



---

UNIVERSITÀ DEL SALENTO

FACOLTÀ DI SCIENZE  
MATEMATICHE FISICHE E  
NATURALI

CORSO DI LAUREA TRIENNALE  
IN  
FISICA

---

**Il sistema di test delle schede di Front End del  
rivelatore di tracking di MEG II**

---

Laureanda:  
*Maria Samuela Andriani*

Relatore:  
*Prof. Marco Panareo*  
Correlatore:  
*Dott. Alessandro Corvaglia*

---

Anno Accademico 2017-2018



*A Nonna Pina...*

# Indice

<b>INTRODUZIONE</b> .....	5
<b>1 L'ELETTRONICA DI FRONT END DELLA CAMERA A DERIVA</b> .....	7
1.1 NUOVA CAMERA A DERIVA DI MEG II .....	7
1.2 CLUSTER TIMING.....	12
1.3 OBIETTIVO DELL'ELETTRONICA DI FE .....	14
1.4 IMPEDENZA DELLA CAMERA A DERIVA.....	16
1.5 DESCRIZIONE ELETTRONICA DI FE .....	19
<b>2 SISTEMA DI TEST DELLE SCHEDE DI ELETTRONICA DI FE</b> .....	23
2.1 IL SISTEMA DI MISURA .....	23
2.2 DESCRIZIONE DEL CODICE IN LABVIEW .....	28
<b>CONCLUSIONI</b> .....	36
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	39

# Introduzione

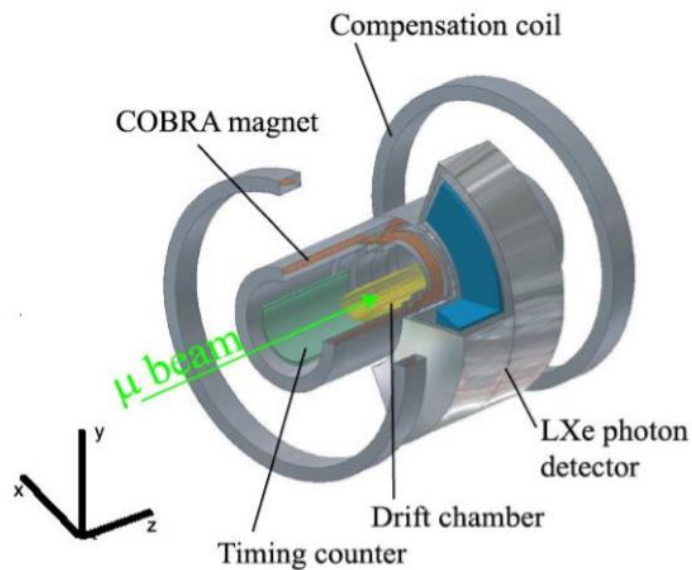
L'esperimento MEG, presso il PSI di Zurigo si pone come obiettivo quello di rilevare il decadimento del muone positivo  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$  proibito dal Modello Standard, che prevede la conservazione del sapore leptonico per le tre famiglie leptoniche  $e, \mu, \tau$ . Tuttavia, includendo nel Modello il mescolamento del sapore dei neutrini,  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$  diventa possibile, sebbene la sua probabilità (dell'ordine di  $10^{-54}$ ) è molto piccola rispetto ai limiti sperimentali ottenibili con le tecnologie odierne.

D'altro canto, però, diverse classi di modelli (oltre al Modello Standard), come la super-simmetria, la grande unificazione, le extradimensioni ecc. predicono, per il rapporto tra la probabilità di decadimento  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$  rispetto a quella del decadimento più comune  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma\nu_e\bar{\nu}_\mu$ , un valore compreso tra  $10^{-12}$  e  $10^{-14}$ , quindi sperimentalmente accessibile.

Analizzando i dati ottenuti durante i primi tre turni di presa dati, l'esperimento MEG ha stabilito il valore di  $4,2 \times 10^{-13}$  [1], come il miglior limite superiore oggi disponibile sulla violazione del sapore leptonico nel processo  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$ .

La ricerca di questo raro decadimento richiede una misura precisa delle variabili cinematiche, di conseguenza, per ognuno dei prodotti del decadimento è riservato uno specifico rivelatore. Il fotone viene rilevato tramite la sua interazione con un calorimetro a Xeno liquido, il positrone viene tracciato all'interno di un magnete superconduttore (COBRA, *CO*nstant *B*ending *RA*dium [2]) attraverso una camera a deriva e un Timing Counter (TC). Il sistema di tracciatura misura la direzione di emissione e l'impulso del positrone, mentre il TC ne misura con precisione l'istante di uscita dalla camera a deriva.

Nel 2013 è stato approvato un upgrade dell'esperimento MEG (MEG II) volto a migliorare la sensibilità nella misura del processo  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$  di un ordine di grandezza, portandola a circa  $6 \times 10^{-14}$ , attraverso un corrispondente miglioramento delle prestazioni dell'apparato sperimentale (fig.1).



**Figura 1** Vista tridimensionale dello Spettrometro

Questo lavoro di tesi è volto a descrivere il sistema di test dell'elettronica di Front End della nuova camera di tracking dell'esperimento MEG II. Nel primo capitolo è presente una descrizione della nuova camera a fili, della tecnica di Cluster Timing e principalmente dell'elettronica utilizzata per i canali di lettura. Il secondo capitolo è incentrato sul lavoro svolto in laboratorio, analizzando il sistema di misura e soffermandosi sulla stesura del codice LabView elaborato per l'acquisizione del segnale proveniente dalle schede di FE.

# Capitolo 1

## L'elettronica di Front End della Camera a deriva di MEG II

### 1.1 La camera a deriva

Nell'ambito dell'upgrade di MEG è stato sviluppato un rivelatore (figura 1.1.1) per il tracking del positrone nel decadimento  $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ , costituito da una camera a deriva a volume singolo ( *CYLindrical Drift Chamber, CYLDCH* [3]) e con basso contributo di scattering<sup>1</sup>.



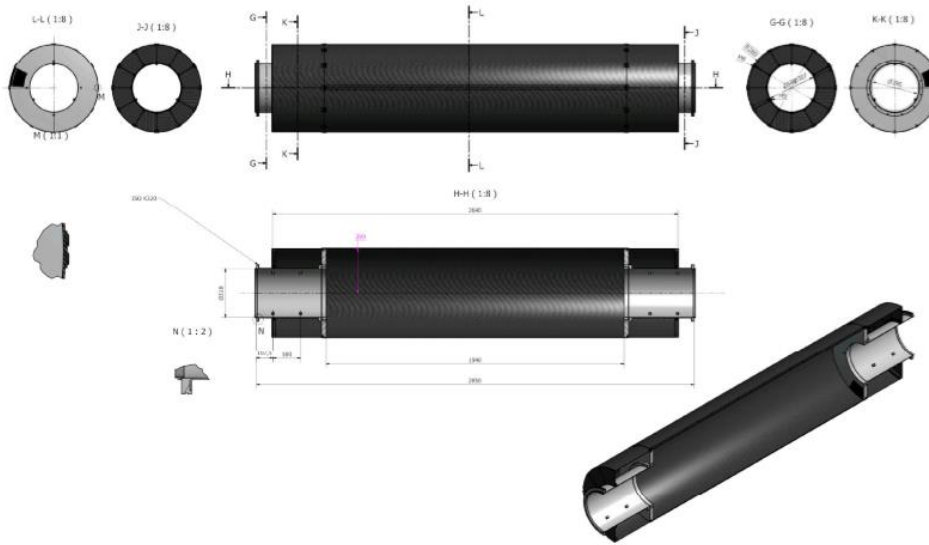
**Figura 1.1.1** La nuova camera a deriva di MEG II

---

<sup>1</sup> Il processo di Scattering fa riferimento all'interazione tra due o più particelle che provoca una deviazione delle loro traiettorie. Quando una particella attraversa un mezzo è deflessa da numerosi urti elastici a piccolo angolo, dovuti all'interazione col campo Coulombiano dei nuclei.

La ridotta lunghezza di radiazione e l'elevata risoluzione spaziale del nuovo rivelatore, si stima portino ad un complessivo miglioramento della risoluzione sulla quantità di moto e sulla posizione del positrone, determinando, di conseguenza, un aumento della precisione di tutte le variabili cinematiche che descrivono il processo considerato.

La CYLDCH in MEG II (figura 1.1.2), è costituita da un cilindro lungo 1,93 m, con un raggio interno di 17 cm ed un raggio esterno di 30 cm, per un diametro complessivo di 60 cm; la regione compresa tra i due raggi è suddivisa in 12 settori, ciascuno dei quali formato da 10 strati di fili di differenti materiali, tungsteno dorato per gli anodi, il cui spessore è di  $20\mu\text{m}$ , e alluminio argentato per i catodi e i fili di guardia, di spessore pari a  $40\mu\text{m}$  [3].

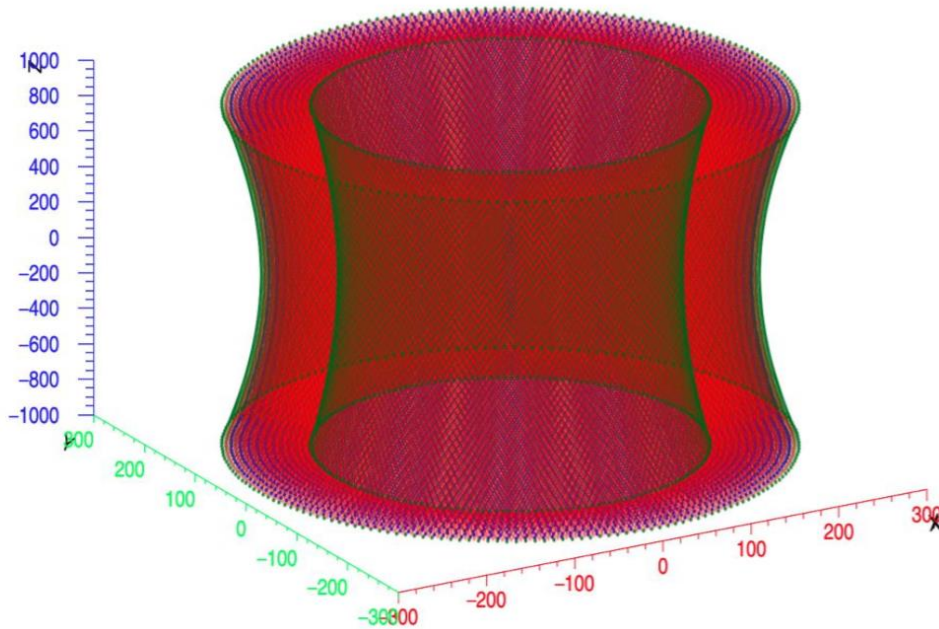


**Figura 1.1.2** La struttura della camera a deriva di MEG II

Il sistema di riferimento cartesiano dell'esperimento ha l'origine al centro del bersaglio dove vengono arrestati i muoni, l'asse  $z$  è diretto lungo la direzione del fascio,  $y$  è diretto verso l'alto ed il calorimetro è situato nel semi spazio  $x < 0,3$  [4]. La configurazione dei fili fa sì che il volume sensibile del rivelatore abbia un profilo iperbolico lungo l'asse  $z$  (figura 1.1.3).



