

Indice

1	LHC e Fisica ad LHC	9
1.1	Il modello Standard	9
1.1.1	Principio di Gauge e la teoria elettro-debole	10
1.1.2	Rottura spontanea della simmetria e Bosone di Higgs	12
1.2	Il Large Hadron Collider	13
1.2.1	Caratteristiche di LHC	14
1.2.2	Fisica ad LHC	18
1.2.3	Il bosone di Higgs	19
1.2.4	SUSY	24
1.2.5	Fisica del quark Top	24
1.2.6	Fisica dei mesoni B	25
1.2.7	Fisica degli ioni pesanti	25
2	Il rivelatore CMS	27
2.1	Caratteristiche generali di CMS	27
2.2	Il sistema tracciante	30
2.2.1	Il rivelatore a pixel	31
2.2.2	Il rivelatore a microstrip di silicio	31
2.3	Il calorimetro elettromagnetico	32
2.4	Il calorimetro adronico	34
2.5	Il sistema muonico	35
2.5.1	Camere a DT	37
2.5.2	Cathode strip chambers	39
2.5.3	Il sistema muonico ad RPC	40
2.6	Trigger e sistema DAQ	42
2.7	Il trigger del sistema muonico	45
2.7.1	Struttura del L1 trigger del sistema muonico	46
3	Il rivelatore RPC dell'esperimento CMS	49
3.1	I rivelatori a gas	49
3.1.1	Formazione e sviluppo della valanga	49

3.1.2	Rivelatori a filo ed RPC	52
3.2	Caratteristiche generali di un RPC	54
3.2.1	Struttura di un RPC	54
3.2.2	Schema elettrico di un RPC e lettura del segnale . . .	55
3.3	Caratteristiche di un RPC di CMS	58
3.3.1	Configurazione degli RPC di CMS	59
3.3.2	Caratteristiche degli elettrodi	59
3.3.3	La Doppia Gap	61
3.3.4	L'elettronica di front-end	62
3.3.5	La miscela gassosa	63
4	Produzione e controllo di qualità delle camere ad RPC del barrel	65
4.1	Produzione della bakelite	65
4.2	Produzione delle Singole e Doppie Gap	67
4.2.1	Produzione delle camere	69
4.3	Test estesi con i raggi cosmici	72
5	Analisi della prestazioni delle camere RB1	77
5.1	Il database di costruzione degli RPC	78
5.2	Il programma software per l'analisi dei dati	84
5.2.1	Descrizione dei componenti software sviluppati	84
5.2.2	Interrogazione del database	87
5.3	Analisi dei dati	88
5.3.1	Studio dell'efficienza e dipendenza del punto di lavoro dai parametri ambientali	88
5.3.2	Analisi dell'efficienza per Singole e Doppie gap	92
5.3.3	Studio del noise	99
5.3.4	Studio della cluster size	104
5.3.5	Studio delle correnti oscure	106
A	Sorgenti dei codici software sviluppati	109
A.1	Classe Singola Gap	109
A.2	Classe Doppia Gap	110
A.3	Classe Layer	111
A.4	Classe Performance	111
A.5	Classe Current	114
A.6	Classe Factory	116
A.7	Classe BuildPerformances	116
A.8	Classe BuildCurrent	117
A.9	Il software per l'analisi: <i>Analisi.cpp</i>	117

Bibliografia

Introduzione

La fisica delle interazioni fondamentali ha trovato uno schema teorico di riferimento nel *Modello Standard*, costituito da teorie quantistiche di campo che descrivono le interazioni forti ed elettrodeboli attraverso il principio fondamentale dell'invarianza di *gauge*. Sebbene il *Modello Standard* sia stato verificato con precisioni all'ordine del 0.1% in numerosi esperimenti, esso non è in grado di rispondere a quesiti fondamentali quali la dissimmetria tra materia ed antimateria, l'origine della materia e dell'energia oscura, le oscillazioni di neutrino (sempre più evidenti attraverso studi effettuati su neutrini solari ed atmosferici), l'unificazione della gravità con le altre interazioni fondamentali. Il mondo scientifico per tanto ha teorizzato l'esistenza di nuove teorie fisiche più generali come il modello *Super Simmetrico*(SUSY), la *teoria delle stringhe*, il *Technicolor* e tutte queste predicono l'esistenza di nuove particelle con masse dell'ordine del TeV.

Inoltre tra le molte previsioni del modello standard è prevista l'esistenza del bosone di Higgs, particella in grado di spiegare attraverso il suo accoppiamento l'origine delle masse di tutti i costituenti elementari della materia e delle particelle che mediano le loro interazioni. Ancora oggi non è stata fornita un'evidenza sperimentale dell'esistenza dell'Higgs ma limiti sperimentali e teorici collocano la sua massa in un range di energia compreso tra circa 120 e 1000 GeV.

In questo quadro della ricerca scientifica si collocano i quattro esperimenti, ATLAS , CMS , ALICE ed LHCb , in costruzione lungo il collisionatore protone-protone LHC (*Large Hadronic Collider*) che si sta costruendo nel tunnel di LEP al CERN di Ginevra. Grazie, infatti, alle sue caratteristiche tecniche, LHC sarà in grado di ottenere la più alta energia di collisione tra i fasci incidenti (14 Tev nel loro centro di massa) rendendo possibile lo studio della fisica particellare all'energie del TeV. In particolare CMS, sarà un apparato multifunzionale progettato per studiare, la fisica delle interazioni protone-protone ad alte energie. L'intero apparato sperimentale è costituito, partendo dall'interno, da un sistema tracciante (composto da rivelatori a pixel di silicio e da rivelatori a microstrisce di silicio), da un sistema di

calorimetri (elettromagnetico, ECAL, ed adronico, HCAL) ed in fine da un sistema per la rivelazione dei muoni (sistema tracciante esterno). I muoni infatti forniscono un chiaro segno per un insieme di nuovi processi fisici, come ad esempio il decadimento dell'Higgs in quattro leptoni carichi. Data l'importanza di tale sistema CMS ha dotato il sistema muonico di due sottosistemi di trigger indipendenti, in modo da ottenere un sistema ridondante sviluppato intorno a tre differenti tecnologie: *Tubi a Deriva* (DT) ed *Camere a Piatti Resistivi* (RPC) nella regione angolare $|\eta| < 1.3$ e da *Camere a Strip Catodiche* (CSC) ed RPC nella regione angolare $0.9 < |\eta| < 2.4$.

La progettazione e la produzione degli RPC nella regione angolare $|\eta| < 1.3$ è sotto la responsabilità dei gruppi dell'INFN di Bari, Napoli, Pavia e dell'INRNE di Sofia.

Nell'ambito del mio lavoro di tesi mi sono occupato dell'analisi delle camere che sono sotto la responsabilità del gruppo di Napoli e del controllo di qualità lungo la filiera di produzione. La produzione delle camere di CMS coinvolge un gran numero di step che devono essere accuratamente pianificati e monitorati allo scopo di realizzare un rivelatore che soddisfi le prestazioni richieste per svolgere il programma scientifico di LHC. In questa tesi cercherò di illustrare tali richieste e la sequenza di controlli che sono stati effettuati per realizzare il rivelatore completo.

Nei siti di test ciascuna camera viene caratterizzata misurandone la corrente oscura, il rate di rumore e l'efficienza di rivelazione con raggi cosmici in funzione della tensione di lavoro. Inoltre viene tenuta costantemente sotto controllo la corrente oscura nel tempo. Tutte le informazioni relative alla camere e tutti i risultati dei test sulle camere e sui loro costituenti, sono contenuti in un Mysql Database, assieme ai valori dei parametri ambientali in cui sono state effettuate le misure. Per poter effettuare l'analisi delle prestazioni delle camere RB1 è stato da me sviluppando un software in C++ capace di interrogare il database e restituire il risultato di tale ricerca in opportune strutture, in modo da poter svolgere l'analisi dati in Root (Framework object-oriented per l'analisi dati). Si è preferito utilizzare le tecnologie di programmazione Object Oriented, allo scopo di garantire una maggiore estensibilità e potenza. Per ogni camera vengono memorizzate tutte le informazioni relative e vengono parametrizzati i risultati dei test di corrente, rumore ed efficienza in funzione della tensione applicata in modo da caratterizzare le prestazioni di ciascuna camera, studiare l'uniformità di responso dell'intera produzione e di analizzare le correlazioni tra le diverse variabili che caratterizzano le prestazioni del rivelatore.

Nel Capitolo 1, partendo dalla inefficienza del modello standard a dare risposte su quesiti di fisica irrisolti, ho descritto le caratteristiche progettuali della macchina LHC ed il suo programma scientifico.

Nel Capitolo 2, ho descritto il rivelatore CMS, cercando di spiegare le sue caratteristiche generali attraverso la descrizione dei sottorivelatori di cui si compone.

Nel Capitolo 3 ho descritto le caratteristiche generali delle camere ad RPC di CMS attraverso la descrizione dei suoi componenti basilari.

Nel Capitolo 4 ho descritto il ciclo produttivo delle camere ad RPC della regione angolare $|\eta| < 1.3$, spiegando i vari test ed i criteri di qualità adottati.

In fine nel Capitolo 5 riporto i risultati della mia analisi ed il percorso software che ho dovuto intraprendere per arrivare a tali risultati.

Capitolo 1

LHC e Fisica ad LHC

Il *Large Hadron Collider*[1], LHC, è un collisionatore di protoni in costruzione al CERN di Ginevra. Capace di raggiungere un'energia nel centro di massa pari a 14 TeV ed una luminosità di $10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, LHC è una macchina senza precedenti per complessità e potenzialità.

Scopo di tale capitolo è introdurre le motivazioni, le caratteristiche ed il programma scientifico di tale macchina.

1.1 Il modello Standard

Il Modello Standard[2] [3] [4], *SM*, delle interazioni fondamentali, descrive la materia come composta da particelle di spin semi-intero, i *fermioni*, divisi in due famiglie: i *leptoni*(di cui fanno parte gli elettroni, i muoni, i tauoni ed i neutrini) ed i *quark*. Questi ultimi hanno carica elettrica frazionaria e non sono osservati liberi in natura; essi sono i costituenti di un'ampia classe di particelle denominate *adroni*.

Oltre all'interazione *Gravitazionale*, le restanti interazioni fondamentali (*elettro-magnetica*, *debole* e *forte*) tra i costituenti primi della materia sono descritte attraverso lo scambio di particelle di spin intero, denominate *bosoni*. Il Modello Standard si propone di descrivere tali interazioni attraverso due teorie di *Gauge*[5]

- la teoria elettrodebole, che unifica le interazioni elettro-magnetica e debole
- la teoria dell'interazione forte o *Cromo Dinamica Quantistica*, QCD.

Uno studio completo del Modello Standard esula gli scopi di questo lavoro di tesi pertanto nei prossimi paragrafi riporterò solo i principali risultati.

1.1.1 Principio di Gauge e la teoria elettro-debole

Consideriamo la densità di lagrangiana di un fermione libero

$$\mathcal{L}_0 = \bar{\psi}(x) (i\gamma^\mu \partial_\mu - m) \psi(x) \quad (1.1)$$

Attraverso la sostituzione minimale

$$\partial_\mu \rightarrow D_\mu = [\partial_\mu + iqA_\mu(x)] \quad (1.2)$$

si ottiene la lagrangiana ¹ di un fermione carico in un campo elettromagnetico

$$\mathcal{L} = \bar{\psi}(x) (i\gamma^\mu D_\mu - m) \psi(x) = \mathcal{L}_0 - q\bar{\psi}(x)\gamma^\mu\psi(x)A_\mu \quad (1.3)$$

Richiediamo che la teoria descritta da tale lagrangiana sia invariante per le trasformazioni di *gauge* del quadripotenziale elettromagnetico

$$A_\mu(x) \rightarrow A'_\mu(x) = A_\mu(x) + \partial_\mu f(x) \quad (1.4)$$

dove $f(x)$ è una funzione reale differenziabile.

L'invarianza sarà mantenuta se alla trasformazione 1.4 associamo le trasformazioni dei campi di Dirac $\psi(x)$ e $\bar{\psi}(x)$

$$\psi \rightarrow \psi' = \psi(x)e^{-iqf(x)} \quad (1.5)$$

$$\bar{\psi} \rightarrow \bar{\psi}' = \bar{\psi}(x)e^{iqf(x)} \quad (1.6)$$

Tali trasformazioni rappresentano una simmetria della teoria, ed ad essa è associato il gruppo di trasformazioni U(1). L'unione delle tre trasformazioni rappresentano le trasformazioni di *gauge* dell'elettrodinamica quantistica, QED, ed ogni teoria invariante secondo tali trasformazioni sarà detta teoria di *gauge*. La QED è l'esempio più semplice.

In base al teorema di Noether ad ogni simmetria è associata una quantità conservata nel tempo e nel caso della QED, applicando tale teorema si ottiene la conservazione della corrente.

Riassumendo, la richiesta di invarianza dell'elettrodinamica classica secondo le trasformazioni di *gauge* del quadripotenziale ha imposto nel caso quantistico le trasformazioni 1.5 e 1.6 dei campi di fermionici.

Proviamo ad invertire il nostro ragionamento.

Consideriamo la lagrangiana

$$\mathcal{L}_0 = \bar{\psi}(x) (i\gamma^\mu \partial_\mu - m) \psi(x)$$

¹per semplicità chiameremo la densità di lagrangiana semplicemente lagrangiana

e le trasformazioni di fase locali 1.5 e 1.6 attraverso cui

$$\mathcal{L} \rightarrow \mathcal{L}' = L + \bar{\psi}(x)\gamma^\mu\psi(x) (\partial^\mu f)$$

L'invarianza della teoria sarà restaurata aggiungendo alla lagrangiana iniziale un nuovo termine, il quale trasformandosi generi un controtermine in grado di elidere il secondo termine dell'equazione precedente. A tale scopo associamo ai campi di materia ψ e $\bar{\psi}$ un campo di *gauge* A_μ attraverso la sostituzione minimale 1.2 nella lagrangiana di particella libera \mathcal{L}_0 trasformandola nella seguente

$$\mathcal{L} = \bar{\psi}(x) (i\gamma^\mu D_\mu - m) \psi(x) = \mathcal{L}_0 - q\bar{\psi}(x)\gamma^\mu\psi(x)A_\mu \equiv \mathcal{L}_0 + \mathcal{L}_I \quad (1.7)$$

Tale lagrangiana sarà invariante per le trasformazioni di *gauge* 1.4, 1.5 e 1.6. Riassumendo, ogni qualvolta si ha una trasformazione di fase locale di campi di materia, si otterrà una teoria di *gauge*, associando a questi un campo di *gauge* A_μ attraverso la sostituzione minimale. Infatti l'insieme delle trasformazioni di fase locale e della trasformazione di *gauge* del campo A_μ , costituiranno le trasformazioni di *gauge* secondo cui la teoria sarà invariante.

Consideriamo ora le interazioni deboli. Misure sperimentali stabilirono la conservazione di due quantità dette correnti deboli, pertanto in base al teorema di Noether dovranno esserci delle simmetrie della teoria. Il gruppo associato a tali simmetrie è il gruppo $SU(2) \times U(1)$ legato a due numeri quantici: I (*isospin debole*) ed Y (*ipercarica*). Questi due numeri soddisfano la relazione fondamentale

$$Q = I_3 + \frac{Y}{2} \quad (1.8)$$

dove Q ed I_3 indicano la carica elettrica e la terza componente dell'isospin debole rispettivamente.

L'invarianza della teoria per trasformazioni $SU(2) \times U(1)$ introduce 4 campi di *gauge* non massivi (come nella QED) $W_\mu^{1,2,3}$ e B_μ che si accoppiano ai campi di materia attraverso due costanti, g e g' . I corrispondenti campi fisici cioè i bosoni vettori carichi W_μ^\pm ed i bosoni neutri γ e Z sono dati loro combinazioni lineari

$$W_\mu^\pm = \sqrt{\frac{1}{2}} (W_\mu^1 \pm iW_\mu^2) \quad (1.9)$$

$$A_\mu = B_\mu \cos \theta_W + W_\mu^3 \sin \theta_W \quad (1.10)$$

$$Z_\mu = -B_\mu \sin \theta_W + W_\mu^3 \cos \theta_W \quad (1.11)$$

dove θ_W è l'angolo di mixing di *Weinberg*.

Imponendo la serie di uguaglianze

$$g \sin \theta_W = g' \cos \theta_W = e \quad (1.12)$$

il campo A_μ è indentificato con il campo elettromagnetico giungendo all'unificazione *elettrodebole*.

1.1.2 Rottura spontanea della simmetria e Bosone di Higgs

Sia i campi di materia che i bosoni vettoriali mediatori delle interazioni hanno massa, pertanto la teoria che prima brevemente abbiamo descritto deve tener conto di questo fattore. Potrebbe sembrare facile a tal punto introdurre dei termini massivi a mano nella lagrangiana elettro-debole ma si può subito vedere che un termine massivo del tipo

$$m_e \bar{\psi}_e(x) \psi_e(x) \quad (1.13)$$

non risulta invariante per trasformazioni di tipo $SU(2) \times U(1)$. Le masse nascono attraverso il cosiddetto meccanismo di Higgs introducendo il campo di Higgs, cioè un doppietto di $SU(2)$ di campi scalari complessi

$$\phi = \begin{pmatrix} \phi^+ \\ \phi^0 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \phi_1 + i\phi_2 \\ \phi_3 + i\phi_4 \end{pmatrix} \quad (1.14)$$

La lagrangiana di questo campo deve essere invariante per trasformazioni $SU(2) \times U(1)$ ed include un termine potenziale

$$V(\phi) = -\mu^2 \phi^\dagger \phi + \lambda (\phi^\dagger \phi)^2 \quad (1.15)$$

dove $\mu^2 < 0$ e $\lambda > 0$ così da avere un minimo per

$$\phi^\dagger \phi = \frac{1}{2} (\phi_1^2 + \phi_2^2 + \phi_3^2 + \phi_4^2) = \frac{\mu^2}{2\lambda} \equiv \frac{v^2}{2} \quad (1.16)$$

Come si può facilmente vedere dalla forma del potenziale $V(\phi)$, l'autospazio di minima energia è degenere pertanto la scelta di uno stato qualsiasi come stato di vuoto introduce una rottura della simmetria. Questo è il concetto di *rottura spontanea della simmetria*[6]. La massa dei bosoni carichi e neutri deriva dell'interazione di questi con un autostato dello spazio di vuoto del potenziale $V(\phi)$. Si può notare subito che lo stato di vuoto è invariante per trasformazioni di tipo $U(1)$ pertanto tale simmetria non viene rotta e di conseguenza il fotone non acquisterà massa.

Il meccanismo di Higgs da origine a tre bosoni massivi per un totale di 9 gradi di libertà. Poichè inizialmente i gradi di libertà della teoria sono dieci (tre bosoni non massivi con due stati di polarizzazione e quattro campi scalari ϕ_i), vuol dire che la teoria presenta nuovo bosone scalare, il bosone di

Higgs[7](H).

Si può vedere che la sua massa è indeterminata dipendendo dai due parametri v e λ secondo la relazione seguente:

$$m_H = \sqrt{-2\mu^2} = \sqrt{2\lambda v^2} \quad (1.17)$$

Infatti, nonostante il primo sia misurabile indirettamente, essendo legato alla massa dei bosoni vettoriali intermedi W^\pm e Z dalle relazioni

$$m_{W^\pm} = \frac{1}{2}gv \quad (1.18)$$

$$m_Z = \frac{gv}{2 \cos \theta_W} \quad (1.19)$$

il secondo non risulta legato a nessuna grandezza misurabile, divenendo così un parametro libero della teoria.

La misura della massa del bosone di Higgs risulta quindi determinante nel processo di verifica sperimentale del modello standard.

1.2 Il Large Hadron Collider

Sebbene il modello standard sia stato verificato con eccezionale accuratezza (con precisioni maggiori dello 0.1%)[8] attraverso misure effettuate da esperimenti in varie macchine acceleratrici (ad esempio il LEP al CERN), esistono numerose indicazioni che esso non rappresenti la teoria più generale sulle particelle elementari e le loro interazioni fondamentali.

L'incapacità di tale modello di dare soddisfacenti risposte a domande fondamentali[9] come la dissimmetria tra materia ed antimateria, le oscillazioni di neutrino (sempre più evidenti da studi effettuati su neutrini solari[10] ed atmosferici[11]), l'origine della materia e dell'energia oscura, l'unificazione della gravità con le altre interazioni fondamentali, aprono la porta a nuove teorie che includerebbero il modello standard come una approssimazione di queste alle energie sino ad oggi osservabili.

Molti candidati sono stati proposti come teorie più generali del modello standard e tra queste spiccano il modello *Super Simmetrico*, SUSY, la *teoria delle stringhe*, il *Technicolor* e tutte queste predicono nuove particelle con masse dell'ordine del TeV.

Queste motivazioni unite alla misura della massa del bosone di Higgs, ultima verifica della validità del modello standard, sono alla base della costruzione della più moderna macchina acceleratrice del mondo, LHC, che grazie alle sue caratteristiche costruttive permetterà di esplorare la fisica delle più alte energie mai raggiunte.

1.2.1 Caratteristiche di LHC

In un acceleratore di tipo collider, l'energia persa per radiazione di sincrotrone ogni giro, è proporzionale a $E^4/(m^4R)$ dove abbiamo indicato con E e m l'energia e la massa delle particelle accelerate e con R il raggio dell'acceleratore. I collider ad elettroni o positroni pertanto presentano lo svantaggio di disperdere molta energia implicando l'uso di grandissime macchine acceleratrici per raggiungere le energie dell'ordine dei TeV. Si è pensato allora di costruire acceleratori di particelle molto più pesanti, quali i protoni ($m_p \sim 2000m_e$), in modo che a parità di energia e di raggio della macchina, si abbia una radiazione di sincrotrone circa $16 \cdot 10^{12}$ volte inferiore.

LHC, *Large Hadron Collider*, in costruzione presso il CERN di Ginevra e operativo dal 2007, rappresenta il più ambizioso progetto di ricerca nel campo della fisica delle alte energie attuale che consentirà di apportare un enorme progresso nella conoscenza dei costituenti base della materia. Posto all'interno del tunnel di 27 km utilizzato dal LEP a circa 80 metri di profondità, LHC è un collisore adronico protone-protone in grado di raggiungere nel centro di massa un'energia di $\sqrt{s} = 7 + 7$ TeV. La necessità di collocare tale macchina nello stesso tunnel di LEP ha richiesto lo sviluppo di innovativi dipoli magnetici superconduttori raffreddati ad elio liquido.

Dell'energia prodotta solo una frazione sarà scambiata negli urti tra i costituenti elementari, *quark* e *gluoni*², che compongono i protoni con lo svantaggio di non poter produrre particelle con massa superiore a pochi TeV ma con il vantaggio di poter esplorare un ampio range di energie avendo fissato l'energia dei fasci.

LHC si compone di due anelli di cavità a radiofrequenza in modo da poter accelerare in direzioni opposte particelle aventi la stessa carica. Gli elevati costi di costruzione di tale macchina sono giustificati sia dal fatto che vi è una bassa efficienza di produzione di antiprotoni (sono necessari circa $3 \cdot 10^5$

²Secondo il modello partonico degli adroni, le interazioni a piccola distanza avvengono tra i loro costituenti fondamentali, quark e gluoni, ai quali è associata una frazione x_a e x_b del loro momento totale. In tale ottica l'energia sviluppata in un'urto protone-protone ad alta energia sarà data da

$$\sqrt{\hat{s}} = \sqrt{x_a x_b s}$$

dove s indica il quadrato dell'energia del centro di massa dei due protoni collidenti

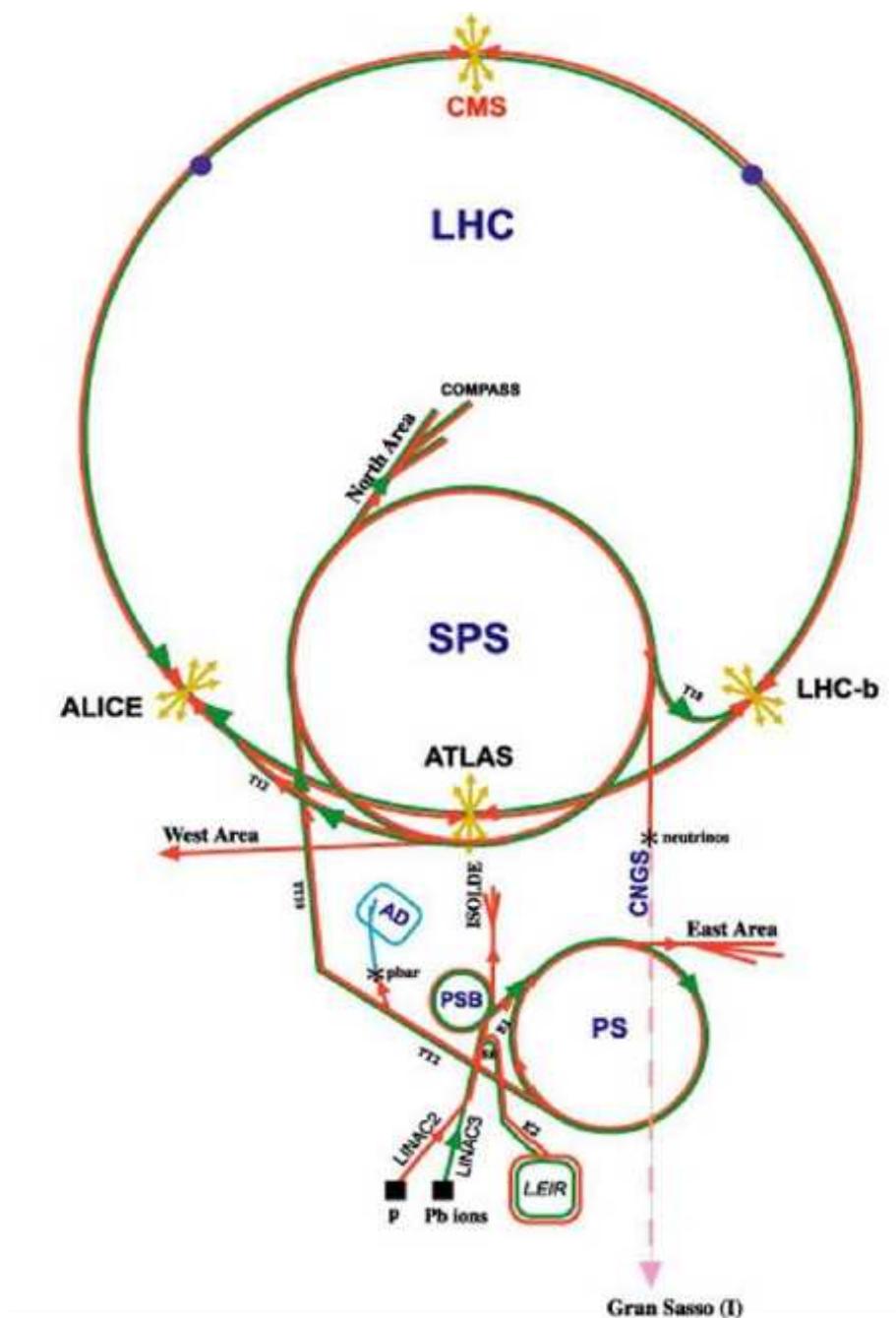


Figura 1.1: Schema di LHC e degli iniettori

protoni per produrre un antiprotone), sia dalla minore luminosità³ raggiungibile con fasci $p\bar{p}$ ($\mathcal{L}_{p\bar{p}}/\mathcal{L}_{pp} \sim 10^{-3\div-4}$). Magneti dipolari superconduttori, in grado di generare un campo di circa 8.39 Tesla, sono stati sviluppati al fine di contenere il fascio di protoni all'interno della beam-pipe (fig.1.2), fissando così il massimo valore di energia raggiungibile dal fascio a 7 TeV.

Il sistema di iniezione dei protoni all'interno dell'anello è composto da un sistema di quattro diversi acceleratori posti in cascata: l'acceleratore lineare LINAC (50 MeV), l'acceleratore circolare BOOSTER (1 GeV), il protosincrotrone SP (26 GeV) ed in fine il l'ultimo stadio costituito dal superprotosincrotrone SPS in grado di accelerare i pacchetti fino a 450 GeV. I fascii finale generati, caratterizzati da una luminosità nominale massima pari a $10^{34}cm^{-2}s^{-1}$, avranno una frequenza di 40 MHz (25 ns di periodo) e saranno formati da un treno di 3564 pacchetti (tab.1.1); di questi soltanto 2835 conterranno protoni, consentendo durante i restanti intervalli temporali la sincronizzazione dei sistemi elettronici con i fasci. Per incrementare il rate di eventi interessanti è necessario operare sulle caratteristiche del fascio da cui dipende la luminosità secondo la relazione:

$$\mathcal{L} = \frac{N_{p1} \cdot N_{p2} \cdot f \cdot k}{4\pi \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (1.21)$$

dove f è la frequenza di rivoluzione dei pacchetti nell'anello, N_{p_i} il numero di protoni nell i -mo bunch, k è il numero di pacchetti che circolano contemporaneamente e σ_x e σ_y sono rispettivamente le semidispersioni gaussiane dei pacchetti nella direzione della curvatura del fascio ed in quella verticale.

Alla luminosità nominale di LHC e con una sezione d'urto protone-protone $\sigma_{p\bar{p}}$ attesa $\simeq 110$ mb, ad ogni *bunch crossing* (BX) saranno prodotti circa una ventina di eventi (eq.1.20); tutto ciò comporta scelte molto stringenti nella progettazione dei rivelatori sia per evitare effetti di accumulo tra eventi legati a differenti BX (*pile-up*), sia per evitare fenomeni di invecchiamento dell'elettronica e dei rivelatori dovuti l'alta radiazione prodotta. Il progetto di LHC prevede l'interazione tra i due fasci in quattro punti attorno ai quali si stanno sviluppando i rivelatori ATLAS[12], CMS[13], ALICE[14] e LHCb[15]. I primi due, seppur progettati con scelte differenti, sono rivelatori polifunzionali progettati per studiare, sia la fisica delle interazioni protone-protone, sia la fisica degli ioni pesanti ad alte energie. Alice è un rivelatore dedicato

³La luminosità è il parametro che definisce il numero di eventi per unità di tempo in relazione alla sezione d'urto del fenomeno:

$$R = \sigma\mathcal{L} \quad (1.20)$$

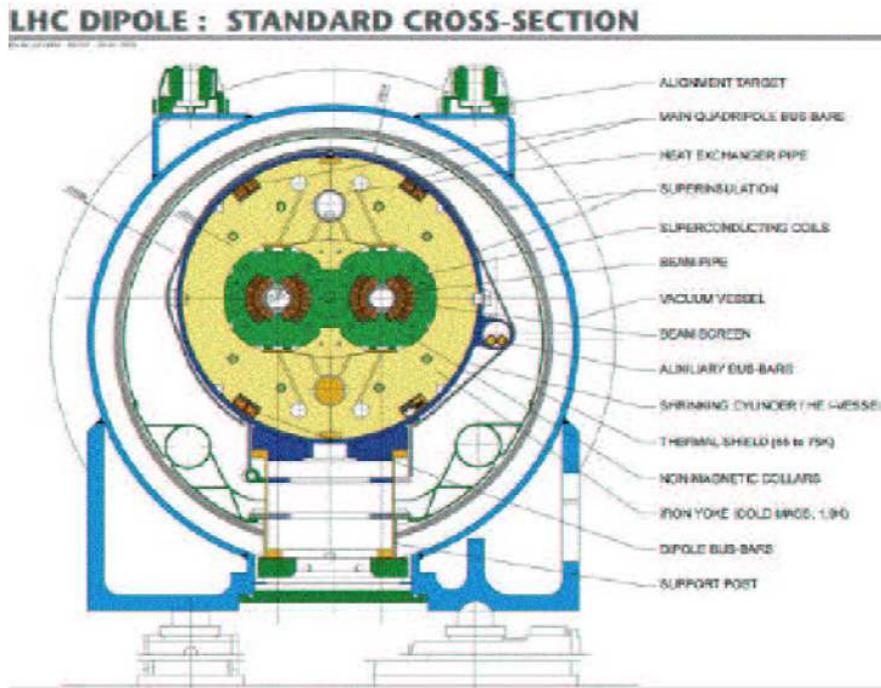


Figura 1.2: *Sezione trasversa del magnete dipolare di LHC*

allo studio delle collisioni tra ioni pesanti, mentre LHCb è ottimizzato per lo studio della violazione di CP nel settore dei mesoni B.

Circonferenza	26.659
Massima luminosità	$10^{34} cm^{-2}s^{-1}$
Campo Magnetico alla max energia	8.39 T
Tempo di accelerazione	20 min.
Energia del fascio all'iniezione	450 GeV
Energia del fascio alla collisione	7 TeV
Numero di pacchetti	2835
Frequenza di rivoluzione dei pacchetti	$1.1 \cdot 10^4$ Hz
Corrente circolante	0.56 A
Perdita di energia per giro	6.9 KeV
Potenza irradiata dal fascio	3.7 kW
Protoni per pacchetto (a \mathcal{L}_{MAX})	$1.1 \cdot 10^{11}$
Distanza spaziale tra i pacchetti	7.48 m
Distanza temporale tra i pacchetti	25 ns
Frequenza di BX	40.08 MHz
Dimensioni Trasverse del fascio	$15.9 \times 15.9 \mu m^2$
Lunghezza del pacchetto	7.5 cm
Vita media del fascio	~ 22 h

Tabella 1.1: Principali parametri funzionali di LHC

1.2.2 Fisica ad LHC

All'energia del centro di massa dei fasci raggiungibile ad LHC ($\sqrt{s} = 14$ TeV), è possibile ottenere le interazioni tra i costituenti primi degli adroni ad energie di qualche TeV con una sezione d'urto totale stimata pari a $\sigma_{tot} = (110 \pm 20) mb$ (fig.1.3). Escludendo le collisioni elastiche e diffrattive che non portano alla produzione di alcuna particella, i restanti 70 mb alla massima luminosità nominale daranno vita a circa 10^9 eventi al secondo. La maggior parte di tali eventi dovuti a collisioni con piccoli momenti trasferiti in cui le particelle prodotte, nello stato finale, hanno un elevato valore momento longitudinale e un piccolo momento trasverso ($p_t \sim 500$ MeV). Tali eventi detti di *minimum bias*, sono quelli meno interessanti.

L'ampio spettro di energie raggiungibili e l'alta sezione d'urto degli eventi fanno di LHC un strumento potente in grado di dare risposta non solo alla domanda sull'origine del meccanismo di rottura spontanea della simmetria nel settore elettrodebole del modello standard, ma anche di investigare numerosi campi della fisica delle alte energie: ricerca di particelle supersimmetriche, violazione di CP, misure di precisione sul modello standard e studio della fisica oltre il modello standard.

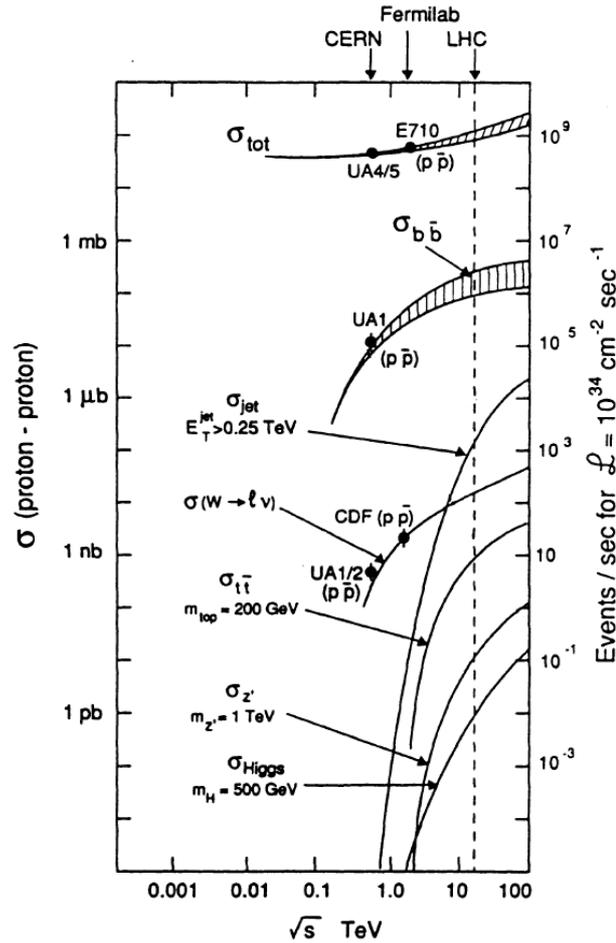


Figura 1.3: Sezione d'urto inelastiche per collisioni p - p in funzione dell'energia dei protoni nel centro di massa.

1.2.3 Il bosone di Higgs

Come più volte anticipato uno degli scopi principali del programma scientifico ad LHC è la ricerca del bosone di Higgs la cui massa (m_H) risulta essere un parametro libero del modello standard. Nonostante ciò, tutte le proprietà di questa particella possono essere calcolate in funzione di m_H , a partire dalla densità di lagrangiana descrivente il modello standard, dopo aver fissato tutti gli altri parametri del modello attraverso le misure sperimentali. Scopo di tale paragrafo è sintetizzare le principali caratteristiche fenomenologiche che guidano la ricerca del bosone di Higgs, dai processi di produzione ai meccanismi di decadimento.

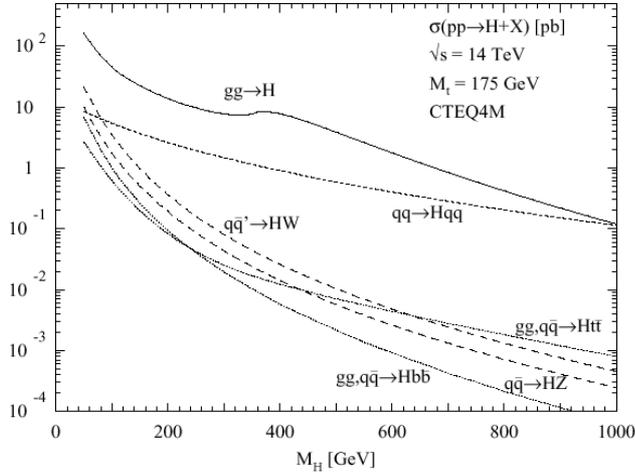


Figura 1.4: *Sezioni d'urto di produzione del bosone di Higgs ad LHC in funzione della sua massa. Tutte le sezioni d'urto sono state calcolate al NLO[17].*

Considerazioni[16] teoriche indicano un limite superiore di circa 600-800 GeV, valore di energia ampiamente raggiunto ad LHC. In figura 1.4 sono

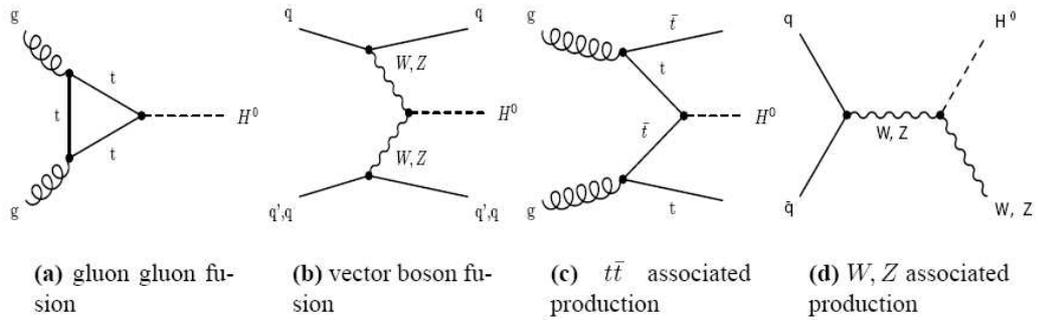


Figura 1.5: *Diagrammi di Feynman dei principali meccanismi di produzione del bosone di Higgs*

riportati, in funzione dei possibili valori della massa del bosone di Higgs, gli andamenti delle sezioni d'urto della sua produzione. Questi sono stati calcolati al *tree level* del modello standard, per interazioni protone-protone all'energia del centro massa di 14 TeV.

Il processo dominante è la fusione di due gluoni[16]. L'accoppiamento

dell'Higgs ai due gluoni avviene attraverso un loop triangolare di quark, con un contributo dominante dei quark pesanti top e bottom. Il diagramma all'ordine principale è mostrato in figura 1.5 (a).

Una valutazione più precisa della sezione d'urto elementare richiede il calcolo delle correzioni radiative di QCD, attraverso diagrammi a due loop. Il contributo di queste correzioni è in genere fattorizzato attraverso il cosiddetto *K factor*, definito come il rapporto tra la sezione d'urto calcolata agli ordini successivi nello sviluppo perturbativo (*Next-to-Leading-Order*, *NLO*) e la sezione d'urto calcolata all'ordine principale (*tree level*, *TL*).

$$K = \frac{\sigma_{NLO}}{\sigma_{TL}} \quad (1.22)$$

Per questo processo la correzione al *NLO* variano dal 10% al 15% a seconda della massa del bosone Higgs.

