



**Università degli Studi di Napoli  
“Federico II”**

Facoltà di Scienze MM.FF.NN.

*Corso di laurea in Fisica*

A.A. 2001-2002

Tesi di laurea

**“Sistema di controllo distribuito per la  
Stazione di Test di rivelatori RPC  
dell’esperimento ATLAS”**

**Candidato:**

Luigi Romano  
mat.: 60/198

**Relatori:**

Prof. S. Patricelli  
Dott. R. de Asmundis



# Indice

|   |       |
|---|-------|
| Introduzione .....  | 1-5   |
| 1 L'Esperimento ATLAS .....                                     | 1-9   |
| 1.1 L'Esperimento ATLAS al Large Hadron Collider .....          | 1-9   |
| 1.2 Caratteristiche generali di ATLAS .....                     | 1-10  |
| 1.3 Spettrometro muonico .....                                  | 1-14  |
| 1.3.1 Spettrometro nella regione di Barrel .....                | 1-15  |
| 1.3.2 Spettrometro nella regione di End-cap .....               | 1-17  |
| 1.4 Il sistema di trigger .....                                 | 1-19  |
| 1.5 Struttura di un RPC in ATLAS .....                          | 1-21  |
| 1.5.1 Principio di funzionamento di un RPC .....                | 1-24  |
| 2 La Stazione di Test per gli RPC .....                         | 2-29  |
| 2.1 Descrizione della stazione di test .....                    | 2-29  |
| 2.1.1 Sistema di Trigger e Sistema di Tracciamento .....        | 2-30  |
| 2.1.2 Configurazioni e nomenclatura degli RPC .....             | 2-33  |
| 2.1.3 Slow Control .....  | 2-35  |
| 2.1.4 La strumentazione per il DAQ .....                        | 2-38  |
| 2.2 Test previsti sugli RPC .....                               | 2-39  |
| 3 Lo "Slow Control" .....                                       | 3-43  |
| 3.1 Configurazione del sistema di Slow Control .....            | 3-44  |
| 3.1.1 L'hardware del sistema di Slow Control .....              | 3-45  |
| 3.1.2 L'interfaccia software dei <i>Field Point</i> .....       | 3-53  |
| 3.1.3 L'OPC Server .....  | 3-55  |
| 3.2 Software per il monitoraggio .....                          | 3-57  |
| 3.2.1 Il Modulo Datalogging and Supervisory Control (DSC) ..... | 3-58  |
| 3.2.2 Il Software del sistema di Slow Control .....             | 3-66  |
| 3.2.3 Il Device Server per il C.A.E.N SY 127 .....              | 3-69  |
| 3.3 Architettura generale del software .....                    | 3-75  |
| 3.3.1 Atmospheric & Gas .....                                   | 3-77  |
| 3.3.2 LV Supply & Thresholds .....                              | 3-81  |
| 3.3.3 HV Supply .....   | 3-83  |
| 3.3.4 Tests .....   | 3-86  |
| 3.3.5 Log & Alarms .....  | 3-86  |
| 3.3.6 Historical Trends .....                                   | 3-88  |
| 3.3.7 Configuration e About & Stop .....                        | 3-89  |
| 4 Test sugli RPC .....  | 4-91  |
| 4.1 Test di tenuta al gas o "Leak Test" .....                   | 4-91  |
| 4.1.1 Il "Rack del Gas" .....                                   | 4-96  |
| 4.1.2 Leak Test in LabVIEW .....                                | 4-101 |
| 4.1.3 Un esempio di Leak Test .....                             | 4-104 |
| 4.2 Low Voltage Test .....                                      | 4-109 |
| 4.3 High Voltage Test .....                                     | 4-112 |
| 4.3.1 Server di Correzione HV .....                             | 4-116 |

|     |   |       |
|-----|---|-------|
| 4.4 | Un esempio di “High Voltage Test” ..... | 4-118 |
| 4.5 | Il Sequencer .....                      | 4-122 |
|     | Conclusioni.....                        | 4-125 |
|     | APPENDICE A .....                       | 4-127 |
|     | APPENDICE B .....                       | 4-131 |
|     | Bibliografia.....                       | 4-137 |
|     | Elenco delle figure.....                | 4-139 |
|     | Elenco delle tabelle.....               | 4-143 |



# Introduzione

Il presente lavoro di tesi ha per oggetto la realizzazione di un sistema di controllo distribuito che permetta di monitorare un'ampia classe di parametri e denominato “*Slow Control*”. Il sistema di controllo è parte integrante della Stazione di Test realizzata nel laboratorio di alte energie del Dipartimento di Scienze Fisiche dell'Università di Napoli “Federico II”. Detta stazione di test è stata progettata e costruita nell'ambito del programma di lavoro per l'esperimento ATLAS, come attività di gruppo<sup>1</sup> dell'area subnucleare e finanziata con fondi INFN. La stazione è costituita da un sistema di *trigger* a scintillatori, da un sistema di tracciamento con camere a deriva e provvede al collaudo di un particolare tipo di rivelatore a gas: il *Resistive Plate Chamber (RPC)*.

Gli RPC saranno ampiamente utilizzati nell'esperimento ATLAS e copriranno una superficie di circa 3000 mq per fornire il *trigger* per muoni provenienti dal vertice d'interazione (IP) per lo spettrometro “*barrel*”<sup>1</sup>. Dopo essere assemblati, gli RPC sono trasportati in diversi siti, tra cui Napoli, onde essere sottoposti ad opportuni test di qualità. Il numero di unità da produrre è circa 1200, e di queste circa 350 sono da testare a Napoli. Soltanto i rivelatori considerati idonei saranno inviati al CERN per la successiva fase di montaggio su ATLAS. L'idoneità deriva da una serie di test che saranno ampiamente descritti nel lavoro.

Il termine “*Slow Control*” indica il sistema di monitoraggio e controllo della classe di parametri che permettono di assicurare le condizioni di lavoro degli RPC per tutta la durata del collaudo; si va dai semplici parametri ambientali, quali temperatura, pressione atmosferica ed umidità nel laboratorio, fino ad arrivare a grandezze strettamente correlate agli RPC, come corrente assorbita dagli elettrodi di HV e dall'elettronica di *Front-End*, pressione del gas all'interno dei rivelatori ecc.

Il lavoro svolto non riguarda soltanto l'implementazione del software di controllo scritto in LabVIEW, ma anche moltissimi aspetti legati alla progettazione ed in-

---

<sup>1</sup> Parte centrale dello spettrometro, non comprendente le “*end-cap*”

stallazione dell'hardware annesso, e alla progettazione ed implementazione di tutte le procedure di test automatiche.

La tesi è strutturata in quattro capitoli. I primi due riguardano aspetti più generali ed introduttivi, relativi all'esperimento ATLAS, agli RPC ed alla Stazione di Test, mentre gli ultimi due sono la presentazione del lavoro svolto e dei risultati ottenuti.

Il **capitolo 1** descrive brevemente le motivazioni che hanno portato alla costruzione di LHC al CERN e presenta una descrizione dell'apparato sperimentale di ATLAS. Maggiori dettagli sono descritti lo spettrometro per muoni a grande angolo, composto sia da rivelatori di precisione per il tracciamento (MDT) che da rivelatori per la generazione del trigger (RPC). Particolare attenzione è dedicata agli RPC, di cui è spiegata la struttura ed il principio di funzionamento. Una breve spiegazione del sistema di trigger è fornita per meglio chiarire il lavoro svolto dagli RPC.

Il **capitolo 2** contiene una descrizione dettagliata della Stazione di Test, compresi i sistemi di *trigger* e di tracciamento. Una breve panoramica sul complesso DAQ permette di avere un'ampia visione dell'intero apparato sperimentale. Particolare attenzione è data allo *Slow Control* ed ai parametri monitorati, per ognuno dei quali ne è spiegata l'utilità. In questo contesto trovano spazio i concetti generali alla base di alcuni test da fare sugli RPC.

Il **capitolo 3** è quello fondamentale, in cui è descritto quasi l'intero lavoro di tesi. In esso è data una minuziosa spiegazione della configurazione hardware adottata per la realizzazione del sistema di controllo distribuito "Slow Control". Per ognuno dei moduli hardware utilizzati si trova la motivazione che ha condotto alla scelta ed un'attenta analisi dei punti di forza e di debolezza. Questi particolari, visti in un unico contesto, permettono di comprendere l'effettiva potenza del sistema realizzato. Successivamente si sono introdotte le proprietà e le innovazioni del linguaggio di programmazione utilizzato per l'implementazione del software di controllo: LabVIEW 6i e DSC (Datalogging and Supervisory Control). Infine si è discusso del software di controllo, delle sue funzioni e della modalità d'utilizzo.

Quest'ultima di fondamentale importanza, perché consente al presente lavoro d'essere d'aiuto ai futuri utenti della stazione.

Nell'ultimo capitolo sono descritti i principi su cui si basano i test da effettuare sugli RPC e le implementazioni in LAbVIEW delle procedure per l'automatizzazione. Per ogni procedura è descritta la modalità d'utilizzo ed è fornito un esempio concreto di test effettuato, con rispettivi commenti del risultato ottenuto. Ampio spazio è dedicato ad una particolare apparecchiatura (**ANGELA**), appositamente costruita per la distribuzione del gas agli RPC e per la realizzazione di uno dei tre test previsti (*Leak Test*).

Completano il lavoro due appendici: nella prima è riportato un esempio che valorizza e dimostra l'importanza del sistema di controllo distribuito. La seconda, invece, contiene un insieme di schemi elettrici utili per l'eventuale manutenzione dell'apparato di distribuzione e controllo delle basse tensioni.



# 1 L'Esperimento ATLAS

## 1.1 L'Esperimento ATLAS al Large Hadron Collider

L'esperimento ATLAS ha lo scopo di studiare le interazioni protone-protone alla nuova frontiera di energia di 14 TeV nel centro di massa, che sarà disponibile con i fasci del *Large Hadron Collider* (LHC), in costruzione al CERN di Ginevra, nel tunnel di 26.7 km, dove è stato da poco dismesso il *Large Electron-Positron collider* (LEP). L'obiettivo della sperimentazione all'LHC è lo studio degli stati finali prodotti nelle interazioni tra i costituenti del protone, quark e gluoni, nell'intento di far luce su alcuni aspetti ancora misteriosi delle teorie delle interazioni fondamentali: il modo con cui le particelle acquistano massa, le simmetrie tra le particelle di materia e quanti dei campi d'interazione, l'unificazione delle interazioni fondamentali: elettrodebole, forte e gravitazionale. La sperimentazione all'LHC rappresenta per i ricercatori una nuova sfida sia per la dimensione dell'impresa che per le innovazioni tecnologiche. Si tratta di costruire grandi rivelatori con prestazioni particolarmente spinte, in grado di funzionare in modo affidabile per molti anni e capaci di acquisire un'enorme quantità di dati.

Gli acceleratori presenti al CERN permettono di produrre fasci di protoni e di preaccelerarli, prima dell'iniezione nell'LHC. Un acceleratore lineare, il LINAC, accelera i protoni fino ad un'energia di 50 MeV; tale energia è in seguito portata ad 1 GeV nel "Booster", a 26 GeV nel Sincrotrone a Protoni (SP) e a 450 GeV nel Super Sincrotrone a Protoni (SPS) prima dell'immissione nell'LHC, dove i protoni raggiungeranno l'energia finale.

L'LHC è costituito in modo da far avvenire le collisioni tra due flussi contro-rotanti di protoni dotati di uguale energia (7 TeV), sfruttando campi magnetici da circa 9 Tesla prodotti da magneti superconduttori raffreddati da He<sup>4</sup> ad una temperatura di 4 K circa.

## 1.2 Caratteristiche generali di ATLAS

ATLAS (*A Toroidal Large Acceptance Spectrometer*) è un rivelatore di grandi dimensioni, 46 m di lunghezza con un diametro di circa 22 m, che alloggerà in uno dei quattro punti sperimentali previsti nell'LHC. Il sistema di riferimento utilizzato per l'esperimento, vede l'asse z orientato lungo la direzione di propagazione del fascio ed il piano x-y ortogonale ad esso. L'angolo  $\varphi$  (azimutale) è riferito all'asse x, nel piano x-y, mentre, l'angolo  $\theta$  (polare) è riferito all'asse z. L'introduzione di questo sistema di riferimento ha permesso la definizione di un parametro  $\eta$ , chiamato pseudorapidità, definito come:  $\eta = -\ln\left(\tan\left(\frac{\theta}{2}\right)\right)$ .

La pseudorapidità permette di suddividere il rivelatore in quattro zone, indicate con i seguenti termini: *Barrel*, *Transition Region*, *End-cap* e *Forward* (fig. 1).

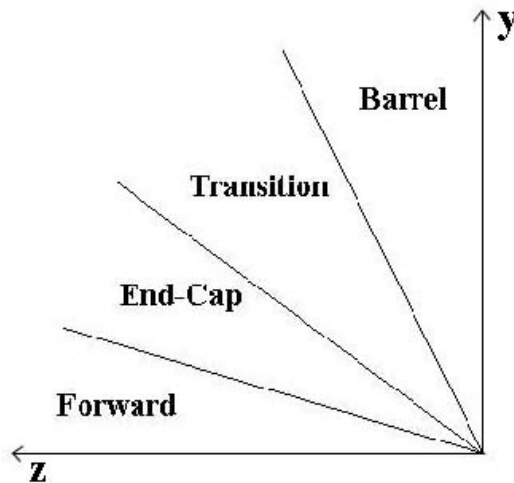


Figura 1: Pseudorapidità.

La struttura di ATLAS è quella tipica dei rivelatori di molte particelle e radiazioni, schematicamente suddiviso in quattro sistemi principali (fig. 2 e fig. 3):

- **Rivelatore Interno:** costituito da un rivelatore di vertice con risoluzione spaziale molto spinta (decimi di  $\mu\text{m}$ ), per ricostruire il vertice d'interazione ed identificare i vertici secondari prodotti da particelle a breve vita media (contenenti quark pesanti) e da un

rivelatore a tracce, immerso in un campo magnetico di intensità 2 T, prodotto da un magnete solenoidale superconduttore, per misurare l'impulso delle particelle cariche.

- **Calorimetro Elettromagnetico:** costituito da strati alternati di materiale assorbitoro (piombo) e materiale attivo (argon liquido), nel quale sono posti gli elettrodi di prelievo del segnale. Permette di identificare e misurare con precisione energia e direzione di elettroni e fotoni.
- **Calorimetro Adronico:** basato su una nuova tecnologia con scintillatori plastici in assorbitori di ferro, per identificare i jet adronici e misurarne energia e direzione.
- **Spettrometro muonico:** costituito da due tipi di rivelatori a gas, uno con tempo di risposta particolarmente rapido per segnalare il passaggio della particella, ed un secondo con ottima risoluzione spaziale per ricostruirne la traiettoria. Il tutto è inserito in un sistema di magneti toroidali che generano un campo magnetico da 3 T nella regione di *barrel* e da 6 T nella regione di *End-cap*, per misurare l'impulso dei muoni.

Il gruppo ATLAS del Dipartimento di Scienze Fisiche dell'Università di Napoli, insieme a colleghi di altre università europee, partecipa alla costruzione ed al collaudo di un particolare rivelatore di particelle utilizzato nello spettrometro muonico, quello con un tempo di risposta rapido; per questo focalizzeremo la nostra attenzione essenzialmente sullo spettrometro muonico, e su questo particolare rivelatore.

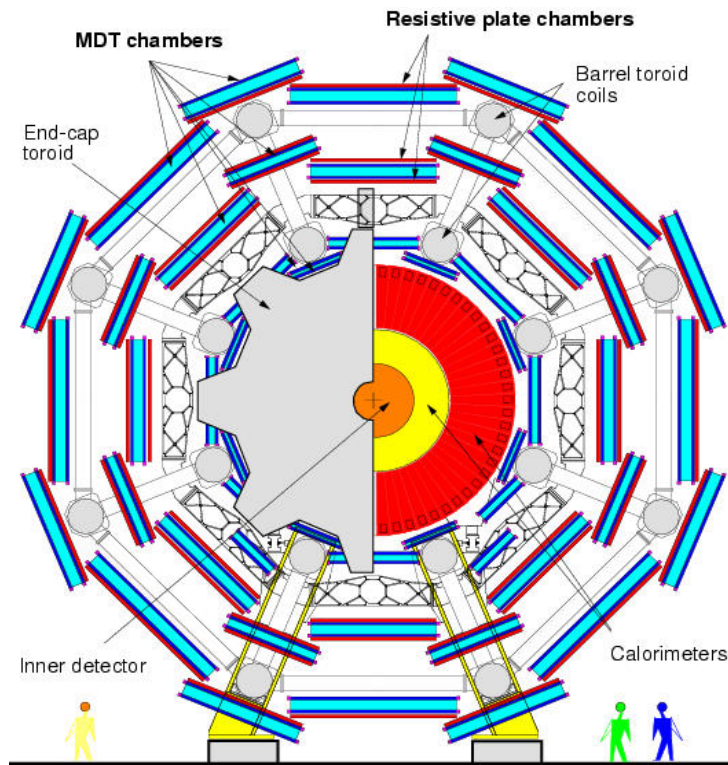
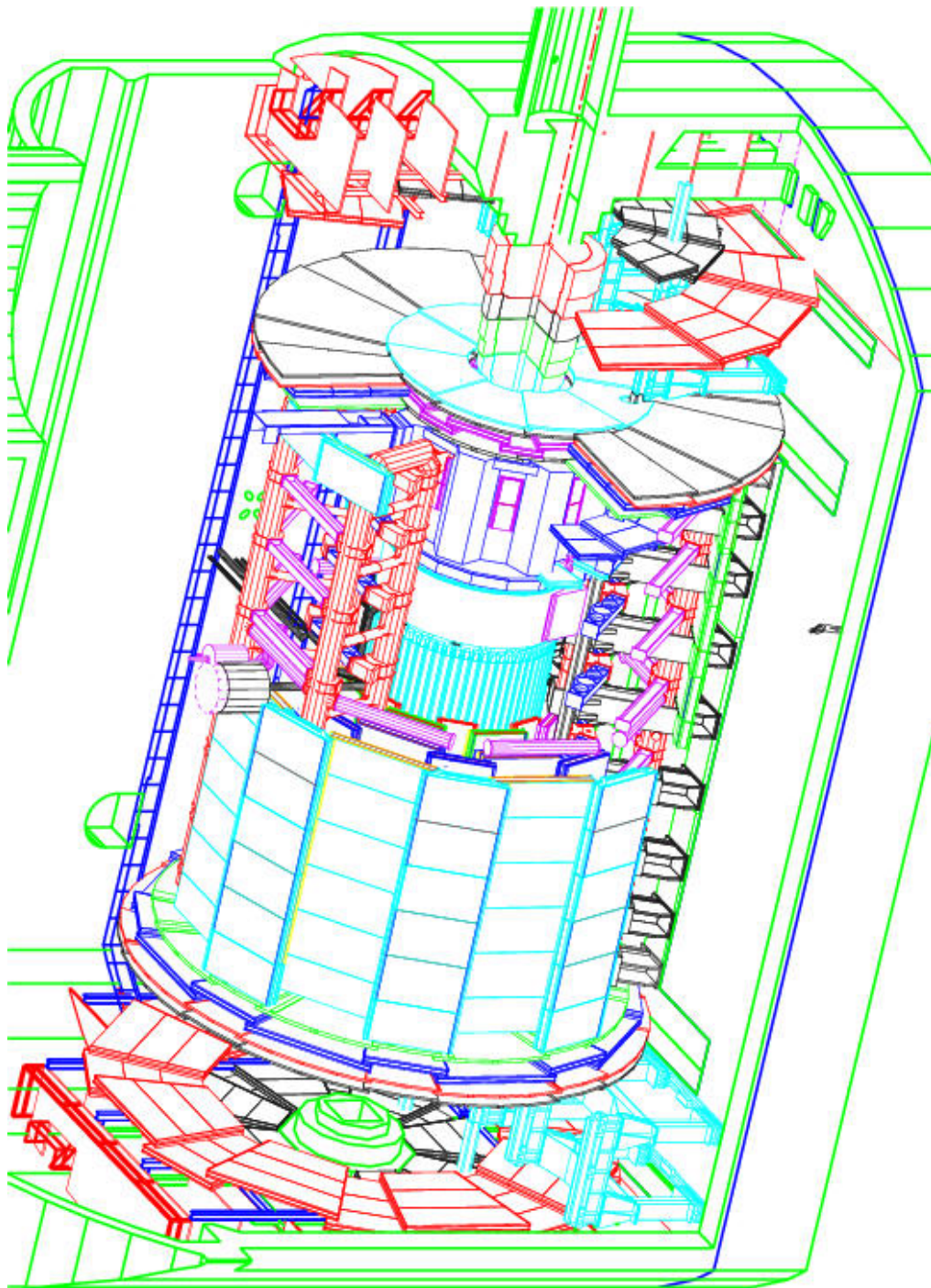


Figura 2: Struttura a strati di ATLAS





**Figura 3: Struttura generale di ATLAS**

### 1.3 Spettrometro muonico

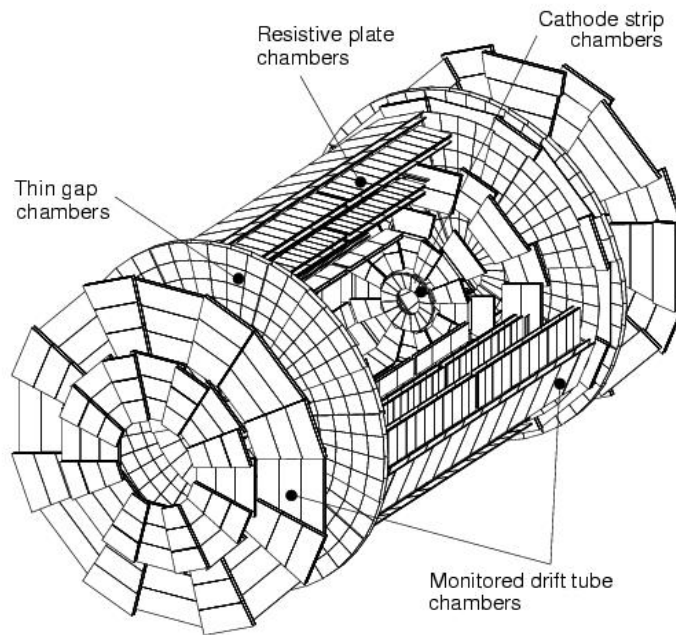
Lo spettrometro per muoni costituisce la parte più esterna del rivelatore ATLAS, è posizionato subito dopo i calorimetri elettromagnetico ed adronico, e ricopre una porzione di spazio compresa fra i 4.5 m e gli 11 m di raggio, e tra i 0 m e i 23 m in direzione longitudinale rispetto al punto di interazione. L'intero sistema è basato sulla deflessione della traiettoria dei muoni in un campo magnetico, generato da tre grandi magneti toroidali superconduttori a nucleo d'aria, e formato da rivelatori di *trigger* e camere traccianti ad alta precisione; configurazione, che permette di fare sia misure di posizione molto accurate, che di fornire, insieme al calorimetro, il *trigger* dell'esperimento. Alla classe dei rivelatori di *trigger* appartengono gli **RPC** (Resistive Plate Chambers) e le **TGC** (Thin Gap Chambers), a quella dei rivelatori di precisione appartengono, invece, gli **MDT** (Monitored Drift Tube chambers) e le **CSC** (Catode Strip Chambers).

Nella regione di *barrel*, la deviazione magnetica è prodotta da un grande magnete toroidale formato da otto bobine che circondano il calorimetro adronico, nella regione di *end-cap*, invece, i muoni sono deviati da campi generati da magneti più piccoli posti alle estremità del toroide centrale, infine nella *transition region* il campo è dato da una sovrapposizione dei due campi precedenti. Una configurazione del genere produce un campo che è prevalentemente ortogonale alle traiettorie dei muoni.

Il duplice compito dello spettrometro è svolto, come anticipato, da quattro differenti tipi di rivelatori, scelti in base alla posizione occupata (fig. 4). Gli RPC e gli MDT andranno a costituire lo spettrometro nella regione di *barrel*, mentre nelle restanti regioni si utilizzeranno le TGC, le CSC e le MDT.

Nella regione di *barrel* i rivelatori sono disposti su tre superfici concentriche di raggio 5, 7.5 e 10 metri e sono indicate rispettivamente con i termini: *inner*, *middle* ed *outer*. Nelle regioni di *end-cap* e di *transition*, i rivelatori sono disposti ortogonalmente all'asse del fascio su quattro dischi alla distanza di 7, 10, 14 e 21 metri dal punto di interazione e denominati rispettivamente con i termini: *inner*, *external*, *middle* e *outer*. Ogni disco, a sua volta è costituito da due anelli concen-

trici, quello interno è indicato come *forward* e quello esterno come *external*. Nella vista azimutale il sistema è suddiviso in sedici settori, tale suddivisione a spicchi segue l'andamento del magnete. I settori sono alternativamente *large* e *small*: quelli *large* comprendono le regioni tra le bobine del toroide centrale, mentre quelli *small* coprono il range azimutale delle bobine stesse (fig. 2).



**Figura 4: Posizione delle camere nello spettrometro**

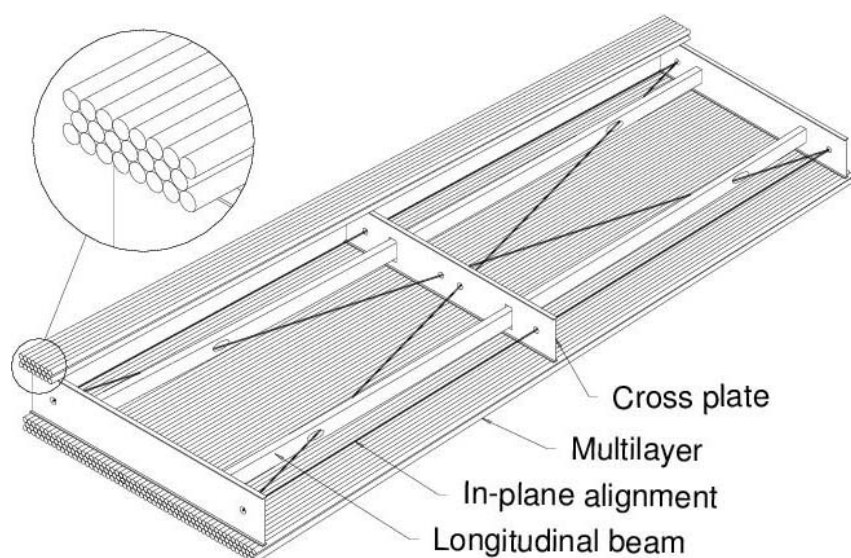
### 1.3.1 Spettrometro nella regione di Barrel

Nella regione di *barrel* le camere sono disposte intorno alla struttura del magnete, formando gusci cilindrici con centro lungo l'asse del fascio. In tale regione vengono adoperate camere di tipo MDT per misure di precisione ed RPC per la funzione di *trigger*.

➤ MDT

Le camere di tipo MDT sono camere a deriva (*drift*), costituite da tubi in alluminio del diametro di 30 mm e spessore di 300  $\mu\text{m}$ , aventi al centro un filo conduttore del diametro di 50  $\mu\text{m}$  (fig. 5). L'interno dei tubi viene

riempito con una miscela composta dal 93% di argon e di 7% di CO<sub>2</sub>, alla pressione assoluta di 3 bar. La lunghezza dei tubi varia da 70 cm a 630 cm, la risoluzione spaziale tipica di un singolo filo conduttore è di 80 μm. Il singolo tubo ha l'elettronica di lettura ad una sola estremità, costituita da un preamplificatore di corrente a bassa impedenza e da un amplificatore differenziale. La struttura delle MDT si basa, in generale, su due piani di tubi a drift, separati da uno spaziatore che funge anche da struttura rigida di supporto. Ciascun piano è composto da tre o quattro piani di tubi a drift. Queste camere hanno, inoltre, la caratteristica di avere un sistema di monitoraggio che permette un loro allineamento molto accurato tenendo conto delle deformazioni della struttura legate alla gravità o alla temperatura ed alle forze magnetiche. L'allineamento è ottenuto con un sistema utilizzando raggi laser.



**Figura 5: Camera MDT**

➤ RPC

Un RPC è una tipica camera di *trigger*, costituita da due piani di bakelite separati da distanziatori isolanti dallo spessore di 2 mm e posti a 10 cm di distanza l'uno dall'altro. Il volume è riempito con una miscela di gas com-

posta da tetrafluoroetano ( $C_2H_2F_4$ ), esafluoruro di zolfo ( $SF_6$ ) e di isobutano ( $(CH_3)_3CH$ ) nelle percentuali: 96.7%, 3.0% e 0.3%.

Le superfici esterne dei piani di bakelite sono ricoperte con uno strato di vernice grafitata, connesse con l'alta tensione, che fornisce un campo elettrico di circa 5 kV/mm all'interno del gas. La lettura avviene tramite delle strip metalliche poste all'esterno di entrambi i piani di bakelite, denominate  $\eta$  se disposte nella direzione parallela ai fili delle MDT e  $\phi$  se disposte ortogonalmente. Le strip raccolgono il segnale per accoppiamento capacitivo.

In questa regione le misure di posizione, lungo la coordinata  $\eta$ , sono fornite da tre stazioni di MDT immerse nel campo magnetico generato dal magnete toroidale. Ogni stazione assume una diversa configurazione a seconda che si trovi nella parte *inner*, *middle* o *outer*. Nella stazione *inner* si ha soltanto la camera MDT, nella *middle* l'MDT è racchiusa tra due RPC mentre *nell'outer*, l'MDT si trova sotto o sopra un RPC (fig 6).

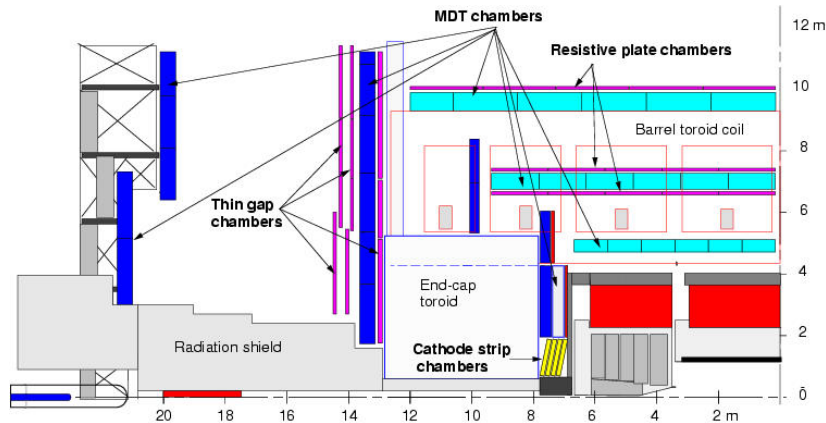
Oltre a svolgere la funzione di *trigger*, gli RPC dovranno fornire misure di posizione lungo la coordinata  $\phi$ , non fornita dalle MDT.

### 1.3.2 Spettrometro nella regione di End-cap

In questa regione, caratterizzata da un alto flusso di particelle, sono state utilizzati come rivelatori camere del tipo CSC o le TGC capaci di funzionare con un alto fondo di radiazioni. Le misure di precisione sono affidate a camere MDT, con l'unica eccezione dell'anello *forward* della stazione *inner*, in cui, per la vicinanza al punto di interazione, si ha un elevatissimo flusso di particelle. In questo caso si è reso necessario l'utilizzo di rivelatori resistenti alle radiazioni e con tempi di risposta molto brevi, caratteristiche soddisfatte dalle camere CSC.

Le informazioni sul *trigger* sono fornite da tre piani di TGC disposte su due lati delle MDT nella stazione *middle* (fig. 6). In questa stazione, così come

nella regione di barrel, le camere MDT permettono misure di precisione nel piano in cui la particella è soggetta alla forza curvante, mentre le camere di *trigger* forniscono anche la misura nel piano non sottoposto alla forza curvante.



**Figura 6: Sezione trasversale del rivelatore.**

➤ TGC

Questi rivelatori sono simili alle camere proporzionali multifilo, con la fondamentale differenza che in questo caso la distanza fra i fili anodici (1.8 mm) è maggiore della distanza tra anodo e catodo (1.4 mm). Il segnale anodico dà informazioni per il *trigger*, mentre le strip poste esternamente al volume di gas ed ortogonalmente alla direzione dei fili, danno informazioni sulla seconda coordinata. La miscela di gas utilizzata è composta da 55% di CO<sub>2</sub> e 45% di n-pentano (n-C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>). La tensione di lavoro per questi rivelatori è prevista essere 3.1 kV circa.

➤ CSC

Le CSC sono camere proporzionali multifilo che hanno due catodi, formati da strip, uno ortogonale e l'altro parallelo ai fili anodici. In queste camere, la distanza anodo-catodo (2.54 mm) è uguale alla distanza anodo-anodo. Le misure di posizione sono fatte misurando la carica, indotta dalla valanga formata sul filo anodico, sulle strip ortogonali all'anodo; la seconda co-

ordinata è data dai segnali sul secondo catodo. La miscela di gas utilizzata è composta da 30% argon, 50% CO<sub>2</sub> e 20%CF<sub>4</sub>.

## ***1.4 Il sistema di trigger***

La complessità raggiunta con gli apparati di misura nel campo della fisica delle alte energie, e la quantità di informazioni prodotta da eventi ripetuti ad una frequenza elevata, ha portato allo sviluppo di sistemi di acquisizione, particolarmente sofisticati, non solo da un punto di vista di memorizzazione dei dati in memorie di massa, ma anche per il compito di selezione, svolto in tempo reale, degli eventi fisicamente interessanti. Il compito del sistema di filtro (*trigger*) e acquisizione dati è quello di memorizzare gli “eventi buoni” scartando il più possibile il “fondo” formato dalle interazioni p-p che producono eventi non interessanti, dai raggi cosmici, dalla radiazione presente nella sala sperimentale.

In particolare il *trigger* che effettua questo riconoscimento ed avverte il sistema di acquisizione di scartare o memorizzare l’evento, deve essere abbastanza flessibile da accettare processi fisici nuovi ed inaspettati, nonché tale da adattarsi ad eventuali modifiche ed ampliamenti del rivelatore.

Il *trigger* di ATLAS ed il sistema di acquisizione dati è ripartito in tre livelli di selezione *online* degli eventi. Ogni livello, introducendo nuovi criteri di selezione, perfeziona le decisioni prese nel livello precedente. Nell’esperimento in questione, il sistema di acquisizione e di *trigger* deve elaborare gli eventi alla frequenza del fascio (40 MHz), scartarne gran parte e raggiungere la frequenza degli eventi buoni che risulta essere di 100 Hz.

La selezione effettuata dal primo livello di *trigger* (**LVL1**) dipende dalla combinazione di informazioni, provenienti da un ristretto numero di rivelatori. Il *trigger* calorimetrico ricerca elettroni ad alto  $p_t$ , fotoni, jets e tau, mentre i muoni a basso o alto momento trasverso  $p_t$  sono identificati usando rivelatori RPC nella regione di *barrel* e TGC nella regione di *end-cap*. Il posizionamento di queste camere è mostrato in figura 7. Come si può notare, ci sono tre stazioni di *trigger*,

due usate per *trigger* a basso  $p_t$ , la terza, in aggiunta alle precedenti per *trigger* ad alto  $p_t$ .

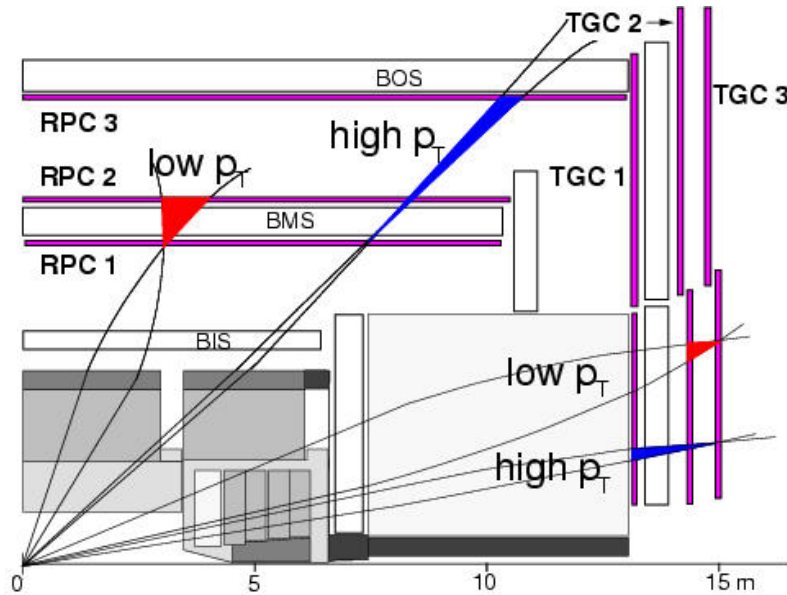


Figura 7: Schema Trigger.

Caratteristica fondamentale del *trigger* di primo livello, è l'individuazione con assoluta certezza dell'incrocio dei fasci nel quale è avvenuta la collisione (*bunch crossing*). In ATLAS il periodo di incrocio dei fasci di protoni è pari a 25 ns, confrontabile con il tempo di volo all'interno dello spettrometro muonico. Per questo motivo è importante ridurre l'intervallo di tempo tra la formazione del segnale di *trigger* ed il suo arrivo all'elettronica (**latenza**); problema risolto memorizzando, per tutto il periodo di latenza, le informazioni in apposite linee di memoria chiamate *pipeline*.

Gli eventi, selezionati dal primo livello di *trigger* sono trasferiti dai sistemi di elettronica di *front-end* in memorie chiamate *readout buffer* (ROBs). I dati restano nei ROBs fino a quando il secondo livello di selezione (LVL2) non avrà preso la sua decisione. Se l'evento sarà scartato i ROBs verranno svuotati, altrimenti i dati passeranno al livello di selezione successivo (LVL3) detto anche *Event Filter* (EF). I dati dei ROBs che arrivano al LVL3, cioè quei dati riguardanti lo stesso evento, sono raccolti in un'unica memoria (*event builder*).



Il secondo livello di *trigger*, sfruttando le informazioni fornitegli dal livello precedente, individua le **regioni di interesse**, nelle quali opererà con nuovi criteri di selezione. L'ultimo stadio della selezione, come anticipato, è l'*Event Filter*, che porterà la frequenza ai 100 Hz richiesti.

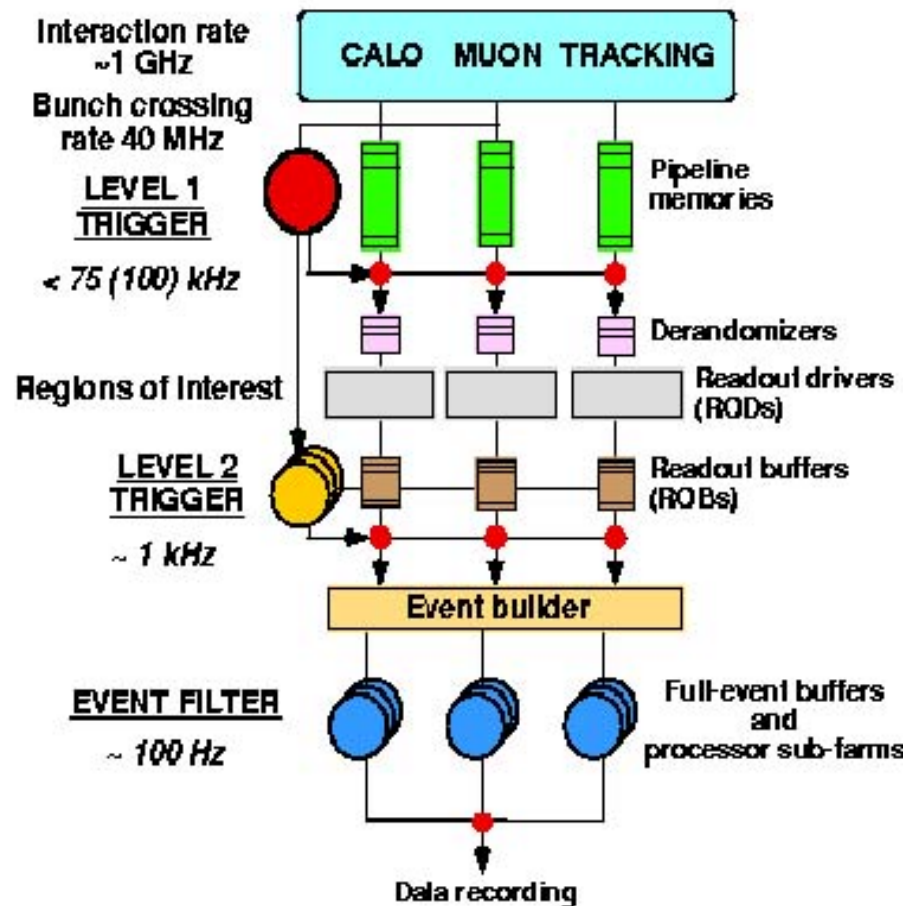


Figura 8: Schema del trigger di ATLAS.

### 1.5 Struttura di un RPC in ATLAS

Come anticipato, il gruppo ATLAS di Napoli si occupa essenzialmente della costruzione, ed installazione di particolari rivelatori di *trigger*, precisamente degli RPC. Per questo motivo si studierà in dettaglio la struttura ed il principio di funzionamento di questa unità.

La struttura di un RPC comprende due piani paralleli di bakelite, materiale con una resistività di volume tra  $10^{10}$  e  $10^{11}$   $\Omega\cdot\text{cm}$ , separati da spaziatori isolanti di polycarbonato, del diametro di 10 mm, spessi 2 mm (questo valore fissa la distanza tra i piani) e distanti 10 cm l'uno dall'altro. Lo stesso materiale degli spaziatori è utilizzato per chiudere ermeticamente i bordi della precedente struttura, a cui daremo il nome di *gap*. Le superfici esterne dei piani di bakelite, sono rivestite di uno strato sottilissimo di vernice grafitata, collegata all'alta tensione e ricoperta da una pellicola isolante di polietilene (PET) dello spessore di 200  $\mu\text{m}$ .

L'insieme di piani di bakelite, vernice grafitata e pellicola isolante prende il nome di *gas volume* (fig. 9).