La sezione della singola cella a deriva si può approssimare a quella di un quadrato, il cui lato è di circa 6 mm nello strato più interno aumentando a circa 8 mm in quello più esterno.



**Figura 1.1.3**

*La configurazione dei fili secondo la forma di iperboloide di rotazione*

Il numero totale di fili è 13056, con una lunghezza di radiazione di  $1,45 \times 10^{-3} X_0$  [5] in corrispondenza di una miscela Elio-Isobutano 90:10, in cui  $X_0^2$  è rappresentata da

$$X_0 = \frac{1}{\sum_i \frac{w_i}{x_i}}$$

dove, con  $w_i$  e  $x_i$  si indicano, rispettivamente, il peso e la lunghezza dell' $i$ -esimo materiale attraversato [6]. In MEG I questo valore era il 30% circa superiore.

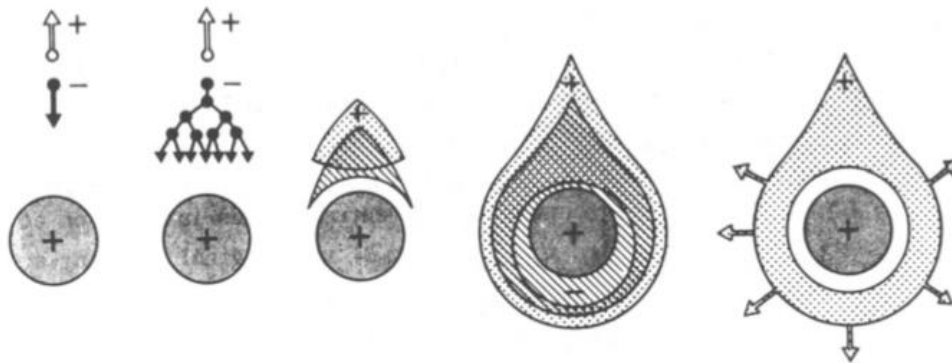
<sup>2</sup> È una caratteristica propria del materiale e rappresenta la lunghezza percorsa dall'elettrone sulla quale esso perde parte della sua energia che diminuisce di un fattore  $\frac{1}{e}$

Le particelle cariche vengono rilevate nella camera a deriva attraverso le ionizzazioni delle molecole del gas (cluster) lungo la loro traiettoria; l'energia richiesta per la ionizzazione per il gas scelto, una miscela binaria elio-Isobutano, è molto piccola, dell'ordine di qualche keV per centimetro di gas in condizioni normali [3]. Gli elettroni originati nelle ionizzazioni, spostandosi attraverso il gas determinano la formazione di valanghe elettrone-ione positivo in prossimità dei fili sensibili. Il segnale che si ottiene sul filo fornisce un'informazione sulla posizione di origine della valanga e sul numero di ionizzazioni per segmento di traiettoria. Le traiettorie delle particelle vengono ricostruite attraverso una misura del parametro di impatto; generalmente tale grandezza viene identificata con la distanza di deriva del primo cluster di ionizzazione che raggiunge il filo anodico

La diseccitazione degli atomi del gas genera fotoni nella regione ultravioletta i quali possono essere causa di ulteriori ionizzazioni.

I fotoni diffondono in maniera isotropa, determinando una delocalizzazione della scarica che si estende all'intero rivelatore (regime di funzionamento Geiger).

Con l'aggiunta di gas poliatomici al gas primario si riducono questi effetti grazie all'assorbimento dei fotoni secondo modalità tali da non comportare successive ionizzazioni. La valanga (fig.1.1.4) si forma in prossimità del filo anodico e in tempi dell'ordine dei  $ns$ ; quando raggiunge l'anodo ne determina la formazione di un segnale.



**Figura 1.1.4** Ionizzazione e formazione a valanga attorno al filo

Quando una particella ionizzante attraversa il gas, solo i fili più vicini alla sua traiettoria raccolgono il segnale elettrico; in questo modo il filo sul quale si presenta il segnale identifica le coordinate della particella.

La purezza della miscela è garantita da un flusso continuo di gas nella camera a deriva a singolo volume, usando Elio e Isobutano con un livello di purezza rispettivamente del 99,9999% e 99,995%. Tutto ciò previene l'accumulo di contaminanti che si formano da processi a valanga.

L'elevata lunghezza di radiazione ( $X_0 \sim 5300 m$  in condizioni di pressione e temperatura standard) garantisce un piccolo contributo in termini di scattering Coulombiano, mentre l'alto potenziale di ionizzazione ( $24,5 eV$  se comparato con quello dell'Argon di  $15,7 eV$ ) è causa di una densità di ionizzazione primaria molto bassa ( $\sim 4,8/cm$ ).

L'insieme di queste caratteristiche è adatto per l'applicazione della tecnica di *cluster counting*.

## 1.2 Cluster Timing

Un parametro fondamentale per le prestazioni della camera a deriva è l'indeterminazione per una singola cella di deriva sulla misura della distanza di minimo approccio della particella all'anodo, cioè la risoluzione di singolo hit.

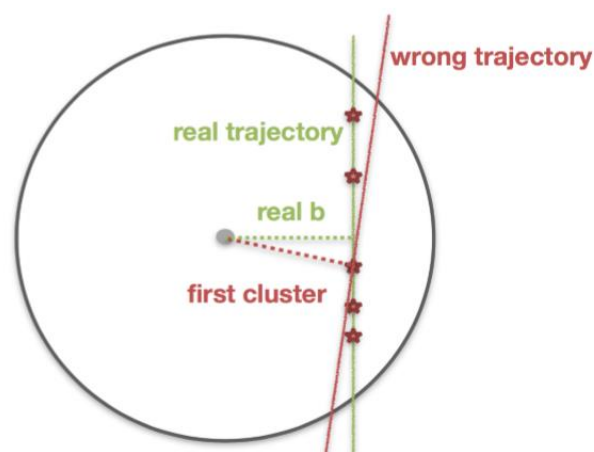
L'incertezza sulla risoluzione del singolo hit è il punto di partenza per valutare la risoluzione spaziale della camera a deriva.

La risoluzione spaziale svolge un ruolo rilevante dal momento che riceve contributi da molte sorgenti differenti tra cui: il rumore elettronico, l'incertezza nella ricostruzione, la diffusione longitudinale degli elettroni e la ionizzazione primaria degli elettroni. Quest'ultima, insieme con il rumore elettronico, sono i contributi maggiori, e possono essere ridotti con l'uso di un'elettronica molto veloce attraverso la tecnica di *Cluster Timing*.

Come già accennato parlando della risoluzione di singolo hit, le traiettorie delle particelle vengono ricostruite attraverso il parametro d'impatto. Poiché i siti di ionizzazione sono distribuiti in maniera discreta lungo le traiettorie dei positroni, la distanza di deriva del cluster più vicino al filo anodico è sempre maggiore del parametro di impatto, pertanto la stima del parametro di impatto a partire dalla misura della distanza di deriva è affetta da un bias che dipende dal libero cammino medio per ionizzazioni

La tecnica di Cluster Timing è impiegata per eliminare il bias sul parametro di impatto del positrone rispetto al filo anodico, con l'obiettivo di raggiungere una risoluzione di singolo hit inferiore a  $\sim 120\mu m$ .

Nella fase di ricostruzione della traccia del positrone, le coordinate del primo cluster non corrispondono necessariamente con il punto più vicino al filo anodico (fig. 1.2.1). Questo fenomeno è causa di una sovrastima del parametro di impatto, in particolare ciò accade quando si fa riferimento a valori di parametro d'impatto molto piccoli o a piccole celle della camera a deriva.



**Figura 1.2.1** Sovrastima del parametro d'impatto

L'effetto è più elevato in un rivelatore ad alta trasparenza, come la camera a deriva di MEG II.

I fili presenti nella CYLDCH non sono paralleli all'asse della camera, ma formano un angolo stereo con l'asse z, che varia da  $6,5^\circ$  nello strato più interno a  $8,5^\circ$  in quello più esterno. Quest'angolo permette di determinare le coordinate longitudinali degli hits, mentre la risoluzione nella direzione z è ottenuta come rapporto tra la risoluzione nel piano trasverso ed il suo angolo stereo  $\delta$

$$\sigma_z = \frac{\sigma_{\rho\phi}}{\sin \delta}$$

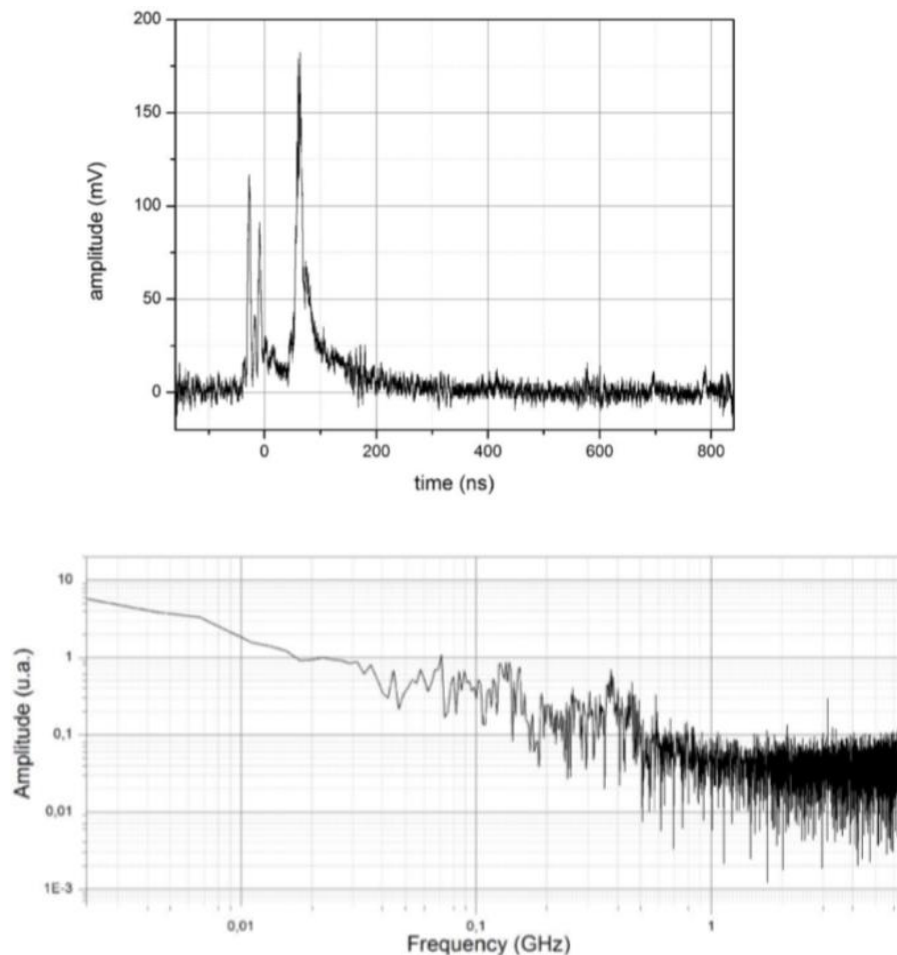
Contrariamente alla determinazione tradizionale del parametro di impatto attraverso il solo tempo di arrivo del primo cluster, l'idea base del Cluster Timing è quella di misurare il tempo di arrivo sui fili di ogni singolo cluster di ionizzazione e combinando questi tempi minimizzare il bias sulla stima del parametro di impatto [7].