Per valore di massa di circa 120 GeV diventa significativa la probabilità (20% della sezione d'urto totale di produzione di Higgs) di produrre l'Higgs per fusione di bosoni vettoriali WW , ZZ [16], (fig. 1.5 (b)) emessi da una coppia di quark. Tale sezione d'urto acquisisce rilevanza al crescere della massa m_H e risulta competitiva con la produzione per fusione gluonica per $m_H > 600$ GeV. La più importante caratteristica di questo processo è la presenza di due *jet* emessi in direzione opposta ad alto η ed aventi ciascuno un'elevata massa invariante.

Per valori maggiori della massa dell'Higgs, $m_H < 200$ GeV, acquisista importanza il meccanismo di produzione attraverso *Bremsstrahlung*[16] di bosoni vettori W o Z dovuto all'interazione tra quark e antiquark (fig. 1.5 (d)). La sezione d'urto di tale meccanismo, come si può osservare in figura 1.4, per tali valori della massa m_H risulta inferiore di due ordini di grandezza a quella associata alla fusione di due gluoni. La caratteristica interessante di questo processo è la presenza di un bosone vettoriale, facilmente rilevabile attraverso i suoi prodotti di decadimento.

Nell'intervallo di massa inferiore a 130 GeV (fig. 1.4), la sezione d'urto di produzione del bosone di Higgs in associazione con due quark top[16], canale $t\bar{t}H$ (fig. 1.5 (c)), è dello stesso ordine di grandezza della produzione associata alla fusione di due bosoni vettoriali. Una buona rivelazione delle coppie $t\bar{t}$ fornisce pertanto un buon criterio di ricerca degli Higgs leggeri.

La scelta del canale di decadimento ottimale per la caratterizzazione dell'Higgs è vincolata dalla possibilità di separare il segnale S dal fondo B, il cui

rapporto varia al variare della massa m_H , cosicchè processi più vantaggiosi per determinati valori di massa possono non esserlo per altri valori. L'ampiezza

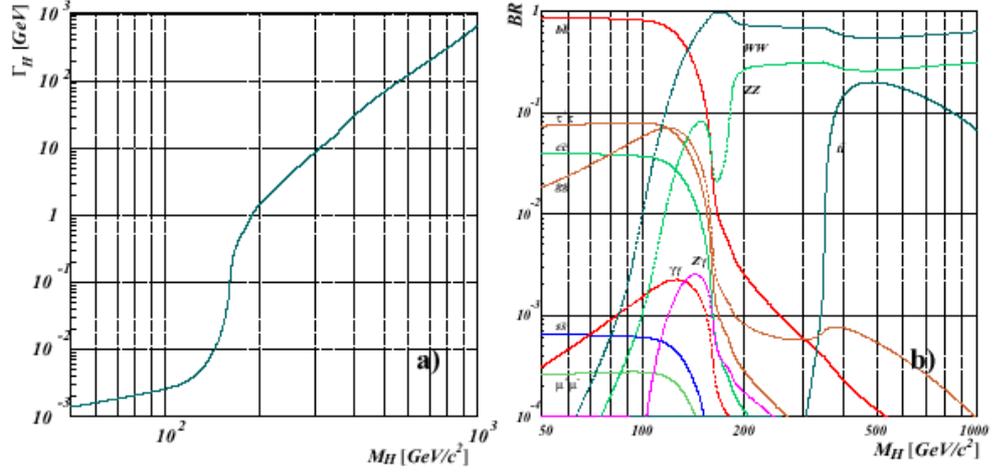


Figura 1.6: Ampiezza totale di decadimento del bosone di Higgs (a) e relativi branching ratio (b), in funzione della massa dell'Higgs[17]

totale di decadimento ed i *branching ratio* (BR) relativi ai principali canali di decadimento del bosone di Higgs sono riportati in figura 1.6, in funzione della sua massa. Come si può osservare nella regione di massa inferiore a circa 130 GeV è dominante il decadimento nella coppia $b\bar{b}$. Il decadimento nelle coppie $\tau^+\tau^-$, $c\bar{c}$ e in coppie di gluoni (attraverso diagrammi a loop) contribuisce per meno del 10%. In tale regione di massa, l'ampiezza totale di decadimento è inferiore a 10 MeV (fig. 1.6 (a)). Tuttavia tale canale è di difficile rivelazione a causa dell'alto fondo di quark beauty (b) presente in tale intervallo per la presenza di *jet adronici* dovuti ad interazioni forti, QCD. Per tali valori il canale più importante è $H \rightarrow \gamma\gamma$, sebbene presenti un basso BR (10^{-3}).

Per masse superiori a 130 GeV, dominano i decadimenti in coppie di bosoni vettoriali di cui uno è *off-mass-shell*, sino alla soglia di produzione di coppie WW o ZZ con entrambi i bosoni reali, *on-mass-shell*. Da questo valore in poi i canali di decadimento in WW e ZZ sono dominanti. Infatti come si può osservare in figura 1.6 (b) intorno al valore $m_H \sim 2m_W$ si nota una brusca riduzione della BR del canale ZZ^* proprio a seguito dell'apertura del canale di decadimento in due W reali. In tale range la scoperta di un bosone di Higgs è strettamente legata al canale $H \rightarrow ZZ \rightarrow ll\nu\bar{\nu}$ o $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu jj$; la ricostruzione di questi eventi è resa difficile dalla presenza di neutrini nello

stato finale identificabili solo come massa mancante attraverso un calorimetro adronico. Per tali valori di m_H l'ampiezza di decadimento cresce rapidamente ed arriva da un valore di circa 1 GeV per $m_H = 200$ GeV a 100 GeV per $m_H = 500$ GeV. Il valore dell' ampiezza totale di decadimento gioca un ruolo importante nella progettazione dei rivelatori pensati per la ricerca del bosone di Higgs. Nel caso di un bosone di Higgs con massa inferiore a 200 GeV l'ampiezza del picco di massa ricostruito è dominata dalla risoluzione del rivelatore, che deve essere quanto migliore possibile per permettere un'efficiente discriminazione del segnale dal fondo.

In fine l'andamento generale dei canali di decadimento lungo tutto lo spettro

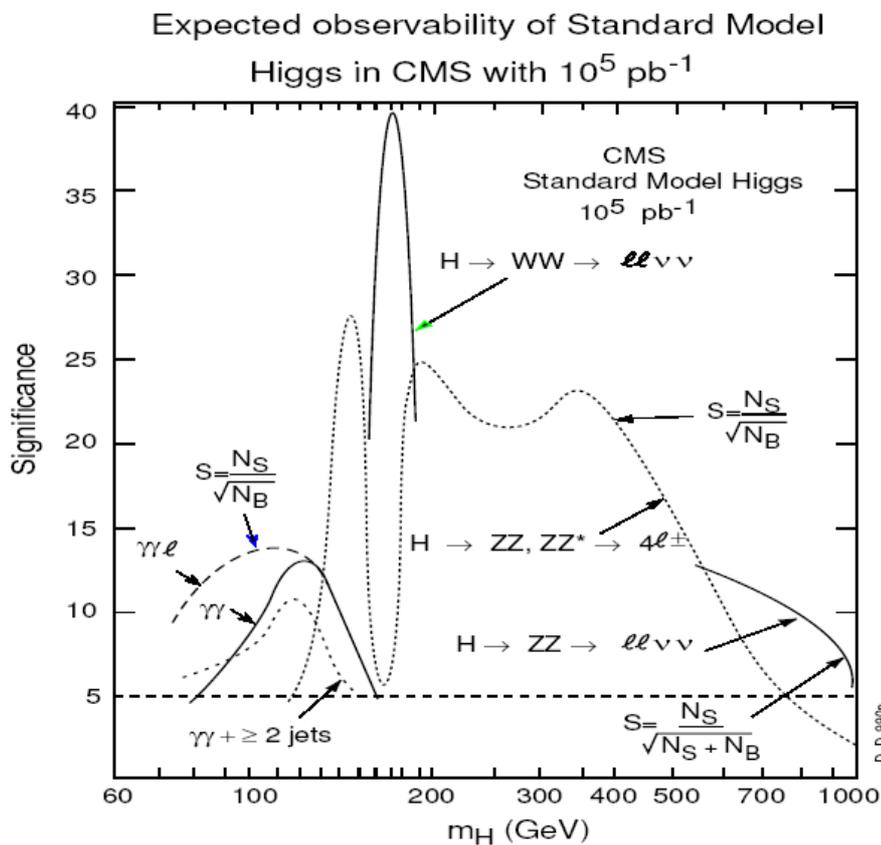


Figura 1.7: *Significatività, o potenziale di scoperta, del bosone di Higgs nei vari canali in funzione di m_H con una luminosità integrata pari a 10^5 pb^{-1} .*

tro di massa dell'Higgs è rappresentato in figura 1.7 in relazione alla sig-

*nificatività*⁴ di scoperta il cui limite inferiore è fissato convenzionalmente a 5σ .

1.2.4 SUSY

Diverse motivazioni teoriche inducono a pensare che il modello standard altro non sia che un'approssimazione a basse energie di una teoria più generale, che si basa sul concetto di supersimmetria. L'idea di base è che per ogni particella descritta dal Modello Standard esista un "partner supersimmetrico" avente statistica opposta. La struttura supersimmetrica[18][19] prevede infatti l'esistenza di multipletti di particelle aventi uguale massa e il cui spin differisce di $1/2$. Di conseguenza bosoni e fermioni saranno definiti da una struttura a multipletto che differisce dal relativo partner supersimmetrico per un fattore di spin $1/2$, cancellando in tal modo le divergenze presenti nel modello standard. L'estensione Minimale Supersimmetrica del Modello Standard (MSSM) predice l'esistenza di una famiglia di 5 bosoni di Higgs supersimmetrici: 3 particelle neutre (h, H, A) e due cariche (H^\pm). Nei modelli supersimmetrici i canali di produzione e di decadimento di ogni particella saranno gli stessi del relativo partner supersimmetrico. Grazie all'alto range di masse raggiungibile da LHC, sarà possibile verificare la presenza di eventuali partner supersimmetrici con sezioni d'urto dell'ordine di qualche pb.

1.2.5 Fisica del quark Top

L'alta luminosità raggiungibile permette ad LHC di comportarsi come una t -factory in grado di produrre da 8 a 80 milioni di coppie $t\bar{t}$ all'anno. Lo studio dei processi di produzione e decadimento di coppie di quark $t\bar{t}$ potrebbe completare le nostre conoscenze nel settore della rottura di simmetria elettrodebole e rivelare fenomeni di nuova fisica, essendo il quark top l'unica particella fondamentale conosciuta con massa paragonabile alla scala elettrodebole. Grazie all'alto rate di eventi e ad una sezione d'urto di circa 830 pb già a bassa luminosità, LHC consentirà di migliorare la misura della massa ottenuta al Fermilab raggiungendo un'accuratezza di ~ 2 GeV dovuta quasi completamente ad errori sistematici. Inoltre si miglioreranno la conoscenza della sezione d'urto effettiva e si potranno studiare i possibili decadimenti esotici all'interno del modello standard ($t \rightarrow Zc$) o nel quadro del modello standard supersimmetrico minimale ($t \rightarrow H^+b$). I principali canali di decadimento del quark Top coinvolgono un leptone ad elevato p_T ed uno o

⁴La significatività è definita come $S = \text{Segnale}/\sqrt{\text{Fondo}}$

più getti adronici ($t\bar{t} \rightarrow (l\nu b)(j\bar{j}b)$). E' quindi necessaria buona risoluzione energetica da parte dei calorimetri, sia per il tagging dell'evento che per la ricostruzione della massa invariante.

1.2.6 Fisica dei mesoni B

Il canale $b\bar{b}$, come si evince dalla figura 1.3, è caratterizzato da un'alta sezione d'urto che consente di produrre circa $2.3 \cdot 10^{10}$ eventi/anno offrendo la possibilità di esplorare un ampio range di canali della fisica del B. L'alto tasso di eventi prodotti consentirà di studiare dettagliatamente le caratteristiche relative alla violazione della simmetria CP nei differenti rate di decadimento del bosone B^0 . I processi più importanti nella violazione CP sono i canali $B_d^0 \rightarrow J/\Psi K_s^0$, $J/\Psi \rightarrow \mu\mu$. La maggiore difficoltà consiste nel fatto che i leptoni che decadono dal b sono abbastanza leggeri rendendo difficile distinguerli dall'alto fondo dovuto ai decadimenti leptonici di pioni, kaoni e quark charm. In tale campo è incentrato essenzialmente lo studio dell'esperimento *LHCb*, mentre sarà sviluppato dagli esperimenti ATLAS e CMS prevalentemente durante la prima fase a bassa luminosità di LHC.

1.2.7 Fisica degli ioni pesanti

Come già menzionato, LHC in una fase opererà come collisionatore di ioni pesanti, con un'energia trenta volte superiore a quella del più potente collider per ioni, *RHIC*. Le collisioni saranno studiate non solo da un rivelatore dedicato *ALICE*, ma anche da ATLAS e CMS al fine di studiare il confinamento dei partoni ed il plasma di gluoni e quark.

Capitolo 2

Il rivelatore CMS

Il *Compact Muon Solenoid*, CMS, è uno dei quattro apparati sperimentali che opereranno ad LHC. Come indica il suo nome, uno dei suoi principali requisiti è la compattezza. Ciò comporta una scelta di un intenso campo magnetico ottenuto usando un solenoide superconduttivo che produce nel suo interno un campo di 4 T. La grande molteplicità di particelle prodotte durante l'intersezione dei fasci, il breve intervallo temporale tra le collisioni e l'intensa radiazione di fondo hanno influenzato le scelte progettuali di ogni apparato sperimentale costruito ad LHC, in modo da poter sfruttare a pieno le potenzialità offerte dall'acceleratore.

A tal fine CMS richiede:

- grande granularità per poter separare il maggior numero di particelle;
- un'elettronica veloce in modo da minimizzare la sovrapposizione temporale degli eventi prodotti (*pile-up*);
- un'ottima resistenza alla radiazione;
- un sistema di trigger capace di lavorare alla frequenza di 40 MHz.

Tali richieste sono soddisfatte attraverso un buon sistema muonico, un ottimo sistema calorimetrico ed un sistema tracciante interno di altissima qualità. Tutto ciò, corredato dall'intenso campo magnetico, permette di avere misure di posizione e di momento di altissima precisione.

2.1 Caratteristiche generali di CMS

L'intera struttura di CMS[20] si compone di una parte cilindrica longitudinale centrata nel punto di intersezione dei fasci costituente il *barrel* e da due dischi

laterali, gli *endcap*, con una lunghezza totale di 21,6 m, un raggio di 15 m ed un peso complessivo di circa 12500 tonnellate. Così come si può osservare

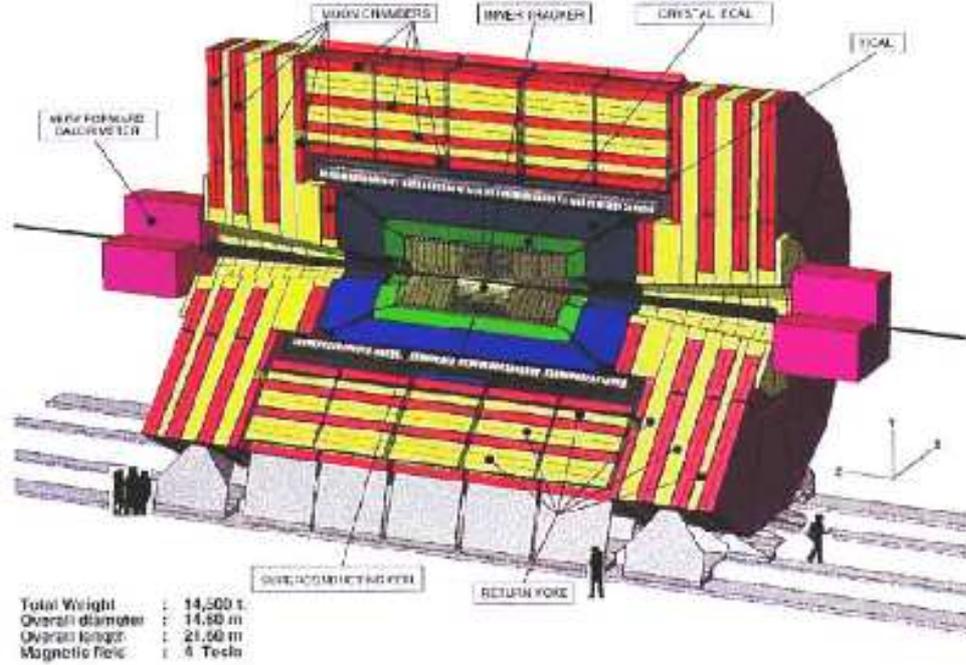


Figura 2.1: *Apparato sperimentale CMS*

in figura 2.1 il sistema di coordinate di CMS è rappresentato da una terna destrorsa in cui l'asse x punta verso il centro dell'anello di LHC, l'asse z corre parallelo alla linea dei fasci infine y punta verso l'alto. Data però la chiara simmetria cilindrica dell'intero apparato, l'algoritmo di ricostruzione ha usato un sistema di coordinate basato sulla distanza dall'asse z , r , l'angolo azimutale ϕ rispetto all'asse y e la pseudorapidità η definita dalla relazione

$$\eta = -\ln\left(\tan\frac{\theta}{2}\right) \quad (2.1)$$

con θ definito rispetto l'asse z .

Il vantaggio di usare tale coordinata invece di θ sta nel fatto che

$$\frac{dN}{d\eta} = \text{cost} \quad (2.2)$$

avendo indicato con N il rate medio di particelle prodotte[21].

L'intera struttura di CMS è guidata dalla scelta del suo magnete[22], un

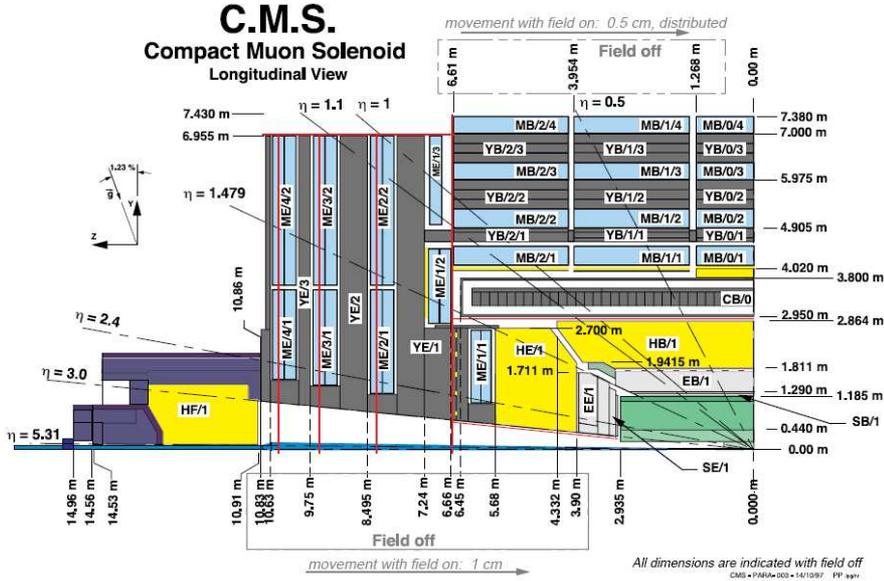


Figura 2.2: *Visione trasversale di un quarto di CMS*

solenoidi superconduttore lungo 13 m ed avente un raggio di 5.9 m. Raffreddato per mezzo di un dispositivo ad elio liquido, esso come già detto sviluppa al suo interno un intenso campo magnetico di 4 T che è mantenuto uniforme da un massivo giogo di ferro che svolge il ruolo di circuito magnetico di ritorno. Nel giogo prendono posto i componenti del sistema muonico composto da RPC e camere a deriva nel barrel e CSC e da RPC nell'endcap. Sia il sistema di calorimetri che il sistema tracciante, *tracker*[23], sono invece installati all'interno del solenoide. La parte interna del sistema tracciante, adibita essenzialmente alla ricostruzione dei vertici secondari, ha una grande granularità, dovendo tener conto della grande quantità di particelle prodotte nell'interazioni. Per tale motivo si è deciso di utilizzare pixel al silicio. La parte esterna invece è costituita da rivelatori a strisce di silicio che estendono il raggio di tale sistema sino ad 1.2 m ed $|\eta| < 2.5$. Il sistema tracciante così composto permetterà di avere per ogni particella rivelata almeno dodici misure di posizione.

Le misure di energia invece avverranno nel sistema calorimetrico composto, partendo dall'interno, da un calorimetro elettromagnetico (ECAL), costituito da cristalli scintillanti di PbWO_4 ricoprenti la regione $|\eta| < 3.0$ e da un calorimetro adronico (HCAL) di tipo *sampling*. Tale sistema nell'endcap verrà integrato da un ulteriore rivelatore, *preshower*, al fine di migliorare la risoluzione. In fine per migliorare l'ermeticità dell'apparato e per estendere le

misure di energia sino ad $|\eta| < 5.3$ il sistema calorimetrico è completato così come si può vedere in figura 2.1 da due calorimetri esterni, detti calorimetri *forward*.

2.2 Il sistema tracciante

Il sistema di tracciamento *tracker* sfruttando il campo magnetico generato all'interno della struttura di CMS, permette di ricostruire nella regione angolare $|\eta| < 2.5$, le tracce delle particelle cariche, di misurarne il momento e di ricostruire i vertici primari e secondari di decadimento. Attraverso la combinazione delle informazioni provenienti dal sistema muonico e dai calorimetri permette di identificare il passaggio di elettroni, fotoni, muoni. Il suo corretto funzionamento diviene per tanto un punto fondamentale per lo sviluppo del programma scientifico di CMS che ha richiesto le seguenti prestazioni:

- poter ricostruire le tracce isolate nella regione centrale del rivelatore con $\eta < 1.6$, con una risoluzione dell'impulso trasverso migliore di $\delta p_t \approx (15 \cdot p_t \oplus 0.5)\%$ ¹ (p_t espresso in TeV) e che progressivamente si riduce a $\delta p_t \approx (60 \cdot p_t \oplus 0.5)\%$ al tendere di η a 2.5. Tale ricostruzione permette corretti assegnamenti di carica per muoni ed elettroni sino ai massimi impulsi accessibili e la corretta ricostruzione di stati a vita media lunga, che decadono in particelle cariche;
- in combinazione col sistema muonico poter avere una risoluzione dell'impulso di muoni migliore del 10% anche a 4 TeV;
- poter ricostruire muoni con un'efficienza di circa il 98% in tutto l'intervallo di pseudorapidità anche per p_t di circa un GeV;
- poter ricostruire, in presenza di ambienti ricchi di jet adronici, gli adroni con un'efficienza di migliore dell'85%.

Così come già accennato nel paragrafo precedente il sistema tracciante si può dividere in due parti distinte in quanto composte da rivelatori differenti. La parte più interna, costituita da rivelatori a pixel di silicio, ha lo scopo di ricostruire le tracce di particelle con alto momento trasverso p_T nella regione $|\eta| < 2.5$, in modo da effettuare misure precise del parametro di impatto² e dei vertici secondari. La parte esterna invece, composta da rivelatori a strisce

¹Il simbolo \oplus indica la somma in quadratura

²Ad esempio nel caso dei jet rappresenta la distanza tra la direzione del jet fissata dai cluster calorimetrici e la corrispondente traccia misurata nel tracker a partire dal vertice primario di decadimento.

di silicio, estende tale sistema sino ad un raggio di $r = 110$ cm e $z = 270$ cm.

2.2.1 Il rivelatore a pixel

Il rivelatore a pixel di silicio, composto da circa 4.4 milioni di pixel, si estende per una lunghezza di 53 cm, distribuendosi su tre strati cilindrici concentrici di raggio 4.4, 7.3, 10.2 centimetri rispettivamente. Ogni pixel consiste in uno strato di silicio di tipo p^+ formante una giunzione con un altro di tipo n^+ . Su quest'ultimo è posto un ulteriore strato di tipo n , avente una superficie di $150 \mu\text{m} \times 150 \mu\text{m}$ ed uno spessore di $250 \mu\text{m}$. Interpolando le cariche depositate in pixel adiacenti la risoluzione spaziale di tale rivelatore è $\sim 15 \mu\text{m}$. Questa grande risoluzione permette accurate ricostruzioni tridimensionali di vertici secondari, misure di parametri d'urto nonchè l'identificazione dei b^- e τ -jet. Come si può osservare in figura due dischi per lato posti ad una distanza del centro di intersezione dei fasci di $z = 34.5$ e $z = 46.5$ cm rispettivamente chiudono la struttura ermeticamente.

2.2.2 Il rivelatore a microstrip di silicio

Ricoprendo una superficie di oltre 300 m^2 è formato da ~ 15000 rivelatori a microstrip per un totale di oltre 10 milioni di canali di lettura. La sua struttura è composta da 10 strati formati da moduli a microstrisce di silicio di spessore differente e risoluzione spaziale variabile tra i 20 e $50 \mu\text{m}$. Gli

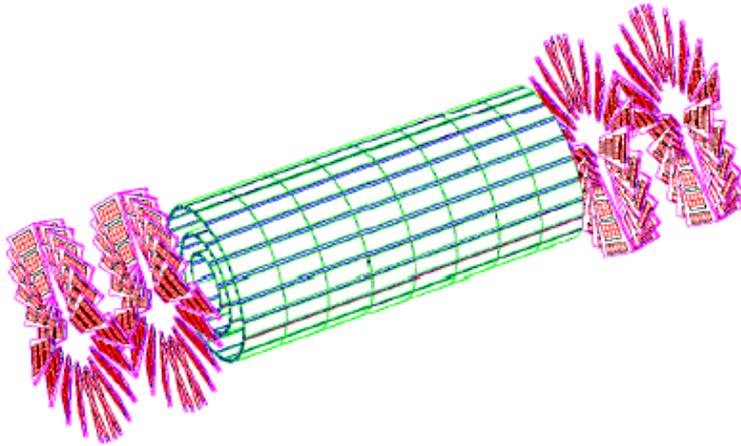


Figura 2.3: *Rilevatore a pixel di silicio*

strati 1-4 spessi $320 \mu\text{m}$ compongono il TIB (Tracker Inner Barrel) mentre gli strati 5-10 di spessore $500 \mu\text{m}$ formano il TOB (Tracker Outer Barrel). L'endcap è invece formato da 12 strati (3 TID + 9 TEC) posti ortogonalmente all'asse z in modo tale da rilevare le particelle prodotte con $|\eta| < 2.5$. Le strip di silicio sono poste a distanza variabili l'una dall'altra (tra 80 e $180 \mu\text{m}$ nel barrel e tra 80 e $205 \mu\text{m}$ nell'endcap) e leggermente sovrapposte rispetto al punto di interazione tra strati differenti per ridurre le zone morte e facilitarne l'allineamento. La struttura delle microstrisce cambia a seconda

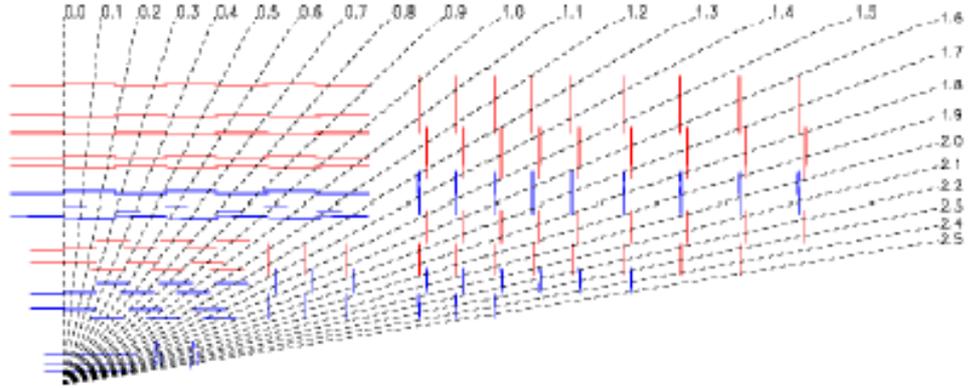


Figura 2.4: Vista longitudinale di un quarto del sistema di tracciamento a strip di silicio.

della posizione infatti, i primi due strati interni del TIB e del TOB, i primi due anelli del TID e gli anelli 1, 2 e 5 del TEC sono sviluppati mediante moduli a doppia faccia mentre gli altri sono moduli ad una facciata.

2.3 Il calorimetro elettromagnetico

Il calorimetro elettromagnetico[24] di CMS è stato progettato per effettuare precise misure di energia e posizione di elettroni e fotoni generati dall'interazione dei fasci. Le misure che si intende realizzare con CMS hanno imposto serie richieste sulle prestazioni del rivelatore, in particolare il canale fisico $H \rightarrow \gamma\gamma$ nel range di energia $100-140 \text{ GeV}/c^2$ ha imposto una risoluzione dell'1% della massa invariante dei due fotoni. A tal scopo è stato scelto un calorimetro omogeneo composto da circa 80000 cristalli di PbWO_4 . Tali cristalli sono caratterizzati da un piccolo raggio di Molière ($21,9 \text{ mm}$) e da una corta lunghezza di radiazione (8.9 mm) che permettono un ottimo con-

tenimento della cascata elettromagnetica e quindi una maggiore compattezza del rivelatore.

Le dimensioni dei cristalli variano a seconda che essi appartengano al barrel o all'endcap. La lunghezza di un cristallo nel barrel è 230 mm mentre nell'endcap è di 220 mm corrispondenti rispettivamente a 25.8 e 24.7 lunghezze di radiazione. La forma a tronco di piramide con una base quadrata di lato 22 mm nel barrel e 30mm nell'endcap, invece, li accomuna tutti. Il segnale luminoso dovuto al passaggio di una particella elettromagnetica è raccolto da diodi *avalanche* di silicio nel barrel mentre da foto-triodi a vuoto nel caso dei cristalli dell'endcap. Un *pre-shower* installato prima dell' endcap nella

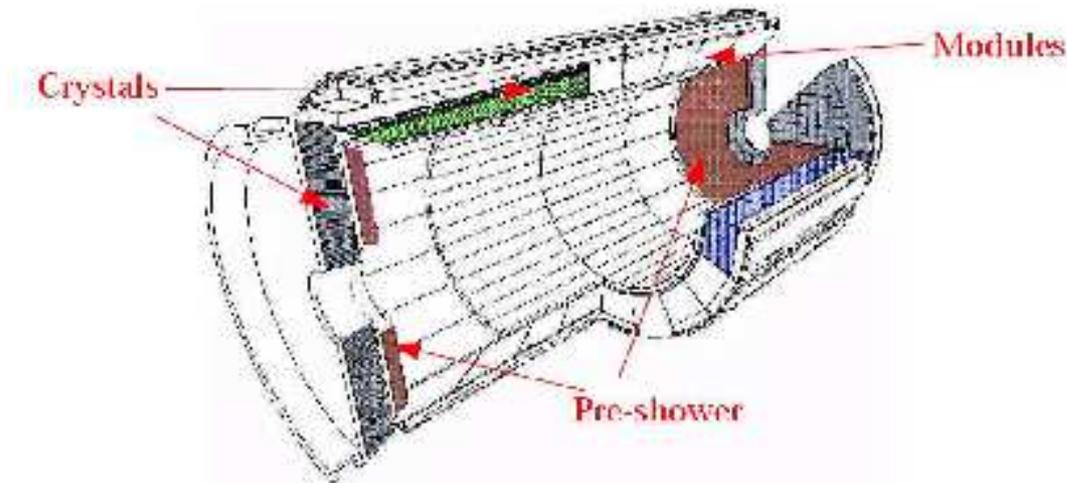


Figura 2.5: *Visione tridimensionale dell'ECAL.*

regione $1.65 < |\eta| < 2.61$, consiste di due strati sciamatori e di due piani di strip di silicio con una lunghezza totale di radiazione pari a $3 X_0$. Questo ha lo scopo di aumentare la precisione della misura del punto di impatto dei fotoni migliorando così la risoluzione del dispositivo.

La risoluzione in energia (E) di un calorimetro può essere parametrizzata nel modo seguente

$$\left(\frac{\sigma}{E}\right)^2 = \left(\frac{a}{\sqrt{E}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_n}{E}\right)^2 + 0.55\% \quad (2.3)$$

dove a , chiamato termine stocastico³, include gli effetti delle fluttuazioni sta-

³pari a 2.7% nel barrel e 5.7% nell'endcap

tistiche dei processi elettromagnetici, σ_n^4 è dovuto al rumore dell'elettronica.

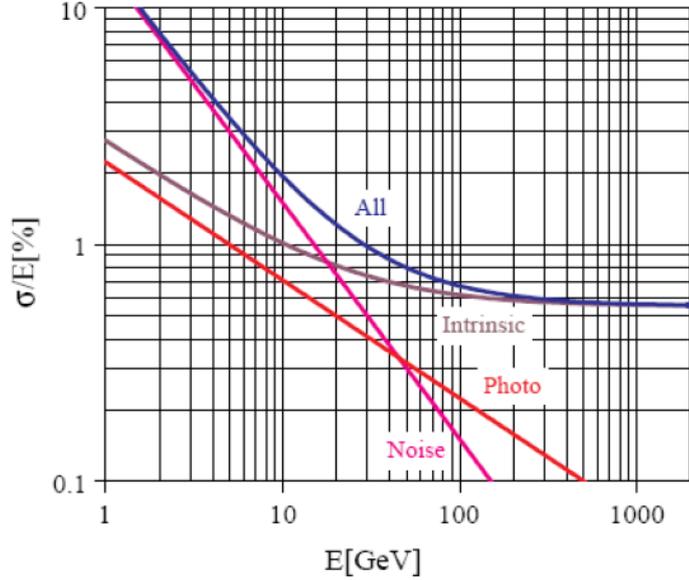


Figura 2.6: *Andamento dei vari contributi al variare dell'energia.*

2.4 Il calorimetro adronico

Misure di energia e direzione di *jet* adronici, misure di energia trasversa totale e stima dell'energia mancante (*missing energy*) sono gli scopi del calorimetro adronico[25]. Per poter effettuare misure sull'intero angolo solido tale sistema si compone di due diversi apparati calorimetrici di cui uno è implementato all'interno del magnete mentre l'altro è costruito all'esterno del sistema muonico (si veda la figura 2.1).

Il calorimetro interno è di tipo sampling, composto da scintillatori plastici intervallati da piatti assorbitori in ottone. Sia nel barrel che nella parte endcap la lettura avviene in blocchi di dimensioni $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.087 \times 0.087$ costituenti le torri.

I calorimetri esterni sono composti da fibre di quarzo disposte parallelamente alla direzione dei fasci, intervallati da assorbitori di acciaio inossidabile.

⁴pari a 155 MeV nel barrel e 200 MeV nell'endcap.

La risoluzione in energia per i vari sottorivelatori è mostrata in tabella.

calorimetro barrel	$65\%\sqrt{E} \oplus 5\%$
calorimetro endcap	$85\%\sqrt{E} \oplus 5\%$
calorimetro esterno	$100\%\sqrt{E} \oplus 5\%$

E espressa in GeV.

2.5 Il sistema muonico

Alle energie di LHC, molti processi fisici interessanti hanno come prodotto muoni o particelle che decadono in muoni.

Ne sono un esempio il cosiddetto canale d'oro, in cui l'Higgs decade in 4 leptoni carichi, che ha un'alta significatività nel range di energie comprese tra 130 - 650 GeV

$$H \rightarrow ZZ(ZZ^*) \rightarrow 4l^\pm$$

ed il decadimento dell'Higgs Supersimmetrico in due muoni.

$$h, H, A \rightarrow \mu^+ \mu^-$$

Il compito del sistema muonico[26] consiste nell'identificare e soprattutto triggerare i muoni provenienti dalle zone più interne di CMS ed in combinazione col sistema tracciante effettuare una misura accurata del loro impulso trasverso p_T . Fondamentali per il corretto svolgimento del programma scientifico di CMS sono le sue prestazioni che devono essere in grado di fornire:

- la corretta assegnazione della carica con un livello di confidenza del 99% per muoni con energia fino a 7 TeV;
- una precisa misura di posizione con un'incertezza massima di 100 μm ;
- una risoluzione della misura del momento trasverso *stand-alone*⁵ nella zona angolare $0 < |\eta| < 2$ pari a : $\delta p_t/p_t \simeq 8 - 17\%$ per muoni con $p_t = 10$ GeV, compresa tra 9 e 20 % per muoni con $p_t = 100$ GeV. In fine per valori di p_t di 1 TeV la risoluzione deve essere compresa tra i valori 14 - 34 %;
- l'identificazione del corretto *bunch crossing* (BX) riuscendo a selezionare eventi con 1 o 2 muoni o con valori del momento trasverso al di sopra di una certa soglia;
- la misura del momento *standalone*.

⁵Misura effettuata utilizzando solo il sistema muonico

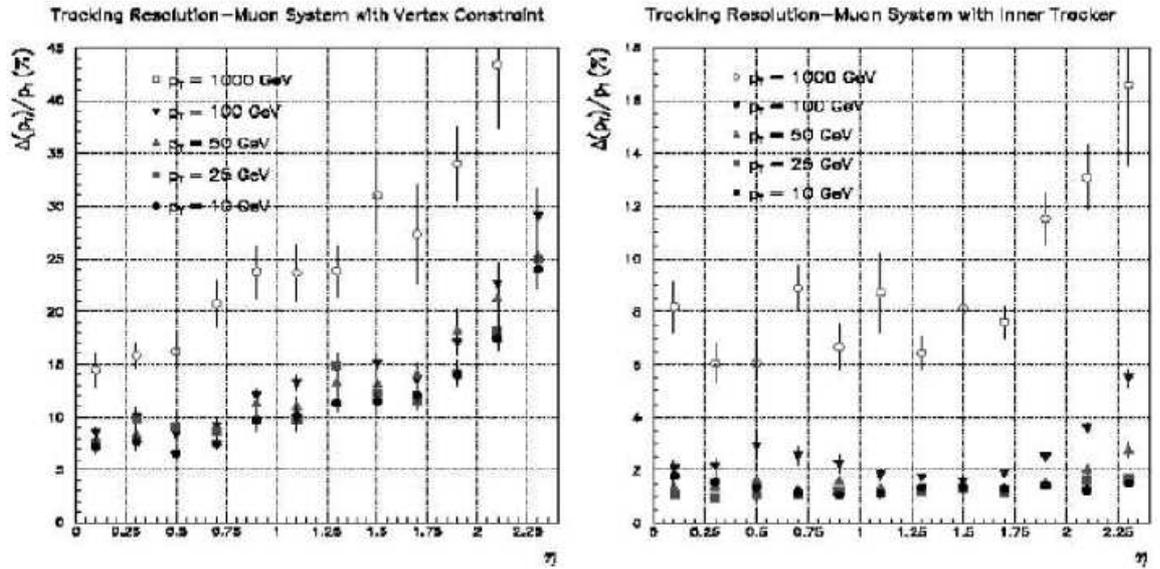


Figura 2.7: Risoluzione del momento delle misure di momento per tracce di muoni simulate. La figura di sinistra è stata ottenuta considerando il solo sistema muonico, quella di destra considera anche il tracciatore intorno.

Tale sistema si compone di due endcap e 5 ruote formanti il barrel che, partendo dall'interno, si dividono radialmente in 4 livelli detti stazioni. Nel barrel l'unione delle cinque ruote forma una serie di cilindri concentrici paralleli alla direzione dei fasci. Gli endcap sono formati da 4 più 4 dischi disposti in maniera ortogonale alla direzione dei fasci.

Data l'importanza della rivelazione dei muoni, il sistema muonico presenta due sistemi di trigger indipendenti, in modo da avere un sistema ridondante che assicura il suo corretto funzionamento. Questi si sviluppano attorno a tre differenti tecnologia: RPC (*Resistive Plate Chamber*) e DT (*Tubi a Deriva*) nel barrel e RPC e CSC (*Cathode Strip Chamber*) nell'endcap.

