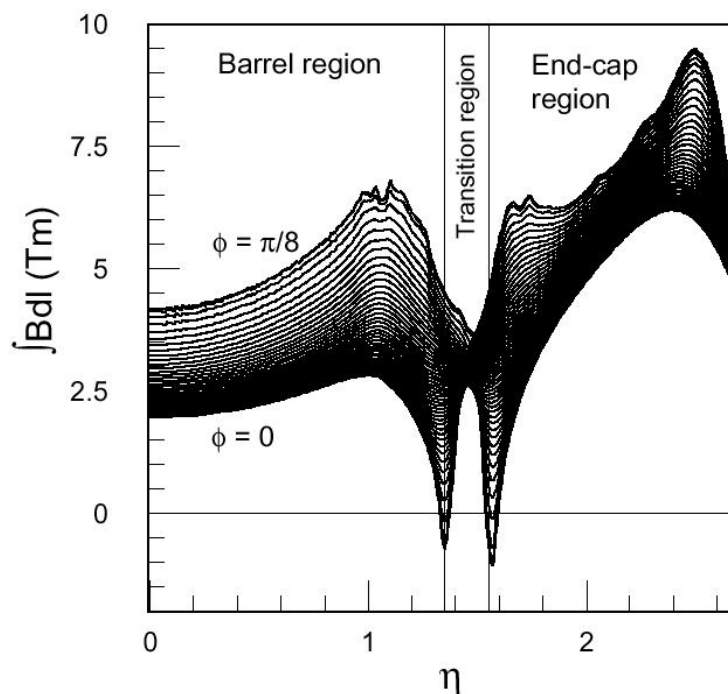


Figura 2.5 La componente azimutale integrata in funzione della coordinata di pseudorapidità η

Il principio alla base dello spettrometro è che le particelle cariche, deflesse dal campo magnetico, descrivono traiettorie curve. Definito un sistema di coordinate cilindriche, le particelle descrivono archi di circonferenza nel piano r - z . La componente in direzione ϕ del momento delle particelle, invece, è parallela alle linee di forza del campo magnetico. Il raggio e la direzione di curvatura della traccia descritta nel piano r - z dipendono, conoscendo il valore del campo magnetico, dal momento e dalla carica della particella. In particolare, per quello che riguarda il campo magnetico, il parametro importante è il cosiddetto *bending power*, ossia l'integrale $\int Bdl$ della componente azimutale. In figura 2.5 è rappresentata la componente azimutale integrata in funzione della coordinata di pseudorapidità η . Ricostruendo la traiettoria si è in grado di identificare la carica e misurare il momento dei muoni rivelati. Poiché c'è l'obiettivo di

avere risoluzione in momento elevata, fino ad energie di ~ 1 TeV, c'è la necessità di rivelare la posizione delle particelle in 3 punti almeno e con risoluzione inferiore a $\sim 50 \mu\text{m}$. La superficie che è necessario coprire con i rivelatori, inoltre, è estremamente elevata, fino a $\sim 5000 \text{ m}^2$; è fondamentale dunque contenere i costi di produzione dei rivelatori. La soluzione più interessante è rappresentata dallo sviluppo di camere a deriva, come accennato nel capitolo precedente. La disposizione delle varie camere è riportata in figura 2.6.

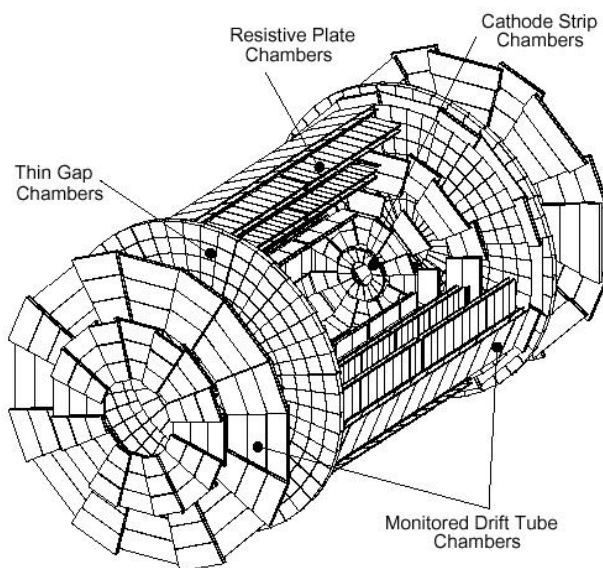


Figura 2.6 La disposizione delle camere nello spettrometro

Le camere a deriva sono rivelatori a ionizzazione. Al passaggio di una particella, in una gap di gas all'interno della camera, si ha la produzione di carica per ionizzazione primaria. All'interno della gap è presente un campo elettrico di intensità sufficiente per saturare la velocità di deriva degli elettroni creati per ionizzazione, senza però indurre scariche nel rivelatore. Gli elettroni si muoveranno verso il filo anodico con velocità nota dalla struttura elettrostatica del campo. In prossimità dell'anodo l'intensità del

campo diverge radialmente. Si ha quindi la formazione di una valanga che induce un segnale rilevabile sugli elettrodi di lettura. Misurando il tempo di deriva degli elettroni primari si ottiene una misura di posizione con risoluzione elevata.

I rivelatori MDT (*Monitored Drift Tubes*) sono le camere a deriva installate nella regione di *barrel* e, fino a $|\eta| < 2.7$, nella regione di *end-cap*; per $2 < |\eta| < 2.7$, invece, come rivelatori di precisione si usano i rivelatori CSC (*Cathode Strip Chambers*).