Poiché la separazione temporale tra i segnali prodotti dai diversi cluster di ionizzazione per la miscela adoperata è di pochi nanosecondi, la tecnica del Cluster Timing richiede un'elettronica di Front End (FE) molto veloce per l'acquisizione del segnale. A tale scopo è stata sviluppata un'elettronica di FE a basso rumore e a bassa distorsione, con una larghezza di banda dell'ordine di  $1 \text{ GHz}$ .

## 1.3 Obiettivi dell'elettronica di Front End

Al fine di rivelare i segnali dei singoli cluster di ionizzazione, l'elettronica di lettura della camera a deriva deve essere in grado di amplificare segnali ad alta frequenza. Pertanto è stata progettata un'elettronica di Front End, ad 8 canali, in grado di processare segnali ad alta velocità con un basso consumo in potenza, una larghezza di banda compatibile con lo spettro del segnale atteso ed un rapido tempo di salita come richiesto per l'applicazione della tecnica del Cluster Timing.

Nella camera a deriva, l'elettronica di FE è un componente fondamentale per ottenere un miglioramento della risoluzione, in particolare di quella spaziale, della possibilità di identificare la particella e delle prestazioni del trigger della camera stessa.



**Figura 1.3.1**

*Forma d'onda tipica per una camera a deriva costituita da un tubo di 8 mm (in alto)*

*Trasformata di Fourier della forma d'onda precedente (in basso)*

Dalla teoria sappiamo che, tramite la trasformata di Fourier, è possibile studiare lo spettro del segnale nel dominio della frequenza, piuttosto che nel dominio del tempo; ad ogni componente spettrale corrisponde, perciò, una frequenza che apporta un contributo nella forma del segnale.

Nel passaggio da un dominio all'altro può succedere che parte del segnale venga persa; per evitare che ciò accada l'elettronica di FE è caratterizzata da bassa distorsione ed ampia larghezza di banda tale da contenere tutte le frequenze dello spettro ed accuratamente scelta per minimizzare il rumore.

Lo scopo di un'elettronica di FE con queste caratteristiche è quello di acquisire il segnale e mostrare gli impulsi temporalmente separati senza che si sovrappongano, permettendo, così, di applicare la tecnica del Cluster Timing.

Una forma d'onda è stata già acquisita utilizzando un tubo con diametro di  $8\text{ mm}$  riempito con una miscela di gas composta al 90% di Elio ed al 10% di Isobutano. In figura 1.3.1 è mostrata la relativa Trasformata di Fourier, in cui è possibile notare che le informazioni del segnale principale sono racchiuse in una larghezza di banda di valore  $\sim 1\text{ GHz}$  e questo risultato è utilizzato per fissare la larghezza di banda dell'elettronica di FE [8].

## 1.4 Impedenza della cella a deriva

Il segnale che si origina in un filo della camera a deriva è assimilabile ad un generatore di corrente connesso al filo in prossimità del punto in cui ha avuto luogo la ionizzazione.

La lunghezza della camera a deriva ( $\sim 2\text{ m}$ ) richiede che sia da considerare come una linea di trasmissione. A conferma di ciò possiamo notare che, se indicassimo con  $f$  la frequenza relativa ad una componente spettrale del segnale e con  $c$  la velocità della luce ( $\sim 3 \times 10^8\text{ m/s}$ ), per frequenze sufficientemente alte, la lunghezza d'onda risultante  $\lambda = \frac{f}{c}$  è confrontabile con quella di un conduttore in una linea di trasmissione. Non è possibile trascurare, perciò, gli effetti di propagazione dei segnali lungo i fili. Un primo problema che si presenta è la riflessione del segnale. In altre parole la camera a deriva simula una linea di trasmissione con perdite che è opportuno sia terminata per evitare riflessioni.

La linea di trasmissione rappresentata dalla camera a deriva può essere schematizzata per semplicità come un tubo cilindrico [8].

Nell'ambito delle linee di trasmissione, il rapporto tra i moduli della tensione e della corrente che si propagano in una linea, in assenza di riflessioni, è detto *impedenza caratteristica*. Inoltre, l'impedenza caratteristica ( $Z_0$ ) è il valore dell'impedenza di carico che deve essere posto alla fine della linea di trasmissione, affinché non si abbiano riflessioni.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{r + j\omega l}{g + j\omega c}}$$

$Z_0$  è una funzione complessa dipendente della frequenza, dal materiale che costituisce i fili, dal dielettrico e dalla geometria della linea.

Nella formula dell'impedenza compaiono  $r$ ,  $l$  e  $g$  che indicano rispettivamente la resistenza per unità di lunghezza, l'induttanza per unità di lunghezza, la conduttanza per unità di lunghezza,  $c$  che rappresenta la capacità per unità di lunghezza ed  $\omega$  la pulsazione.

Consideriamo la camera a deriva come una linea dispersiva; possiamo determinare in modo preciso la sua impedenza caratteristica, che è una funzione complessa dipendente dalla frequenza.

La capacità  $c$  e l'induttanza  $l$  per unità di lunghezza, per una camera a deriva cilindrica, valgono rispettivamente:

$$c = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} = 9,28 \times 10^{-12}\text{ F/m}$$



$$l = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right) = 1,19 \times 10^{-6} \text{ H/m}$$

in cui  $a = 20\mu\text{m}$  rappresenta il diametro del filo anodico e  $b = 8\text{mm}$  il diametro del tubo esterno.

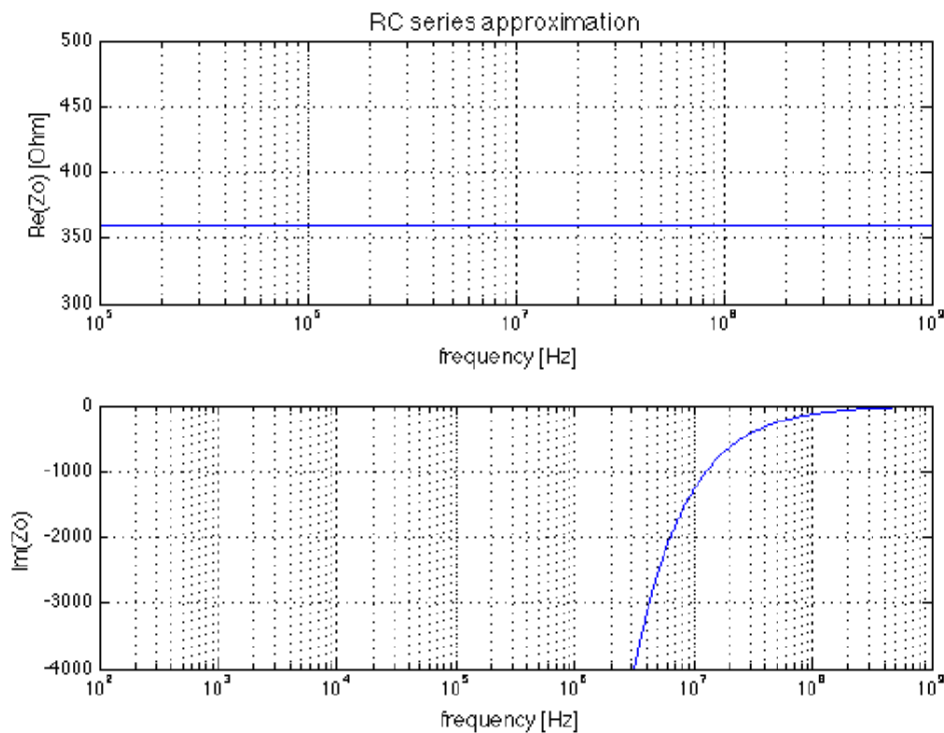
La resistenza per unità di lunghezza del filo anodico, può essere calcolata misurando la resistenza stessa del filo, e dividendola per la sua lunghezza

$$r = \frac{360\Omega}{1,92\text{m}} \sim 187\Omega/\text{m}$$

Dal momento che  $G$  è trascurabile, si pone  $G = 0$ .  $Z_0$  diventa:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{r + j\omega l}{j\omega c}}$$

L'impedenza caratteristica rimane una funzione dipendente dalla frequenza, mentre la parte reale ed immaginaria, corrispondono rispettivamente alla resistenza ed alla reattanza.



**Figura 1.4.1**

Impedenza caratteristica in funzione della frequenza: parte reale (in alto), parte immaginaria (in basso)

Se si graficasse l'impedenza in funzione della frequenza (fig. 1.4.1), si potrebbe notare che, per  $f > 100 \text{ MHz}$  la parte immaginaria dell'impedenza caratteristica tende a zero, quindi  $Z_0$  sarà [8]:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{l}{c}} = \sqrt{\frac{1,19 \times 10^{-6}}{9,28 \times 10^{-12}}} \sim 360\Omega$$

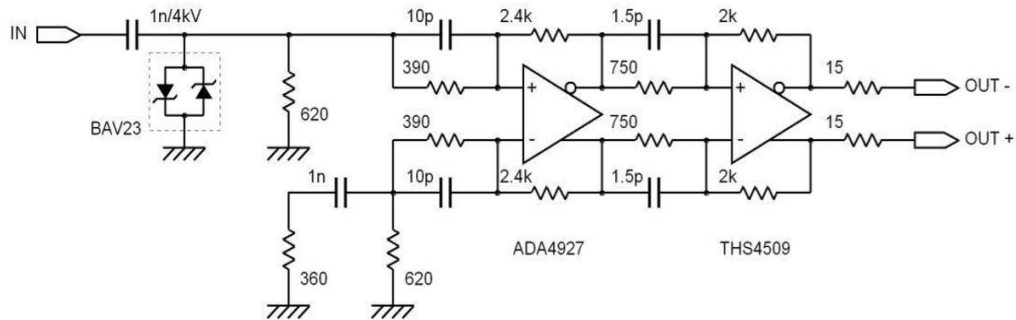
In tal modo  $Z_0$  può essere approssimata ad un semplice resistore di  $360\Omega$ .  
Si nota che quest'ultimo valore si avvicina molto a quello di  $Z_0$  nel vuoto, dato da:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \sim 376,73\Omega \sim 377\Omega$$

in cui  $\mu_0$  rappresenta la permeabilità magnetica nel vuoto, mentre  $\epsilon_0$  la permittività elettrica nel vuoto.

## 1.5 Descrizione elettronica di FE

Lo schema del singolo canale dell'elettronica di Front End, con le caratteristiche e le proprietà sopra descritte, è rappresentato nella figura 1.4.1.