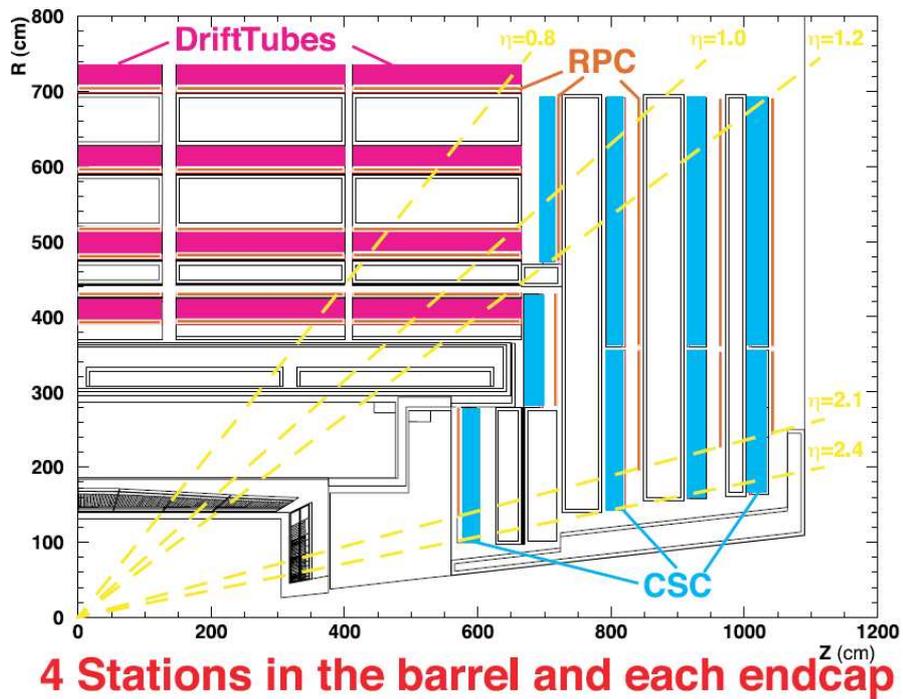


Figura 2.8: Stazioni del sistema muonico.

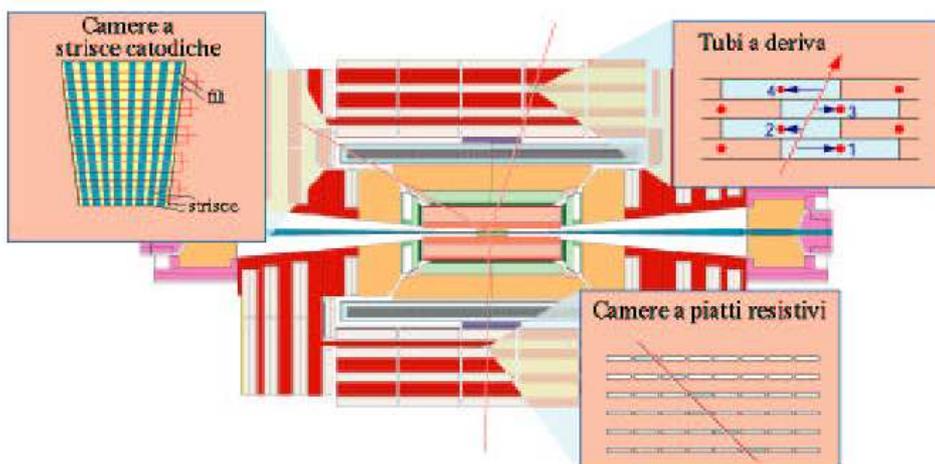


Figura 2.9: Disposizione dei vari sottosistemi del sistema muonico.

2.5.1 Camere a DT

L'elemento di base di una camera è costituito da *tubi a deriva*, DT, di dimensioni 42×13 mm. Ogni DT è formato da filo di acciaio inossidabile (anodo)

di raggio $50 \mu\text{m}$, posto al centro della cella formata da due piani di alluminio separati da una distanza di 13 mm da due barre di alluminio a forma di I che fungono da catodi del sistema. Per rendere quanto più uniforme il campo elettrico sono stati aggiunti all'interno di ogni camera ulteriori elettrodi assicurando così una velocità di deriva di $5.6 \text{ cm}/\mu\text{s}$, con un tempo massimo di drift pari ad 375 ns . Come mezzo attivo si utilizza una miscela di Argon (80%) e CO_2 (20%) che assicurano un buon *quenching*, ed una velocità di deriva costante. L'efficienza di una singola cella è di circa 99.8% con una risoluzione spaziale di $\sim 180 \mu\text{m}$.

Il rivelatore a camere a DT si articola in quattro stazioni denominate MB1 - MB4 per un totale di 250 camere. Le dimensioni di quest'ultime variano in un range di $2 \times 2.5 \text{ m}^2$ per le più interne (MB1), sino a $4 \times 2.5 \text{ m}^2$ per le più esterne (MB4). Ogni camera si compone di 3 differenti superstrati (SL) (costituiti da 4 piani di DT), racchiusi da una struttura metallica che assicura rigidità e sostegno al sistema. I fili anodici dei SL più esterni, SL1 - SL3, sono disposti paralleli alla linea dei fasci, mentre l'SL2 li presenta orientati ortogonalmente agli altri. Per migliorare l'efficienza e ridurre l'ambiguità *destra - sinistra*, le celle di due piani sovrapposti sono sfasate di mezza cella. Grazie a queste caratteristiche si possono effettuare misure di r e ϕ da tracce ricostruite, con un errore di circa $100 \mu\text{m}$ (limite massimo dovuto allo scattering multiplo).

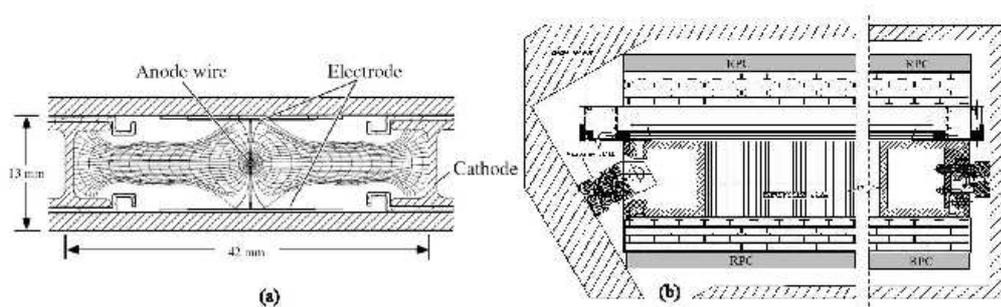


Figura 2.10: *Schema di un DT e di una camera.*

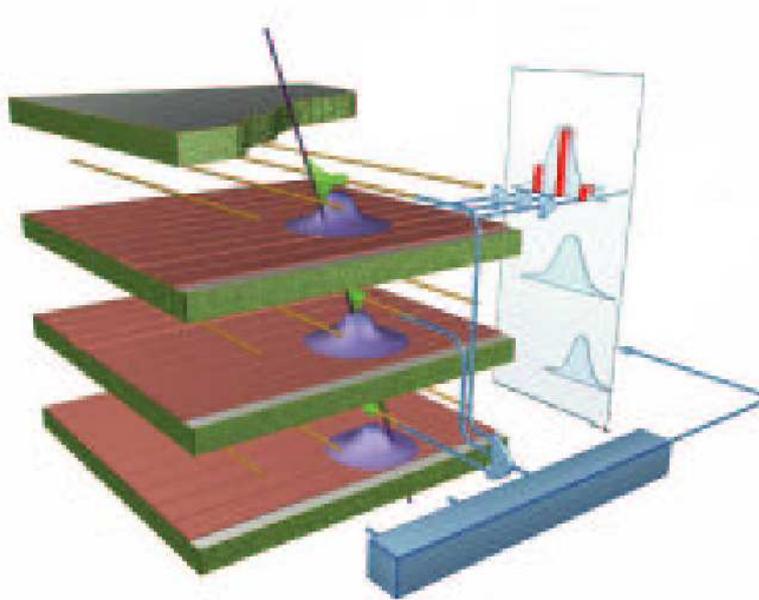


Figura 2.11: *Schema della raccolta del segnale di una camera a CSC dell'endcap.*

2.5.2 Cathode strip chambers

Le CSC sono camere a multifilo composte da due piani catodici, di cui uno segmentato in strip, e da una serie di fili anodici al centro disposti in modo ortogonale alla direzione delle strip. Al passaggio di una particella il gas che le riempie si ionizza dando origine ad una valanga in prossimità degli anodi. Per induzione viene prodotto un segnale elettrico sulle strip di lettura del piano catodico. Mediando la carica indotta su strip adiacenti (metodo del baricentro della carica) si arriva a misure di posizione con una precisione di $50 \mu\text{m}$. Questa costituirà la misura della coordinata ϕ di una particella dell'endcap. La coordinata ortogonale, r , è misurata attraverso il segnale proveniente dal filo anodico. Per ridurre il numero di canali, abbassando i costi dell'esperimento, si è convenuto di raggruppare i fili in gruppi che vanno da 5 a 16, perdendo così informazioni e pervenendo a misure con un incertezza di $\sim 0.5 \text{ cm}$.

L'intero sistema è costituito di 540 camere suddivise in 4 stazioni: la stazione più interna è formata da tre anelli concentrici di camere mentre le restanti tre sono formate da due.

Ogni anello della stazione più interna è formato da due layer, che si sovrappongono in ϕ (eccetto ME1/3), da 36 camere di forma trapezoidale con fili paralleli alla base del trapezio che coprono 10° . Le restanti stazioni presentano gli anelli più interni costituiti da 18 camere, che coprono ognuna 20° , mentre gli anelli esterni essendo composti da un numero di doppio di camere che coprono un angolo di 10° .

Ogni camera è composta da 6 strati sovrapposti di camere a multifilo. La

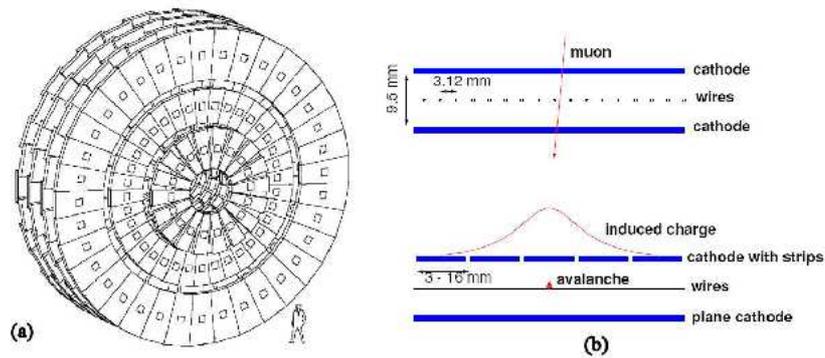


Figura 2.12: *Descrizione della disposizione delle CSC all'interno dell'endcap (a). Rappresentazione dettagliata delle geometria delle Cathode Strip Chambers (b).*

larghezza della gap è di 9.5 mm ed è riempita con una miscela di gas di Ar/CO₂/CF₄ con percentuali di 30%/50%/20%.

Particolare attenzione nella progettazione del sistema dell'endcap è stata fatta nella realizzazione della camera più interna della prima stazione che è posta in una regione ad alto campo magnetico (>3 T) e ad altissima dose di radiazione: i fili anodici sono stati inclinati di 25° per compensare l'effetto di deflessione negli elettroni di deriva dovuto al campo magnetico (angolo di Lorentz), lo spessore della gap è stato diminuito a 6 mm e raddoppiato il numero di strip per far fronte all'alto rate di eventi.

2.5.3 Il sistema muonico ad RPC

Il sistema muonico ad RPC a differenza di quelli visti sino ad ora effettua misure sia nel barrel che nell'endcap. L'unità base di tale sistema è composta da RPC a doppia gap raggruppati in camere. La disposizione delle camere a muoni, segue la struttura dei gioghi di ferro su cui vengono implementate, pertanto la parte del barrel si sviluppa su 12 settori, numerati in senso

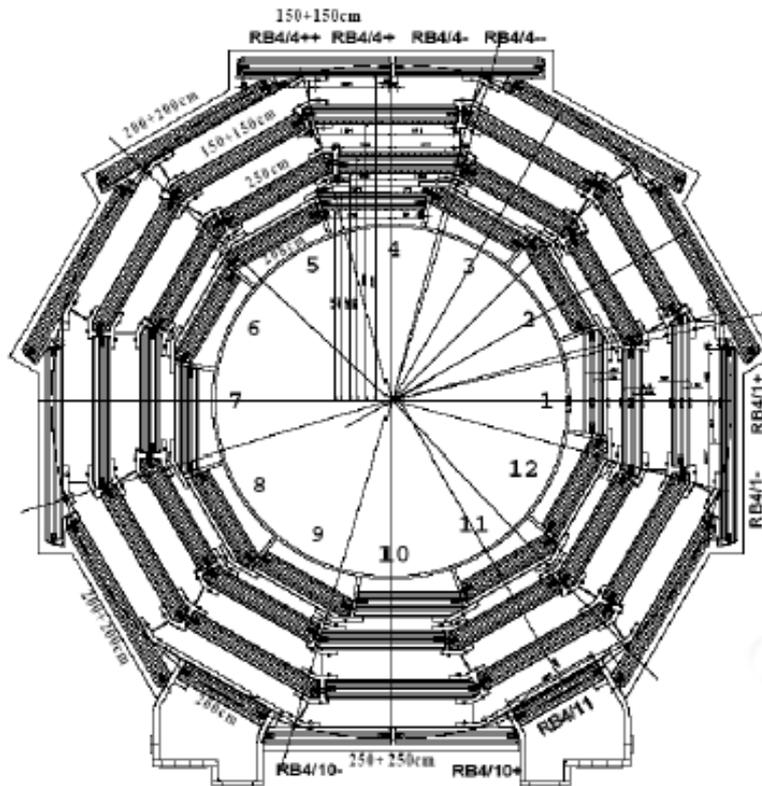


Figura 2.13: *Posizionamento degli RPC in una ruota del barrel*

antiorario partendo da $\phi=0$. Ogni settore è composto da quattro stazioni muoniche (RB1-RB4) costituite da RPC e DT: di queste soltanto le prime due conterranno due camere RPC (in-out) fra i quali è frapposta la camera a DT, mentre RB3 e RB4 conterranno un'unica camera RPC. Ogni RPC nelle camere RB3 e RB4 è suddiviso in due parti rispetto a ϕ (+, -), fatta eccezione delle stazioni RB4/4 di ogni ruota, che sono suddivise in quattro parti (++, +, -, --) e delle RB4/9 e RB4/11 che invece non presentano alcuna divisione. Il numero totale di RPC (intesi come singole gap) presenti nel barrel è pari a 480 coprendo una superficie totale di 2400 m². Ognuno dei due endcap è costituito da 4 stazioni (ME1-ME4) di RPC, per un totale di 540 camere; ogni stazione ha forma trapezoidale ed è disposta all'interno di anelli composti da 18 o 36 camere concentriche con la linea del fascio. La prima stazione è composta da tre anelli di camere, mentre le altre stazioni sono suddivise in soli due anelli seguendo la geometria delle CSC.

2.6 Trigger e sistema DAQ

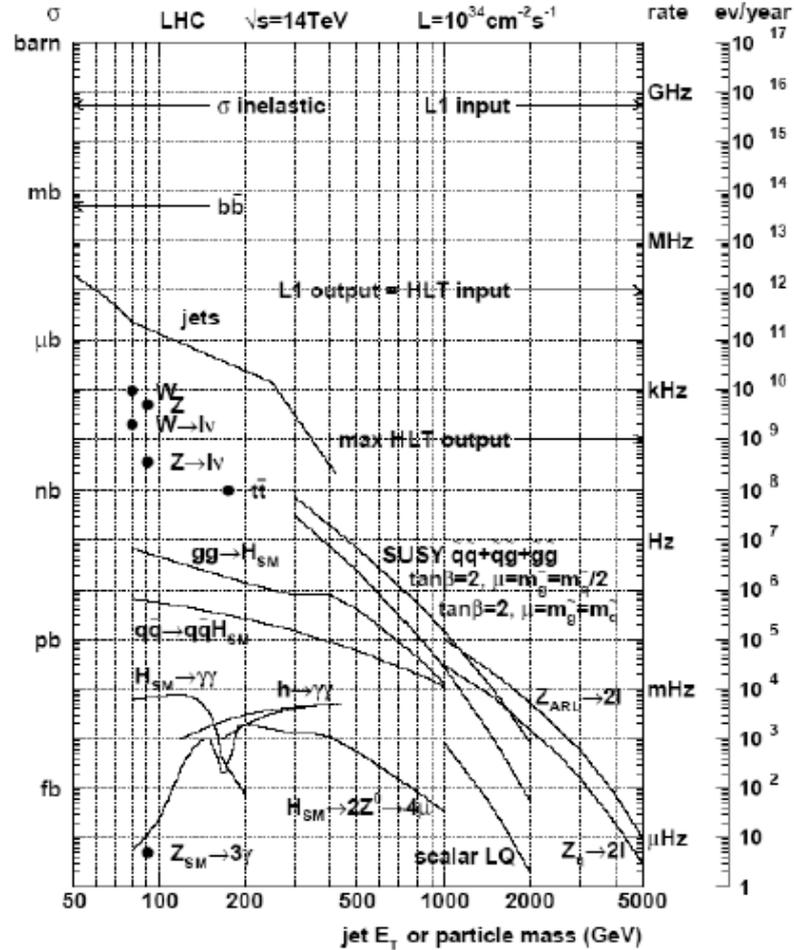


Figura 2.14: Sezione d'urto alla luminosità massima in relazione con la massa degli oggetti prodotti

Lo studio delle sezioni d'urto dei processi fisici nell'interazione protone-protone all'energia di LHC, ha messo in luce che le sezioni d'urto dei processi importanti sono di diversi ordini di grandezza inferiori della sezione d'urto totale inelastica. Di conseguenza la maggior parte degli eventi prodotti saranno poco interessanti ai fini dell'esperimento e costituiranno il cosiddetto fondo.

Alla massima luminosità di LHC saranno prodotti circa 17 eventi per ogni interazione protone-protone (*bunch crossing BX*), per un totale di 10^9 eventi

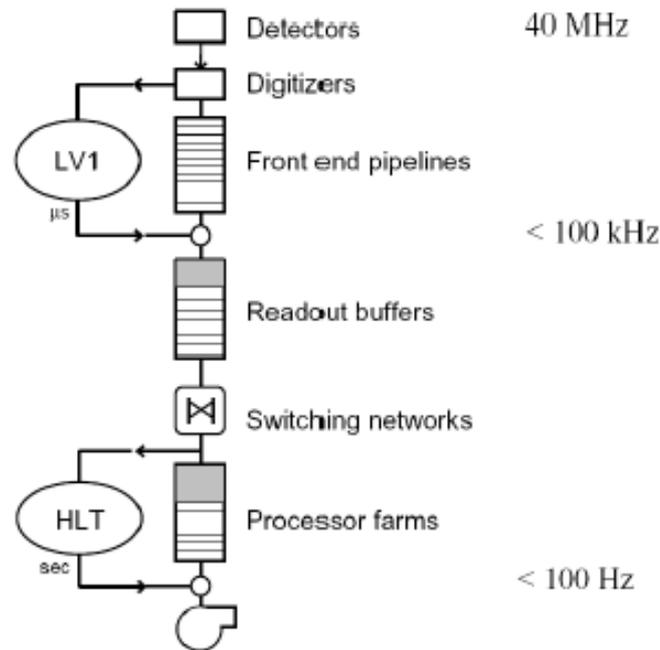


Figura 2.15: *Schema del flusso dati del sistema di trigger di CMS*

al secondo, valore estremamente superiore alla capacità di archiviazione delle più moderne memorie di massa.

L'obiettivo del TRIDAS[27][28] (sistema di trigger ed acquisizione dati) di CMS consiste nella selezione degli eventi interessanti per una successiva analisi *off-line*, riducendo così il flusso dei dati ad un valore accettabile per le odierne memorie di massa.

Esso si sviluppa attraverso la serie di due differenti stadi

- L1, che riduce il flusso sino a 100 kHz
- HLT, che riduce il flusso a 100 Hz .

Ne consegue un fattore di riduzione R

$$R = 40MHz/100Hz = 4 \cdot 10^5$$

Il trigger di primo livello[29], L1, basato su un'elettronica di tipo custom, acquisisce i dati provenienti esclusivamente dai calorimetri e dal sistema muonico, ad ogni BX . I calorimetri vengono suddivisi in torri (settori con $\Delta\phi$ e

$\Delta\eta$ fissati) in modo da ottenere informazioni locali sull'energia. Tale informazione locale è trasmessa al *Trigger Calorimetrico Regionale* che cerca gli elettroni, i fotoni ed i jet adronici candidati a tali energie.

Questi, assieme con la somma della loro energia trasversa, E_t , sono poi inviati al *Trigger Calorimetrico Globale* che effettua un'ulteriore selezione cercando i migliori 4 candidati da inviare al *Trigger Globale*. Il Trigger del sistema muonico, che verrà discusso più dettagliatamente nei prossimi paragrafi si compone di tre diversi sistemi: trigger ad RPC, trigger a CSC e trigger a DT. Questi sistemi hanno ognuno una propria logica ed almeno in un primo momento lavorano in maniera indipendente gli uni dagli altri.

Il loro algoritmo di ricostruzione delle tracce si compone di due passi successivi cercando prima le tracce camera per camera, poi globalmente cercando tra le prime quelle che intercettano due o più camere. Poichè nella regione $0.9 < |\eta| < 1.2$ i sistemi a CSC e DT si sovrappongono per tale regione i due sistemi cercheranno le tracce globali considerando i loro risultati contemporaneamente. Le migliori 4 tracce globali assieme con il loro momento trasverso associato, P_t , η e informazioni sulla carica sono inviate al *Sistema Muonico Globale*. Questo seleziona in fine i 4 migliori candidati e li invia al *Trigger Globale*. Ivi vengono sincronizzati con i dati provenienti dai sistemi calorimetrici ed attraverso requisiti di carattere topologico (come ad esempio candidati aventi tracce opposte, *back-to-back*), si effettua un'ulteriore selezione dei dati che in fine saranno inviati al successivo stadio di trigger.

I dispositivi di cui si compone, il trigger di primo livello, necessitano di un tempo di rielaborazione dell'ordine dei μs , pertanto esso non è in grado di prendere alcuna decisione nell'intervallo temporale tra due *BX* consecutivi, pari a 25 ns. Onde evitare la sovrapposizione di informazioni provenienti da differenti *BX* (*pile-up*) la sua struttura è stata integrata con un serie di memorie *pipeline* in grado di memorizzare i dati provenienti da diversi *BX*, in modo da trattenerli per il tempo necessario alla loro elaborazione ($\sim 3.2 \mu\text{s}$ pari a 128 *BX*, *latency*) eliminando così i tempi morti .

Gli eventi selezionati dal primo livello sono trasmessi, attraverso degli *Switching networks*, al secondo stadio del trigger, l'*High Level Trigger* (HLT). Esso si sviluppa attraverso una successione di filtri compiuti da farm di processori commerciali su cui operano algoritmi software. In tale livello si elaborano i dati provenienti dal sistema tracciante, facendo divenire la dimensione di ogni evento selezionato pari ad 1 MB. In fine gli eventi sono trasmessi al DAQ (*sistema di Acquisizione Dati*) ed immagazzinati ad una frequenza di 100 MB/s nelle memorie di massa, pronti per una più dettagliata analisi *off-line*.

2.7 Il trigger del sistema muonico

Il sistema di trigger per muoni, integrato nel livello L1 della struttura generale del trigger di CMS, ha il compito di identificare i muoni, ricostruire la loro posizione e il loro momento trasverso risalendo al bunch crossing in cui sono stati generati. Il funzionamento incrociato dei rivelatori a DT, CSC ed RPC, grazie all'ottima risoluzione spaziale dai primi due e all'eccellente risoluzione temporale assicurata dagli ultimi, consente di coprire un'area pari a $\eta=2.4$ ottenendo un sistema complementare, robusto, altamente efficiente e con una buona reiezione degli eventi di fondo. La massima frequenza di output possibile dipende dalla luminosità di lavoro di LHC: alla massima luminosità ($10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$) l'input rate richiesto dall'HLT è 100 kHz che, tenendo in considerazione un margine di sicurezza di un fattore tre dovuto a possibili errori di stima delle sezioni d'urto o di variazioni di luminosità, è ridotto a 30 kHz, da suddividere tra calorimetro e sistema muonico. Solo 5-10 kHz di banda sarà assegnata al sistema muonico richiedendo un fattore di reiezione pari a $\sim 10^{-5}$.

I possibili modi di produzione di muoni nell'interazione protone-protone sono:

- Decadimento di oggetti pesanti (W, Z, top, higgs, etc.).
- Decadimento di quark b e c .
- Decadimento di adroni composti da quark u, d e s (principalmente π e K).
- Punch-through di getto adronico.

I muoni dei primi due tipi, definiti *prompt*, sono prodotti molto vicini al vertice d'interazione; di questi solo quelli ad alto impulso trasverso riescono ad essere rilevati e rappresentano signature di canali di interesse fisico. I restanti muoni a basso momento trasverso, assieme a quelli provenienti sia dai raggi cosmici sia dall'interazione con gli elementi costituenti di LHC (*beam halo muon*, costituiscono il segnale di fondo a cui il sistema di trigger deve far fronte. Le relative frequenze di produzione attese, visualizzate in figura 2.16 per eventi a uno e due muoni, permettono di scegliere il giusto valore di p_T^{cut} come compromesso tra l'efficienza e il rate massimo di eventi del LV1 trigger. Come si evince dalla figura, il valore massimo possibile di p_T^{cut} è circa 100 GeV oltre il quale l'efficienza del segnale di vari oggetti pesanti (ad es. W e Z) è fortemente degradata. La scelta del limite inferiore è operata in relazione alla banda disponibile per il trigger muonico: assumendo che il sistema di trigger debba selezionare eventi ad una frequenza massima di 15 kHz, è necessaria una soglia almeno pari a 20 GeV nel caso di muoni singoli,

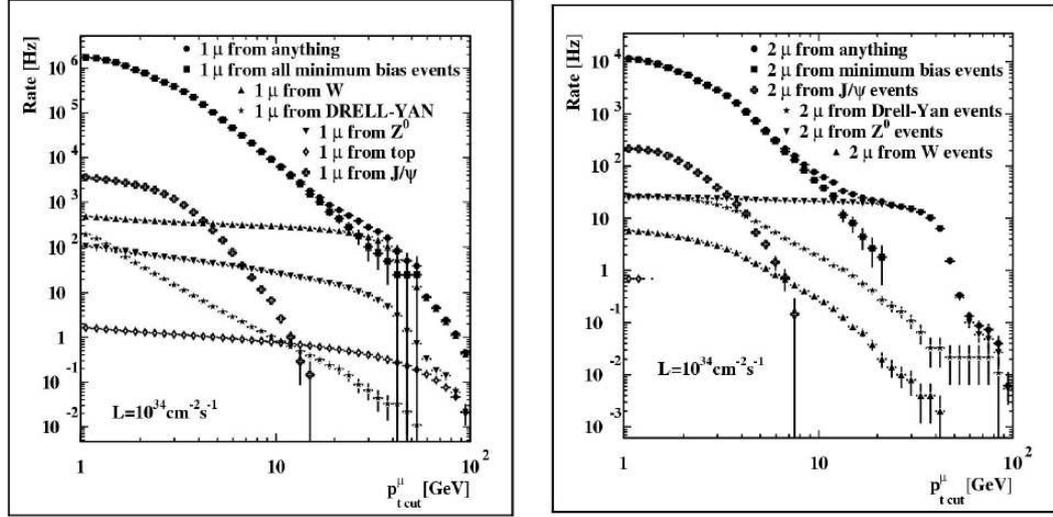


Figura 2.16: Frequenze attese di eventi ad uno (sx) e a due (dx) muoni nello stato finale alla massima luminosità.

mentre per gli eventi a due muoni è possibile raggiungere frequenze di lavoro di ~ 1 kHz già per p_T di 7 GeV, che corrisponde all'impulso minimo dei muoni che riescono a raggiungere il barrel.

2.7.1 Struttura del L1 trigger del sistema muonico

Come si può osservare in figura 2.17 il sistema di trigger per muoni si può dividere in un primo momento in tre diversi sottosistemi indipendenti comunicanti in fine solo attraverso l'ultimo stadio costituito dal Global Muon Trigger, GMT. L'informazione da mandare al GMT, infatti, è costruita in passi differenti da tre sistemi indipendenti di trigger costituiti dal sistema ad RPC, dal sistema a DT e dal sistema a CSC. Per gli ultimi due sistemi l'algoritmo di trigger si sviluppa in due passi, infatti le informazioni di ogni camera sono processate da un sistema di trigger locale, *local trigger*, che ricostruisce i segmenti di traccia, questi poi sono successivamente collegati tra loro dal secondo passo dell'algoritmo mediante i trigger regionali, *regional trigger Track Finder*. Come già accennato nel capitolo precedente, nella regione $0.9 < |\eta| < 1.2$ in cui si ha la sovrapposizione dei sistemi a DT e CSC, si effettuano controlli incrociati tra i due sistemi in modo da non ottenere ricostruzioni fantasma. A differenza dei primi due sistemi, il sistema ad RPC, non presenta alcuna ricostruzione locale delle tracce, ma le informazioni provenienti da tutti gli RPC sono mandate al *Pattern Comparator*

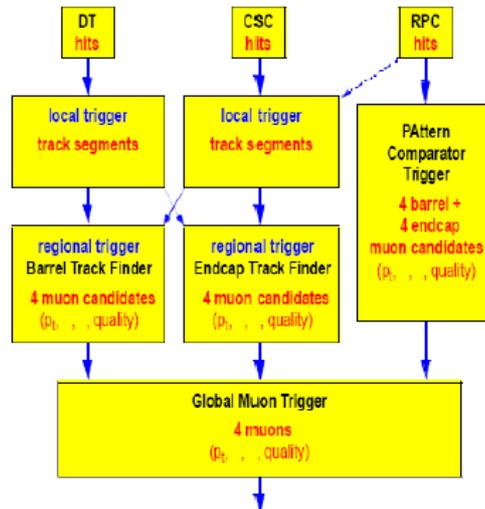


Figura 2.17: *Schema del sistema di trigger per muoni.*

Trigger, PACT. Quest'ultimo ha il compito di ricostruire le caratteristiche di un evento attraverso la comparazione del percorso misurato con un set di percorsi predefiniti, memorizzati in una *look-up table*. A tale livello di trigger, si ottiene un segnale ogni qual volta avviene la coincidenza temporale e spaziale degli hit di quattro stazioni. Il sistema associa al segnale di trigger un fattore di qualità diverso in base al numero di coincidenze (qualità 3 nel caso 4/4, 2 per coincidenza 3/4 senza il piano 3 o 4, 1 (0) senza il piano 1 (2)); nel barrel, dove sono presenti sei stazioni, la ricerca è sviluppata indipendentemente per i muoni a basso p_T , nelle stazioni MB1-MB2, e per i muoni ad alto p_T utilizzando un layer per ogni stazione. Il GMT riceve quindi 4 candidati dai DT, 4 dalle CSC e ne cerca la corrispondenza spaziale rispetto a η e ϕ con 4+4 ricevuti dagli RPC: in caso di esito positivo il GMT invia al Trigger globale di CMS le quattro migliori tracce, di tutto il rivelatore, per ciascun evento. Al fine di avere un'elevata efficienza ed una buona reiezione del fondo, la selezione delle tracce da inviare al trigger global avviene sia se un evento è visto da entrambi i sottosistemi (RPC e DT/CSC), senza vincoli di qualità (AND logico), sia se è rilevato da un unico sottosistema ma con alta qualità (OR logico). In fine, per stabilire la presenza di un muone rivelato all'interno di un *jet*, il GMT riceve informazione anche dal trigger del calorimetro attraverso due bit: quiet bit e MIP bit. Il primo indica la presenza di zone ad alto rilascio di energia, mentre il secondo indica il passaggio di una particella con un'energia comparabile col minimo di ionizzazione di un

48

muone.

Capitolo 3

Il rivelatore RPC dell'esperimento CMS

Le Camere a piatti resistivi paralleli, RPC, dall' inglese Resistive Plate Chamber, sviluppati agli inizi degli anni '80 da R.Santonico e R. Cardarelli (Aggiungere Ref.) sono rivelatori che utilizzano una miscela gassosa come mezzo attivo al fine di rivelare particelle cariche che le attraversano. Queste ultime cedono energia al gas, che ionizzandosi sotto l'azione di campo elettrico può generare un segnale elettrico misurabile. Gli RPC sono caratterizzati da un'ottima risoluzione temporale, paragonabile con quella degli scintillatori dell'ordine dei ns, una buona risoluzione spaziale dell'ordine del cm, un'alta efficienza di rivelazione ($\geq 95\%$), in più possono essere realizzati in diverse geometrie e possono ricoprire grandi superfici a costi ragionevoli. Grazie a queste qualità, gli RPC, sono stati impiegati in numerosi esperimenti come NADIR, E771, WA92, MINI[30][34], FENICE, L3[36], BABAR[37] e sono stati approvati come sottorivelatori del sistema muonico negli esperimenti ad LHC: ATLAS e CMS.

3.1 I rivelatori a gas

3.1.1 Formazione e sviluppo della valanga

Quando una particella carica attraversa un gas, interagisce elettromagneticamente con le molecole che lo costituiscono .

Per velocità relativistiche l'energia media rilasciata per unità di lunghezza è data dalla ben nota formula di Bethe-Block

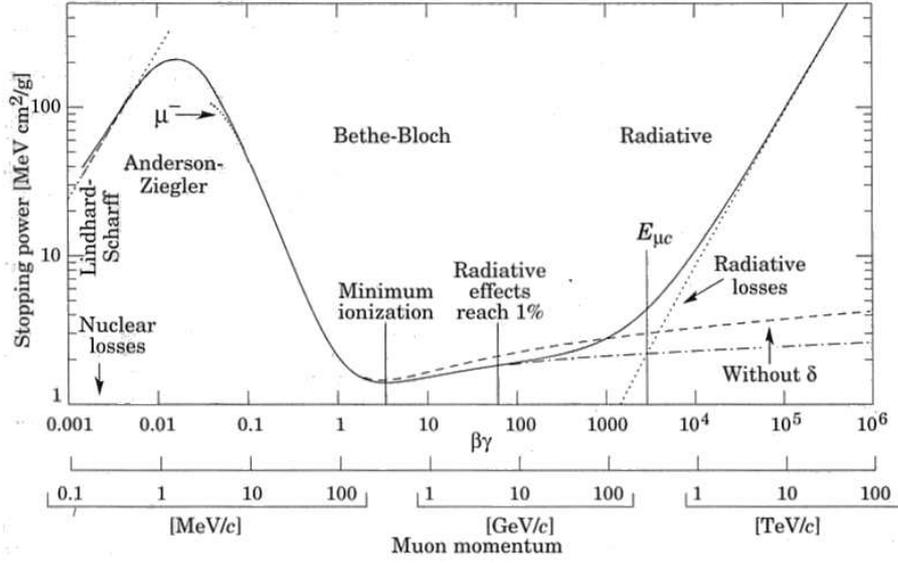


Figura 3.1: Andamento della perdita di energia media per unità di lunghezza di un muone. Bethe-Bloch.

$$-\frac{dE}{dx} = D\rho \frac{Z}{A} \frac{z^2}{\beta^2} \left[\ln \left(\frac{2m_e \gamma^2 c^2 \beta^2}{\bar{I}} \right) - \beta^2 - \frac{\delta}{2} - \frac{C}{Z} \right] \quad (3.1)$$

con

$$D = \frac{4\pi N_A}{m_e c^2} = 0.307 \text{ MeV cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

dove

- N_A è il numero di Avogadro e m_e la massa dell'elettrone;
- ρ, Z e A sono la densità, il numero atomico e la massa atomica del mezzo attivo;
- z è la carica e βc la velocità della particella incidente;
- $\gamma = \left(\sqrt{1 - \beta^2} \right)^{-1}$;
- \bar{I} è il potenziale medio del mezzo¹;
- il termine $-\beta^2$ ha origine nella trattazione quantistica del problema;

¹un'approssimazione valida per $Z > 1$ è $\bar{I} = 16 \cdot Z^{0.9}$ eV;

- $-\frac{\delta}{2}$ di densità tiene conto di effetti di polarizzazione del mezzo;
- il termine $\frac{C}{Z}$ tiene conto degli effetti di schermatura degli elettroni interni agli atomi del mezzo.

Il passaggio della particella carica nel mezzo ha l'effetto di creare delle coppie ione-elettrone, dette *coppie primarie*. Se gli elettroni generati dalla ionizzazione primaria posseggono un'energia maggiore del minimo di ionizzazione del gas, potranno a loro volta indurre la creazione di nuove coppie, costituenti la ionizzazione secondaria. Tale fenomeno prende il nome di meccanismo di *moltiplicazione*.

Il numero di ionizzazioni primarie N , all'interno di un dato materiale di spessore d segue la distribuzione di Poisson ed è completamente determinato noto il cammino libero medio λ , definito come il numero di coppie n_0 prodotte dalla particella incidente per unità di lunghezza.

La probabilità di ottenere N coppie primarie sarà data allora da:

$$P(n = N) = \frac{(d\lambda)^N}{N!} e^{-d\lambda}$$

Il numero totale di coppie n_T create, somma delle coppie primarie e secondarie, si può scrivere come rapporto tra l'energia totale rilasciata dalla particella incidente (ΔE) e l'energia media necessaria alla creazione di una coppia (W_i).

L'energia che una particella deve rilasciare, mediamente è maggiore del solo potenziale di ionizzazione del gas, infatti possono verificarsi i processi di eccitazione che assorbono energia senza produzione di coppie.

Per ridurre i fenomeni di ricombinazione ione-elettrone, e favorire la moltiplicazione delle cariche libere, si può cedere agli elettroni liberati, energia sufficiente a formare nuove coppie. Ciò usualmente avviene applicando dall'esterno campi elettrici elevati (\sim kV/cm) che favoriscono così la formazione di una *valanga*. Poichè la velocità di deriva degli ioni è di circa due ordini di grandezza minore di quella degli elettroni ($v_d^- \sim 5 \cdot 10^6$ cm s^{-1}), la distribuzione delle cariche prodotte avrà la tipica forma a valanga (aggiungere fig): si creano infatti, due distribuzioni di carica, quella negativa compatta in testa e quella positiva di forma più allungata in coda. La valanga continuerà a svilupparsi fino a che il campo esterno non verrà annullato dal campo generato dalle cariche elettriche libere, formatesi nel gas in seguito alla sua ionizzazione.

L'evoluzione della valanga può essere descritta utilizzando il primo coefficiente di *Townsend* (α), legato al numero di elettroni prodotti lungo la traiettoria della particella, dalla relazione:

$$dn = N_0 \alpha dx \quad (3.2)$$

dove N_0 è il numero di elettroni prima del tratto dx .

pertanto il numero di elettroni prodotti lungo un percorso (Δx) sarà:

$$N(x) = N_0 e^{\alpha \Delta x} \quad (3.3)$$

Il primo coefficiente di *Townsend* essendo legato al numero di interazioni che una particella effettua durante il suo percorso nel mezzo, sarà dipendente da alcuni parametri ambientali, quali ad esempio la pressione del gas, p , ed il campo elettrico applicato E . La relazione di Korff (Agg. Ref) esprime in prima approssimazione il loro modo di legarsi

$$\frac{\alpha}{p} = A e^{-\frac{Bp}{E}} \quad (3.4)$$

A e B sono costanti dipendenti dal tipo di miscela gassosa utilizzata.

Altri processi importanti per descrivere l'evoluzione della *valanga* sono il fenomeno di ricombinazione elettroni-ione e gli eventuali fenomeni di cattura elettronica da parte di atomi neutri fortemente elettronegativi. Questi processi tendono a limitare l'estensione della valanga. Una stima di tali effetti è definita attraverso il coefficiente di *attaccamento* β , il cui valore diviene importante rispetto ad α in presenza di atomi fortemente elettronegativi.

Pertanto la 3.3 va sostituita con la

$$N(x) = N_0 e^{\eta \Delta x} \quad \eta = \alpha - \beta \quad (3.5)$$

dove η rappresenta il coefficiente di ionizzazione effettivo.

In generale i parametri ambientali dipendono dalla posizione della particella nel gas pertanto il fattore di moltiplicazione M , definito come il rapporto tra il numero di elettroni totali prodotti (n_T) ed il numero di elettroni primari N_0 avrà la seguente forma:

$$M = \frac{n_T(x)}{N_0} = \exp \int_{x_0}^x \eta(x) dx \quad (3.6)$$

3.1.2 Rivelatori a filo ed RPC

Una grande frazione dei rivelatori a gas, attualmente in uso, è costituita dai rivelatori a filo aventi per anodo un filo verso cui si dirigeranno gli elettroni liberati nel gas.