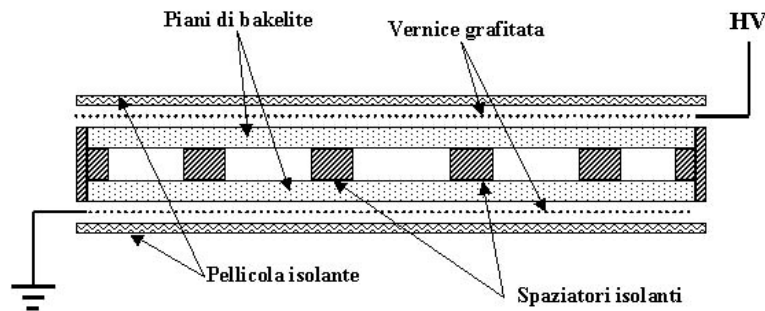


Figura 9 : Struttura *gas volume*.

Il segnale prodotto dal rivelatore viene prelevato da strisce di rame, dette *strip*, che permettono al segnale di propagarsi in due direzioni opposte con una minima perdita in ampiezza ed informazione temporale. Tali linee di trasmissione presentano ad un'estremità l'elettronica di lettura, all'altra invece hanno una resistenza di adattamento. La carica indotta dal passaggio di una particella nel gas sulle *strip*, si divide in due parti uguali e soltanto metà della carica totale arriva all'elettronica, mentre l'altra metà è assorbita dalla resistenza.

La larghezza e lo spessore tipici delle strisce di lettura sono rispettivamente di 3 cm e di 18  $\mu\text{m}$ , esse sono incollate su di una pellicola di PET dello spessore di 190  $\mu\text{m}$ . Tale struttura viene incollata, con lo strato di PET rivolto verso l'interno, su di un piano di polistirene espanso spesso 3 mm, che presenta

sull'altra faccia un secondo foglio di PET e di rame di 18  $\mu\text{m}$  posto a massa. Tra le strisce di lettura ed il pannello di massa trova posto l'elettronica di *front-end* (fig. 9). Le strisce sono separate l'una dall'altra da una distanza di 2 mm, all'interno della quale trova posto un conduttore di larghezza 0.3 mm che, collegato a massa, permette di limitare l'accoppiamento elettrico di strisce contigue.

La scheda con l'elettronica di *front-end* contiene otto canali. I circuiti interni sono costituiti da tre stadi di amplificazione connessi ad un comparatore con soglia variabile a partire da un minimo di 50  $\mu\text{V}$ , che fornisce in uscita un impulso discriminato.

La struttura precedente, a cui è dato il nome di elettrodo di lettura, viene posta sulle due facce del *gas volume*, con i piani delle strisce rivolti verso di esse, disponendo le due serie di strisce perpendicolarmente le une alle altre per misurare le due coordinate, indicate con i simboli  $\eta$  e  $\varphi$  (fig. 11).

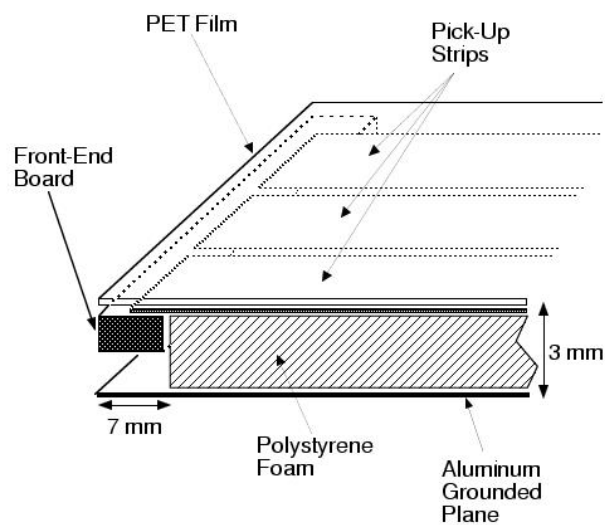
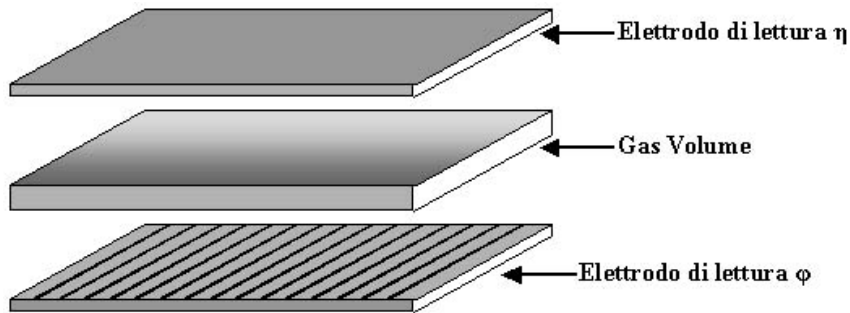


Figura 10: Struttura di un elettrodo di lettura.



**Figura 11: Disposizione elettrodi di lettura intorno al *gas volume*.**

In realtà la struttura appena descritta è semplificata rispetto a quella degli RPC effettivamente utilizzati in ATLAS, che prevede l'utilizzo di quattro RPC indipendenti assemblati nella stessa unità e posizionati su due diversi strati. Questa configurazione assicurerà il funzionamento del rivelatore anche nel caso in cui uno degli RPC costituenti dovesse essere guasto. Chiameremo ***Layer 1*** l'insieme dei due RPC ubicati sotto e ***Layer 2*** l'insieme di quelli posizionati sopra.

### 1.5.1 Principio di funzionamento di un RPC

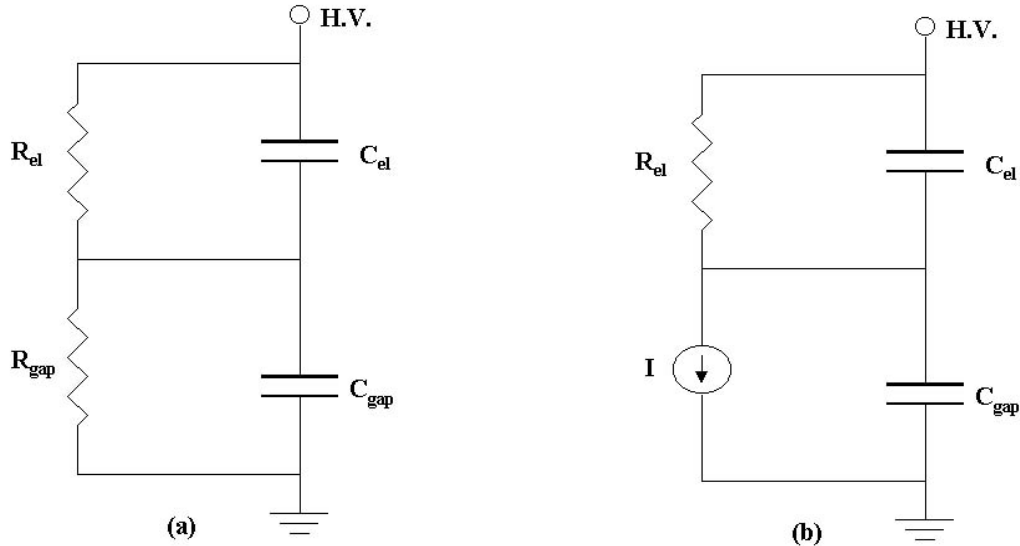
Il principio fondamentale su cui si basa l'RPC è la ionizzazione di una miscela di gas prodotta dalle particelle che attraversano il mezzo. Un campo elettrico uniforme di alcuni kV/mm produce la moltiplicazione a valanga degli elettroni di prima ionizzazione, il segnale è letto per accoppiamento capacitivo sugli elettrodi di lettura posti su entrambi i lati del *gas volume*.

L'analisi del segnale generato in un RPC può essere effettuata mediante lo studio di un circuito equivalente che schematizzi una cella di scarica, dove, per **cella di scarica** si intende un condensatore piano avente come superficie quella su cui si addensa la carica raccolta da un elettrodo. La superficie di ciascuna cella è

proporzionale alla carica totale  $Q$  liberata nel gas  $S = \frac{Q \cdot g}{\epsilon_0 \cdot V_0}$

dove  $g$  è lo spessore della *gap* di gas e  $V_0$  la differenza di potenziale applicata agli elettrodi. Il circuito equivalente, in assenza di ionizzazione del gas, è mostrato in

figura 12 (a). In questo caso  $R_{el}$  è la resistenza degli elettrodi, mentre il valore della resistenza della *gap* ( $R_{gap}$ ) risulta infinito, cioè l'alta tensione è applicata interamente ai capi della *gap* di gas. Al passaggio della particella, si innesca un processo di moltiplicazione della carica primaria nel gas ed il corrispondente circuito equivalente è in riportato in figura 12 (b).



**Figura 12: Circuiti equivalenti di un RPC.**

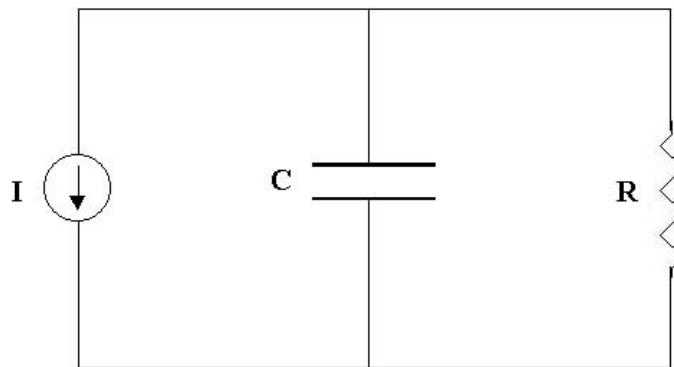
La carica prodotta è schematizzata da un generatore di corrente, il quale, provoca una diminuzione della tensione ai capi della *gap*: il condensatore  $C_{gap}$  si scarica e la tensione inizialmente applicata al gas viene trasferita ai piani di bakelite, cioè al condensatore  $C_{el}$ . Si verifica un aumento della differenza di potenziale ai capi degli elettrodi, in modo da bilanciare la diminuzione precedente ai capi della *gap* e mantenere  $V_0$  costante ai capi della cella. Il sistema torna nelle condizioni iniziali seguendo un andamento esponenziale con una costante di tempo  $\tau$ :

$$\tau = R_{el}(C_{el} + C_g) = \rho \epsilon_0 (\epsilon_r + 2 \frac{d}{g})$$

dove  $d$  lo spessore dei piani di bakelite,  $R_{el}$  la resistenza degli elettrodi,  $C_{el}$  e  $C_g$  le capacità degli elettrodi e della *gap* rispettivamente,  $\rho$  la resistività della bachelite e  $\epsilon_r$  la sua costante dielettrica, circa 5. Ricordando che la resistività della bachelite è circa  $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ , risulta  $\tau \sim 10$  ms. Questo intervallo di tempo deve essere confrontato con la durata della scarica, che in condizioni tipiche di lavoro di un RPC,

è pari a circa 10 ns. Nell'intervallo di tempo  $\tau$  di recupero delle condizioni iniziali, gli elettrodi si comportano come isolanti, impedendo un'ulteriore alimentazione della “valanga” di elettroni creatasi e favorendo, quindi, la soppressione del processo.

La corrente prodotta dalla scarica nel gas, induce un segnale sugli elettrodi di lettura. Il circuito equivalente di tali elettrodi può essere schematizzato come nella seguente figura.



**Figura 13 : Circuito equivalente di un elettrodo di lettura.**

Nel circuito equivalente,  $C$  è la capacità dell'elettrodo ed  $R$  la resistenza verso massa. In questo caso la costante di tempo risulta più piccola del tempo di salita del segnale stesso, evitando così integrazioni o distorsioni del segnale di corrente che risulta, in ogni istante, proporzionale alla corrente di scarica nel gas.

Per un RPC, si possono distinguere varie regioni di lavoro, in funzione delle tensioni applicate e delle miscele di gas utilizzate. In un grafico che riporti il segnale medio di carica, in scala logaritmica, in funzione della differenza di potenziale applicata agli elettrodi, è possibile osservare, una crescita esponenziale della carica, tipica del regime **proporzionale**, in cui l'ampiezza del segnale è proporzionale alla ionizzazione primaria. A tensioni più alte si osserva la presenza di una regione di transizione tra il regime proporzionale e quello **streamer**, ed infine, a tensioni ancora più elevate, si verificano delle intense scariche nel mezzo, tipiche della regione di **streamer**. Nell'esperimento ATLAS, gli RPC dovranno lavorare in regime proporzionale, scelta dettata dalla presenza di un alto fondo di ra-

diazioni. Per cercare di ritardare l'apparizione dello *streamer*, ed ampliare l'intervallo di tensioni in cui è possibile lavorare, sono stati adottati alcuni accorgimenti, tra cui l'utilizzo di un'opportuna miscela di gas, composta da Tetrafluoroetano ( $C_2H_2F_4$ ), Isobutano ( $C_4H_{10}$ ) ed Esafloruro di Zolfo ( $SF_6$ ) nelle percentuali 96.7%, 3.0% ed 0.3%. Il tetrafluoroetano è il gas ionizzato e per questo compone la maggior parte della miscela, l'isobutano ha la funzione di assorbire i fotoni prodotti nel gas, trasformando la loro energia in moti rotazionali e vibrazionali, ovvero attraverso procedimenti non radiativi. Infine l'esafoturo di zolfo, essendo molto elettronegativo, catturerà elettroni che possono innescare eventuali scariche.





## 2 La Stazione di Test per gli RPC

### 2.1 Descrizione della stazione di test

I rivelatori a piatti resistivi *Resistive Plate Chambers* (RPC) saranno ampiamente utilizzati nell'esperimento ATLAS (per circa 3500 m<sup>2</sup> di superficie) nell'apparato di *trigger* per muoni provenienti dal vertice di interazione (IP). Dopo essere stati assemblati, gli RPC sono suddivisi tra i tre diversi siti di produzione (Roma, Lecce e Napoli) onde essere sottoposti ad opportuni test di qualità utilizzando un sistema che sfrutta i raggi cosmici come particelle da rivelare e dotata di capacità di tracciamento per i muoni ( $\mu$ ).

La stazione di test del laboratorio di Napoli (fig. 19) ha le dimensioni di 3.3 m  $\times$  3.5 m  $\times$  1.5 m, ed è composta da due piani di rivelatori a scintillazione con funzione di *trigger* e due camere a deriva bidimensionali per il tracciamento dei muoni e l'individuazione del suo punto d'impatto sul rivelatore sotto test. I due piani sono movimentati singolarmente per mezzo di una coppia di motori, che permettono di effettuare spostamenti lungo la direzione x della stazione, in modo da poter scandire per tutta la loro lunghezza le unità sotto test.

Oltre alla struttura prettamente meccanica (*Tower*), la stazione è corredata di una serie di apparati, indispensabili per il suo funzionamento: dal sistema di acquisizione dati (DAQ), che permette di memorizzare tutti i dati riguardanti gli eventi fisici raccolti dai test, alla postazione per l'analisi *offline* degli stessi, al sistema per il monitoraggio dei parametri ambientali e di quelli che permettono il controllo delle condizioni di lavoro dei rivelatori (*Slow Control*). Ovviamente, i vari dispositivi non funzionano indipendentemente l'uno dall'altro, ma sono fortemente interagenti tra essi, secondo modalità che saranno chiarite di seguito.

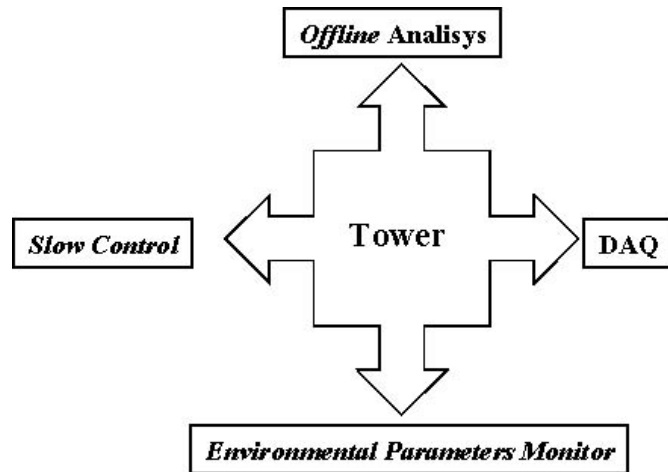


Figura 14: Schema logico della Stazione di Test.

### 2.1.1 Sistema di Trigger e Sistema di Tracciamento

Ciascun piano di *trigger* è composto da quattro scintillatori delle dimensioni di  $100 \times 25 \text{ cm}^2$ , affiancati l'uno all'altro lungo il lato maggiore, in modo da coprire una superficie di  $1 \text{ m}^2$ . Ogni scintillatore presenta alle due estremità (indicate con i termini left e right) una guida di luce ed un fotomoltiplicatore (fig. 15).

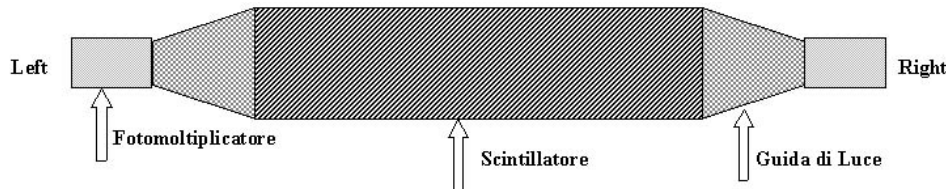


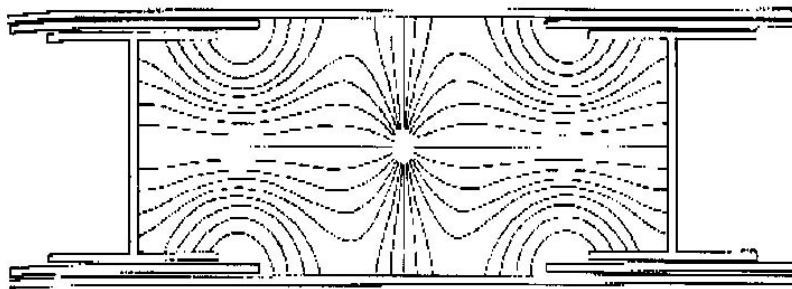
Figura 15: Schema di uno scintillatore.

Le uscite dei due fotomoltiplicatori, per ogni scintillatore, sono inviate, dopo la loro discriminazione in ampiezza, ad un baricentratore (*mean timer*), che provvede a mediare i tempi di arrivo del segnale dalle due estremità, in modo da renderlo indipendente dal punto d'impatto della particella lungo la lunghezza dello scintillatore.

Le camere a deriva, poste ad una distanza di circa 15 cm dai rispettivi piani di scintillatori, operano utilizzando una miscela di gas composta da argon e me-

tano nelle proporzioni 90% e 10%. La singola camera contiene quattro piani sovrapposti di celle di deriva, ognuna composta da due strutture parallele in alluminio (*I-beam*), spessi circa 1.5 mm, poste a tensione negativa, che fungono da catodo della cella, e da un filo centrale placcato in oro del diametro di 50  $\mu\text{m}$  posto a tensione positiva che funge da anodo. La struttura è completata con piani di alluminio posti a massa. La larghezza di una singola cella è circa 92 mm per una distanza massima di deriva pari a 46 mm, è lunga circa 1.3 m ed alta circa 29 mm.

Il principio di funzionamento, si basa sulla ionizzazione della miscela di gas dovuta al passaggio di una particella. La tensione applicata agli elettrodi insieme alla geometria della cella, fornisce un campo elettrico uniforme in un'ampia regione della cella (fig. 16).



**Figura 16: Spaccato di una cella di drift con linee di campo.**

Gli elettroni di ionizzazione, si muovono in questo campo fino a raggiungere il filo anodico, in vicinanza del quale il campo elettrico è intenso abbastanza da innescare un processo di moltiplicazione, a seguito del quale, su tale filo è possibile rivelare un impulso negativo, dovuto all'allontanamento degli ioni positivi scaturiti dal processo di moltiplicazione. La misura dell'intervallo di tempo  $\Delta t$  che intercorre tra il passaggio della particella, segnalato dagli scintillatori, e la presenza dell'impulso sul filo anodico, unitamente alla conoscenza della velocità di deriva, permette di risalire alla distanza  $\Delta x$  tra filo anodico ed il punto d'impatto della particella.

Ogni camera è costituita da quattro piani di celle, due dei quali misurano la coordinata  $x$  e due quella  $y$  (fig. 17). Ogni piano è costituito da 12 celle e quelli

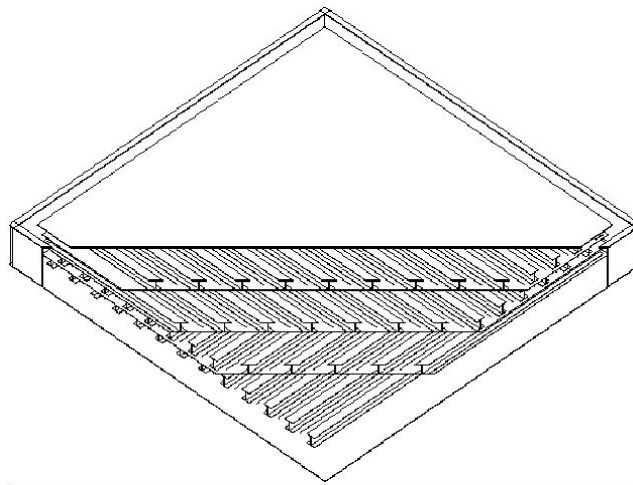


Figura 17: Struttura di una camera a drift.

riferiti alla stessa coordinata sono sfalsati di 46 mm, per permettere di risolvere l'ambiguità destra/sinistra: se la particella è passata nella cella  $n$  del piano inferiore ad una distanza  $x_1$  dal filo anodico, l'ambiguità destra/sinistra nell'individuazione del lato attraversato dalla particella viene rimossa osservando quale delle celle del piano superiore è interessata dal segnale (fig. 18).

Le tensioni di lavoro applicate sono: -2500 V al Catodo (*I-Beam*) e +2300 V all'anodo (filo).

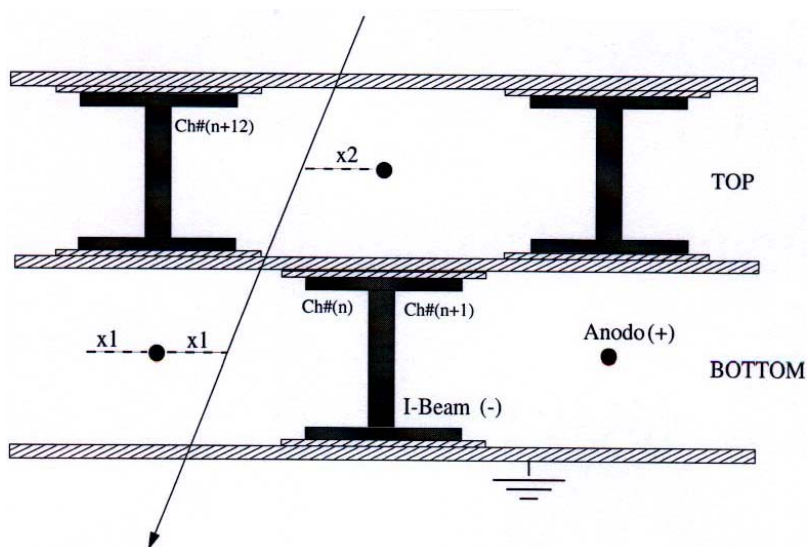


Figura 18: Esempio di passaggio di una particella nella camera.

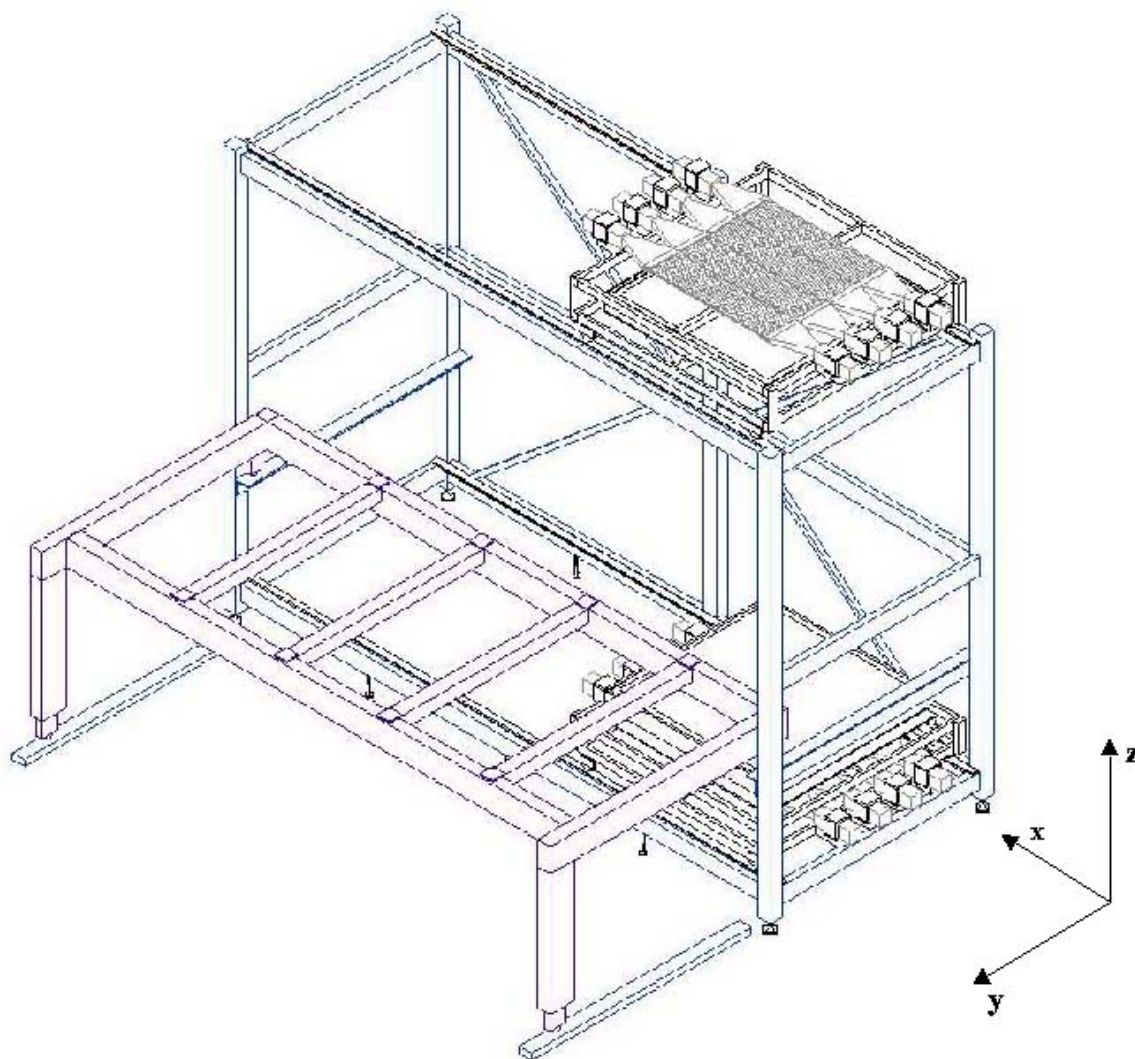


Figura 19: Vista tridimensionale della Tower.

### 2.1.2 Configurazioni e nomenclatura degli RPC

La famiglia degli RPC è suddivisa in due classi in base alla posizione occupata dalle unità all'interno dello spettrometro per muoni. Queste classi prendono il nome di *Special* e *Standard*.

Sono chiamate *Special* le unità che ricopriranno lo spettrometro nelle zone in cui saranno presenti degli ostacoli di tipo meccanico. Per esempio, ci saranno degli

RPC *Special* che presenteranno un foro al centro che permetterà il passaggio dei corridoi di allineamento delle MDT (vedi par. 1.3.1). La superficie coperta da questo tipo di camere, comunque, è inferiore al 3% della superficie totale dello spettrometro.

Le unità *Standard* hanno essenzialmente tutte la stessa configurazione meccanica e differiscono tra esse soltanto per le dimensioni. Queste unità rappresentano la maggioranza (~97%) della produzione, per un totale di circa 1000 unità. La differenza tra le varie unità *Standard* sta nel fatto che i lati corti differiscono per multipli interi di 120 mm ed, in base a questa lunghezza, sono identificate con un'apposita sigla, come evidenzia la seguente tabella:

|           |                |
|-----------|----------------|
| <b>A</b>  | <b>1200 mm</b> |
| <b>B</b>  | <b>1080 mm</b> |
| <b>C</b>  | <b>960 mm</b>  |
| <b>C*</b> | <b>960 mm</b>  |
| <b>D</b>  | <b>840 mm</b>  |
| <b>E</b>  | <b>720 mm</b>  |
| <b>E*</b> | <b>720 mm</b>  |
| <b>F</b>  | <b>600 mm</b>  |
| <b>G</b>  | <b>480 mm</b>  |

**Tabella 1: Classificazione Unità Standard.**

Le lettere riportate con l'asterisco indicano che le camere non si sovrappongono con le unità adiacenti. Oltre alla sigla riportata nella precedente tabella, una camera è univocamente definita con un codice standard del tipo **BX<sub>1</sub>X<sub>2</sub>-T-N<sub>1</sub>N<sub>2</sub>N<sub>3</sub>**.

La lettera **B** indica che si tratta di unità da montare nella regione di *Barrel* dello spettrometro. X<sub>1</sub> è **O** per la parte *Outer* oppure **M** per la parte *Middle*. X<sub>2</sub> è **S** per la regione *Small* oppure **L** per la regione *Large*. Il parametro **T** segue l'ordine dato nella tabella1. Infine, N<sub>1</sub>N<sub>2</sub>N<sub>3</sub> indicano il numero della camera. Esempi di codici sono: BOL-B-000, BMS-D-010 etc.

Oltre che per le dimensioni, le camere possono differire anche per il numero di volumi di gas che le compongono. Tutte le camere utilizzate sono costituite da quattro volumi di gas, eccetto le BMS che ne contengono due. I volumi, che siano due o quattro, sono sempre disposti su due piani, chiamati *Layer* (Fig. 21). Un osservatore, rivolto verso la *tower* lasciandosi alle spalle il DAQ, chiamerà lato EST quello relativo alla sua destra e WEST quello relativo alla sua sinistra.

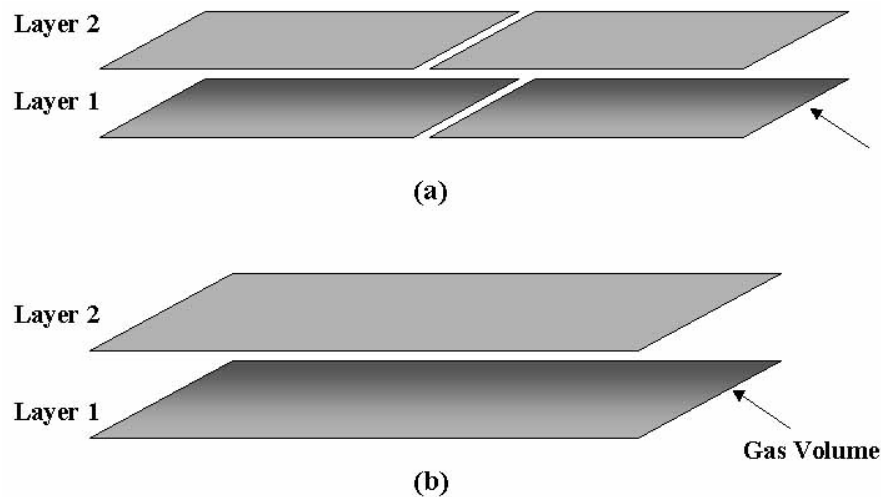


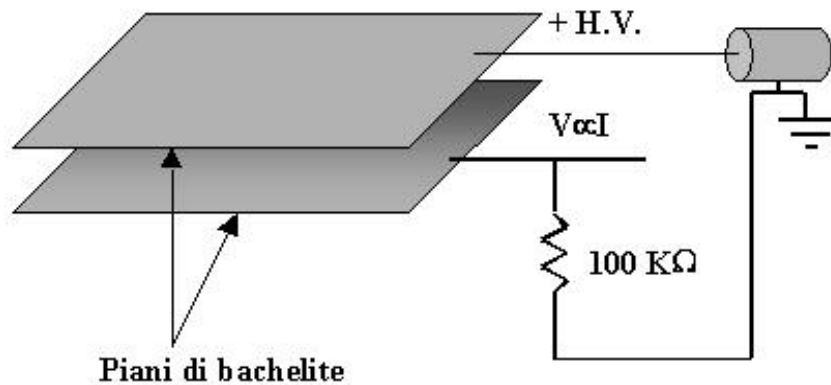
Figura 20: Disposizione dei gas volume. (a) Quattro gas volume. (b) Due gas volume.

### 2.1.3 Slow Control

Tutti i dispositivi costituenti la *Tower* (camere a deriva, scintillatori e RPC) producono due categorie d'informazioni: quelle legate ai segnali generati dagli eventi fisici e quelle ausiliarie relative al loro modo di funzionamento. Questi entrano nel sistema d'acquisizione (DAQ) ordinario secondo modalità che vedremo in seguito. Ci sono altri parametri che costituiscono la parte denominata "*Slow Control*", che oltre ad entrare nel DAQ devono essere costantemente monitorati poiché permettono di controllare le condizioni di lavoro degli RPC durante l'intero periodo di test. Alcuni di questi sono tenuti costanti durante le operazioni di test (p.e. la composizione delle miscele dei gas, sia per le camere a deriva che per gli RPC), altri servono quale riferimento futuro durante l'analisi dei dati.

Riassumiamo brevemente questi parametri:

- **Composizione miscele di gas:**
  - Composizione miscela per gli RPC (96.7% tetrafluoroetano, 3.0% isobutano, 0.3% esafluoruro di zolfo).
  - Composizione miscela per le camere a deriva (90% argon, 10% metano).
- **Correnti di gap sull'alta tensione:** permettono di controllare il corretto funzionamento di un RPC. Le correnti sono quelle assorbite quando l'alta tensione è applicata ai piani di bachelite, e viene rivelata secondo il seguente schema:



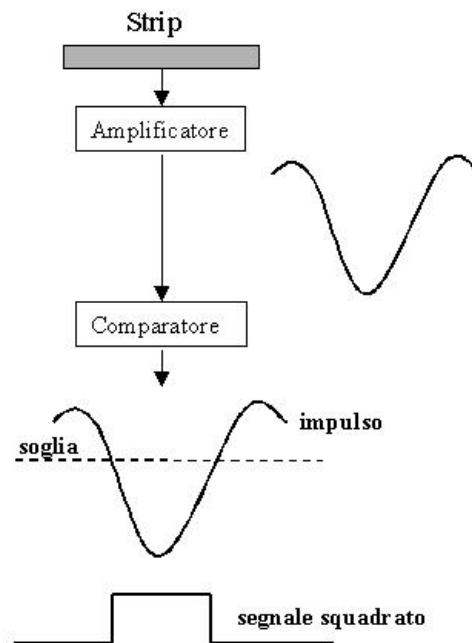
Il valore dell'alta tensione applicata è dell'ordine della decina di kV e, a seconda del tipo di RPC, avremo 2 o 4 correnti di gap per ogni RPC.

- **Consumi di corrente sulla bassa tensione:** fanno da ausilio al controllo del corretto funzionamento dell'elettronica di *front-end* (*FE*). Alcune anomalie, si possono manifestare attraverso un assorbimento anomalo di corrente da parte delle schede di *FE*. Precedentemente, si è visto che un RPC è costituito da più unità indipendenti, due o quattro, disposte sempre su due *layer* (fig.20). Questa configurazione comporta il monitoraggio di due correnti, quella assorbita dall'elettronica del primo *layer* e quella assorbita dal secondo *layer*. Nella corrente relativa dal singolo *layer* si



condo *layer*. Nella corrente relativa dal singolo *layer* si ritrovano le correnti assorbite dall'elettronica di front-end montate sui singoli piani di lettura  $\eta$  e  $\varphi$ .

- **Sovrappressione all'interno dei volumi di gas:** permette di seguire l'andamento della pressione della miscela di gas all'interno delle *gap* degli RPC. Un comportamento anomalo è sintomo di eventuali perdite delle *gap* o di mancata adesione dei piani di bachelite dovute alla rottura degli spaziatori.
- **Controllo delle soglie dei discriminatori dell'elettronica di Font-End:** ogni scheda di *FE* è costituita da otto canali e da un circuito composto da tre stadi di amplificazione connessi con un comparatore a soglia variabile nell'intervallo  $-2V \div 0V$  circa. Il comparatore fornisce in uscita un segnale squadrato. Quando una strip è "colpita" da un muone un impulso negativo viene generato e trasformato in un segnale squadrato.



Si ricordi che per ogni *layer* ci sono due piani di lettura, riferiti alle coordinate  $\eta$  e  $\varphi$ ; per entrambi bisogna fissare una soglia. In definitiva

per ogni RPC, indipendentemente dalla configurazione, sono 4 le soglie da fissare.

- **Temperatura ambiente.**
- **Pressione atmosferica.**
- **Umidità.**

Questi parametri sono misurati dal sistema di *slow control* mediante l'uso di un opportuno hardware.

#### **2.1.4 La strumentazione per il DAQ**

L'acquisizione dati della stazione di test coinvolge tutti e quattro i sistemi che la compongono: *trigger*, RPC, camere a deriva e parametri ambientali, ed avviene in passi successivi, schematizzati di seguito:

- Acquisizione dei segnali dai rivelatori mediante una complessa strumentazione costituita essenzialmente da *crate* CAMAC e VME opportunamente connessi tra loro e con i rivelatori.
- Acquisizione dei parametri ambientali, mediante connessione su rete *ethernet* con il sistema di monitoraggio, cui afferiscono fisicamente i segnali prelevati dall'ambiente.
- Registrazione dei dati sotto forma di file ASCII con un formato ben definito.

Considerata la complessità dell'apparato di DAQ, lo schema riportato in figura 20 risulta essenziale per esplicitare quali sono le parti utilizzate e come queste sono connesse.

Al fine della comprensione, ci si limita soltanto a dire che mediante il *crate* VME si leggono i segnali provenienti dalle camere a deriva e dagli RPC, e mediante il CAMAC quelli provenienti dagli scintillatori. La connessione CAMAC-VME è possibile grazie all'utilizzo di un controller, presente nel *crate* VME che permette la gestione di un *crate* CAMAC.

La parte di registrazione dei dati è gestita da una serie di programmi LabVIEW che permettono ad un PC di leggere, tramite opportune interfacce (PCI-MXI), i registri in cui sono contenute le informazioni utili. Come già detto prima, questi dati sono salvati in opportuni file ASCII, con l'aggiunta dei dati relativi agli *slow control*. L'aggiunta di questi parametri serve per la successiva analisi *offline*, non trattata in questo lavoro.

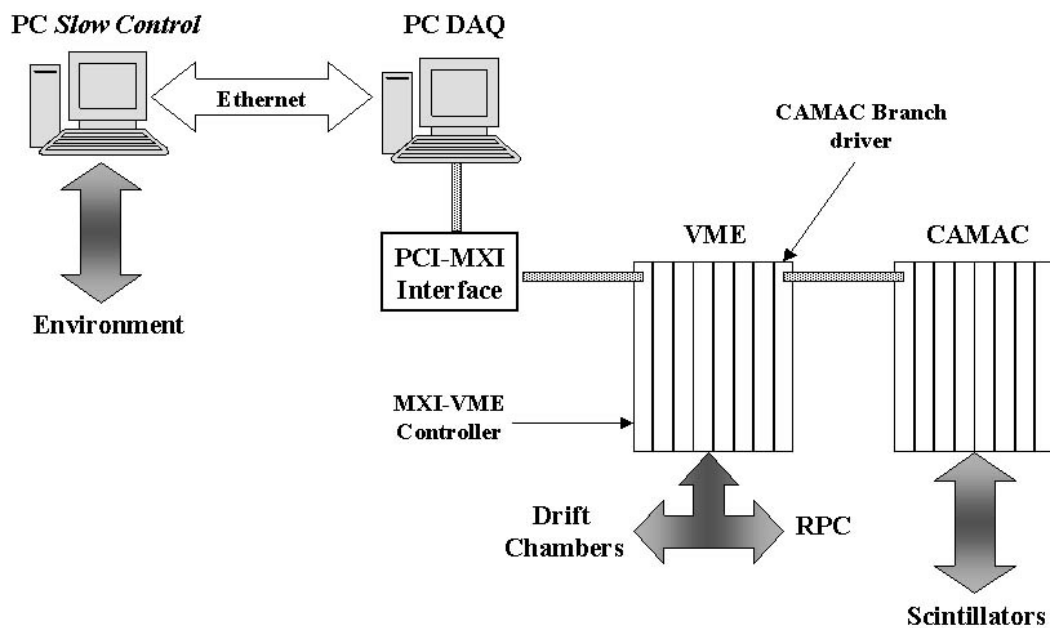


Figura 21: Schema dell'apparato DAQ.

## 2.2 Test previsti sugli RPC

La stazione di test è stata costruita per studiare la caratterizzazione degli RPC. Questi sono sottoposti ad una lunga serie di test per poterne stabilire la qualità e, conseguentemente, scartare gli esemplari che non soddisfino certi criteri.

I test effettuati sono i seguenti:

- **Test elettrico:** serve a stabilire la qualità delle connessioni dell'elettronica di *front-end* e di *back-end* su tutte le strip di un ri-

velatore, evidenziando eventuali malfunzionamenti delle schede elettroniche.

- **Test sulla tenuta dei volumi di gas:** permette di verificare che i *gas volume* degli RPC non sono affetti da perdite superiori ad un limite fissato. Questo test è fondamentale per la qualità del funzionamento degli RPC. Inoltre, esso garantisce la sicurezza delle persone che lavoreranno a stretto contatto con lo spettrometro montato in un antro a molti metri di profondità, in cui si possono accumulare grandi quantità di gas nocivi. Bisogna sottolineare, inoltre, l'importanza economica della situazione, in quanto eventuali perdite nei *gas volume* causerebbero la dispersione in aria di ingenti quantità di gas non propriamente economici.

Verificata la tenuta, i volumi saranno attraversati da un flusso di gas ad una sovrappressione di circa 0.5 hPa per 24 ore. Questa operazione consente di avere l'RPC pronto per il test successivo.

- **Test sull'alta tensione:** serve a stabilire l'intensità delle correnti che attraversano i volumi di gas, quando a questi viene applicata l'alta tensione, secondo il circuito visto in precedenza.
- **Test sull'efficienza ed uniformità:** serve a stabilire la completa efficienza di un RPC e l'uniformità sull'intera superficie dello stesso. Gli studi di uniformità sono fatti suddividendo la superficie degli RPC in zone, denominate *pads*. Un RPC sarà considerato efficiente, se ogni *pads* risulterà avere un'efficienza superiore al 97% ed avrà un comportamento uniforme se tutte le *pads* raggiungeranno il 50% dell'efficienza ad una tensione di lavoro comune entro i 200 V.