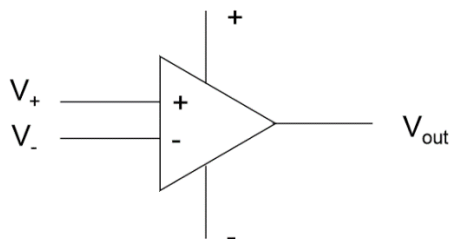


**Figura 1.4.1** Schema elettrico del singolo canale dell'elettronica di FE [3]

La rete d'ingresso consente sia il disaccoppiamento dall'alta tensione di polarizzazione del filo anodico, che la protezione per lo stadio successivo tramite una coppia di diodi Schottky.

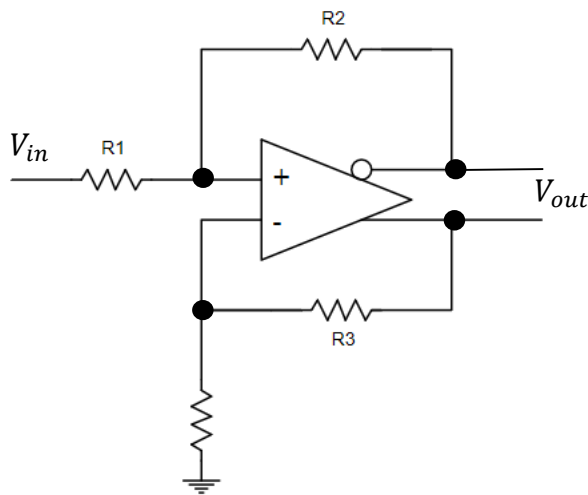
Dalla teoria sappiamo che un diodo è caratterizzato da un valore di tensione di soglia, al di sopra del quale esso conduce. Il diodo Schottky presente nell'elettronica di FE ha una tensione di soglia di circa  $200\text{ mV}$ . Quando la tensione supera questo valore il diodo conduce e la corrente che lo attraversa fluisce verso massa. Ciò significa che all'interno del circuito la corrente è nulla e rimarrà tale fino a che la tensione non raggiungerà un valore inferiore alla tensione di soglia.

Il guadagno è ottenuto attraverso due stadi realizzati con gli amplificatori ADA4927 e THS4509 che funzionano come amplificatori operazionali. Un amplificatore operazionale, il cui schema generale è rappresentato in figura 1.5.2, ha due ingressi di segnale, due alimentazioni, una positiva ed una negativa, oppure una positiva e l'altra a massa ed un'uscita.



**Figura 1.5.2** Amplificatore operazionale

$V_+$  individua l'ingresso non invertente, mentre  $V_-$  l'ingresso invertente e forniscono guadagni uguali ed opposti;  $A_+$  il guadagno per il segnale applicato all'ingresso non invertente e  $A_-$  quello per il segnale dell'ingresso invertente. L'uscita è positiva quando  $V_+$  è a potenziale maggiore rispetto a  $V_-$  e viceversa. Il tipo di amplificatore utilizzato nella scheda elettronica di front end della nuova camera a fili è di tipo invertente (figura 1.5.3)



**Figura 1.5.3** Amplificatore operazionale invertente

In generale un amplificatore è utilizzato nella connessione invertente quando la tensione in ingresso  $V_{in}$  è applicata sul morsetto contraddistinto dal segno meno, tramite la resistenza  $R_1$ .

Il segnale in uscita è sfasato di  $180^\circ$  rispetto all'ingresso. Poiché circola la stessa corrente in  $R_1$  ed in  $R_2$

$$\frac{V_{in}}{R_1} = -\frac{V_{out}}{R_2}$$

il rapporto tra la tensione in uscita e la tensione in ingresso è uguale a:

$$A_V = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

In questa configurazione l'output si comporta in modo tale da ridurre la differenza di potenziale tra gli input a zero, di conseguenza anche la corrente sarà nulla [14].

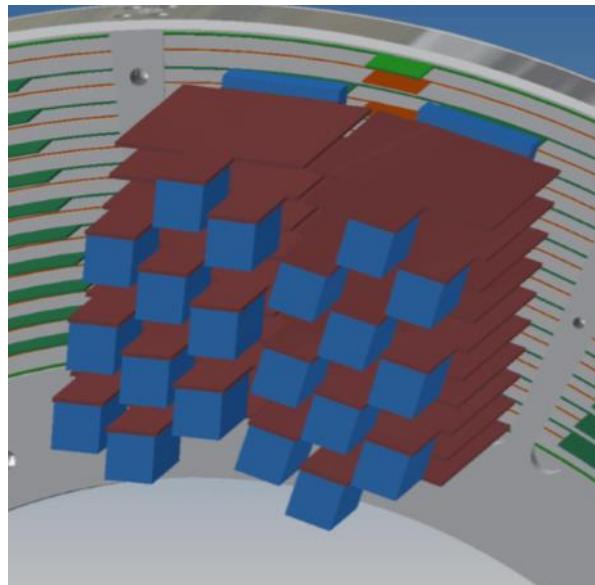
L'amplificatore ADA4927 [9] agisce nel primo stadio. Si tratta di un amplificatore a reazione di corrente con basso rumore, bassa distorsione ed elevata velocità. Il THS4509 [10] è invece adoperato come secondo stadio di guadagno e driver di uscita. Si tratta di un amplificatore a larga banda, basso rumore e ridotta distorsione armonica.

Per migliorare l'immunità al rumore, l'uscita dell'elettronica di front end è differenziale ed è connessa ad un digitalizzatore di segnali con un cavo specifico progettato per garantire una risposta piatta e stabile.

Dal momento che l'applicazione del cavo d'uscita provoca un'attenuazione del segnale alle alte frequenze, ad ogni stadio è stato aggiunto un condensatore, con uno specifico valore, in parallelo alle resistenze poste all'ingresso (pre-enfasi). Ciò induce un picco nel guadagno alle alte frequenze che compensa le perdite dovute al cavo, determinando una banda passante complessiva di 1GHz. Con l'aggiunta dei condensatori, l'espressione del guadagno sarà

$$A_V = \frac{R_2}{\frac{1}{\frac{1}{R_1} + j\omega C}} = \frac{R_2}{\frac{R_1}{1 + j\omega R_1 C}} = \frac{R_2}{R_1} (1 + j\omega R_1 C) = \frac{R_2}{R_1} + R_2 j\omega C$$

Le schede sono poste nella camera a deriva secondo secondo la figura 1.5.4



**Figura 1.2.4** *Disposizione schede elettronica di front end*

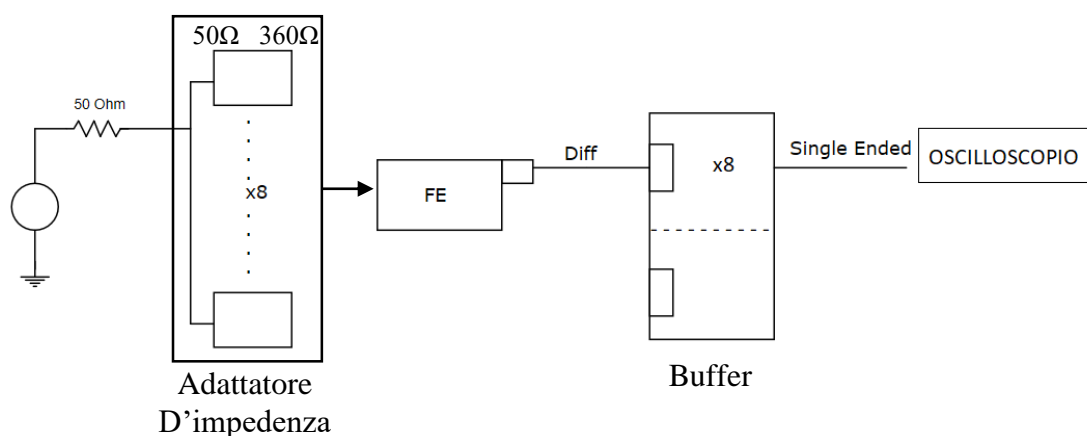


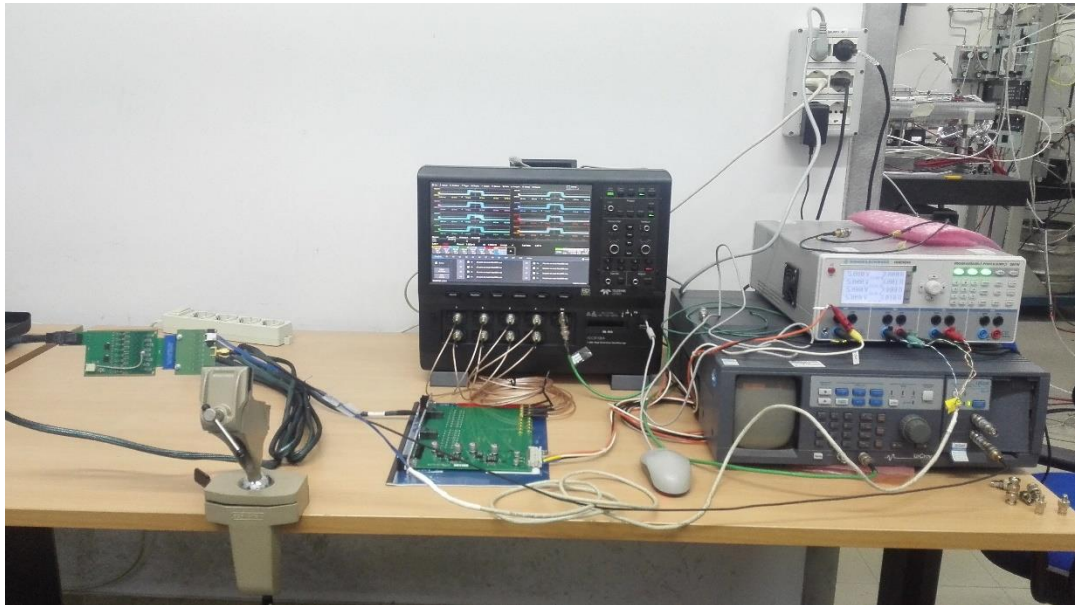
## Capitolo 2

# Sistema di test delle schede di elettronica di FE

### 2.1 Il sistema di misura

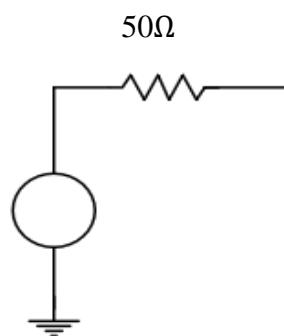
La lettura del segnale, proveniente dalle schede di elettronica di FE, ha bisogno di una componente software e di un sistema di misura così costituito (fig. 2.1.1): un generatore di funzioni impulsa il segnale ad un adattatore di impedenza e viene poi trasmesso alle schede di FE; il segnale così amplificato viene trasferito attraverso un filo lungo 5 m ad un buffer che lo converte da differenziale a single ended per poter essere letto dall'oscilloscopio. Il tutto è alimentato da un alimentatore stabilizzato impostato a 5 V.