Tale geometria impone grande dipendenza dalla distanza r tra il punto in cui la particella incidente libera nel gas la coppia elettrone-ione e l'anodo. Essendo infatti, il campo elettrico in tali dispositivi proporzionale ad $1/r$, il processo di moltiplicazione avverrà solo in prossimità del filo. Ciò comporta una buona risoluzione spaziale ($\sim 100 \mu\text{m}$) come nel caso delle Camere

Proporzionali a Multifilo (*MWPC*) o delle Camere a Deriva, ed una bassa risoluzione temporale dovuta alle fluttuazioni dei tempi di deriva delle cariche libere ed al fatto che non si potrà avere moltiplicazione e quindi un segnale misurabile se non in prossimità dell'anodo, introducendo un tempo di attesa. Migliorano la risoluzione temporale i dispositivi in cui viene applicato un campo elettrico uniforme ed intenso. In tali condizioni la moltiplicazione può iniziare subito dopo le ionizzazioni primarie. Le fluttuazioni temporali risultano pertanto minimizzate. I primi dispositivi di questo tipo apparvero intorno agli inizi degli anni '40 quando i primi *Contatori a Piatti Paralleli*, PPC[38], furono costruiti. Le scariche nelle camere, dovute al passaggio di particelle ionizzanti, provocano una caduta di potenziale tra gli elettrodi che pertanto devono essere ricaricati affinché il dispositivo ritorni efficiente. Occorreva un circuito esterno che li ricaricasse introducendo un tempo morto di circa 1s, molto maggiore del tipico tempo di propagazione della valanga (\sim qualche decina di ns). Ciò imponeva dei limiti al numero di conteggi sostenibili da tali dispositivi e quindi all'efficienza di rivelazione in caso di alti flussi di particelle.

Più tardi negli anni '70 gli elettrodi metallici vennero sostituiti dagli elettrodi resistivi. Il principale vantaggio di usare elettrodi resistivi, risiede nel fatto che l'area interessata dalla caduta di potenziale è limitata alla sola superficie su cui arriva la valanga. Si può perciò considerare, in prima approssimazione, il rivelatore come un insieme di celle indipendenti capaci di rivelare grandi flussi di particelle senza l'introduzione di alcun tempo di ricarica, responsabile dell'inefficienza di rivelazione e bassa risoluzione temporale ad alti flussi di particelle incidenti. La semplice espressione della capacità di un condensatore piano porta al risultato che l'area S di una di queste celle è proporzionale alla carica Q che è prodotta durante una scarica.

$$S = \frac{Qd}{\varepsilon_0 V} \quad (3.7)$$

Le *Planar Spark Chamber*[39], PSC, realizzate da Pestov, furono i primi rivelatori ad apportare tali accorgimenti. L'alta precisione meccanica di tali dispositivi permetteva una risoluzione temporale di circa 100 ps.

Pochi anni dopo Santonico e Cardarelli costruirono i primi RPC[40]. Questi ultimi costituirono un enorme passo in avanti nello sviluppo dei rivelatori a gas con piatti resistivi, in quanto apportarono numerose semplificazioni rispetto alle precedenti PPC.

Si sostituirono i piatti di vetro con quelli di bakelite, una resina fenolica, e si richiedeva una più bassa precisione meccanica. Tutto ciò abbassa i costi di produzione senza limitare la risoluzione temporale, anzi attraverso opportuni

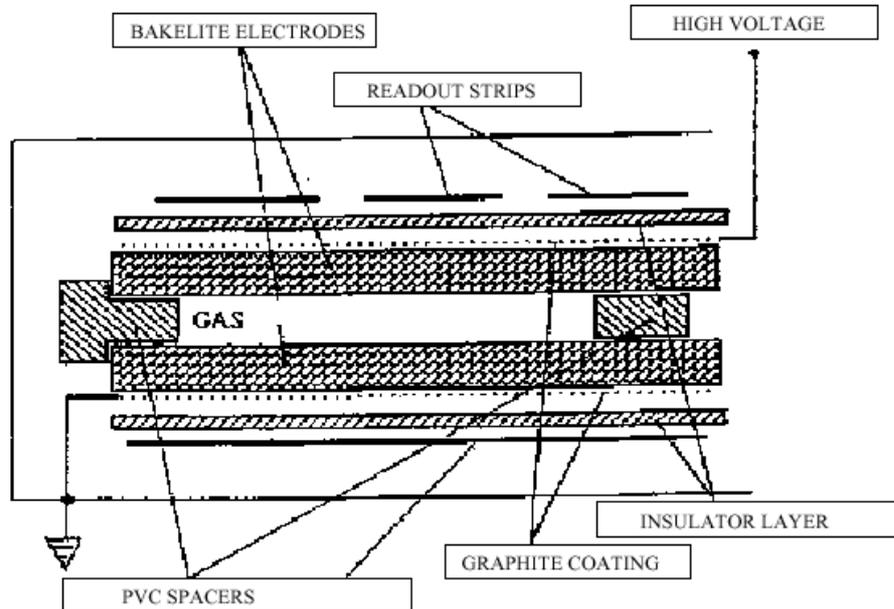


Figura 3.2: *Schema di un RPC.*

modi di funzionamento si arriva a risoluzioni del ns, come diverrà chiaro in seguito.

3.2 Caratteristiche generali di un RPC

3.2.1 Struttura di un RPC

La più semplice configurazione di una camera a piatti resistivi paralleli è mostrata in figura 3.2. Due elettrodi piani di materiale resistivo, in genere bakelite, con una resistività interna di $10^{10} - 10^{12} \Omega\text{cm}$ sono posti ad una distanza di pochi millimetri. La superficie esterna degli elettrodi è connessa ad un generatore di alta tensione in modo da creare un intenso campo elettrico tra i piani, usualmente di circa 5 kV/mm . Per far distribuire uniformemente l'alta tensione, la superficie esterna dei due elettrodi, viene ricoperta da un sottile strato di grafite. Una intelaiatura di distanziatori in PVC con un diametro di pochi millimetri e resistività maggiore di $10^{13} \Omega\text{cm}$ assicura una distanza costante tra i due piani mentre una sigillatura con lo stesso materiale assicura la tenuta del gas che riempie la camera. La miscela gassosa

è composta in grande percentuale da un gas con un basso potenziale di estrazione e bassa elettronegatività, che svolge la funzione di elemento attivo. Percentuali molto minori sono costituite da gas aventi alta elettronegatività in modo da catturare gli elettroni che si allontanano dalla scarica e così limitare l'estensione della valanga. In fine per assorbire i fotoni UV (che nascono dal diseccitamento delle molecole dell'elemento attivo o dalla ricombinazione elettrone-ione) che possono innescare scariche secondarie, si adoperano piccole percentuali di gas organico, che avendo molti modi vibrazionali può assorbire i fotoni e diseccitarsi poi meccanicamente senza produrre alcuna particella.

La raccolta del segnale avviene attraverso delle strips di materiale conduttivo (rame o alluminio) poste al di sopra di un sottile strato isolante che le separa dalla grafite.

Tradizionalmente le superfici interne vengono oliate[41] con olio di lino in modo da attenuare le microscopiche imperfezioni presenti inevitabilmente sui piatti, che possono provocare scariche casuali, dovute all'estrazione di elettroni dagli elettrodi.

3.2.2 Schema elettrico di un RPC e lettura del segnale

L'impulso elettrico sviluppato nella camera in seguito al passaggio di una particella, viene letto sotto forma di variazione di tensione sugli elettrodi e trasmesso per accoppiamento capacitivo alle strip di lettura. Come si è accennato nel paragrafo 3.1.2 l'uso dei piatti resistivi limita l'estensione della regione interessata dalla scarica, consentendo al rivelatore di essere contemporaneamente attivo al passaggio di altre particelle; il suo comportamento può essere pertanto schematizzato come un insieme di celle indipendenti la cui estensione superficiale è pari alla dimensione della scarica.

Il modello elettrico di tali celle è stato schematizzato in figura 3.3 in cui si è indicato con $R = \rho_{bakelite} \frac{d}{S}$ e $C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d}$ la resistenza e la capacità del volumetto di bakelite di spessore d e superficie S , mentre con $C_g = \epsilon_0 \frac{S}{g}$ e R_g la capacità e la resistenza delle gap di spessore g .

In assenza di ionizzazione la resistenza della gap si può considerare infinita rappresentando la resistenza del gas non ionizzato, pertanto tutta la tensione è applicata ai capi di C_g mentre, in presenza di un evento ionizzante, la R_g è sostituita da un generatore di corrente, il quale determina una diminuzione della tensione locale. In tale situazione infatti, il condensatore C_g si scarica e la tensione applicata è trasferita ai piatti resistivi, cioè al condensatore C . Risolvendo il circuito a) si può calcolare il tempo di ricarica di una cella che

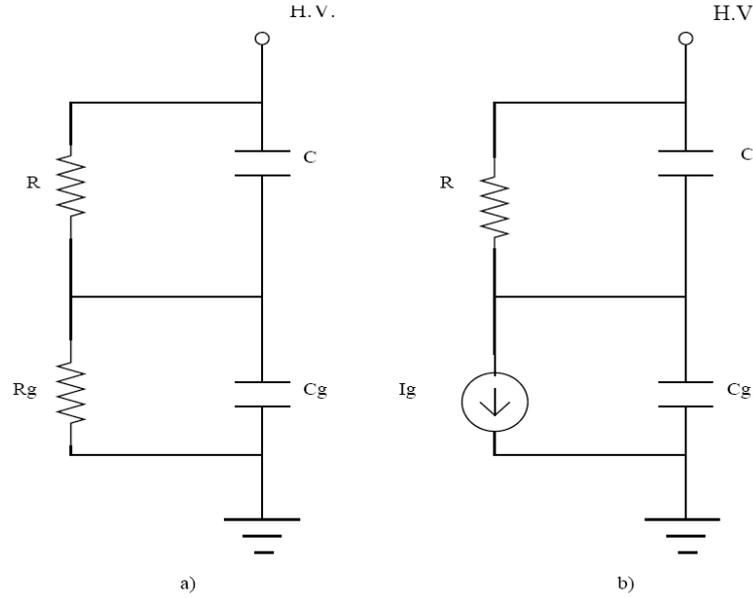


Figura 3.3: *Schema elettrico equivalente di una cella di scarica.*

rappresenta il tempo morto di una regione limitata del rivelatore:

$$\tau = R(C + C_g) = \rho \varepsilon_0 \left(\varepsilon_r + 2 \frac{d}{g} \right) \quad (3.8)$$

Per $\varepsilon_r=5$ e $\rho_{bakelite} = 5 \cdot 10^{10} \Omega\text{cm}$ si perviene ad un $\tau = 30$ ms contro un tempo di propagazione della valanga all'interno della camera dell'ordine dei ns. Per tale tempo la parte di rivelatore interessata dalla scarica si comporterà da isolante inibendo l'evoluzione di qualunque altro processo.

La frequenza massima di conteggio è di conseguenza stimabile in prima approssimazione attraverso la seguente relazione:

$$f_\tau = \frac{1}{\tau} \quad (3.9)$$

Se consideriamo le relazioni 3.7 ed 3.13 si può capire qualitativamente come il numero massimo di particelle che una camera può rivelare nell'unità di tempo e di superficie, il cosiddetto *rate capability*, dipenda da alcuni parametri strutturali ed da altri legati al suo modo di funzionamento.

Essendo infatti, $S \propto Q$ se la carica raccolta aumenta la superficie interessata dalla scarica seguirà lo stesso andamento, provocando un aumento dell'area spenta del rivelatore. I modi in cui gli RPC possono essere utilizzati sono

due in base al guadagno M ottenuto nel gas: alto e basso. In condizioni di alto guadagno, o *streamer*[42], la carica raccolta Q è tipicamente 100 pC mentre in condizioni di basso guadagno, o *avalanche*, la carica portata sugli elettrodi è di circa 1 pC.

In base alla formula 3.7 si può calcolare che per i due modi diversi di lavoro le superfici di scarica sono molto diverse.

Per quanto riguarda il tempo di ricarica, questo risulta inversamente proporzionale alla resistività interna della bakelite che pertanto non può essere molto elevata affinché i tempi morti del rivelatore siano accettabili. Pertanto in situazioni in cui bisogna avere un alto numero di conteggi per unità di tempo e superficie si dovrà lavorare in condizione di basso guadagno del gas, cioè in *avalanche*, ed utilizzare bakelite con una *bassa* resistività tenendo presente che per una resistività interna della bakelite troppo bassa aumenterà l'instabilità del rivelatore in quanto si avrà l'accrescimento delle correnti oscure. Un buon compromesso lo si ottiene scegliendo piatti di bakelite con resistività interna dell'ordine dei 10^{10} Ωcm .

Il moto della valanga all'interno della camera produce una corrente indotta sulle strip di lettura. In prima approssimazione possiamo considerarla uguale alla corrente indotta sulla superficie degli elettrodi, dovuta alla continua ridistribuzione delle cariche indotte, durante l'avvicinamento della valanga. Il valore di tale corrente può essere facilmente valutato effettuando semplici considerazioni sul processo di raccolta della carica.

Sia dL il lavoro necessario per spostare di dx la carica q , in un campo elettrico E

$$dL = qE(x)dx = -q\frac{dV(x)}{dx}dx$$

Il lavoro compiuto dalla forza elettromotrice V_0 , per spostare la carica dQ è:

$$dL' = V_0dQ$$

Imponendo $dL = dL'$ si ottiene:

$$-q\frac{dV(x)}{dx}dx = -V_0dQ$$

La corrente indotta sarà pertanto:

$$i_{ind}(t) = \frac{dQ}{dt} = \frac{q}{V_0} \frac{dV(x)}{dx} \frac{dx}{dt} = -\frac{q}{V_0} E(x)v_d(t) \quad (3.10)$$

Nel caso di un RPC, la 3.10 si semplifica data la costanza sia del campo elettrico che della velocità di deriva, pervenendo alla seguente uguaglianza:

$$i_{ind}(t) = -q\frac{v_d}{d} \quad (3.11)$$

Le strips si comportano come linee di trasmissione la cui impedenza caratteristica dipende dalle caratteristiche costruttive e geometriche.

Il loro comportamento elettrico può essere assimilato col circuito rappre-

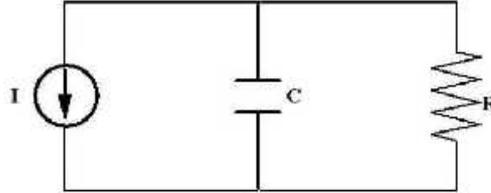


Figura 3.4: *Schema elettrico equivalente di un elettrodo di pick-up.*

sentato in fig 3.4 dove un generatore di corrente carica la capacità C , rappresentante gli elettrodi resistivi, in parallelo alla loro massa verso terra.

La costante di tempo di tali linee sarà:

$$\tau = RC = \frac{Z}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d} \quad (3.12)$$

avendo indicato con S la superficie della cella interessata dalla valanga, d lo spessore del piatto di bachelite e Z l'impedenza caratteristica della strip.

Come già detto, in regimi di basso guadagno S è $\sim 2 \text{ cm}^2$ mentre in generale si hanno capacità $C \sim 1 \text{ pF}$ ed impedenze caratteristiche Z di $\sim 50 \Omega$, dalla 3.12 si ottiene un τ pari a 50 ps, molto piccolo del tempo di salita del segnale indotto evitando così distorsioni ed integrazioni del segnale durante la percorrenza della strip verso l'elettronica.

3.3 Caratteristiche di un RPC di CMS

Gli RPC di CMS sono stati sviluppati per garantire alte prestazioni in un ambiente con alto flusso di particelle incidenti; i principali requisiti che devono soddisfare sono l'ottima risoluzione temporale, un'elevata efficienza di rivelazione globale, grandezza limitata dei *cluster*, alto rate capability.

Un'ottima risoluzione temporale è un requisito fondamentale affinché il trigger del sistema muonico abbia un'elevata efficienza. L'identificazione di un evento all'interno di una finestra temporale di 25 ns richiede una risoluzione temporale di pochi ns. Ciò implica che, sia le variazioni della velocità di deriva degli elettroni nelle camera, sia il ritardo dovuto alla propagazione del segnale lungo le strip di lettura, siano di pochi ns.

La *cluster size*² deve essere mantenuta quanto più piccola possibile, al fine di migliorare la risoluzione del momento delle particelle incidenti il sistema muonico.

In fine il rate capability deve essere di 1kHz/cm² per garantire la più alta possibile efficienza di rivelazione, in un ambiente in cui è atteso un altissimo flusso di particelle come ad esempio l'Endcap.

3.3.1 Configurazione degli RPC di CMS

Il sistema degli RPC di CMS è organizzato in camere.

Una camera è composta in genere da due o tre moduli a doppia gap, tenuti insieme da un profilo di alluminio, a secondo della posizione occupata nel sistema muonico. Ogni doppia gap è a sua volta costituita da due volumi di gas, *single gap*, di spessore 2mm, sovrapposti ed inframmezzati da un piano di strip di lettura.

Ogni volume di gas è costituito da due piatti di bakelite, spessa 2mm ed avente una resistività interna ρ variabile tra 1 - 5 · 10¹⁰Ωcm. Per ridurre le imperfezioni la superficie interna dei piatti è trattata con olio di lino e eptano, al fine di rendere quanto più uniforme il campo elettrico ed evitare così l'estrazione spontanea di elettroni dai piatti.

Un insieme di distanziatori cilindrici spessi 2 mm in policarbonato con resistività di circa 10¹³ e raggio 8 mm, fissano lo spessore della gap a 2 mm. Il sistema dei distanziatori è organizzato in modo da averne 100 al m². Questo riduce dell'1% la superficie di rivelazione.

Il sistema dell'alto voltaggio alimenta separatamente le gap superiori ed inferiori, in modo che i piani di bakelite rivolti all'esterno delle camere siano a massa. In fine per assicurare il disaccoppiamento elettrico con l'ambiente circostante, l'intera struttura è racchiusa in una gabbia metallica che funge da gabbia di Faraday.

3.3.2 Caratteristiche degli elettrodi

Come si è già accennato, le prestazioni di un RPC dipendono in maniera cruciale dalle caratteristiche dei suoi elettrodi. Nel paragrafo 3.2.2 si è messo in evidenza come il tempo di ricarica di una cella elementare sia legato alla resistività degli elettrodi secondo la formula

$$\tau = \varepsilon_0(\varepsilon_r + 2)\rho \quad (3.13)$$

²numero di strip adiacenti accese contemporaneamente al passaggio di una particella

Sembrerebbe lecito pensare di poter migliorare la frequenza di conteggio usando elettrodi con resistività non molto elevate. Ciò non è possibile, infatti, diminuendo la resistività dei piatti, aumenta inevitabilmente la corrente che li attraversa, accrescendo l'instabilità del rivelatore. Entrambi gli effetti devono essere minimizzati scegliendo un opportuno valore delle resistività. Inoltre da considerazioni elettrostatiche la caduta di tensione sugli elettrodi, V_d è legata alla loro resistività dalla relazione

$$V_d = 2 \langle Q_e \rangle rd\rho \quad (3.14)$$

dove r indica il rate/cm² e d lo spessore dell'elettrodo. Assumendo per esempio una carica trasportata $\langle Q_e \rangle = 25$ pC (regime di basso guadagno), un rate $r = 10^3$ /cm² una caduta di tensione di poche decine di volt richiede una resistività degli elettrodi di di $1 - 2 \cdot 10^{10}$ Ωcm.

Ad un tale valore di ρ abbiamo visto nel paragrafo 3.2.2 un tempo di ricarica di pochi ms.

Il valore della resistività della bakelite è legata ai parametri ambientali quali la temperatura.

L'andamento della resistività in funzione della temperatura ha un carattere esponenziale ed è del tipo

$$\rho = \rho_{20} e^{(293-T)/7.8} \quad (3.15)$$

avendo indicato con T la temperatura in gradi Kelvin, 7.8 è un parametro sperimentale ottenuto con misure dedicate e ρ_{20} è il valore della resistività a 20° Celsius.

Le caratteristiche ambientali hanno grande impatto anche sulla tensione effettiva applicata agli elettrodi, effetto di *scaling*[43][44], da cui dipende il regime di funzionamento delle camere. Studi in tal direzione hanno portato alla seguente relazione che lega la tensione nominale ed effettiva alla pressione ed alla temperatura del gas :

$$HV_{eff} = HV \frac{T}{T_0} \frac{P_0}{P} \quad (3.16)$$

dove T_0 (293° K) e P_0 (1010 mbar) sono valori di riferimento.

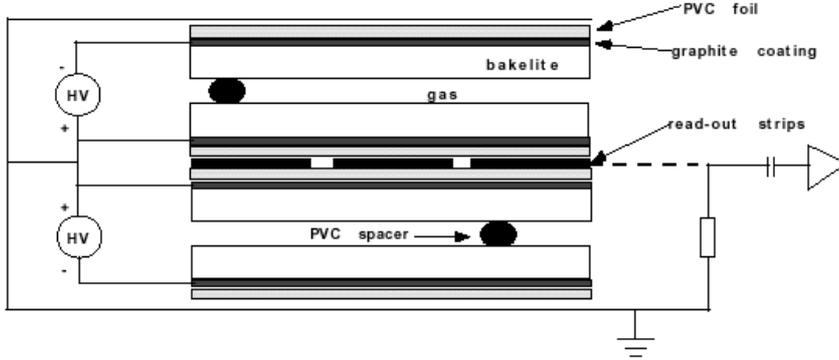


Figura 3.5: *Schema di una doppia gap di una camera ad RPC di CMS*

3.3.3 La Doppia Gap

La decisione di lavorare in regime di basso guadagno del gas, penalizza l'ampiezza del segnale trasportato dalle strip di lettura all'elettronica di front-end. La configurazione a doppia gap consente di migliorare tale aspetto aumentando l'ampiezza del segnale raccolto dalle strip che sarà la somma dei segnali generati nelle due singole gap.

La scelta della doppia gap permette inoltre di migliorare l'efficienza totale della camera, adempiendo ad una delle più stringenti richieste di CMS, di avere un valore dell'efficienza di rivelazione degli RPC, maggiore del 90 % per un periodo di circa 10 anni.

Come già accennato nel paragrafo 3.1.1 la formazione della valanga segue la distribuzione di Poisson del tipo:

$$P(m) = \frac{\bar{n}^m e^{-\bar{n}}}{m!} \quad (3.17)$$

dove m rappresenta il numero di coppie elettrone-ione create ed \bar{n} il valor medio di coppie prodotte per una data miscela gassosa.

In prima approssimazione³ l'inefficienza di una singola gap sarà pari a:

$$\varepsilon_{\text{det}} = 1 - P(0) = 1 - e^{-\bar{n}} \quad (3.18)$$

L'utilizzo di una struttura a doppia gap ha pertanto il vantaggio di diminuire l'inefficienza totale di una camera in quanto i contributi delle singole gap si

³In realtà la relazione è più complessa perchè bisognerebbe tener conto della distanza tra il piatto positivo e il punto in cui avviene la ionizzazione.

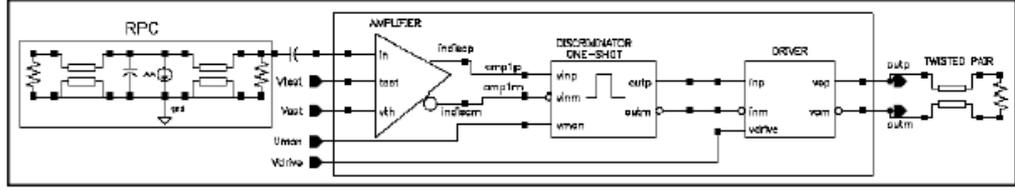


Figura 3.6: *Schema a blocchi di un canale di front-end.*

combinano secondo la legge:

$$\varepsilon_{\text{det}} = 1 - (1 - \varepsilon_{sg})(1 - \varepsilon_{sg}) \quad (3.19)$$

In base ai parametri costruttivi delle camere ad RPC di CMS \bar{n} comporta una inefficienza per singole gap di circa il 3%. Di conseguenza l'efficienza di una camera risulterà essere circa del 99 %.

3.3.4 L'elettronica di front-end

Le caratteristiche dell'elettronica di front-end[45], sviluppata per acquisire le informazioni dei piani di lettura, sono legate principalmente alle proprietà del segnale indotto sulle strip di lettura.

Così come si può notare in figura 3.6, l'architettura di ogni canale di front-end è costituito da una serie di tre stadi posti in cascata:

- preamplificatore;
- discriminatore monostabile;
- driver di uscita;

Il primo è costituito da uno stadio di ingresso a transconduttanza con un'impedenza pari all'impedenza caratteristica della strip di lettura, onde evitare riflessioni e distorsioni del segnale. Lo stadio successivo è realizzato da un integratore che sviluppa un segnale di trigger in riferimento al fronte di salita del segnale. Un successivo preamplificatore imposta la frequenza di taglio a valori dell'ordine di 100-200 MHz. Un successivo discriminatore è sviluppato a sua volta attraverso due stadi di amplificazione differenziale con un valore di soglia impostabile dall'esterno che si estende tra i 5 ed i 500 pC.

Il discriminatore monostabile forma un segnale con un periodo di 100 ns in modo da prevenire la formazione di un segnale di trigger dovuto ad impulsi

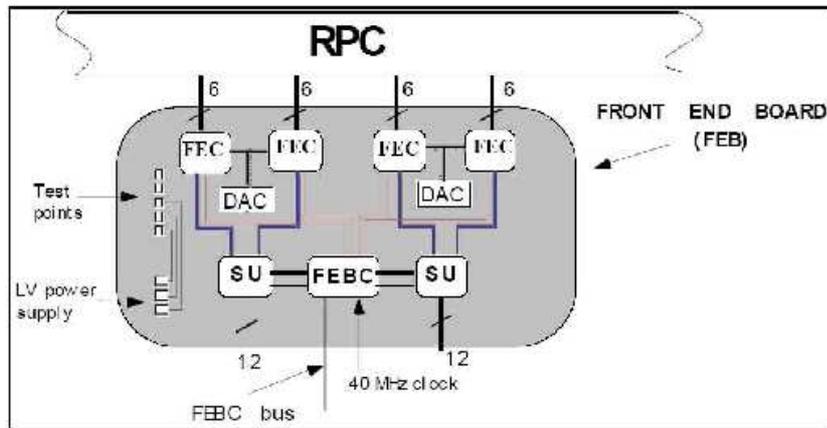


Figura 3.7: Scheda di Front-End.

ritardati che si possono sviluppare in una camera, ed a ottimizzare il tempo morto di rivelazione.

Il circuito finale ha il compito di adattare il segnale di uscita a 250 mV su 100 Ω come richiesto dallo standard LVDS.

La potenza dissipata dai tre stadi in cascata è di 19 mW. Tale struttura è integrata all'interno delle schede di front-end 3.7 (FEB) poste su ogni camera (3-6 per camera). Ogni FEB è in grado di raccogliere le informazioni di 16 canali (strip) distribuendole in 4 front-end chip (FEBC). Ogni FEBC contiene 4 blocchi amplificatore/discriminatore/driver. Per ogni chip è inoltre possibile definire le soglie di discriminazione. Oltre ai 4 FEBC, ogni scheda contiene 2 unità di sincronizzazione (SU), 2 DAC per fissare le soglie ed in fine un controller che gestisce il corretto funzionamento dell'intera scheda e la comunicazione con l'esterno.

3.3.5 La miscela gassosa

Il funzionamento di un RPC è fortemente legato alla miscela gassosa usata. Gli RPC di CMS utilizzano una miscela formata da freon, isobutano ed esafluoruro di zolfo che garantisce un buon guadagno ed estensioni limitate delle scariche. La scelta del Freon ($C_2H_2F_4$ 96.2%) come elemento attivo, è legata al fatto che a parità di campo elettrico e pressione il suo primo coefficiente di Townsend (si veda la formula 3.4), ha un elevato valore, assicurando un guadagno nel gas dell'ordine di $10^4 - 10^5$. Inoltre la non infiammabilità ed il basso costo lo hanno fatto preferire, ad esempio, all'argon. Per evitare il regime di scarica, si è aggiunto al gas attivo, esafluoruro di zolfo (SF_6 0,3%)

e isobutano ($(CH_3)_3CH$ 3.5%). Il primo è un gas molto elettronegativo e ridotta probabilità di streamer, in grado di ridurre le dimensioni della scarica ed evitare la formazione di scariche secondarie lontano dalla principale; il secondo, un gas organico, assorbe i fotoni ultravioletti (dovuti principalmente alla ricombinazione ione-elettrone) dissipando l'energia acquistata, come già accennato nel paragrafo 3.2.1, meccanicamente.

Capitolo 4

Produzione e controllo di qualità delle camere ad RPC del barrel

La produzione delle 480 camere ad RPC del barrel del sistema muonico[46], avviene attraverso una serie di passi successivi in cui si testano e si assemblano man mano i vari componenti che le costituiscono

- produzione della bakelite;
- produzione delle singole gap;
- assemblaggio delle doppie gap;
- assemblaggio delle camere mettendo insieme due o tre doppie gap;
- test finali con i raggi cosmici.

In questo capitolo tratteremo della produzione, del controllo di qualità e dei criteri di accettazione dei vari passi di produzione di una camera.

4.1 Produzione della bakelite

La produzione dei piatti di bakelite avviene a Pavia presso l'azienda PanPla[47]. Un parametro importante da tenere sotto controllo durante la produzione dei piatti, è la loro resistività interna, a cui sono legate le prestazioni di una camera così come è stato sottolineato nel capitolo precedente.

Il gruppo dell'INFN di Pavia coordina la produzione ed il controllo di qualità dei piatti di bakelite effettuando misure sulla resistività interna presso i propri laboratori.

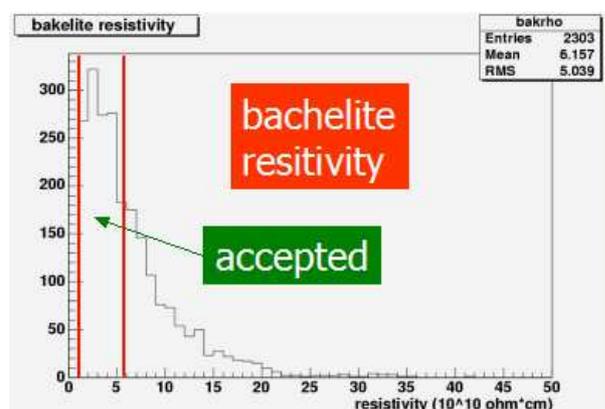


Figura 4.1: *Distribuzione resistività media.*

Molti studi sono stati effettuati al fine di trovare il giusto modo di misurare la resistività interna di grandi superfici di bakelite e la soluzione scelta adotta elettrodi di 5 cm di diametro posti sulla superficie superiore ed inferiore dei piatti attraverso l'uso di un pistone che sviluppa pressione di 70 kg (controllare meglio). Si chiude il circuito attraverso un generatore di tensione di 500 V e la resistività è misurata indirettamente con misure di corrente. Per ogni piatto si effettuano misure ripetute in nove diverse posizioni, monitorando i parametri ambientali che più influenzano il comportamento della resistività, come la temperatura e l'umidità, correggendo quindi i valori della resistività secondo la relazione

$$\rho(T) = \rho_{20} e^{(293-T)/7.8} \quad (4.1)$$

in modo da svincolarsi dalla dipendenza dalla temperatura e considerare solo i valori di ρ a 293 K, scelta come temperatura riferimento.

In figura 4.1 si può osservare la distribuzione della resistività media dei piatti mentre in figura 4.2 si può osservare la distribuzione delle deviazioni standard delle nove misure di ogni piatto. E' interessante notare da quest'ultima che esiste una oscillazione media del 20% della resistività anche all'interno degli stessi piatti di bakelite. Vengono accettati i piani di bakelite con resistività media compresa tra $1 \cdot 10^{10}$ - $6 \cdot 10^{10}$ Ωcm . Per uniformare al meglio le prestazioni dei singoli volumi di gas, i piani di bakelite con resistività media simile saranno accoppiati.

Si definiscono, infatti, le due classi *rho1* e *rho2* formate rispettivamente da singoli volumi di gas con piatti aventi resistività media compresa tra $1 \cdot 10^{10}$ - $3 \cdot 10^{10}$ Ωcm e $3 \cdot 10^{10}$ - $6 \cdot 10^{10}$ Ωcm .

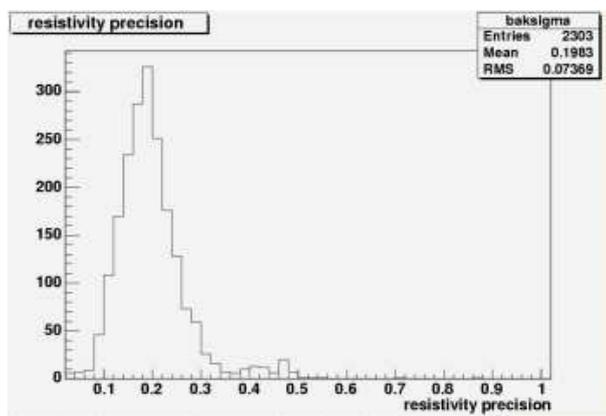


Figura 4.2: *Distribuzione della deviazione standard della resistività di ogni piano di bakelite*

4.2 Produzione delle Singole e Doppie Gap

Le singole e doppie gap sono prodotte presso la General Tecnica, una azienda italiana in provincia di Frosinone[47].

Ivi vengono effettuati i test per il controllo di qualità, sia delle singole che delle doppie gap, controllando la tenuta del gas, l'attaccamento dei bottoni distanziatori ai piatti di bakelite, la corrente oscura.

Il controllo della tenuta del gas avviene attraverso il cosiddetto *leak test*: applicando una sovrappressione di 20 mbar, si controlla la pressione del dispositivo dopo un tempo di 10 minuti. Le gap che dopo un tale intervallo di tempo presentano perdite di pressione, sono rigettate.

Il controllo del perfetto attaccamento dei piatti ai bottoni, è effettuato dopo una sovrappressione dei dispositivi di 20 mbar. Le gap che presentano anche un solo bottone staccato non sono accettate. Tale test si compone di due passi successivi

- un controllo uditivo, in cui un operatore posto in prossimità delle gap ascolta se durante il tempo in cui il rivelatore è sottoposto alla sovrappressione, si stacca un bottone
- un controllo visivo, in cui l'operatore vede se il dispositivo presenta rigonfiamenti dovuti al mancato attaccamento di un bottone

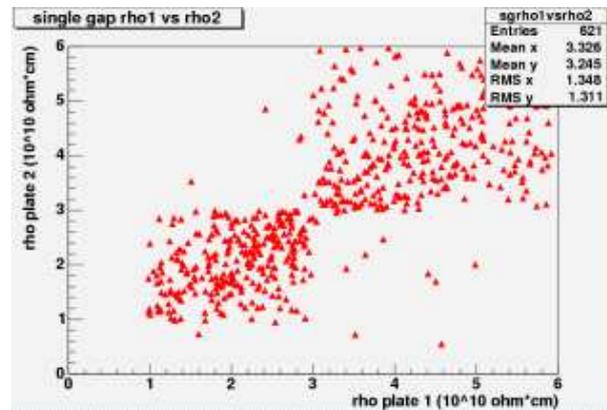


Figura 4.3: ρ_1 vs ρ_2

In fine si effettuano i test sulla corrente oscura, *dark current*. Utilizzando una miscela di Freon (96%) e iso-butano (4%), e applicando una tensione di 9500 V si misura la corrente che circola attraverso la gap. Le gap con una corrente superiore a $5 \mu\text{A}$ sono scartate.

Sino ad ora delle 1655 singole gap prodotte, 283 gap sono state rigettate, di cui il 66% perchè non idonee secondo i test di tenuta e attaccamento dei bottoni, mentre il restante 34% perchè affette da correnti oscure sopra la soglia scelta da CMS.

I test descritti per le singole gap vengono poi ripetuti per le doppie gap dopo il loro assemblaggio. Particolarmente importante risulta in questo caso la ripetizione dell'ultimo test. Si è notato che ci può essere il passaggio di correnti oscure dovute al non perfetto isolamento dei piatti di bakelite dalle strip di lettura, dovuto ad esempio, al non corretto attaccamento dei sigillatori dei bordi oppure dovuti ai danneggiamenti al sistema di isolamento provocati dagli operatori durante la varie fasi di assemblaggio di una camera. Ad esempio, nell'assemblaggio delle doppie gap, in particolare quando si effettuano le saldature tra il resistore su cui terminano le strip e la massa, è possibile danneggiare il sottile strato di mylar che isola la grafite dalle strip. Ciò comporta correnti tra la grafite e la massa.

Per risolvere tale problematica si è pensato di aggiungere lungo i bordi delle gap, dove terminano le strip, un sottile foglio di PET a forma di C, onde evitare il contatto diretto tra la grafite ed il piano di lettura.

Come risultato si è osservato un abbassamento delle correnti delle doppie gap da un valore medio di $2,83 \mu\text{A}$ (ad 8 kV) ad un valore medio di $0,83 \mu\text{A}$. Attualmente solo il 3% delle doppie gap prodotte è stato rigettato per correnti sovrasoglia.

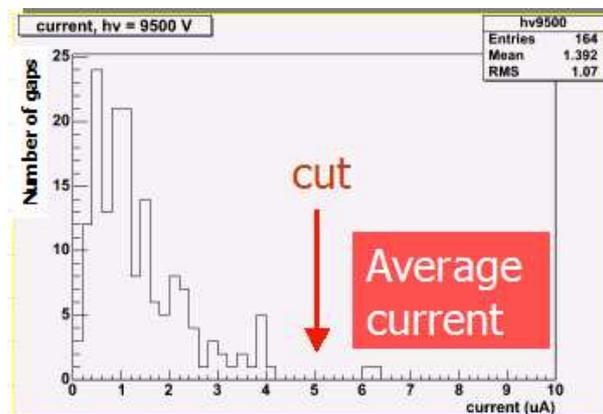


Figura 4.4: Correnti oscure delle singole gap a 9500 V con una miscela di Freon (96%) e iso-butano (4%)

4.2.1 Produzione delle camere

Una camera ad RPC di CMS, così come si può osservare in figura 4.6 si compone di due doppie gap. Fanno eccezione a tal proposito le RB2-3 formate da 3 doppie gap. Durante il loro assemblaggio, le camere vengono rifinite completandole con le schede di front-end, circuito di flussaggio del gas, cavi di alimentazione e circuito di raffreddamento.

A differenza della bakelite e delle gap, le camere non vengono assemblate tutte in un unico sito, ma la loro produzione e controllo di qualità è affidata a diversi gruppi.

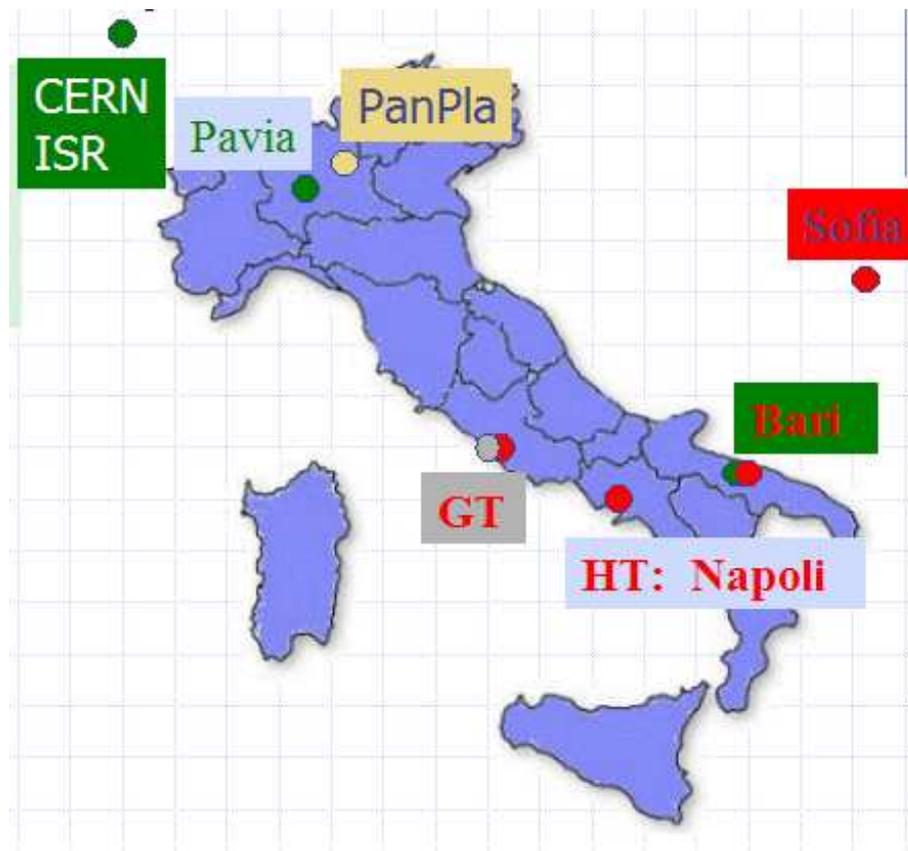


Figura 4.5: *Siti di produzione delle camere ad RPC del Barrel .*

La camere di tipologia RB1 sono prodotte presso la ditta HiTec, in provincia di Caserta, dal gruppo dell'INFN di Napoli, le RB2 e le RB4 alla General Tecnica. In fine le RB3 sono assemblate in parte a Bari ed in parte a Sofia, rispettivamente presso i laboratori dell'INFN di Bari e dell'INRNE[47].