I rivelatori di posizione

Monitored Drift Tubes (MDT)

Gli elementi di rivelazione delle camere MDT sono tubi in alluminio di 30 mm di diametro e lunghezza compresa tra 70 e 630 cm. Il filo anodico centrale, realizzato in lega di tungsteno-renio (97-3%), ha un diametro di 50 μm ; il gas utilizzato è una miscela non infiammabile di $\text{Ar-CH}_4\text{-N}_2$, nelle proporzioni 91-4-5%. Il tempo di deriva è inferiore a 480 ns, la risoluzione per singolo tubo 80 μm .

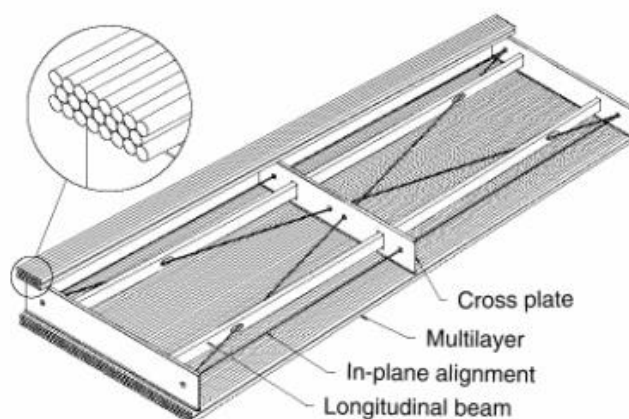


Figura 2.7 La disposizione dei tubi in una camera MDT

Per migliorare la risoluzione, ciascuna camera MDT è costituita da due piani di tracciamento realizzati sovrapponendo 3 o 4 strati di tubi a deriva. La figura 2.7 mostra la struttura di una singola camera MDT. L'elettronica di lettura è essenzialmente costituita da un amplificatore differenziale, un formatore ed un discriminatore. Nella regione di *barrel* dello spettrometro, le camere MDT sono assemblate in 3 stazioni cilindriche, come mostrato in figura 2.8, a distanze 5, 7.5 , 10.5m circa dall'asse del fascio. La geometria e la posizione dei rivelatori è monitorata (da cui l'aggettivo *Monitored*) da un sistema ottico. Seguendo la simmetria azimutale del magnete, lo spettrometro è diviso in 16 settori in proiezione ϕ , ed ogni settore è coperto interamente da una camera.

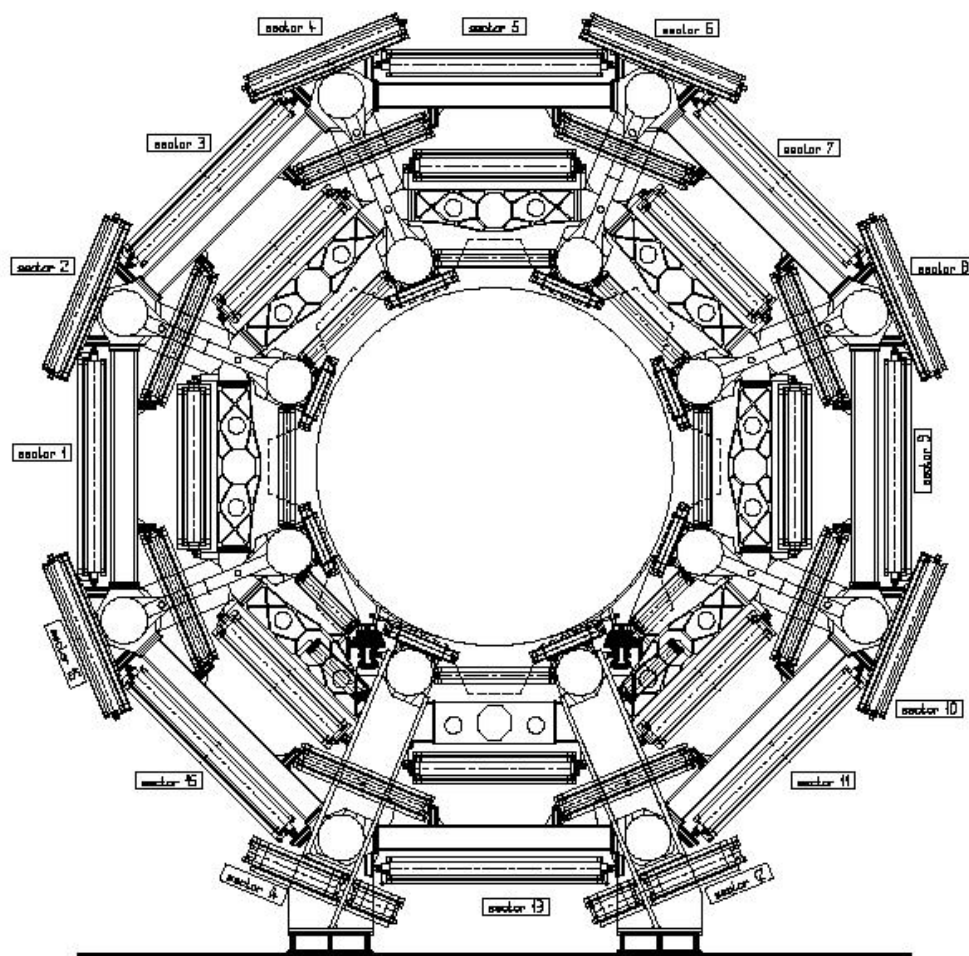


Figura 2.8 La disposizione delle camere nella regione di *barrel*

Tra due camere in due settori diversi c'è una sovrapposizione di 200 mm per evitare regioni morte nell'apparato, mentre tra due camere contigue c'è una separazione di 20 mm per la presenza delle strutture di supporto dell'apparato ed il passaggio dei cavi. I tubi di deriva sono installati perpendicolarmente all'asse del fascio; così le camere misurano la posizione delle particelle in proiezione η , ricostruendo la traccia nel piano r - z .