**Figura 2.1.1**

*Nella prima immagine la schematizzazione del sistema di misura. Nella seconda immagine le componenti fisiche che costituiscono il sistema di misura.*

Vediamo nel dettaglio le componenti del sistema e le relative caratteristiche. Il segnale proviene da un impulsatore<sup>3</sup> (schema elettrico in fig. 2.1.2) e la sua forma d'onda ci consente di studiare la maggior parte delle caratteristiche del segnale che ci aspettiamo di trovare all'ingresso del FE.

**Figura 2.1.2** *Schema elettrico del generatore*

---

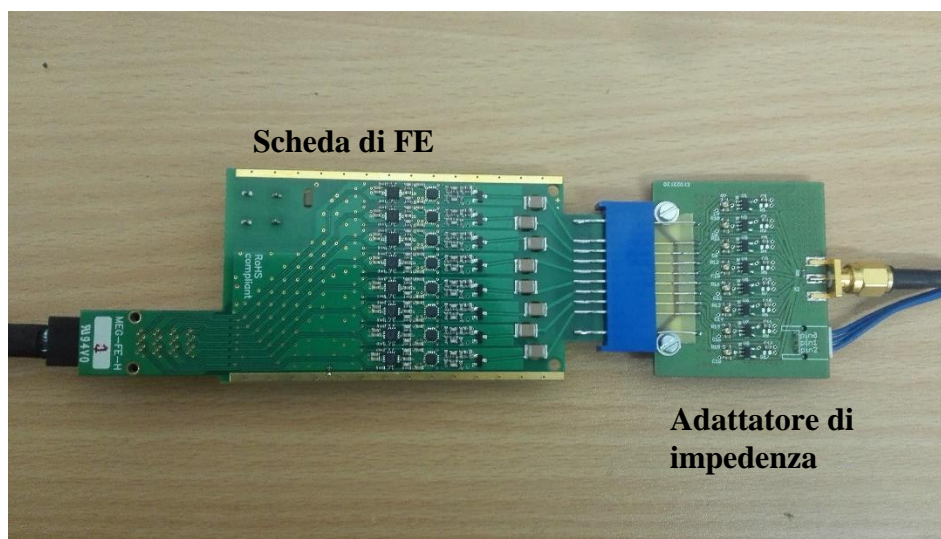
<sup>3</sup> Lecroy 9210 con modulo d'uscita 9211



Il generatore adoperato ha un'impedenza in uscita di  $50 \Omega$ , a differenza dell'impedenza in ingresso della scheda di Front End che è di circa  $360 \Omega$ .

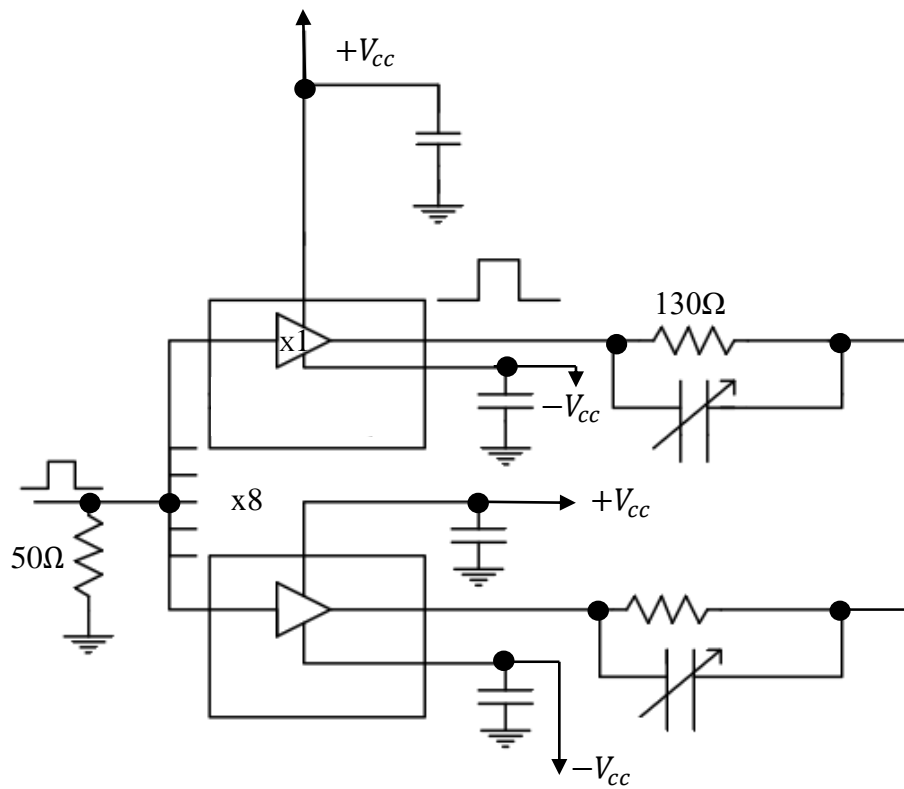
Questo disadattamento di impedenza può essere causa di una riflessione del segnale, che fa sì che parte di esso ritorni verso il generatore. Ogni discontinuità di impedenza provoca una riflessione del segnale con conseguente perdita di potenza e formazione di successive riflessioni.

Per ovviare a questo problema, il front-end è stato accoppiato all'impulsatore attraverso un adattatore di impedenza attivo a guadagno unitario con banda passante superiore ad 1 GHz appositamente realizzato (fig. 2.1.3).

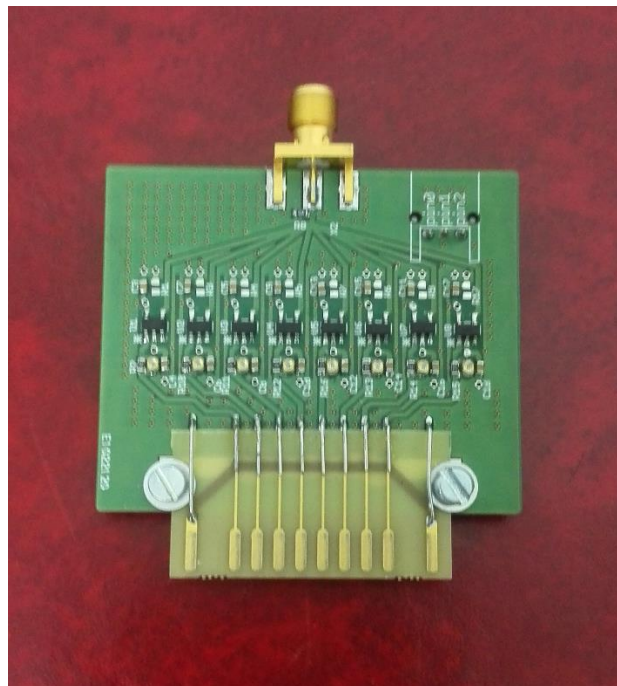


**Figura 2.1.3** Adattatore di impedenza e scheda di FE

Questo adattatore ( schema elettrico fig. 2.1.4, adattatore fig. 2.1.5) è costituito da 8 canali (tanti quanti sono i canali di una scheda di FE), connessi tra loro, e con una resistenza di ingresso di  $50 \Omega$ .



**Figura 2.1.4** Schema elettrico dell'adattatore d'impedenza



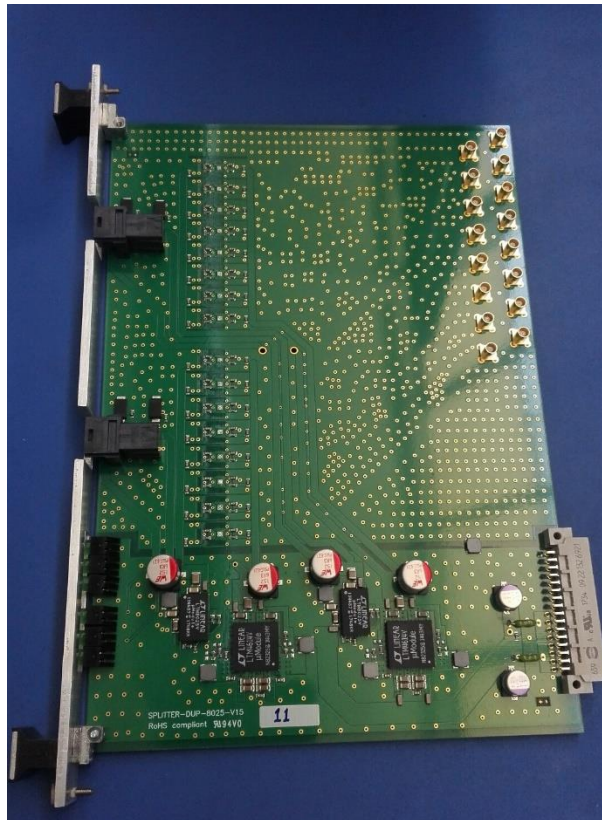
**Figura 2.1.5** L'adattatore di impedenza

All'output dell'adattatore vi è un parallelo tra una resistenza di  $130\Omega$  e un condensatore variabile.

La scelta di inserire un condensatore variabile serve ad eliminare l'effetto delle capacità parassite dei componenti a valle dell'adattatore.

Dall'adattatore il segnale viene trasmesso alla scheda di FE, da cui esce in forma differenziale. Un segnale di questo tipo ha bisogno di una coppia di conduttori per essere trasmesso.

Il segnale uscente dal Front End si propaga attraverso un cavo, lungo  $5\text{ m}$ , costituito da 8 coppie di fili twistati tra loro che rappresentano la linea differenziale per il trasporto del segnale, e da altre due coppie di fili adibite per l'alimentazione della scheda di FE nelle quali un filo si trova ad una tensione di  $+2,5\text{ V}$  l'altro a  $-2,5\text{ V}$ . Al termine di questo cavo viene posta una resistenza di terminazione ed il segnale entra in un buffer (fig. 2.1.6), che ha lo scopo di convertire il segnale da differenziale a single ended. Al suo interno è presente un amplificatore operazionale; una sua uscita è posta a massa, mentre l'altra viene connessa all'oscilloscopio tramite appositi cavi.



**Figura 2.1.6** Buffer per la conversione del segnale da differenziale a single ended

## 2.2 *Descrizione del codice LabView*

LabView (abbreviazione di *Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*) è l'ambiente di sviluppo integrato per il linguaggio di programmazione visuale della *National Instruments* (NI) nato dalla necessità di disporre di un software grafico, con il quale testare rapidamente gli apparati hardware.

LabView è un ambiente di sviluppo per applicazioni principalmente orientate ad acquisire, analizzare, visualizzare, elaborare, memorizzare segnali e dati.

Si presenta come un ambiente di programmazione grafico ad oggetti, che consente di realizzare i programmi in forma block diagram e per questa ragione è battezzato G-Language (Graphic Language). La semplicità di programmazione (intuitiva in quanto modellata sulla logica di un flow chart), la semplicità di utilizzo (l'utente finale dispone di una strumentazione virtuale disegnata a schermo) e la grande versatilità hanno reso LabView molto impiegato e diffuso nell'ambito dell'acquisizione dei dati.