In ogni sito di produzione vengono effettuati dei test di qualità sia durante l'assemblaggio che dopo. In una prima fase, infatti, si effettuano test di tenuta, sia del gas che del sistema di raffreddamento, test del sistema di bassa tensione (*LV sistem*), in fine test di connettività Kepton-FEB. I primi due consistono, come già osservato per le gap, nel rimisurare dopo un intervallo di 30 s la pressione della camera e del sistema di raffreddamento dopo una sovrappressione di 5 mbar e 20 bar rispettivamente. Se dopo tale intervallo si misurano variazioni la camera è respinta. In una seconda fase, le camere idonee ai primi controlli, sono sottoposte a test estesi volti al monitoraggio del noise e delle correnti parassite.

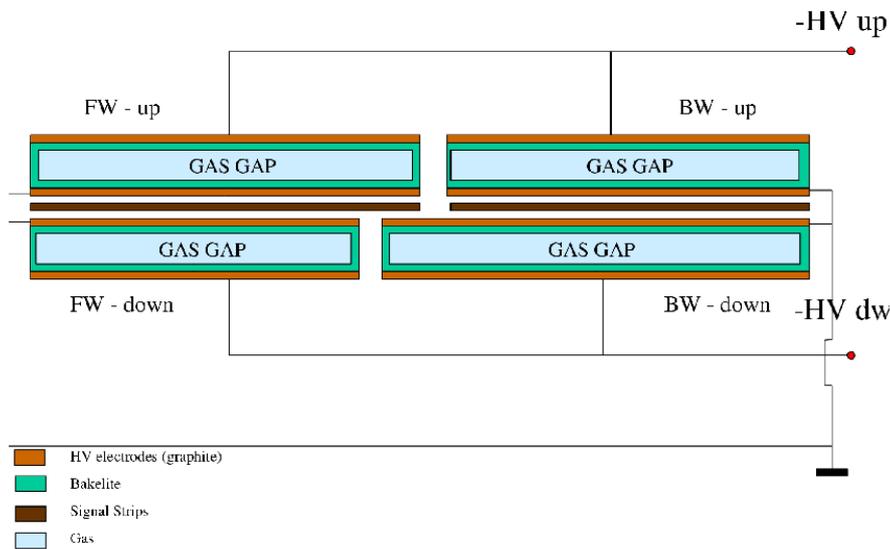


Figura 4.6: Schema di un camera ad RPC di CMS. Esistono alcune camere formate da 3 doppie gap.

Dopo un flussaggio di 10 volumi di gas (miscela composta dal 96% di Freon e 4% di iso-butano), si misurano al variare della tensione, il noise di tutte le strip e la corrente oscura media osservata in un intervallo di tempo.

Controllo di Qualità alla HiTec

Nel sito di produzione delle camere di tipologia RB1, le correnti oscure sono state monitorate, attraverso 30 misure ripetute in un intervallo di 5 minuti, a tensione fissata. Facendo variare poi la tensione applicata alle camere di 1 kV si è potuto avere uno schema completo del loro andamento in funzione della tensione. Le camere sono considerate accettabili se la corrente oscura media di ogni sua gap, alla tensione di riferimento di 9500 V, è minore di $5 \mu\text{A}$ e l'incertezza σ , dovuta alle fluttuazioni della corrente misurata a tale tensione, è minore di $1 \mu\text{A}$. Infatti valori di σ maggiori di questo valore, significano un compartamento instabile delle singole gap a tale valore della tensione.

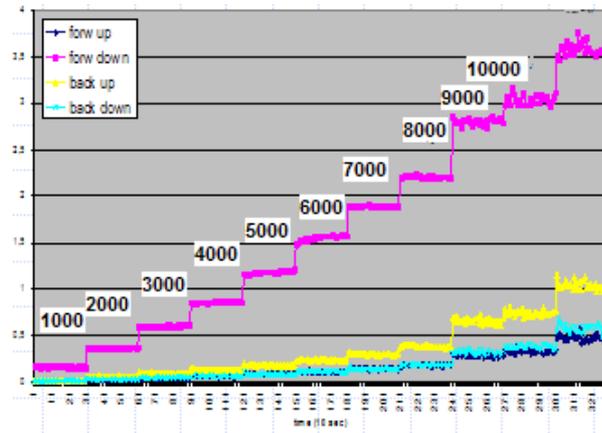


Figura 4.7: *Andamento delle correnti oscure al variare della tensione applicata. L'esempio si riferisce alla camera 173*

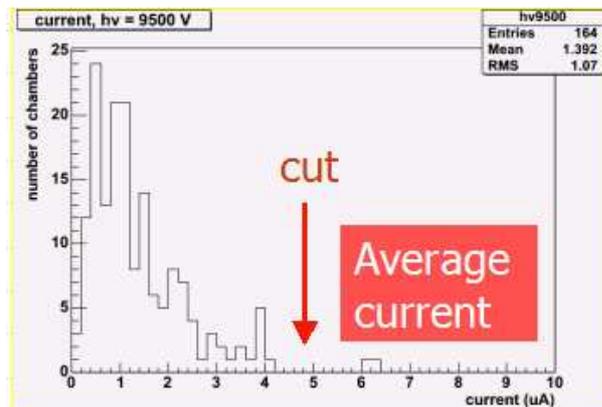


Figura 4.8: *Distribuzione delle correnti oscure medie a 9500 V delle camere RB1 testate dal gruppo dell'INFN di Napoli[48].*

4.3 Test estesi con i raggi cosmici

Le camere che superano con esito positivo i controlli di qualità sono caratterizzate attraverso una serie di test estesi con i raggi cosmici. Tale caratterizzazione viene effettuata in tre diversi siti a seconda della tipologia, Bari (RB2 ed RB4), Pavia (RB1) e Sofia (RB3). I diversi siti si differenziano solo per il numero di camere che possono essere testate contemporaneamente con un massimo di 10 camere nel sito di Bari[48] e un minimo di 5 nei siti di Pavia e Sofia.

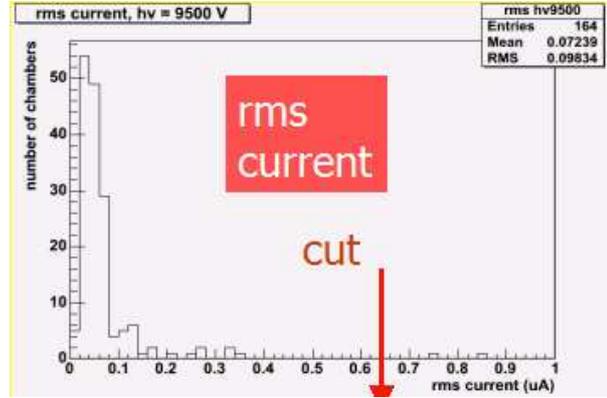


Figura 4.9: *Distribuzione delle rms delle correnti oscure a 9500 V delle camere RB1 testate dal gruppo dell'INFN di Napoli*[48].

Per caratterizzare le camere con i raggi cosmici quest'ultime vengono disposte orizzontalmente utilizzando delle opportune torri metalliche. Il trigger dell'apparato sperimentale è composto da un sistema di scintillatori posti al di sopra ed al di sotto delle torri di test, aventi una superficie di $125 \times 44 \text{ cm}^2$ [49].

Ciò comporta che questi ultimi siano in grado di coprire solo una alla volta le 2 o 3 doppie gap di cui sono composte le camere potendole così caratterizzare singolarmente.

Come si può osservare in figura 4.3 il sistema di trigger è formato 4 scintillatori: S1, S2, S3 e S4 . Un ulteriore coppia di scintillatori plastici di dimensioni più contenute ($60 \times 40 \text{ cm}^2$), V1 e V2, è posta alla stessa altezza ad una distanza di 50 cm della coppia S1-S2, per effettuare un veto delle eventuali cascate elettromagnetiche che potrebbero investire le camere[48]. Il segnale di trigger che ne deriva sarà dato dalla seguente combinazione logica dei segnali dei singoli scintillatori:

$$T = (S1 \cap S2 \cap S3 \cap S4) \cap (\overline{V1} \cup \overline{V2}) \quad (4.2)$$

Il sistema di flussaggio del gas è costituito da una serie di tre flussimetri di massa, EL-FLOW, costruiti dalla *Bronkhorst Hi-Tec* che distribuiscono in maniera seriale una miscela di Freon (96.2%), isobutano (3.5%) e esafluoruro di zolfo (0.3%).

La distribuzione dell'alta tensione da applicare alle camere è affidata al

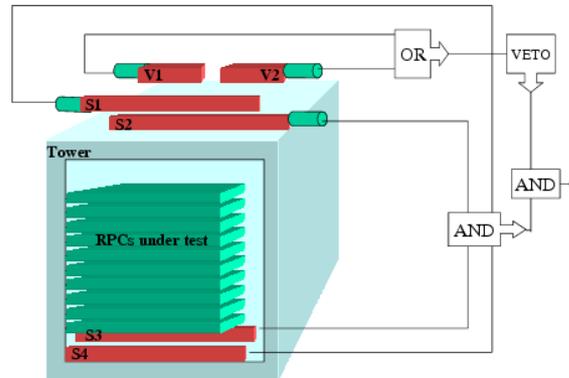


Figura 4.10: *Schema di una torre di test e trigger* [49].

modulo SY1527 costruito dalla CAEN, che riesce a gestire da solo l'alimentazione di tutta una torre. Il sistema della bassa tensione invece è assicurato dai moduli EUTRO GCTR.

L'acquisizione dei dati, DAQ, avviene attraverso trenta VME TDC a 64 canali. Ogni TDC processa i segnali LVDS provenienti da 4 FEB.

In fine si utilizza una Oregon Scientific-WMR918-Weather Station, connessa ad un PC tramite una porta seriale RS-232, per registrare i valori della temperatura, della pressione e dell'umidità dei siti in cui si effettuano i test.

Tutte le informazioni relative alle camere e tutti i risultati dei test effettuati sui loro costituenti, SG, DG, sono contenuti in un Mysql Database consultabile via web[50].

Le camere vengono caratterizzate attraverso lo studio, al variare della tensione applicata alla camera, di alcuni parametri quali l'efficienza globale di rivelazione, le correnti assorbite (*dark current*), il noise rate, la molteplicità (*Cluster size*). Alimentando entrambi gli strati di una camera od un solo e posizionando il trigger sulla parte *Forward*, *Backward* o *Central* si possono effettuare misure sui costituenti elementari che compongono una camera: le singole gap e le doppie gap.

L'efficienza di rivelazione è ottenuta attraverso il cosiddetto *counting method*, ossia come rapporto, nella finestra temporale di trigger (100ns), tra il numero di volte in cui un dato RPC ha almeno una strip accesa ed

il numero di eventi di trigger nella stessa finestra. Le camere con efficienza di doppia gap inferiore al 90% sono rigettate in quanto non conformi agli standard imposti da CMS.

Il numero di strip adiacenti accese contemporaneamente durante la finestra di trigger definisce la *mean cluster size*.

Da distribuzioni della mean cluster size alla tensione effettiva di 9.6 kV effettuate su diversi campioni di camere, ha mostrato che nelle modalità di utilizzo di CMS, la mean cluster size presenta un valor medio pari a circa 2.

Il noise rate è definito come il numero di strip accese nell'unità di tempo al di fuori della finestra di trigger, normalizzato rispetto la superficie di una strip. Un noise rate sino a 10 Hz/cm² è considerato accettabile. Esistono casi in cui la causa di un elevato noise rate è dovuto a poche strip in una camera ed un'analisi accurata porta al loro riconoscimento e sostituzione. Altre volte invece un elevato noise rate è dovuto a problemi riguardanti l'elettronica di una camera e si riesce a ridurlo talvolta sostituendo le FEB particolarmente rumorose. Nel computo del noise medio di una camera, per disaccoppiare i problemi dovuti all'elettronica e le prestazioni della camera, si eliminano le strip con un noise rate superiore a 20 Hz/cm².

In fine sono monitorate le correnti assorbite e si conviene di rigettare le camere che alla tensione di 9.6 kV assorbono più di 10 μ A.

Dopo la caratterizzazione nei vari siti le camere vengono mandate al CERN dove sono sottoposte a test lunghi nei laboratori ISR[47][48]. Alle camere viene applicata la tensione a cui saranno sottoposte nel sistema muonico. Sono mantenute a tale tensione per un mese in modo da poter verificare la stabilità delle loro prestazioni e scoprire tutti i possibili problemi dovuti a lunghi periodi di attività.

Capitolo 5

Analisi della prestazioni delle camere RB1

In questo capitolo descriverò gli strumenti software e gli algoritmi sviluppati allo scopo di analizzare le prestazioni delle camere ad RPC di tipologia RB1. Come già accennato nel capitolo precedente ciascuna camera viene caratterizzata nei siti di test studiando l'efficienza, il noise rate, la cluster size e la corrente oscura in funzione della tensione di lavoro. Inoltre ogni camera viene caratterizzata dai suoi componenti costitutivi: numero di doppie gap, numero di strip presenti, ritardo introdotto dalle schede di elettronica montate, numero identificativo delle doppie gap componenti etc. Tutte queste informazioni vengono memorizzate in un database relazionale *MYSQL*[51] che rappresenta il database di costruzione del rivelatore e che memorizza al suo interno anche tutte le informazioni relative ai run di analisi realizzati nei vari siti di test.

Attualmente tale DB è in fase di integrazione all'interno del database generale dell'esperimento CMS che conterrà anche tutti i parametri necessari a regolare gli RPC durante la presa dati dell'esperimento.

Il ruolo dei database all'interno dei moderni esperimenti assume sempre maggiore importanza dato l'elevato numero di componenti i cui parametri devono essere memorizzati. Il caricamento di tutti i run effettuati per controllare la qualità di ogni rivelatore di CMS risulterà particolarmente utile per tracciare all'indietro la storia di ogni singolo componente analizzando nel tempo l'evoluzione delle sue prestazioni.

Punto di partenza della mia analisi è stato quindi il database di produzione sviluppato dal gruppo dell'INFN di Bari[53] e che discuterò in dettaglio nel primo paragrafo di questo capitolo. Nel secondo paragrafo illustrerò il programma software sviluppato in *C++*[54] che mi ha permesso di orga-

nizzare i dati raccolti dal database in una struttura software che modella la struttura di una camera ad RPC di CMS permettendomi così di studiare più facilmente correlazioni tra le variabili che caratterizzano il rivelatore. Tale programma è stato da me sviluppato in maniera indipendente e completa. Successivamente descriverò i risultati dell'analisi da me sviluppata sul campione di camere RB1 che attualmente sono state già spedite al CERN.

5.1 Il database di costruzione degli RPC

Il database di costruzione degli RPC, è un database relazionale *MYSQL*. Un database è strutturato in *tabelle* e *record*.

Ogni tabella raccoglie informazioni relative ad una classe omogenea di elementi che rappresentano i record della tabella. Un elemento è definito completamente dai campi che lo caratterizzano. Nel database di costruzione degli RPC di CMS (fig 5.1) le tabelle rappresentano i costituenti fondamentali delle camere corrispondenti ai singoli step del processo di produzione di controllo di qualità.

Di seguito vengono elencate le tabelle fondamentali del database degli RPC:

1. Bakelite[53]
2. SingleGap[53]
3. DoubleGap[53]
4. Chamber[53]
5. Cosmics[53]
6. TestCaenBari[53]

```

Tables_in_rpc_sept05
+-----+
Bakelite
Bakelite2
Bakelite3
BakeliteLogBook
BakeliteSheetsDimension
CH_Location
Chamber
ChamberPieces
ChamberPosition
ChamberTestNew
ChamberType
Chip
Chip2
ChipNew
ConstructionBatches
Cosmics
DoubleGap
FEB
KaptonType
PreloadedBars
SingleGap
SingleGapDimension
TestCaenBari
TestDummy
Tests
bakelite4
+-----+

```

Figura 5.1: Tabelle del database degli RPC.

La tabella *Bakelite*

La tabella *Bakelite* raccoglie le informazioni di ciascuna lastra di bakelite utilizzata all'interno degli RPC. Come ho descritto nel capitolo precedente il controllo di qualità su ogni lastra viene effettuato direttamente presso la ditta produttrice e i valori relativi alla resistività media misurata, la deviazione standard delle diverse misure effettuate sulla stessa lastra ed i parametri ambientali rilevati durante le misure vengono inseriti nel database. Un esempio di tabella bachelite è mostrato in figura 5.2.

Field	Type	Null	Key	Default	Extra
CMS_INFN_PV_CODE_LABEL	varchar(20)	YES		NULL	
Pomponesco_code	varchar(20)	YES		NULL	
CMS_INFN_num_code	int(11)		PRI	0	
Data_measure	date	YES		NULL	
Time_measure	time	YES		NULL	
Temperature_measure	double(16,4)	YES		NULL	
Humidity_measure	double(16,4)	YES		NULL	
rho_vol_ave	double(16,4)	YES		NULL	
sigma_vol_ave	double(16,4)	YES		NULL	

Figura 5.2: *Descrizione dei campi della tabella Bakelite .*

La tabella *SingleGap*

Il secondo passo del processo di produzione di una camera consiste nella costruzione del singolo volume di gas presso la ditta General Tecnica. La tabella *SingleGap* raccoglie le informazioni relative ad ogni volume di gas con i risultati dei test di controllo di qualità descritti nel paragrafo 4.2. La figura 5.3 descrive la struttura di questa tabella

Field	Type	Null	Key	Default	Extra
SG_ID	int(11)		PRI	0	
SG_Type	varchar(30)	YES		NULL	
SG_Dimension1	varchar(6)	YES		NULL	
SG_Dimension2	varchar(6)	YES		NULL	
Bakelite1_ID	varchar(5)	YES		NULL	
Bakelite2_ID	varchar(5)	YES		NULL	
I_7000v	int(11)	YES		NULL	
I_8000v	int(11)	YES		NULL	
I_9000v	int(11)	YES		NULL	
I_9500v	int(11)	YES		NULL	
HV_Gas_Mixture	varchar(60)	YES		NULL	
HV_Notes	blob	YES		NULL	
HV_operators	varchar(50)	YES		NULL	
Used_in_DG	varchar(10)	YES		NULL	

Figura 5.3: *Descrizione dei principali campi della tabella SingleGap .*

La tabella *DoubleGap*

Il naturale passo successivo consiste nella definizione della tabella *DoubleGap* che raccoglie i numeri identificativi delle due singole gap costituenti ed i risultati del controllo di qualità effettuato ancora in General Tecnica sulla doppia gap. In figura 5.4 sono riportati i principali campi che compogono la tabella Doppia gap.

Field	Type	Null	Key	Default	Extra
DG_ID	int(11)		PRI	0	
DG_Type	varchar(30)	YES		NULL	
SG1_ID	varchar(5)	YES		NULL	
SG2_ID	varchar(5)	YES		NULL	
Strip_Pitch	varchar(5)	YES		NULL	
Strip_Number	varchar(5)	YES		NULL	
I_0v_1	int(11)	YES		NULL	
I_7000v_1	int(11)	YES		NULL	
I_8000v_1	int(11)	YES		NULL	
I_9000v_1	int(11)	YES		NULL	
I_9500v_1	int(11)	YES		NULL	
HV_Trip_2	varchar(6)	YES		NULL	
I_0v_2	int(11)	YES		NULL	
I_7000v_2	int(11)	YES		NULL	
I_8000v_2	int(11)	YES		NULL	
I_9000v_2	int(11)	YES		NULL	
I_9500v_2	int(11)	YES		NULL	
HV_Notes	blob	YES		NULL	
HV_Operators	varchar(50)	YES		NULL	
Used_in_CH	varchar(30)	YES		NULL	

Figura 5.4: *Descrizione dei campi della tabella DoubleGap.*

La tabella *Chamber*

Il passo successivo nell'iter di assemblaggio è la costruzione di quest'ultima, mettendo insieme due o tre doppie gap, l'elettronica necessaria al suo funzionamento, un sistema di raffreddamento dell'elettronica, le barre metalliche che la terranno insieme correttamente, il sistema di distribuzione del gas, etc. Inoltre ogni camera sarà di una determinata tipologia ed occuperà una precisa la posizione nel barrel del sistema muonico. Tutte queste informazioni saranno immagazzinate nella tabella *Chamber* i cui fondamentali campi sono riportati in figure 5.5.

Field	Type	Null	Key	Default	Extra
ID	int(11)		PRI	NULL	auto_increment
CH_Name	varchar(30)	YES		NULL	
CH_Type	varchar(30)	YES		NULL	
Wheel	int(11)	YES		NULL	
Layer	int(11)	YES		NULL	
Sector	int(11)	YES		NULL	
Cooling	varchar(30)	YES		NULL	
Gas_System	varchar(30)	YES		NULL	
Preloaded_Bars	varchar(30)	YES		NULL	
Low_Voltage	varchar(30)	YES		NULL	
Cable_Channels_Covers	varchar(30)	YES		NULL	
Signal_Cables	varchar(30)	YES		NULL	
Deformation_Preloaded_Bars_A	varchar(30)	YES		NULL	
Deformation_Preloaded_Bars_B	varchar(30)	YES		NULL	

Figura 5.5: *Descrizione dei campi della tabella Chamber.*

La tabella *Cosmics*

Field	Type	Null	Key	Default	Extra
Run	varchar(20)	YES		NULL	
Date	varchar(20)	YES		NULL	
Time	varchar(20)	YES		NULL	
Test_Location	varchar(20)	YES		NULL	
Shifter	varchar(20)	YES		NULL	
Temp	double(16,4)	YES		NULL	
Pressure	int(11)	YES		NULL	
Humidity	int(11)	YES		NULL	
Trigger	varchar(20)	YES		NULL	
HV	int(11)	YES		NULL	
Chamber_Type	varchar(20)	YES		NULL	
CH_ID	int(11)			0	
Num_Events	int(11)	YES		NULL	
Efficiency	double(16,4)	YES		NULL	
Err_Efficiency	double(16,4)	YES		NULL	
Spurious	double(16,4)	YES		NULL	
Err_Spurious	double(16,4)	YES		NULL	
Mean_Cluster_Size_In	double(16,4)	YES		NULL	
Mean_Cluster_Size_Out	double(16,4)	YES		NULL	
Noise_Cluster_Rate	double(16,4)	YES		NULL	
Halfwhole	varchar(40)	YES		NULL	

Figura 5.6: *Descrizione dei campi della tabella Cosmics*

Assemblate le camere, queste sono caratterizzate nei vari siti di test effettuando misure con i raggi cosmici di efficienza, noise e cluster size al variare della tensione applicata sui suoi componenti fondamentali: singole e doppie gap. I risultati di ogni run effettuato nei siti di test, i parametri ambientali memorizzati durante le misure ed ogni informazione utile all'analisi off-line, sono immagazzinati nella tabella *Cosmics*.

Siccome le dimensioni di una singola camera sono superiori alle dimensioni dei piani di scintillatori usati nei siti di test per selezionare i raggi cosmici utili allo studio dell'RPC, la caratterizzazione di una camera completa viene realizzata ripetendo le misure in una configurazione in cui il trigger copre la sola doppia gap forward, ed una in cui copre la sola doppia gap backward. Una volta posizionato il trigger su una delle due doppie gap si effettuano mis-

ure a diversi valori della tensione di lavoro alimentando una sola delle due singole gap costituenti la doppia gap selezionata, oppure entrambe le singole gap. In definitiva per ogni camera ¹ gap verranno realizzate 6 collezioni di run a diverse tensioni che caratterizzeranno le prestazioni della singola gap UP forward, singola gap DOWN forward, doppia gap forward, singola gap UP backward, singola gap DOWN backward e doppia gap backward. La figura 5.6 illustra il formato dei principali campi della tabella *cosmics*. Ogni record della tabella rappresenta un run ad una definita tensione di lavoro, con la definita configurazione del trigger (Trigger = Forw/Back) e con una determinata configurazione di alimentazione (HalfWhole = WholeCH entrambi i layer della camera sono alimentati; HalfWhole = HalfUP solo il layer UP è alimentato; HalfWhole = HalfDW solo il layer DOWN è alimentato). Gli altri campi contengono le informazioni relative ai risultati delle misure (efficiency, mean cluster size, etc) che verranno raccolti ed analizzati dal programma software.

La tabella *TestCaenBari*

Field	Type	Null	Key	Default	Extra
Date	varchar(20)	YES		NULL	
Time	varchar(15)	YES		NULL	
Chamber_ID	varchar(20)	YES		NULL	
VoSet	int(11)	YES		NULL	
VMon	int(11)	YES		NULL	
IMon	float(10,2)	YES		NULL	
Temp	float(10,2)	YES		NULL	
Press	int(11)	YES		NULL	
Hum	int(11)	YES		NULL	
Channel_ID	varchar(20)	YES		NULL	
Test_Location	varchar(20)	YES		NULL	
Gas_Mixture	varchar(40)	YES		NULL	
File_ID	varchar(30)	YES		NULL	
Comments	text	YES		NULL	

Figura 5.7: *Descrizione dei campi della tabella TestCaenBari.*

Le misure sulla corrente oscura sono invece immagazzinate nella tabella *TestCaenBari* in cui sono riportati i valori delle tensioni applicate e le correnti oscure misurate, i parametri ambientali in cui sono state effettuate le misure e le date in cui sono stati effettuati i test. In figura 5.7 sono riportati i principali campi e le caratteristiche di tale tabella.

¹Nel caso delle RB2-3, considerando anche la doppia gap middle, saranno effettuate 9 collezioni di run

5.2 Il programma software per l'analisi dei dati

Le camere di CMS come più volte sottolineato sono costituite da diversi componenti. I dettagli di questi e le prestazioni rivelate durante le varie fasi del processo di produzione sono memorizzati all'interno delle tabelle del Database. Lo stesso test della singola camera con raggi cosmici viene realizzato con diversi run in cui si fanno variare le tensioni di lavoro delle sue gap costituenti e la topologia del trigger per indagare regioni differenti della ampia superficie dell'RPC.

Lo scopo di questo paragrafo è quello di descrivere la struttura del programma software da me sviluppato in *C++* per interrogare il database, raccogliere le informazioni relative ai diversi componenti della stessa camera, organizzare e parametrizzare i risultati dei run dal database affinché riflettano le prestazioni della camera ad RPC nel suo complesso. In fine il programma memorizza le distribuzioni delle variabili rilevanti sulla statistica delle camere prodotte all'interno di file ROOT² per l'analisi globale che discuterò nel prossimo paragrafo.

5.2.1 Descrizione dei componenti software sviluppati

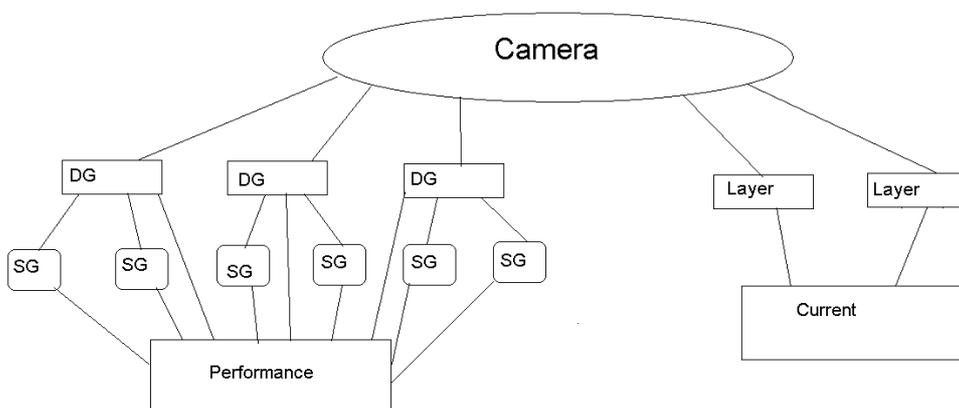


Figura 5.8: *Illustrazione schematica degli oggetti sviluppati per modellare la camera. SG: singola gap; DG: doppia gap; Layer: piano costituito da due o tre singole gaps*

²framework object oriented per l'analisi dei dati[52]

La figura 5.8 illustra schematicamente la struttura degli oggetti che modellano una camera reale. Come si vede gli oggetti definiti nel programma seguono una struttura ad albero che riflette la gerarchia della camera reale.

L'oggetto *Camera*

L'oggetto *Camera* è il punto di partenza della struttura. Ciascun oggetto di tipo *Camera* verrà definito dai seguenti attributi:

ID della camera nel database	intero identificativo della camera
numero di doppie gap	intero che indica il numero di doppie gap
Tipo di camera	stringa che definisce il tipo di camera
Doppia gap forward	oggetto di tipo doppia gap (vedi dopo)
Doppia gap backward	oggetto di tipo doppia gap (vedi dopo)
Doppia gap middle	oggetto di tipo doppia gap (vedi dopo)
Layer Up	oggetto di tipo layer (vedi dopo)
Layer Down	oggetto di tipo layer (vedi dopo)

L'oggetto *Doppia Gap*

L'oggetto di tipo doppia gap implementa le caratteristiche delle doppie gap che vengono assemblate all'interno della camera. I suoi attributi sono i seguenti:

ID della bi-gap nel database	intero identificativo della doppia gap
numero di strip presenti	intero che indica il numero di strip
pitch delle strip	double che indica il passo tra due strip
tipo di doppia gap	stringa che definisce il tipo della doppia gap
Singola gap down	oggetto di tipo singola gap (vedi dopo)
Singola gap UP	oggetto di tipo singola gap (vedi dopo)
performance	oggetto di tipo performance (vedi dopo)

Anche in questo caso l'oggetto doppia gap contiene tutte le informazioni che le contraddistinguono. Tali informazioni sono:

- a** di tipo geometrico/costruttivo: numero identificativo (ID), tipologia, numero e pitch delle strip;
- b** relativi alle prestazioni del rivelatore che verranno confinati in oggetti di tipo performance descritti di seguito.

L'oggetto *Singola Gap*

L'oggetto di tipo *Singola gap* implementa le caratteristiche delle singole gap: definite dal numero identificativo delle singole gap nel database, la resistività media dei piatti di bakelite che la compongono e le prestazioni (*performance*)

ID nel database resistività media dei piatti di bakelite performance	intero idetentificativo della singola gap double che indica la resistività media oggetto di tipo performance (vedi dopo)
--	--

L'oggetto *Prestazioni (Performance)*

Le prestazioni della camera sono definite dalle prestazioni dei suoi singoli componenti.

Fondamentalmente ogni componente ad RPC della camera è caratterizzato dalla sua efficienza, dal rate di rumore (noise), dalla dimensione del cluster e dalla corrente oscura in funzione della tensione (HV) applicata. Nel prossimo paragrafo ciascuna variabile verrà descritta ed analizzata in dettaglio.

L'oggetto di tipo performance contiene al suo interno tutte le informazioni provenienti dai run presi su quell'elemento ed i metodi software per parametrizzarne l'andamento in funzione della tensione applicata e di estrarne i parametri, come si vedrà successivamente.

Gli attributi dell'oggetto performance risulteranno essere quindi la matrici contenenti le coppie sperimentali (HV , ε), (HV , $\Delta\varepsilon$), (HV , noise rate), (HV , cluster size), dove ε e $\Delta\varepsilon$ sono l'efficienza di rivelazione ed il suo errore alla tensione di lavoro HV.

L'oggetto Layer

Sebbene la struttura di una camera sia completamente definita dalle sue doppie e singole gap con le relative performance, la definizione dei due oggetti di tipo layer indicati in figura 5.8 si rende necessaria per analizzare le prestazioni della camera dal punto di vista delle correnti oscure. Queste infatti vengono misurate dagli alimentatori di alta tensioni che forniscono l'alimentazione di lavoro agli RPC secondo lo schema indicato in figura 4.6. Siccome ciascun canale di alimentazione fornisce la tensione di lavoro alle 2 (3 in caso di RB2-3) gap dello stesso layer up o down, la corrente letta risulterà la somma di queste e non rappresenta quindi un attributo che può essere assegnato agli oggetti di tipo Doppia o Singola gap. Ogni Layer quindi viene definito dalla matrice contenente le coppie (HV,I) e dai parametri raccolti durante le misure.

5.2.2 Interrogazione del database

Tutte le informazioni necessarie a fornire gli attributi degli oggetti precedentemente descritti sono presenti all'interno del database. Per i database *Mysql* esistono delle librerie che ne permettono l'interrogazione³ all'interno del codice *C++*. Dalla struttura degli oggetti che devono essere riempiti risulta che il codice dovrà interrogare il database per raccogliere sia le informazioni relative alla costruzione sia relative ai test effettuati. Relativamente ai test effettuati va notato che siccome all'interno della tabella *Cosmics* sono raccolti i record relativi a tutti i run realizzati, compresi run eventualmente abortiti a causa di problemi tecnici oppure run che successivamente si è scoperto essere stati effettuati in condizioni di miscela gassosa non ottimale, è necessaria una pre-analisi basata sui logbook cartacei delle stazioni di test in cui si annotano i numeri di run andati a buon fine. Se più run vanno a buon fine in un sito di test, nell'analisi viene analizzato solo l'ultimo.

La sequenza tipica di interrogazioni necessarie per definire completamente l'oggetto camera sarà quindi realizzata come segue.

Si parte da un *file ASCII* contenente i numeri identificativi delle camere da analizzare, corredato dai numeri dei run andati a buon fine per quella camera. Si interroga la tabella *Chamber* cercando il record relativo alla camera da analizzare. In tale tabella come descritto nel paragrafo precedente si estraggono tutte le possibili informazioni costruttive (ID delle doppie gap che la compongono, tipo di camera, etc) e si comincia il riempimento degli attributi dell'oggetto camera.

Partendo dal numero ID delle doppie gap costituenti la camera si interroga nuovamente il database nella tabella *doppiagap* e si estraggono le informazioni costruttive per definire gli attributi dell'oggetto *Doppia gap*. Continuando a seguire la struttura gerarchica si fa lo stesso con le tabelle *Singola gap* e *Bakelite* in modo da definire completamente l'oggetto. A questo punto vanno definite le performance dei singoli elementi interrogando la tabella *Cosmics* e *TestCaenBari*. Come già anticipato in occasione del paragrafo in cui ho descritto la tabella *Cosmics*, le performance delle doppie gap e singole gap verranno correttamente riempite associando a queste le giuste combinazioni dei valori dei campi *Trigger* e *HalfWhole*. Le prestazioni dei layer invece si riempiranno interrogando la tabella *TestCaenBari*.

Nonostante sia possibile estrapolare direttamente del database, attraverso l'uso di query più o meno complicate, le prestazioni dei componenti fondamentali di una camera, si è adottata tale tecnica per permettere

³L'estrazione di alcuni dati attraverso delle query (domande).

una più facile correlazione tra le grandezze che li caratterizzano attraverso l'implementazione di una struttura elastica e coerente.

5.3 Analisi dei dati

Come abbiamo più volte avuto modo di osservare le camere ad RPC vengono caratterizzate attraverso lo studio di alcuni parametri come la corrente assorbita, il noise rate, la cluster size e l'efficienza di conteggio in funzione della tensione di lavoro applicata agli elettrodi dei volumi di gas. In questo paragrafo illustrerò i risultati dell'analisi da me sviluppata riportando le distribuzioni delle variabili di interesse utilizzando il programma di analisi descritto nel precedente paragrafo.

I risultati si riferiscono alle prestazioni globali di un campione di 39 di camere di tipologia RB1, prodotte sotto la responsabilità del gruppo dell'INFN di Napoli e già accettate al CERN di Ginevra.

5.3.1 Studio dell'efficienza e dipendenza del punto di lavoro dai parametri ambientali

La collezione dei valori relativi alle efficienze di rivelazione con relativo errore e tensione applicata, che sono stati estratti dal database come descritto nel precedente paragrafo, permette di parametrizzare il comportamento dei singoli componenti della camera ad RPC in funzione della tensione di lavoro applicata.

Per ogni singola e doppia gap è stato effettuato un fit dei punti sperimentali secondo la seguente funzione *sigmoidale*

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{max}}{1 + e^{S(HV - HV_{50\%})}} \quad (5.1)$$

che approssima bene i dati sperimentali nell'intorno del punto di lavoro dove ε_{max} , S e $HV_{50\%}$, parametri dell'interpolazione, rappresentano l'efficienza massima, la slope⁴ e la tensione al 50% dell'efficienza massima rispettivamente. La HV è la tensione effettivamente applicata agli elettrodi.

Le prestazioni dei volumi di gas che compongono le camere sono tuttavia

⁴La slope è definita come l'inverso della differenza tra i valori delle tensioni al 90% ed al 10% dell'efficienza massima. Essa è un indice indicativo di quanto velocemente il rivelatore passi dal 10% al 90% dell'efficienza massima:

$$S = 1/\Delta_{10-90} \quad (5.2)$$

sensibili al cambiamento dei parametri ambientali quali la temperatura (T) e la pressione (P).

Nel capitolo 3 è stato ampiamente sottolineato che il funzionamento degli RPC (come tutti i rivelatori a gas) è legato al fenomeno di moltiplicazione degli elettroni liberati al passaggio di particelle ionizzanti (*creazione di copie secondarie*) e quanto questo sia legato alla possibilità di cedere energia a questi accelerandoli in un campo elettrico applicato dall'esterno. Risulta chiaro che l'energia acquisita (energia cinetica) da una carica libera, a parità del campo elettrico applicato, dipenda crucialmente dallo spazio che questa riesca a percorrere. Per tanto il libero cammino libero medio all'interno del gas risulta un parametro fondamentale nel comportamento del rivelatore e come è chiaro questa risulta legata ai due parametri ambientali: temperatura e pressione. Di conseguenza il funzionamento di un RPC risente dei parametri ambientali in cui viene effettuata una misura in quanto la sua risposta ad una determinata tensione dipenderà dai valori di questi: effetto di *scaling*. Per poter effettuare un'analisi indipendente dai valori della temperatura e della pressione, i valori delle tensioni applicate necessitano di una preliminare normalizzazione secondo la relazione⁵

$$HV_{eff} = HV \frac{T}{T_0} \frac{P_0}{P} \quad (5.3)$$

dove T_0 (293° K) e P_0 (1010 mbar) sono i valori di temperatura e pressione di riferimento.

Per poter dare una visione più chiara del fenomeno di *scaling* e di quanto questa possa incidere sull'analisi, ho confrontato gli andamenti delle tensioni al 50% dell'efficienza massima delle doppie gap del campione in funzione del rapporto T/P nel caso in cui non si effettua alcuna correzione di *scaling* e nel caso contrario.

⁵Questo tipo di correzione, basato su una relazione lineare tra la tensione applicata e la densità del gas, è valida solo per piccole variazioni di pressioni e temperatura rispetto ai loro valori standard.

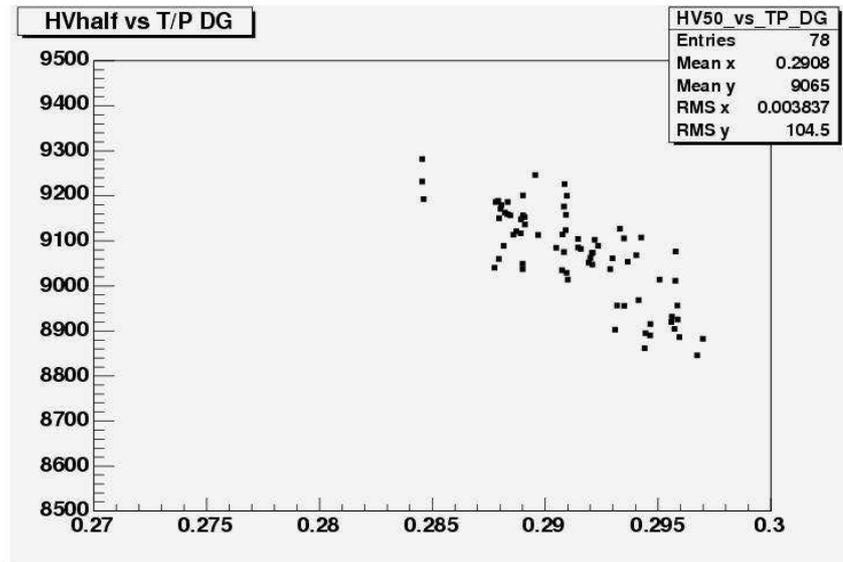


Figura 5.9: Tensioni efficace al 50% dell'efficienza vs T/P a tensioni non corrette per scaling.

Come mostrato nella figura 5.9 il valore della tensione applicata alle camere per raggiungere il 50% dell'efficienza dipende fortemente dal valore del rapporto T/P. Diminuendo infatti il valore di tale rapporto, osserviamo che la tensione da applicare, per raggiungere il 50% dell'efficienza massima ($HV_{50\%}$), aumenta. Tale comportamento è giustificato dal fatto che una diminuzione del rapporto equivale ad una diminuzione del libero cammino medio, λ nel gas all'interno delle gap. La figura 5.9 mostra che effettuata la correzione di *scaling* 5.3, la tensione effettiva al cui valore le doppie gap raggiungono il 50% dell'efficienza massima di rivelazione è indipendente dal rapporto T/P. Si può osservare che la distribuzione, indipendentemente dal valore del rapporto T/P, si centra intorno al valore 9100 V .