Cathode Strip Chambers (CSC)

Le camere CSC sono camere proporzionali multifilo, con strisce di lettura catodiche, e con una cella elementare simmetrica, in cui la distanza tra anodo e catodo è uguale alla distanza tra i fili anodici. La misura di precisione è ottenuta misurando la carica indotta sul catodo (formato da una serie di *strip*) dalla valanga formatasi sul filo anodico. Le strisce catodiche hanno una larghezza di 5.08 mm e sono disposte ortogonalmente ai fili anodici, che distano tra loro 2.54 mm; la risoluzione, misurata in diversi prototipi, risulta essere inferiore ai 60 μm .

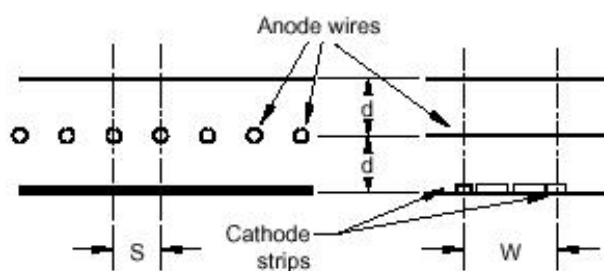


Figura 2.9 Lo schema di una camera CSC

I rivelatori CSC sono utilizzati a ~ 7 metri dal punto di interazione, nelle regioni ad elevata pseudorapidità, in cui ci si aspetta un flusso di particelle maggiore. Le principali caratteristiche dei rivelatori CSC, sono un piccolo

tempo di deriva degli elettroni (30 ns), una buona risoluzione temporale (7 ns) e una bassa sensibilità ai neutroni. Inoltre, tramite strisce ortogonali alle *strip*, e quindi parallele ai fili anodici, è possibile ottenere una misura della seconda coordinata. Anche questo tipo di camere, come le MDTs, è composto da due piani, ciascuno formato da quattro strati di “celle”, mentre la miscela gassosa utilizzata in questo caso è: 30% Argon, 50% CO_2 , 20% CF_4 .

Thin Gap Chambers (TGC)

Le *Thin Gap Chambers* sono, così come le CSC, camere proporzionali multifilo, ma con diversa distanza anodo-catodo (1.4 mm) ed anodo-anodo (1.8 mm). La miscela di gas è composta al 55% da CO_2 ed al 45% da n-pentano ($\text{n-C}_5\text{H}_{12}$). La piccola distanza tra i fili e la configurazione del campo elettrico assicurano un piccolo tempo di drift e garantiscono una buona risoluzione temporale.

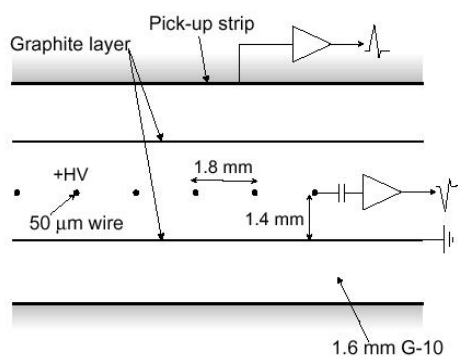


Figura 2.10 Lo schema di una camera TGC

I fili anodici, del diametro di 50 μm, sono posti parallelamente ai fili delle MDTs e producono il segnale di trigger, mentre le strisce di lettura sono ortogonali ai fili e forniscono anche la misura della seconda coordinata. Le camere TGC, dunque, svolgono sia la funzione di camere di trigger, nella

regione di *end-cap*, sia quella di camere di precisione per la misura della seconda coordinata nella regione *forward*, nelle stazioni *middle* ed *inner*. In particolare, nelle regioni di *end-cap*, i rivelatori sono posizionati ad una distanza di ~ 14 metri dal punto di interazione, e posti su tre piani diversi, a formare, come mostrato in figura 2.11, un tripletto (M1) e due doppietti (M2 ed M3) di camere.

Il sistema di trigger nella regione di *barrel*

Come discusso nel capitolo I, un obiettivo fondamentale da raggiungere per il successo dell'esperimento ATLAS, consiste nella realizzazione di un sistema di trigger estremamente selettivo ed efficiente. In precedenza si è osservato che esiste un fondo significativo agli eventi indotti da muoni nello spettrometro dell'apparato. Nel progetto dello spettrometro, dunque, le richieste imposte al sistema di trigger dell'esperimento, saranno:

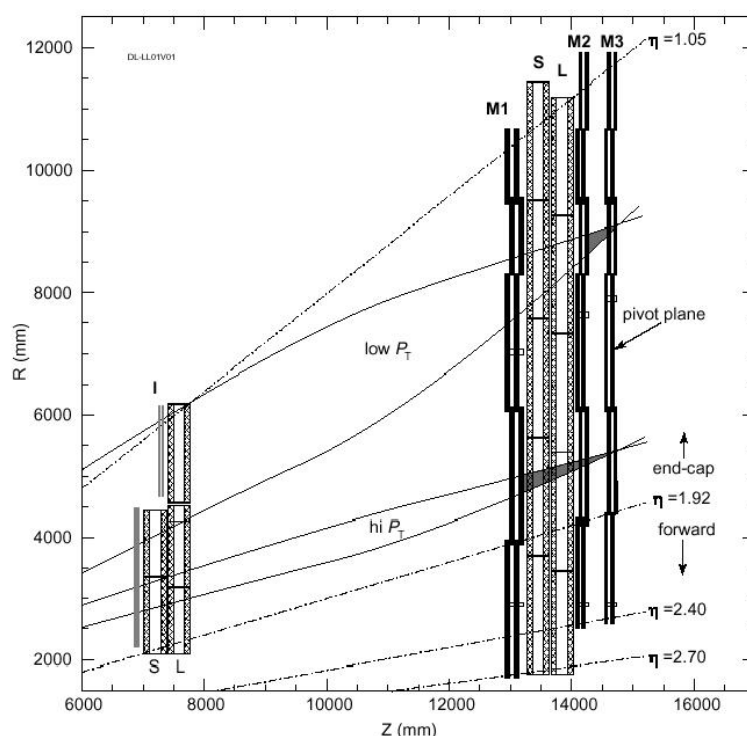


Figura 2.11 La disposizione delle camere TGC

- ricostruzione della traccia e discriminazione dell'evento, in riferimento al momento trasverso, entro un intervallo di $2.5 \mu\text{s}$, corrispondente alla massima latenza di trigger di livello 1 dell'esperimento;
- identificazione del *bunch-crossing* cui l'evento si riferisce;
- identificazione della regione d'interesse ROI dell'evento;
- elevata accettazione in pseudo-rapidità ($|\eta| < 2.4$).

Per la ricerca ad LHC, gli obiettivi prefissati indicano due eventi particolarmente interessanti, da valutare opportunamente nello sviluppo del sistema di trigger dello spettrometro:

- la produzione di muoni con valori di momento trasverso p_T all'asse del fascio di $6 \text{ GeV}/c$, in attività a bassa luminosità, e che saranno indicati come eventi “*low p_T* ”;
- la produzione di muoni con valori di momento trasverso p_T maggiori di $20 \text{ GeV}/c$, in attività ad elevata luminosità, e che saranno invece indicati come eventi “*high p_T* ”.

Come già accennato, le camere di precisione dell'apparato non sono adatte ad alcuni degli obiettivi indicati. Ad esempio, i rivelatori MDT, hanno tempi di risposta elevati ($\sim 500 \text{ ns}$), di gran lunga superiori alla separazione in tempo dei *bunch* di particelle ad LHC (25 ns). Nel progetto dello spettrometro si presenta, dunque, la necessità di sviluppare rivelatori

di trigger dedicati con risoluzione spaziale di ~ 1 cm e risoluzione in tempo elevata. Inoltre, l'esistenza di un fondo significativo nell'apparato, fino a 60 Hz cm^{-2} in attività ad elevata luminosità, richiede l'utilizzo di almeno due piani di rivelatore in coincidenza per dare validità all'evento. Le tecnologie adottate, infine, dovranno consentire di produrre le camere su larga scala in modo da coprire elevate regioni sensibili, fino a 3650 m^2 , a costi relativamente contenuti.

Resistive Plate Chambers (RPC)

Nella regione di *barrel* dell'apparato, per le funzioni di trigger, sono installati rivelatori *RPC* (*Resistive Plate Chambers*), che rispondono perfettamente alle richieste indicate. Sono rivelatori che garantiscono prestazioni elevate e costi di produzione contenuti. Hanno risoluzione spaziale e temporale tipiche di 1 cm ed 1 ns ed efficienza intrinseca anche maggiore del 98 %. Nello sviluppo delle camere RPC sono impegnati direttamente il Gruppo di Ricerca in Fisica Subnucleare del Dipartimento di Scienze Fisiche dell'Università '*Federico II*' ed il Gruppo I della sezione *I.N.F.N.* di Napoli.

Anche i rivelatori RPC sono rivelatori a ionizzazione. In figura 2.12 è rappresentato il modello di un RPC [4]. Due piani di bachelite delimitano una *gap* di gas in cui è presente un campo elettrico uniforme d'intensità tipicamente $\sim 4.5 \text{ kV/mm}$. I piani di bachelite, detti anche piatti resistivi per via della loro elevata resistività ($\rho = 10^{10} \Omega \times \text{cm}$), sono a contatto, verso l'esterno, con due sottili strati di grafite, connessi rispettivamente all'alta tensione ed a massa.

Un sottile strato di polietilene è posto sugli elettrodi di grafite, per isolare gli elettrodi ad alto voltaggio dalle *strip* di lettura, che sono orientate in direzione X ed Y.