I programmi realizzati in LabView prendono il nome di VI (Virtual Instrument) poiché nell'aspetto e nel funzionamento sono simili a strumenti fisici, ma l'interazione avviene attraverso un programma in esecuzione, che simula il funzionamento del dispositivo fisico (nel nostro caso l'oscilloscopio).

I VI sono formati principalmente da tre parti:

Front Panel (pannello frontale), Block Diagram (schema a blocchi), Riquadro Icona-Connettori

Il Front Panel è la finestra che rappresenta l'interfaccia per l'utente finale.

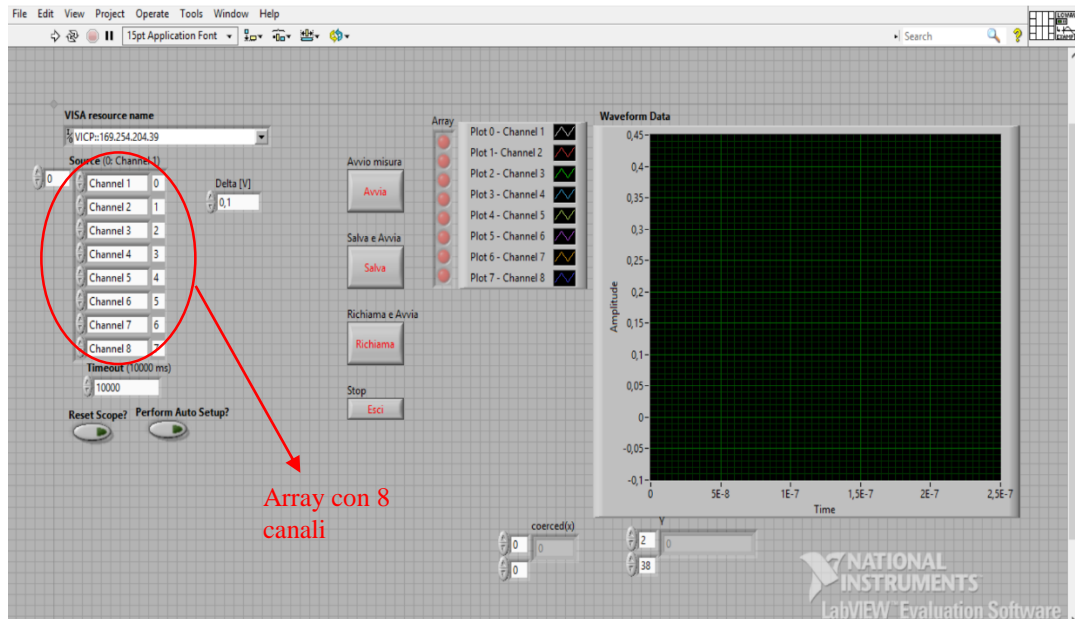
Il Block Diagram è il diagramma di flusso che rappresenta il codice sorgente in formato grafico. Gli oggetti utilizzati nel Front Panel appaiono qui come terminali, ovvero porte di ingresso e di uscita che scambiano informazioni tra i due "livelli" e sono del tutto analoghi alle variabili dei linguaggi di programmazione testuali.

Il Riquadro Icona-Connettori è utilizzato in LabView nel momento in cui un VI venga sfruttato come subVI in un altro VI. Per poter fare ciò occorre definire le variabili che il subVI riceve in ingresso e quelle che restituisce in uscita specificando i rispettivi controlli e indicatori a partire dal riquadro connettori del Front Panel. L'icona, completamente personalizzabile, è invece il simbolo che si applica al subVI per il suo riconoscimento all'interno del programma [11].

La National Instrument sviluppa e produce codici Labview che permettono di comunicare con la strumentazione tradizionale, monitorandone e controllandone i processi.

Questo lavoro di tesi è principalmente basato sulla modifica di uno di questi codici, al fine di acquisire il segnale proveniente da un oscilloscopio Lecroy HDO8108A ad otto canali.

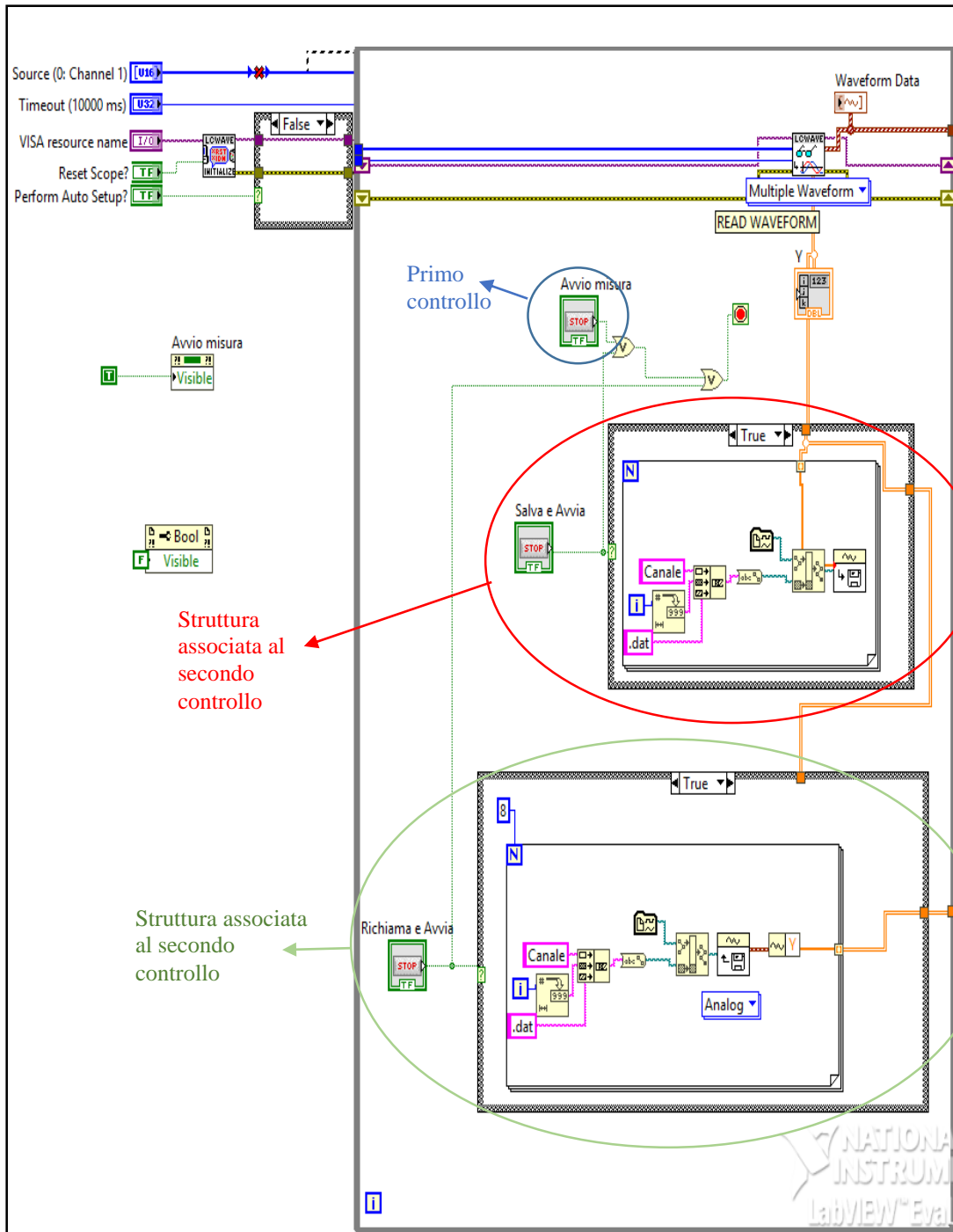
Il primo passo è stato quello inserire ulteriori quattro canali (per averne tanti quanti sono i canali dell'oscilloscopio utilizzato e della scheda di Front End) e fare in modo che l'acquisizione del segnale da questi 8 canali avvenga in maniera simultanea. A tale scopo il controllo della sorgente è stato cambiato in un array in cui ogni canale occupa una posizione (fig. 2.2.1).



**Figura 2.2.1** Array contenente gli 8 canali

Prima di descrivere le successive modifiche effettuate al codice, è opportuno stabilire qual è lo scopo del software. Il programma elaborato opera in tre fasi eseguite sequenzialmente tramite l'uso delle Flat Sequence Structures:

1. La prima di queste strutture (fig. 2.2.2) acquisisce una forma d'onda del segnale e la memorizza per utilizzarla come template nel secondo stadio.



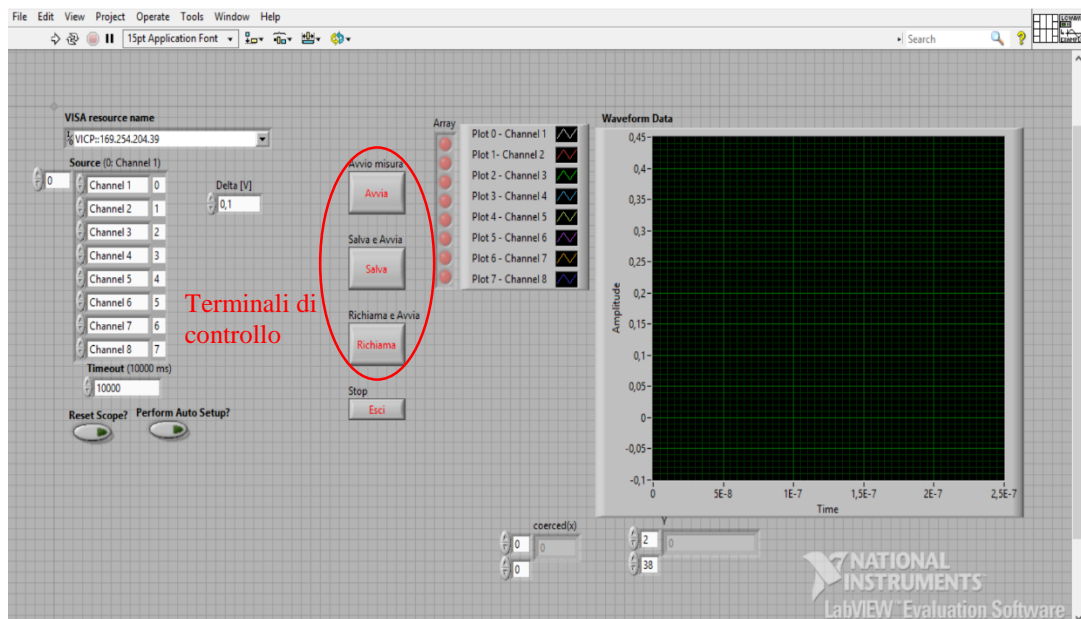
**Figura 2.2.2**  
 Codice all'interno della prima Flat Sequence Structure inserita nel BBlock diagram

In questa Flat Sequence Structure, dopo aver stabilito una connessione con l'oscilloscopio tramite il subVI<sup>4</sup> "Initialize", l'informazione elaborata dal software entra in un *While loop*.