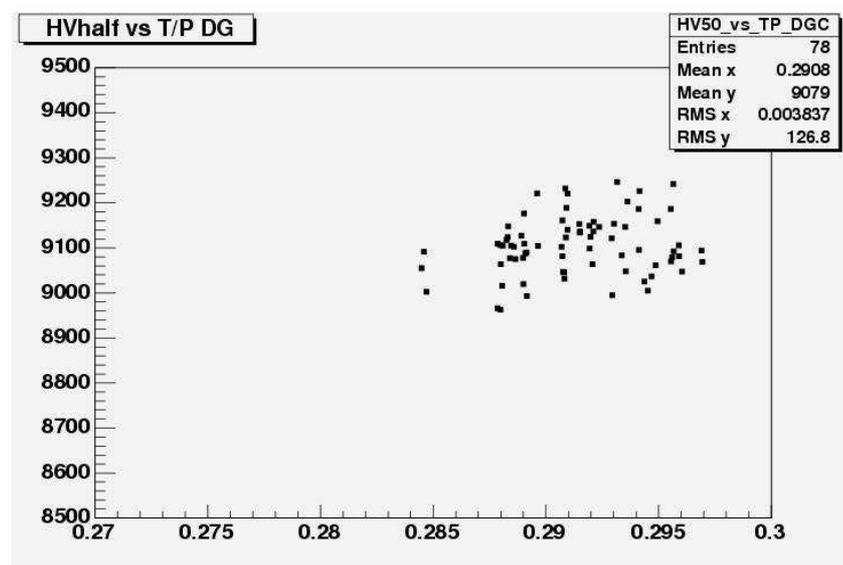


Figura 5.10: *Tensioni efficace al 50% dell'efficienza vs T/P a tensioni corrette per scaling.*

In figura 5.11 e 5.12 sono riportate le distribuzioni delle $HV_{50\%}$ ed al $HV_{90\%}$ senza e con la correzione. Tali distribuzioni avvalorano quanto detto in precedenza infatti come si può osservare in entrambe le figure, le distribuzioni delle tensioni non corrette per *scaling* presentano una dispersione maggiore dei dati, rispetto alle analoghe con i valori delle tensioni corrette.

Verificata l'importanza della correzione di *scaling*, ho effettuato la mia analisi ricalibrando tutti i valori della tensione; per tanto tutti i valori delle tensioni riportati nei grafici sono stati corretti secondo la 5.3. Ciò varrà anche relativamente alle distribuzioni delle altre variabili studiate in seguito.

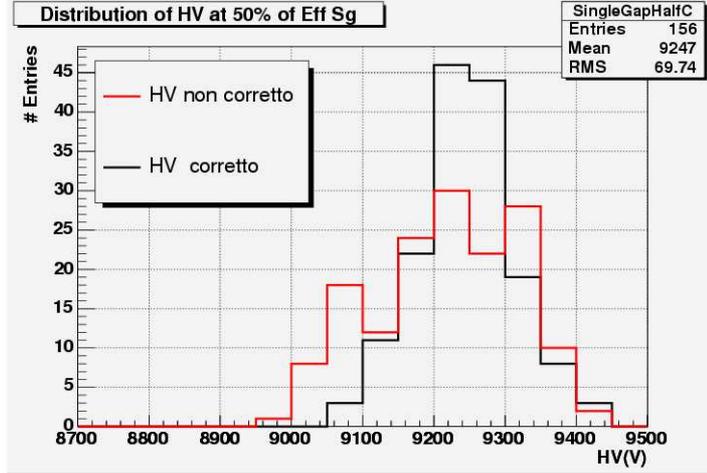


Figura 5.11: *Confronto delle distribuzioni dei valori delle tensioni al 50% dell'efficienza massima, per tensioni corrette per scaling e tensioni non ricalibrate.*

5.3.2 Analisi dell'efficienza per Singole e Doppie gap

Una tra le tante caratteristiche costruttive che differenziano CMS dagli altri esperimenti ad LHC, è l'utilizzo delle camere a doppia gap. Tale configurazione garantisce il funzionamento delle camere anche in caso di danneggiamento o non corretto comportamento di una sua singola gap, inoltre rende, a parità di tensione applicata la camera più efficiente. Poichè le camere ad RPC costituiscono uno dei due sistemi di trigger del sistema muonico, la loro efficienza è un requisito fondamentale per il programma scientifico di CMS, visti i numerosi canali di decadimento in muoni del bosone di Higgs, delle eventuali particelle supersimmetriche ecc.

La figura 5.13 evidenzia quanto detto sino ora infatti si può vedere che a parità di tensione applicata, l'efficienza di conteggio di una doppia gap è sempre maggiore dell'efficienza delle due singole gap che la compongono,

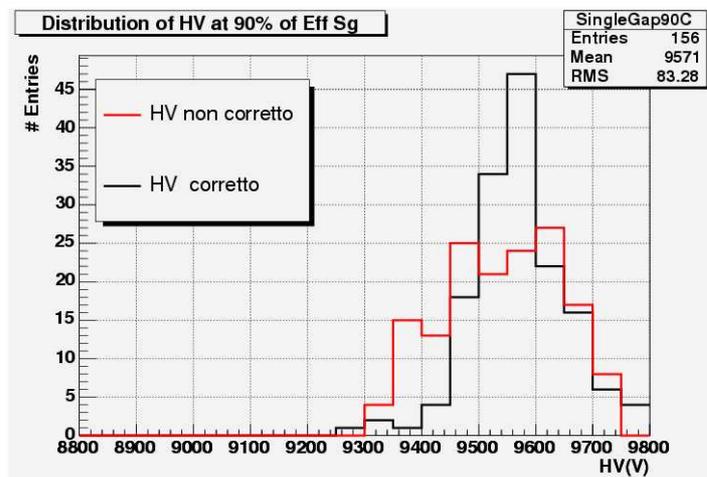


Figura 5.12: Confronto delle distribuzioni dei valori delle tensioni al 90% dell'efficienza massima, per tensioni corrette per scaling e tensioni non ricalibrate.

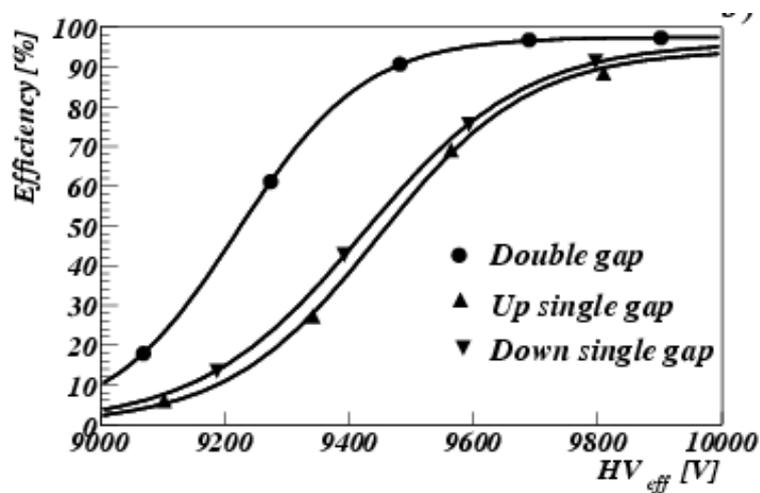


Figura 5.13: Confronto delle curve di efficienza di una doppia gap e delle singole gap di cui è formata. La figura si riferisce alla doppia gap forward della camera 175

come si può osservare nella figura 5.14 e come si poteva attendere la dis-

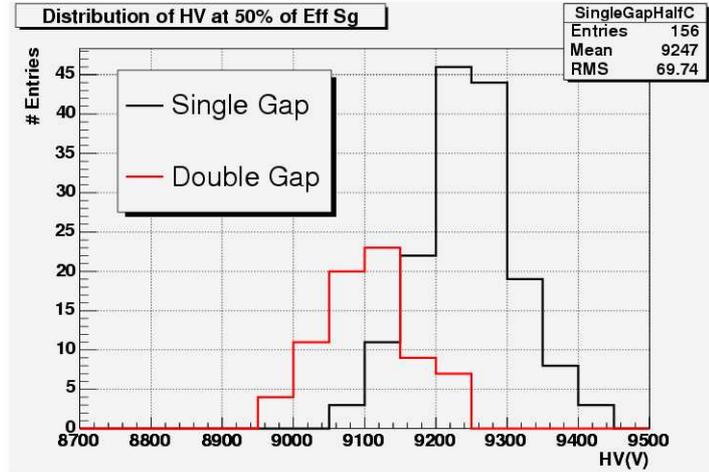


Figura 5.14: Confronto delle distribuzioni delle tensioni al 50% dell'efficienza massima delle doppie gap e singole gap che le efficienza. La statistica riportata in figura si riferisce alle singole gap.

tribuzione delle tensioni di lavoro per cui si raggiunge il 50% dell'efficienza massima risulta spostata verso valori più bassi di circa 200 volt nel caso di doppie gap rispetto al caso in cui una sola gap è accesa. La distribuzione risulta anche più stretta nel caso delle doppie gap. Ciò permetterà di avere alte efficienze di rivelazione applicando alle camere campi elettrici minori. L'applicazione di campi minori produce minore guadagno nel gas, di conseguenza le superfici delle scariche che si formeranno in seguito al passaggio di particelle ionizzanti saranno più contenute. Sappiamo che la dimensione del fronte della scarica è legata alla dimensione dell'area morta del rivelatore perciò la configurazione a doppia gap favorisce il funzionamento ad alto flusso di particelle incidenti. La figura 5.15 evidenzia ancora una volta che le doppie gap hanno un'efficienza maggiore delle singole gap.

Oltre a quanto osservato sino ad ora commentando gli andamenti dei grafici mostrati, si può vedere ancora un'altro aspetto fondamentale che ha fatto preferire la configurazione a doppia gap rispetto a quella a singola gap.

Le distribuzioni del valore assoluto delle slope ($HV_{90\%} - HV_{10\%}$) sono confrontate in figura 5.16. La configurazione a doppia gap presenta un minore differenza tra la tensione al 10% ed al 90% dell'efficienza, circa 110 V; questo aspetto conferisce alla configurazione a doppia gap maggiore uniformità di comportamento rispetto ai singoli volumi di gas.

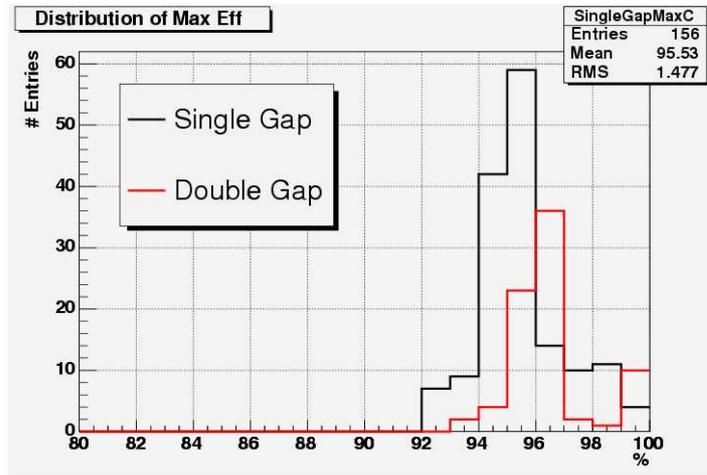


Figura 5.15: Confronto delle distribuzioni dell'efficienza massima delle doppie gap e singole gap che le efficienza. La statistica riportata in figura si riferisce alle singole gap.

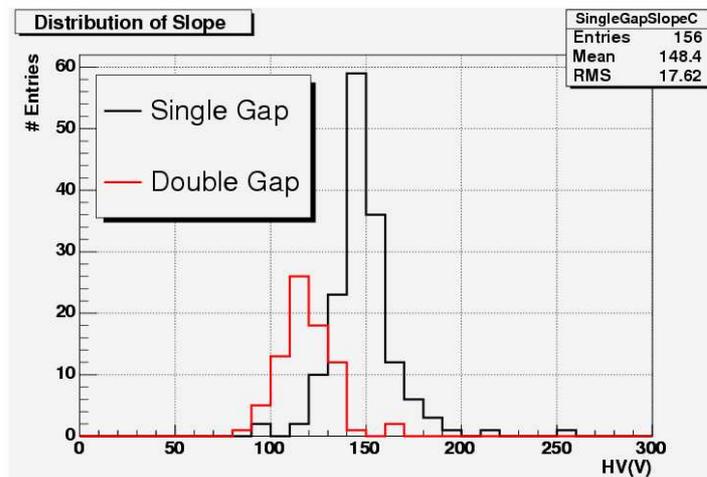


Figura 5.16: Confronto delle distribuzioni delle slope per singole gap e doppie gap. La statistica riportata in figura si riferisce alle singole gap.

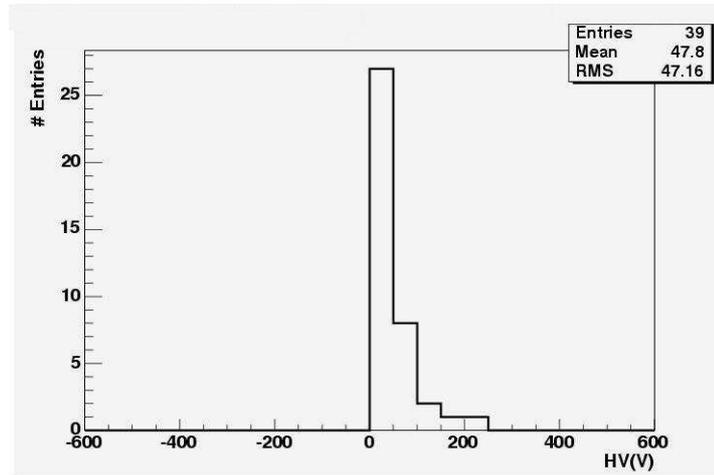


Figura 5.17: *Distribuzioni dei valori assoluti delle differenze tra i valori delle tensioni al 50% dell'efficienza massima delle singole gap appartenenti al layer up.*

L'analisi delle prestazioni in termini di efficienza delle singole e doppie gap ha mostrato che la configurazione a doppia gap si mostra più uniforme della corrispondente configurazione a singola gap. Bisogna osservare che nel sistema muonico di CMS, il sistema dell'alto voltaggio alimenterà contemporaneamente le singole gap appartenenti agli stessi *layer* di ogni camera.

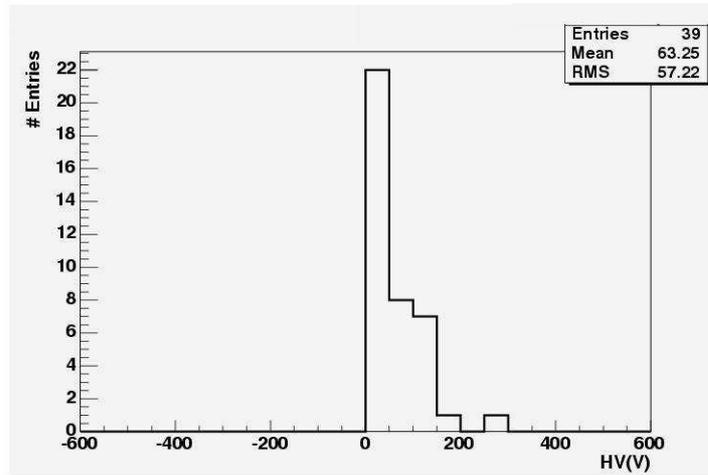


Figura 5.18: *Distribuzioni dei valori assoluti delle differenze tra i valori delle tensioni al 90% dell'efficienza massima delle singole gap appartenenti al layer up.*

Questa scelta provocherà la sovratensione o la sottotensione di una delle due gap con il conseguente funzionamento non ottimale di quest'ultima. Analizzando le figure 5.19 e 5.20 che rappresentano le distribuzioni delle differenze tra le tensioni in cui la singola gap forward e backward di uno stesso layer raggiungono il 50% (90%) dell'efficienza massima, possiamo notare che l'utilizzare la stessa tensione per entrambe le gap provocherà una sovratensione o una sottotensione fino a 200 volt circa per una delle due gap. Per ridurre i costi del sistema di alimentazione delle camere, nella prima fase di funzionamento di CMS ogni canale di alimentazione fornirà tensioni a tutte le gap della camera. In tale ottica ho svolto un'ulteriore analisi per stimare quanto si sovraccaricheranno (o sottocaricheranno) in media le gap di ogni camera analizzata. quando si fissa un'unica tensione per tutte le gap della camera Le distribuzioni rappresentate nelle figure 5.21 e 5.22, mostrano che in tale scenario la situazione si presenterà molto più complicata da gestire in quanto la variazione si presenta molta ampia. Ricordandosi la figura 5.16 si può capire perchè non sia possibile scegliere di alimentare la camera alla tensione più bassa delle quattro. Infatti in tale situazione le doppie gap che la compongono potrebbero raggiungere rapidamente efficienze di rivelazione basse. D'altro canto scegliere di alimentare al valore più alto provocherebbe uno sovraccarico notevole delle altre singole gap con il conseguente aumento

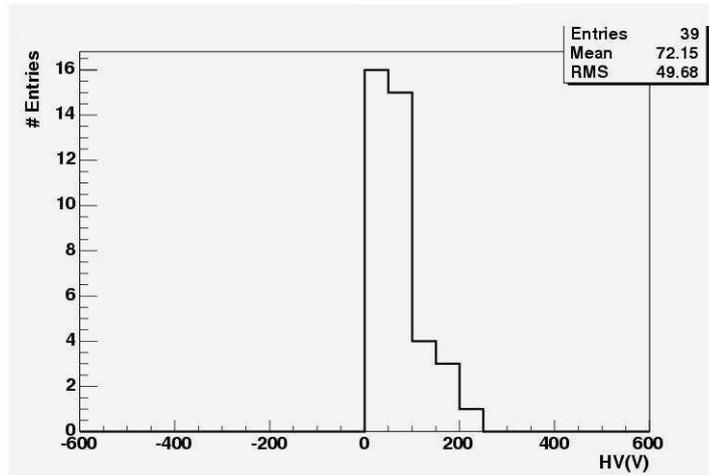


Figura 5.19: *Distribuzioni dei valori assoluti delle differenze tra i valori delle tensioni al 50% dell'efficienza massima delle singole gap appartenenti al layer down.*

del loro noise e correnti oscure. La scelta finale sarà un compromesso tra le varie esigenze.

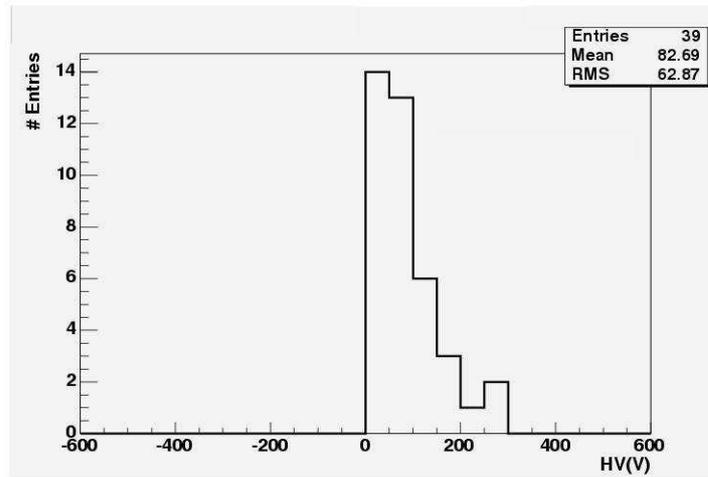


Figura 5.20: *Distribuzioni dei valori assoluti delle differenze tra i valori delle tensioni al 90% dell'efficienza massima delle singole gap appartenenti al layer down.*

5.3.3 Studio del noise

Un altro parametro importante da tener sotto controllo al fine di ottenere il corretto funzionamento del trigger dei muoni di CMS risulta essere il *noise rate*⁶, infatti se i componenti del sistema muonico fossero affetti da un suo valore elevato si potrebbero osservare falsi trigger, *fake* (cioè non dovute al passaggio di muoni). Il rumore della camera durante le operazioni di LHC, può essere diviso in due componenti: una prima dovuta a scariche generate dal fondo di radiazione indotto dal funzionamento della macchina LHC, principalmente γ e neutroni. Il secondo dovuto al funzionamento intrinseco del rivelatore.

Siccome il sistema di trigger non riesce a sostenere un rate di noise superiore ai 50 Hz/cm² sul singolo piano, è importante che tale valore non venga superato. Simulazioni montecarlo indicano che il rumore indotto dalla radiazione di fondo risulta essere circa 10 Hz/cm² nel barrel. È fondamentale che il rumore intrinseco degli RPC non aumenti considerevolmente tale valore. Durante la fase di controllo di qualità si sono accettate solo camere il cui rumore sia inferiore a 10 Hz/cm². Corretti i valori delle tensioni per *scaling*

⁶Numero di strip accese di una camera al di fuori della finestra temporale di trigger, normalizzato rispetto la superficie delle strip.

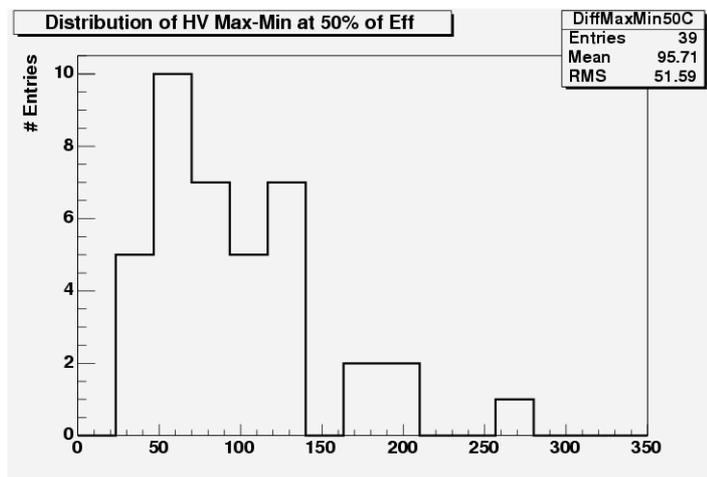


Figura 5.21: *Distribuzione delle differenze tra il la massima ed il minimo valore delle tensioni a cui le singole gap di una stessa camera raggiungono il 50% dell'efficienza massima.*

ho effettuato un fit parabolico dei dati sperimentali (tensione - noise) ed ho estrapolato dalla curva di regressione i valori del noise alla tensione di lavoro di 9.6 kV.

Per non inquinare i risultati dell'analisi effettuata sul noise con il contributo delle strip molto rumorose ho individuato quelle che alla tensione di lavoro di 9.6 kV presentano un noise rate maggiore di 20 Hz/cm^2 , *strip overflow* e le ho escluse dall'analisi seguente. La figura 5.23 mostra che in media il campione presenta solo nel 35% dei casi una o due strip in *overflow*.

Tali strip vengono eliminate dall'analisi.

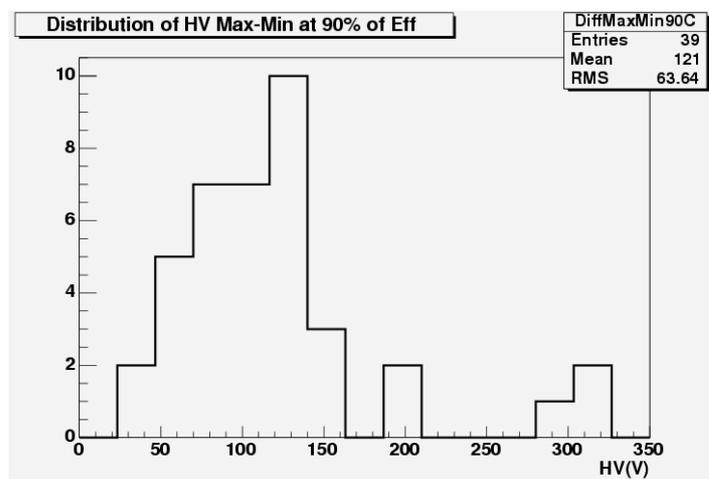


Figura 5.22: *Distribuzione delle differenze tra il la massima ed il minimo valore delle tensioni a cui le singole gap di una stessa camera raggiungono il 90% dell'efficienza massima.*

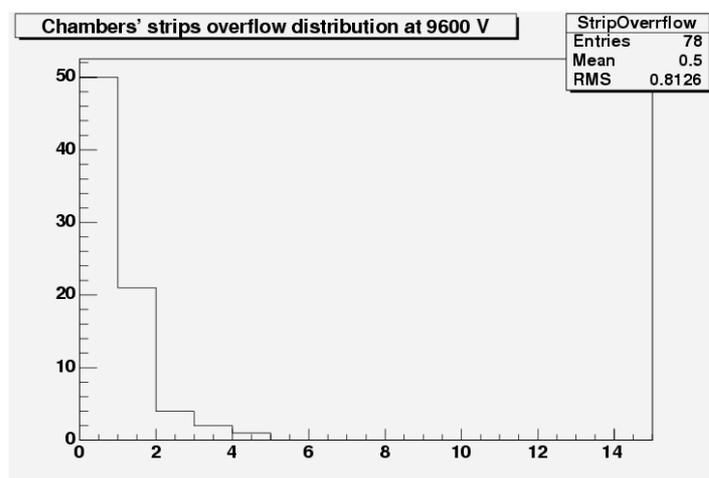


Figura 5.23: *Distribuzione delle strip overflow di tutte le camere analizzate.*

Le figure 5.24 mostrano i valori del noise alla tensione di lavoro per le

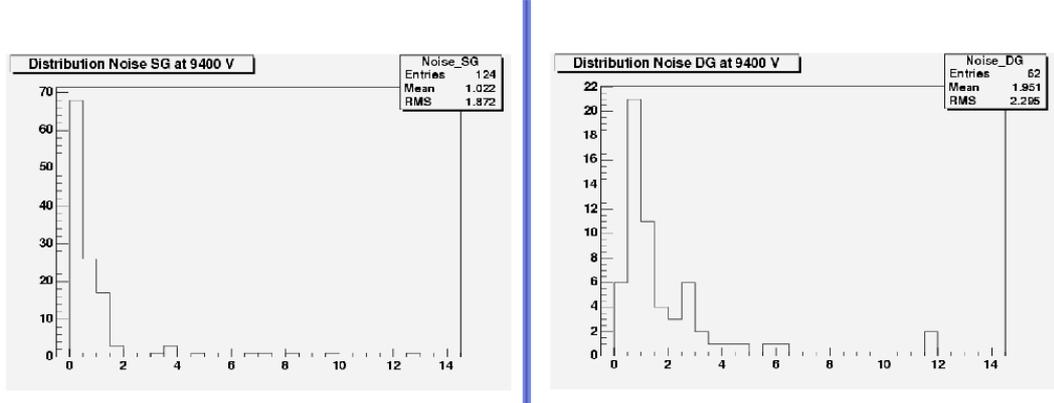


Figura 5.24: *Distribuzione del noise delle singole (figura sinistra) e delle doppie (figura destra) gap alla tensione di lavoro.*

singole e le doppie gap. Dalle distribuzioni del noise a tali valori della tensione applicata si inizia a vedere che il valore del noise delle doppie gap risulta in generale il doppio del valore delle singole gap. Questo è ciò che mi aspettavo, infatti escluse le strip rumorose il noise di una singola gap sarà dovuto solo ai contributi dell'elettronica comune ad entrambe le gap, ed ai rivelatori che risultano indipendenti. Per tanto il noise di una doppia gap sarà dato dalla somma dei contributi dell'elettronica e dai conteggi casuali dei due volumi di gas che la compongono. A tensioni elevate il secondo contributo diviene evidentemente più consistente del primo e per tanto si spiega la relazione tra le due distribuzioni. Al fine di rendere più esplicita la verifica di quanto detto, ho studiato la quantità *noise ratio*, N definita come segue

$$N = \frac{\text{noise}_{SG}(UP) + \text{noise}_{SG}(DW)}{\text{noise}_{DG}} \quad (5.4)$$

dove si indicano con $\text{noise}_{SG}()$ e $\text{noise}_{DG}()$ il noise delle singole e delle doppie gap rispettivamente. A tal punto ho effettuato le distribuzioni di questa quantità al variare della tensione applicata da 9.0 a 9.6 kV ed ho graficato i loro valori medi.

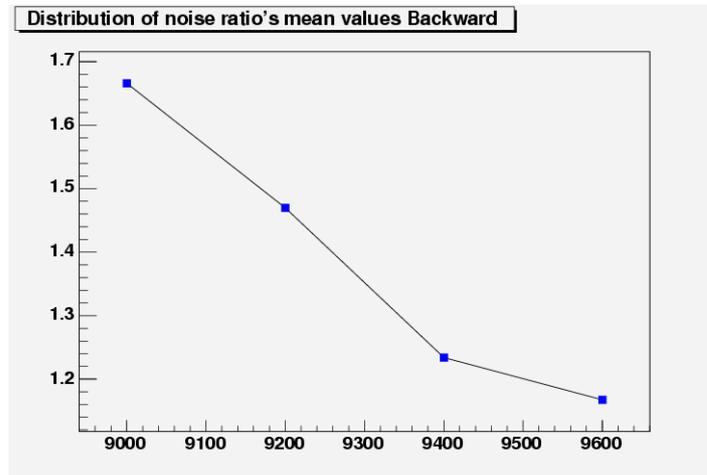


Figura 5.25: *Andamenti dei valori medi delle distribuzioni di noise ratio delle doppie gap Backward.*

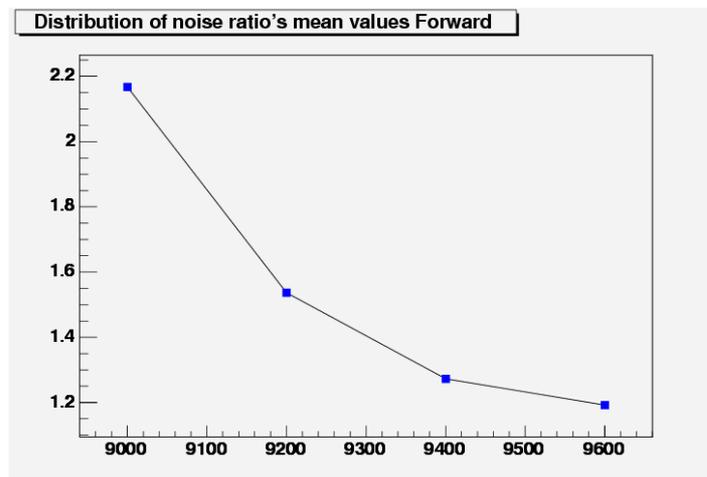


Figura 5.26: *Andamenti dei valori medi delle distribuzioni di noise ratio delle doppie gap Forward.*

Come già anticipato dalle figure 5.25 e 5.26 si osserva che il contributo dovuto alle scariche nei singoli volumi di gas diviene sempre più consistente e per tanto il noise di una doppia gap diviene approssimabile con la somma dei noise delle singole gap che la compongono.

5.3.4 Studio della cluster size

Il corretto funzionamento del trigger del sistema muonico è direttamente collegato alla capacità dei suoi costituenti di operare in un alto flusso di particelle. Siccome il trigger ricerca tracce che attraversano il sistema muonico che puntino al vertice dell'interazione all'interno di determinate *road*, per ogni cluster size⁷ elevata aumenta la probabilità di simulare tracce che puntino al vertice in coincidenza con hit di rumore.

La cluster size degli RPC deve quindi essere la più bassa possibile. Per studiarne le caratteristiche del campione esaminato dopo aver corretto i valori delle tensioni per *scaling* ho effettuato un fit parabolico dei dati sperimentali (tensione - cluster size) ed ho estrapolato dalla curva di regressione i valori della cluster size alla tensione di lavoro di 9.6 kV.

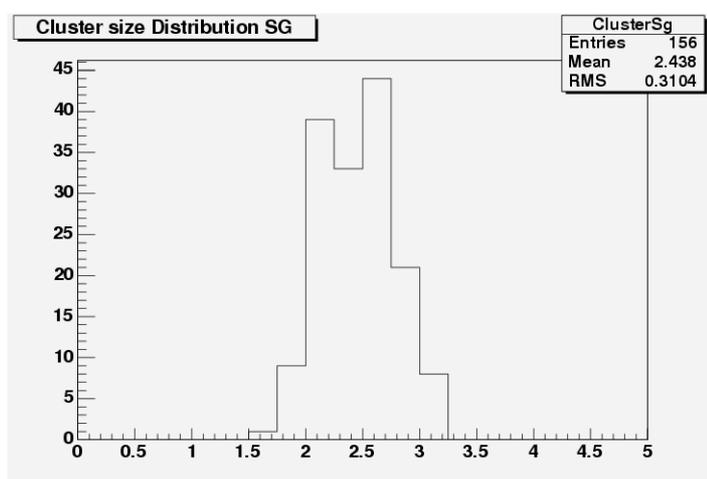


Figura 5.27: *Distribuzioni delle cluster size delle singole gap.*

⁷numero di strip adiacenti accese contemporaneamente all'interno della finestra di trigger.

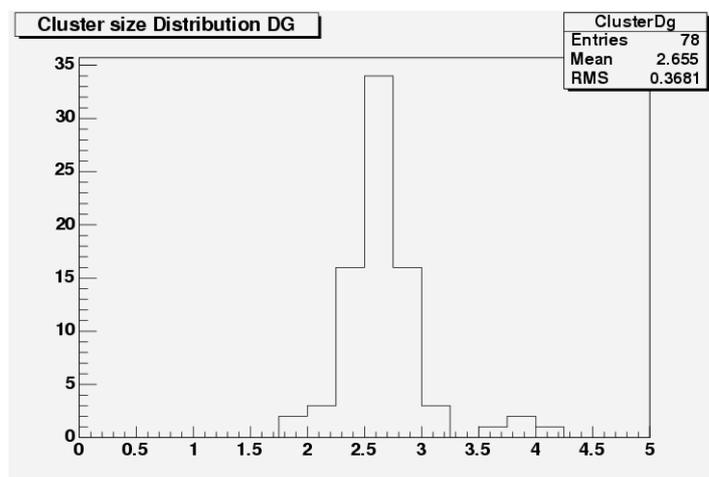


Figura 5.28: *Distribuzioni delle cluster size delle doppie gap.*

Le distribuzioni riportate nelle figure 5.27 e 5.28 mostrano che la cluster size ha un andamento abbastanza simile tra le configurazioni a doppia e singola gap e che ha un valore medio compreso tra due e tre.

5.3.5 Studio delle correnti oscure

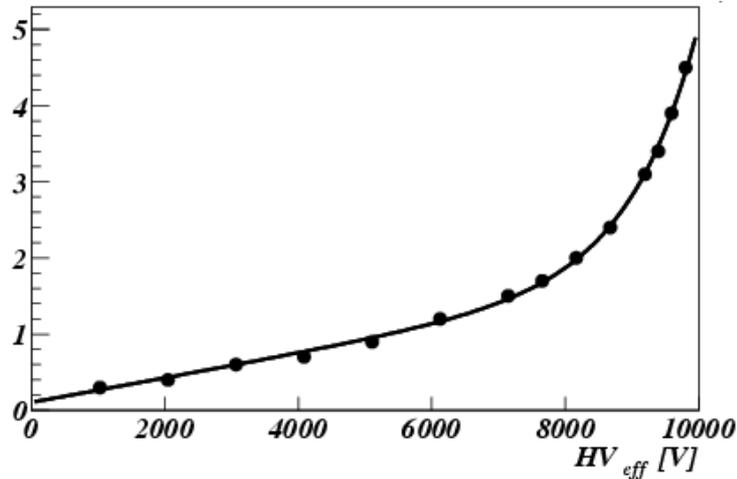


Figura 5.29: *Caratteristica tensione - corrente di una camera.*

Per valori di tensione inferiori a quelli necessari ad innescare la scarica nel gas, ogni RPC si dovrebbe comportare come un condensatore per cui la corrente attraversata è trascurabile.

Gli RPC reali tuttavia a causa dei bordi e dei distanziatori che li costituiscono presentano una resistenza non infinita al passaggio di corrente anche a valori di tensione sotto la soglia di innesco della scarica. L'andamento della corrente in funzione della tensione applicata può quindi essere parametrizzato da un andamento lineare fino a circa 6 kV ed un andamento esponenziale per valori superiori.

Inf figura 5.29 è riportata la tipica caratteristica HV-I di una gap in cui si evidenziano i due contributi.

Allo scopo di analizzare le prestazioni dagli RPC in termini di corrente oscura per ogni layer di una camera, che ricordiamo è costituita da due singole gap di circa 2 m^2 ciascuna, viene fittato con una retta la corrente in funzione di HV fino a 6 kV, alle restanti misure viene sottratto il contributo ohmico proveniente dal precedente fit e queste vengono fittate in maniera parabolica.

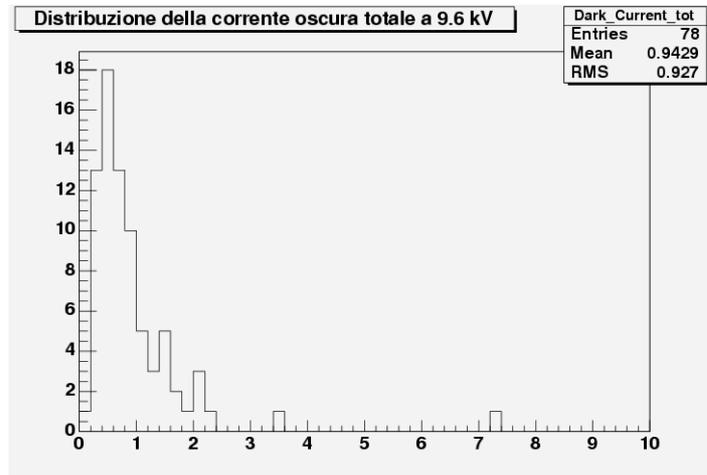


Figura 5.30: *Distribuzioni della corrente dei layer up e down.*

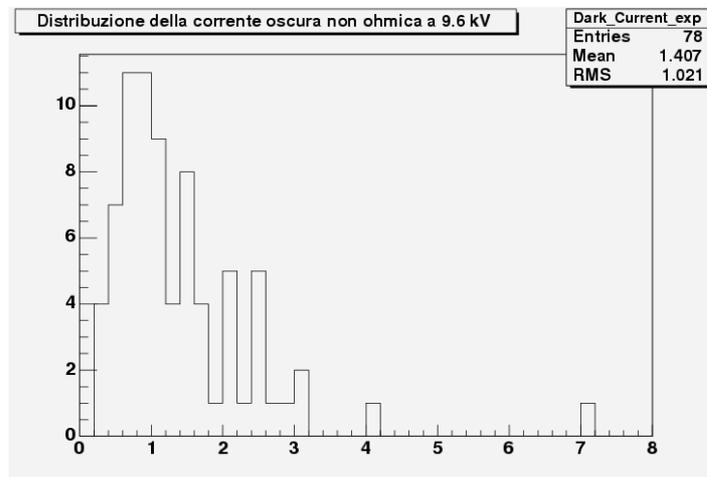


Figura 5.31: *Distribuzioni della sola corrente di gas dei layer up e down*

Le prestazioni delle camere vengono quindi caratterizzate dai tre grafici 5.30, 5.31, 5.32. La figura 5.30 mostra la corrente totale di tutti i layer della camera. Si può notare che nel processo di produzione non sono state

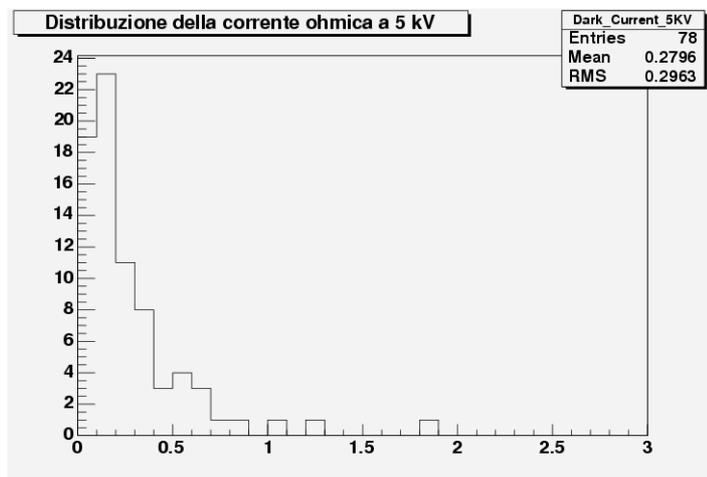


Figura 5.32: *Distribuzioni della sola corrente ohmica dei layer up e down*

accettate camere con valori di corrente maggiori di $10 \mu\text{A}$.

Nella figura 5.32 viene rappresentata la distribuzione delle correnti al valore di 5 kV che fornisce una stima del comportamento ohmico delle camere.

In fine la figura 5.31 mostra il solo contributo della corrente di gas depurata dal contributo ohmico.

Le tre distribuzioni mostrano le buone uniformità sia in termini di contributo ohmico che di amplificazione del gas.