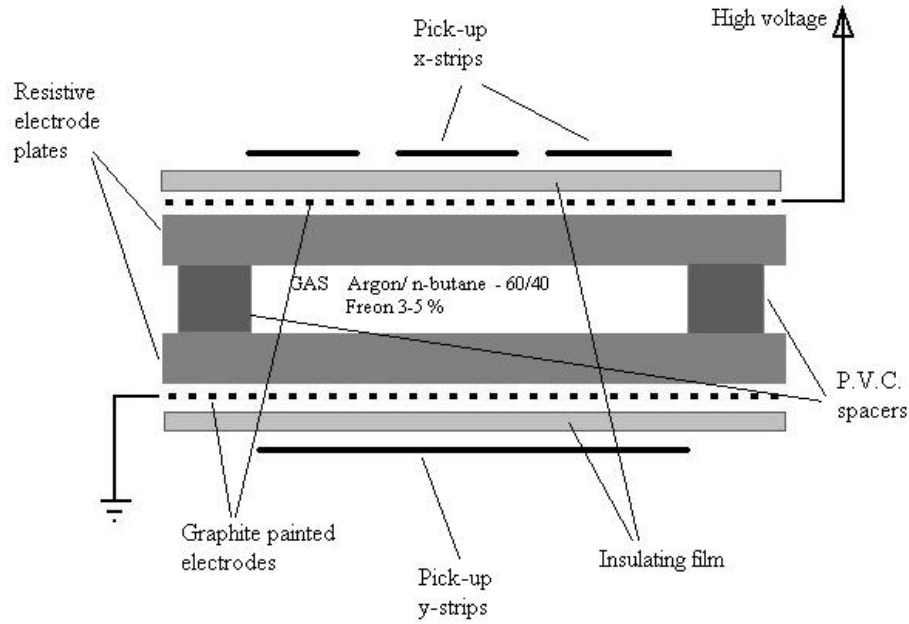


Figura 2.12 Lo schema di un rivelatore RPC

Il principio di funzionamento della camera è riportato in figura 2.13. I condensatori C_{el} e C_{gap} ed i resistori R_{el} e R_{gap} rappresentano la capacità e la resistenza rispettivamente dei piani di bachelite e della *gap* di gas.

In condizione di riposo, e dunque quando non è ionizzato, il gas ha resistenza infinita ($R_{gap} = \infty$). Dunque la tensione di polarizzazione HV della camera è riportata ai capi della *gap*. Nell'interazione con particelle cariche incidenti, invece, si ha la produzione di elettroni per ionizzazione e di conseguenza il gas si comporta come un generatore ideale di corrente. La capacità C_{gap} quindi si 'scarica' e parte della tensione HV appare ai capi dei piani di bachelite, rappresentati dalla capacità C_{el} . Il sistema, in seguito, si riporta alle condizioni normali con costante di tempo: $\tau = R_{el} (C_{el} + C_{gap}) = \rho \epsilon_0 (\epsilon_r + 2d/g)$, dove ϵ_r e d rappresentano la costante dielettrica e le dimensioni dei piani di bachelite, g , invece, la profondità della *gap* di gas. Per $\rho = 10^{10} \Omega cm$, in particolare, si ha: $\tau = 10 ms$. Il tempo di produzione della scarica invece è soltanto $\sim 10 ns$. In questo breve intervallo temporale,

quindi, la scarica non viene alimentata, poichè la tensione ai capi della *gap* di gas è troppo bassa per sostenere la scarica.

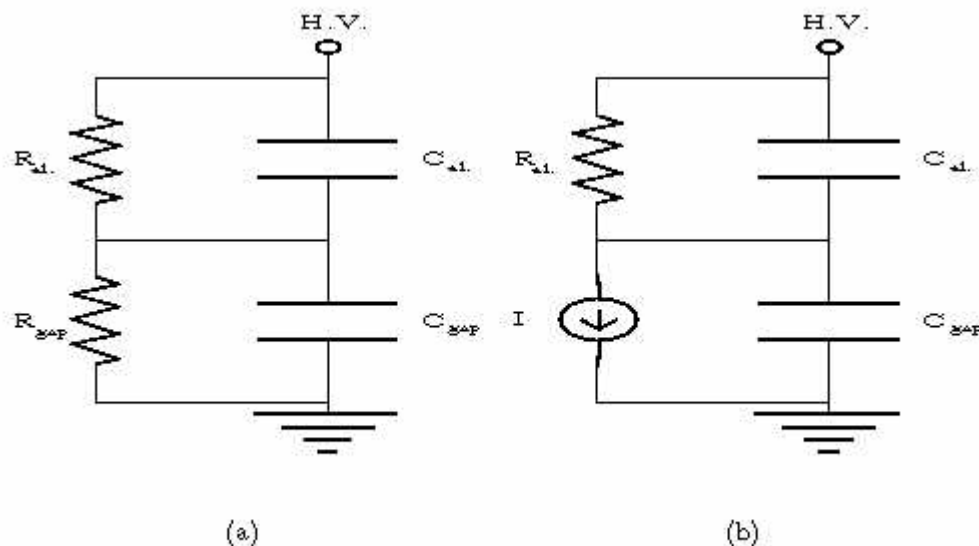


Figura 2.13 Schema di funzionamento di un RPC, nella situazione di riposo (a) e nel caso del passaggio di una particella (b)

Inoltre, la scarica sarà localizzata solo in un'area che può essere scritta come $S = Q g / \epsilon_0 V$, dove Q è la carica liberata nel gas. La quantità di carica prodotta complessivamente e quindi, l'intensità del campo elettrico, influenzano direttamente la massima frequenza di evento che la camera è in grado di rivelare senza entrare in saturazione. Un piccolo valore di Q , quindi, permette di avere piccole correnti nel rivelatore ed una elevata efficienza di rivelazione, anche in presenza di un intenso flusso di particelle ionizzanti.

La corrente prodotta dalla scarica nel gas induce un segnale sugli elettrodi di *pick-up*, che sono elettrodi in alluminio accoppiati capacitivamente. Il circuito equivalente dell'elettrodo di *read-out* può essere descritto come un generatore di corrente che carica una capacità C in parallelo ad una resistenza R , dove C è la capacità dell'elettrodo ed R è la resistenza che è posta tra l'elettrodo e la massa.