Ogni RPC è sottoposto ai precedenti test, e poiché il numero di unità da testare a Napoli è di circa 350, si intuisce l'impossibilità di operare manualmente. Per questo la nostra stazione è stata progettata in modo che le operazioni di test avvengano nella maniera più automatica possibile. E' necessario soltanto caricare gli RPC

sulla torre (a regime permetterà l'alloggiamento di 8 unità per volta), avviare la procedura di test, attenderne la fine ed analizzare i report prodotti automaticamente.

Nei prossimi capitoli saranno illustrati i dettagli sulla natura dei test.



### 3 Lo “Slow Control”

In questo capitolo si focalizzerà l’attenzione sulla prima parte del lavoro di tesi, ossia la realizzazione del sistema di monitoraggio e controllo (denominato “*Slow Control*”) di tutti quei parametri introdotti nel precedente capitolo. Si analizzerà dettagliatamente il sistema in tutte le sue parti, evidenziando le ragioni che hanno portato ad adottare opportune soluzioni *hardware e software*.

Il sistema implementa quello che, nel campo dell’automazione industriale, prende il nome di “Sistema di Controllo Distribuito” (**DCS**), cioè un sistema costituito da più unità di elaborazione autonome che supportano un insieme di processi, gestiscono opportune basi di dati e che interagiscono cooperando per raggiungere un dato obiettivo. I processi si coordinano e si scambiano informazioni tramite una rete di comunicazione. In questo caso, le unità di elaborazione sono tre Personal Computer, ognuno dei quali adibito ad uno specifico compito e la rete di comunicazione utilizzata è la rete *intranet* del Dipartimento di Scienze Fisiche, basata su *Ethernet* a 100 Mbps e protocollo TCP-IP.

Le caratteristiche principali considerate e ottimizzate per avere un sistema efficiente e robusto, sono elencate di seguito con i possibili vantaggi ricavabili:

- **Tempo di risposta:** inteso come intervallo di tempo atteso dalle unità di calcolo per accedere ai dati raccolti dal campo (*data point*). I parametri trattati sono grandezze che variano lentamente nel tempo (frequenze di frazioni di mHz) e questo implica la possibilità di utilizzare dell’elettronica in cui la frequenza di campionamento non sia eccessivamente spinta. Quello che più importa è l’ottimizzazione della velocità con cui i dati sono scambiati tra i vari PC del sistema. E’ proprio questa caratteristica che lo rende fortemente *real-time*.
- **Modularità:** possibilità di ampliare il sistema in qualsivoglia momento con l’aggiunta dei necessari moduli hardware e del software per il relativo funzionamento. La modularità permette una gestione

accurata ed efficace, sia dal punto di vista della manutenzione che dell'estendibilità del sistema. Non sarà necessario riconfigurare l'intero sistema ogni qual volta si renderanno necessarie delle modifiche o delle aggiunte.

- **Integrità:** intesa come immunità del sistema a guasti hardware o software. Si chiarisca questo punto: per la parte hardware i guasti potrebbero dipendere da incompatibilità dei molteplici moduli elettronici utilizzati, o da calibrazioni errate sui vari strumenti per misurare certe grandezze. Per la parte software, invece, i guasti potrebbero sorgere da un'implementazione errata di qualche routine. Per questo è stata curata in dettaglio la linearità dei programmi scritti, in modo che funzionino il più fluidamente possibile e che siano oltremodo scritti nella maniera più chiara, di modo da permettere interventi di “*debugging*” o estensioni senza eccessivi problemi legati alla comprensione di quanto già scritto. Ovviamente il sistema non è immune da guasti di qualsiasi altra natura (rottura di un ADC o di un DAC, di un alimentatore di bassa tensione ecc.). Ci si è soffermati molto su questo punto, dal momento che non è possibile avere tempi dei morti nell'utilizzo della stazione, una volta che questa funzionerà a regime e gli RPC da testare saranno in gran numero.

### **3.1 Configurazione del sistema di Slow Control**

Il sistema di controllo distribuito è costituito da tre Personal Computer, connessi tra loro mediante rete *Ethernet*: ogni PC si occupa di un compito specifico ed interagisce con gli altri attraverso uno scambio continuo d'informazioni. Elenchiamo quali sono e di cosa si occupano questi PC, ad ognuno dei quali è assegnato un nome mnemonico che lo identifica:



- **PC\_SC:** personal computer configurato per il monitoraggio ed il controllo degli Slow Control. E' connesso a tutto l'hardware che permetterà di prelevare dal campo i segnali ed usufruisce di opportuni programmi LabVIEW che permettono di interfacciarsi con esso. La parte hardware consta di un *rack* per la gestione delle correnti sulle basse tensioni e per le letture delle correnti di gap sulle alte tensioni, un *rack* per i parametri ambientali e per quelli relativi alla distribuzione dei gas e di un alimentatore di alta tensione C.A.E.N SY 127, connesso mediante una scheda IDE A330A sempre della C.A.E.N.
- **PC\_DAQ:** personal computer configurato per effettuare l'acquisizione dei dati che permettono di studiare il comportamento e le prestazioni degli RPC. E' connesso con tutta la strumentazione per l'acquisizione dati (crate VME e CAMAC), secondo la configurazione introdotta nel precedente capitolo, e ad un controllore di motori a passo per il movimento dei blocchi camere a deriva - piani di scintillatori.
- **PC\_GAS:** personal computer configurato per monitorare l'impianto di distribuzione del gas nei vari laboratori del dipartimento. Questo PC ha un duplice ruolo. Oltre a svolgere l'attività appena detta, fornisce un'ampia classe d'informazioni utili per gli altri PC: si va dalle composizioni delle miscele di gas utilizzate nella *tower* a misure di flusso delle varie linee di distribuzione dei gas.

Questa descrizione evidenzia il ruolo centrale svolto dal PC\_SC, che effettua uno scambio mutuo d'informazioni con il PC\_GAS e ne fornisce un gran numero a PC\_DAQ, che le utilizza per le operazioni d'acquisizione vere e proprie per poi, alla fine, inserirle nei *file* finali prodotti dall'acquisizione.

### 3.1.1 L'hardware del sistema di Slow Control

Fino a questo momento si è descritto in modo riassuntivo la struttura del sistema di controllo, concentrandosi essenzialmente sui principi di funzionamento. Si ri-

cordi che una delle caratteristiche su cui si è posta molta attenzione è la modularità, fondamentale per una gestione efficiente e semplificata, nonché dell'estendibilità dell'intero sistema.

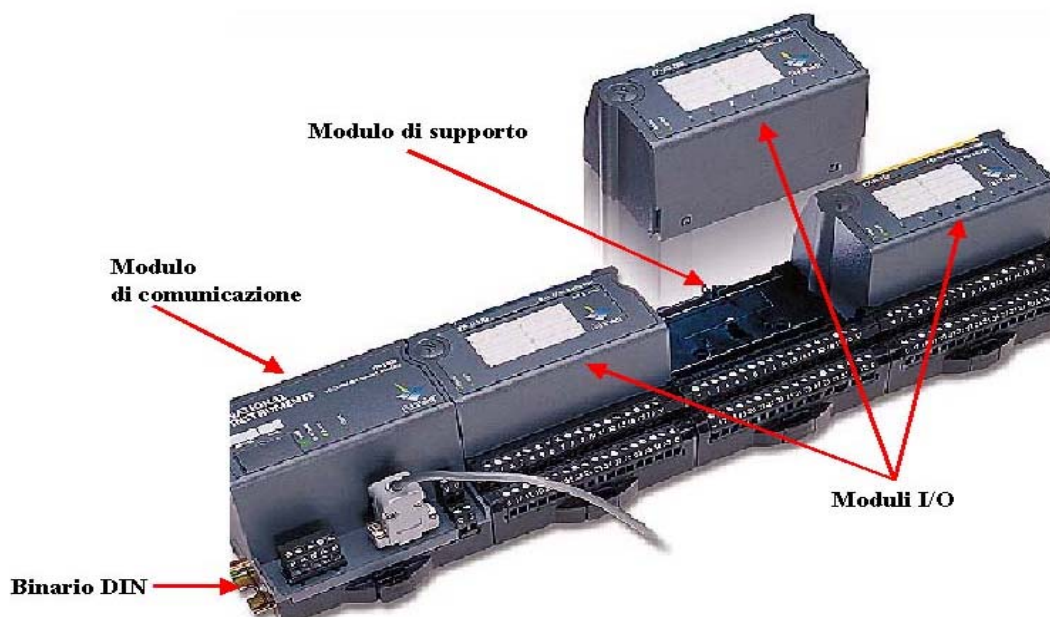
L'ottimizzazione di questa caratteristica ha implicato un'attenta analisi sulle varie soluzioni hardware da adottare nella realizzazione della stazione. Molte le possibilità analizzate e molte quelle scartate per incompatibilità con le nostre esigenze sia pratiche che economiche. Alla fine, l'attenzione si è concentrata su una classe di prodotti forniti dalla National Instruments chiamati "**Field Point**", che forniva il miglior rapporto qualità prezzo e più si avvicinava alle nostre esigenze. La gamma di prodotti *Field Point* introduce un'architettura innovativa nel campo dell'automazione industriale. Infatti, prevede tre classi di moduli (fig. 22):

- Moduli di I/O.
- Moduli di comunicazione.
- Moduli di supporto.

La classe dei moduli di I/O include tutti i possibili tipi di dispositivi di Input/Output analogici e digitali. Quelli maggiormente utilizzati sono:

- Ingressi analogici ad 8 ed a 16 canali, utilizzati per leggere segnali dal campo, in corrente o in tensione.
- Uscite analogiche ad 8 o a 16 canali, utilizzati per fissare un determinato segnale ad un dato valore di tensione o corrente.
- Uscite digitali a 16 canali, utilizzati per accendere o spegnere opportuni interruttori.

I moduli di comunicazione permettono di connettere un insieme di moduli *Field Point* (la configurazione d'utilizzo prevede più dispositivi di I/O ed uno di comunicazione) ad un PC o ad altri insiemi di Field Point, propriamente detti **Stazioni**.



**Figura 22: Esempio di stazione *Fiel Point*.**

Gli standard di comunicazione supportati sono:

- Ethernet TCP/IP.
- RS-232 e RS-485.
- Wireless.
- Foundation Fieldbus H1.

Quest'ampia scelta di protocolli di comunicazione ha reso possibile lo sfruttamento ottimale della rete di comunicazione preesistente, per la parte riguardante lo scambio d'informazioni tra PC, nonché la connessione dei PC con le stazioni stesse. L'utilizzo dell'*Ethernet* comporta molti vantaggi: è già installata, è molto veloce e fa uso del protocollo standard TCP/IP riconosciuto da tutti i moderni computer e dal sistema operativo Microsoft Windows 98®, utilizzato da tutti e tre i PC. L'RS-232 permette di semplificare le operazioni di collegamento dei dispositivi di I/O con il PC, mentre l'RS-485 è uno standard utilizzato per le lunghe di-

stanze, grandemente immune dal rumore e, pertanto, idoneo in ambiente industriale.

I moduli di supporto, infine, sono essenziali perché, oltre a fornire una base d'appoggio su cui alloggiare i vari moduli costituenti una stazione, ne permettono l'alimentazione e la comunicazione con altri moduli attraverso un BUS interno ad essi.

Altre caratteristiche importanti dei Field Point, che li collocano proprio nella categoria di affidabilità industriale sono:

- Ampio range di temperature in cui è garantito il corretto funzionamento (-40 ÷ 70 °C).
- Montaggio su binari DIN.
- Processore on-board per la diagnostica automatica dei problemi dei moduli.

Oltre a queste caratteristiche prevalentemente hardware, c'è un'ampia varietà di servizi software forniti dalla casa costruttrice, di cui discuteremo in dettaglio nel prossimo paragrafo.

La configurazione del sistema di controllo prevede la presenza di tre stazioni di *Field Point*, ognuna delle quali manipolerà un certo numero di segnali. Anticipiamo che una stazione di FP può essere costituita al massimo da nove moduli, oltre a quello di comunicazione, e che in una rete di stazioni Field Point possono esserci al massimo 25 moduli di comunicazione, per un totale di 225 moduli FP. L'organizzazione delle varie stazioni può basarsi su diverse configurazioni, in base al protocollo di comunicazione scelto tra quelli disponibili (Ethernet, FieldBus, ecc.).

La vicinanza tra i rack della strumentazione (max 3-4 m) e quella tra il PC\_SC ed i rack stessi (max 5 m) ci ha condotto ad una configurazione mista RS-232 e RS-485, chiamata tecnicamente configurazione a **grappolo**.

Essa prevede la presenza di una stazione FP “*Master*” connessa direttamente con il PC\_SC mediante porta seriale RS-232. La connessione tra le restanti ed il “*Master*” avviene attraverso porte seriali RS-485. La presenza del doppio standard RS-232/RS-485 è possibile grazie all’utilizzo del modulo **FP-1000**, con incluse entrambe le seriali, nella stazione connessa direttamente al PC\_SC e dei moduli **FP-1001** con la sola RS-485 nelle rimanenti stazioni.

La configurazione è schematizzata nella seguente figura:

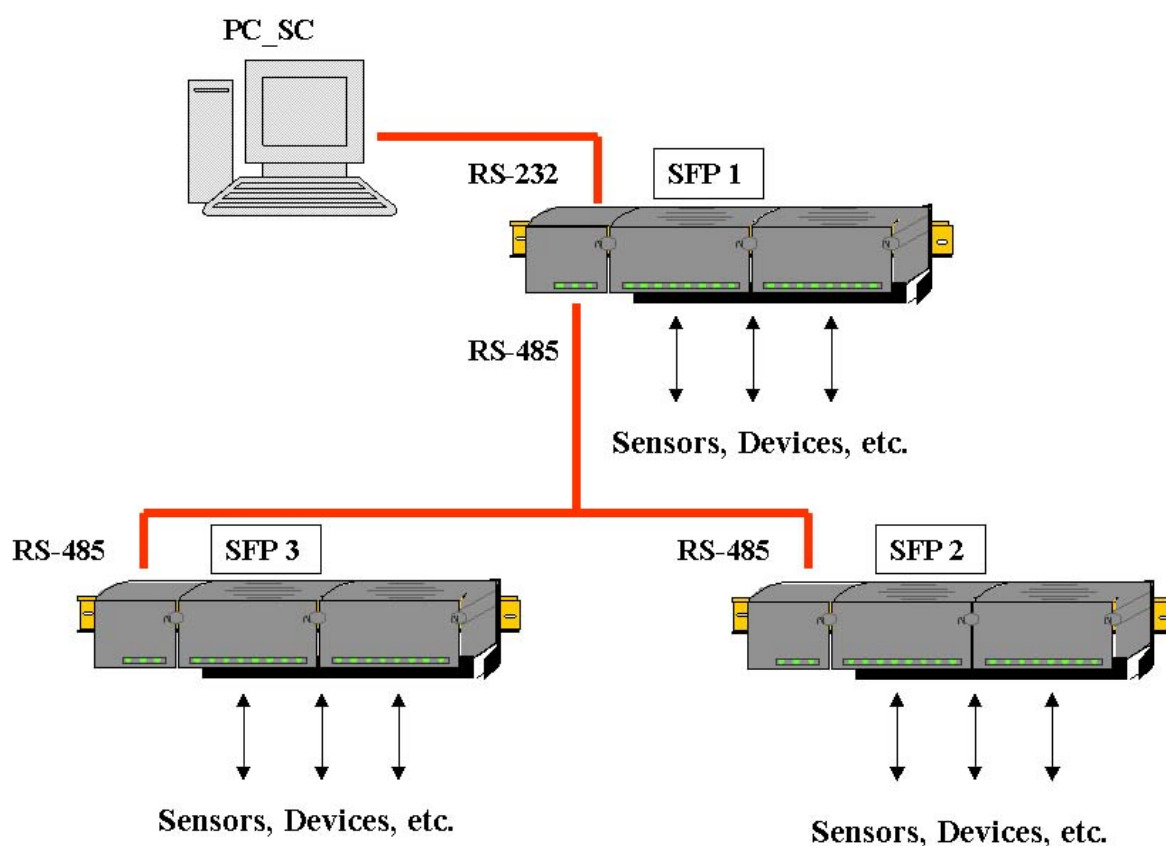


Figura 23: Configurazione stazioni *Field Point*.

Come evidenziato nel precedente schema, le tre stazioni *Field Point* saranno indicate con i nomi **SFP1**, **SFP2** e **SFP3**. Vediamole in dettaglio:

- **SFP1**: alloggiata all’interno del rack contenente gli alimentatori per le basse tensioni e costituita da 9 moduli FP più il modulo (**FP-1000**) per la trasmissione dei dati, tramite seriale (RS-232). Di questi 9 moduli, 5 sono

per gli ingressi analogici (**FP-AI-110**) e 4 sono per le uscite analogiche (**FP-AO-200**). In totale sono disponibili 40 ingressi analogici (8 per ogni modulo FP-AI-110) e 32 uscite analogiche (8 per ogni modulo FP-AO-200). Dei 40, 32 ingressi servono per effettuare la lettura in differenziale delle 16 correnti di alimentazione sui -5V forniti da altrettanti alimentatori di bassa tensione (sono utilizzati 2 alimentatori per ogni RPC); 2 ingressi sono utilizzati per la lettura delle temperature, indicate con UP e DOWN, riferite a due sensori posti nella parte superiore ed inferiore della stazione di test; 2 canali sono utilizzati per la lettura di altrettanti sensori di prossimità, utilizzati per verificare se il pianale mobile della stazione si trova in una delle due posizioni possibili, dentro oppure fuori, ma anche per avere una misura corretta dello stesso rispetto alla struttura fissa, misure utilizzate per verificare l'allineamento degli RPC; un ultimo canale permette di leggere una sonda d'umidità. Restano 3 canali utilizzati come riserva in caso di guasti. I 32 canali di uscita sono utilizzati per la generazione di 32 soglie di tensione dei discriminatori dell'elettronica di FE (ricordiamo (par. 2.1.3) che ogni RPC necessita di 4 soglie).

| <i>Moduli</i>    | <i>Tipo</i>  | <i>N°</i>     | <i>N°</i>     | <i>Tot.</i>   | <i>Parametri</i>  |
|------------------|--|---------------|---------------|---------------|---|
|                  |  | <i>Moduli</i> | <i>Canali</i> | <i>Canali</i> |   |
| <b>FP-AI-110</b> | Ingresso Analogico sia in tensione che in corrente | 5             | 8             | 40            | 32 correnti sulle basse tensioni, 2 temperature, umidità, 2 posizioni |
| <b>FP-AO-200</b> | Uscita Analogica in corrente                       | 4             | 8             | 32            | 32 tensioni per i comparatori   |

**Tabella 2: Utilizzo moduli Stazione Field Point 1 (SFP1).**

- **SFP2:** alloggiata all'interno del rack delle basse tensioni, è costituita da 4 moduli per l'ingresso analogico (**FP-AI-110**) per un totale di 32 ingressi, e

del modulo di comunicazione su RS-485 (**FP-1001**). I 32 ingressi sono utilizzati per la lettura delle correnti di gap sull'alta tensione, con le specifiche riportate nel par. 2.1.3. L'alta tensione è fornita, invece, da un alimentatore C.A.E.N SY 127 che offre la possibilità di gestire 40 canali indipendenti.

| <i>Moduli</i>    | <i>Tipo</i>  | <i>N° Moduli</i> | <i>N° Canali</i> | <i>Tot. Canali</i> | <i>Parametri</i>                      |
|------------------|--|------------------|------------------|--------------------|---------------------------------------|
| <b>FP-AI-110</b> | Ingresso Analogico sia in tensione che in corrente | 4                | 8                | 32                 | 32 correnti di gap sull'alta tensione |

**Tabella 3: Utilizzo moduli Stazione Field Point 2 (SFP2).**

- **SFP3:** ubicata all'interno del *rack* utilizzato per la distribuzione della miscela di gas agli RPC, esso provvede al funzionamento dello stesso. Infatti, permette di tenere sotto controllo tutto ciò che riguarda la distribuzione del gas. E' costituito da un modulo per gli ingressi analogici (**FP-AI-111**) per un totale di 16 canali e da due moduli per uscite digitali (**FP-DO-401**) che fornisce 32 uscite digitali. Dei 16 ingressi, 9 sono utilizzati per la lettura dei segnali relativi ai misuratori di pressione TEKKAL, uno per la misura della temperatura del gas che fluisce nell'impianto di distribuzione, un altro per la misura della pressione atmosferica. I restanti 5 canali sono di riserva. Le uscite digitali permettono il pilotaggio di 21 elettrovalvole, di cui 18 servono per il controllo delle valvole d'ingresso e d'uscita di 8 linee connesse agli RPC e di un'ulteriore linea connessa ad una camera utilizzata come riferimento nella lettura delle pressioni, che avviene in differenziale e le altre 3 sono utilizzate per il controllo di 3 elettrovalvole usate per l'apertura e la chiusura della valvola del flusso principale e per la selezione globale del livello del flusso (elevato o ridotto).

| <i>Moduli</i>           | <i>Tipo</i>  | <i>N°<br/>Moduli</i> | <i>N°<br/>Canali</i> | <i>Tot.<br/>Canali</i> | <i>Parametri</i>  |
|-------------------------|--|----------------------|----------------------|------------------------|---|
| <b><i>FP-AI-111</i></b> | Ingresso Analogico sia in tensione che in corrente | 1                    | 16                   | 16                     | Pressione atmosferica, temperatura mix gas, 9 pressioni da Tekkal |
| <b><i>FP-DO-401</i></b> | Uscita digitale pilotata da MOS-FET di potenza     | 2                    | 16                   | 32                     | 18 elettrovalvole per le 9 camere, 3 elettrovalvole di servizio   |

**Tabella 4: Utilizzo moduli stazione Field Point 3 (SFP3).**

Ulteriori particolari sul sistema di distribuzione del gas saranno introdotti in uno specifico paragrafo.

Oltre a queste stazioni di *Field Point* direttamente connesse al PC\_SC, ce ne sono altre due pilotate dal computer PC\_GAS, che permettono il monitoraggio dell'intero impianto di distribuzione gas nel laboratorio denominato "hangar" ed in quello chiamato "buco nero". Queste stazioni indicate con i nomi **SFP4** e **SFP5**, sono importanti perché forniscono, secondo modalità viste in seguito, alcune informazioni importanti, come il flusso dei gas usati dagli apparati (argon, metano, esafloruro di zolfo, isobutano e freon) da cui sarà possibile ricavare, attraverso procedure software, le percentuali delle varie miscele: argon e metano per le camere a drift, freon, isobutano ed esafloruro di zolfo per gli RPC.

La configurazione finale è riportata in figura 24.



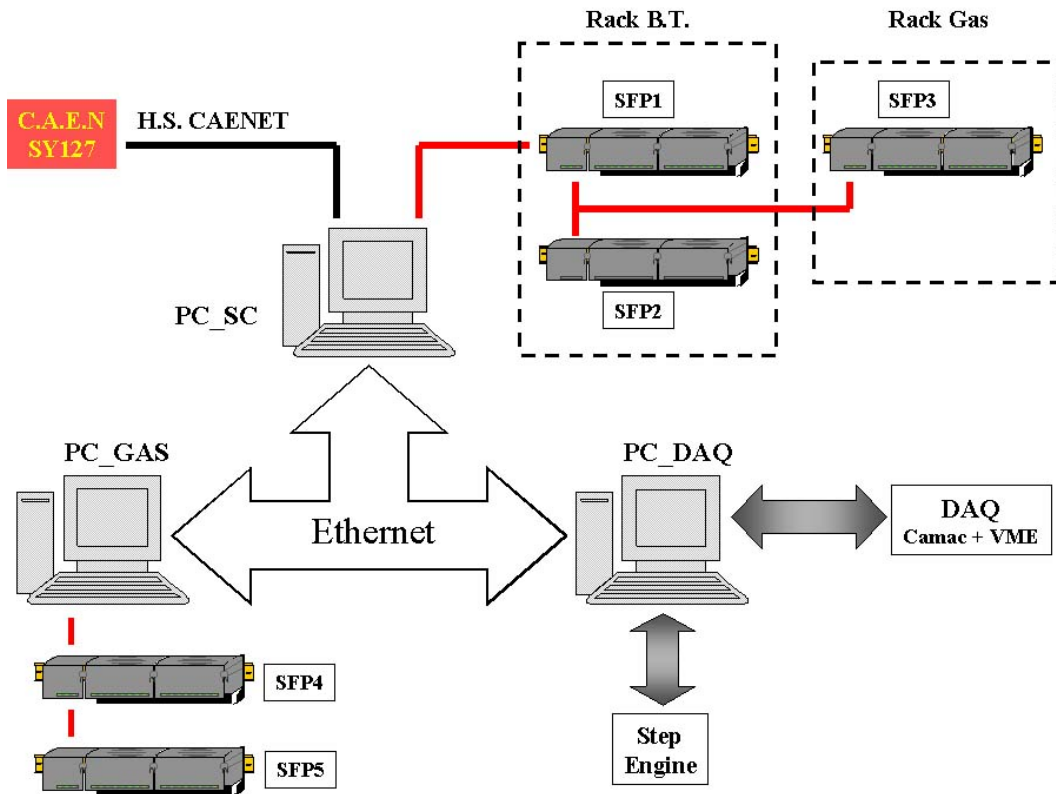


Figura 24: Schema finale sistema di controllo distribuito.

### 3.1.2 L'interfaccia software dei *Field Point*

Nei precedenti paragrafi, sono state più volte elogiate le preziose caratteristiche hardware dei moduli Field Point, lasciando volontariamente nell'ombra un altro aspetto importante, proprio per questo motivo bisognoso di una più ampia ed attenta descrizione: il pacchetto "*FieldPoint Software*", fornito dalla casa costruttrice con l'acquisto dei moduli.

Il *FieldPoint Software* è costituito dai seguenti componenti:

- ***FieldPoint Explorer***: è l'applicazione per la configurazione *hardware* dei moduli di comunicazione seriale RS-232/RS-485 e di tutti i moduli di I/O che costituiscono l'intera rete. Caratteristica fondamentale di quest'applicazione è la capacità, una volta lanciata, di effettuare una scan-

sione completa della rete di FP e di rilevare automaticamente i moduli che la compongono, l'organizzazione degli stessi nelle varie stazioni e, per ognuno dei moduli, la possibilità di controllare e modificare le rispettive configurazioni hardware (per esempio, gli intervalli di tensione o correnti permessi per i vari canali dei moduli di I/O, oppure assegnazione degli indirizzi ai moduli di comunicazione ecc.).

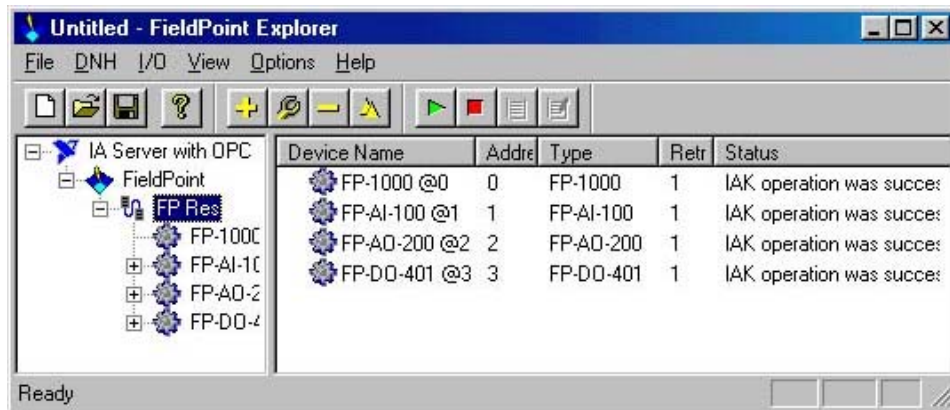


Figura 25: Interfaccia FieldPoint Explorer.

L'utilità è corredata di un'interfaccia utente molto *user friendly* che ne permette un utilizzo immediato ed intuitivo. Oltre a quanto detto, l'applicazione può essere utilizzata come strumento di *debug* per il controllo di eventuali malfunzionamenti dell'intera rete. Infatti, essa permette di leggere, in tempo reale, tutte le grandezze prelevate dal campo senza alcuna manipolazione ulteriore, evidenziando, di conseguenza, quali sono le possibili cause del malfunzionamento. Infine, caratteristica che potrebbe sembrare banale, ma non lo è quando il numero di parametri da controllare è elevato, è quella che permette di assegnare ad ogni canale un nome mnemonico, in modo da rendere immediata la conoscenza della funzione svolta da ogni singolo canale. Questi nomi assegnati sono memorizzati in modo da essere ripresi nell'applicazione che li utilizza.

- **FieldPoint Server:** include un'ampia gamma di *server* utilizzati per interfacciare i Field Point con le applicazioni scritte per utilizzarli. Nel caso specifico di LabVIEW, forniscono una serie di routine che rendono possi-

bile la lettura e la scrittura di tutti i canali disponibili. I *server*, inoltre, gestiscono le comunicazioni a basso livello, semplificando l'accesso ai vari canali I/O e fornendo una visione ad un livello più alto che evita l'introduzione di inutili complicazioni.

- **FieldPoint OPC Server:** l'OPC *server* rende il sistema utilizzabile da un'ampia classe di pacchetti *software* (il cui sviluppo è basato su questo standard industriale) come LabVIEW, Microsoft Excel con Visual Basic for Application (VBA), Visual Basic e Visual C++. L'OPC *server* importa gli *items* definiti con il FieldPoint Explorer, semplificando la configurazione del sistema. Inoltre, poiché è basato sulla tecnologia DCOM, opera sulla rete. Ciò vuol dire che uno o più OPC client possono accedere ad un FieldPoint OPC server in esecuzione su un computer remoto presente sulla rete.

### 3.1.3 L'OPC Server

Nella precedente discussione del software d'utilizzo fornito con l'acquisto dei moduli *Field Point* è stato introdotto il concetto di **OPC Server**, tralasciando, appositamente, alcuni fondamentali dettagli che ora saranno ripresi. **OPC (OLE for Process Control)** è uno standard di software industriale nato dalla collaborazione tra numerosi produttori mondiali di software e hardware per definire un'interfaccia comune di comunicazione in ambito industriale, basata sulla tecnologia **OLE** (ora noto come *Active X*), **COM (Component Object Model)** e **DCOM (Distributed Component Object Model)** della Microsoft, che renda indipendenti le applicazioni dall'hardware utilizzato. Di conseguenza, gli utilizzatori sono facilitati sia nell'apprendimento di un unico software, sia perché possono rivolgersi a diversi costruttori, purché questi operino all'interno dello standard. Al tempo stesso, i programmatori possono, in buona parte, prescindere dalla specificità dei prodotti cui sono destinate le applicazioni. L'organizzazione che gestisce questo standard è l'**OPC Foundation**, costituita da circa 270 membri sparsi in tutto il mondo.

Uno dei principi su cui sono basate le applicazioni OPC è la tecnologia OLE, sviluppata dalla Microsoft e sperimentata a lungo in innumerevoli applicazioni di software di uso generale. Il termine significa *Object Linking and Embedding* (collegamento ed integrazione degli oggetti) in cui fa riferimento alle singole applicazioni software come oggetti che possono essere utilizzati con un semplice richiamo da programmi diversi, in quanto autosufficienti, facilitando così applicazioni di utilizzo semplice ed immediato (*Plug and Play*). Lo standard OPC è basato su un'architettura *client/server* che consente il collegamento di diversi *client* (dispositivi prodotti da costruttori diversi) ad un unico *server* e, viceversa la comunicazione di diversi *server* verso uno stesso *client*. La programmazione delle applicazioni avviene utilizzando i linguaggi di più ampia diffusione quali C/C++, Visual Basic, LabVIEW. Le piattaforme utilizzabili comprendono le diverse versioni di Windows, Windows NT ed applicazioni OPC sono sviluppate anche per LINUX. Il meccanismo di collegamento dei *client* OPC ad un processo prevede una sequenza di operazioni, prima delle quali è la localizzazione di un *server* OPC su un PC o su una LAN, operazione facilitata dalla funzionalità COM, che fornisce automaticamente una lista di tutti i server OPC disponibili. Successivamente, si deve creare un collegamento diretto tra gli *items* della configurazione del *server* e quelli corrispondenti del *client* per realizzare la funzionalità specifica.

L'utilizzo di OPC porta, quindi, i seguenti vantaggi:

- I costruttori di hardware devono soltanto fornire un insieme di componenti software da utilizzare nelle applicazioni dei loro clienti.
- Gli sviluppatori software non dovranno riscrivere i driver a causa dei cambiamenti nelle caratteristiche dell'hardware.
- I clienti avranno più libertà nella scelta e nello sviluppo dei sistemi integrati di produzione.

In definitiva, con OPC, l'integrazione del sistema in un ambiente di calcolo eterogeneo diventerà più semplice. L'introduzione dell'OPC ha contribuito a quello

che, in gergo, viene chiamata “*PC Automation*”, ovvero trarre il massimo dalla tecnologia PC (hardware e software) per applicazioni di misura e automazione anche là dove il controllo non può essere affidato al solo PC.

### ***3.2 Software per il monitoraggio***

L'intero sistema hardware sarebbe quasi inutilizzabile se non ci fosse un'applicazione sviluppata su misura che renda le informazioni prelevate dal campo (correnti o tensioni) in una forma comprensibile ed esplicita (grandezza fisica con relativa unità di misura). Tale applicazione deve sfruttare al massimo le prestazioni che il sistema offre ed integrarsi completamente con esso, evitando qualunque tipo d'incompatibilità. Oltre a rendere operativo l'intero apparato, l'applicazione è stata sviluppata in modo da poter essere utilizzata anche da persone con una scarsa esperienza nel campo dell'automazione o che non hanno partecipato alla realizzazione del sistema e, per questo, non a conoscenza dei particolari hardware. L'obiettivo è quello di fornire uno strumento semplice ed intuitivo per i futuri utenti. Per quanto riguarda l'aspetto di programmazione vera e propria, invece, è costruita nella maniera più chiara possibile, in modo da poter essere aggiornata o estesa anche da persone diverse dall'autore iniziale. Il programma utilizzato per lo sviluppo del software per lo *Slow Control* è LabVIEW 6i, esteso con un ulteriore modulo che permette di risolvere tutte le problematiche derivanti dalla gestione di un sistema di controllo distribuito. Questo modulo si chiama **DSC**, acronimo di ***Datalogging and Supervisory Control***, ed è prodotto dalla National Instruments che lo fornisce come estensione al LabVIEW 6i. Il fatto che siano prodotti della stessa casa costruttrice è importante, perché permette di risolvere a priori qualsiasi problema d'incompatibilità hardware-software. L'eventuale hardware “degenere” è integrato al massimo nel sistema, in modo da uniformare il tutto.

### 3.2.1 Il Modulo Datalogging and Supervisory Control (DSC)

Il modulo *Datalogging and Supervisory Control (DSC)* aggiunge nuove caratteristiche a LabVIEW che aiutano a creare applicazioni volte all'automazione industriale e per le quali si deve tener traccia di un gran numero di grandezze (*data point*), utilizzando la flessibilità della programmazione grafica che già caratterizza LabVIEW. Inoltre, permette d'interagire con il campo e di inviare istruzioni di controllo ad un dispositivo remoto mentre si monitora l'intero sistema. Le caratteristiche introdotte dal DSC sono:

- Historical database.
- Real-time database.
- Gestione di allarmi e “logging”.
- Sicurezza.
- Utility di configurazione e “wizards”.
- Connessione a PLC e a dispositivi industriali.
- OPC *server* e *client*.
- Connessione ad un'ampia classe di server (Device Server, OPC Server, FieldPoint Server).

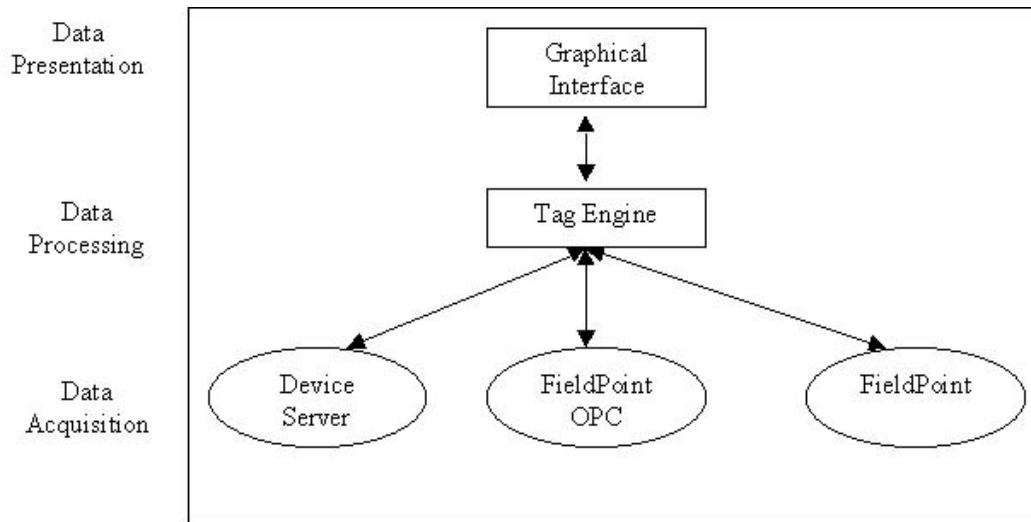
I primi quattro permettono al DSC di svolgere il compito di monitoraggio e salvataggio dati (*logging*). Funzione assolta egregiamente grazie all'utilizzo di due database interni, gestiti in modo completamente automatico dal DSC: il ***Citadel Historical DataBase*** ed il ***Real-Time Database (RTDB)***.

Il *Citadel Historical Database* è un database sviluppato dalla National Instruments, ma compatibile con tutti i maggiori database esistenti sul mercato, prima di tutti Microsoft Access. In esso sono salvate automaticamente tutte le informazioni relative ad ogni parametro monitorato ed è possibile decidere quali parametri salvare nel database, in modo tale da evitare problemi dovuti alla dimensione finita del disco rigido su cui sono salvate le informazioni. Le informazioni riguardano il valore assunto dal parametro con il rispettivo tempo e ciò permette di ricostruire

gli andamenti storici di qualsiasi parametro. Per esempio, si può visualizzare l'andamento della pressione atmosferica nell'arco di una settimana, di un mese, di un anno, oppure si può conoscere in una qualsiasi data il valore corrispondente. Il *Real-time Database* è il database sfruttato dal DSC per organizzare in ogni istante di tempo tutte le informazioni sullo stato del sistema e su tutti i parametri monitorati. Diversamente dall'*Historical Database*, non ha memoria dei valori precedenti, esso permette d'avere un *Real Time Trend* di tutti i parametri, e di gestire gli eventuali allarmi che ne possono derivare, come per esempio il superamento di una fissata soglia (superiore o inferiore). Quest'ultima possibilità offerta dal DSC è importantissima perché ci permette d'operare celermente quando si verifica qualche allarme e di prendere le opportune precauzioni. Un esempio eclatante di questa possibilità è offerto dalle correnti di gap sulle alte tensioni: quando queste correnti diventano eccessivamente alte, è segno di un cattivo funzionamento dell'RPC e onde evitare ulteriori danneggiamenti, dovuti allo scorrere di una corrente troppo alta, si deve mantenere la tensione al di sotto di un certo valore, in modo tale che la corrente resti sotto il limite fissato. Altro esempio importante è dato dalla sovrappressione all'interno dei volumi di gas: quando essa supera un certo valore, un allarme avviserà del pericolo e si prenderanno le opportune precauzioni per evitare che la camera tenda a riempirsi pericolosamente con il conseguente scollamento degli spaziatori, in essa contenuti.

Gli ultimi tre punti rappresentano gli strumenti messi a disposizione dal DSC per interfacciarsi con l'hardware che pilota. Quello maggiormente utilizzato è l'OPC *client* che, con l'OPC *server*, fornito con l'hardware, permette il dialogo tra software ed hardware, secondo modalità che saranno chiare una volta introdotto il cuore del DSC, il "*Tag Engine*".

Un'applicazione scritta in LabVIEW con l'aggiunta del DSC è composta da tre blocchi che lavorano insieme: l'interfaccia grafica o l'applicazione *HMI* (*Human Machine Interface*), il *Tag Engine* ed i vari *Servers* (fig.26).



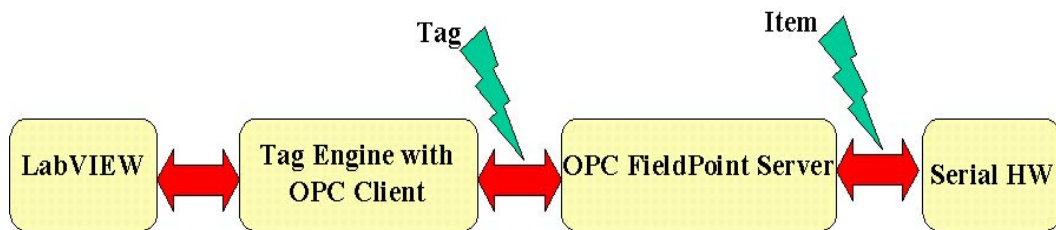
**Figura 26: Schema applicazione LabVIEW con DSC.**

L'applicazione in LabVIEW è quella scritta dal programmatore con la quale l'utente interagisce, ed è formata da un diagramma, l'equivalente delle righe di codice scritto in un qualsiasi linguaggio di programmazione tipo C/C++, e dall'interfaccia grafica o pannello. Il pannello è la parte del programma visibile all'utente finale, per questo motivo la sua organizzazione deve essere progettata scrupolosamente affinché sia chiara ed intuitiva.

Un *server* è un'applicazione che permette d'instaurare una comunicazione tra hardware e software, permettendo mediante quest'ultimo il controllo di diversi dispositivi di I/O, come PLC oppure come nel nostro caso di moduli Field Point. Ogni canale I/O è chiamato tecnicamente *item*. Il *server* funziona indipendentemente dalle applicazioni che le utilizzano, in gergo, si dice che opera in "**Background**", cioè senza essere visto a livello del programma, e nulla si può fare per modificarlo, eccezion fatta per i *Device Server*. Esistono diversi tipi di *server*: quelli forniti dalla casa produttrice dell'hardware per il funzionamento dei propri apparati (come nel caso del Field Point Server, forniti dalla National Instruments per utilizzare i FieldPoint), gli OPC server ed i *Device Server* scritti per alcuni apparati per i quali non esistono *server*, o non sono compatibili con il linguaggio utilizzato per l'implementazione dell'applicazione.