Dalla analisi effettuata si può notare l'uniformità della prestazioni del campione di camere analizzato, prerogativa fondamentale per il corretto funzionamento del trigger del sistema muonico.

Appendice A

Sorgenti dei codici software sviluppati

Di seguito sono riportati gli header file di codici sviluppati per implementare il software utilizzato per l'analisi, in modo da mettere in luce per ognuno di essi la propria struttura interna, le funzionalità ed i parametri caratteristici.

A.1 Classe Singola Gap

```
#ifndef SINGLEGAP_H
#define SINGLEGAP_H
#include<string>
#include<vector>
#include<iostream>
#include "performances.h"

using namespace std;

class singleGap // definisce la single gap {
public:
    // constructor
    singleGap();
    singleGap(int, float, const string &, const performances &);
    //
    int id() const {return _id;};
    string type() const {return _type;};
    float rho() const {return _rho;};
    performances results() const {return _results;};
};
```

```

private:

    int _id;
    string _type;
    float _rho;
    performances _results;

};

#endif

```

A.2 Classe Doppia Gap

```

#ifndef DOUBLEGAP_H
#define DOUBLEGAP_H
#include<string>
#include<vector>
#include<iostream>
#include "performances.h"
#include "singleGap.h"

using namespace std;

class doubleGap // definisce la doppia gap {
public:
    // constructor
    doubleGap();
    doubleGap(int, const string &, const performances &,
        const singleGap &, const singleGap &);
    //
    int id() const {return _id;};
    string type() const {return _type;};
    performances results() const {return _results;};
    singleGap sgUp() const {return _sgup;};
    singleGap sgDown() const {return _sgdown;};

private:

    int _id;

```

```

    string _type;
    performances _results;
    singleGap _sgup, _sgdown;

};

#endif

```

A.3 Classe Layer

```

#ifndef LAYER_H
#define LAYER_H
#include<string>
#include<vector>
#include<iostream>
#include "current.h"

using namespace std;

class layer // definisce il layer {
public:
    //constructor
    layer();
    layer(string , const current &);
    current result() const{return _result;};

private:
    current _result;
    string _layer_UP_DW;
};

#endif

```

A.4 Classe Performance

```

#ifndef PERFORMACES_H
#define PERFORMACES_H
#include <string>
#include <vector>

```

```

#include <map>
#include <iostream>
#include "TGraph.h"
#include "TGraphErrors.h"
#include "TMath.h"
#include "TF1.h"
#include "TH1F.h" using namespace std;

struct sigmoide { // definisce i parametri della sigmoide
    double maxEff, slopeEff, hvHalf, chi2, Eff90;
}; struct cluster { // definisce i parametri della cluster_func
    double a, b, c, chi2 ;
}; struct noise { // definisce i parametri della noise_func
    double a, b, c, chi2;
}; struct strip_noise { // definisce i parametri della noise_func
    double a, b, c, chi2;
};
// classe contenete le prestazioni in termini di eff vs HV,
// noise vs HV .. etc class performances {
public:

    // constructor
    performances();
    performances(int id, const string & dgtype, const string & sgtype,
        double temperature, double pressure);
        // id ch number; dgtype (forw, mid, back); sgtype (up, down, all)

    bool ok() const {return _ok;};
        // if true performance e' stata trovata
    double runTemperature() const {return _Temp;};
        // return temperatura media del run
    double runPressure() const {return _Press;};
        // return pressione media del run
    void add(double hv, double eff, double Deff, double hv_corr,
        double noise, double mean_cluster_size);
        // add per ogni HV gli elementi
    void add(vector<double> noise_strip,
        double hv, double hv_cor);
        // add il noise strip per strip
    sigmoide get_sigmoide_fit();
        // imposta i valori dei membri di sigmoide ad i volori del fit

```

```

cluster get_cluster_fit();
noise get_noise_fit();
strip_noise get_strip_noise_fit();
void printout();
TGraphErrors* GetTGraphEfficiency(string name, string mode, int type);
    // mode is an option of TF1::Fit. See Root Guide :
    "Q" quite mode. "V" verbose mode

TGraph* GetTGraphStripNoise(string name,string mode, int type,int strip);
    // get graph HV vs Noise for given strip (1..90)
TGraph* GetTGraphNoise(string name,string mode, int type);
    // get graph HV vs Noise sia corretto che non corretto
TGraph* GetTGraphClusterSize(string name,string mode, int type);
    // get graph HV vs Mean_cluster_Size.To use HV cor select type != 0
TGraph* GetStripNoiseDistr(double hv);
    // get Histo of Noise strip x strip at given hv
TGraph* GetTGraphAverageNoise(string name);
    // get Graph of avg noise vs hv cor
int Get_num_off_strip(string opt);
    // get number of off strips opt = "V" else Quite mode.
int Get_num_overflow_strip(double hv);
    // get number of overflow strips at given HV opt = "V" else Quite mode.
double Get_Noise(double hv);
    // return noise value from fit at given HV
double Get_Noise_AVG(double hv);
    // return average noise value of SG o Dg (AVG on strip)
    from fit at given HV
double Get_Noise_Medio(double hv,int opt);
    // return average noise of a SG o Dg (AVG on strip).Hv non corretto
double Get_Mean_Cluster_Size(double hv);
    // return Mean_Cluster_size dal fit.
vector<double> hvVector;
vector<double> hv_corrVector;

private:

TF1 *noise_func;
TF1 *noiseAVG_func;
TF1 *quadratic_func;
TF1 *sigmoide_func;
TF1 *cluster_func;

```

```

    string _date;
    double _Temp, _Press;

    vector<double> _hvVector;
    vector<double> _effVector;
    vector<double> _DeffVector;
    vector<double> _hv_corrVector;
    vector<double> _noiseVector;
    vector<double> _mean_cluster_size;
    vector<vector<double> > _noiseStripVector;
    typedef map<double , vector<double> > mid ;
    mid _noiseStripMapp; // Mapp HV vs Strip-Noise non corretta
    typedef map<double , vector<double> > midCor ;
    midCor _noiseStripMappCor; //Mapp HV vs Strip-Noise  corretta
    bool _ok;
    int _id;
    string _dgtype, _sgtype;
    sigmoide mys;
    double Get_Average_Noise(double hv,int opt);

};

#endif

```

A.5 Classe Current

```

#ifndef CURRENT_H
#define CURRENT_H
#include <string>
#include<vector>
#include <iostream>
#include "TGraph.h"
#include"TGraphErrors.h"
#include"TMath.h"
#include "TF1.h"
#include"TH1F.h"
    using namespace std;

struct linear { // definisce i parametri di linear
    double a,b;

```

```

};

struct Exp { // definisce i parametri di exp
    double ampiezza,esponente_lineare,termine_noto;
};

class current {
public:

    // constructor
    current();
    current(int id, const string & layer);

    bool ok() const {return _ok;}; // if true current e' stata trovata
    void add(double vset, double vmon, double imon);
    linear get_linear_fit();
    Exp get_exp_fit();
    TGraph* GetTGraphOhm(string name, string mode);
    TGraph* GetTGraphExp(string name, string mode);
    double Get_Current_Exp(double hv);
    double Get_Current_Ohm(double hv);
private:

    bool _ok;
    int _id;
    string _layer;
    vector<double> _vmon_exp;
    vector<double> _vset_exp;
    vector<double> _imon_exp;
    vector<double> _vmon_lin;
    vector<double> _vset_lin;
    vector<double> _imon_lin;

    TF1 *linear_func;
    TF1 *exp_func;
};

#endif

```

A.6 Classe Factory

```

#ifndef FACTORY_H
#define FACTORY_H
#include "performances.h"
#include "chamber.h"
#include<string>
#include<vector>
#include<iostream>

using namespace std;

class factory {
public:
    chamber create(int, string,int idset[6], int, string);

private:
    int dgid_db[3];
    int sgid_db[3][2];
    float sgrho_db[3][2];
    performances sresults_db[3][2];
    performances dresults_db[3];
    current c_result[2];

};

#endif

```

A.7 Classe BuildPerformances

```

#ifndef BUILDPERFORMANCE_H
#define BUILDPERFORMANCE_H
#include"performances.h"
#include <string>
#include <vector>
#include <iostream>
#include <mysql.h> using namespace std;

```

```

class buildPerformance {
public:
    performances create(int,string,string,string,int, int);
private:
    double GetAverage(vector<double>);
};

#endif

```

A.8 Classe BuildCurrent

```

#ifndef BUILDCURRENT_H #define BUILDCURRENT_H #include "current.h"
#include <string> #include <vector> #include <iostream>
#include<mysql.h> ,using namespace std;

class buildCurrent {
public:

    current create(int,string,string,string);

};

```

A.9 Il software per l'analisi: *Analisi.cpp*

Il seguente codice *Analisi.cpp*, è il software sviluppato per svolgere in maniera automatica l'analisi delle prestazioni globali del campione di camere.

```

#include <iostream>
#include <fstream>
#include <vector>
#include <string>
#include "assert.h"
#include "performances.h"
#include "factory.h"
#include "TFile.h"
#include "TCanvas.h"

```

118

```
#include "TH1F.h"
#include "TH2F.h"

using namespace std;

double GetMax(vector<double> vet) {
    double max = vet[0];
    int n = vet.size();
    for (int i=1; i<n; i++) {
        if (vet[i] > max)
            {
                max = vet[i];
            }
    }
    return max;
}

double GetMin(vector<double> vet) {
    double min = vet[0];
    int n = vet.size();
    for (int i=1; i<n; i++) {
        if (vet[i] < min)
            {
                min = vet[i];
            }
    }
    return min;
} int Get_index(vector<double> vet,double element) { of element
    int dim = vet.size();
    int indx;
    for(int i = 0; i< dim;i++){
        if(vet[i] == element)
            { indx = i;
              break;
            }
    }
    return indx;
}
```

```

int main(){

    int testSet[6];
    int trcat, chid;
    string location, date;
    ifstream inputFile("file2.txt",ios::in);
    assert(inputFile);
    factory f;
    int i = 1;
    TFile *RootFile = new TFile("Analisi.root","RECREATE");
    TCanvas *c = new TCanvas("c","Grafico",200,10,700,500);
    c->SetGridx();
    c->SetGridy();

//make hist and save in different direrctories
//start correct analysis
    TDirectory *topC = RootFile->mkdir("Efficiency_correct");
    //make a directory : "analisi_N_C"
    topC->cd();//make "topC" the current directory

    TDirectory *MaxEffdirC = topC->mkdir("MaxEffC");
    //make a directory : "MaxEff"
    MaxEffdirC->cd();
    //make "MaxEff" the current directory

//Hist of Max Eff
    TH1F *SingleGapUPC = new TH1F("SingleGapUPMaxC",
    "Distribution of Max Eff of Sg UP ",20,80,100);
    TH1F *SingleGapDWC = new TH1F("SingleGapDWMMaxC",
    "Distribution of Max Eff of Sg Dw",20,80,100);
    TH1F *SingleGapC = new TH1F("SingleGapMaxC",
    "Distribution of Max Eff ",20,80,100);
    TH1F *DoubleGapC = new TH1F("DoubleGapMaxC",
    "Distribution of Max Eff",20,80,100);

    topC->cd();//change current directory to RootFile

```

```

TDirectory *SlopedirC = topC->mkdir("SlopeC");
SlopedirC->cd();

//Hist of Slope
TH1F *SingleGapUpSlopeC = new TH1F("SingleGapUPSlopeC",
"Distribution of Slope of Sg UP ",30,0,300);
TH1F *SingleGapDwSlopeC = new TH1F("SingleGapDWSlopeC",
"Distribution of Slope of Sg Dw ",30,0,300);
TH1F *SingleGapSlopeC = new TH1F("SingleGapSlopeC",
"Distribution of Slope ",30,0,300);
TH1F *DoubleGapSlopeC = new TH1F("DoubleGapSlopeC",
"Distribution of Slope",30,0,300);

topC->cd();

TDirectory *HalfdirC = topC->mkdir("HV_half_EffC");
HalfdirC->cd();

//Hist of HV at 50% of Eff
TH1F *SingleGapUpHalfC = new TH1F("SingleGapUPHalfC",
"Distribution of HV at 50% of Eff Sg Up",16,8700,9500);
TH1F *SingleGapDwHalfC = new TH1F("SingleGapDwHalfC",
"Distribution of HV at 50% of Eff Sg Dw",16,8700,9500);
TH1F *SingleGapHalfC = new TH1F("SingleGapHalfC",
"Distribution of HV at 50% of Eff Sg",16,8700,9500);
TH1F *DoubleGapHalfC = new TH1F("DoubleGapHalfC",
"Distribution of HV at 50% of Eff Dg",16,8700,9500);

topC->cd();

TDirectory *Eff90dirC = topC->mkdir("HV_90_EffC");
Eff90dirC->cd();

//Hist of HV at 90% of Eff
TH1F *SingleGapUp90C = new TH1F("SingleGapUP90C",
"Distribution of HV at 90% of Eff Sg Up",20,8800,9800);
TH1F *SingleGapDw90C = new TH1F("SingleGapDw90C",
"Distribution of HV at 90% of Eff Sg Dw",20,8800,9800);
TH1F *SingleGap90C = new TH1F("SingleGap90C",

```

```

"Distribution of HV at 90% of Eff Sg",20,8800,9800);
TH1F *DoubleGap90C = new TH1F("DoubleGap90C",
"Distribution of HV at 90% of Eff Dg",20,8800,9800);

topC->cd();

TDirectory *Chi2dirC = topC->mkdir("Chi2C");
Chi2dirC->cd();

//Hist of ChiSquare
TH1F *Chi2SGC = new TH1F("Chi2SGC",
"Distribution of Chi2 Single Gap ",30,0,300);
TH1F *Chi2DGC = new TH1F("Chi2DGC",
"Distribution of Chi2 Double Gap ",30,0,300);

topC->cd();

TDirectory *PlotdirC = topC->mkdir("PlotC");
PlotdirC->cd();

//T/P vs HVhalf
TH2F *Hv50vsTPDGC = new TH2F("HV50_vs_TP_DGC",
" HVhalf vs T/P DG",100,.27,.3,100,8500,9500); // Double Gap
TH2F *Hv50vsTPSGC = new TH2F("HV50_vs_TP_SGC",
" HVhalf vs T/P SG",100,.27,.3,100,8500,9500); // Single Gap

topC->cd();

TDirectory *DiffdirC = topC->mkdir("DifferenceC");
DiffdirC->cd();

//Diff HVforw HVback
TH1F *FmenusBup50C = new TH1F("FmenusBup50C",
"Hv Forw menus Hv Back UP",24,-600,600); //UP
TH1F *FmenusBup90C = new TH1F("FmenusBup90C",
"Hv Forw menus Hv Back UP",24,-600,600);
TH1F *FmenusBdw50C = new TH1F("FmenusBdw50C",
"Hv Forw menus Hv Back DW",24,-600,600); //Down

```

```

TH1F *FmenusBdw90C = new TH1F("FmenusBdw90C",
"Hv Forw menus Hv Back DW",24,-600,600);

//Diff Min Max
TH1F *DiffMaxMin50C = new TH1F("DiffMaxMin50C",
"Distribution of HV Max-Min at 50% of Eff ",40,0,400);
TH1F *DiffMaxMin90C = new TH1F("DiffMaxMin90C",
"Distribution of HV Max-Min at 90% of Eff ",40,0,400);

topC->cd();
RootFile->cd();

//start not correct analysis
TDirectory *top = RootFile->mkdir("Efficiency_not_correct");
top->cd();

TDirectory *MaxEffdir = top->mkdir("MaxEff");
MaxEffdir->cd();

//Hist of Max Eff
TH1F *SingleGapUP = new TH1F("SingleGapUPMax",
"Distribution of Max Eff of Sg UP ",20,80,100);
TH1F *SingleGapDW = new TH1F("SingleGapDWMMax",
"Distribution of Max Eff of Sg Dw",20,80,100);
TH1F *SingleGap = new TH1F("SingleGapMax",
"Distribution of Max Eff ",20,80,100);
TH1F *DoubleGap = new TH1F("DoubleGapMax",
"Distribution of Max Eff",20,80,100);

top->cd();//change current directory to RootFile

TDirectory *Slopedir = top->mkdir("Slope");
Slopedir->cd();

//Hist of Slope
TH1F *SingleGapUpSlope = new TH1F("SingleGapUPSlope",
"Distribution of Slope of Sg UP ",30,0,300);
TH1F *SingleGapDwSlope = new TH1F("SingleGapDWSlope",

```

```

"Distribution of Slope of Sg Dw ",30,0,300);
TH1F *SingleGapSlope = new TH1F("SingleGapSlope",
"Distribution of Slope ",30,0,300);
TH1F *DoubleGapSlope = new TH1F("DoubleGapSlope",
"Distribution of Slope",30,0,300);

top->cd();

TDirectory *Halfdir = top->mkdir("HV_half_Eff");
Halfdir->cd();

//Hist of HV at 50% of Eff
TH1F *SingleGapUpHalf = new TH1F("SingleGapUPHalf",
"Distribution of HV at 50% of Eff Sg Up",16,8700,9500);
TH1F *SingleGapDwHalf = new TH1F("SingleGapDwHalf",
"Distribution of HV at 50% of Eff Sg Dw",16,8700,9500);
TH1F *SingleGapHalf = new TH1F("SingleGapHalf",
"Distribution of HV at 50% of Eff Sg",16,8700,9500);
TH1F *DoubleGapHalf = new TH1F("DoubleGapHalf",
"Distribution of HV at 50% of Eff Dg",16,8700,9500);

top->cd();

TDirectory *Eff90dir = top->mkdir("HV_90_Eff");
Eff90dir->cd();

//Hist of HV at 90% of Eff
TH1F *SingleGapUp90 = new TH1F("SingleGapUP90",
"Distribution of HV at 90% of Eff Sg Up",20,8800,9800);
TH1F *SingleGapDw90 = new TH1F("SingleGapDw90",
"Distribution of HV at 90% of Eff Sg Dw",20,8800,9800);
TH1F *SingleGap90 = new TH1F("SingleGap90",
"Distribution of HV at 90% of Eff Sg",20,8800,9800);
TH1F *DoubleGap90 = new TH1F("DoubleGap90",
"Distribution of HV at 90% of Eff Dg",20,8800,9800);

top->cd();

```

```

TDirectory *Chi2dir = top->mkdir("Chi2");
Chi2dir->cd();

//Hist of ChiSquare
TH1F *Chi2SG = new TH1F("Chi2SG",
"Distribution of Chi2 Single Gap ",30,0,300);
TH1F *Chi2DG = new TH1F("Chi2DG",
"Distribution of Chi2 Double Gap ",30,0,300);

top->cd();

TDirectory *Plotdir = top->mkdir("Plot");
Plotdir->cd();

//T/P vs HVhalf
TH2F *Hv50vsTPDG = new TH2F("HV50_vs_TP_DG",
" HVhalf vs T/P DG",100,.27,.3,100,8500,9500); // Double Gap
TH2F *Hv50vsTPSG = new TH2F("HV50_vs_TP_SG",
" HVhalf vs T/P SG",100,.27,.3,100,8500,9500); // Single Gap

top->cd();

TDirectory *Diffdir = top->mkdir("Difference");
Diffdir->cd();

//Diff HVforw HVback
TH1F *FmenusBup50 = new TH1F("FmenusBup50",
"Hv Forw menus Hv Back UP",24,-600,600); //UP
TH1F *FmenusBup90 = new TH1F("FmenusBup90",
"Hv Forw menus Hv Back UP",24,-600,600);
TH1F *FmenusBdw50 = new TH1F("FmenusBdw50",
"Hv Forw menus Hv Back DW",24,-600,600); //Down
TH1F *FmenusBdw90 = new TH1F("FmenusBdw90",
"Hv Forw menus Hv Back DW",24,-600,600);

//Diff Min Max
TH1F *DiffMaxMin50 = new TH1F("DiffMaxMin50",
"Distribution of HV Max-Min at 50% of Eff ",40,0,400);
TH1F *DiffMaxMin90 = new TH1F("DiffMaxMin90",

```

```

"Distribution of HV Max-Min at 90% of Eff ",40,0,400);

top->cd();
RootFile->cd();

TDirectory *topCl = RootFile->mkdir("ClusterSize");
topCl->cd();

TH1F *ClusterSg      = new TH1F("ClusterSg",
  "Cluster size Distribution SG",10,0,10);
TH1F *ClusterDg      = new TH1F("ClusterDg",
  "Cluster size Distribution DG",10,0,10);
TH2F *Cl_Size_DG_SG_F = new TH2F("Cluser Size DG vs
  Cluster Size SG Forward at 9600 V","Cluser_Size_DG_vs_ SG_Forw_9600",
  10,0,5,20,0,10);
TH2F *Cl_Size_DG_SG_B = new TH2F("Cluser Size DG vs
  Cluster Size SG Backward at 9600 V","Cluser_Size_DG_vs_ SG_Back_9600",
  10,0,5,20,0,10);
RootFile->cd();

TDirectory *topN = RootFile->mkdir("Noise");
topN->cd();

//strip overflow
TH1F *StripOverflowCH = new TH1F("StripOverrflow",
  "Chambers' strips overflow distribution at 9600 V",15,0,15);
TH1F *Noise_Medio_SG   = new TH1F("Noise_SG",
  "Distribution Noise SG at 9400 V",30,-.5,14.5);
TH1F *Noise_Medio_DG   = new TH1F("Noise_DG",
  "Distribution Noise DG at 9400 V",30,-.5,14.5);
TH1F *Noise_Medio_SG_UP = new TH1F("Noise_SG_UP",
  "Distribution Noise SG UP at 9400 V",30,-.5,14.5);
TH1F *Noise_Medio_SG_DW = new TH1F("Noise_SG_DW",
  "Distribution Noise SG DW at 9400 V",30,-.5,14.5);
TH1F *Noise_Medio_SG_Back = new TH1F("Noise_SG_BK",
  "Distribution Noise SG BK at 9400 V",30,-.5,14.5);
TH1F *Noise_Medio_SG_Forw = new TH1F("Noise_SG_FW",
  "Distribution Noise SG FW at 9400 V",30,-.5,14.5);
TH1F *Noise_ratio_Forw_9000 = new TH1F("Noise_ratio_
  Forw_9000","Noise ratio at 9000 V",30,-.5,14.5);
TH1F *Noise_ratio_Back_9000 = new TH1F("Noise_ratio_

```

```

Back_9000","Noise ratio at 9000 V",30,-.5,14.5);
TH1F *Noise_ratio_Forw_9200      = new TH1F("Noise_ratio_
Forw_9200","Noise ratio at 9200 V",30,-.5,14.5);
TH1F *Noise_ratio_Back_9200      = new TH1F("Noise_ratio_
Back_9200","Noise ratio at 9200 V",30,-.5,14.5);
TH1F *Noise_ratio_Forw_9400      = new TH1F("Noise_ratio_
Forw_9400","Noise ratio at 9400 V",30,-.5,14.5);
TH1F *Noise_ratio_Back_9400      = new TH1F("Noise_ratio_
Back_9400","Noise ratio at 9400 V",30,-.5,14.5);
TH1F *Noise_ratio_Forw_9600      = new TH1F("Noise_ratio_
Forw_9600","Noise ratio at 9600 V",30,-.5,14.5);
TH1F *Noise_ratio_Back_9600      = new TH1F("Noise_ratio_
Back_9600","Noise ratio at 9600 V",30,-.5,14.5);
// TH1F *Noise_ratio_Forw_9800    = new TH1F("Noise_ratio_
Forw_9800","Noise ratio at 9800 V",30,-.5,14.5);
// TH1F *Noise_ratio_Back_9800    = new TH1F("Noise_ratio_
Back_9800","Noise ratio at 9800 V",30,-.5,14.5);
TH2F *SGvsDG_Forw_9600           = new TH2F("Confront_Noise_
SG_DG_at_9600_Forw"," Confront Noise_SGvsDG_Forw at 9600",20,0,2,20,0,2);
TH2F *SGvsDG_Back_9600           = new TH2F("Confront_Noise_
SG_DG_at_9600_Back"," Confront Noise_SGvsDG_Back at 9600",20,0,2,20,0,2);

RootFile->cd();

TDirectory *topCur = RootFile->mkdir("Current");
topCur->cd();
TH1F *DarkCurrent_UP = new TH1F("Dark_Current_UP",
"Dark Current distribution at 9600 V",20,0,10);
TH1F *DarkCurrent_DW = new TH1F("Dark_Current_DW",
"Dark Current distribution at 9600 V",20,0,10);
RootFile->cd();

while (!inputFile.eof()) {
    // read input file and create chambers
    cout << "record " << i << endl;
    inputFile >> chid >> testSet[0] >> testSet[1] >> testSet[2] >>
testSet[3] >> testSet[4] >> testSet[5] >> trcat >> location >> date ;
    chamber ch = f.create(chid, location, testSet, trcat, date);
    ch.printout();

    //define vector of HV SG

```

```

vector<double> SgHv50c;
vector<double> SgHv90c;
vector<double> SgHv50;
vector<double> SgHv90;

// make Fit and store result into Histogram

//Double Gap Forward
performances pDgFc = ch.dgforw().results();
int num_strip_OF_fw = pDgFc.Get_num_overflow_strip(9600);
pDgFc.GetTGraphNoise("Dgf","Q",0);
vector<double> hv_f = pDgFc.hvVector;
int Nf = hv_f.size();
double noise_f[Nf];
  for(int j = 0; j < Nf; j++){
    noise_f[j] = pDgFc.Get_Noise(hv_f[j]);}
pDgFc.GetTGraphEfficiency("dgforwC","Q",1);
pDgFc.GetTGraphClusterSize("dgforwC","Q",1);
double M_cluster_DgF = pDgFc.Get_Mean_Cluster_Size(9600);
double TDgFc = pDgFc.runTemperature();
double PDgFc = pDgFc.runPressure();
double TPDgFc = TDgFc/PDgFc; // T/P run
sigmoide sDgFc = pDgFc.get_sigmoide_fit();
Hv50vsTPDGC ->Fill(TPDgFc,sDgFc.hvHalf);
DoubleGapC ->Fill(sDgFc.maxEff);
DoubleGapSlopeC->Fill(sDgFc.slopeEff);
DoubleGapHalfC ->Fill(sDgFc.hvHalf);
DoubleGap90C ->Fill(sDgFc.Eff90);
Chi2DGC ->Fill(sDgFc.chi2);
StripOverflowCH->Fill(num_strip_OF_fw);
ClusterDg ->Fill(M_cluster_DgF);
delete pDgFc.GetTGraphEfficiency("dgforwC","Q",1);
delete pDgFc.GetTGraphNoise("Dgf","Q",0);
delete pDgFc.GetTGraphClusterSize("dgforwC","Q",1);

//Double Gap Backward
performances pDgBc = ch.dgback().results();
pDgBc.GetTGraphNoise("Dgb","Q",0);
int num_strip_OF_Bk = pDgBc.Get_num_overflow_strip(9600);

```

```

vector<double> hv_b = pDgBc.hvVector;
int Nb = hv_b.size();
double noise_b[Nb];
for(int j = 0; j < Nb; j++){
    noise_b[j] = pDgBc.Get_Noise(hv_b[j]);}
pDgBc.GetTGraphEfficiency("dgbackC","Q",1);
pDgBc.GetTGraphClusterSize("dgbackC","Q",1);
double M_cluster_DgB = pDgBc.Get_Mean_Cluster_Size(9600);
double TDgBc = pDgBc.runTemperature();
double PDgBc = pDgBc.runPressure();
double TPDgBc = TDgBc/PDgBc; // T/P run
sigmoide sDgBc = pDgBc.get_sigmoide_fit();
Hv50vsTPDGC ->Fill(TPDgBc,sDgBc.hvHalf);
DoubleGapC ->Fill(sDgBc.maxEff);
DoubleGapSlopeC ->Fill(sDgBc.slopeEff);
DoubleGapHalfC ->Fill(sDgBc.hvHalf);
DoubleGap90C ->Fill(sDgBc.Eff90);
Chi2DGC ->Fill(sDgBc.chi2);
StripOverflowCH ->Fill(num_strip_OF_Bk);
ClusterDg ->Fill(M_cluster_DgB);
delete pDgBc.GetTGraphEfficiency("dgbackC","Q",1);
delete pDgBc.GetTGraphNoise("Dgb","Q",0);
delete pDgBc.GetTGraphClusterSize("dgbackC","Q",1);

//Single Gap Up Forward
performances pSgUpFc = ch.dgforw().sgUp().results();
pSgUpFc.GetTGraphNoise("SgUf","Q",0);
vector<double> hv_suf = pSgUpFc.hvVector;
int Nsuf = hv_suf.size();
double noise_suf[Nsuf];
for(int j = 0; j < Nsuf; j++){
    noise_suf[j] = pSgUpFc.Get_Noise(hv_suf[j]);}
pSgUpFc.GetTGraphClusterSize("sgUpForwC","Q",1);
pSgUpFc.GetTGraphEfficiency("sgUpForwC","Q",1);
double M_cluster_SgUF = pDgBc.Get_Mean_Cluster_Size(9600);
double TSgUpFc = pSgUpFc.runTemperature();
double PSgUpFc = pSgUpFc.runPressure();
double TPSgUpFc = TSgUpFc/PSgUpFc;
sigmoide sSgUpFc = pSgUpFc.get_sigmoide_fit();
Hv50vsTPSGC ->Fill(TPSgUpFc,sSgUpFc.hvHalf);
SingleGapUPC ->Fill(sSgUpFc.maxEff);

```

```

SingleGapC          ->Fill(sSgUpFc.maxEff);
SingleGapUpSlopeC  ->Fill(sSgUpFc.slopeEff);
SingleGapSlopeC    ->Fill(sSgUpFc.slopeEff);
SingleGapUpHalfC   ->Fill(sSgUpFc.hvHalf);
SingleGapHalfC     ->Fill(sSgUpFc.hvHalf);
SingleGapUp90C     ->Fill(sSgUpFc.Eff90);
SingleGap90C       ->Fill(sSgUpFc.Eff90);
Chi2SGC            ->Fill(sSgUpFc.chi2);
ClusterSg          ->Fill(M_cluster_SgUF);
double Fup50c      = sSgUpFc.hvHalf;
double Fup90c      = sSgUpFc.Eff90;
SgHv50c.push_back(Fup50c);
SgHv90c.push_back(Fup90c);
delete pSgUpFc.GetTGraphEfficiency("sgUpForwC","Q",1);
delete pSgUpFc.GetTGraphNoise("SgUf","Q",0);
delete pSgUpFc.GetTGraphClusterSize("sgUpForwC","Q",1);

//Single Gap Up Backward
performances pSgUpBc = ch.dgback().sgUp().results();
pSgUpBc.GetTGraphNoise("SgUb","Q",0);
vector<double> hv_sub = pSgUpBc.hvVector;
int Nsub = hv_sub.size();
double noise_sub[Nsub];
for(int j = 0; j < Nsub; j++){
    noise_sub[j] = pSgUpBc.Get_Noise(hv_sub[j]);}
pSgUpBc.GetTGraphEfficiency("sgUpBackC","Q",1);
pSgUpBc.GetTGraphClusterSize("sgUpBackC","Q",1);
double M_cluster_SgUB = pDgBc.Get_Mean_Cluster_Size(9600);
double TSgUpBc        = pSgUpBc.runTemperature();
double PSgUpBc        = pSgUpBc.runPressure();
double TPSgUpBc       = TSgUpBc/PSgUpBc;
sigmoide sSgUpBc     = pSgUpBc.get_sigmoide_fit();
Hv50vsTPSGC          ->Fill(TPSgUpBc,sSgUpBc.hvHalf);
SingleGapUPC          ->Fill(sSgUpBc.maxEff);
SingleGapC            ->Fill(sSgUpBc.maxEff);
SingleGapUpSlopeC    ->Fill(sSgUpBc.slopeEff);
SingleGapSlopeC      ->Fill(sSgUpBc.slopeEff);
SingleGapUpHalfC     ->Fill(sSgUpBc.hvHalf);
SingleGapHalfC       ->Fill(sSgUpBc.hvHalf);
SingleGapUp90C       ->Fill(sSgUpBc.Eff90);
SingleGap90C         ->Fill(sSgUpBc.Eff90);

```

```

Chi2SGC                ->Fill(sSgUpBc.chi2);
ClusterSg              ->Fill(M_cluster_SgUB);
double Bup50c          = sSgUpBc.hvHalf;
double Bup90c          = sSgUpBc.Eff90;
double FmBup50c        = Fup50c - Bup50c;
FmenusBup50C          ->Fill(FmBup50c);
double FmBup90c        = Fup90c - Bup90c;
FmenusBup90C          ->Fill(FmBup90c);
SgHv50c.push_back(Bup50c);
SgHv90c.push_back(Bup90c);
delete pSgUpBc.GetTGraphEfficiency("sgUpBackC","Q",1);
delete pSgUpBc.GetTGraphNoise("SgUb","Q",0);
delete pSgUpBc.GetTGraphClusterSize("sgUpBackC","Q",1);

//Single Gap Dw Forward
performances pSgDwFc = ch.dgforw().sgDown().results();
pSgDwFc.GetTGraphNoise("SgDf","Q",0);
vector<double> hv_sdf =pSgDwFc.hvVector;
int Nsdf = hv_sdf.size();
double noise_sdf[Nsdf];
for(int j = 0; j < Nsdf; j++){
    noise_sdf[j] =pSgDwFc.Get_Noise(hv_sdf[j]);}
pSgDwFc.GetTGraphClusterSize("sgDwForwC","Q",1);
pSgDwFc.GetTGraphEfficiency("sgDwForwC","Q",1);
double M_cluster_SgDF = pSgDwFc.Get_Mean_Cluster_Size(9600);
double TSgDwFc        = pSgDwFc.runTemperature();
double PSgDwFc        = pSgDwFc.runPressure();
double TPSgDwFc       = TSgDwFc/PSgDwFc;
sigmoide sSgDwFc      = pSgDwFc.get_sigmoide_fit();
Hv50vsTPSGC          ->Fill(TPSgDwFc,sSgDwFc.hvHalf);
SingleGapDWC          ->Fill(sSgDwFc.maxEff);
SingleGapC            ->Fill(sSgDwFc.maxEff);
SingleGapDwSlopeC     ->Fill(sSgDwFc.slopeEff);
SingleGapSlopeC       ->Fill(sSgDwFc.slopeEff);
SingleGapDwHalfC      ->Fill(sSgDwFc.hvHalf);
SingleGapHalfC        ->Fill(sSgDwFc.hvHalf);
SingleGapDw90C        ->Fill(sSgDwFc.Eff90);
SingleGap90C          ->Fill(sSgDwFc.Eff90);
double Fdw50c         = sSgDwFc.hvHalf;
double Fdw90c         = sSgDwFc.Eff90;
SgHv50c.push_back(Fdw50c);

```

```

SgHv90c.push_back(Fdw90c);
Chi2SGC  ->Fill(sSgDwFc.chi2);
ClusterSg ->Fill(M_cluster_SgDF);
double sumMeanClusterSizeSgForw = M_cluster_SgDF + M_cluster_SgUF;
Cl_Size_DG_SG_F ->Fill(M_cluster_DgF,sumMeanClusterSizeSgForw);
delete pSgDwFc.GetTGraphEfficiency("sgDwForwC","Q",1);
delete pSgDwFc.GetTGraphNoise("SgDf","Q",0);
delete pSgDwFc.GetTGraphEfficiency("sgDwForwC","Q",1);
delete pSgDwFc.GetTGraphClusterSize("sgDwForwC","Q",1);

//Single Gap Dw Backward
performances pSgDwBc = ch.dgback().sgDown().results();
pSgDwBc.GetTGraphNoise("SgDb","Q",0);
vector<double> hv_sdb =pSgDwBc.hvVector;
int Nsdb = hv_sdb.size();
double noise_sdb[Nsdb];
for(int j = 0; j < Nsdb; j++){
  noise_sdb[j] =pSgDwBc.Get_Noise(hv_sdb[j]);}
pSgDwBc.GetTGraphEfficiency("sgDwBackC","Q",1);
pSgDwBc.GetTGraphClusterSize("sgDwBackC","Q",1);
double M_cluster_SgDB = pSgDwBc.Get_Mean_Cluster_Size(9600);
double TSgDwBc = pSgDwBc.runTemperature();
double PSgDwBc = pSgDwBc.runPressure();
double TPSgDwBc = TSgDwBc/PSgDwBc;
sigmoide sSgDwBc = pSgDwBc.get_sigmoide_fit();
Hv50vsTPSGC ->Fill(TPSgDwBc,sSgDwBc.hvHalf);
SingleGapDWC ->Fill(sSgDwBc.maxEff);
SingleGapC ->Fill(sSgDwBc.maxEff);
SingleGapDwSlopeC ->Fill(sSgDwBc.slopeEff);
SingleGapSlopeC ->Fill(sSgDwBc.slopeEff);
SingleGapDwHalfC ->Fill(sSgDwBc.hvHalf);
SingleGapHalfC ->Fill(sSgDwBc.hvHalf);
SingleGapDw90C ->Fill(sSgDwBc.Eff90);
SingleGap90C ->Fill(sSgDwBc.Eff90);
Chi2SGC ->Fill(sSgDwBc.chi2);
ClusterSg ->Fill(M_cluster_SgDB);
double Bdw50c = sSgDwBc.hvHalf;
double Bdw90c = sSgDwBc.Eff90;
double FmBdw50c = Fdw50c - Bdw50c;
FmenusBdw50C ->Fill(FmBdw50c);
double FmBdw90c = Fdw90c - Bdw90c;

```

```

FmenusBdw90C          ->Fill(FmBdw90c);
SgHv50c.push_back(Bdw50c);
SgHv90c.push_back(Bdw90c);
double sumMeanClusterSizeSgBack = M_cluster_SgDB + M_cluster_SgUB;
Cl_Size_DG_SG_B ->Fill(M_cluster_DgB,sumMeanClusterSizeSgBack);
delete pSgDwBc.GetTGraphEfficiency("sgDwBackC","Q",1);
delete pSgDwBc.GetTGraphNoise("SgDb","Q",0);
delete pSgDwBc.GetTGraphClusterSize("sgDwBackC","Q",1);

//Calculate Max and Min for different % of Eff
double Min50c = GetMin(SgHv50c);
double Max50c = GetMax(SgHv50c);
double Min90c = GetMin(SgHv90c);
double Max90c = GetMax(SgHv90c);

//Fill Hist of Diff Max-Min
DiffMaxMin50C->Fill(Max50c-Min50c);
DiffMaxMin90C->Fill(Max90c-Min90c);

//noise

topN->cd();

char CH_ID[256];          // convert chid to string
sprintf(CH_ID, "%d",chid);

string Title_general_Forw ="Noise_SGvsDG_Forw_of_CH_" ;
string Title_general_Back ="Noise_SGvsDG_Back_of_CH_" ;
string Name_of_Plot_Forw =Title_general_Forw + CH_ID;
string Name_of_Plot_Back =Title_general_Back + CH_ID;
char* Title_F = (char*)Name_of_Plot_Forw.c_str();
char* Title_B = (char*)Name_of_Plot_Back.c_str();

TH2F *SGvsDG_Forw = new TH2F(Title_F,
" Confront Noise_SGvsDG_Forw",20,0,10,20,0,10);
TH2F *SGvsDG_Back = new TH2F(Title_B,
" Confront Noise_SGvsDG_Back",20,0,10,20,0,10);

double noise_Forw[Nf];
double noise_ratio_F[Nf];

```

```

for(int k = 0; k < Nf;k++)
    {noise_Forw[k] = noise_suf[k] + noise_sdf[k];
noise_ratio_F[k] = noise_Forw[k]/noise_f[k];
SGvsDG_Forw ->Fill(noise_f[k], noise_Forw[k]); }
double noise_Back[Nb];
double noise_ratio_B[Nb];
for(int k = 0; k < Nb; k++ )
    {noise_Back[k] = noise_sub[k] + noise_sdb[k];
noise_ratio_B[k] = noise_Back[k]/noise_b[k];
SGvsDG_Back ->Fill(noise_b[k], noise_Back[k]); }
SGvsDG_Forw ->SetMarkerStyle(21);
SGvsDG_Forw ->SetMarkerSize(0.6);
SGvsDG_Back ->SetMarkerStyle(21);
SGvsDG_Back ->SetMarkerSize(0.6);
SGvsDG_Forw->Write();
SGvsDG_Back->Write();

delete SGvsDG_Forw;
delete SGvsDG_Back;

int index_9000 = Get_index(pDgFc.hvVector,9000);
int index_9200 = Get_index(pDgFc.hvVector,9200);
int index_9400 = Get_index(pDgFc.hvVector,9400);
int index_9600 = Get_index(pDgFc.hvVector,9600);
// int index_9800 = Get_index(pDgFc.hvVector,9800);

for(int k = 0; k<5; k++){
    if(k == index_9000){
Noise_ratio_Forw_9000->Fill(noise_ratio_F[k]);
Noise_ratio_Back_9000->Fill(noise_ratio_B[k]);}

    else if(k == index_9200){
Noise_ratio_Forw_9200->Fill(noise_ratio_F[k]);
Noise_ratio_Back_9200->Fill(noise_ratio_B[k]);}

    else if(k == index_9400){
Noise_ratio_Forw_9400->Fill(noise_ratio_F[k]);
Noise_ratio_Back_9400->Fill(noise_ratio_B[k]);}

    else if(k == index_9600){
Noise_ratio_Forw_9600->Fill(noise_ratio_F[k]);