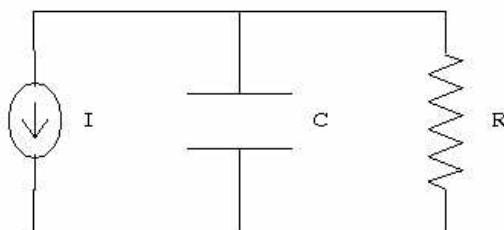


Figura 2.14 Il circuito equivalente dell'elettrodo di lettura di una strip di RPC

Valori tipici per C ed R sono: $C \sim 1$ pF e $R \sim 25$ Ω ; la costante di tempo del circuito è allora $\tau' = 25$ ps, cioè molto più breve del tempo di salita del segnale. Il segnale di lettura non è integrato, ma la corrente che circola nell'elettrodo di lettura è istante per istante proporzionale alla corrente prodotta dalla scarica nel gas.

Date queste caratteristiche, i rivelatori RPC sono ideali nello sviluppo del sistema di trigger dello spettrometro dell'apparato ATLAS, di cui ora sottolineiamo le idee generali, prima di descriverne i dettagli nel prossimo capitolo.

Il principio del trigger per la rivelazione di muoni

Lo scopo principale del sistema di trigger dello spettrometro per la rivelazione di muoni dell'apparato ATLAS è l'identificazione di particelle che provengono dal vertice di interazione e che hanno un momento trasverso maggiore di una certa soglia programmabile. Inoltre, la latenza di trigger di livello 1 deve essere inferiore a 2.5 μ s.

Come già accennato, i muoni, deflessi dal campo magnetico toroidale, descrivono, nell'apparato, traiettorie curve. La curvatura dipenderà, tra l'altro, dal momento della particella. Particelle ideali di momento infinito,

ad esempio, descrivono traiettorie rettilinee ($r = \infty$). Supponiamo, come mostrato in figura 2.15, di dover rivelare la posizione di un muone in due diverse camere nello spettrometro. Indichiamo con P1 e P2 i punti di impatto nella prima e nella seconda camera, rispettivamente. Indichiamo inoltre con P3 il punto di incidenza nella prima stazione di rivelatori della traiettoria passante per P2 e proveniente dal vertice di interazione, nel limite $p = \infty$. La distanza tra i punti P1 e P3 dipende dal raggio di curvatura della traiettoria descritta e quindi dal momento del muone. Definito allora un cono con vertice in P2, asse P2P3 e angolo di semi-apertura α , tutte le particelle rivelate nella prima stazione entro il cono hanno momento maggiore di una soglia p_t , legata all'angolo α .

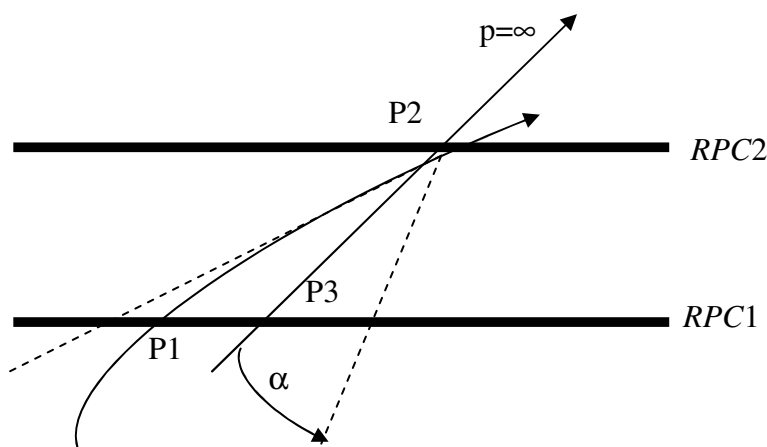


Figura 2.15 Il principio su cui si basa il sistema di trigger: il raggio di curvatura di una traiettoria dipende dall'impulso della particella

Più grande è l'angolo, minore è la soglia imposta. Nello spettrometro, la posizione della particella coincide con la posizione dell'elettrodo di lettura su cui è indotto il segnale. L'algoritmo necessario, quindi, viene convertito semplicemente in una serie di opportune coincidenze in tempo tra i segnali dai due piani di rivelatori (figura 2.16). Le condizioni di coincidenza possono essere scritte in una memoria programmabile che non è altro che

una matrice in cui gli indici di riga e di colonna rappresentano le posizioni delle *strip* sui rivelatori. La matrice, programmata in funzione della condizione di trigger desiderata, indicherà, dunque, la validità o meno della coincidenza tra i segnali corrispondenti agli elementi della matrice. La possibilità di realizzare, in questo modo, l'algoritmo di trigger in *hardware*, consente inoltre di ridurre notevolmente il tempo di elaborazione delle informazioni. Il sistema di trigger dello spettrometro per la rivelazione di muoni dell'apparato ATLAS sviluppa l'idea appena descritta, come discusso in dettaglio nel capitolo successivo.