Il *Tag Engine*, così come ogni *server*, è eseguito come processo indipendente dall'applicazione HMI e rappresenta l'elemento centrale nello sviluppo di un'applicazione che fa uso del DSC. E' il *Tag Engine* altrimenti detto **motore** che comunica sia con l'applicazione HMI che con i vari *server*, e fa da tramite tra applicazione e campo (fig.27). L'elemento chiamato *item*, a livello software prenderà il nome di *Tag*.



**Figura 27: Interazione LabVIEW-DSC-OPC Server nel caso di utilizzo finale di un dispositivo Seriale da campo.**

Verrebbe naturale chiedersi: come mai si è scelta una strada apparentemente contorta, invece di connettere direttamente l'applicazione HMI al *Server*? Il motivo è che il *Tag Engine* è l'agente del DSC e senza di esso non si può usufruire di tutti i vantaggi riportati precedentemente.

I compiti svolti dal *Tag Engine* sono:

- Avvia ed arresta automaticamente i *server* utilizzati.
- Gestisce gli allarmi.
- Registra gli eventi nel *Citadel Historical DataBase*.
- Gestisce il *Real-time DataBase*.

E soprattutto acquisisce i dati, gestisce gli allarmi ed alimenta il *Citadel* anche con l'applicazione HMI non operativa

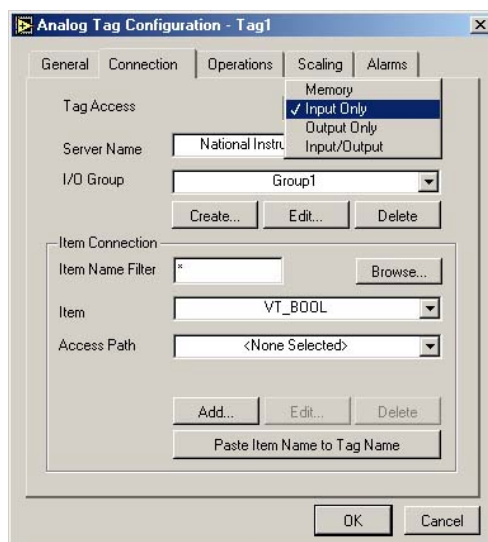
La prima cosa da fare per utilizzare i *Tag* nel programma è configurare i moduli FieldPoint con l'applicazione *FieldPoint Explorer*, in cui si definiscono le caratteristiche di tutti gli *item*, come per esempio intervallo di tensione o corrente di lavoro. Successivamente si ricorre all'utility *Configure Tag*, presente nel DSC, in

cui si configurano i *tag* sotto tutti gli aspetti. Prima di tutto si definisce il tipo di *tag* da definire a scelta tra:

- **Analog Tag:** questo tipo di *tag* può assumere valori continui entro all'interno di un intervallo, per esempio può esprimere un valore continuo appartenente all'intervallo 0÷100.
- **Discrete Tag:** questo tipo di *tag* può assumere soltanto i ON/OFF.
- **Bit Array Tag:** questo tipo di *tag* può assumere un valore a *multi-bit*, utilizzato quando si ha un valore *multi-bit* in cui ogni *bit* rappresenta un singolo stato binario(On/Off).
- **String Tag:** questo tipo di *tag* può assumere come valore una stringa.

Per far fronte alle nostre esigenze si sfruttano soltanto *tag* analogici e discreti. Dopo questa operazione si abilitano e si configurano alcuni parametri, precisamente ci sono cinque categorie di attributi da fissare (fig.28):

- **General:** in questa sezione s'impostano il nome del *tag*, il gruppo di appartenenza ed una breve descrizione delle sue caratteristiche. La suddivisione in gruppo è molto utile, perché permette di racchiudere sotto un unico nome un insieme omogeneo di *tag*, per esempio potremo definire un gruppo "Pressure" a cui afferiscono tutti i *tag* collegati con i misuratori di pressione.



**Figura 28: Pannello di configurazione *tag*.**

- **Connection:** in questa sezione s'impostano tutti gli attributi che permettono di legare il *tag* al corrispondente *item* ed al relativo server, in questo modo il *Tag Engine* sa dove spedire o ricevere i valori dei *tag*. Sempre in questa sezione si definisce il tipo di accesso per il *tag* che può essere: Input, Output, Input/Output e Memory. Ovviamente un *tag* di input permette di prelevare valori dal campo, uno di output permette di mandare valori al campo ed uno di input/output è capace di entrambe le operazioni. I *tag* di qualunque tipo devono essere connessi con il campo, eccezion fatta per il *memory tag*, non connesso con nessun *item*, perché utilizzato quando i valori prelevati dal campo devono essere prima elaborati per poter essere utilizzati.

Le restanti finestre permettono di configurare le seguenti caratteristiche:

- **Deadband.**
- **Scaling.**
- **Allarmi.**

Una **deadband** è un filtro che elimina “rumore” dai dati: ogni cambiamento di un valore di un dato viene confrontato con il valore precedente, e soltanto se la differenza tra di essi risulta maggiore della *deadband*, il nuovo valore sostituirà il vecchio. Nel DSC la *deadband* è settata come percentuale del *range* dei valori possibili per il dato in questione. In definitiva la *deadband* permette di discriminare quali cambiamenti sono significativi e quali no. Questo è un fattore importante soprattutto perché il *tag engine*, ignorando le operazioni in cui i cambiamenti dei valori non sono significativi, effettua le operazioni di salvataggio dei dati nel database storico e *real-time* più velocemente, senza oltretutto affollarlo di dati inutili ed eccessivamente ridondanti.

Lo **scaling** è utile per convertire il *range* dei valori da unità misurate in unità ingegneristiche. Soltanto per i *tag* di tipo analogico e di tipo bit array è possibile tale operazione.

Una volta settati i parametri **Raw Zero** e **Raw Full Scale** del **Raw range** (riferito ai valori letti dal server) e i parametri **Eng Zero** e **Eng Full Scale** dell'**Eng range**<sup>2</sup> (valori utilizzati dal *tag engine* o da un'applicazione), la conversione è automatica.

Il seguente esempio chiarisce questo concetto:

un server ritorna un semplice valore di tensione compreso tra 0 e 5 V. La tensione è collegata alla posizione di un sensore, ed è misurata in centimetri. 0 V indica sensore a 50 cm e 5 V sensore a 100 cm. L'operazione di *scaling* viene fatta assegnando i valori 0 e 5 rispettivamente ai parametri **Raw Zero Scale** e **Full Raw Scale**, ed i valori 50 e 100 rispettivamente a **Eng Zero Scale** e **Eng Full Scale** in maniera lineare. Il DSC permette di scegliere il tipo di scale che bisogna utilizzare a scelta tra la lineare e la quadratica. Per i nostri scopi sarà utilizzata prevalentemente la scala lineare.

Gli **allarmi**, già introdotti in precedenza, sono utili per comunicare all'utente un comportamento anomalo di un dato *tag*. Il DSC permette di abilitare e disabilitare gli allarmi, assegnare le varie priorità (valore da 0 a 15) e decidere sotto quale circostanza il *tag* è in allarme. La configurazione degli allarmi dipende dal tipo di *tag*. Soffermiamoci soltanto su quelli analogici e discreti.

Un *tag* analogico ha quattro tipo di allarmi: **HI\_HI**, **HI**, **LO E LO\_LO** (Altissima, Alta, Bassa e Bassissima). Ognuno di questi fornisce un diverso tipo di errore. Gli allarmi sono espressi in unità ingegneristiche, e per essi è definita una **deadband** che permette di fissare di quanto il valore del *tag* deve cambiare dal valore limite per essere considerato normale. Facciamo un esempio che evidenzia l'utilità della **deadband**.

Si supponga di avere un *tag* che rappresenti la temperatura di un corpo in °C e di avere come limite di allarme 40 °C. Vediamo cosa succede all'allarme quando ho una **deadband** posta allo 0% e quando è posta all' 1%.

Come si può notare dalle seguenti tabelle, se la **deadband** fosse posta allo 0%, non solo sarebbero registrate delle informazioni ridondanti, ma l'utente sarebbe posto

---

<sup>2</sup> La voce "Eng" sta per "Engineering".

a continue richieste di notifica di allarme. Per superare questo problema si pone la *deadband* ad un valore diverso da zero (nell'esempio 1%). Per andare in allarme il *tag* deve raggiungere il valore di 40°C, ma per ritornare alla normalità deve discostarsi dal limite di una quantità maggiore a quella fissata dalla *deadband* (nell'esempio 1% su di un *range* [0,100]°C cioè 1°C).

***Deadband allo 0%***

| TEMPO    | VALORE | TIPO DI ALLARME |
|----------|--------|-----------------|
| 10:15:05 | 40.1   | HI              |
| 10:15:10 | 39.9   | Normal          |
| 10:15:15 | 40.1   | HI              |
| 10:15:20 | 38.5   | Normal          |

***Deadband all'1%***

| TEMPO    | VALORE | TIPO DI ALLARME |
|----------|--------|-----------------|
| 10:15:05 | 40.1   | HI              |
| 10:15:10 | 39.9   | HI              |
| 10:15:20 | 40.1   | HI              |
| 10:15:25 | 38.5   | Normal          |

Per i *tag* discreti si può scegliere tra due stati di allarme. Il *tag* è in allarme se il suo stato è alto (ON) oppure è in allarme se il suo stato è basso (OFF).

Un'altra caratteristica importante offerta dal DSC è la possibilità di definire dei *Network Tag*, ossia dei *tag* che sono connessi ad un DSC remoto. Un modulo DSC può essere indicato come *DSC server*, se permette ai suoi *tag* (definiti nel suo file di configurazione) di essere accessibili da altri computer collegati con esso via rete, su cui c'è un *DSC client* che legge i valori dei *tag* (definiti nel suo file di configurazione) dal computer server. Quest'ultima caratteristica ha permesso di "distribuire" l'hardware tra i vari PC utilizzati, ed è in essa che maggiormente si evidenzia l'utilizzo degli OPC Server e Client.

### 3.2.2 Il Software del sistema di Slow Control

Nei precedenti paragrafi sono state trattate in modo approfondite le caratteristiche, le modalità di funzionamento e gli aspetti innovativi dell'hardware utilizzato e del relativo software per il controllo. La quantità d'informazioni fornite e la complessità degli argomenti trattati hanno portato ad una descrizione che ha messo in secondo piano le interazioni e gli scambi d'informazione tra le parti. Ora che i due aspetti sono chiari, descriviamo il sistema nella sua completezza.

In riferimento al paragrafo 3.1.1 ed in particolare alla figura 24, in cui è riassunto la configurazione hardware del sistema di controllo, si afferma che su tutti e tre i PC (PC\_SC, PC\_GAS e PC\_DAQ) è installata la versione di LabVIEW 6i necessaria per l'implementazione delle applicazioni atte allo svolgimento dei compiti ad essi assegnati, che sono:

- **PC\_SC:** si occupa del monitoraggio ed il controllo degli Slow Control.
- **PC\_GAS:** si occupa del monitoraggio dell'impianto di distribuzione del gas all'interno dei laboratori.
- **PC\_DAQ:** si occupa di tutto ciò che riguarda l'acquisizione dei dati relativi alla fisica dei rivelatori.

Su ogni PC, inoltre, è installato il DSC che implica la presenza di un *Tag Engine* per ogni macchina. Una delle sue caratteristiche intrinseche è di offrire la possibilità di lavorare sia come *OPC server* che come *OPC client*, usate entrambe nel sistema in relazione alla modalità di scambio d'informazioni tra i PC. Ricordando, inoltre, che le due reti di stazioni FP, afferenti rispettivamente al PC\_SC ed al PC\_GAS sono controllate mediante due *FieldPoint OPC server* installate sulle corrispondenti macchine, è possibile chiarire in che modo lavorano i tre motori:

- **Tag Engine PC\_SC:** si comporta da *client* quando comunica con il *FieldPoint OPC server* e quando preleva informazioni dal PC\_GAS. Lavora come *server* quando trasferisce informazioni al PC\_DAQ e PC\_GAS, e

quando interagisce, mediante un *Device Server*, con l'alimentatore di alte tensioni C.A.E.N SY 127<sup>3</sup>.

- **Tag Engine PC\_GAS:** si comporta come *client* quando dialoga con il FieldPoint OPC *server* e quando preleva informazioni dal PC\_SC. Lavora come *server* quando fornisce informazioni al PC\_SC.
- **Tag Engine PC\_DAQ:** lavora soltanto come *client*, perchè tutte le informazioni sono fornite dal *Tag Engine* del PC\_SC.

E' possibile chiarire inoltre, quali informazioni si scambiano il PC\_SC fornisce al PC\_GAS informazioni riguardanti la pressione atmosferica, la temperatura e l'umidità all'interno del laboratorio, il PC\_GAS, in quanto tale, fornisce al PC\_SC informazioni sul flusso relativo ai cinque tipi di gas utilizzati, cioè SUVA 134 A, Isobutano, Esafloruro di Zolfo, Metano ed Argon.

Il vantaggio che si ricava da una simile configurazione è che i *Tag Engine* provvedono automaticamente allo smistamento delle informazioni e che da qualsiasi postazione utilizzata, in relazione ai *file* di configurazione considerati (con estensione *.scf* in cui sono memorizzate tutte le informazioni relative ai *tag* ed ai *network tag*), sono disponibili tutte le informazioni in tempo reale e, se previsto, da più PC sarà possibile effettuare operazioni verso il campo (ad esempio l'apertura o la chiusura di qualche valvola oppure il "settaggio" d'una tensione ad un desiderato valore). Ovviamente, il prezzo da pagare per tali prestazioni consiste nel fatto che i motori, ed il *server* per la gestione dei database dovranno essere sempre attivi (fig.29), con conseguente aumento del tempo speso dal processore per eseguire il processo (non quantificato, ma irrilevante in confronto alla potenza offerta da PC d'ultima generazione).

---

<sup>3</sup> Considerata l'importanza di quest'aspetto, ulteriori informazioni saranno fornite in seguito.

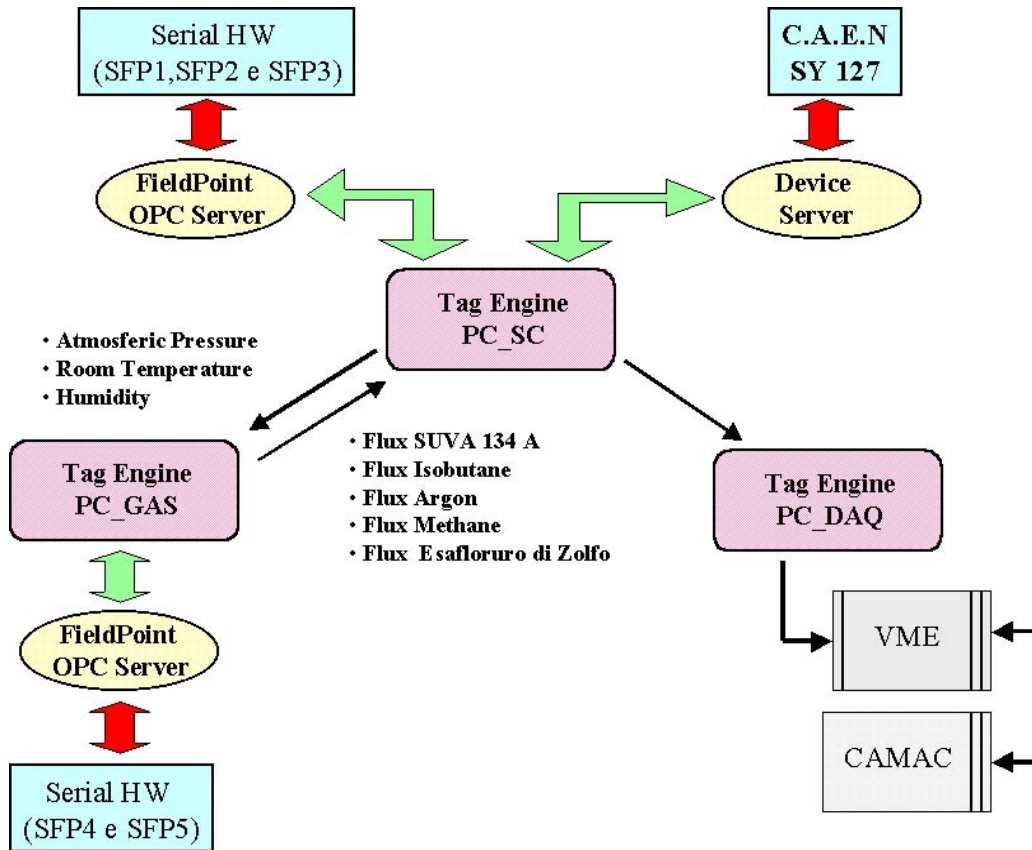


Figura 29: Schema interazioni componenti software.

Nel caso in cui uno o più motori sono spenti, il sistema continua a funzionare e messaggi d'errore avvertono di questo malfunzionamento.



Figura 30: Toolbar di Windows con icone del Manager Database e Tag Engine attivi.



### 3.2.3 Il Device Server per il C.A.E.N SY 127

Il modulo C.A.E.N SY127 è un alimentatore di alte tensioni, pilotabile via PC mediante la scheda ISA A303A: esso può gestire fino a quaranta canali indipendenti, sui quali, mediante un driver scritto in LabVIEW sono possibili le seguenti operazioni:

- Accendere e spegnere il singolo canale H.V.
- Fissare la tensione.
- Fissare il valore di ramp-up (velocità, in V/s, di salita della  $V_{OUT}$ ).
- Fissare il valore di ramp-down (velocità, in V/s, discesa della  $V_{OUT}$ ).
- Leggere la corrente assorbita dal carico.
- Leggere la tensione applicata al carico.

La scheda ISA A303A è montata all'interno del PC\_SC, che ricordiamo essere connesso anche con la rete Field Point. Il problema del SY127 è la mancanza di un *server* fornito dalla casa costruttrice che lo renda visibile e di conseguenza pilotabile mediante il *Tag Engine*; per questo motivo, come anticipato precedentemente, è sorta la necessità di scrivere un *Device Server* o *VI Server* (perché scritto in LabVIEW). Il problema della visibilità del modulo CAEN dal *Tag Engine* è fondamentale; infatti, è solo mediante l'utilizzo dei *Network Tag* messi a disposizione dal DSC ed utilizzati dal *Tag Engine* che è possibile distribuire la "risorsa" CAEN anche a PC non fisicamente connessi con essa, e di conseguenza pilotarla da qualsiasi PC opportunamente configurato. Per le nostre esigenze sarà PC\_DAQ che condividerà il CAEN SY127 con PC\_SC; Il seguente schema mostra i moduli utilizzati e le modalità d'interazione tra essi, e nello stesso tempo evidenzia la stratificazione a più livelli di questo lavoro. Si ha un livello puramente *hardware* costituito appunto dal CAEN SY127 e dalla scheda ISA A303A, salendo la gerarchia si incontra il *Device Driver* in cui il riferimento all'*hardware* è ancora vivo, in quanto è il *driver* che colloquia materialmente con l'*hardware*. Successivamente, si trova il *Server* ed il *Tag Engine*: con essi si abbandona definitivamente la visione dell'*hardware*, perché si sfruttano tutte le potenzialità offerte dal driver per

interagire con il campo. L'ultima parte di questa gerarchia è rappresentata dalle applicazioni HMI, che permettono di costruire l'interfaccia mediante la quale l'utente interagisce con il campo.

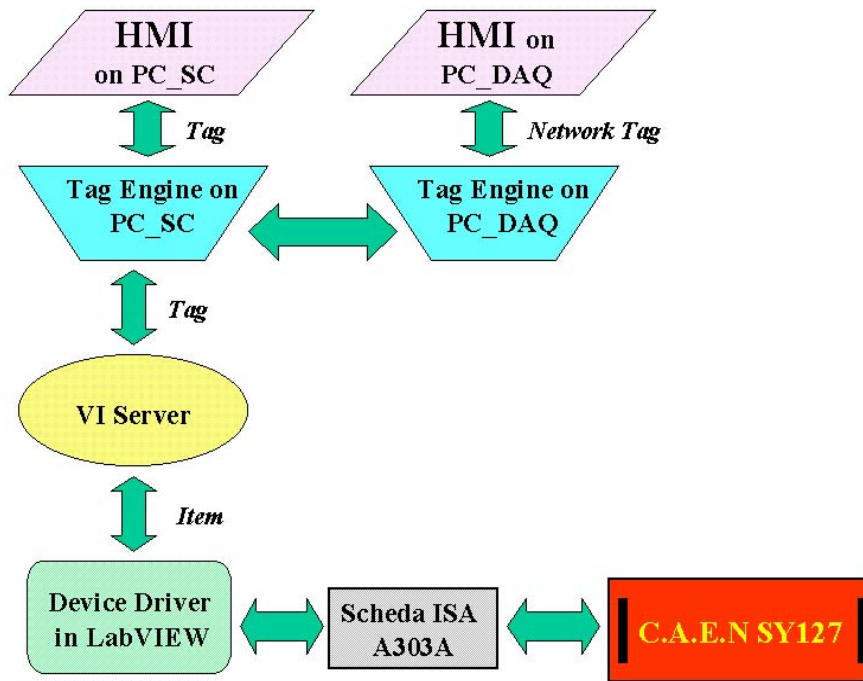


Figura 31

La scrittura di un *VI Server* avviene per passi successivi:

- **Registrazione del Server:** permette al DSC di riconoscere il server, e di conseguenza utilizzare tutti gli *item* in esso definiti. A questo punto si ricordi che il termine *item* indica un qualsiasi canale di I/O. Nel caso dell'SY127, per comodità, si è definito un *item* per ogni operazione possibile, per esempio la lettura della tensione dal canale X, è un *item*, come lo è la scrittura della tensione a cui si deve settare un canale Y, ecc. Le operazioni implementabili non sono tutte quelle possibili con il driver, ed elencate prima, ma solo quelle effettivamente utilizzate, cioè accensione e spegnimento, lettura di corrente e tensioni ed impostazione valore di tensione di ogni singolo canale. Questa scelta comporta la stesura di un codice molto veloce nell'eseguire le operazioni per cui è stato costruito.

- Implementazione del *Server*: è il programma scritto in LabVIEW, in cui sono implementate tutte le operazioni che il server può eseguire, come per esempio fissare la tensione di un dato canale ad un certo valore, leggere una corrente ecc.
- Debug del *Server*: rappresenta l'operazione finale, nella stesura di un server. Il debug di un server, non può avvenire quando il *Tag Engine* è in funzione, per questo motivo si utilizza un'opportuna *utility*, chiamata ***Interactive Server Tester***, che simula l'interazione tra *Server* e *Tag Engine*, e che inoltre permette di verificare la correttezza delle operazioni di lettura o scrittura dei vari *item* definiti.

Tutte le informazioni fornite al DSC nella fase di registrazione del *server* sono salvate nel ***Common Configuration Database (CCDB)***. E' da questa struttura che il *Tag Engine* richiama tutte le informazioni, quando trova un *tag* legato a qualche *item* che per il proprio funzionamento necessita del rispettivo *server*. Le informazioni che bisogna salvare sono:

- **Nome del server**: nome che identifica il server e che viene visualizzato nella lista dei server disponibili per il DSC.
- **Nome del VI Server**: nome del file che contiene l'implementazione del server.
- **Server Path VI**: indica al DSC il percorso che deve compiere il *Tag Engine* per ritrovare il file con estensione "vi" che implementa il server.
- **Nomi dei Device**: rappresentano i nomi dei dispositivi hardware a cui appartengono i vari *tag*. Se, come nel nostro caso, vi è soltanto un unico *Device*, ad esso si assegna per default il nome ALL.
- **Nomi degli item**: rappresentano i nomi di tutti gli item definiti per il server in questione. I nomi devono essere mnemonici in modo da rendere più semplice il riconoscimento delle funzioni svolte dai singoli *item*. Per ogni item, inoltre sono necessarie le seguenti informazioni:

- **Tipo di *item*:** permette di specificare il tipo di *item* fra i possibili tipi: double, string o bool.
- **Tipo di accesso:** permette di specificare se un *item* è di lettura (***input***), ossia permette di prelevare informazioni dall'SY127 (dal campo verso il tag engine), oppure se un *item* è di scrittura (***output***) e tramite esso un valore può essere inviato dal tag engine verso l'SY127.
- **Range *item*:** campo opzionale, che permette di definire in che range varia il valore assunto da ogni *item*.
- **Unità di misura *item*:** anche questa è un'informazione opzionale, visto che già il *Configuration Tag* permette di definire le unità di misura.

Queste informazioni sono trasferite al DSC mediante la scrittura di un apposito programma, in cui sono sfruttate le ***DSC Server Registration, utility*** fornite dal DSC per assolvere a questo compito. Una volta eseguito il programma di registrazione (fig.32), il *server*, non ancora implementato è riconosciuto dal DSC.

L'implementazione del VI server, deve tener conto del fatto che il server è sempre eseguito quando il *tag engine* è attivo, e deve arrestarsi quando quest'ultimo viene fermato. All'interno di questo blocco che è sempre attivo, possiamo individuare altri due *loop* (fig.33), chiamati rispettivamente ***input polling loop*** ed ***output polling loop***. Il primo si occupa della richiesta e della registrazione dei valori che provengono dall'SY127 ed è eseguito ad intervalli di tempo fissati dallo ***scan rate*** (nel nostro caso posto a 10 ms); il secondo invece, si occupa della scrittura di un valore verso lo stesso ed entra in funzione soltanto quando vi è la richiesta di esecuzione di una tale operazione.

Le operazioni di *polling*, sono velocizzate dalla presenza di due strutture organizzate a coda, la ***server input queue*** e la ***server output queue***, che ottimizzano il tempo macchina del PC lavorando come un centralino, che passa le chiamate in base all'ordine di arrivo e non perdendone alcuna. Oltre alla scrittura dei valori

nelle rispettive *code*, si indica anche il *timestemp*, ossia il tempo universale (espresso in secondi a partire dal 01/01/1904) in corrispondenza del quale è stata effettuata un'operazione (lettura o scrittura). Ovviamente, all'utente è mostrato il tempo attuale assoluto. Le operazioni vere e proprie verso l'SY127 sono ottenute sfruttando il driver preesistente, e si trovano all'interno delle routine "Poll Inputs" e "Update Output".

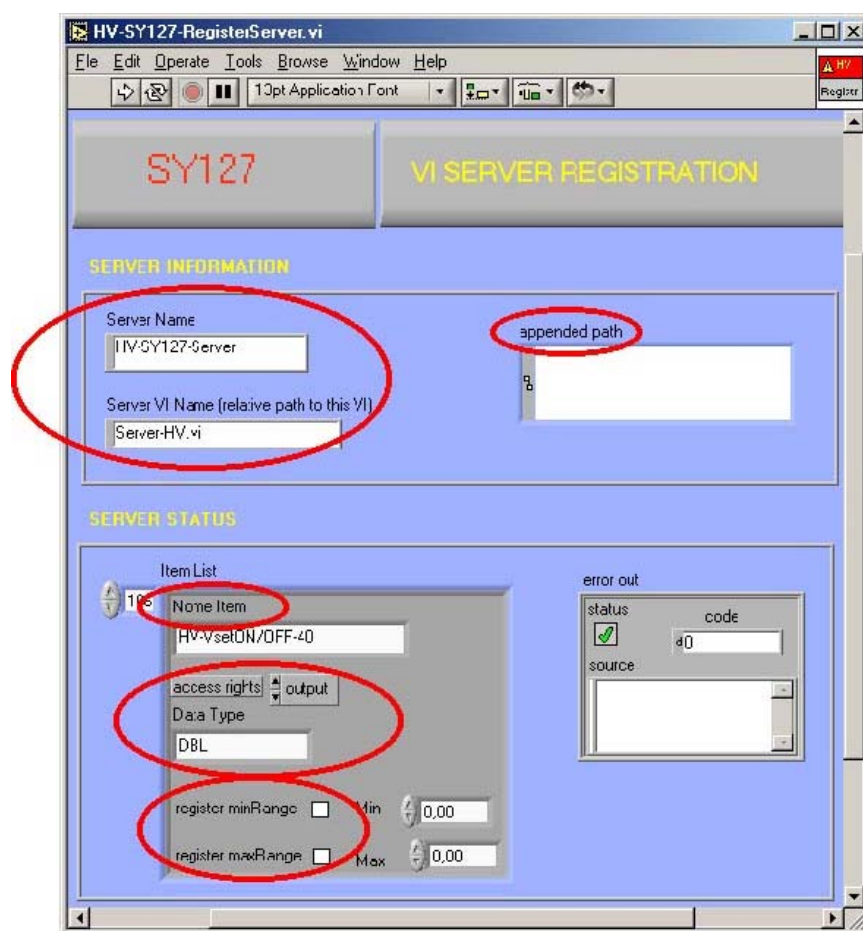


Figura 32: Pannello per registrazione del VI server per l'SY127.

Come già anticipato ad inizio paragrafo, per la realizzazione del *server* per l'alimentatore SY127, si sono dovuti definire 160 *item*, uno per ogni operazione possibile, e per evitare inutili complicazioni, si è deciso d'introdurre soltanto le operazioni più importanti, cioè:

- Accensione e spegnimento dei 40 canali (40 item).
- Lettura di corrente e tensione dei 40 canali (80 item).
- Settaggio tensione dei 40 canali (40 item).

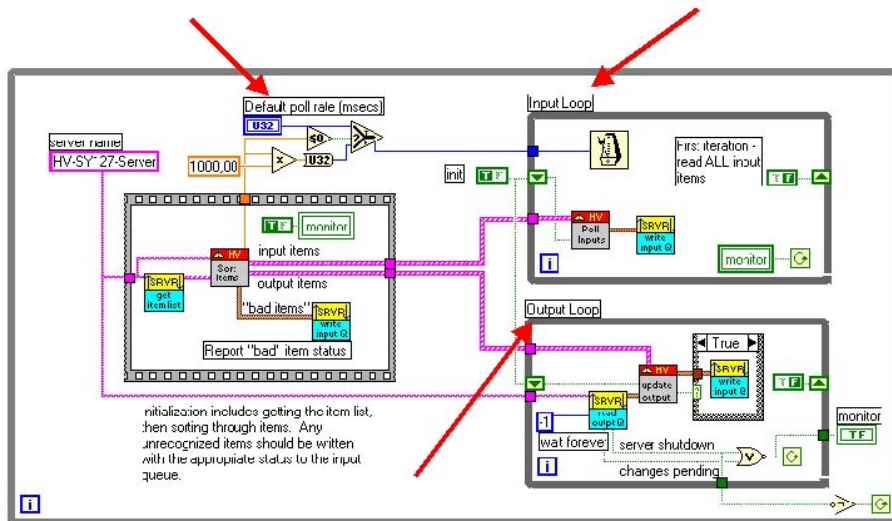


Figura 33: Diagramma del VI server, con polling e scan rate evidenziati.

Il vantaggio della stesura di questo *server* è che l'alimentatore C.A.E.N è diventato parte integrante del sistema di controllo distribuito e quindi pilotabile anche da PC non connessi fisicamente con esso (come PC\_DAQ), operazione possibile mediante la definizione dei *network tag*, connessi con gli opportuni *item*.

### 3.3 Architettura generale del software

Tutto gli argomenti di cui si è parlato fino a questo momento, moduli e stazioni Field Point, DSC e Device Server, possono essere considerati come foglie di un grande albero (fig.26) con la radice rappresentata da un'applicazione generale, scritta in LabVIEW, che inglobandole e sfruttandole permette l'interazione dell'utente con l'intero sistema. Seguendo la politica adottata dal presente lavoro



di tesi, che è volto alla descrizione ed alla comprensione del sistema di *Slow Control* sotto tutti gli aspetti, si eviterà l'introduzione dei diagrammi con cui sono stati sviluppati i moduli o **SubVI** che costituiscono l'applicazione, dedicando maggior attenzione ai pannelli operatori, con cui l'utente interagisce, e per ognuno di essi, spiegheremo in dettaglio le funzioni svolte e le informazioni fornite.

La struttura del software, per ovvi motivi legati alla chiarezza ed all'estensibilità, è stata sviluppata in più moduli ognuno dei quali utilizzato per lo svolgimento di un particolare compito, ed afferenti ad un'unica applicazione chiamata **Main Program**. Per completezza d'informazione, il numero totale di SubVI implementati è di 220 unità.

L'esecuzione dell'applicazione sul PC\_SC, comporta la visualizzazione sullo schermo di una barra degli attrezzi o pulsantiera, mediante la quale l'utente può accedere ai vari pannelli messi a disposizione. Questo corrisponde, dal punto di vista del programma, a far eseguire di volta in volta degli opportuni **SubVI**. I pannelli sono stati pensati in modo da raggruppare i parametri in classi ricalcanti fedelmente quelle individuate nella descrizione degli *slow control* (par. 2.1.3), cioè: gas, bassa tensione, alta tensione, parametri ambientali.

È da notare che ciascun pannello rappresenta un programma *a se stante* che può essere eseguito anche con il Main Program

arrestato, purché l'intero ambiente sia correttamente inizializzato. Ciò è molto vantaggioso per il *debugging* del sistema, in quanto la messa in opera di ciascuna parte del programma riesce ad essere completamente indipendente dal contesto. Questa caratteristica è stata grandemente sfruttata per lo sviluppo generale, insieme ad una tecnica universale e ben collaudata per l'integrazione di tutte queste sottoparti nel programma principale. La strategia utilizzata per lo sviluppo della nostra applicazione è nota nell'ambito dell'ingegneria del software e del *problem solving*. Essa prevede la scomposizione del problema dato in un certo numero di problemi "più piccoli", in modo tale che dalla soluzione di questi sia facilmente ricostruibile la soluzione del problema principale. Indubbiamente questo modo di procedere è vantaggioso, soprattutto quando si ha a che fare con programmi di medie e grosse dimensioni che prevedono la collaborazione di più persone. Ovviamente questo richiede molto lavoro soprattutto nella fase di pianificazione, in cui si decidono i sottoproblemi da implementare e tutte le interazioni fra di essi. Il termine usato per questo tipo di programmazione è "**Programmazione Modulare**".

I pannelli selezionabili mediante la pulsantiera sono:

- **Atmospheric & Gas.**
- **LV Supply & Thresholds.**
- **HV Supply.**
- **Tests.**
- **Log & Alarms.**
- **Historical Trends.**
- **Configuration.**
- **About & Stop.**

Per evitare l'utilizzo inopportuno del programma, ma soprattutto l'esecuzione di operazioni potenzialmente pericolose per l'integrità degli RPC sotto test (applicazione di un'alta tensione con valore spropositato sull'RPC, pressione del gas



all'interno degli RPC elevata), si è deciso di limitare l'accesso ai rispettivi pannelli soltanto a persone previamente riconosciute dal sistema.

E' l'amministratore del programma, che ha la completa visione di tutto, a fornire *username e password* al personale selezionato per l'utilizzo del programma ed a decidere per ognuno di essi il relativo profilo a scelta fra: **sola lettura**, **operatore** ed **amministratore**. Ognuno di questi profili è caratterizzato da una libertà ad operare sempre meno restrigente. L'operazione di riconoscimento avviene attraverso la pressione del tasto **Login**. Il sistema registra in tempo reale qualsiasi operazione effettuata, compresi i tentativi riusciti e non, di connessione al programma, su dei files generati al ritmo di uno a settimana. Lo scopo è quello di poter sapere sempre "chi ha fatto cosa". Oltre alla semplice scrittura su file, il programma offre la possibilità di stampare tutte le operazioni effettuate dall'utente connesso, in modo da avere a disposizione un registro continuamente aggiornato. Ovviamente, vista l'importanza del ruolo assunto dal *tag engine*, sulla pulsantiera è presente una spia che permette di conoscerne lo stato (acceso o spento); il problema legato alla possibilità di dimenticare di avviare il motore prima dell'utilizzo del programma, è stato risolto rendendo la sua esecuzione automatica all'atto dell'esecuzione del *Main Program*. Altre spie avvisano l'utente di eventuali allarmi attivi, e mediante uno specifico pannello si può conoscere la natura degli allarmi e prendere le opportune decisioni per tacitarli. Per gli allarmi più gravi, cioè quelli legati ad eventi che possono compromettere l'integrità degli RPC, e per i quali bisogna correre subito ai ripari è stato fornito un sistema di *Mail Sender*, che avvisa l'amministratore del problema attivo mediante e-mail.

### 3.3.1 Atmospheric & Gas

Il pannello "Atmospheric & Gas" (fig.34) racchiude in se tutte le informazioni riguardanti i parametri ambientali, e quanto è relativo ai gas utilizzati per la *tower*. Sono evidenziate tre zone:

- Zona 1, in alto a sinistra: si hanno le informazioni sul flusso totale (espresso in l/h) della miscela di gas utilizzata dalle camere a drift, composta da metano ed argon, e le relative percentuali.

- Zona 2, in basso a sinistra: si hanno le informazioni sulla miscela di gas utilizzata per gli RPC, come la sua temperatura, le percentuali di gas che la compongono (Tetrafluoretano 134A, Isobutano ed Esafluoruro di zolfo), il flusso totale (espresso in l/h) ed infine la pressione all'interno del rack di distribuzione del gas agli RPC.
- Zona 3, a destra: si hanno tutti i parametri ambientali, come pressione atmosferica (espressa in hPa) e relativo andamento integrato su un intervallo di tempo a scelta (max 3 ore), temperatura (espressa in °C) ambiente relativa alla parte superiore (TOP) della *tower* e quella relativa alla parte inferiore (BOTTOM), umidità relativa (espressa in % relativa).

Un tasto, indicato come “RPC Gas Distribution”, permette d’accedere ad un ulteriore pannello (fig.36) in cui si trova tutto ciò che riguarda il sistema di distribuzione della miscela del gas agli RPC, e su cui è possibile effettuare un’ampia classe d’operazioni mediante la pressione del tasto “Command Windows”.

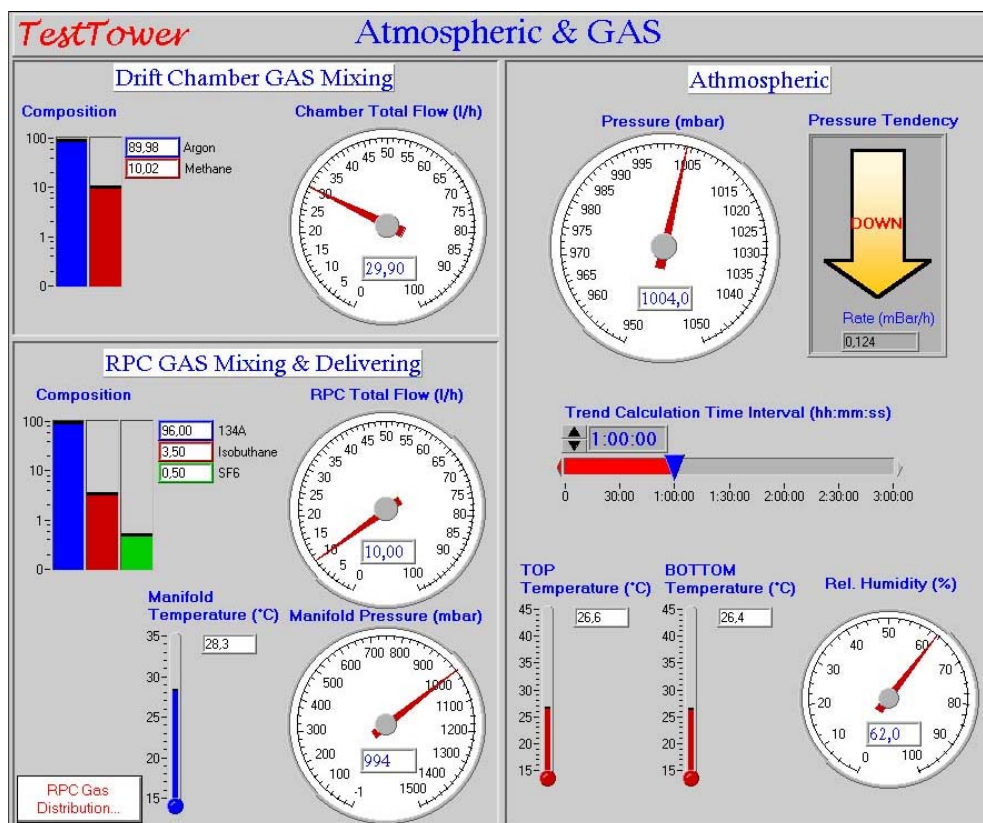


Figura 34: Pannello "Atmospheric & Gas".

Il pannello riporta lo stato in cui si trovano le valvole d'ingresso e d'uscita, quello della valvola principale (che alimenta l'intero impianto), quella che regola il passaggio dall'alto flusso al basso e viceversa, i valori delle pressioni degli otto RPC rispetto alla camera di riferimento, indicata con il numero 9. Il valore letto rappresenta la differenza della pressione all'interno dell'RPC e di quella nella camera di riferimento ed il motivo di questa scelta verrà chiarito in sede di illustrazione del test di tenuta degli RPC (*Leak Test*).

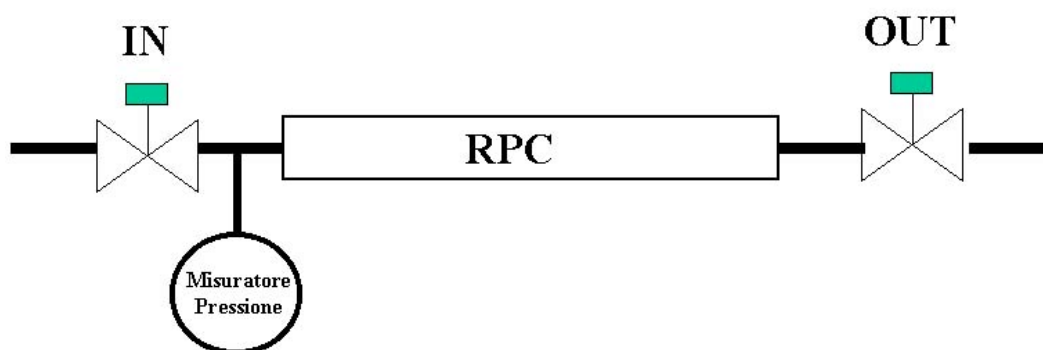


Figura 35: Schema Immagini valvole d'ingresso (IN) e di uscita (OUT).

Ad ogni combinazione dello stato delle valvole IN ed OUT è assegnato un determinato nome fissato dalla seguente tabella.

| Stato IN | Stato OUT | Nomenclatura |
|----------|-----------|--------------|
| Closed   | Closed    | Insulated    |
| Closed   | Opened    | Out Of Gas   |
| Opened   | Closed    | Filling      |
| Opened   | Opened    | Normal Flow  |

Le operazioni sul sistema di distribuzione di gas sono possibili soltanto agli utenti aventi almeno il profilo da operatore, sono eseguibili da un'apposita finestra (fig.37) ed hanno effetto, a seconda della scelta, sulla singola camera o contemporaneamente su tutte. Le operazioni possibili sono:

- Apertura e chiusura valvola principale.
- Commutazione da alto a basso flusso e viceversa.