Il *While loop* ripete una porzione di codice fino al verificarsi di una determinata condizione. Il ciclo viene eseguito fino a quando il Conditional Terminal (variabile di ingresso booleana) assume un determinato valore. L'Iteration Terminal contiene invece il numero di iterazioni completate [11].

La condizione di chiusura del *While*, in questo caso, è stabilita direttamente dall'utente attraverso i terminali presenti nel Front Panel (fig. 2.2.3), scegliendo tra uno dei tre controlli booleani inseriti:

- *Avvio misura*
- *Salva e avvia*
- *Richiama e avvia*



**Figura 2.2.3** I terminali di controllo presenti nel Front Panel

Con il primo di questi controlli, l'utente interrompe l'acquisizione del segnale e memorizza temporaneamente la forma d'onda che verrà utilizzata nella seconda Flat Sequence per effettuare un confronto con le successive acquisizioni.

<sup>4</sup> Sono VI costruiti per essere utilizzati all'interno di un altro VI. Ogni VI può essere potenzialmente utilizzabile come subVI a patto che lo si munisca di connettori ingresso-uscita tramite un apposito riquadro, detto riquadro connettori [11]



Il secondo controllo permette non solo di interrompere l'acquisizione del segnale e memorizzare la forma d'onda, ma anche di salvare quest'ultima su file in forma binaria, utilizzabile come template in un secondo momento

L'ultimo controllo, invece, offre la possibilità di richiamare una forma d'onda salvata precedentemente per utilizzarla nel confronto dello stadio successivo.

Per fare in modo che il software elabori queste operazioni, in particolare quelle del secondo e terzo controllo, bisogna dapprima fare un'osservazione. La forma d'onda del segnale acquisito è caratterizzata dal variare di due parametri: l'ampiezza (sull'asse delle ordinate) ed il tempo (sull'asse delle ascisse).

Poiché il tempo varia uniformemente ed in maniera costante, continueremo nella stesura del codice prendendo in considerazione solo i valori delle ampiezze.

Di conseguenza, se l'utente decide di terminare il While loop con il controllo "Salva e avvia", dal subVI "Read Multiple Waveforms"<sup>5</sup> si estrapolano i valori delle ordinate che verranno successivamente manipolate all'interno di una *Case Structure*. Quest'ultima elabora una parte di codice piuttosto che un'altra a seconda del valore assunto dalla variabile di controllo detta *Selector Terminal*. Nella *Case Structure* viene inserito un *For Loop*, una struttura di controllo che esegue iterativamente una porzione di programma per un numero di volte stabilito dall'utente. Esso si distingue dalle altre strutture per mezzo dei terminali "N" e "i" chiamati rispettivamente *Count Terminal*, indicante il numero di iterazioni da eseguire e quindi variabile d'ingresso (otto nel nostro caso), e *Iteration Terminal*, indicante il numero di iterazioni completate e quindi variabile d'uscita. [11]

Nel ciclo For è stata sviluppata quella parte di codice che permette di salvare e scrivere su file binario i valori delle ampiezze della forma d'onda acquisita, specificando la cartella di destinazione, il nome del file e la sua estensione che per semplicità di utilizzo sono predefinite e non modificabili dall'utente

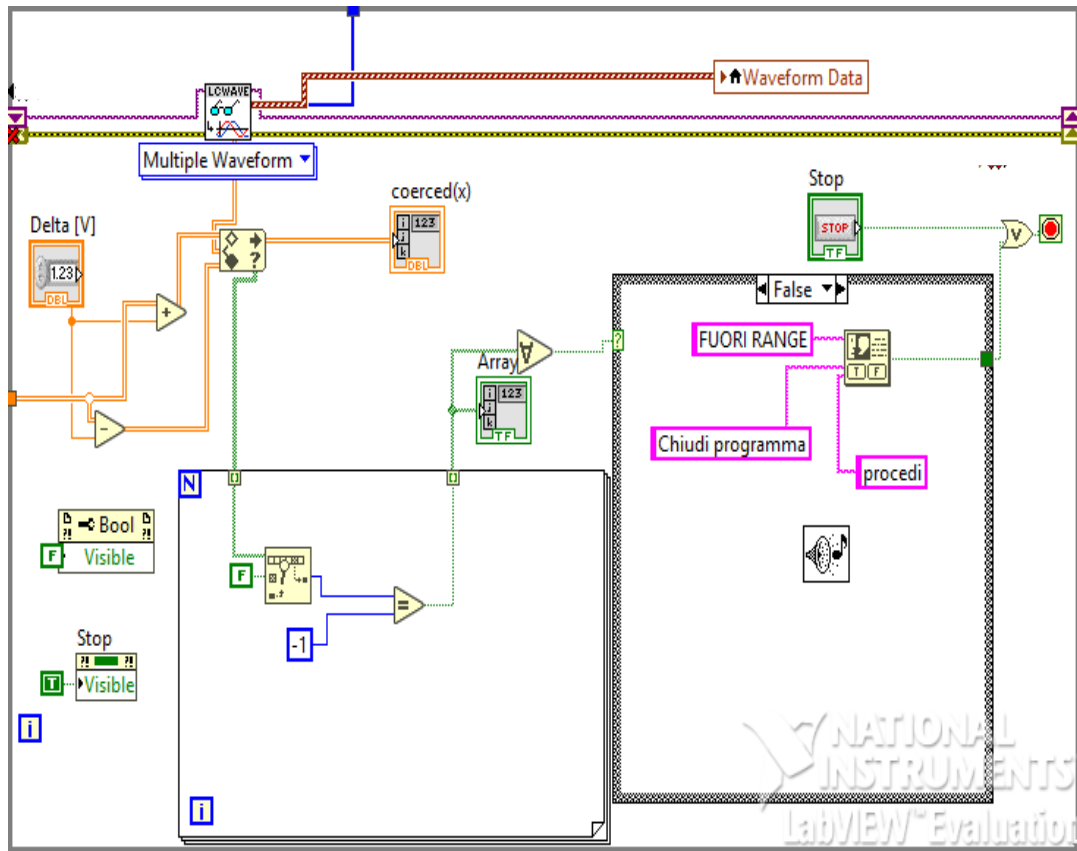
La struttura associata all'ultimo controllo è analoga a quella appena descritta, ma si differenzia da quest'ultima per la presenza di un particolare subVI "Read Waveform from file", il quale permette di leggere un file creato con il subVI "Write Waveform to file" ed utilizzarne le informazioni presenti come template.

2. La seconda Flat Sequence (fig. 2.2.4) confronta le successive acquisizioni con quella iniziale e, dopo aver stabilito un margine d'errore entro il quale deve rientrare la forma d'onda verifica che quest'ultima sia conforme con quella memorizzata.

---

<sup>5</sup> Il suo scopo è quello di avviare l'acquisizione del segnale proveniente dall'oscilloscopio





**Figura 2.2.4**

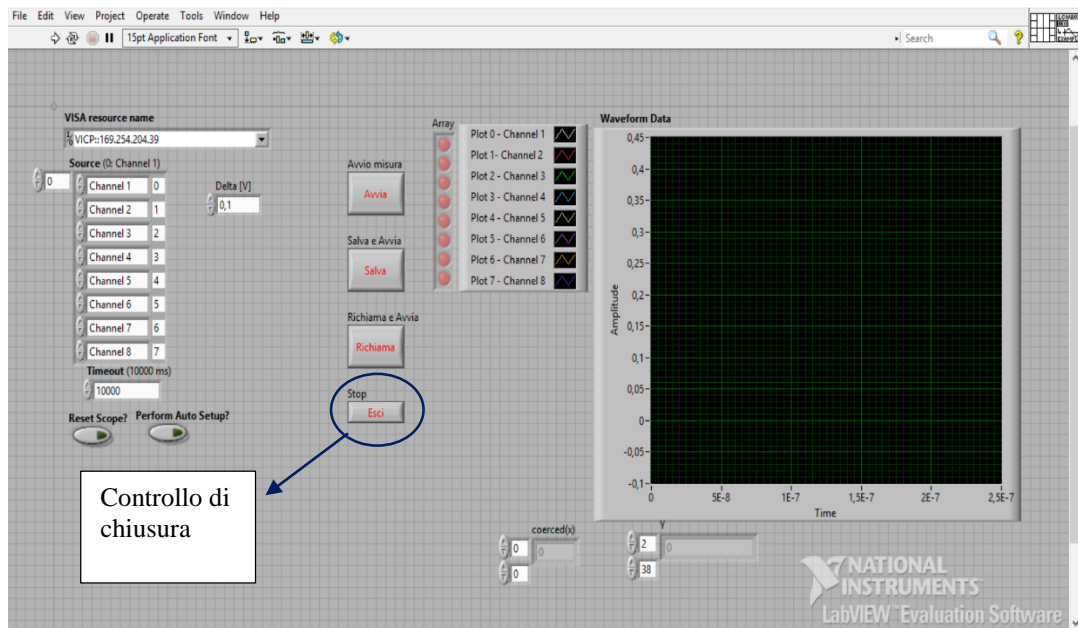
Codice all'interno della seconda Flat Sequence Structure inserita nel BBlock diagram

In questa struttura è possibile continuare l'acquisizione della forma d'onda dei segnali provenienti dagli otto canali.

Ogni operazione eseguita dal software si trova all'interno di un ciclo While, la cui condizione di chiusura è stabilita dall'utente tramite il terminale di controllo "stop" presente nel Front Panel (fig. 2.2.5).

Per effettuare un confronto tra la forma d'onda salvata nella prima Flat Sequence e le successive acquisizioni, è necessario stabilire un intervallo di accettabilità nel quale devono rientrare i valori delle ordinate delle nuove forme d'onda.

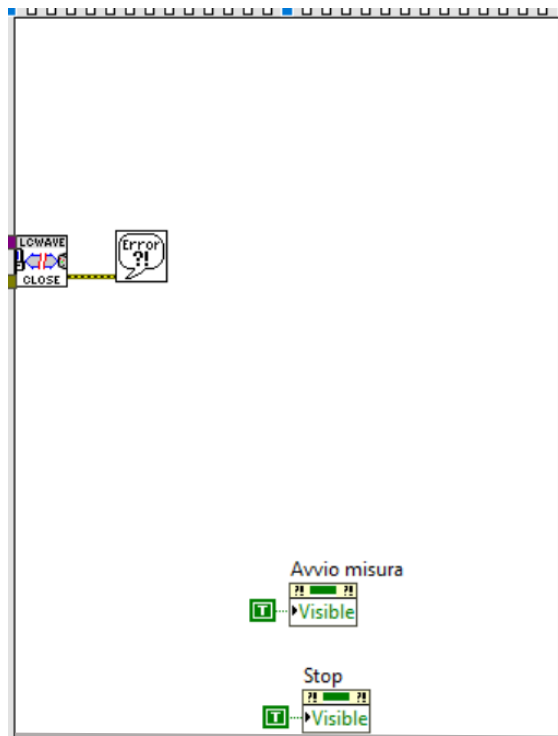
Tramite un For loop si effettua il confronto per tutti e otto i canali: se le forme d'onda relative ai segnali di ogni canale sono conformi con quella salvata, allora il programma prosegue con l'acquisizione del segnale, ma se la forma d'onda di uno o più canali non rientra nel range prefissato, allora il software genererà un suono ed aprirà un pop-up di errore. Quest'ultimo offre una duplice possibilità, quella di chiudere il programma o proseguire con ulteriori acquisizioni di segnali.