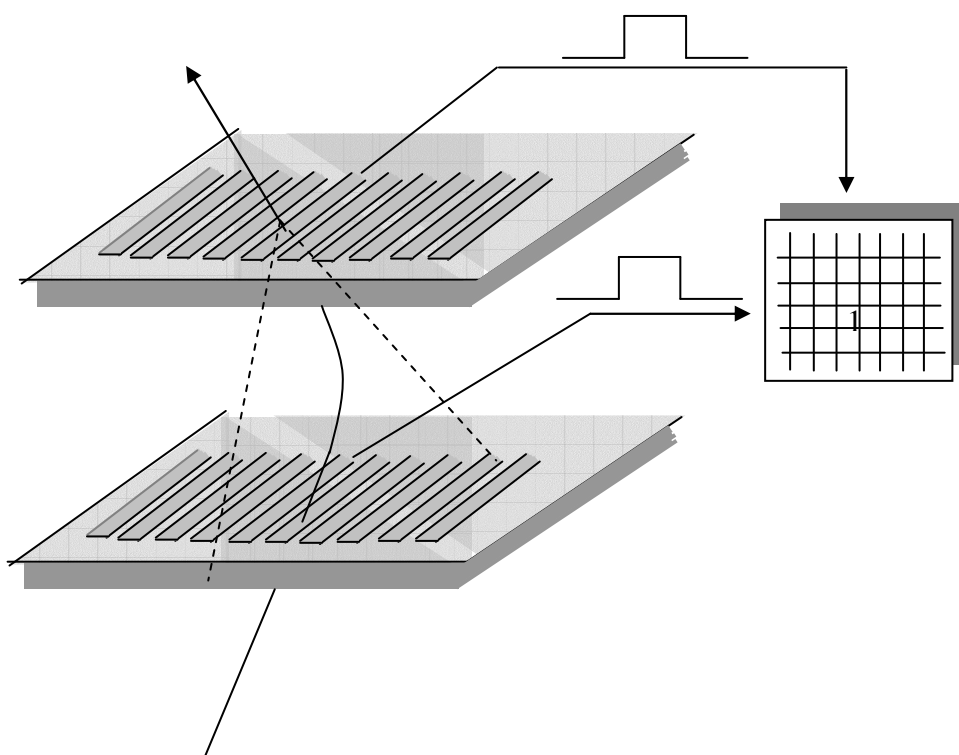


Figura 2.16 Una matrice di coincidenze tra le strip di lettura degli RPC permette di selezionare le traiettorie dei muoni

L'elettronica di lettura

La figura 2.17 rappresenta la sezione longitudinale dello spettrometro nella regione di *barrel*. Le camere RPC sono assemblate in tre diverse stazioni in ognuno dei 16 settori in cui lo spettrometro è diviso, 8 “*Large Barrel Sector*” e 8 “*Small Barrel Sector*”.

Le stazioni RPC1 e RPC2 sono installate immediatamente al di sotto e al di sopra della seconda stazione di camera di precisione MDT indicata in figura come *BMS* (*Barrel Middle Small*); la stazione RPC3 invece si trova a una distanza maggiore dall'asse del fascio, al di sotto delle camere *MDT BOS* (*Barrel Outer Small*).

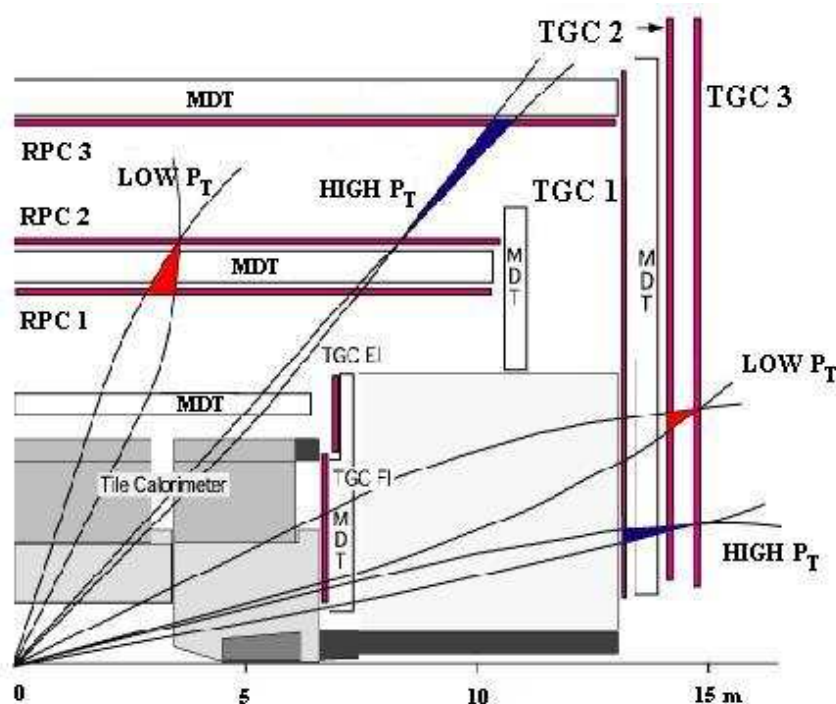


Figura 2.17 Sezione longitudinale del sistema di trigger

I rivelatori RPC saranno realizzati in dimensioni analoghe a quelle delle corrispondenti camere MDT; anche in questo caso, ogni camera copre in direzione azimutale un intero settore.

Un evento “*low p_T* ” ($p_T > 6 \text{ GeV}/c$) è riconosciuto se, in base a quanto precedentemente discusso e mostrato in figura, è identificato un muone nella stazione RPC1 ed è rivelato un segnale nella stazione RPC2 in una finestra di ampiezza programmabile in funzione della soglia imposta in momento trasverso. Un evento “*high p_T* ”, invece, è riconosciuto se è individuata una coincidenza “*low p_T* ” ed analogamente è rivelato un segnale in una finestra della stazione RPC3. Sia per gli eventi “*high p_T* ” e “*low p_T* ” è inoltre richiesta una coincidenza in tempo tra i segnali entro un intervallo di 20 ns. L’algoritmo di trigger è applicato ad entrambe le proiezioni η e φ in cui è ricostruita la traccia per ridurre il rumore di fondo nell’apparato.

Ogni camera RPC è di norma costituita da due unità sovrapposte longitudinalmente, come mostrato in figura 2.18. Le dimensioni massime delle varie unità sono limitate dal ritardo di propagazione del segnale sulle *strip* di lettura delle camere. Il ritardo deve essere inferiore a 11 ns per consentire la corretta identificazione del *bunch-crossing* di riferimento, che costituisce uno degli obiettivi del sistema di trigger dello spettrometro.