- Posizionamento delle valvole di IN ed OUT in uno dei possibili quattro stati sia ad alto che a basso flusso.

Ovviamente il pannello di descrizione dello stato del sistema di distribuzione si aggiornerà automaticamente ad ogni operazione.

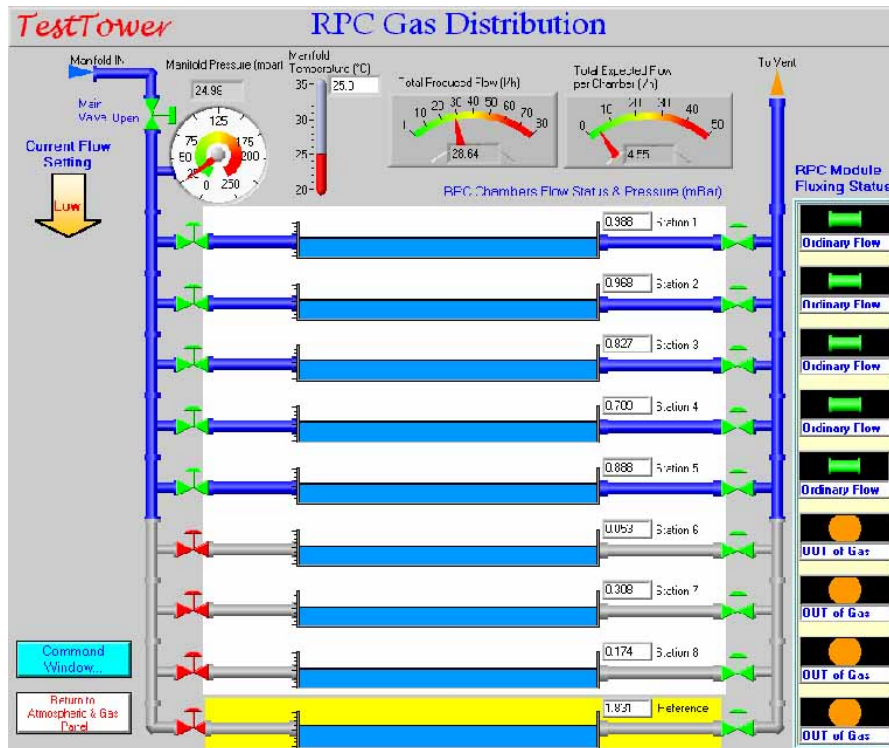


Figura 36: Pannello riassuntivo stato sistema di distribuzione.

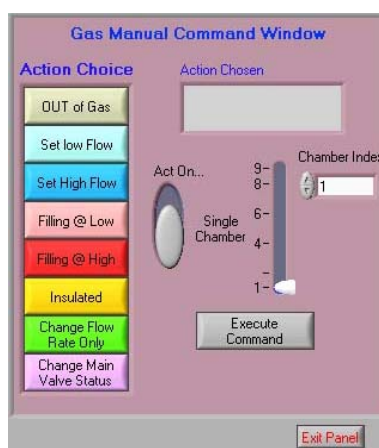


Figura 37: Pannello comandi sistema distribuzione del gas.

### 3.3.2 LV Supply & Thresholds

Questo pannello è dedicato alle alimentazioni di bassa tensione, ed all'impostazione delle soglie dei discriminatori interni agli RPC<sup>4</sup>.

Il pannello (fig.38), nella parte sinistra riporta i valori delle correnti assorbite dall'elettronica di FE degli RPC in mA (ricordiamo che per ogni RPC si controllano due correnti, una per ogni *layer*), con le relative spie d'allarme, attive nel caso in cui i valori d'assorbimento risultino anomali. L'intervallo di corrente entro il quale la corrente letta è da considerarsi normale è fissato dall'utente mediante la pressione del tasto "Set Supply Current Limits". Quest'intervallo d'affidabilità non è lo stesso per tutti i tipi di RPC, ma varia con essi. Infatti, ogni RPC ha un determinato numero di schede di FE, e questo implica un diverso valore di corrente assorbita. Nella seguente tabella sono riportati il numero di schede in funzione del tipo di RPC.

Il valore del limite superiore ed inferiore dell'intervallo d'affidabilità è ottenuto dalla conoscenza del numero di schede per ogni *layer* e dalla corrente assorbita da ognuna, che è circa di 41mA<sup>5</sup>.

| Chamber Type  | N° board ETA for <i>layer</i> | N° board PHI for <i>layer</i> |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>BOL-B</b>  | 8                             | 20                            |
| <b>BOL-D</b>  | 6                             | 20                            |
| <b>BML-A</b>  | 10                            | 16                            |
| <b>BML-D</b>  | 8                             | 16                            |
| <b>BML-E</b>  | 6                             | 16                            |
| <b>BML-G*</b> | 4                             | 14                            |
| <b>BOS-B</b>  | 8                             | 16                            |
| <b>BOS-C</b>  | 8                             | 16                            |
| <b>BOS-D</b>  | 8                             | 16                            |
| <b>BOS-E</b>  | 6                             | 16                            |

<sup>4</sup> Gli schemi elettrici dei circuiti per la lettura delle correnti e per l'impostazione delle soglie, sono reperibili nell'appendice A.

<sup>5</sup> Valore fornito dall' INFN Roma2 che produce l'elettronica.

|               |    |    |
|---------------|----|----|
| <b>BMS-B</b>  | 10 | 12 |
| <b>BMS-B*</b> | 10 | 12 |
| <b>BMS-C</b>  | 8  | 12 |
| <b>BMS-C*</b> | 8  | 12 |
| <b>BMS-D</b>  | 8  | 12 |
| <b>BMS-E</b>  | 6  | 12 |

Per esempio l'intervallo d'affidabilità di un RPC del tipo BOS-B avrà i seguenti limiti:  $(984 \pm 41)$  mA, ottenuti in questo modo:

un RPC BOS-B possiede  $(8+16) = 24$  schede per *layer* che assorbono in totale  $24 \cdot 41 \text{mA} = 984 \text{mA}$ , poi, a questo valore si somma e si sottrae la corrente assorbita da una singola scheda.

Il controllo in tempo reale delle correnti, è importante. Infatti, eventuali malfunzionamenti nell'elettronica di *FE*, hanno spesso per conseguenza una sensibile variazione della corrente assorbita, e con i limiti fissati è possibile stabilire quale, fra i due *layer*, è soggetto al malfunzionamento. In questo caso, s'indaga sul problema, per capirne a fondo l'origine e cercare di risolverlo.

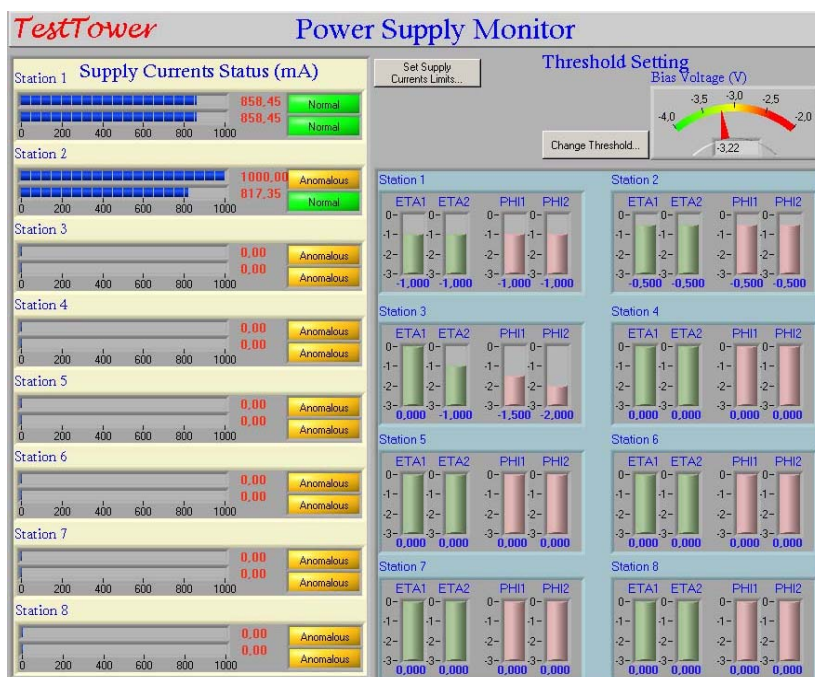
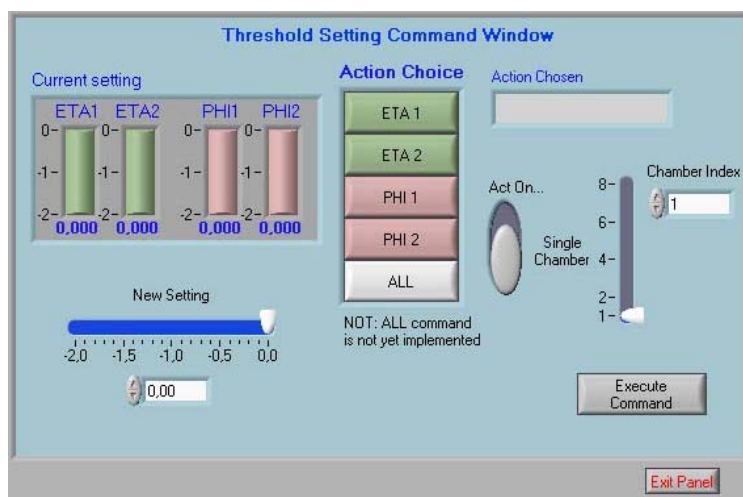


Figura 38: Pannello LV Supply & Thresholds.

Nella parte destra dello stesso pannello, sono visualizzati i valori delle soglie per ogni RPC; si ricordi che per ognuno di essi si possono fissare quattro valori di soglie, indicati con i nomi ETA1, ETA2, PHI1 e PHI2, relativi alle strip di lettura  $\eta$  e  $\phi$  di ogni *layer*. I valori possibili per le soglie variano all'interno dell'intervallo (0V ÷ -2V) e possono essere impostati richiamando il pannello “*Change Threshold*” dal pannello principale. Attraverso la finestra di comando (fig.39) è possibile settare ogni soglia ad un determinato valore, oppure tutte ad un unico valore (in questo modo si velocizza l'applicazione), mediante la commutazione dell'interruttore “*Act On*”. Una volta decisa l'operazione, basterà confermarla con “*Execute Command*” per renderla attiva.



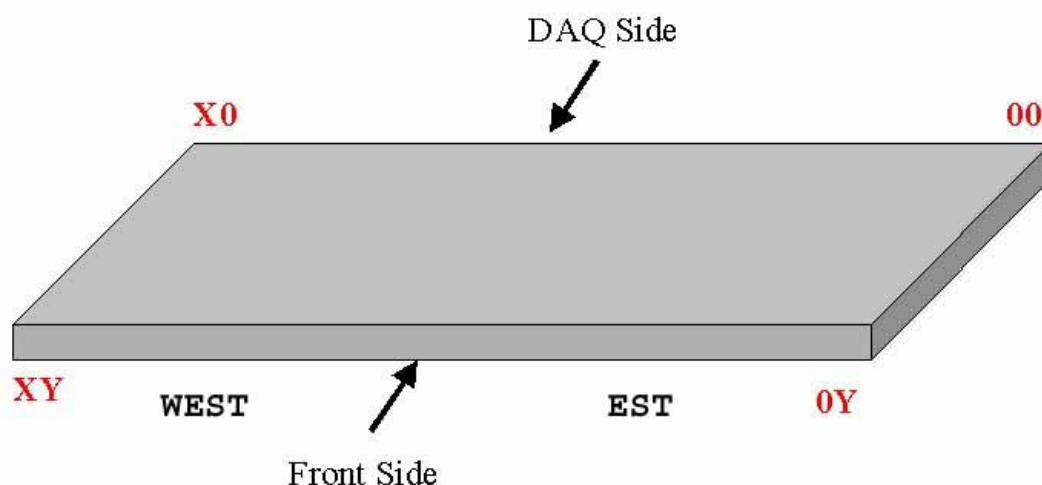
**Figura 39: Finestra comandi predisposizione soglie.**

### 3.3.3 HV Supply

Il pannello *HV Supply* riassume, in maniera intuitiva ed immediata tutto ciò che riguarda le alte tensioni applicate agli RPC ed alle relative correnti di gap, lette secondo lo schema introdotto precedentemente (par.2.1.3).

Dei quaranta canali, forniti dall'alimentatore di alte tensioni C.A.E.N SY127, soltanto quelli dispari dal 25 al 39 sono utilizzati per alimentare gli RPC, secondo le seguenti connessioni (fig.40):

- I canali 25 e 33 sono connessi ognuno a 4 connettori 00 di altrettanti RPC appartenenti rispettivamente alle stazioni dalla 1 alla 4 e dalla 5 alla 8. Queste sono relative alle gap di gas del *layer* 1 lato EST.
- I canali 27 e 35 sono connessi ognuno a 4 connettori XY di altrettanti RPC appartenenti rispettivamente alle stazioni dalla 1 alla 4 e dalla 5 alla 8. Queste sono relative alle gap di gas del *layer* 1 lato WEST.
- I canali 29 e 37 sono connessi ognuno a 4 connettori 0Y di altrettanti RPC appartenenti rispettivamente alle stazioni dalla 1 alla 4 e dalla 5 alla 8. Queste sono relative alle gap di gas del *layer* 2 lato EST.
- I canali 31 e 39 sono connessi ognuno a 4 connettori X0 di altrettanti RPC appartenenti rispettivamente alle stazioni dalla 1 alla 4 e dalla 5 alla 8. Queste sono relative alle gap di gas del *layer* 2 lato WEST.



**Figura 40: Nomenclatura adottata per i connettori di HV.**

Oltre a fornire il valore delle correnti lette sulle singole gap, espresse in  $\mu\text{A}$ , il pannello permette di controllare anche le correnti erogate dall'alimentatore C.A.E.N. afferenti allo stesso gruppo di connettori e le relative tensioni applicate. Questo è molto importante, perché permette di accorgersi immediatamente di eventuali anomalie nell'assorbimento di corrente o di possibili dispersioni: se la corrente prodotta dal canale C.A.E.N. non si ritrova sui 4 canali su cui afferisce, significa che sta fluendo per altra strada, per esempio sulla carcassa dell'RPC. Ciò



può risultare, oltre che pericoloso, anche fonte di gravi malfunzionamenti (si pensi ad esempio al rumore shot indotto sui segnali). Oltre a queste operazioni, prettamente di monitoraggio, da questo pannello è possibile impostare anche tutte le alte tensioni a valori prestabiliti, indicati con il termine *low*, *medium* e *nominal*, corrispondenti rispettivamente alle tensioni di 5500V, 7500V e 10000V. La questione dell'impostazione delle tensioni agli RPC è molto delicata, ed è legata fortemente all'andamento della pressione atmosferica e della temperatura ambiente. Infatti, la risposta degli RPC a parità di alta tensione applicata, varia fortemente con la densità del gas in esso presente, e pertanto con il variare dei precedenti parametri. Un modo immediato per compensare queste variazioni, è quello di *correggere l'alta tensione* in funzione delle variazioni di  $T_{ATM}$  e  $P_{ATM}$ . Pertanto per convenzione si stabilisce un valore di riferimento per  $T_{ATM}$  e  $P_{ATM}$  cui *viene riportato (normalizzato)* il valore di alta tensione da applicare al rivelatore.

Qui ci si riferisce pertanto sempre a valori di tensione nominali. Sarà mostrato in seguito il modo con cui viene calcolata la tensione da richiedere effettivamente ai canali C.A.E.N. onde applicarla agli RPC.

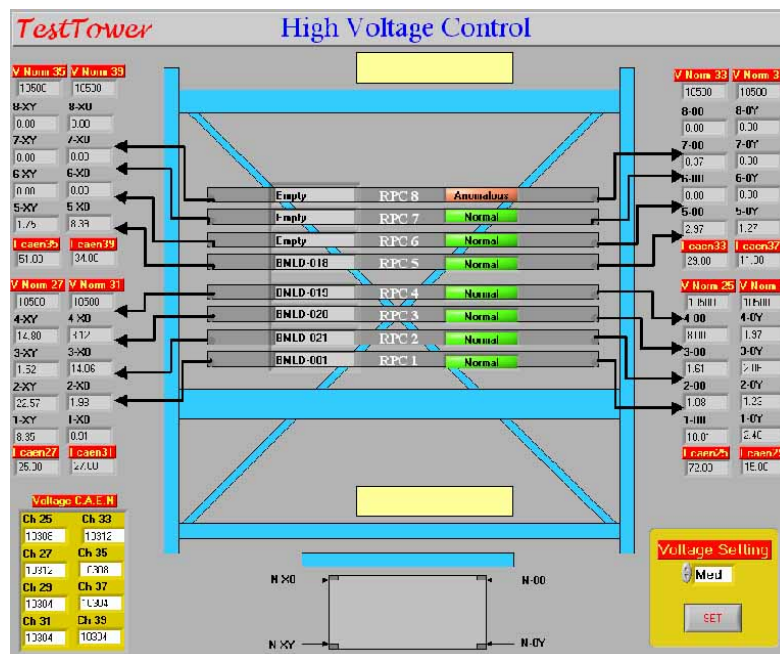


Figura 41: Pannello di controllo delle correnti di gap.

### 3.3.4 Tests

Questo pannello fornisce l'accesso alla sezione dedicata ai test che si possono effettuare sugli RPC. Considerato che il seguente capitolo sarà completamente dedicato ad essi ed alle modalità di svolgimento di ognuno dei test, ci limitiamo soltanto ad elencarli:

- **Leak Test.**
- **Low Voltage Test.**
- **High Voltage Test.**

Un ulteriore test, denominato "Pulse Test", è presente ma non ancora implementato. Oltre a scegliere quale test si vuole effettuare, un'ulteriore procedura, chiamata "Sequencer", permette di programmare la sequenza di test da svolgere in maniera completamente automatica; ciò permette di eseguire test anche in maniera *unattended* (in assenza degli operatori), circostanza questa necessaria quando si ha a che fare con test particolarmente lunghi. Basterà avviare il tutto e leggere i risultati scritti in un opportuno file html. Anche quest'importante aspetto, sarà trattato in dettaglio nel successivo capitolo.

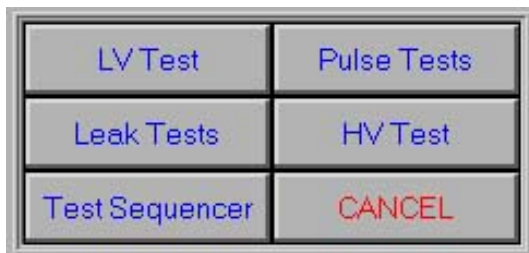


Figura 42: Pannello selezione test.

### 3.3.5 Log & Alarms

Il pannello *Logging & Alarms* (fig.43) mostra l'elenco degli allarmi attivi, comprensivo di data e ora di attivazione dell'allarme; i limiti superati i quali si attivano gli allarmi sono impostati mediante l'applicazione fornita dal DSC "Configure

Tag”, di cui si è ampiamente parlato in precedenza (par.3.2.1). La parte inferiore del pannello è dedicata alle operazioni di *logging*, previste non solo per gli utenti all’atto dell’inserimento della propria password, ma anche per l’avvio o l’arresto di un test e per una serie di altre operazioni elencate, e dunque selezionabili dal menù a tendina *Filter Selection*. In questo modo è possibile stabilire ad esempio chi ha avviato un test ed a che ora, oppure chi ha bloccato il programma d’acquisizione. I *file* in cui sono salvate le informazioni, per evitare il raggiungimento di dimensioni troppo elevate, vengono creati settimanalmente, in modo tale che la loro gestione risulti più agevole e veloce. Le stesse informazioni salvate sui *file* di *logging*, possono essere stampate.

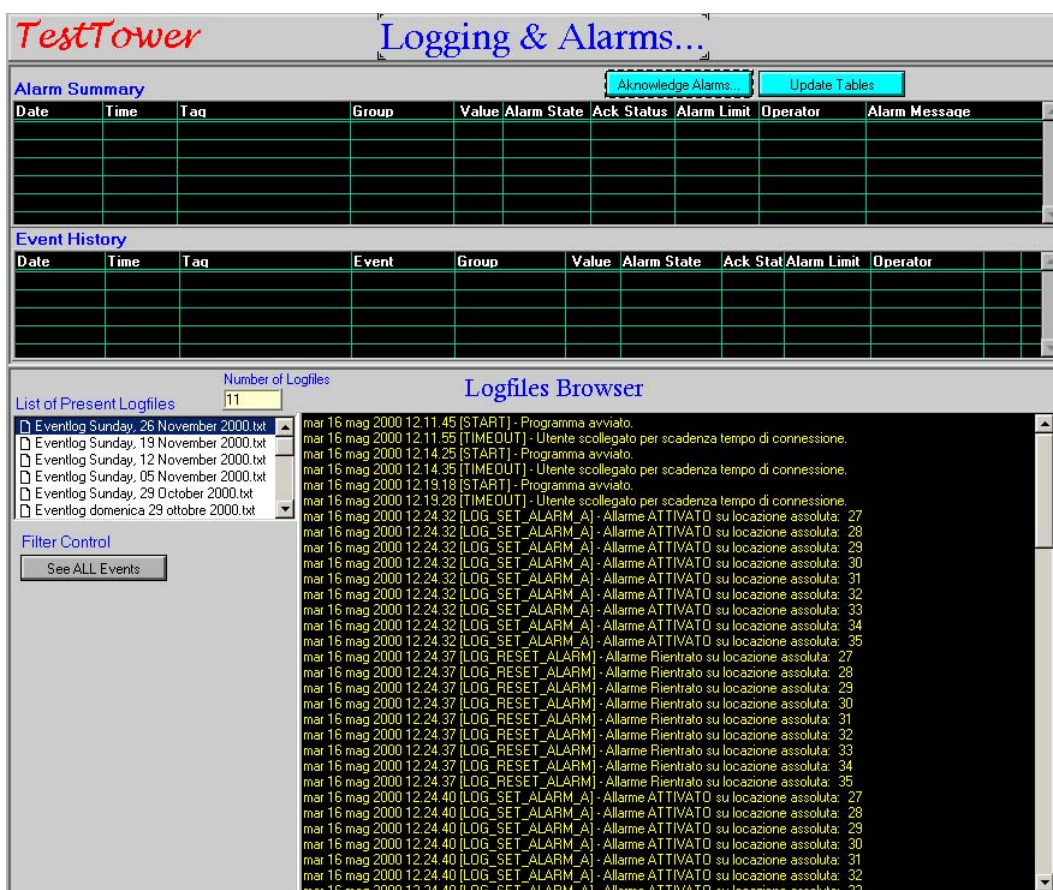


Figura 43: Pannello *Logging & Alarms*.

### 3.3.6 Historical Trends

Il pannello dei *trend* storici, è l'applicazione LabVIEW che fa uso dell'*Historical Citadel Database*. Essa prevede l'estrazione dei dati, registrati in automatico dal DSC, con la possibilità di selezionare l'intervallo temporale di visualizzazione. Ovviamente il tempo richiesto per l'estrazione dei dati dipende dal numero di grandezze che si desidera visualizzare e dall'intervallo temporale selezionato, nonché dalla variabilità delle grandezze in gioco<sup>6</sup>. Per rendere più veloce ed efficiente la consultazione dei dati, soltanto le grandezze ritenute importanti possono essere visualizzate. Esse sono raggruppate nelle seguenti classi:

- **Temperatures:** temperatura TOP, BOTTOM e del gas.
- **Atmospheric Pressure:** pressione atmosferica.
- **Humidity:** umidità ambientale.
- **Thresholds:** soglie dei discriminatori.
- **Flow Drift Chambers:** flussi dei gas costituenti la miscela utilizzata per le camere a deriva (Argon e Metano).
- **Flow RPC:** flussi dei gas costituenti la miscela utilizzata per gli RPC (R134A, Isobutano ed Esafloruro di zolfo).
- **Leak Test:** pressioni assolute RPC e pressione assoluta camera di riferimento.
- **Low Voltage (LV) Test:** correnti assorbite sulla bassa tensione.
- **High Voltage (HV) Test:** correnti di gap.
- **C.A.E.N Voltage:** tensioni canali C.A.E.N relativi alle otto stazioni.
- **C.A.E.N Current:** correnti erogate dall'alimentatore C.A.E.N.

Un selettore permette di selezionare la stazione cui le grandezze si riferiscono e ciò per rendere maggiormente comprensibili i *trend* altrimenti complicati per le troppe informazioni riportatevi. La modalità con cui si utilizza questo pannello prevede l'introduzione delle date relative all'intervallo di tempo da visualizzare, la scelta della classe di grandezze, la pressione del tasto "*update*" per rendere attiva

---

<sup>6</sup> Una maggiore variabilità della grandezza monitorata implica un maggior numero d'informazioni da memorizzare all'interno dell'*Historical Database* e quindi un maggior tempo di recupero.

la richiesta. Fra le varie operazioni possibili ci sono anche quelle relative alla modifica del *trend* visualizzato, come per esempio lo *Zoom In*, *Out* e le operazioni di *Autoscale* in X ed in Y.

L'utilizzo dei *trend* storici è importante. Ogni qualvolta si presenteranno dei problemi nel funzionamento degli RPC, dalla conoscenza degli andamenti temporali di queste grandezze si potrà risalire alla causa del problema verificatosi. Un esempio completo e dettagliato è riportato in Appendice B.

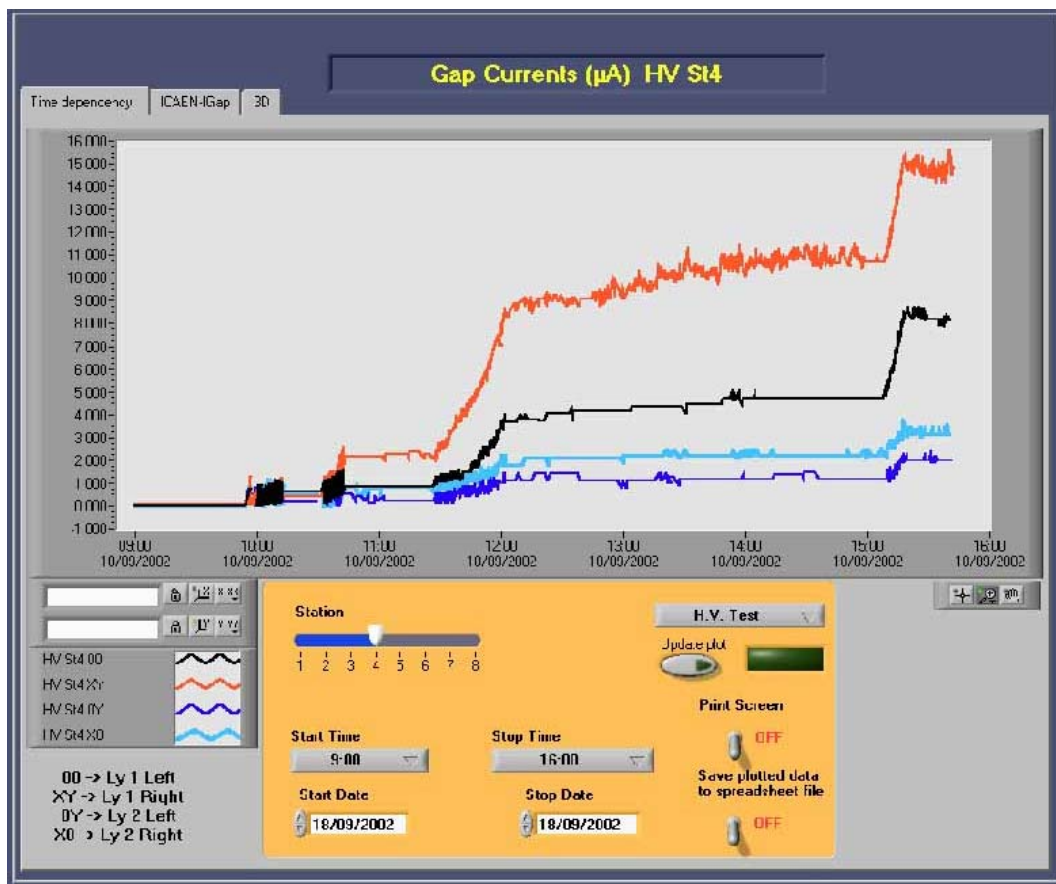


Figura 44: Pannello dei *trend* storici.

### 3.3.7 Configuration e About & Stop

Al pannello *Configuration* (fig.45) possono accedere soltanto gli utenti registrati con il profilo di amministratore, perché in esso sono possibili operazioni riguardanti la configurazione dell'intero programma, come la gestione dei profili degli

utenti abilitati all'utilizzo del programma, e la gestione di tutto ciò che riguarda il file di logging in cui sono registrate tutte le informazioni riguardanti le operazioni fatte. Sempre in questo pannello, si ha la possibilità di attivare o disattivare il funzionamento della stampante seriale usata per l'aggiornamento del registro di bordo e di inserire l'identificativo di tutti gli RPC alloggiati sulla stazione di test. Ovviamente ogni qual volta si cambieranno gli RPC, bisognerà aggiornare quest'informazione. I nomi degli RPC seguono le specifiche introdotte nel par. 2.1.2; da questi nomi, il programma riconosce automaticamente il tipo di RPC sotto esame, e provvede a riconfigurare i pannelli sensibili a questa informazione (ad es. quello relativo ai consumi sulle basse tensioni).

Un'altra caratteristica del programma volta alla sicurezza dello stesso e capace di evitare l'arresto del *Main Program* da parte di persone non addette ai lavori, è che lo spegnimento del programma è subordinato all'introduzione di un'opportuna password.

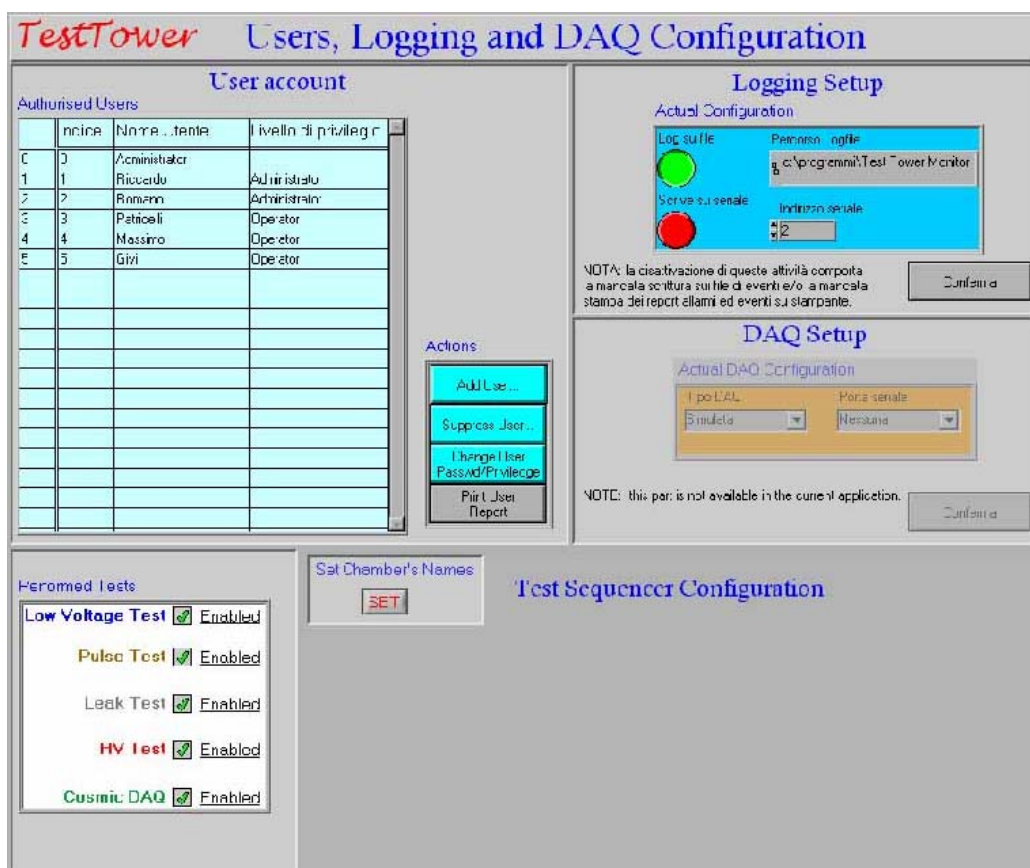


Figura 45: Pannello "Configuration".

## 4 Test sugli RPC

In questo capitolo si affronterà la seconda ed ultima parte del lavoro di tesi, quella riguardante l'automazione delle procedure di test da effettuare sugli RPC. Nel paragrafo 2.3 ci si è limitati ad un semplice elenco dei test da realizzare e ad una breve descrizione della loro utilità. Si spiegherà ora in dettaglio tutto ciò che riguarda i test, soffermandosi, in particolare su questi aspetti:

- Utilità dei test.
- Procedure d'esecuzione dei test ed implementazione in LabVIEW.
- Risultati dei test effettuati.

Per la loro realizzazione l'hardware utilizzato è quello di cui si è già discusso in precedenza, eccezion fatta per il *“leak test”*, per il quale ci si è serviti di un'attrezzatura che avesse il duplice scopo di fornire gli strumenti per realizzare il test e di distribuire automaticamente la miscela di gas agli RPC. Nel prossimo paragrafo si spiegherà in dettaglio quest'apparato chiamato *Rack dei Gas*.

### 4.1 Test di tenuta al gas o *“Leak Test”*

Negli RPC la miscela di gas, che riempie i volumi interni, è di vitale importanza per il corretto funzionamento delle unità. Si ricordi che la miscela è composta da: Tetrafluoroetano (134A), Isobutano ed Esafloruro di zolfo. Quest'ordine rispecchia le percentuali della composizione della miscela (96.7, 3.0, 0.3), infatti, il 134A è il gas di ionizzazione, mentre i restanti due servono per limitare fenomeni di scarica ed effetti di *streamer* (par.1.5.1). Tutte le caratteristiche fondamentali di un RPC, come risoluzione temporale, efficienza, correnti di *gap* dipendono da questa miscela, e tanto più si cerca di mantenerla entro i limiti fissati, tanto più le unità funzionano regolarmente. Una perdita o *leak* all'interno di un RPC è un'evenienza che bisogna in tutti modi minimizzare. Questi *leak* rappresentano la

causa principale della contaminazione del gas, dovuta all'aria che entrerebbe all'interno dei volumi. Oltre a quest'aspetto legato al corretto funzionamento degli RPC, ci sono altri due aspetti altrettanto importanti legati alla questione della sicurezza e al contenimento dei costi dell'esperimento. La questione sicurezza è di fondamentale importanza in quanto gli RPC utilizzati in ATLAS copriranno una superficie di circa 3000 mq ed il numero di unità utilizzate sarà notevole. Lo spettrometro sarà costruito in una cavità sotterranea, in cui l'accumulo di gas nocivi ed infiammabili può rappresentare un problema. Un piccolo *leak* per un RPC è accettabile se si considera l'unità in quanto tale, ma è insostenibile se si estende la visione all'intero apparato con tutti gli RPC. Infine, nell'esperimento ATLAS la miscela di gas sarà riciclata quasi completamente. Si prevede soltanto l'aggiunta di una minima quantità (circa 10%) di miscela "fresca" per compensare eventuali perdite dovute a fattori incontrollabili, questo per ridurre i costi legati al consumo di gas. Per tutte queste ragioni, la collaborazione ATLAS richiede la massima attenzione a tutti i gruppi addetti al collaudo ed alla certificazione degli RPC, soprattutto per quanto concerne il "**Leak Test**".

Il risultato di un *Leak Test* dovrà essere un numero che indichi chiaramente la perdita o "**Leak Rate**" di un volume di gas.

Il *Leak Rate* è definito dalla seguente espressione:  $Q_L = \frac{\Delta(PV)}{\Delta t}$  dove  $P$  è la pressione del gas all'interno di una *gap* di un RPC,  $V$  è il volume della stessa e  $t$  è il tempo. Nel nostro caso il volume è costante, quindi:

$$Q_L = V_0 \frac{\Delta P}{\Delta t} \quad \text{Equazione 1: Leak Rate.}$$

con  $V_0$  volume della *gap* dell'RPC. La schematizzazione che ci ha portato alla precedente definizione si basa sulle seguenti approssimazioni:

- Il foro responsabile della perdita di gas da un RPC schematizzato come un cilindretto di volume  $A$ . Questo volume deve essere molto minore del volume dell'RPC e dell'ambiente esterno, nel nostro caso dell'hangar.  $A \ll V_1, V_2$  (fig.46).



- Miscela di gas considerata come gas perfetto.
- Temperatura ambiente costante.
- Pressione ambiente costante.

Sotto queste ipotesi, l'equazione utilizzata per la miscela di gas è quella dei gas perfetti, cioè  $PV = nRT$ , con  $P$  pressione all'interno dell'RPC,  $V$  volume dell'RPC e  $n$  numero di moli di gas in esso contenute. Dalla precedente otteniamo  $\Delta(PV) = R \cdot \Delta(nT)$  e poiché  $T$  e  $V$  sono costanti abbiamo  $V_0 \cdot \Delta P = \Delta n \cdot R \cdot T$ . Dividendo entrambi i membri per l'intervallo di tempo  $\Delta t$  ritroviamo la definizione

di *leak rate*:  $Q_L = \frac{V_0 \cdot \Delta P}{\Delta t} = \frac{\Delta n \cdot R \cdot T}{\Delta t}$  in cui diventa palese il legame tra varia-

zione di pressione e corrispondente variazione di numero di moli all'interno dell'RPC. La definizione stessa di *leak rate* suggerisce l'idea per l'effettiva realizzazione del *leak test*. Basterà riempire la camera fino al raggiungimento di una certa pressione  $P_{0Ass}$ , isolare e monitorare la pressione per un determinato intervallo di tempo. Dall'andamento della variazione di pressione, e sfruttando la definizione (equazione 1) si ottiene il valore numerico del *Leak Rate* espresso in  $\frac{hPa \cdot l}{h}$ .

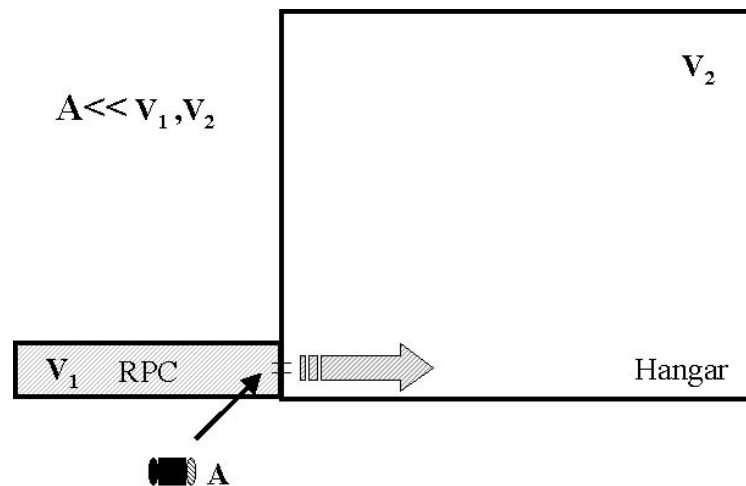


Figura 46: Schema approssimazioni.

Sotto le ipotesi che supportano il nostro modello, il comportamento della pressione del gas all'interno dell'RPC, durante l'esecuzione di un *leak test*, è governato dalla seguente espressione:

$$P_{Ass}(t) = (P_{0Ass} - P_{Atm}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + P_{Atm}$$

dove  $P_{0Ass}$  e  $P_{Ass}$  rappresentano rispettivamente la pressione assoluta iniziale e quella assoluta dell'RPC.

La conoscenza della costante di tempo  $\tau$  permette di capire la bontà della tenuta degli RPC. Effettuando un fit esponenziale sui dati raccolti sulla pressione al variare del tempo, si ottiene una stima per  $\tau$ . Un grande valore per  $\tau$  è indice di un'ottima tenuta della camera, mentre, viceversa un piccolo valore di  $\tau$  indica la presenza di una grande perdita.

Il problema da affrontare è cercare una soluzione pratica che permetta di soddisfare al massimo le condizioni dettate dalle approssimazioni imposte dal nostro modello. Alcune di esse sono già soddisfatte (il volume dell'RPC e dell'hangar molto maggiori del volume schematizzato per la perdita). Non resta che da affrontare due problemi abbastanza spinosi: la temperatura e la pressione esterna atmosferica supposte costanti. Analizziamo in dettaglio i problemi che potrebbero introdurre le fluttuazioni di queste grandezze:

- Le fluttuazioni di temperatura influenzano indirettamente la misura della pressione all'interno della camera sotto test. Infatti, ad un aumento di temperatura corrisponde un aumento di pressione dovuto all'espansione della miscela contenuta in essa e viceversa.
- La pressione atmosferica è un fattore molto importante da considerare e, in alcuni casi, potrebbe addirittura nascondere una perdita. Se una camera si trovasse ad una certa pressione assoluta  $P_{Ass} > P_{Atm}$  e perdesse gas, un incremento della pressione atmosferica maggiore o uguale della quantità  $P_{Ass} - P_{Atm}$  coprirebbe completamente la perdita.

Le fluttuazioni a cui ci si riferisce sono sempre relative ad intervalli di tempo dell'ordine della durata del test, ossia di alcune ore. Ovviamente in tale intervallo la temperatura, di norma, non subisce una variazione eccessiva (ricordiamo che l'ambiente è dotato di condizionatore), così pure la pressione atmosferica. Tuttavia sono possibili condizioni particolari per cui ci si deve svincolare da queste dipendenze.

Le fluttuazioni dovute alla temperatura (T) possono essere compensate mediante l'aggiunta di una camera di riferimento a tenuta stagna, rispetto alla quale sono fatte le misure di pressione. La pressione di un RPC è letta in differenziale, cioè i misuratori di pressione forniscono un valore che esprime la grandezza  $\delta P_{RPC} = P_{Ass} - P_{rif}$ . Essendo le camere (quella sotto test e quella di riferimento) soggette alle stesse variazioni di temperatura, una tale misura elimina questa dipendenza.

Lo stesso criterio di misura per gli RPC è adottato per la camera di riferimento, in questo caso il valore misurato esprime la grandezza  $\delta P_{rif} = P_{rif} - P_{Atm}$ , in cui compare esplicitamente la pressione atmosferica.