```

```

Noise_ratio_Back_9600->Fill(noise_ratio_B[k]);}

// else if(k == index_9800){
// Noise_ratio_Forw_9800->Fill(noise_ratio_F[k]);
// Noise_ratio_Back_9800->Fill(noise_ratio_B[k]);}

}

SGvsDG_Forw_9600 ->Fill(noise_f[index_9400],
noise_Forw[index_9400]);
SGvsDG_Back_9600 ->Fill(noise_b[index_9400],
noise_Back[index_9400]);

RootFile->cd();

//Layer
//UP
current CUP = ch.layer_UP().result();
CUP.GetTGraphOhm("primo","Q");
CUP.GetTGraphExp("primo","Q");
double Ohm_UP =CUP.Get_Current_Ohm(9600);
double Exp_UP =CUP.Get_Current_Exp(9600);
DarkCurrent_UP -> Fill( Exp_UP - Ohm_UP);

//DOWN
current CDW = ch.layer_DW().result();
CDW.GetTGraphOhm("primo","Q");
CDW.GetTGraphExp("primo","Q");
double Ohm_DW =CDW.Get_Current_Ohm(9600);
double Exp_DW =CDW.Get_Current_Exp(9600);
DarkCurrent_DW -> Fill( Exp_DW - Ohm_DW);

delete CUP.GetTGraphOhm("primo","Q");
delete CUP.GetTGraphExp("primo","Q");
delete CDW.GetTGraphOhm("primo","Q");
delete CDW.GetTGraphExp("primo","Q");

```

```

//start analisys of Efficiency whit HV not correct

//Double Gap Forward
performances pDgF = ch.dgforw().results();
pDgF.GetTGraphEfficiency("dgforw","Q",0);
double Noise_DG_F = pDgF.Get_Noise_Medio(9400,0);
double TDgF      = pDgF.runTemperature();
double PDgF      = pDgF.runPressure();
double TPDgF     = TDgF/PDgF;           // T/P run
sigmoide sDgF   = pDgF.get_sigmoide_fit();
Hv50vsTPDG     ->Fill(TPDgF,sDgF.hvHalf);
DoubleGap      ->Fill(sDgF.maxEff);
DoubleGapSlope ->Fill(sDgF.slopeEff);
DoubleGapHalf  ->Fill(sDgF.hvHalf);
DoubleGap90    ->Fill(sDgF.Eff90);
Chi2DG         ->Fill(sDgF.chi2);
Noise_Medio_DG ->Fill(Noise_DG_F);
delete pDgF.GetTGraphEfficiency("dgforw","Q",0);

//Double Gap Backward
performances pDgB = ch.dgback().results();
pDgB.GetTGraphEfficiency("dgback","Q",0);
double Noise_DG_B = pDgB.Get_Noise_Medio(9400,0);
double TDgB      = pDgB.runTemperature();
double PDgB      = pDgB.runPressure();
double TPDgB     = TDgB/PDgB;           // T/P run
sigmoide sDgB   = pDgB.get_sigmoide_fit();
Hv50vsTPDG     ->Fill(TPDgB,sDgB.hvHalf);
DoubleGap      ->Fill(sDgB.maxEff);
DoubleGapSlope ->Fill(sDgB.slopeEff);
DoubleGapHalf  ->Fill(sDgB.hvHalf);
DoubleGap90    ->Fill(sDgB.Eff90);
Chi2DG         ->Fill(sDgB.chi2);
Noise_Medio_DG ->Fill(Noise_DG_B);
delete pDgB.GetTGraphEfficiency("dgback","Q",0);

//Single Gap Up Forward
performances pSgUpF = ch.dgforw().sgUp().results();
pSgUpF.GetTGraphEfficiency("sgUpForw","Q",0);
double Noise_SG_UF = pSgUpF.Get_Noise_Medio(9400,0);
double TSgUpF      = pSgUpF.runTemperature();

```

```

double PSgUpF      = pSgUpF.runPressure();
double TPSgUpF    = TSgUpF/PSgUpF;
sigmoide sSgUpF   = pSgUpF.get_sigmoide_fit();
Hv50vsTPSG       ->Fill(TPSgUpF,sSgUpF.hvHalf);
SingleGapUP      ->Fill(sSgUpF.maxEff);
SingleGap        ->Fill(sSgUpF.maxEff);
SingleGapUpSlope ->Fill(sSgUpF.slopeEff);
SingleGapSlope   ->Fill(sSgUpF.slopeEff);
SingleGapUpHalf  ->Fill(sSgUpF.hvHalf);
SingleGapHalf    ->Fill(sSgUpF.hvHalf);
SingleGapUp90    ->Fill(sSgUpF.Eff90);
SingleGap90      ->Fill(sSgUpF.Eff90);
Chi2SG          ->Fill(sSgUpF.chi2);
double Fup50     = sSgUpF.hvHalf;
double Fup90     = sSgUpF.Eff90;
SgHv50.push_back(Fup50);
SgHv90.push_back(Fup90);
Noise_Medio_SG      ->Fill(Noise_SG_UF);
Noise_Medio_SG_UP   ->Fill(Noise_SG_UF);
Noise_Medio_SG_Forw ->Fill(Noise_SG_UF);
delete pSgUpF.GetTGraphEfficiency("sgUpForw","Q",0);

//Single Gap Up Backward
performances pSgUpB = ch.dgback().sgUp().results();
pSgUpB.GetTGraphEfficiency("sgUpBack","Q",0);
double Noise_SG_UB = pSgUpB.Get_Noise_Medio(9400,0);
double TSgUpB     = pSgUpB.runTemperature();
double PSgUpB     = pSgUpB.runPressure();
double TPSgUpB    = TSgUpB/PSgUpB;
sigmoide sSgUpB   = pSgUpB.get_sigmoide_fit();
Hv50vsTPSG       ->Fill(TPSgUpB,sSgUpB.hvHalf);
SingleGapUP      ->Fill(sSgUpB.maxEff);
SingleGap        ->Fill(sSgUpB.maxEff);
SingleGapUpSlope ->Fill(sSgUpB.slopeEff);
SingleGapSlope   ->Fill(sSgUpB.slopeEff);
SingleGapUpHalf  ->Fill(sSgUpB.hvHalf);
SingleGapHalf    ->Fill(sSgUpB.hvHalf);
SingleGapUp90    ->Fill(sSgUpB.Eff90);
SingleGap90      ->Fill(sSgUpB.Eff90);
Chi2SG          ->Fill(sSgUpB.chi2);
double Bup50     = sSgUpB.hvHalf;

```

```

double Bup90          = sSgUpB.Eff90;
double FmBup50        = Fup50 - Bup50;
FmenusBup50          ->Fill(FmBup50);
double FmBup90        = Fup90 - Bup90;
FmenusBup90          ->Fill(FmBup90);
SgHv50.push_back(Bup50);
SgHv90.push_back(Bup90);
Noise_Medio_SG       ->Fill(Noise_SG_UB);
Noise_Medio_SG_UP    ->Fill(Noise_SG_UB);
Noise_Medio_SG_Back ->Fill(Noise_SG_UB);
delete pSgUpB.GetTGraphEfficiency("sgUpBack","Q",0);

//Single Gap Dw Forward
performances pSgDwF = ch.dgforw().sgDown().results();
pSgDwF.GetTGraphEfficiency("sgDwForw","Q",0);
double Noise_SG_DF   = pSgUpB.Get_Noise_Medio(9400,0);
double TSgDwF        = pSgDwF.runTemperature();
double PSgDwF         = pSgDwF.runPressure();
double TPSgDwF        = TSgDwF/PSgDwF;
sigmoide sSgDwF       = pSgDwF.get_sigmoide_fit();
Hv50vsTPSG           ->Fill(TPSgDwF,sSgDwF.hvHalf);
SingleGapDW           ->Fill(sSgDwF.maxEff);
SingleGap             ->Fill(sSgDwF.maxEff);
SingleGapDwSlope      ->Fill(sSgDwF.slopeEff);
SingleGapSlope        ->Fill(sSgDwF.slopeEff);
SingleGapDwHalf       ->Fill(sSgDwF.hvHalf);
SingleGapHalf         ->Fill(sSgDwF.hvHalf);
SingleGapDw90         ->Fill(sSgDwF.Eff90);
SingleGap90           ->Fill(sSgDwF.Eff90);
double Fdw50          = sSgDwF.hvHalf;
double Fdw90          = sSgDwF.Eff90;
SgHv50.push_back(Fdw50);
SgHv90.push_back(Fdw90);
Chi2SG               ->Fill(sSgDwF.chi2);
Noise_Medio_SG       ->Fill(Noise_SG_DF);
Noise_Medio_SG_DW    ->Fill(Noise_SG_DF);
Noise_Medio_SG_Forw  ->Fill(Noise_SG_DF);
delete pSgDwF.GetTGraphEfficiency("sgDwForw","Q",0);

//Single Gap Dw Backward
performances pSgDwB = ch.dgback().sgDown().results();

```

```

pSgDwB.GetTGraphEfficiency("sgDwBack","Q",0);
double Noise_SG_DB = pSgDwB.Get_Noise_Medio(9400,0);
double TSgDwB      = pSgDwB.runTemperature();
double PSgDwB      = pSgDwB.runPressure();
double TPSgDwB     = TSgDwB/PSgDwB;
sigmoide sSgDwB    = pSgDwB.get_sigmoide_fit();
Hv50vsTPSG        ->Fill(TPSgDwB,sSgDwB.hvHalf);
SingleGapDW       ->Fill(sSgDwB.maxEff);
SingleGap         ->Fill(sSgDwB.maxEff);
SingleGapDwSlope  ->Fill(sSgDwB.slopeEff);
SingleGapSlope    ->Fill(sSgDwB.slopeEff);
SingleGapDwHalf   ->Fill(sSgDwB.hvHalf);
SingleGapHalf     ->Fill(sSgDwB.hvHalf);
SingleGapDw90     ->Fill(sSgDwB.Eff90);
SingleGap90       ->Fill(sSgDwB.Eff90);
Chi2SG            ->Fill(sSgDwB.chi2);
double Bdw50      = sSgDwB.hvHalf;
double Bdw90      = sSgDwB.Eff90;
double FmBdw50    = Fdw50 - Bdw50;
FmenusBdw50      ->Fill(FmBdw50);
double FmBdw90    = Fdw90 - Bdw90;
FmenusBdw90      ->Fill(FmBdw90);
SgHv50.push_back(Bdw50);
SgHv90.push_back(Bdw90);
Noise_Medio_SG   ->Fill(Noise_SG_DB);
Noise_Medio_SG_DW ->Fill(Noise_SG_DB);
Noise_Medio_SG_Back ->Fill(Noise_SG_DB);
delete pSgDwB.GetTGraphEfficiency("sgDwBack","Q",0);

//Calculate Max and Min for different % of Eff
double Min50 = GetMin(SgHv50);
double Max50 = GetMax(SgHv50);
double Min90 = GetMin(SgHv90);
double Max90 = GetMax(SgHv90);

//Fill Hist of Diff Max-Min
DiffMaxMin50->Fill(Max50-Min50);
DiffMaxMin90->Fill(Max90-Min90);

cout<<endl;

```

```

    i++;

}

// put Mean value of Histo Noise_ratio into Histo

double Noise_Mean_value_F[4];
double Noise_Mean_value_B[4];
Noise_Mean_value_F[0] = Noise_ratio_Forw_9000->GetMean(1);
Noise_Mean_value_B[0] = Noise_ratio_Back_9000->GetMean(1);
Noise_Mean_value_F[1] = Noise_ratio_Forw_9200->GetMean(1);
Noise_Mean_value_B[1] = Noise_ratio_Back_9200->GetMean(1);
Noise_Mean_value_F[2] = Noise_ratio_Forw_9400->GetMean(1);
Noise_Mean_value_B[2] = Noise_ratio_Back_9400->GetMean(1);
Noise_Mean_value_F[3] = Noise_ratio_Forw_9600->GetMean(1);
Noise_Mean_value_B[3] = Noise_ratio_Back_9600->GetMean(1);
// Noise_Mean_value_F[4] = Noise_ratio_Forw_9800->GetMean(1);
// Noise_Mean_value_B[4] = Noise_ratio_Back_9800->GetMean(1);
double HV[5];
HV[0]=9000;
HV[1]=9200;
HV[2]=9400;
HV[3]=9600;
// HV[4]=9800;

topN->cd();

TGraph *Noise_mean_ratio_B = new TGraph(4,HV,
Noise_Mean_value_B);
Noise_mean_ratio_B ->SetTitle("Distribution of
noise ratio's mean values Backward ");
Noise_mean_ratio_B ->SetMarkerColor(4);
Noise_mean_ratio_B ->SetMarkerStyle(21);
TGraph *Noise_mean_ratio_F = new TGraph(4,HV,
Noise_Mean_value_F);
Noise_mean_ratio_F ->SetTitle("Distribution
of noise ratio's mean values Forward ");
Noise_mean_ratio_F ->SetMarkerColor(4);
Noise_mean_ratio_F ->SetMarkerStyle(21);
Noise_mean_ratio_B->Write();

```

```

Noise_mean_ratio_F->Write();
delete Noise_mean_ratio_B;
delete Noise_mean_ratio_F;

RootFile->cd();

//same option
SingleGapUPC->SetLineWidth(3);
SingleGapDWC->SetLineWidth(3);
SingleGapC->SetLineWidth(3);
DoubleGapC->SetLineWidth(3);
SingleGapUPC->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
SingleGapUPC->GetXaxis()->SetTitle("%");
SingleGapDWC->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
SingleGapDWC->GetXaxis()->SetTitle("%");
SingleGapC->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
SingleGapC->GetXaxis()->SetTitle("%");
DoubleGapC->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
DoubleGapC->GetXaxis()->SetTitle("%");

SingleGapUpSlopeC->SetLineWidth(3);
SingleGapDwSlopeC->SetLineWidth(3);
SingleGapSlopeC->SetLineWidth(3);
DoubleGapSlopeC->SetLineWidth(3);
SingleGapUpSlopeC->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
SingleGapUpSlopeC->GetXaxis()->SetTitle(" HV(V)");
SingleGapDwSlopeC->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
SingleGapDwSlopeC->GetXaxis()->SetTitle(" HV(V)");
SingleGapSlopeC->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
SingleGapSlopeC->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");
DoubleGapSlopeC->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
DoubleGapSlopeC->GetXaxis()->SetTitle(" HV(V)");

SingleGapUpHalfC->SetLineWidth(3);
SingleGapDwHalfC->SetLineWidth(3);
SingleGapHalfC->SetLineWidth(3);
DoubleGapHalfC->SetLineWidth(3);
SingleGapUpHalfC->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
SingleGapUpHalfC->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");
SingleGapDwHalfC->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");

```

```

SingleGapDwHalfC->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");
SingleGapHalfC->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
SingleGapHalfC->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");
DoubleGapHalfC->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
DoubleGapHalfC->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");

```

```

SingleGapUp90C->SetLineWidth(3);
SingleGapDw90C->SetLineWidth(3);
SingleGap90C->SetLineWidth(3);
DoubleGap90C->SetLineWidth(3);
SingleGapUp90C->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
SingleGapUp90C->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");
SingleGapDw90C->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
SingleGapDw90C->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");
SingleGap90C->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
SingleGap90C->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");
DoubleGap90C->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
DoubleGap90C->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");

```

```

Chi2DGC->SetLineWidth(3);
Chi2SGC->SetLineWidth(3);

```

```

Hv50vsTPDGC->SetMarkerStyle(21);
Hv50vsTPDGC->SetMarkerSize(0.6);
Hv50vsTPSGC->SetMarkerStyle(21);
Hv50vsTPSGC->SetMarkerSize(0.6);

```

```

FmenusBup50C->SetLineWidth(3);
FmenusBup50C->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
FmenusBup50C->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");
FmenusBup90C->SetLineWidth(3);
FmenusBup90C->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
FmenusBup90C->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");
FmenusBdw50C->SetLineWidth(3);
FmenusBdw50C->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
FmenusBdw50C->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");
FmenusBdw90C->SetLineWidth(3);
FmenusBdw90C->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
FmenusBdw90C->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");

```

```

DiffMaxMin50C->SetLineWidth(3);

```

```

DiffMaxMin90C->SetLineWidth(3);
DiffMaxMin50C->SetLineWidth(3);
DiffMaxMin90C->SetLineWidth(3);
DiffMaxMin50C->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
DiffMaxMin90C->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");
DiffMaxMin50C->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
DiffMaxMin90C->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");

SingleGapUP->SetLineWidth(3);
SingleGapDW->SetLineWidth(3);
SingleGap->SetLineWidth(3);
DoubleGap->SetLineWidth(3);
SingleGapUP->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
SingleGapUP->GetXaxis()->SetTitle("%");
SingleGapDW->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
SingleGapDW->GetXaxis()->SetTitle("%");
SingleGap->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
SingleGap->GetXaxis()->SetTitle("%");
DoubleGap->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
DoubleGap->GetXaxis()->SetTitle("%");

SingleGapUpSlope->SetLineWidth(3);
SingleGapDwSlope->SetLineWidth(3);
SingleGapSlope->SetLineWidth(3);
DoubleGapSlope->SetLineWidth(3);
SingleGapUpSlope->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
SingleGapUpSlope->GetXaxis()->SetTitle(" HV(V)");
SingleGapDwSlope->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
SingleGapDwSlope->GetXaxis()->SetTitle(" HV(V)");
SingleGapSlope->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
SingleGapSlope->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");
DoubleGapSlope->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
DoubleGapSlope->GetXaxis()->SetTitle(" HV(V)");

SingleGapUpHalf->SetLineWidth(3);
SingleGapDwHalf->SetLineWidth(3);
SingleGapHalf->SetLineWidth(3);
DoubleGapHalf->SetLineWidth(3);
SingleGapUpHalf->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
SingleGapUpHalf->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");
SingleGapDwHalf->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");

```

```
SingleGapDwHalf->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");  
SingleGapHalf->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");  
SingleGapHalf->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");  
DoubleGapHalf->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");  
DoubleGapHalf->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");
```

```
SingleGapUp90->SetLineWidth(3);  
SingleGapDw90->SetLineWidth(3);  
SingleGap90->SetLineWidth(3);  
DoubleGap90->SetLineWidth(3);  
SingleGapUp90->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");  
SingleGapUp90->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");  
SingleGapDw90->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");  
SingleGapDw90->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");  
SingleGap90->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");  
SingleGap90->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");  
DoubleGap90->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");  
DoubleGap90->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");
```

```
Chi2DG->SetLineWidth(3);  
Chi2SG->SetLineWidth(3);
```

```
Hv50vsTPDG->SetMarkerStyle(21);  
Hv50vsTPDG->SetMarkerSize(0.6);  
Hv50vsTPSG->SetMarkerStyle(21);  
Hv50vsTPSG->SetMarkerSize(0.6);
```

```
FmenusBup50->SetLineWidth(3);  
FmenusBup50->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");  
FmenusBup50->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");  
FmenusBup90->SetLineWidth(3);  
FmenusBup90->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");  
FmenusBup90->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");  
FmenusBdw50->SetLineWidth(3);  
FmenusBdw50->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");  
FmenusBdw50->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");  
FmenusBdw90->SetLineWidth(3);  
FmenusBdw90->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");  
FmenusBdw90->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");
```

```
DiffMaxMin50->SetLineWidth(3);
```

```

DiffMaxMin90->SetLineWidth(3);
DiffMaxMin50->SetLineWidth(3);
DiffMaxMin90->SetLineWidth(3);
DiffMaxMin50->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
DiffMaxMin90->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");
DiffMaxMin50->GetYaxis()->SetTitle("# Entries");
DiffMaxMin90->GetXaxis()->SetTitle("HV(V)");

SGvsDG_Forw_9600 ->SetMarkerStyle(21);
SGvsDG_Forw_9600 ->SetMarkerSize(0.6);
SGvsDG_Back_9600 ->SetMarkerStyle(21);
SGvsDG_Back_9600 ->SetMarkerSize(0.6);
SGvsDG_Forw_9600->GetYaxis()
->SetTitle("Double Gap Noise");
SGvsDG_Forw_9600->GetXaxis()
->SetTitle("Sum of Single Gap Noise");
SGvsDG_Back_9600->GetYaxis()
->SetTitle("Double Gap Noise");
SGvsDG_Back_9600->GetXaxis()
->SetTitle("Sum of Single Gap Noise");

Cl_Size_DG_SG_B ->SetMarkerStyle(21);
Cl_Size_DG_SG_B ->SetMarkerSize(0.6);
Cl_Size_DG_SG_B->GetYaxis()
->SetTitle("Sum of Cluster size Single Gap");
Cl_Size_DG_SG_B->GetXaxis()
->SetTitle("Cluster size of Double Gap");
Cl_Size_DG_SG_F ->SetMarkerStyle(21);
Cl_Size_DG_SG_F ->SetMarkerSize(0.6);
Cl_Size_DG_SG_F->GetYaxis()
->SetTitle("Sum of Cluster size Single Gap");
Cl_Size_DG_SG_F->GetXaxis()
->SetTitle("Cluster size of Double Gap");
//save hierarchy of histograms
and histograms in directories
RootFile->Write();

//delete Hist and Profile
delete SingleGapUPC;
delete SingleGapDWC;
delete SingleGapC;

```

```
delete DoubleGapC;

delete SingleGapUpSlopeC;
delete SingleGapDwSlopeC;
delete SingleGapSlopeC;
delete DoubleGapSlopeC;

delete SingleGapUpHalfC;
delete SingleGapDwHalfC;
delete SingleGapHalfC;
delete DoubleGapHalfC;

delete SingleGapUp90C;
delete SingleGapDw90C;
delete SingleGap90C;
delete DoubleGap90C;

delete Chi2DGC;
delete Chi2SGC;

delete Hv50vsTPDGC;
delete Hv50vsTPSGC;

delete FmenusBup50C;
delete FmenusBup90C;
delete FmenusBdw50C;
delete FmenusBdw90C;

delete DiffMaxMin50C;
delete DiffMaxMin90C;

delete SingleGapUP;
delete SingleGapDW;
delete SingleGap;
delete DoubleGap;

delete SingleGapUpSlope;
delete SingleGapDwSlope;
delete SingleGapSlope;
delete DoubleGapSlope;
```

```
delete SingleGapUpHalf;
delete SingleGapDwHalf;
delete SingleGapHalf;
delete DoubleGapHalf;

delete SingleGapUp90;
delete SingleGapDw90;
delete SingleGap90;
delete DoubleGap90;

delete Chi2DG;
delete Chi2SG;

delete Hv50vsTPDG;
delete Hv50vsTPSG;

delete FmenusBup50;
delete FmenusBup90;
delete FmenusBdw50;
delete FmenusBdw90;

delete DiffMaxMin50;
delete DiffMaxMin90;
delete StripOverflowCH;
delete ClusterSg;
delete ClusterDg;
delete Noise_Medio_SG;
delete Noise_Medio_DG;
delete Noise_Medio_SG_Forw;
delete Noise_Medio_SG_Back;
delete Noise_Medio_SG_UP;
delete Noise_Medio_SG_DW;
delete Noise_ratio_Forw_9000;
delete Noise_ratio_Back_9000;
delete Noise_ratio_Forw_9200;
delete Noise_ratio_Back_9200;
delete Noise_ratio_Forw_9400;
delete Noise_ratio_Back_9400;
delete Noise_ratio_Forw_9600;
delete Noise_ratio_Back_9600;
delete Noise_ratio_Forw_9800;
```

```
delete Noise_ratio_Back_9800;
delete SGvsDG_Forw_9600;
delete SGvsDG_Back_9600;
delete Cl_Size_DG_SG_B;
delete Cl_Size_DG_SG_F;
delete DarkCurrent_UP;
delete DarkCurrent_DW;

//delete directories
delete MaxEffdirC;
delete SlopedirC;
delete HalffdirC;
delete Eff90dirC;
delete Chi2dirC;
delete PlotdirC;
delete DiffdirC;
delete MaxEffdir;
delete Slopedir;
delete Halffdir;
delete Eff90dir;
delete Chi2dir;
delete Plotdir;
delete Diffdir;
delete topCur;
delete top;
delete topC;
delete topCl;
delete topN;
delete c;

delete RootFile;

cout<<" Done."<<endl;
return 0;
}
```


Conclusioni

Il programma software da me sviluppato nel corso del lavoro di tesi mi ha permesso di analizzare le prestazioni delle camere di tipologia RB1 che sono state prodotte sotto il controllo del gruppo INFN di Napoli. L'analisi effettuata non copre l'intera statistica di camere prodotte in quanto i risultati di parte di queste non sono ancora stati inseriti nel database per l'analisi *off-line*.

Il programma software si è comunque dimostrato sufficientemente robusto da poter essere utilizzato ogni volta che la statistica di camere aumenta, aggiornando automaticamente le distribuzioni di interesse. Inoltre la struttura versatile del codice permette di poter essere utilizzato con piccoli sforzi anche per camere di tipologia differente.

Il suo utilizzo ha consentito di verificare il comportamento uniforme e performante del campione di camere RB1 prodotte. Le efficienze di rivelazione sono superiori al 96%, il rate di rumore medio è inferiore ai 2 Hz/cm² e le correnti oscure degli RPC risultano mediamente a 1 $\mu\text{A}/\text{m}^2$. Tali valori soddisfano in pieno le richieste dell'esperimento CMS.

Bibliografia

- [1] The LHC Study Group : *The Large Hadron Collider Conceptual Design*, CERN/AC 95-05, 1995.
- [2] S.Glashow, Nucl. Phys. 22 (1961) 579.
- [3] S.Weinberg, Phys. Rev. Lett. 19 (1967) 1264.
- [4] A.Salam, *Elementary Particle Theory*, Ed. N. Svarholm (1968).
- [5] Mandl Shaw : *Quantum Field Theory*, (editor John Wiley & Sons, Chichester August 1993).
- [6] P.W.Higgs: *Spontaneous Symmetry Breakdown without Massless Bosons*, Phys. Rev. 13 (1964) 508.
- [7] P.W.Higgs: *Spontaneous Symmetry Breakdown without Massless Bosons*, Phys. Rev. 145 (1966) 1156
- [8] G Altarelli, M.W. Grunewald, Phys Rev (2004).
- [9] J.Ellis, M. Jacob. Phys. Rev(2004)
- [10] Q.R.Ahmad et al., Phys Rev Lett 87(2001) 071301
- [11] Y. Fakuda et al., Phys Rev Lett. B 81(1998) 1562,
- [12] The ATLAS Collaboration: *ATLAS Detector and Physics Performance Technical Design Report, Vol. I*, CERN/LHCC 99-14, 1999.
- [13] The CMS Collaboration: *The Compact Muon Solenoid- Technical Proposal*, CERN/LHCC 94-38, 1995.
- [14] ALICE collaboration: *ALICE technical proposal*, (CERN / LHCC 95-71 LHCC / P3, 1995)

- [15] LHCb collaboration: *LHCb technical proposal*, (CERN / LHCC 98 004 LHCC / P4, 1998).
- [16] F. Giannotti: *Physics at LHC*, Physics Report 403-404(2004) 379-399.
- [17] M. Spira P.Zerwas, *Electroweak Symmetry Breaking and Higgs Physics* Cern TH 97-379(1997).
- [18] P.Fayet, S.Ferrara, Phys. Rep C 32(1997)249.
- [19] H.P. Nilles, Phys Rep. C 117(1985)75.
- [20] The CMS Collaboration, *Technical Proposal*, CERN/LHCC 94-38, LHCC/P1(1994).
- [21] G.Zumerle, univ. Padova *VIII giornate di studio sui rivelatori Torino Villa Gualino* 17-20 febbraio 1998
- [22] The CMS Collaboration, *The Magnet Project: Technical Design Report*, CERN/LHCC 97-10, CMS TDR1 (1997).
- [23] The CMS Collaboration, *The Tracker Project: Technical Design Report*, CERN/LHCC 98-6, CMS TDR 5 (1998).
- [24] The CMS Collaboration, *The Electromagnetic Calorimeter Project: Technical Design Report*, CERN/LHCC 97-33, CMS TDR 4 (1997).
- [25] The CMS Collaboration, *The Hadronic Calorimeter: Technical Design Report*, CERN/LHCC 97-31, CMS TDR 2 (1997).
- [26] The CMS Collaboration, *The Muon Project, Technical Design Report*, CERN/LHCC 97-32, CMS TDR 3 (1997).
- [27] CMS Collaboration : *TriDAS Project, Technical Design Report, Volume I: The Trigger System*, CERN/LHCC 2000-38 (CERN, Geneva, 2000).
- [28] CMS Collaboration : *TriDAS Project, Technical Design Report, Volume II: The Data Acquisition and High-Level Trigger*, CERN/LHCC 2002-26 (CERN, Geneva, 2002).
- [29] The CMS Collaboration, *The Trigger Project, Technical Design Report: The Level-1 Trigger*, CERN/LHCC 2000-038, CMS TDR 6.1 (2000).
- [30] G.Bressi et al., *An apparatus to search for free neutron-antineutron oscillations* , Nucl.Instr.and Meth.A261 (1987)449-461.

- [31] A.Antonelli et al., *The FENICE detector at the e+e-collider ADONE*, Nucl.Instr. and Meth.A337 (1993)34-43.
- [32] E.Gorini, *The Resistive Plate Counter muon system of E771*, Nucl.Instr.and Meth. B (Proc.Suppl.)23A (1991)249-253.
- [33] C.Bacci et al., *A hodoscope made of Resistive Plate Chambers to identify muons in a fixed target beauty hadroproduction experiment*, Nucl.Instr.and Meth.A324 (1993) 83-92.
- [34] P. D.Sheldon, *The FOCUS experiment RPC Muon identification array*, Proc. of the III Int.Workshop on Resistive Plate Chambers and Related Detectors,11-12 Oct.1995,Pavia,Italy,Scientific Acta (Ed.S.P.Ratti,M.Merlo)XI (1996)437-444;
- [35] M.Abbrescia et al., *A horizontal muon telescope implemented with Resistive Plate Chambers*, Nucl.Instr.and Meth.A336 (1993)322-329.
- [36] A.Aloisio et al., *The L3 forward-backward muon RPC trigger system*, Nucl.Instr. and Meth.A360 (1995)340.
- [37] The BABAR Collaboration, *Technical Design Report* (march 1995)
- [38] J.W.Keulegan, Phys.Rev.73 (1948)531; Rev.Sci.Instr.20 (1949)202.
- [39] Y.N.Pestov and G.V.Fedotov, Preprint IYAF 77-78, SLAC Translation 184 (1978); Y.N.Pestov, Nucl.Instr.and Meth.196 (1982)45.
- [40] R.Santonico and R.Cardarelli, Nucl.Instr.and Meth.187 (1981)377.
- [41] M.Abbrescia et al., *Effect of the linseed oil surface treatment on the performance of Resistive Plate Chambers*, Nucl.Instr.and Meth.A 394 (1997)13.
- [42] M.Bertino et al., Nucl.Instr.and Meth.A 283 (1989)654; A.Bohrer et al., CERN/DRDC/91-53 (1992)
- [43] M.Abbrescia et al., *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 359(1995).
- [44] R. Santonico, *RPC: where we are and where we are going*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 456(2000) 1-5.
- [45] M. Abbrescia et al., *New developments on front-end electronics for the CMS Resistive Plate Chambers*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 456(2000) 143-149.

- [46] CMS Collaboration, Technical Proposal, CERN/LHCC 94-38(1994).
- [47] D.Piccolo et al., *Production and quality control of the Barrel RPC chamber of CMS experiment.*
- [48] D. Piccolo, Presentazione Siena 23-26 maggio 2004.
- [49] *Cosmic Ray Test of Double-gap Resistive Plate Chambers for the CMS Experiment.*
- [50] M.Abbrescia et al., presentazione al 7-mo Workshop On Resistive Plate Chamber And Related Detector(RPC2003), 20-22 oct 2003, Clermont Ferrand, France and submit to NIM, *The Cosmics rays quality test procedure for the CMS barrel Resistive Plate Chamber.*
- [51] <http://www.mysql.com/>
- [52] <http://webcms.ba.infn.it/rpc/>
- [53] <http://www.research.att.com/~bs/C++.html>
- [54] <http://root.cern.ch/>

Elenco delle figure

1.1	<i>Schema di LHC e degli iniettori</i>	15
1.2	<i>Sezione trasversa del magnete dipolare di LHC</i>	17
1.3	<i>Sezione d'urto inelastiche per collisioni p-p in funzione dell'energia dei protoni nel centro di massa.</i>	19
1.4	<i>Sezioni d'urto di produzione del bosone di Higgs ad LHC in funzione della sua massa. Tutte le sezioni d'urto sono state calcolate al NLO[17].</i>	20
1.5	<i>Diagrammi di Feynman dei principali meccanismi di produzione del bosone di Higgs</i>	20
1.6	<i>Ampiezza totale di decadimento del bosone di Higgs (a) e relativi branching ratio (b), in funzione della massa dell'Higgs[17]</i>	22
1.7	<i>Significatività, o potenziale di scoperta, del bosone di Higgs nei vari canali in funzione di m_H con una luminosità integrata pari a 10^5 pb^{-1}.</i>	23
2.1	<i>Apparato sperimentale CMS</i>	28
2.2	<i>Visione trasversale di un quarto di CMS</i>	29
2.3	<i>Rilevatore a pixel di silicio</i>	31
2.4	<i>Vista longitudinale di un quarto del sistema di tracciamento a strip di silicio.</i>	32
2.5	<i>Visione tridimensionale dell'ECAL.</i>	33
2.6	<i>Andamento dei vari contributi al variare dell'energia.</i>	34
2.7	<i>Risoluzione del momento delle misure di momento per tracce di muoni simulate. La figura di sinistra è stata ottenuta considerando il solo sistema muonico, quella di destra considera anche il tracciatore intorno.</i>	36
2.8	<i>Stazioni del sistema muonico.</i>	37
2.9	<i>Disposizione dei vari sottosistemi del sistema muonico.</i>	37
2.10	<i>Schema di un DT e di una camera.</i>	38
2.11	<i>Schema della raccolta del segnale di una camera a CSC dell'endcap.</i>	39

2.12	<i>Descrizione della disposizione delle CSC all'interno dell'end-cap (a). Rappresentazione dettagliata delle geometria delle Cathode Strip Chambers (b).</i>	40
2.13	<i>Posizionamento degli RPC in una ruota del barrel</i>	41
2.14	<i>Sezione d'urto alla luminosità massima in relazione con la massa degli oggetti prodotti</i>	42
2.15	<i>Schema del flusso dati del sistema di trigger di CMS</i>	43
2.16	<i>Frequenze attese di eventi ad uno (sx) e a due (dx) muoni nello stato finale alla massima luminosità.</i>	46
2.17	<i>Schema del sistema di trigger per muoni.</i>	47
3.1	<i>Andamento della perdita di energia media per unità di lunghezza di un muone. Bethe-Block.</i>	50
3.2	<i>Schema di un RPC.</i>	54
3.3	<i>Schema elettrico equivalente di una cella di scarica.</i>	56
3.4	<i>Schema elettrico equivalente di un elettrodo di pick-up.</i>	58
3.5	<i>Schema di una doppia gap di una camera ad RPC di CMS</i>	61
3.6	<i>Schema a blocchi di un canale di front-end.</i>	62
3.7	<i>Scheda di Front-End.</i>	63
4.1	<i>Distribuzione resistività media.</i>	66
4.2	<i>Distribuzione della deviazione standard della resistività di ogni piano di bakelite</i>	67
4.3	<i>ρ_1 vs ρ_2</i>	68
4.4	<i>Correnti oscure delle singole gap a 9500 V con una miscela di Freon (96%) e iso-butano (4%)</i>	69
4.5	<i>Siti di produzione delle camere ad RPC del Barrel</i>	70
4.6	<i>Schema di un camera ad RPC di CMS. Esistono alcune camere formate da 3 doppie gap.</i>	71
4.7	<i>Andamento delle correnti oscure al variare della tensione applicata. L'esempio si riferisce alla camera 173</i>	72
4.8	<i>Distribuzione delle correnti oscure medie a 9500 V delle camere RB1 testate dal gruppo dell'INFN di Napoli[48].</i>	72
4.9	<i>Distribuzione delle rms delle correnti oscure a 9500 V delle camere RB1 testate dal gruppo dell'INFN di Napoli[48].</i>	73
4.10	<i>Schema di una torre di test e trigger [49].</i>	74
5.1	<i>Tabelle del database degli RPC.</i>	79
5.2	<i>Descrizione dei campi della tabella Bakelite</i>	80
5.3	<i>Descrizione dei principali campi della tabella SingleGap</i>	80
5.4	<i>Descrizione dei campi della tabella DoubleGap.</i>	81

5.5	<i>Descrizione dei campi della tabella Chamber.</i>	82
5.6	<i>Descrizione dei campi della tabella Cosmics</i>	82
5.7	<i>Descrizione dei campi della tabella TestCaenBari</i>	83
5.8	<i>Illustrazione schematica degli oggetti sviluppati per modellare la camera. SG: singola gap; DG: doppia gap; Layer: piano costituito da due o tre singole gaps</i>	84
5.9	<i>Tensioni efficace al 50% dell'efficienza vs T/P a tensioni non corrette per scaling.</i>	90
5.10	<i>Tensioni efficace al 50% dell'efficienza vs T/P a tensioni corrette per scaling.</i>	91
5.11	<i>Confronto delle distribuzioni dei valori delle tensioni al 50% dell'efficienza massima, per tensioni corrette per scaling e tensioni non ricalibrate.</i>	92
5.12	<i>Confronto delle distribuzioni dei valori delle tensioni al 90% dell'efficienza massima, per tensioni corrette per scaling e tensioni non ricalibrate.</i>	93
5.13	<i>Confronto delle curve di efficienza di una doppia gap e delle singole gap di cui è formata. La figura si riferisce alla doppia gap forward della camera 175</i>	93
5.14	<i>Confronto delle distribuzioni delle tensioni al 50% dell'efficienza massima delle doppie gap e singole gap che le efficienza. La statistica riportata in figura si riferisce alle singole gap.</i>	94
5.15	<i>Confronto delle distribuzioni dell'efficienza massima delle doppie gap e singole gap che le efficienza. La statistica riportata in figura si riferisce alle singole gap.</i>	95
5.16	<i>Confronto delle distribuzioni delle slope per singole gap e doppie gap. La statistica riportata in figura si riferisce alle singole gap.</i>	95
5.17	<i>Distribuzioni dei valori assoluti delle differenze tra i valori delle tensioni al 50% dell'efficienza massima delle singole gap appartenenti al layer up.</i>	96
5.18	<i>Distribuzioni dei valori assoluti delle differenze tra i valori delle tensioni al 90% dell'efficienza massima delle singole gap appartenenti al layer up.</i>	97
5.19	<i>Distribuzioni dei valori assoluti delle differenze tra i valori delle tensioni al 50% dell'efficienza massima delle singole gap appartenenti al layer down.</i>	98
5.20	<i>Distribuzioni dei valori assoluti delle differenze tra i valori delle tensioni al 90% dell'efficienza massima delle singole gap appartenenti al layer down.</i>	99

5.21	<i>Distribuzione delle differenze tra il la massima ed il minimo valore delle tensioni a cui le singole gap di una stessa camera raggiungono il 50% dell'efficienza massima.</i>	100
5.22	<i>Distribuzione delle differenze tra il la massima ed il minimo valore delle tensioni a cui le singole gap di una stessa camera raggiungono il 90% dell'efficienza massima.</i>	101
5.23	<i>Distribuzione delle strip overflow di tutte le camere analizzate.</i>	101
5.24	<i>Distribuzione del noise delle singole (figura sinistra) e delle doppie (figura destra) gap alla tensione di lavoro.</i>	102
5.25	<i>Andamenti dei valori medi delle distribuzioni di noise ratio delle doppie gap Backward.</i>	103
5.26	<i>Andamenti dei valori medi delle distribuzioni di noise ratio delle doppie gap Forward.</i>	103
5.27	<i>Distribuzioni delle cluster size delle singole gap.</i>	104
5.28	<i>Distribuzioni delle cluster size delle doppie gap.</i>	105
5.29	<i>Caratteristica tensione - corrente di una camera.</i>	106
5.30	<i>Distribuzioni della corrente dei layer up e down.</i>	107
5.31	<i>Distribuzioni della sola corrente di gas dei layer up e down .</i>	107
5.32	<i>Distribuzioni della sola corrente ohmica dei layer up e down .</i>	108