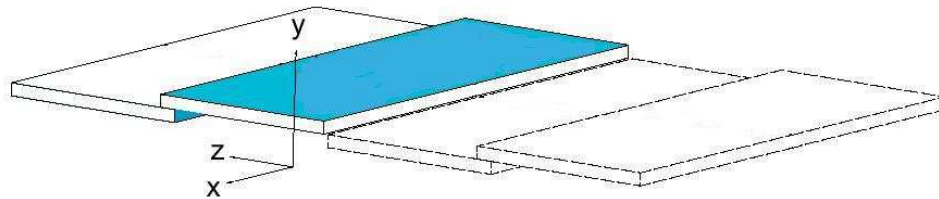


Figura 2.18 La struttura di una camera RPC

Ogni unità è composta da un pannello di polistirene che sostiene, come mostrato in figura 2.19, due piani di rivelatore realizzati con strati di bachelite (spessore 2 mm) separati da sostegni in policarbonato. La gap di gas ha profondità 2 mm ed è sigillata con adesivo *epoxy*.

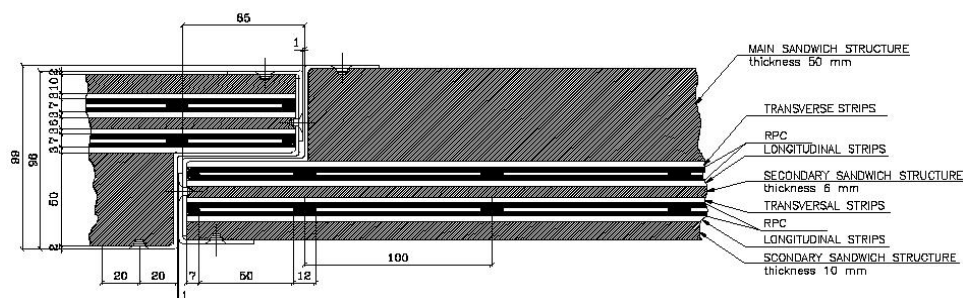


Figura 2.19 Lo schema dettagliato di una unità di RPC

Il gas è una miscela di $C_2H_2F_4$ - C_4H_{10} nelle proporzioni 96,7 - 3 %. Inoltre, la presenza di concentrazioni inferiori all'1 % di esa-fluoruro di zolfo (SF_6) riduce la probabilità di produzione di 'streamer' nella camera. Riducendo la carica prodotta per ionizzazione secondaria, il rivelatore, come discusso in precedenza, è in grado di rivelare flussi di radiazione più elevati, fino a $\sim 1 \text{ kHz} \times \text{cm}^{-2}$. Gli strati di bachelite sono verniciati con grafite, che forma una sottile pellicola connessa alla tensione di alimentazione della camera e su cui sono installati i piani di lettura isolati da un foglio di polietilene.

Ogni piano di rivelatore è letto da due serie di strisce (*strip*), una su ogni lato ed orientate perpendicolarmente tra loro. Le *strip* orientate in direzione azimutale, e dunque parallelamente alle linee del campo magnetico ed ai tubi di deriva delle camere MDT, misurano la coordinata in proiezione η nel piano r - z . Tali *strip* saranno indicate in seguito come *strip* η . Le *strip* orientate in direzione longitudinale, invece, parallelamente all'asse del fascio, indicate come *strip* ϕ , misurano la coordinata azimutale ϕ nel piano x - y .

Le *strip* sono in rame ed hanno larghezza compresa tra 30 e 40 mm. Sono terminate sulla propria impedenza caratteristica (25Ω) e separate da sottili strisce poste a massa per disaccoppiare i segnali sui canali contigui. La

struttura del sistema di lettura è mostrata in figura 2.20. L'elettronica di lettura è composta da un amplificatore in tensione a tre stadi ed un comparatore. Il circuito consente di rivelare segnali di ampiezza minima $\sim 50 \mu\text{V}$. 8 canali di acquisizione sono integrati in un' unica scheda ASD (*Amplifier Shaper Discriminator*).

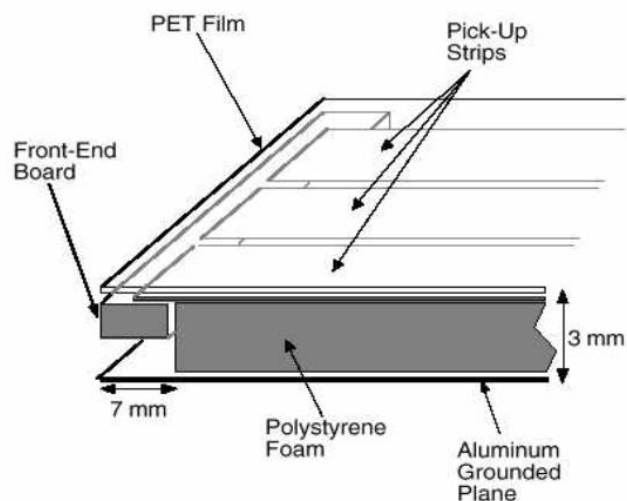


Figura 2.20 L'elettronica di lettura di una *strip* di RPC

I segnali generati dalle schede ASD sono trasmessi all'elettronica di trigger. L'elettronica di trigger per l'identificazione di un evento “*low p_T* ” è installata sulle camere nella stazione RPC2, la logica di trigger “*high p_T* ” sulle camere nella stazione RPC3. Nel prossimo capitolo si discuterà nel dettaglio della acquisizione e trasmissione dei dati verso il sistema di lettura.