La misura di  $\delta P_{RPC}$ , di  $\delta P_{rif}$  e della pressione atmosferica ( $P_{Atm}$ ), insieme ad un opportuno processo di compensazione, permette di risalire al valore  $P_{Ass}$  libero da entrambe le fluttuazioni.

Sommando i valori misurati di  $\delta P_{RPC}$  e  $\delta P_{rif}$  si ottiene il valore della sovrappressione nell'RPC (rispetto alla pressione atmosferica)

$$\delta P_{RPC} + \delta P_{rif} = P_{Ass} - P_{Atm}$$

da cui sono stati eliminati gli effetti di variazione della temperatura. Sommando a questa quantità il valore misurato della  $P_{Atm}$ , si ottiene il valore di  $P_{Ass}$  in cui ci si è liberati anche delle fluttuazioni della pressione atmosferica.

L'introduzione della camera di riferimento, come metodo di risoluzione dei problemi legati alla dipendenza della pressione all'interno di un RPC dalla temperatura, presuppone la validità delle seguenti condizioni:

- Volume della camera di riferimento uguale al volume della *gap* dell'RPC sotto test.
- Struttura e meccanica della camera di riferimento identica a quella dell'RPC, in modo che le due camere abbiano la stessa capacità termica.

- Camere disposte il più vicino possibile, in modo che la temperatura esterna sia uguale per entrambe.

Per motivi pratici, le precedenti condizioni non sono soddisfatte pienamente, in quanto la camera di riferimento adottata ha un volume fissato, mentre gli RPC da testare hanno dimensioni diverse e quindi volumi variabili. Un'altra limitazione è dettata dall'alloggiamento degli RPC sulla stazione di test: a regime, gli 8 RPC da testare sono disposti a pila e ciò comporta una diversa distanza tra la camera di riferimento e i vari RPC. Infine, la camera di riferimento non ha la stessa capacità termica degli RPC. Questa condizione è difficile da realizzare, dato la complessa stratificazione degli RPC stessi. La camera di riferimento è costituita da due volumi di gas racchiusi tra piani di legno ed ha le caratteristiche costruttive di un RPC del tipo BMS-E, cioè dimensione  $(3200 \times 750) \text{mm}^2$  e volume di 8,9 lt.

Anche sotto queste condizioni si vedrà in seguito che i risultati ottenuti da alcuni *leak test* effettuati rispecchiano le nostre previsioni teoriche.

#### **4.1.1 Il “Rack del Gas”**

*Rack del Gas* è il termine con cui indichiamo l'apparecchiatura appositamente costruita per svolgere il duplice compito di flussare gli RPC con la miscela di gas e permettere l'esecuzione di *leak test*, anche di più RPC contemporaneamente, seguendo la procedura introdotta nel precedente paragrafo. Il nome di quest'apparecchiatura è **ANGELA**, acronimo di *Atlas Naples Gas Equipment and Leak test Analyser*. Tale sistema permette, inoltre, il controllo di numerosi parametri quali pressione atmosferica, temperatura del gas, sovrappressione delle camere rispetto a quella di riferimento, sovrappressione della camera di riferimento rispetto all'atmosfera e stato delle singole valvole di controllo dei flussi. La struttura di ANGELA, sebbene complessa, può essere schematizzata di principio, come segue:

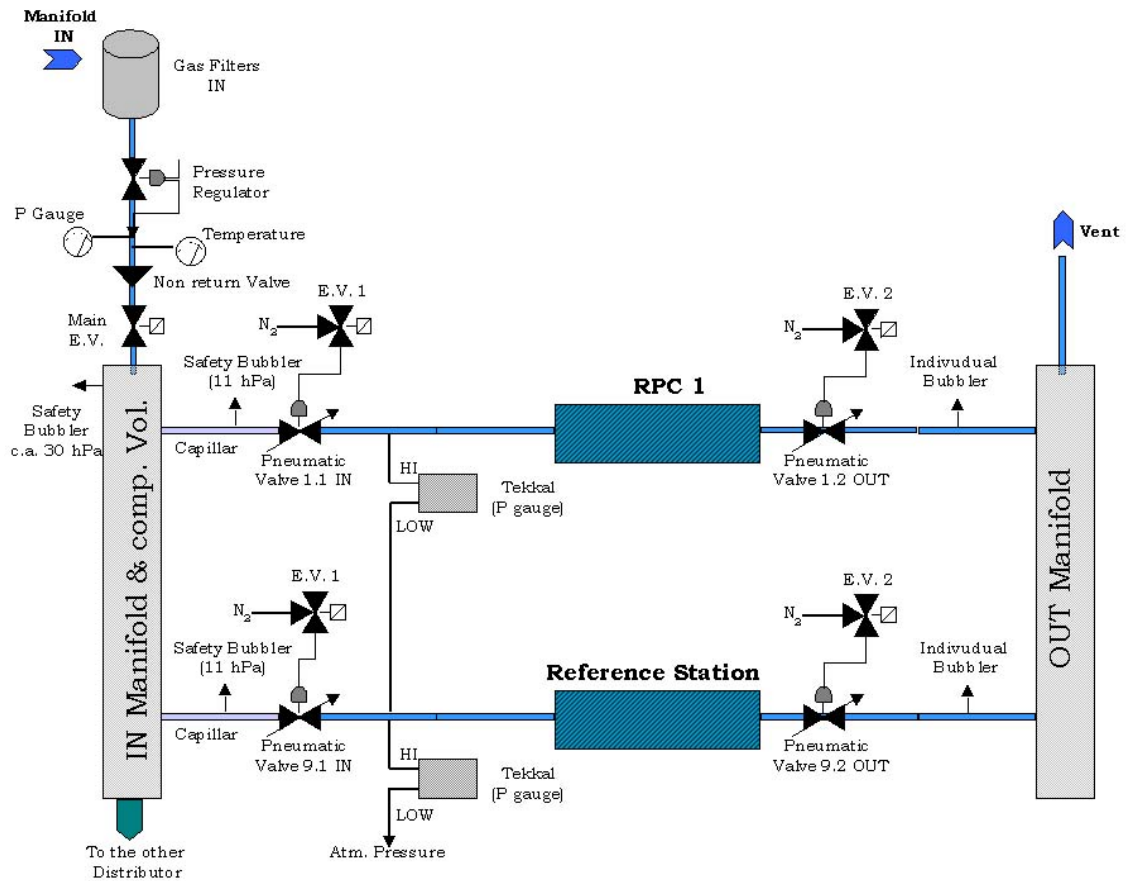


Figura 47: Schema ANGELA.

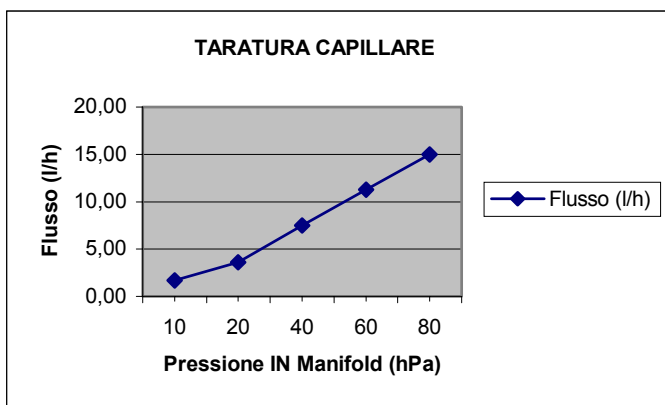
Il primo stadio prevede la presenza di filtri, apparecchi per la miscelazione, un regolatore di pressione, misuratori di temperatura e pressione d'ingresso seguiti da un'elettrovalvola (**Main E.V.**) che decide l'immissione di gas nel distributore (ON-OFF).

Il secondo stadio comprende il distributore (**IN Manifold**), i capillari che si dipartono da esso e che svolgono l'azione di regolare ed uniformare il flusso del gas tra le varie linee e le valvole pneumatiche, azionate a loro volta da elettrovalvole, tramite le quali è possibile abilitare o impedire il passaggio di gas nelle singole camere.

Il terzo ed ultimo stadio, direttamente connesso all'uscita dell'RPC, comprende le valvole d'uscita (pneumatiche e pilotate da elettrovalvole) ed il raccogliatore (**OUT Manifold**) che convoglia il gas all'esterno dell'area di test. Ogni linea di distribu-

zione, inoltre, è fornita di un “*bubbler*” di sicurezza<sup>7</sup>, che entra in funzione quando la pressione in ingresso supera il valore critico fissato a 13 hPa e che ci permette di salvaguardare l’integrità degli RPC ed evitare danneggiamenti dovuti ad applicazioni di erronee pressioni troppo elevate, e di un “*bubbler*” in uscita che assolve la funzione di indicatore, permettendo di capire quali linee sono aperte e, fatto importante, se il flusso all’interno di un RPC è regolare.

Ovviamente, quando le camere sono sotto flusso, è necessario che i *bubbler* indichino il passaggio del gas. Se così non fosse, significherebbe che non c’è flusso all’interno del corrispondente RPC, sintomo tipico di presenza di una qualche notevole perdita. Per far sì che tutti i *bubbler* relativi agli RPC sotto flusso indichino il passaggio di gas anche in presenza di perdite (non eccessive), è data la possibilità di regolare manualmente la quantità di flusso a valle dei capillari, cioè del gas che effettivamente entra negli RPC. La quantità di flusso, espressa in l/h, è selezionabile attraverso un regolatore (fig. 48) mediante il quale si decide la pressione nell’*IN Manifold* e quindi il flusso determinato dalle alte impedenze dei capillari. La relazione che lega flusso e pressione è stata ottenuta sperimentalmente e la curva di taratura è riportata di seguito.

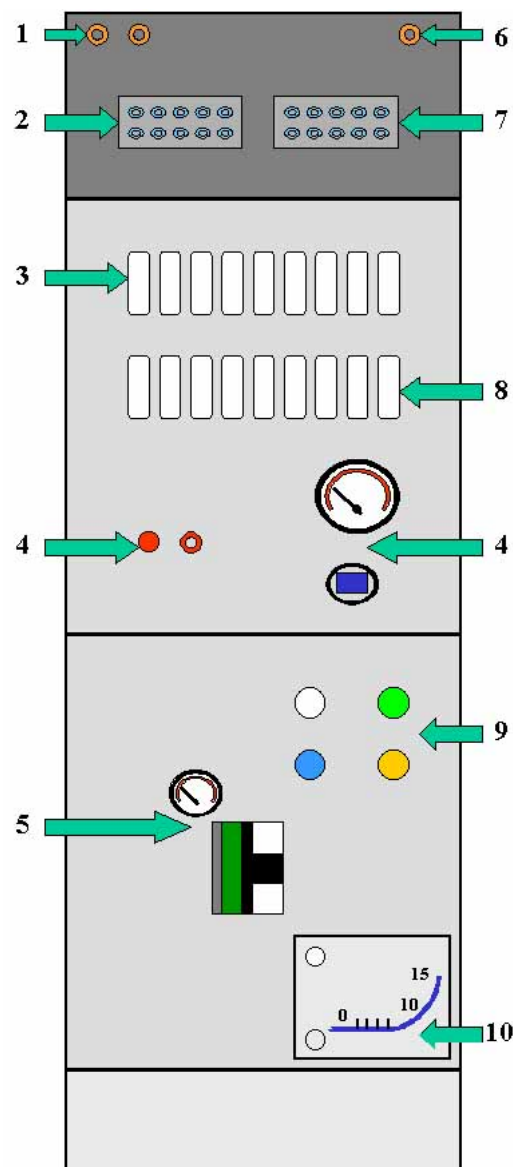


Ritornando allo schema riportato in figura 47, possiamo notare la presenza, su ogni linea, dei misuratori differenziali di pressione (di marca **TEKKAL**). Dallo schema si vede, inoltre, come le pressioni degli RPC sono misurate relativamente

<sup>7</sup> I *bubbler* di sicurezza sono riempiti con del mercurio per ~ 0.8 cm, mentre quelli normali con dell’olio di paraffina per ~ 0.3 cm.

alla pressione della camera di riferimento e come questa è misurata rispetto a quella atmosferica.

Tutti gli organi elettromeccanici di ANGELA, elettrovalvole, valvole pneumatiche, sensori di temperatura e di pressione e misuratori di pressione TEKKAL, sono connessi con la stazione di moduli *Field Point* (SFP 3) alloggiata all'interno dello stesso *Rack*; questa stazione, la cui configurazione è stata introdotta in un paragrafo precedente (par. 3.1.1), permette il controllo remoto da PC.



**Figura 48: ANGELA.**

La precedente figura schematizza la struttura esterna di ANGELA evidenziando tutte le sue caratteristiche come spie luminose, indicatori, regolatori di pressione, ecc. Vediamo in dettaglio i vari componenti, ricordando che ogni numero si riferisce al corrispondente riportato nella figura 48.

1. **Connettori per l'alimentazione e lo scarico:** permettono di alimentare il *Rack* con la miscela di gas e di scaricare in atmosfera quella in uscita. Al connettore di destra va collegato il tubo che porta la miscela di gas dal miscelatore; a quello di sinistra, invece, va collegato il tubo di scarico in atmosfera.
2. **Distributore Miscela 1:** costituito da dieci connettori ad innesto rapido a cui collegare altrettanti tubi per alimentare gli RPC. Ovviamente quelli utilizzati sono soltanto 9, il decimo è utilizzato come riserva in caso di rottura di uno dei precedenti.
3. **Bubbler di uscita:** ampolle di vetro riempite con una determinata quantità d'olio di paraffina. Servono per rendere evidente le linee in cui passa del gas.
4. **Comandi N<sub>2</sub>:** la valvola posta a sinistra permette all'azoto di alimentare le valvole pneumatiche del *rack*. Il comando posto a destra è una valvola di scarico, che, attivata, permette la fuoriuscita di N<sub>2</sub> dall'impianto. Questo comando risulta particolarmente utile qualora la pressione dell'azoto risulti essere maggiore di 400 kPa (pressione consigliata per il funzionamento) e si desidera riportarla a valori normali. Questo valore di pressione è impostato attraverso l'apposito regolatore indicato con il nome "Nitrogen Pressure Regulator".
5. **Regolatore Miscela Gas:** mediante questo regolatore è possibile selezionare la pressione della miscela di gas e quindi il corrispondente flusso a valle dei capillari (ricordiamo la curva di taratura precedente). Il valore della pressione è visualizzato sul corrispondente manometro. I valori selezionabili sono solitamente quelli indicati nella curva di taratura, cioè appartenenti all'intervallo [10,80]mbar, mentre il manometro presenta un range di [0,160]mbar.



6. **Connettore per N<sub>2</sub>**: a questo connettore va collegata la linea di alimentazione dell'azoto industriale utilizzato per tutte le valvole pneumatiche presenti nel *rack*.
7. **Distributore di Miscela 2**: costituito da dieci linee, ad ognuna delle quali va connesso la linea di ritorno di un RPC. Anche in questo caso soltanto 9 linee sono utili, la decima è di riserva.
8. **Bubbler di sicurezza**: ampole di vetro riempite con una determinata quantità di mercurio. Questa è determinata in modo tale che la pressione di sicurezza sia impostata al valore di ~13 hPa.
9. **Spie Luminose**: indicano lo stato di ANGELA. La spia verde se accesa indica che ANGELA è operativa. La spia arancione se accesa indica che la valvola principale è aperta e che quindi c'è disponibilità di miscela. Le restanti due spie indicano in che stato si trova il selezionatore di flusso (alto o basso).
10. **Misuratore di pressione**: indica visivamente il valore della sovrappressione, rispetto alla pressione atmosferica, all'interno della camera di riferimento.

#### 4.1.2 Leak Test in LabVIEW

Si è visto, in precedenza, l'idea di base per la procedura d'attuazione di un *leak test*. Essa prevedeva il riempimento della camera sotto test fino ad una determinata pressione  $P_0$ . Successivamente, si misura la pressione per un certo periodo di tempo, terminato il quale si valuta la differenza di pressione, la costante di tempo  $\tau$  di decadimento e quindi il *leak rat*. Un *leak test* procede per tre passi successivi:

1. Riempimento della camera di riferimento e degli RPC sotto test, e stabilizzazione del valore della pressione in esse.
2. Acquisizione dei dati relativi alle pressioni degli RPC, della camera di riferimento e della pressione atmosferica.
3. Applicazione della compensazione ai dati raccolti e visualizzazione dei risultati su foglio elettronico.

La fase di riempimento e di stabilizzazione prevede l'esecuzione di una sequenza di operazioni sull'apparato ANGELA e l'implementazione in LabVIEW di queste fornisce la procedura di test automatico richiesto. Il nostro obiettivo è stato quello di fornire un pannello utente in cui l'operatore, decisi i parametri fondamentali del test (pressione iniziale, durata del test e flusso della miscela), non dovrà far altro che premere un tasto ed aspettare i risultati. La fase di riempimento, relativa ad un test effettuato su singola camera, prevede i seguenti passi:

1. Chiusura della valvola principale (*Main Valve*).
2. Posizionamento delle valvole della camera sotto test nella posizione ***Out Of Gas***, ossia valvola di ingresso chiusa e uscita aperta.
3. Posizionamento della camera di riferimento nello stato ***Filling*** (valvola di ingresso aperta e di uscita chiusa).
4. Apertura della valvola principale con conseguente inizio riempimento della camera di riferimento.
5. Posizionamento della camera sotto test nello stato ***Filling*** e conseguente inizio riempimento della stessa.
6. Raggiungimento della pressione richiesta per entrambe le camere.
7. Posizionamento della camera di riferimento e di quella sotto test nello stato ***Insulated*** (valvola di ingresso e di uscita chiuse)

La semplicità con cui sono state descritte le operazioni di riempimento delle camere, non deve indurre a pensare che il *leak test* sia una procedura banale da realizzare. Sono molti i problemi da considerare affinché tutto proceda per il meglio. Il primo problema si presenta nel caso in cui una RPC abbia una perdita tale da non permetterne il riempimento. Si è dovuto, quindi, considerare un caso di *Time Out* che ci permetta d'uscire da questa situazione di stallo. Altro problema è quello opposto, ossia il programma deve essere capace di controllare le pressioni in tempo reale ed evitare il verificarsi di situazioni di pericolo per gli RPC: nel caso in cui le camere superino una certa pressione critica, automaticamente si dovrà interrompere il riempimento e correre ai ripari mettendo le camere in una configura-

zione di *Out Of Gas*. Comunque, se per qualche motivo il controllo delle pressioni via software non dovesse funzionare ci sono sempre i *bubblers* di sicurezza. Oltre a questi problemi superabili attraverso la stesura di un programma LabVIEW che contempra situazioni particolari e di pericolo, ci sono altri problemi “hardware” legati al fatto che ANGELA opera con pressioni piccole, dell’ordine degli hPa. La manipolazione di queste pressioni così ridotte comporta la presenza di perdite inaspettate. Queste possibili complicazioni sono state ridotte al minimo attraverso un controllo capillare delle giunzioni sospette e mediante l’utilizzo di particolari resine utilizzate per renderle ermeticamente chiuse. Test di tenuta delle linee di distribuzione della miscela di gas, lungo cui si potevano verificare simili “guasti”, sono stati effettuati ricorrendo al metodo artigianale di misure di pressione con tubi manometrici opportuni.

La procedura “*VIS\_Filling\_and\_Stabilization*” scritta in LabVIEW implementa la sequenza di operazioni introdotta precedentemente, rendendo possibile l’esecuzione di un *leak test* contemporaneamente per più RPC (massimo otto). L’aspetto del pannello relativo alla fase di riempimento e di stabilizzazione è riportato nella seguente figura.



**Figura 49: Pannello relativo all'operazione di Riempimento e Stabilizzazione Pressione.**

Una volta che le camere sono isolate, l’acquisizione dei valori delle pressioni lette dai misuratori Tekkal ha inizio.

I dati saranno salvati ogni cinque minuti<sup>8</sup> in un file con il seguente formato:

<sup>8</sup> L’intervallo di 5 min scelto per il salvataggio dei dati, ci permette di controllare le dimensioni dei file prodotti. D’altronde un intervallo minore sarebbe inutile per i nostri scopi.

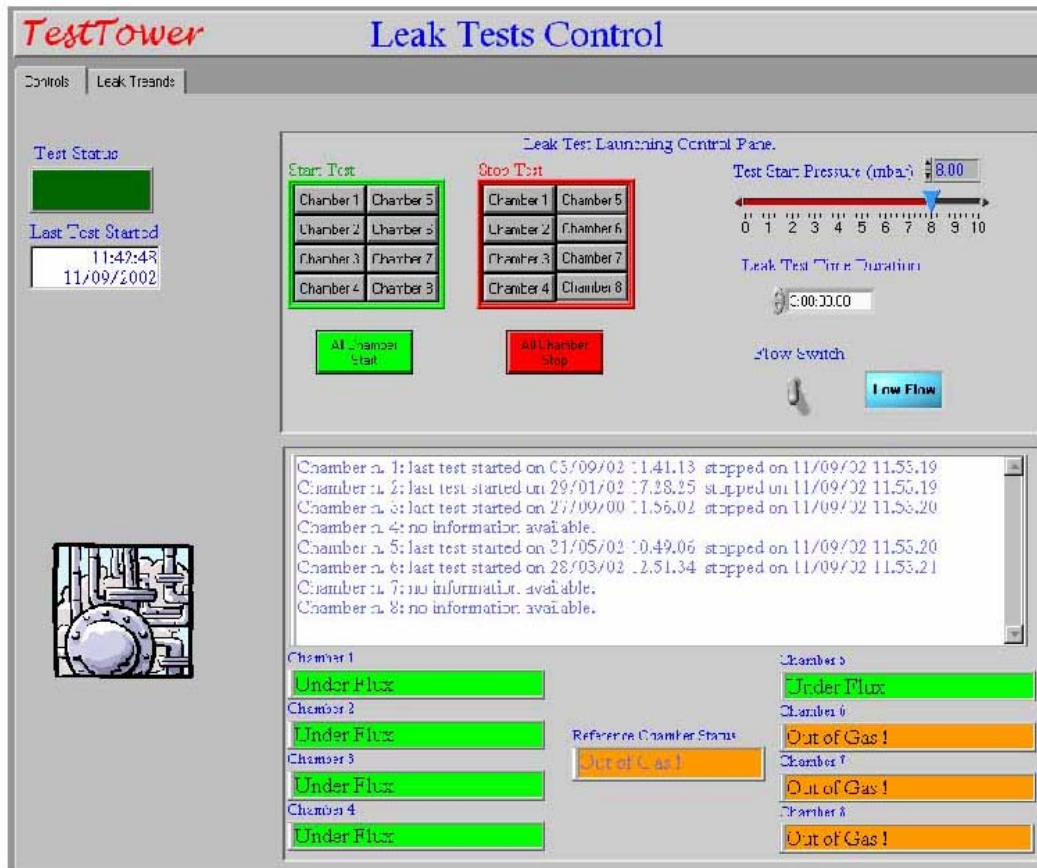
| <b>Time</b> | <b>Id Chamber1</b>     | <b>...</b> | <b>Id Chamber 8</b>    | <b>Reference Chamber</b> | <b>Atmospheric Pressure</b> | <b>Temperature</b> |
|-------------|------------------------|------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------|
| time (min)  | Tekkal Pressure1 (hPa) | ....       | Tekkal Pressure8 (hPa) | Tekkal Pressure Ref. Ch. | atmosheric Pressure (hPa)   | Temperature (°C)   |

Ogni file prodotto da un *leak test* potrà essere visualizzato mediante l'applicazione Excel, mediante la quale si potrà applicare la compensazione introdotta per il raggiungimento del risultato finale. Nel seguente paragrafo sarà esaminato un esempio concreto di *leak test* in ogni suo aspetto, dall'impostazione dei parametri alla visualizzazione dei risultati.

### 4.1.3 Un esempio di Leak Test

L'esempio che analizziamo riguarda un *leak test* effettuato su quattro RPC del tipo BOS-B. Gli identificativi di queste unità sono: BOS-B-010, BOS-B-006, BOS-B-007 e BOS-B-008.

Per avere informazioni dettagliate sulle possibili perdite di ogni RPC, sono state utilizzate due linee di distribuzione per ogni unità, configurazione che ci ha permesso di sapere precisamente quali *layer* erano affetti da perdite, ma anche di mettere il nostro sistema nella situazione più completa, ossia quella che prevede tutte le linee di distribuzione in funzione ed attaccate ad un volume reale. Ricordiamo che a regime saranno otto gli RPC che dovranno essere testati in contemporanea. Il test è stato effettuando connettendo le linee di distribuzione 1 e 2 con la BOS-B-010, 3 e 4 con la BOS-B-006 e così via per le restanti due, cioè 007 e 008. La configurazione dei parametri di partenza prevedeva 8hPa di sovrappressione, tempo d'acquisizione di tre ore e riempimento effettuato a basso flusso (circa 2 l/h). Il pannello utente con i relativi parametri è riportato di seguito:



Impostati i parametri e pigiato il tasto “*All Chambers Start*” ha avuto inizio il riempimento dei singoli *layer*, fino al raggiungimento della sovrappressione richiesta, dopodiché sono stati isolati ed ha avuto inizio l’acquisizione delle pressioni. Ovviamente, il programma, mediante opportune indicazioni visive avvisa l’utente che un *leak test* è in corso e lo aggiorna sul tempo mancante alla conclusione.

I dati acquisiti riguardanti la prima ora del test sono riportati nella seguente tabella 6a.

Utilizzando la procedura di compensazione sono stati ottenuti i valori delle pressioni assolute all’interno dei singoli *layer*, parte dei quali riportati nella tabella 6b. L’aspetto fondamentale di un *leak test* è il grafico che riporta gli andamenti delle pressioni assolute, e che ci permette di capire immediatamente le condizioni di tenuta dei *layer*. Nel caso specifico (si veda il grafico riportato di seguito) si evince che:

1. Ci sono alcuni *layer* con grandi perdite. Infatti, il *layer* 1 e 2 della BOS-B-006 ed il *layer* 1 della BOS-B-008 non hanno raggiunto la sovrappressione

richiesta e per tutta la durata del test hanno seguito l'andamento della pressione atmosferica.

2. Un *layer*, precisamente il *layer* 2 della BOS-B-007, ha un andamento esponenziale, così come previsto dal nostro modello teorico.
3. Per i restanti *layer* la costante di tempo  $\tau$  è tale da poter considerare la variazione di pressione lineare nel tempo di misura. Fra tutti, quello con la migliore tenuta è evidentemente il *layer* 1 della BOS-B-007 la cui pressione è rimasta praticamente costante nel tempo di misura.

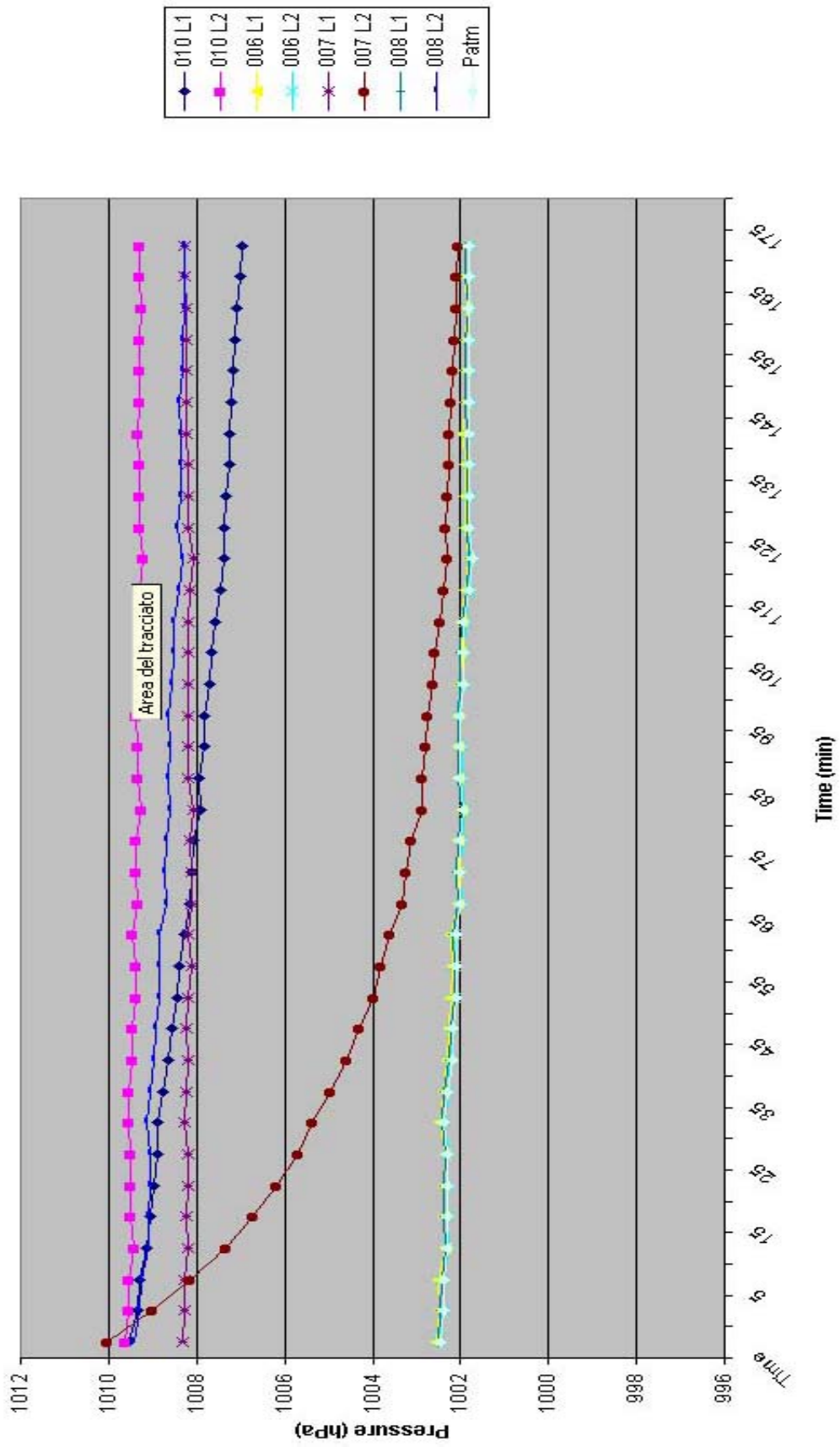
| Time | BOSB-010 L1 | BOSB-010 L2 | BOSB-006 L1 | BOSB-006 L2 | BOSB-007 L1 | BOSB-007 L2 | BOSB-008 L1 | BOSB-008 L2 | Ref. C | Patm     | T      |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|----------|--------|
| 0    | -0,797      | -0,708      | -7,767      | -7,836      | -2,013      | -0,303      | -7,824      | -0,901      | 7,852  | 1002,482 | 26,610 |
| 5    | -0,889      | -0,708      | -7,767      | -7,836      | -1,969      | -1,231      | -7,775      | -0,945      | 7,852  | 1002,388 | 26,610 |
| 10   | -0,889      | -0,661      | -7,707      | -7,790      | -1,925      | -2,046      | -7,775      | -0,945      | 7,808  | 1002,388 | 26,610 |
| 15   | -0,941      | -0,617      | -7,707      | -7,790      | -1,876      | -2,729      | -7,729      | -0,945      | 7,763  | 1002,295 | 26,610 |
| 20   | -0,985      | -0,561      | -7,663      | -7,746      | -1,829      | -3,319      | -7,677      | -0,945      | 7,763  | 1002,295 | 26,610 |
| 25   | -1,030      | -0,511      | -7,616      | -7,702      | -1,829      | -3,819      | -7,633      | -0,945      | 7,718  | 1002,295 | 26,610 |
| 30   | -1,078      | -0,467      | -7,616      | -7,657      | -1,784      | -4,275      | -7,633      | -0,899      | 7,674  | 1002,295 | 26,610 |
| 35   | -1,124      | -0,467      | -7,567      | -7,657      | -1,739      | -4,633      | -7,589      | -0,899      | 7,630  | 1002,388 | 27,371 |
| 40   | -1,168      | -0,377      | -7,523      | -7,609      | -1,693      | -4,951      | -7,543      | -0,855      | 7,630  | 1002,295 | 27,371 |
| 45   | -1,168      | -0,377      | -7,523      | -7,609      | -1,649      | -5,219      | -7,543      | -0,855      | 7,630  | 1002,194 | 27,371 |
| 50   | -1,212      | -0,333      | -7,523      | -7,609      | -1,559      | -5,486      | -7,543      | -0,855      | 7,584  | 1002,194 | 27,371 |
| 55   | -1,256      | -0,288      | -7,476      | -7,565      | -1,509      | -5,707      | -7,543      | -0,855      | 7,584  | 1002,101 | 27,371 |
| 60   | -1,256      | -0,239      | -7,476      | -7,518      | -1,509      | -5,841      | -7,498      | -0,811      | 7,539  | 1002,101 | 27,371 |

| Time | BOSB-010 L1 | BOSB-010 L2 | BOSB-006 L1 | BOSB-006 L2 | BOSB-007 L1 | BOSB-007 L2 | BOSB-008 L1 | BOSB-008 L2 | Ref. C   | Patm     | T      |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|----------|--------|
| 0    | 1009,537    | 1009,626    | 1002,567    | 1002,498    | 1008,321    | 1010,031    | 1002,510    | 1009,433    | 1010,334 | 1002,482 | 26,610 |
| 5    | 1009,351    | 1009,532    | 1002,473    | 1002,404    | 1008,271    | 1009,009    | 1002,465    | 1009,295    | 1010,240 | 1002,388 | 26,610 |
| 10   | 1009,307    | 1009,535    | 1002,489    | 1002,406    | 1008,271    | 1008,150    | 1002,421    | 1009,251    | 1010,196 | 1002,388 | 26,610 |
| 15   | 1009,117    | 1009,441    | 1002,351    | 1002,268    | 1008,182    | 1007,329    | 1002,329    | 1009,113    | 1010,058 | 1002,295 | 26,610 |
| 20   | 1009,073    | 1009,497    | 1002,395    | 1002,312    | 1008,229    | 1006,739    | 1002,381    | 1009,113    | 1010,058 | 1002,295 | 26,610 |
| 25   | 1008,983    | 1009,502    | 1002,397    | 1002,311    | 1008,184    | 1006,194    | 1002,380    | 1009,068    | 1010,013 | 1002,295 | 26,610 |
| 30   | 1008,891    | 1009,502    | 1002,353    | 1002,312    | 1008,185    | 1005,694    | 1002,336    | 1009,070    | 1009,969 | 1002,295 | 26,610 |
| 35   | 1008,894    | 1009,551    | 1002,451    | 1002,361    | 1008,279    | 1005,395    | 1002,429    | 1009,119    | 1010,018 | 1002,388 | 27,371 |
| 40   | 1008,757    | 1009,548    | 1002,402    | 1002,316    | 1008,232    | 1004,974    | 1002,382    | 1009,070    | 1009,925 | 1002,295 | 27,371 |
| 45   | 1008,656    | 1009,447    | 1002,301    | 1002,215    | 1008,175    | 1004,605    | 1002,281    | 1008,969    | 1009,824 | 1002,194 | 27,371 |
| 50   | 1008,566    | 1009,445    | 1002,255    | 1002,169    | 1008,219    | 1004,292    | 1002,235    | 1008,923    | 1009,778 | 1002,194 | 27,371 |
| 55   | 1008,429    | 1009,397    | 1002,209    | 1002,120    | 1008,176    | 1003,978    | 1002,142    | 1008,830    | 1009,685 | 1002,101 | 27,371 |
| 60   | 1008,384    | 1009,401    | 1002,164    | 1002,122    | 1008,131    | 1003,799    | 1002,142    | 1008,829    | 1009,640 | 1002,101 | 27,371 |

Tabella 5: a) Dati Non Compensati; b) Dati Compensati



Leak Test 28/02/02 ore 12-57





## 4.2 *Low Voltage Test*

Questo test è stato progettato con lo scopo di verificare il corretto funzionamento delle schede d'elettronica di *front-end* di cui ciascun RPC è dotato. Ricordiamo che ogni singola scheda è composta da 8 canali e che il relativo numero di schede presenti in un RPC varia in base al tipo, numero reperibile dalla tabella riportata nel paragrafo 3.3.2.

Il principio del "*Low Voltage Test*" si basa sulla conoscenza a priori della corrente assorbita da ogni singola scheda (~41 mA), e dal numero totale di schede per ogni *Layer* di un RPC. Tali informazioni che permettono il calcolo "teorico" della corrente totale assorbita da ogni *Layer* di un determinato tipo di RPC. La strumentazione allestita per fornire e controllare la bassa tensione, permette di monitorare le correnti assorbite per ogni *Layer* degli RPC alloggiato sulla stazione di test, per un massimo di 16 (2 *layer* per 8 RPC al massimo). La corrente, misurata in differenziale (par. 3.1), è letta con una risoluzione di 16 bit e quindi con una risoluzione di 13 mA<sup>9</sup>. Un confronto fra le correnti lette e quelle aspettate, permetterà di capire eventuali anomalie negli assorbimenti e quindi la presenza di problemi nelle relative schede. Ovviamente la congruenza fra i valori attesi e quelli misurati sarà accertata all'interno di un certo intervallo che sarà determinato a partire dalla corrente totale assorbita a cui aggiungeremo e sottrarremo la corrente assorbita da una singola scheda. Quindi se la corrente aspettata ha un valore  $C_{att}$ , l'intervallo entro cui accetteremo la corrente letta sarà  $[C_{att}-C_{Scheda}, C_{Teo}+C_{att}]$ , con  $C_{Scheda}$  corrente assorbita dalla singola scheda di *FE*, ossia 41 mA.

Praticamente, il *low voltage test* è molto semplice. Esso prevede il monitoraggio ed il salvataggio su file di tutte le correnti di *layer* di ogni RPC. L'unico parametro da fissare è l'intervallo di tempo di monitoraggio, per *default* impostato a 10 min, ma libero di essere fissato a qualsiasi valore desiderato. Il salvataggio dei dati avviene ogni minuto in un file avente il seguente formato:

---

<sup>9</sup> Intervallo di tensioni [-10.4V,+10.4V] su resistenza da  $0.025\Omega$   $\frac{20,8V}{0,025\Omega} \Rightarrow \frac{832A}{65536} = 13mA$

| Time (min) | ID 1 Layer1 Current (mA) | ID1 Layer 2 Current (mA) | ID 2 Layer1 Current (mA) | ID2 Layer 2 Current (mA) | ..... | ID 8 Layer1 Current (mA) | ID8 Layer 2 Current (mA) |
|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------|--------------------------|--------------------------|
|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------|--------------------------|--------------------------|

Oltre alle correnti assorbite, saranno salvati anche il limite di corrente massimo e minimo accettabile, che troveranno posto a destra della colonna ID8.

Il pannello utente con cui questo interagisce per effettuare un *Low Voltage Test* è riportato di seguito.

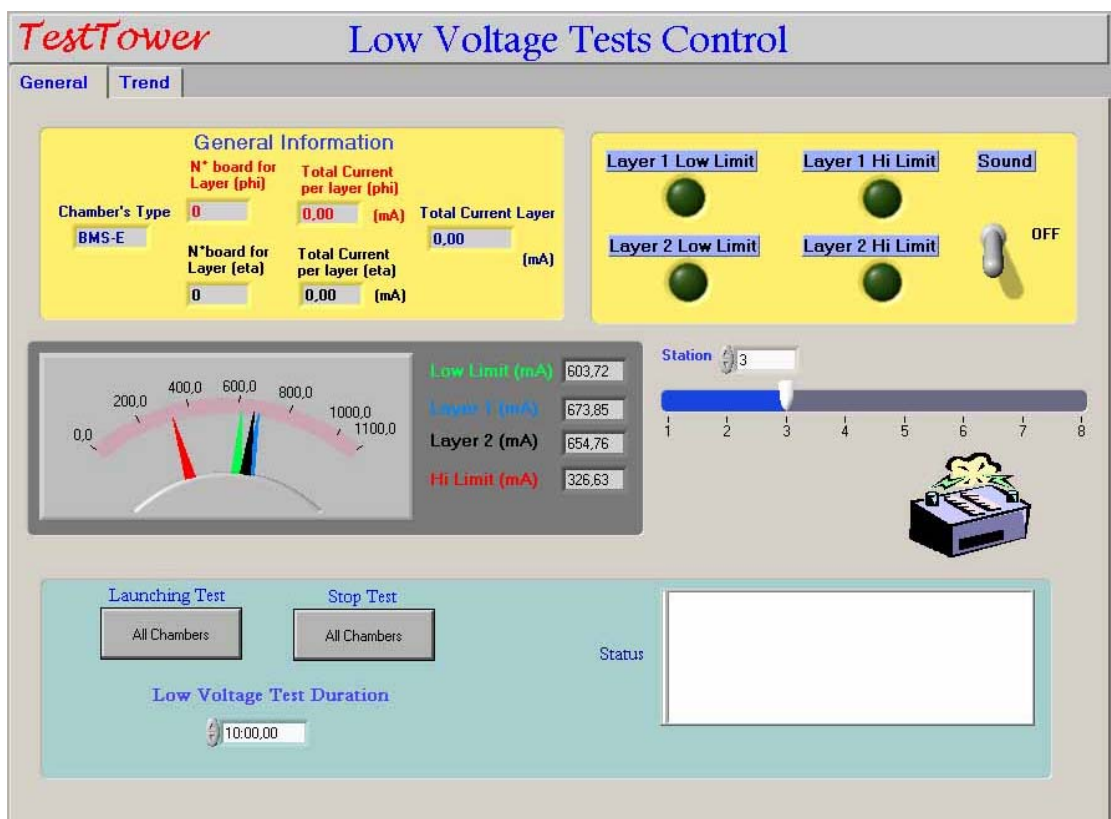


Figura 50: Pannello "Low Voltage Test".

Esso racchiude tutte le informazioni sulle correnti assorbite dai singoli *Layer* per ogni RPC presente sulla *Tower* e per comodità di visualizzazione, è possibile interrogare una sola stazione per volta, scegliendola mediante l'apposito selezionatore. Caratteristica importante è rappresentata dal calcolo automatico dei limiti di tolleranza e delle correnti attese assorbite dal particolare tipo di RPC presente sul-

la torre. Il *software* scandisce automaticamente la lista dei nomi degli RPC presenti, ne estrae il tipo ed, infine, effettua i relativi calcoli. L'avvio del test avviene con la pressione dell'apposito tasto "All Chambers", e dura il tempo fissato a priori mediante l'apposito controllo "Low Voltage Time Duration". In qualsiasi momento, è possibile interrompere il test attraverso la pressione del tasto "All Chambers Stop". Durante la fase del test, un indicatore luminoso, presente sul tastierino principale, comunica all'utente lo stato del test ed il tempo mancante alla fine. Attraverso la selezione dell'ulteriore pagina "Trend" (fig. 51), l'operatore può seguire in tempo reale l'evoluzione del test. Per rendere chiara ed immediata la situazione, è stato utilizzato un grafico a barre, su cui sono riportati anche i limiti di tolleranza. Il programma è in grado di avvisare l'utente, mediante opportuni allarmi acustici, del superamento della soglia superiore o di quella inferiore.

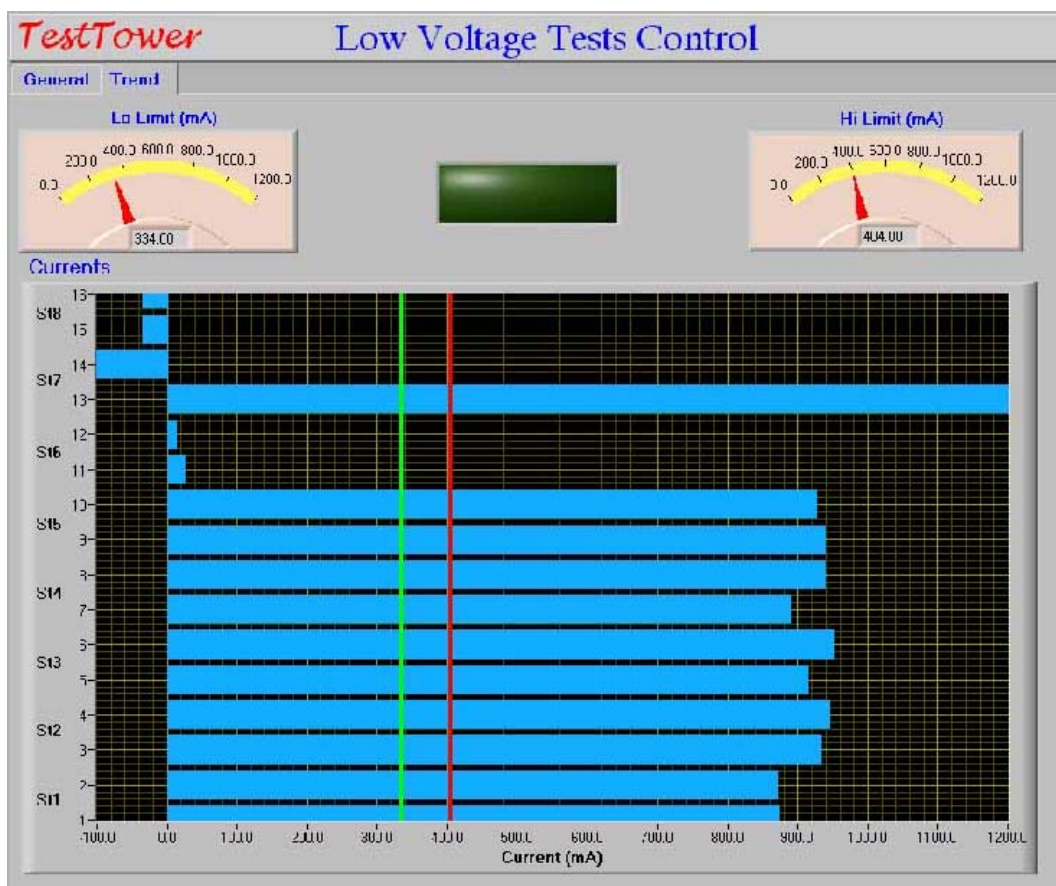


Figura 51: Pannello Low Voltage Test Trend.

### ***4.3 High Voltage Test***

Questo test è stato progettato per studiare la caratteristica volt-amperometrica delle gap di gas presenti all'interno di un RPC, e che ne rappresentano la parte attiva. Ricordiamo che è proprio all'interno delle gap di gas che fluisce la miscela di 134A, isobutano e esafluoruro di zolfo, e su di esse è applicata l'alta tensione, che genera il campo elettrico utilizzato per il funzionamento dell'RPC. La caratteristica volt-amperometrica si ottiene dallo studio delle correnti assorbite dalle gap al variare dell'alta tensione applicata su di esse.

Lo studio scrupoloso di queste curve rappresenta un valido strumento d'investigazione dei problemi che possono affliggere un RPC. I sintomi di cattivo funzionamento possono essere raggruppati in due classi:

1. Le correnti assorbite dalle gap presentano valori anomali.
2. La somma delle correnti di gap alimentate dallo stesso canale C.A.E.N, presenta un valore minore della corrente misurata dallo stesso canale C.A.E.N.

I sintomi appartenenti alla prima classe sono dovuti essenzialmente a problemi che affliggono la gap stessa, come, per esempio, una disomogeneità della superficie interna della bachelite, una imperfezione insorta durante l'oliatura interna o ancora la presenza di una qualche impurità o di particelle estranee.

Quelli appartenenti alla seconda classe, invece, permettono di evidenziare eventuali perdite di corrente parassita al di fuori della gap di gas. Tali perdite si localizzano sulla struttura portante dell'RPC, andandosi a disperdere verso la massa. Esse pertanto generalmente non nuocciono allo stesso, ma possono essere ugualmente pericolose perché presagiscono una possibile rottura non reversibile dell'isolamento in PET (polietilintereftalato) tra l'elettrodo di grafite e la massa esterna.

Questo test prevede la lettura delle correnti e delle tensioni fornite ad ogni camera tramite l'alimentatore C.A.E.N. SY127 attraverso delle cassette di distribuzione montate sulla *Tower* e connesse secondo la configurazione riportata nel paragrafo

3.3.3. Dal pannello (fig.52) è possibile fissare la tensione di partenza del test, quella finale, il passo, il tempo di durata dell'acquisizione delle correnti per una fissata tensione e la corrente massima assorbita, oltre la quale bloccare il test per motivi di sicurezza. Una volta impostati tutti i parametri necessari, il test inizierà in seguito alla pressione del tasto "All Chambers Start", e potrà essere interrotto in qualsiasi momento attraverso la pressione del pulsante "All Chambers Stop". Terminato il test, le tensioni saranno fissate al valore di riposo di 5500V.

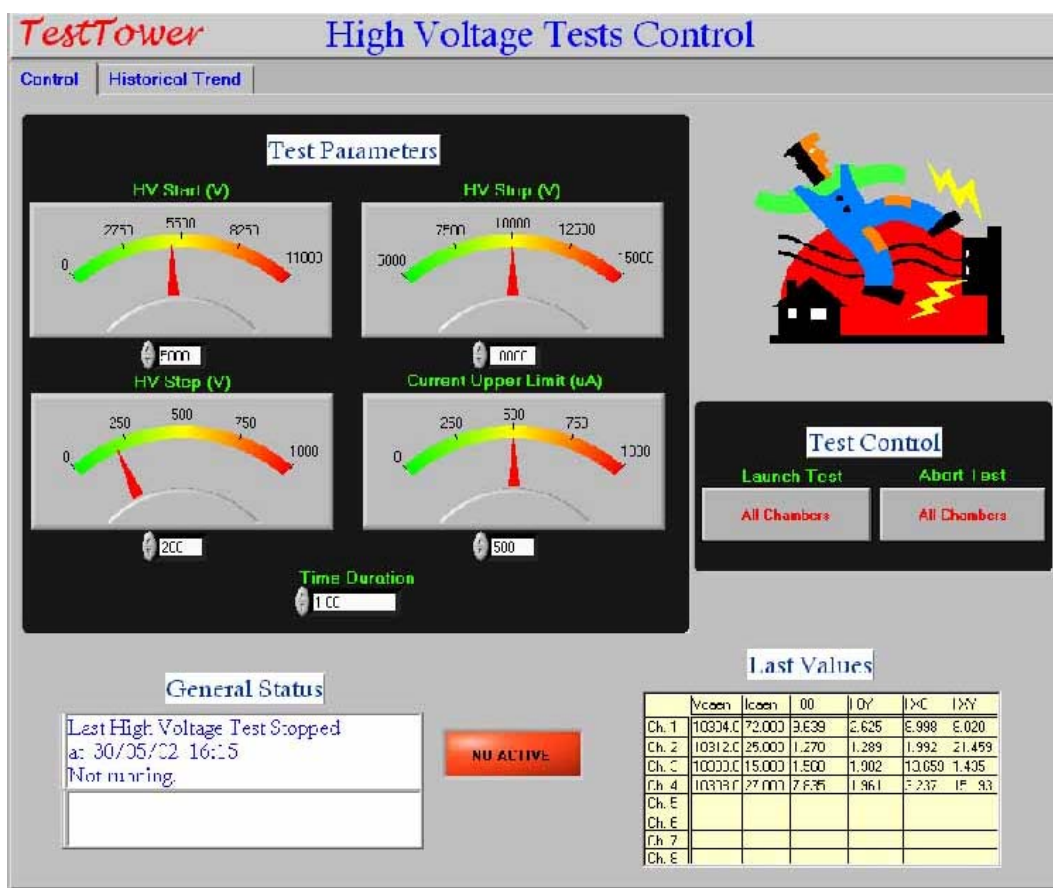
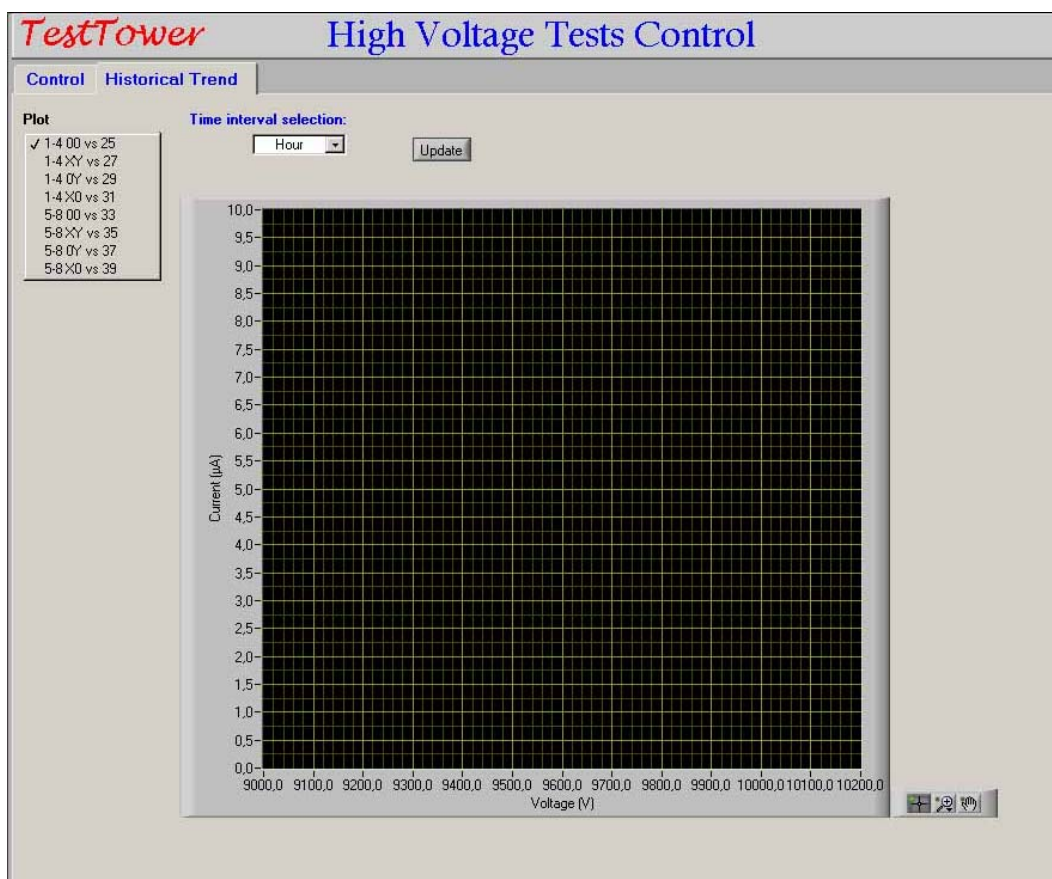


Figura 52: Pannello "High Voltage Test".

Sempre sullo stesso pannello è riportata la tabella "Last Values" che riassume la situazione corrente per ognuna delle stazioni, riportando i valori delle quattro correnti assorbite dalle gap, la tensione applicata e la corrente fornita dal C.A.E.N. Un ampio indicatore fornisce lo stato del test (Active o No Active). Considerata

L'importanza della curva volt-amperometrica, si è deciso di implementare un ulteriore pannello (fig.53) che permette la visualizzazione di tutte le possibili curve, seguendo le correlazioni fissate nel paragrafo 3.3.3, ossia i legami tra canali C.A.E.N e correnti di gap. Le caratteristiche da visualizzare sono selezionabili mediante l'apposito menù a tendina.



**Figura 53: Pannello "High Voltage Test Trend".**

Apriamo una breve parentesi riguardante la modalità con cui è stato affrontato il problema dell'implementazione in LabVIEW di questo test, soprattutto per la parte riguardante il raggiungimento e la stabilizzazione delle varie tensioni seguendo quella di partenza e movendosi di *step* in *step* fino alla tensione finale. Per questo

frammento di software è stato di notevole importanza l'aver progettato a priori una macchina a stati, il cui schema è riportato di seguito:

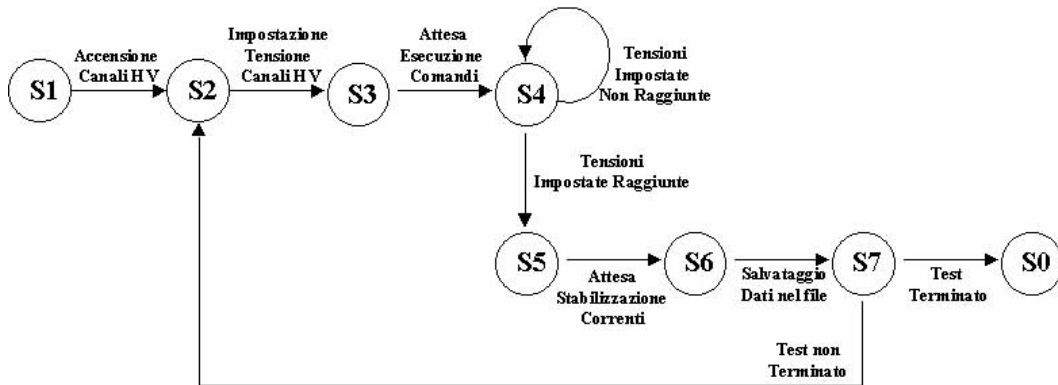


Figura 54: Macchina a stati.

S1 rappresenta lo stato di partenza in cui ci si trova all'inizio del test, l'accensione dei canali C.A.E.N ci porta nello stato S2, in cui dobbiamo impostare i valori di tensione da cui partire per il test. Quest'operazione ci porta in S3, in cui aspettiamo un certo intervallo di tempo in cui le operazioni verso il C.A.E.N siano effettuate. In seguito passiamo nello stato S4 dove vi restiamo se le tensioni desiderate non sono state raggiunte, o, in caso contrario, andiamo in S5 dove si attende la stabilizzazione delle correnti di gap prima dell'acquisizione dati che avviene in S6. Se il test è terminato, cioè se la tensione di stop è raggiunta, andiamo nello stato finale S0, altrimenti si riparte dallo stato S2. L'implementazione della macchina a stati in LabVIEW è possibile attraverso un corretto utilizzo delle strutture di *Loop* combinate col *Case*, messa a disposizione da LabVIEW stesso.

I valori delle correnti e delle tensioni acquisite saranno salvate in un file di tipo *spreadsheet* con il seguente formato:

| Tensioni | Correnti | Somma    | Corrente | Corrente | Corrente | Corrente | ... |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----|
| Canali   | Canali   | Correnti | gap      | gap      | gap      | gap      |     |
| C.A.E.N  | C.A.E.N  | Gap      | St1      | St1      | St1      | St1      |     |
| da 25 a  | da 25 a  | 1-4 e    | Layer1   | Layer1   | Layer2   | Layer1   |     |
| 39       | 39       | 5-8      | Right    | Left     | Right    | Left     |     |

Ricordiamo che i valori delle correnti di gap salvati nei file sono il risultato di una media di 20 valori di correnti letti una volta stabilizzata la tensione, questo per ogni *step* del test.

### 4.3.1 Server di Correzione HV

Fino a questo momento abbiamo parlato delle alte tensioni applicate alle gap senza ulteriori dettagli. In realtà la tensione da applicare all'RPC deve tener conto dei parametri caratteristici dell'ambiente in cui l'RPC stesso è immerso. I parametri che maggiormente influenzano e cambiano il punto di lavoro di un RPC sono come al solito: temperatura ambiente e pressione atmosferica, causando queste variazioni nella densità del gas e, quindi, uno spostamento del punto di lavoro del rivelatore.

Per poter confrontare dati presi in condizioni ambientali diverse è necessario riferirsi ad una temperatura ed una pressione atmosferica precisi, fissati, nel nostro caso, ai seguenti valori:

$$T_0 = 293,65K \text{ e } P_0 = 1013 \text{ hPa}$$

Ciò significa che quando parliamo di tensioni applicate alle gap, esse devono riferirsi a queste condizioni standard. Ovviamente, gli RPC possono lavorare anche in ambienti con pressione e temperatura non standard, ma in questo caso bisogna correggere il valore della tensione in modo coerente tale da rendere il punto di lavoro costante.

La relazione utilizzata per calcolare la tensione effettiva  $V_{eff}$  da applicare alla *gap* di gas per ottenere una certa tensione nominale  $V_0$  (in condizioni standard) è:

$$V_{eff} = V_0 \cdot \frac{T_0}{T} \cdot \frac{P}{P_0} \quad \text{Equazione 2: Correzione Tensione.}$$

Dove  $T$  e  $P$  sono rispettivamente la temperatura in gradi Kelvin e la pressione atmosferica in hPa del momento, mentre  $T_0$  e  $P_0$  sono i valori standard introdotti prima. La precedente formula è basata sull'ipotesi che gli effetti dei fenomeni di



scarica sono invariante per variazioni di V, T e P, che lasciano costante il rapporto fra tensione e densità del gas [14]. L'effetto tipo di questa correzione, in laboratorio è 2%. La tensione da applicare va corretta periodicamente per i nuovi valori di T e P misurati. Poiché PC\_SC è stato allestito per tener sotto controllo un'ampia classe di parametri, a cui appartengono temperatura e pressione, per coerenza si è deciso di utilizzarlo per effettuare detta correzione.

Tecnicamente quanto realizzato consiste in un piccolo *server* (fig.55) implementato sempre in LabVIEW che gira in *background* e che corregge i valori che provengono dalle richieste effettuate da PC\_DAQ, secondo il seguente processo:

1. PC\_DAQ imposta un valore di tensione nominale scrivendo in un *network memory tag*. In questo modo la richiesta giunge direttamente al PC\_SC.
2. PC\_SC interpreta questo valore come tensione nominale  $V_0$  e calcola, attraverso la precedente relazione, il valore della tensione efficace  $V_{eff}$ , che sarà successivamente impostato sugli opportuni canali C.A.E.N.
3. PC\_DAQ, sfruttando le caratteristiche dei *network tag* (par. 3.2.1), seguirà in tempo reale tutte le fasi della correzione e potrà registrare nel proprio *header file* i valori nominali richiesti ed i valori efficaci calcolati ed applicati all'alimentatore.

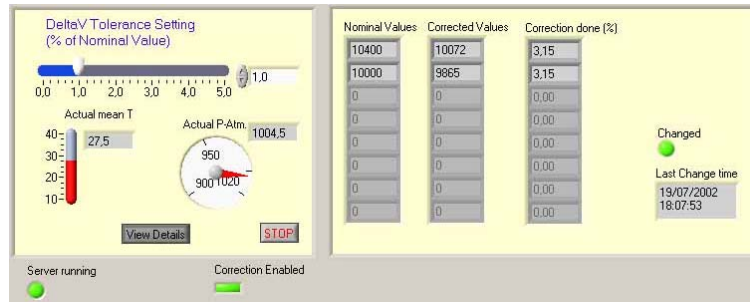
Il *server* effettua la correzione ogni minuto, tempo ragionevole, considerata la lenta variazione dei parametri in gioco ed effettua le correzioni soltanto se la variazione percentuale supera una soglia ben definita (per *default* impostata a 0.5%). La variazione percentuale è fissata dalla seguente formula:

$$\Delta V = \frac{|V_0 - V_{eff}|}{V_0} \times 100$$

Quest'accorgimento permette di discriminare le correzioni, evitando quelle troppo frequenti. Vediamo due esempi:

1.  $T=300,65 K$  e  $P=1004,5 hPa$  e  $V_0=10400V$ . In questo caso il *server* fornirà per  $V_{eff}$  il valore 10074 V con una variazione del 3% circa. Poiché la variazione è maggiore della soglia fissata all'1%, il valore 10074 V sarà impostato sul canale CA.E.N desiderato.

2.  $T=294\text{ K}$  e  $P=1012\text{ hPa}$  e  $V_0=10400\text{ V}$ . In questo caso il server calcolerà per  $V_{eff}$  il valore  $10377\text{ V}$  con una variazione di  $0.22\%$ . In questo caso si vede chiaramente che la correzione d'apportare alla tensione nominale è insignificante ( $23\text{ V}$  su  $10400$ ), quindi il *server* non effettua nessuna operazione di correzione.



**Figura 55: High Voltage Server Correction.**

All'interno dello stesso *server* è eseguito un controllo fondamentale, che permette di salvaguardare gli RPC alloggiati sulla *tower*. I flussi dei gas che compongono la miscela utilizzata sono monitorati continuamente e, quando i rispettivi valori scendono al disotto di una soglia fissata, i canali dell'alta tensione sono automaticamente spenti. Un messaggio d'errore ("Gas Warning") sul pannello utente informa l'operatore dell'accaduto. Per ulteriore sicurezza, messaggi d'errore sono inviati via *e-mail* al personale addetto. L'attenzione posta su questi eventi è dettata dal fatto che un'errata composizione della miscela o la mancanza di uno dei tre componenti potrebbe danneggiare seriamente ed in modo irreversibile le camere sotto test. Una volta che l'allarme si è attivato, per notificarlo e resettare il sistema, basta spegnere e successivamente accendere il *server*.

#### 4.4 Un esempio di "High Voltage Test"

Il presente esempio di test è stato effettuato su un singolo RPC del tipo BML-D connesso alla stazione numero 5 della *tower*. Il test prevede i seguenti parametri:

- Tensione iniziale: 0 V
- Tensione di finale: 11000 V
- Step: 500 V
- Corrente Limite: 50 $\mu$ A
- Tempo stabilizzazione corrente: 3min

Ovviamente i valori di tensione a cui facciamo riferimento sono nominali, vale a dire quelli riferiti a temperatura e pressione standard, mentre i valori delle tensioni salvati nei file d'acquisizione, sono relativi a tensioni efficaci, cioè riferiti a pressione e temperatura attuali e corretti mediante l'utilizzo dell'equazione 2.

Le caratteristiche volt-amperometriche delle quattro gap dell'RPC sono riportate in figura 56 e mostrano un assorbimento anomalo delle gap *layer1 right* e *layer2 left*, che assorbono molta corrente rispetto a quella attesa (circa 20  $\mu$ A), mentre le restanti due sembrano avere un comportamento normale.

Dinanzi ad una situazione simile per indagare sulle cause che producono queste anomalie, non esiste una procedura standard, ma si procede esaminando quei fattori correlati con la grandezza monitorata. Nel nostro caso si procede per prima cosa al controllo della miscela di gas (il problema potrebbe essere legato ad errate percentuali di composizione). In caso contrario, si passa ad un lavoro capillare che vede amalgamare insieme tutte le informazioni a disposizione, sia quelle provenienti dall'analisi dei file prodotti dal DAQ che quelli dello Slow Control. Nell'Appendice B vedremo su di un caso reale le modalità d'azione.

La seconda classe di risultati ottenuti dal test è riassunta in figura 57 dove riportiamo la somma delle correnti di gap in funzione della tensione efficace applicata e le correnti erogate dai relativi canali C.A.E.N. Come si può notare, per tutte le gap abbiamo che la corrente erogata risulta leggermente superiore di quella assorbita e ciò indica la presenza di correnti parassite verso massa. Nel foglio di collaudo sarà riportata quest'informazione.

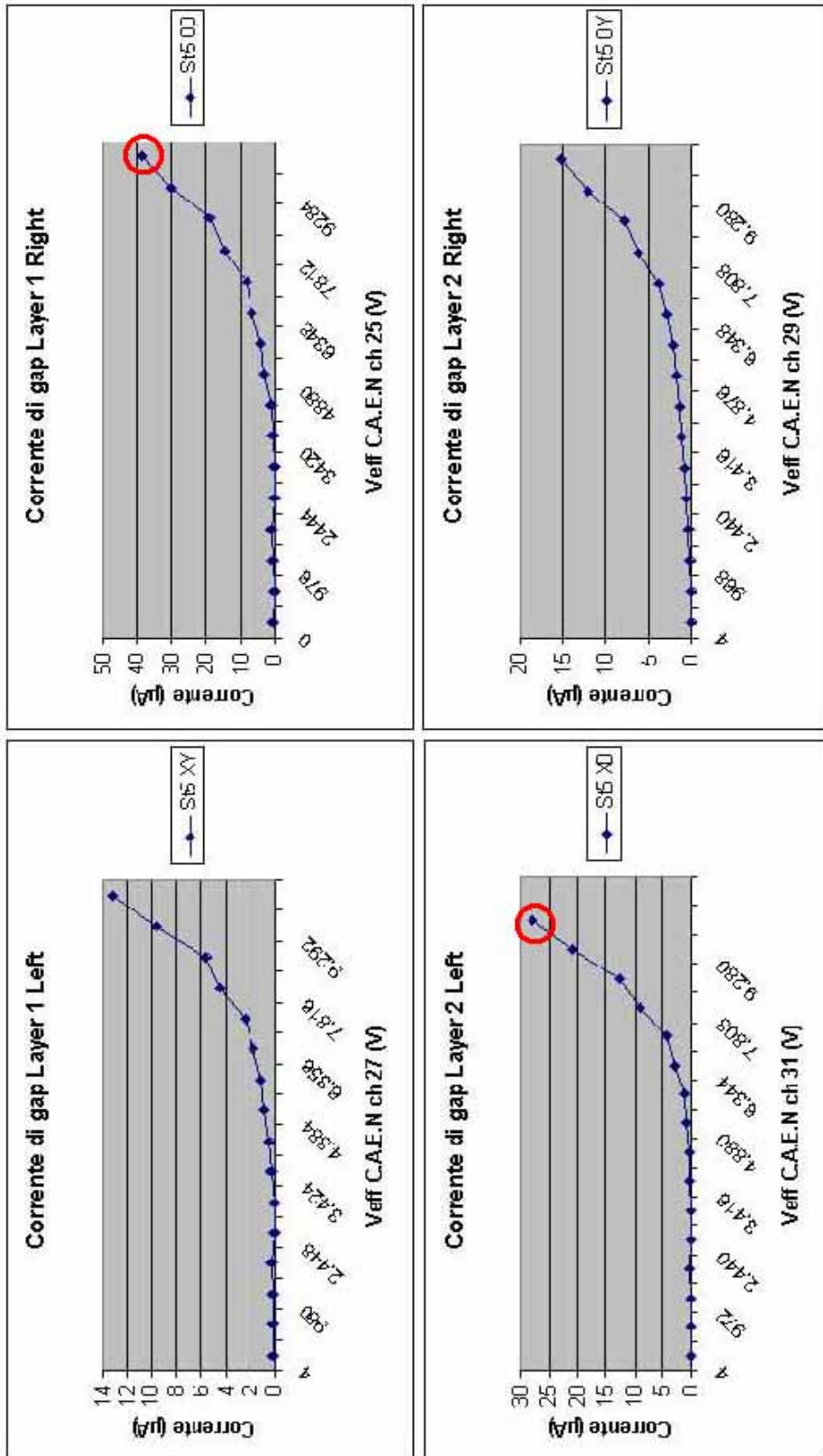


Figura 56: Caratteristiche I - V gap BML-D.

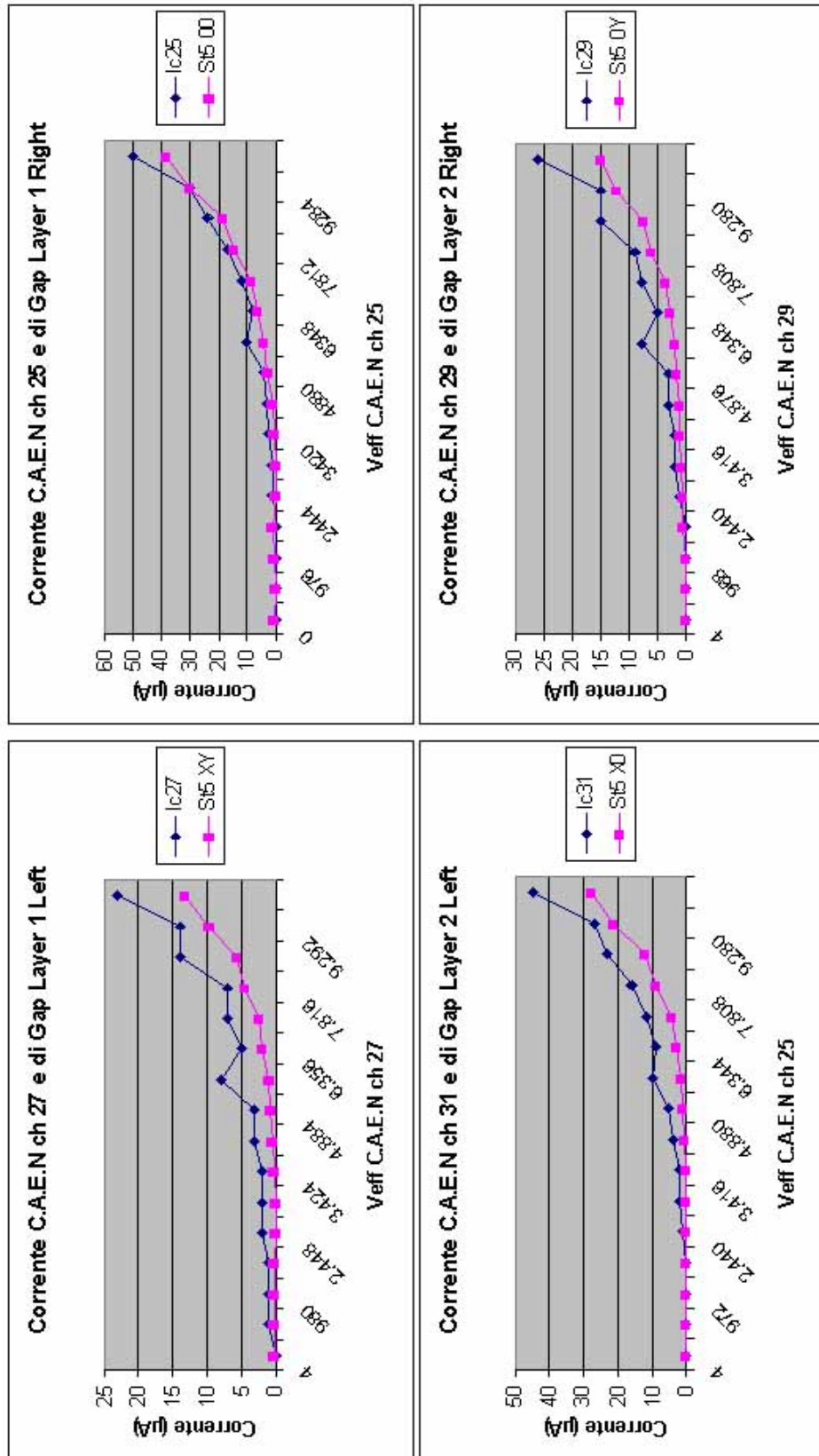


Figura 57: Correnti C.A.E.N e di Gap BML-D.

## 4.5 Il Sequencer

Il sequenziatore, o “*Sequencer*” è il modulo, implementato sempre in LabVIEW ed eseguibile dal *Main Program*, che permette di compiere in automatico una sequenza di test. Il termine “sequenza di test” indica una serie di test, a scelta tra quelli possibili, eseguiti sequenzialmente ed in ordine prestabilito. Si ricordi che i test selezionabili sono:

- *Leak Test.*
- *Low Voltage Test.*
- *High Voltage Test.*
- *Pulse Test.*

Anche se ancora in fase di progettazione, il *Pulse Test* trova spazio all’interno del *Sequencer*, questo in previsione di una sua futura integrazione tra i test già implementati. Il *Sequencer* è stato progettato e realizzato in modo da sfruttare al massimo il tempo a disposizione fissato per il collaudo degli RPC che arriveranno a Napoli. Con esso si può impostare una sequenza di test ed eseguirla automaticamente nei week-end, recuperando un po’ di giorni dedicabili ad altri tipi di controlli da effettuare. I risultati sono riportati in file HTML, e conterranno tutte le informazioni sui test eseguiti, come data ed ora d’inizio e di fine dei singoli test, l’operatore che ha ordinato la sequenza, gli identificativi degli RPC testati ed i *path* dei file contenenti i risultati dei test.

Il *Sequencer* è richiamato attraverso la pressione del tasto “*Test Sequencer*” reperibile sul tastierino dei test (fig.42), e comporta l’apertura del relativo pannello di comandi con cui l’utente dovrà interagire (fig.59).

Il pannello è suddiviso in tre sezioni orizzontali, ognuna delle quali adibita ad uno specifico compito. Nella prima sezione (la prima partendo dall’alto) si fissano le grandezze in base alle quali viene effettuata la sequenza di test. I parametri da impostare per ogni test sono quelli che già abbiamo incontrato nella discussione dei singoli test. Ripetiamoli per comodità:

1. Per il “*Leak Test*” imposteremo la sovrappressione di partenza, la durata di test e la modalità di flussaggio (alto/basso flusso).
2. Per il “*Low Voltage Test*” imposteremo soltanto la durata del test.
3. Per l’ “*High Voltage Test*” imposteremo la tensione di partenza e di fine, lo *step*, la corrente limite ed il tempo di stabilizzazione delle correnti di gap.

Nella successiva sezione si decide l’ordine con cui saranno eseguiti i test: la scelta è possibile grazie alla presenza di quattro menù a tendina dai quali si può selezionare l’operazione desiderata. In esso sono presenti delle finestre e delle spie che permetteranno di capire in qualsiasi momento lo stato della sequenza, indicando il test in esecuzione ed il tempo mancante alla fine dello stesso.

La terza ed ultima sezione permette di abilitare o disabilitare i test che si vogliono compiere e di avviare o arrestare l’esecuzione della sequenza.

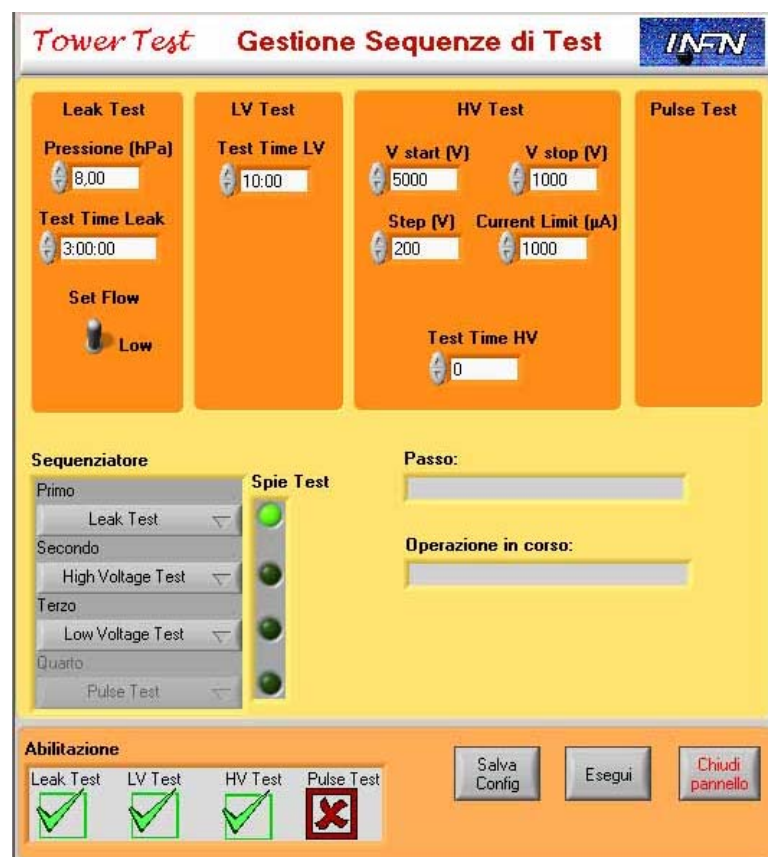


Figura 58: Pannello "Sequencer".

Esplicitiamo l'utilizzo del *Sequencer* passo per passo:

1. Abilitare i test che si desiderano eseguire.
2. Fissare i parametri relativi alle operazioni scelte. Quelli riguardanti le operazioni disabilitate non saranno accessibili.
3. Premere il testo "esegui" per avviare la sequenza.

Terminato l'uso del *sequencer* si potrà chiudere il pannello operatore con la pressione del tasto "Chiudi Pannello".



# Conclusioni

Questo lavoro di tesi aveva lo scopo di far evolvere verso una soluzione finale l'intero sistema di monitoraggio e controllo della torre di test degli RPC destinati ad essere utilizzati nell'esperimento ATLAS al CERN.

Il sistema esisteva in una versione che possiamo definire "di avvio" allorquando ho iniziato il mio lavoro: erano state definite le soluzioni hardware e software ed una parte di questi due aspetti paralleli era già stata implementata. Mancavano tuttavia le seguenti voci all'appello:

- Molti canali di lettura di segnali non erano stati ancora implementati.
- Il sistema di alimentazioni a basse tensioni si basava su pochi canali (tre per l'esattezza) anziché sui diciotto finali.
- Nessuna misura prevista sul sistema di basse tensioni era ancora stata implementata.
- Il sistema di alte tensioni, dal punto di vista del controllo software, era completamente da chiarire e da mettere in opera.
- L'applicazione utente era in uno stadio pressoché iniziale del suo sviluppo.
- Il sistema di distribuzione del gas era stato costruito ma non ancora integrato nel software di controllo della stazione. Su tale sistema inoltre, persistevano dei problemi di messa a punto notevoli.
- Mancavano del tutto le procedure di test automatiche.
- Mancava il sequenziatore di test.
- Nessuna comunicazione remota tra i vari computer coinvolti era ancora stata messa in funzione: l'integrazione di tali sistemi pertanto era in uno stadio primordiale.
- Mancava l'intera parte di software che doveva provvedere alla documentazione dei test: preparazione e stampa di report, archiviazione dati, produzione di sequenze di risultati dei test in Power Point.

Tutte queste voci hanno fatto da motore al lavoro di tesi, che mi ha visto coinvolto nel vivo campo di un'attività scientifica complessa come è la fase di concezione e realizzazione delle parti utili ad un grande esperimento.

Con questo lavoro sono certo di aver lasciato alla sezione di fisica subnucleare del Dipartimento di Scienze Fisiche della Federico II, un'eredità di grande valore, che mette il gruppo in condizioni di continuare con le opere di preparazione di ATLAS in una maniera decisamente più snella, chiara e il più possibile standard entro limiti che abbiamo definito insieme.

Il lavoro è stato contornato di tante attività parallele, che costituiscono alla fine un bagaglio di esperienza utile nel campo dell'informatica avanzata per applicazioni industriali. Citiamo ad esempio:

- Scelte sull'hardware da impiegare, sua immissione in campo e configurazione.
- Configurazione di apparati su rete Ethernet in protocollo TCP/IP.
- Gestione di database per la conservazione di dati storici del monitor.
- Gestione ed uso dell'impianto di distribuzione dei gas tecnici, indispensabile alla produzione di tutte le miscele di gas per i rivelatori e per il test delle perdite negli RPC.
- Implementazione di software in LabView 6.i™ comprese interfacce utente e procedure di test.
- Molti problemi connessi al diffondersi di virus su rete LAN e che spesso compromettevano il corretto funzionamento degli apparati.

Alla fine del lavoro quindi, la Stazione può contare su di un sistema maneggevole e completo, facilmente utilizzabile e fortemente modulare. L'ultimo aspetto garantisce una manutenzione agevole e la possibilità di sviluppi futuri da parte di persone non coinvolte fino ad ora in tale attività.

# APPENDICE A

In quest'appendice ci occuperemo della bassa tensione, in particolare dei seguenti aspetti:

- Configurazione alimentatori Bassa Tensione (BT).
- Schema elettrico BOX di distribuzione installate sulla *Tower*.
- Schemi elettrici impostazione valore di soglia dei discriminatori.
- Schemi elettrici lettura correnti assorbite dagli RPC.

Come già anticipato, ogni stazione avrà a sua disposizione 2 alimentatori di BT, per un totale di 16 alimentatori, configurati e posizionati all'interno del rispettivo *rack* secondo la seguente configurazione:

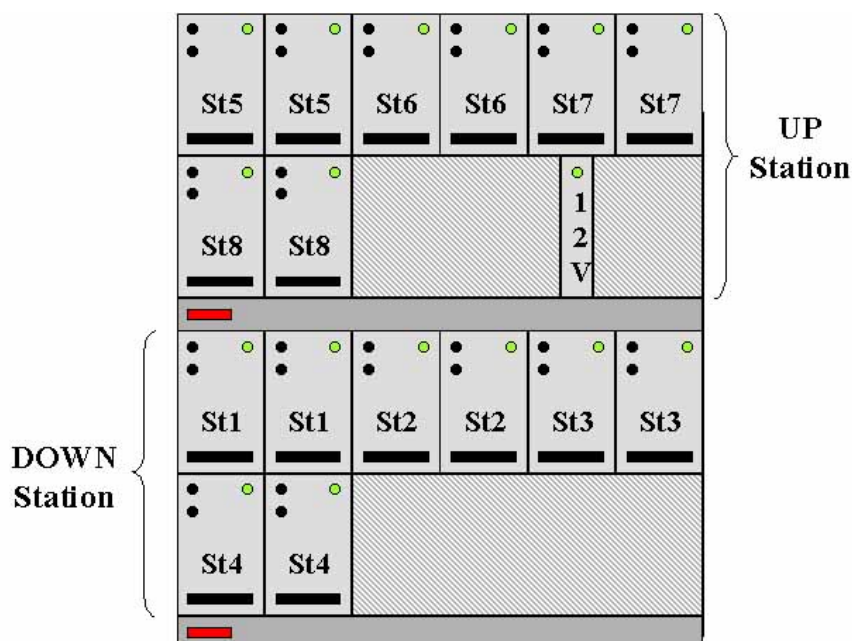
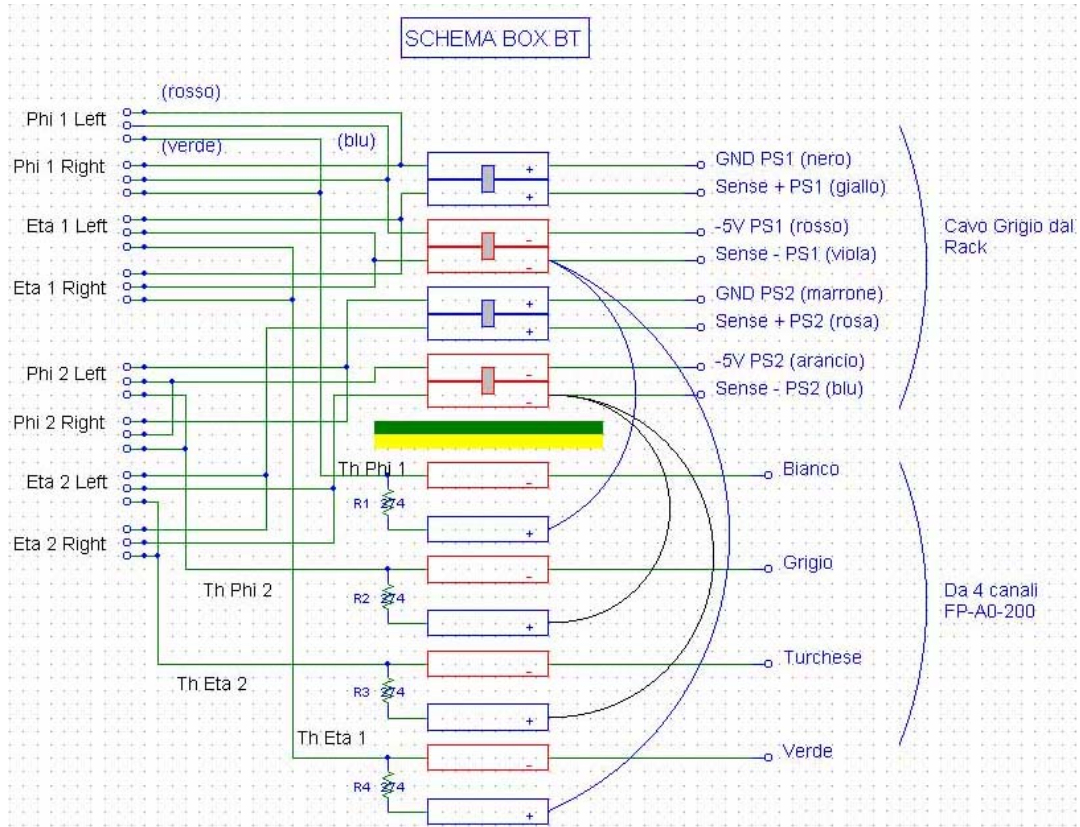


Figura 59: Configurazione alimentatori Bassa Tensione.

Possiamo distinguere due gruppi, denominati UP e DOWN a cui appartengono gli alimentatori delle stazioni 1-4 e 5-8 rispettivamente, inoltre un alimentatore aggiuntivo fornisce la tensione di 12 V utilizzata per alimentare i DAC per la generazione delle tensioni di soglia.

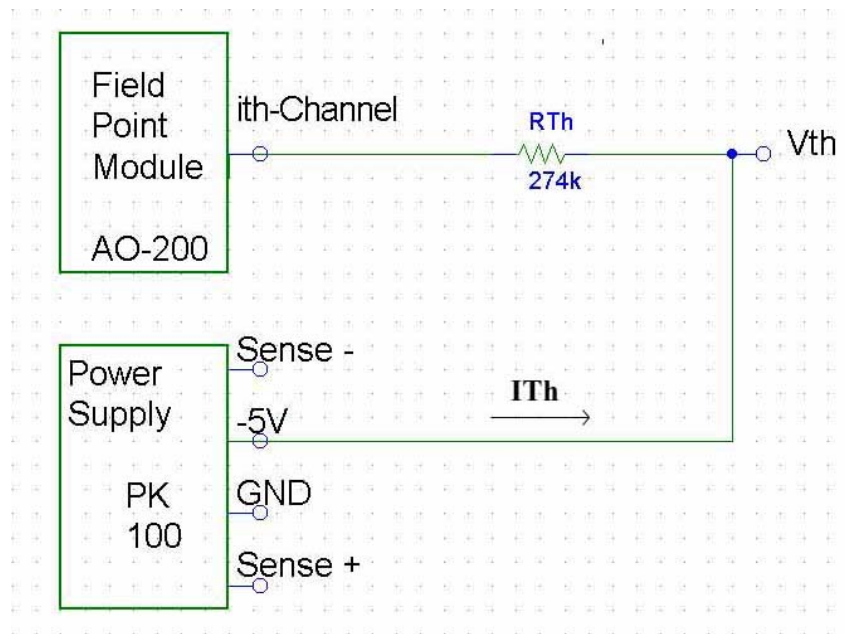
La tensione di funzionamento per tutti gli alimentatori è fissata a circa  $-4.70$  V.

Le tensioni d'alimentazione e le soglie sono distribuite agli RPC attraverso 8 cassette di distribuzione, una per ogni stazione, il cui schema elettrico è riportato di seguito:



**Schema 1: Schema BOX di distribuzione.**

I valori delle soglie da impostare sui discriminatori delle schede di elettronica di FE montati negli RPC possono variare all'interno dell'intervallo [0,-3000]mV. Questi valori sono ottenuti sfruttando la caduta di tensione ai capi di una resistenza da 274  $\Omega$ , montata all'interno delle cassette di distribuzione, dovuta al passaggio della corrente proveniente da un determinato canale di un modulo FP-AO-200. I valori della corrente iniettata dal canale FP appartengono all'intervallo [0,20]mA. Lo schema elettrico del circuito relativo all'impostazione delle tensioni di soglia è riportato di seguito:



**Schema 2: Schema impostazione tensioni di soglia.**

Da esso ricaviamo il valore di  $V_{Th}$ :  $V_{Th} = R_{Th} \cdot I_{Th} - V_s$ , dove  $V_s$  assume il valore  $-4700\text{mV}$  relativo alla tensione d'alimentazione. Per avere una soglia di  $-3000\text{mV}$  il modulo FP-AO-200 dovrà iniettare una corrente di circa  $7\text{mA}$ .

Quest'operazione è gestita automaticamente in LabVIEW attraverso l'opportuna configurazione della *Row Scale* e della *Eng Scale* (par.3.2.1). I valori impostati sono:

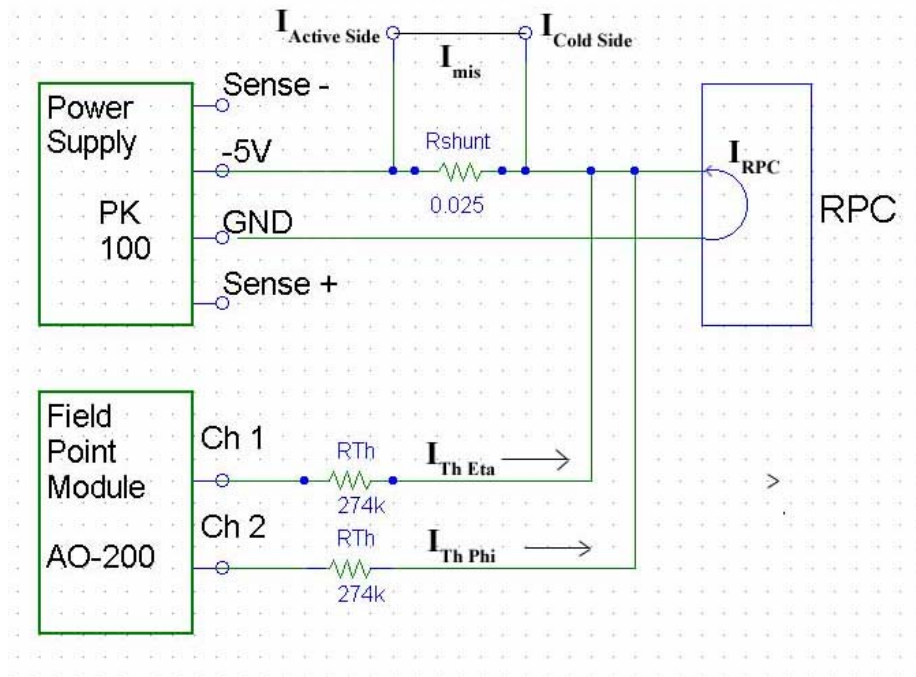
|             | <i>Row Scale</i> | <i>Eng Scale</i> |
|-------------|------------------|------------------|
| <b>Zero</b> | 0 mA             | -4700 mA         |
| <b>Full</b> | 20 mA            | 780 mA           |

La situazione si complica leggermente nel caso della misura delle correnti assorbite da un RPC. Lo schema elettrico è riportato di seguito (schema 3) in cui le correnti lette mediante l'ausilio di moduli FP sono indicate con i nomi  $I_{Active\ side}$  e  $I_{Cold\ Side}$ , mentre le correnti  $I_{Th\ Eta}$  e  $I_{Th\ Phi}$  sono le correnti per l'impostazione delle soglie che ritornano sui  $-5\text{V}$  dell'alimentatore. Il valore della corrente a cui siamo interessati, è quello assorbito dall'RPC, che nello schema è denominato con  $I_{RPC}$ , ed ottenibile dalla seguente relazione:

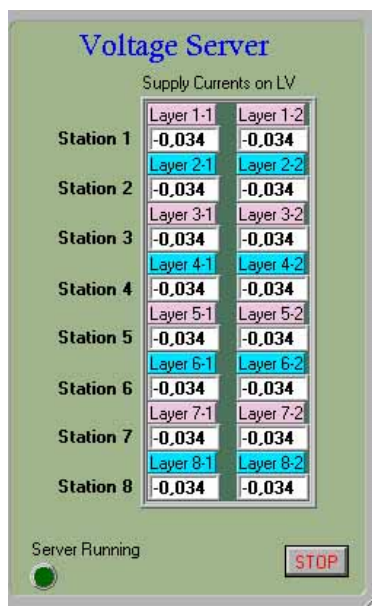
$$I_{RPC} = I_{mis} - I_{ThEta} - I_{ThPhi} = I_{ActiveSide} - I_{ColdSide} - I_{ThEta} - I_{ThPhi}$$

ricavata da:

$$I_{mis} = I_{ActiveSide} - I_{ColdSide} = I_{RPC} + I_{ThEta} + I_{ThPhi}$$



Schema 3: Schema lettura correnti assorbite.



Il calcolo delle correnti assorbite dagli RPC, in totale 16 perché consideriamo una corrente per ogni volume di gas, è fatto automaticamente da un *server* scritto in LabVIEW che girando in background (fig.) legge tutti i *tag* necessari e calcola i valori delle correnti assorbite, indicati con i nomi “**Layer n1-n2**”, dove n1 indica la stazione n2 il *layer* a cui si riferisce.

Figura 60: Low Voltage Server.

## APPENDICE B

In quest'appendice riportiamo un problema affrontato durante il normale utilizzo della Stazione di Test, che evidenzia l'importanza dello *Slow Control* ed in particolare del monitoraggio continuo dei parametri essenziali per il corretto funzionamento degli RPC. Il problema in questione riguarda un'anomalia sulle correnti di gap (par. 2.1.3), ossia un aumento a prima vista ingiustificato, della corrente assorbita dal volume di gas denominato *Layer1 Left* (fig. 61) dell'RPC **BML-D-001**.

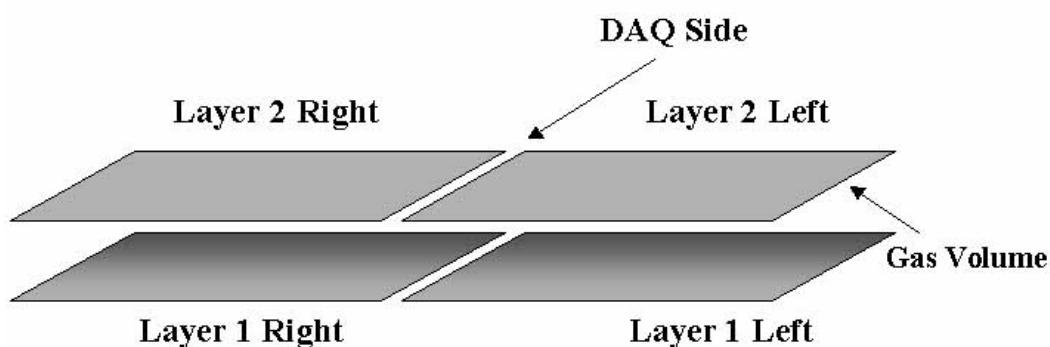
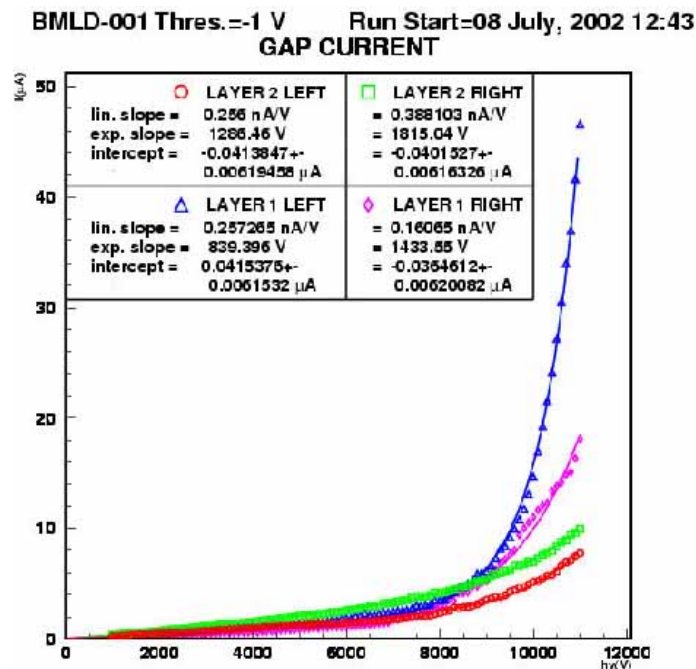
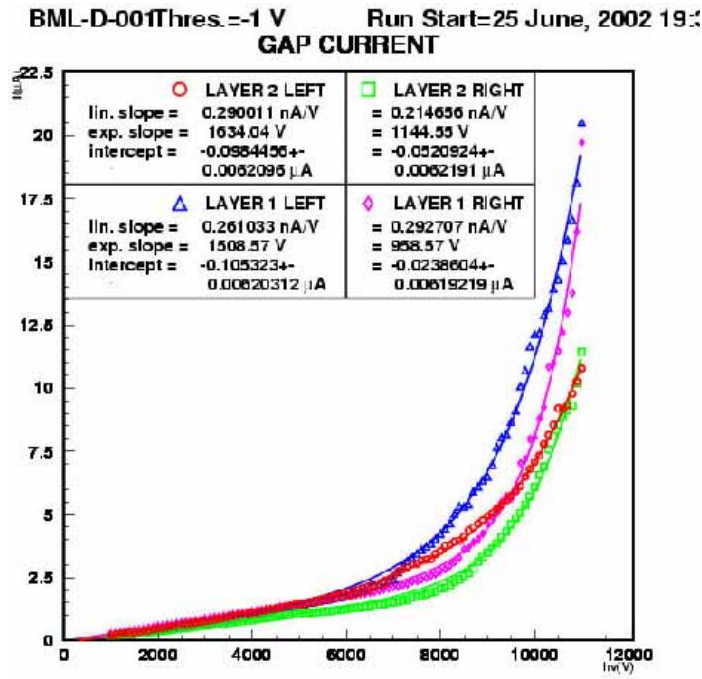


Figura 61: Disposizione e Nomenclatura Layer.

Prima di passare ai dettagli pratici ricordiamo caratteristiche delle correnti di gap. Una gap di gas (par. 1.5) a cui è applicata l'alta tensione e sulla quale leggiamo le correnti secondo lo schema riportato nel paragrafo 2.3, è costituita da due piani di bachelite e tra di essi circola la ben nota miscela di gas. Alla corrente assorbita da essa concorrono due contributi: uno di tipo ohmico dovuto ai materiali costitutivi (bachelite, spaziatori, cornice ecc.) ed uno di tipo esponenziale (cioè segue una legge del tipo  $K \cdot \exp(\alpha \cdot V)$ ). Il comportamento esponenziale è del tutto trascurabile se la tensione applicata ai capi della gap non supera un certo valore di soglia, indicata come **Soglia di Scarica**. Prima di questo valore la corrente ha un comportamento lineare, in cui la resistenza è quella dell'intera gap. A variare della tensione la corrente avrà un andamento inizialmente lineare, per poi crescere esponenzialmente ed il *range* previsto ha un massimo intorno ai  $20 \div 30 \mu\text{A}$ .

Il problema verificatosi in laboratorio, come accennato precedentemente, riguarda un volume di gas in particolare, per il quale la corrente prima di una certa data ricadeva nel *range* previsto, e successivamente era ingiustificatamente aumentata. Questa situazione è evidenziata dai seguenti grafici.



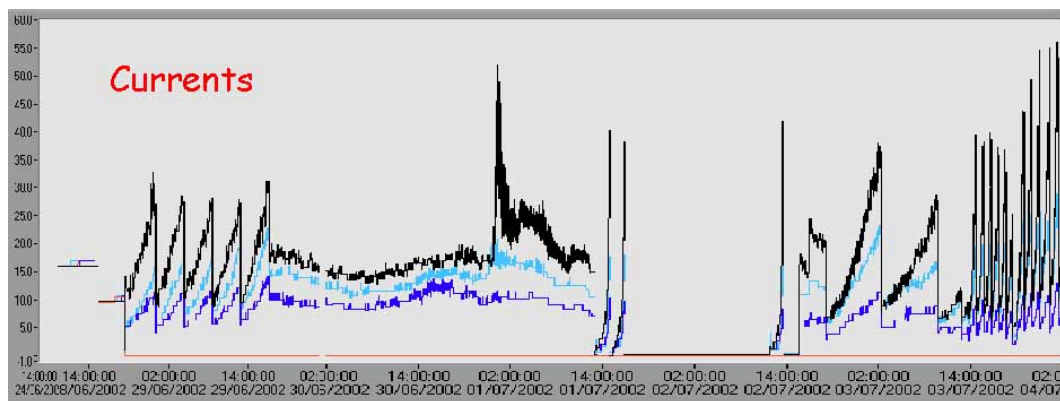
Quello superiore riporta le quattro correnti di gap relative al giorno 25 giugno e si nota che i valori massimi per le correnti, relativi alla tensione di 11kV, si assesta-



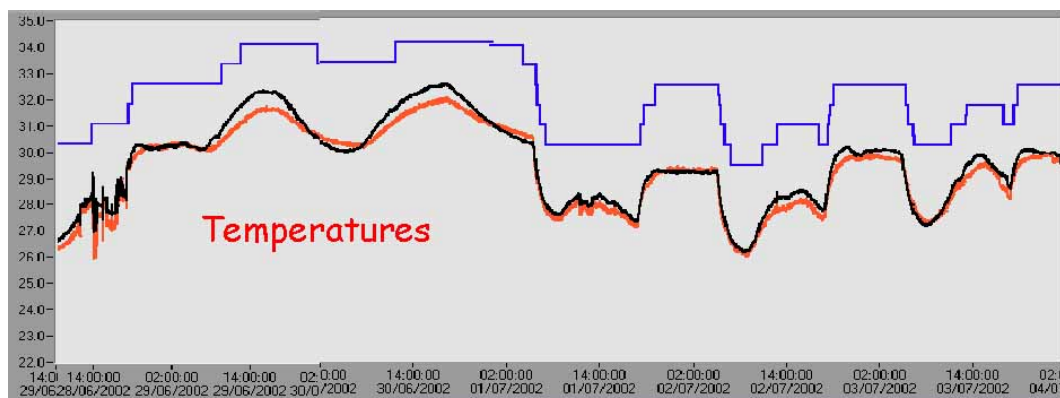
no tra circa  $10\mu\text{A}$  ed i  $20\mu\text{A}$ . Il grafico inferiore riporta le stesse correnti ma relative al giorno 8 luglio, in cui si vede chiaramente che la corrente del *Layer 1 Left* è passata da  $20\mu\text{A}$  a  $48\mu\text{A}$ , mentre le restanti sono quasi invariate.

Cos'è successo tra il 25 giugno e l'8 luglio?

Utilizzando l'*Historical Trend* abbiamo estratto dal database interno il *trend* storico delle correnti di gap, riportato di seguito, ed abbiamo circoscritto la data dell'insorgere del problema.

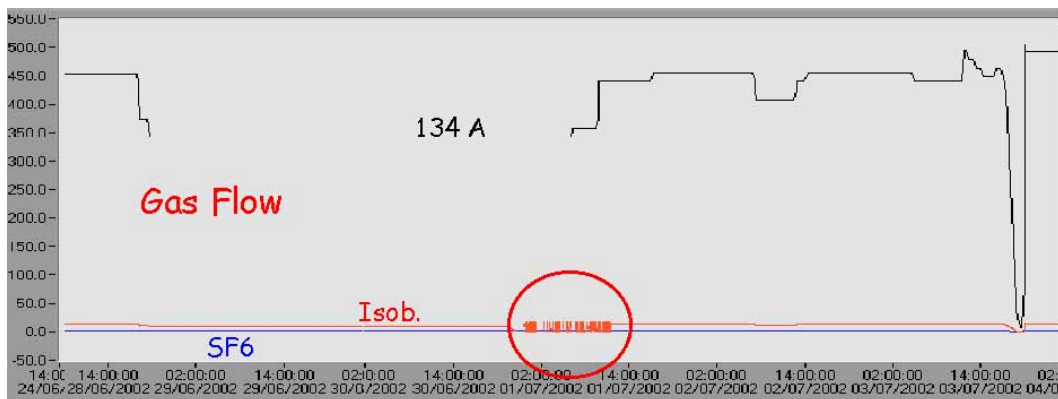


Si nota che il primo luglio la corrente di gap del *Layer 1 Left* è aumentata. Il problema poteva essere legato ad un comportamento anomalo della temperatura ambiente, ma il rispettivo *trend* storico ci ha permesso di rigettare subito la nostra ipotesi, infatti, le temperature sono regolari e riproducono fedelmente lo stato dei condizionatori presenti nel laboratorio.

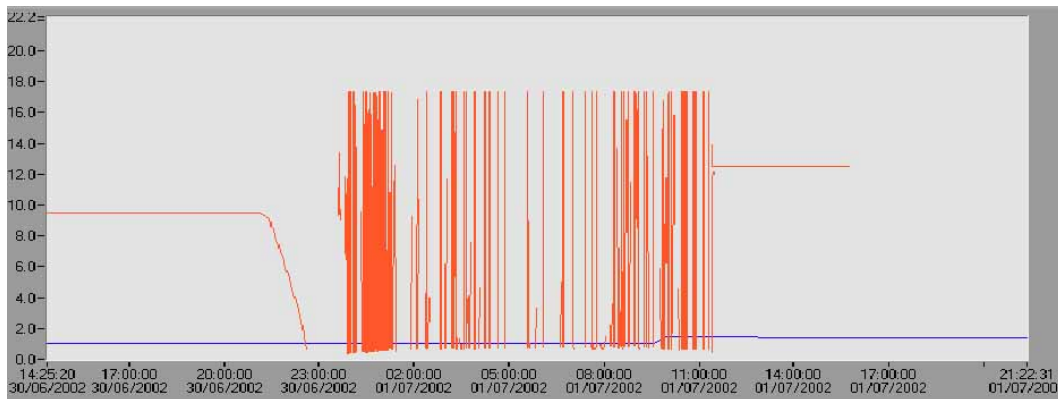


Accantonata l'ipotesi di stranezze della temperatura, pressione atmosferica ed umidità (di cui non riportiamo i *trend*), abbiamo controllato l'andamento dei flussi della miscela di gas usata per gli RPC, in cui, come ricordiamo alcuni gas hanno proprio il compito di ridurre le scariche.

Il *trend* dei flussi di 134A, Isobutano ed Esafloruro di Zolfo è riportato di seguito ed evidenzia una sorpresa:

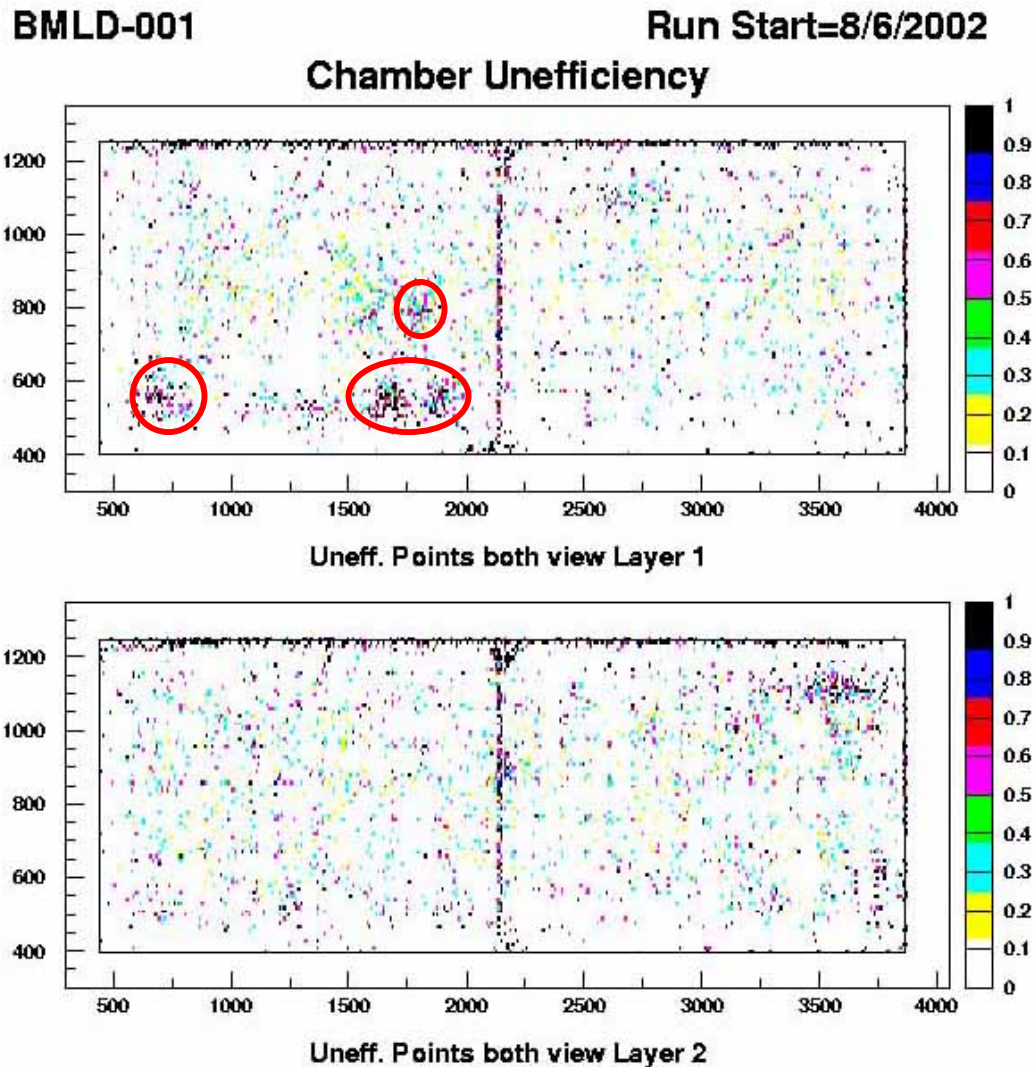


In corrispondenza della data incriminata la linea dell'isobutano ha avuto dei problemi, uno zoom di questa zona evidenzia ulteriormente l'evento:



Il 30 giugno si è avuta una completa mancanza d'isobutano, seguita da una fase di instabilità dei flussimetri di massa. La causa di questo problema è riconducibile ad ostruzioni del condotto d'alimentazione, dovuto ad impurità presenti nel gas stesso. Per evitare problemi del genere particolari filtri sono stati installati a monte dell'impianto.

Capito la causa del problema ci siamo soffermati sulle ripercussioni che esso ha avuto sull'RPC. Risultati interessanti sono stati ottenuti effettuando un'analisi *off-line* sulle inefficienze dell'RPC in questione.

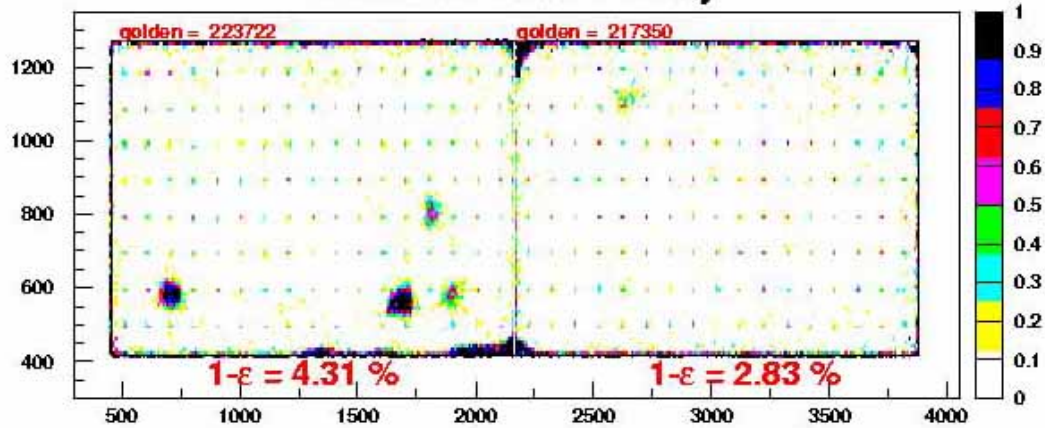


I precedenti *plot* mostrano le inefficienze di entrambi i *Layer* dell'RPC sotto test relativamente alla data 8 giugno. Come si può notare per il *Layer 1* sono presenti quattro zone ben definite di inefficienza proprio nella parte *Left*. Il seguente *plot*, invece, si riferisce allo stesso RPC, ma è relativo al 20 luglio, ossia una data successiva all'evento scatenante, in cui si vede chiaramente un peggioramento della

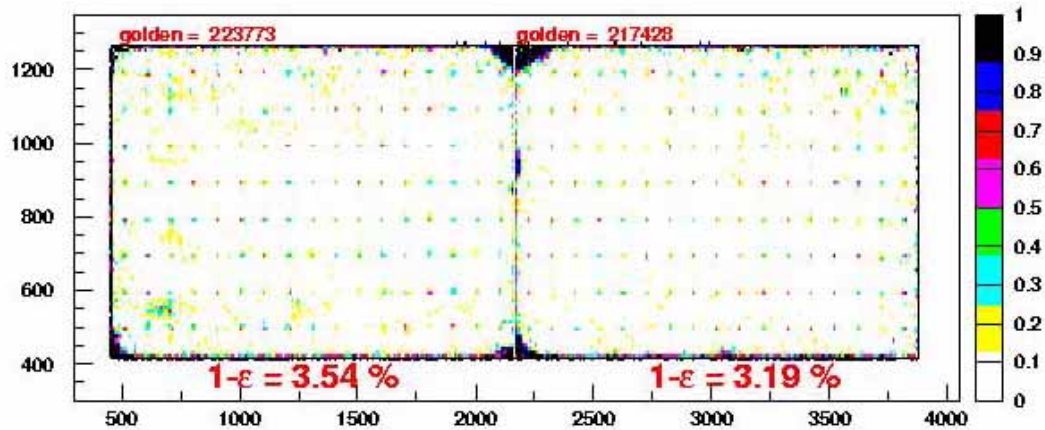
situazione<sup>10</sup>. Tutto ciò ci ha portato ad ipotizzare che l'RPC BML-D-001 era già affetto da un malfunzionamento precedente, peggiorato ulteriormente dalla mancanza d'isobutano verificatasi in seguito.

BMLD-001 Thres.=1100 mV HV=10400 V Run Start=20/7/2002

### Chamber Unefficiency



Uneff. Points both view Layer 1



Uneff. Points both view Layer 2

<sup>10</sup> La differenza di risoluzione tra i plot è dovuto al diverso numero d'eventi analizzati. I primi sono stati realizzati con circa il 40% degli eventi usati per i secondi.

# Bibliografia

- [1] CERN. CERN Web page.
- [2] ATLAS Collaboration. ATLAS Technical Proposal.
- [3] II International Workshop on the Resistive Plate Chambers in particle physics and astrophysics. June 15<sup>th</sup>, 1993.
- [4] Tesi di laurea “Caratterizzazione di un rilevatore a piatti resistivi per l’esperimento ATLAS”, Università degli studi di Napoli “Federico II”, Dott. E. Iorio.
- [5] Tesi di laurea “Messa a punto di una Stazione di Test per RPC con raggi cosmici nell’ambito dell’esperimento ATLAS”, Università degli studi di Napoli “Federico II”, Dott. M. Caprio.
- [6] ATLAS Collaboration. RPC Production Readiness Review eDocumentation.
- [7] Instrumentation Newsletter, Third Term 2001.
- [8] Automation VIEW, Volume 6, Number 3, Third Quarter 2001.
- [9] National Instruments. Measurement and Automation Catalogue 2002.
- [10] OPC Foundation. Opc Foundation Web page.
- [11] National Instruments. VI-Based Server, Development Toolkit and Reference Manual. September 2000 Edition.
- [12] National Instruments. LabVIEW Datalogging and Supervisory Control Developer’s Manual. October 2000 Edition.
- [13] Nuclear Instr. & Meth. A 456 (2000) 1-5. RPC: where we are and where we are going”. R. Sintonico
  
- [14] IV International Workshop on Resistive Plate Chambers and Related Detector. Oct 15 1997. “Performance of RPCs operated with various gas mixture”.



# Elenco delle figure

|  |      |
|--|------|
| Figura 1: Pseudorapità. ....   | 1-10 |
| Figura 2: Struttura a strati di ATLAS .....  | 1-12 |
| Figura 3: Struttura generale di ATLAS.....   | 1-13 |
| Figura 4: Posizione delle camere nello spettrometro .....  | 1-15 |
| Figura 5: Camera MDT.....  | 1-16 |
| Figura 6: Sezione trasversale del rivelatore. ....   | 1-18 |
| Figura 7: Schema Trigger. ....   | 1-20 |
| Figura 8: Schema del trigger di ATLAS.....   | 1-21 |
| Figura 9 : Struttura <i>gas volume</i> . ....  | 1-22 |
| Figura 10: Struttura di un elettrodo di lettura.....   | 1-23 |
| Figura 11: Disposizione elettrodi di lettura intorno al <i>gas volume</i> . ....                                     | 1-24 |
| Figura 12: Circuiti equivalenti di un RPC. ....  | 1-25 |
| Figura 13 : Circuito equivalente di un elettrodo di lettura. ....  | 1-26 |
| Figura 14: Schema logico della Stazione di Test. ....  | 2-30 |
| Figura 15: Schema di uno scintillatore.....  | 2-30 |
| Figura 16: Spaccato di una cella di drift con linee di campo. ....   | 2-31 |
| Figura 17: Struttura di una camera a drift. ....   | 2-32 |
| Figura 18: Esempio di passaggio di una particella nella camera. ....   | 2-32 |
| Figura 19: Vista tridimensionale della Tower.....  | 2-33 |
| Figura 20: Disposizione dei gas volume. (a) Quattro gas volume. (b) Due gas<br>volume.....                           | 2-35 |
| Figura 21: Schema dell'apparato DAQ. ....  | 2-39 |
| Figura 22: Esempio di stazione <i>Fiel Point</i> . ....  | 3-47 |
| Figura 23: Configurazione stazioni <i>Field Point</i> .....  | 3-49 |
| Figura 24: Schema finale sistema di controllo distribuito. ....  | 3-53 |
| Figura 25: Interfaccia FieldPoint Explorer. ....   | 3-54 |
| Figura 26: Schema applicazione LabVIEW con DSC. ....   | 3-60 |
| Figura 27: Interazione LabVIEW-DSC-OPC Server nel caso di utilizzo finale di<br>un dispositivo Seriale da campo..... | 3-61 |

|  |       |
|--|-------|
| Figura 28: Pannello di configurazione <i>tag</i> .   | 3-62  |
| Figura 29: Schema interazioni componenti software.   | 3-68  |
| Figura 30: Toolbar di Windows con icone del Manager Database e Tag Engine<br>attivi.       | 3-68  |
| Figura 31.   | 3-70  |
| Figura 32: Pannello per registrazione del VI server per l'SY127.                           | 3-73  |
| Figura 33: Diagramma del VI server, con polling e scan rate evidenziati.                   | 3-74  |
| Figura 34: Pannello "Atmospheric & Gas".   | 3-78  |
| Figura 35: Schema Immagini valvole d'ingresso (IN) e di uscita (OUT).                      | 3-79  |
| Figura 36: Pannello riassuntivo stato sistema di distribuzione.                            | 3-80  |
| Figura 37: Pannello comandi sistema distribuzione del gas.                                 | 3-80  |
| Figura 38: Pannello LV Supply & Thresholds.  | 3-82  |
| Figura 39: Finestra comandi predisposizione soglie.  | 3-83  |
| Figura 40: Nomenclatura adottata per i connettori di HV.                                   | 3-84  |
| Figura 41: Pannello di controllo delle correnti di gap.                                    | 3-85  |
| Figura 42: Pannello selezione test.  | 3-86  |
| Figura 43: Pannello <i>Logging &amp; Alarms</i> .  | 3-87  |
| Figura 44: Pannello dei <i>trend</i> storici.  | 3-89  |
| Figura 45: Pannello "Configuration".   | 3-90  |
| Figura 46: Schema approssimazioni.   | 4-93  |
| Figura 47: Schema ANGELA.  | 4-97  |
| Figura 48: ANGELA.   | 4-99  |
| Figura 49: Pannello relativo all'operazione di Riempimento e Stabilizzazione<br>Pressione. | 4-103 |
| Figura 50: Pannello "Low Voltage Test".  | 4-110 |
| Figura 51: Pannello Low Voltage Test Trend.  | 4-111 |
| Figura 52: Pannello "High Voltage Test".   | 4-113 |
| Figura 53: Pannello "High Voltage Test Trend".   | 4-114 |
| Figura 54: Macchina a stati.   | 4-115 |
| Figura 55: High Voltage Server Correction.   | 4-118 |
| Figura 56: Caratteristiche I - V gap BML-D.  | 4-120 |



|  |       |
|--|-------|
| Figura 57: Correnti C.A.E.N e di Gap BML-D.....            | 4-121 |
| Figura 58: Pannello "Sequencer".....                       | 4-123 |
| Figura 59: Configurazione alimentatori Bassa Tensione..... | 4-127 |
| Figura 60: Low Voltage Server.....                         | 4-130 |
| Figura 61: Disposizione e Nomenclatura Layer.....          | 4-131 |



## **Elenco delle tabelle**

|  |       |
|--|-------|
| Tabella 1: Classificazione Unità Standard.....                 | 2-34  |
| Tabella 2: Utilizzo moduli Stazione Field Point 1 (SFP1).....  | 3-50  |
| Tabella 3: Utilizzo moduli Stazione Field Point 2 (SFP2).....  | 3-51  |
| Tabella 4: Utilizzo moduli stazione Field Point 3 (SFP3). .... | 3-52  |
| Tabella 6: a) Dati Non Compensati; b) Dati Compensati .....    | 4-107 |



## **RINGRAZIAMENTI**

Desidero ringraziare il Prof. Sergio Patricelli per avermi dato l'opportunità di lavorare all'interno del gruppo ATLAS di Napoli. E' stato per me grande onore e motivo di reale crescita culturale e scientifica. Lo ringrazio, inoltre, per i suoi preziosissimi consigli e suggerimenti finalizzati alla realizzazione di questa tesi, e per la possibilità concessami di intervenire a meeting con i colleghi di altre Università, con i quali ho potuto avere un confronto diretto.

Ringrazio di cuore l'amico e "maestro" Dott. Riccardo de Asmundis che in tutto questo periodo, ha saputo trasmettermi senza parsimonia tutta la sua ampia conoscenza degli argomenti trattati in questo lavoro, contribuendo al rafforzamento delle mie conoscenze, fattore fondamentale per un futuro inserimento nel mondo del lavoro.

Ringrazio il Prof. Giulio Spadaccini per la pazienza avuta in questi mesi e per la disponibilità che costantemente e generosamente mi ha concesso.

Grazie a Francesco Conventi e Massimo Della Pietra per l'amicizia che mi hanno dimostrato sin dall'inizio e che spero continui per sempre. Il loro aiuto nel periodo iniziale dell'inserimento nel laboratorio è stato fondamentale. Mi hanno fatto sentire subito parte integrante di un gruppo già fortemente compatto.

Grazie a Domenico Della Volpe: le chiacchierate fatte quando siamo andati a Ceprano mi hanno fatto comprendere cose a cui non avevo dato molta importanza e che risultavano essere importanti per la mia crescita futura.

Grazie al gruppo ATLAS, BABAR, Giulia e Giovanni per il calore e la simpatia con cui mi hanno accolto e per i pranzi ed i banchetti che abbiamo condiviso sulle famose scale del Dipartimento. Un ringraziamento particolare lo dedico a Tina per le foto fatte. Saranno un ricordo concreto di quest'esperienza. Mi mancherete tutti.

Grazie ai miei genitori, ed in particolare mia sorella Mariarosaria per il sostegno e l'affetto che mi hanno sempre dato. Con mia sorella mi scuso per tutte le volte che sono stato insensibile antepoendo i miei problemi universitari alle sue esigenze di sorella.

Grazie ad Antonietta, senza di lei sarebbe stato difficile superare gran parte degli ostacoli che si sono presentati in questi anni. Il suo affetto e la sua amicizia sono stati per me fonti inesauribili di energia. Con lei ho condiviso i momenti più difficili, ma anche i più belli del mio corso di studi.

Grazie a Raniero, Peppe e Claudio, con i quali ho avuto la fortuna di lavorare e confrontarmi. I “litigi” e le discussioni costruttive lasciano in me un segno indelebile.

Grazie a Rachele: anche se sei entrata da poco nella mia vita mi sei stata vicina pazientemente nei momenti più impegnativi della mia carriera universitaria.

Grazie alle Prof/sse Napolitano e De Mase: i vostri insegnamenti e suggerimenti mi hanno permesso di arrivare a questo traguardo così importante.

Grazie a tutti i miei amici e colleghi: il ricordo di questi mesi trascorsi insieme è la cosa più bella che porterò con me.