**Figura 2.2.5**

*Terminale di controllo per la chiusura del While loop nella seconda Flat Sequence Structure*

3. L'ultima Flat Sequence Structure (fig. 2.2.5) è adibita per la chiusura del programma, grazie alla presenza del subVI "Close"



**Figura 2.2.5**

*Flat Sequence Structure inserita nel BBlock diagram per la chiusura del programma*



# Conclusioni

Nella prima fase dell'esperimento MEG, presso il PSI di Zurigo (CH), si è stabilito il limite più restrittivo sul processo che comporta la violazione del sapore leptonic  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$ . L'analisi sull'intero set di dati raccolti ha portato a stabilire un nuovo limite superiore su questo processo di  $4,2 \times 10^{-13}$  ad un livello di confidenza del 90%.

Nel 2013 è stato approvato un upgrade di MEG (MEG II) volto a migliorare la sensibilità nella misura del decadimento  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$ , attraverso un corrispondente miglioramento delle prestazioni dell'apparato sperimentale.

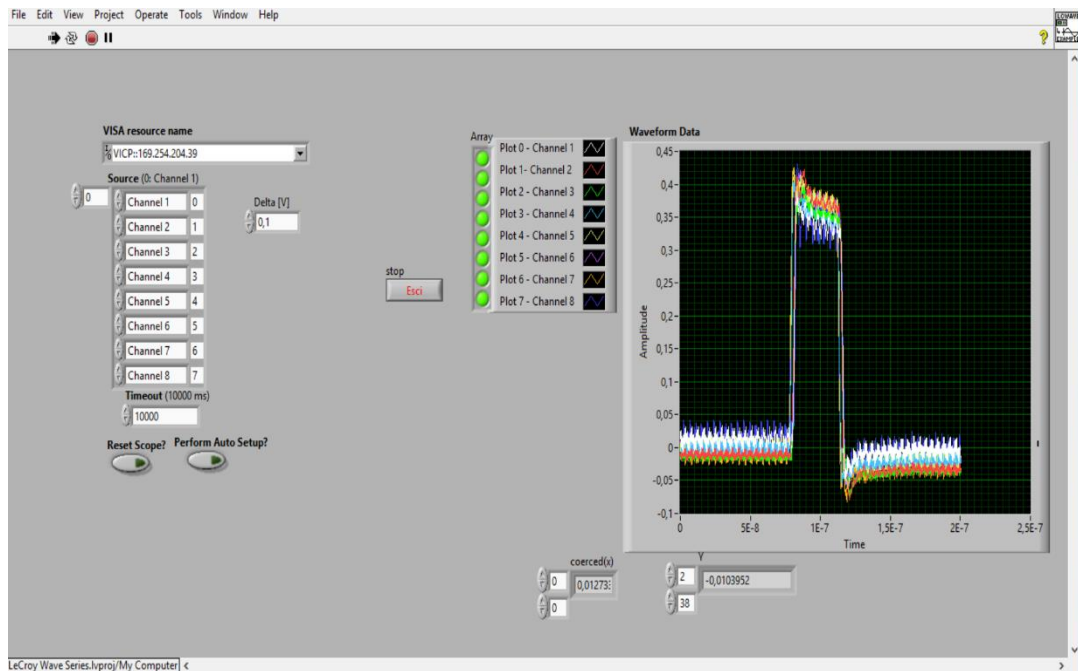
Al fine di rivelare i segnali dei singoli cluster di ionizzazione l'elettronica di lettura della camera a deriva deve essere in grado di amplificare i segnali ad alta frequenza. Pertanto è stata progettata un'elettronica di Front End, ad 8 canali, in grado di processare segnali ad alta velocità con un basso consumo in potenza, una larghezza di banda compatibile con lo spettro del segnale atteso ed un rapido tempo di salita come stabilito dalle tecniche del Cluster Timing.

Nella camera a deriva, l'elettronica di FE è un componente fondamentale per ottenere un miglioramento della risoluzione, in particolare di quella spaziale, della possibilità di identificare la particella e delle prestazioni del trigger della camera stessa.

Questo lavoro di tesi è basato sull'elaborazione di un codice LabView (linguaggio di programmazione grafico) in grado di acquisire i segnali provenienti dalla scheda di Front End per poter verificarne il funzionamento.

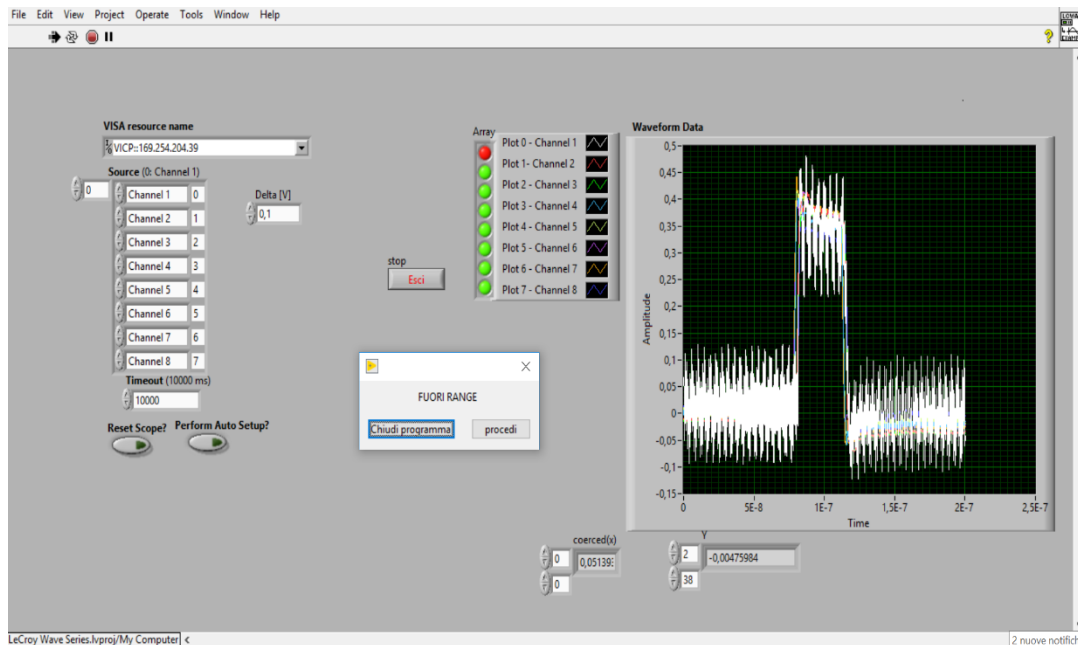
Al fine di accertare la validità del software si è testato un prototipo di scheda di FE. Come atteso, se le forme d'onda ottenute nella seconda Flat Sequence Structure rientravano nell'intervallo di accettabilità, stabilito dall'utente tramite la scelta di un delta, allora il programma continuava ad acquisire il segnale e compararlo con il template salvato nella prima Flat Sequence Structure (fig. 2)

Se la forma d'onda di uno o più canali non rientra nell'intervallo stabilito, allora il software genera un messaggio di errore che permette di proseguire o interrompere l'acquisizione (fig. 3).



**Figura 2**

*Il programma continua ad acquisire le forme d'onda finché queste rientrano nel range prefissato. In tal caso gli indicatori luminosi (Led), ognuno corrispondente ad un canale, sono tutti di colore verde.*



**Figura 3**

*Il programma elabora un pop-up di errore. In tal caso gli indicatori luminosi diventano rossi in corrispondenza del canale la cui forma d'onda del segnale non rientra nell'intervallo di accettabilità.*



# *Bibliografia*

- [1] A. M. Baldini et al. (MEG Collaboration), *Search for the lepton flavour violating decay  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$  with the full dataset of the MEG experiment*. Eur. Phys. J. C 76(8), 434 (2016).
- [2] A.E. Pifer et al. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. Eur. Phys. J. C 135 (1976).
- [3] A. M. Baldini et al. *The design of the MEG II experiment*. Eur. Phys. J. C 78:380 (2018).
- [4] J. Adam et al. Phys. Rev. Lett, 110 (20) 2013.
- [5] J. Adam et al., *The MEG detector for  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$  decay search*. Eur. Phys. J. C (2013).
- [6] M. Gupta. *Calculation of radiation length in materials* In:PH-EP-Tech-Note-2010-013 (2010).
- [7] G.F. Tassielli, F. Grancagnolo and S. Spagnolo. *Improving spatial resolution and particle identification*. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 572(1):198– 200, 2007.
- [8] Aurora Pepino, Università del Salento, Dipartimento di Matematica e Fisica, Tesi dottorato di ricerca in Fisica XXVIII ciclo “*A high resolution tracker for MEG II Experiment*”.
- [9] Analog Devices, Inc., ADA4927 datasheet ultralow distortion current feedback differential ADC driver.
- [10] Texas Instruments, THS4509 datasheet wideband, low-noise, low-distortion, fully-differential amplifier.
- [11] National Instrument, *LabVIEW User Manual*





# *Ringraziamenti*

Al termine di questo lavoro di tesi, desidero ringraziare tutti coloro che mi sono stati vicini ed hanno permesso il raggiungimento di questo mio primo traguardo.

Ringrazio il mio relatore, il Prof. Marco Panareo, per i suoi consigli e la sua disponibilità. Ringrazio, in particolare, Alessandro Corvaglia che con gentilezza e pazienza mi ha sostenuto e seguito, passo dopo passo, nella stesura della mia tesi.

Ringrazio la mia mamma ed il mio papà che hanno sempre creduto in me e nei miei sogni, senza di loro non sarei la persona che sono oggi.

Ringrazio mio fratello che riesce a sdrammatizzare ogni difficoltà e a strapparmi un sorriso; anche se non lo dice spesso, so che mi vuole un bene dell'anima.

Ringrazio tutta la mia famiglia, in particolare mia nonna Pina a cui questo lavoro di tesi è dedicato. Sempre fiera dei miei risultati e delle mie scelte, ovunque tu sia so che sei orgogliosa di me. Sei sempre nei miei pensieri e nel mio cuore.

Ringrazio tutti i miei colleghi e amici.

Ringrazio Federica, che da quattro anni è diventata il mio punto di riferimento in questo percorso, grazie per i tuoi abbracci, la tua faccia da castoreo con sinusoide, ma soprattutto grazie per i tuoi appunti che son meglio dei libri stampati.

Ringrazio Simone che se non esistesse dovrebbero inventarlo. Ringrazio Linda sempre presente, con una parola, un messaggio o anche solo un sorriso.

A Valeria, che riesce a scattarmi foto in momenti inopportuni, a Daniele che nonostante la sua acidità trova il modo di tirarti su il morale, a Betta che nella sua riservatezza mi ha regalato tanto affetto e a Giorgione l'amico "abbraccia tutti".

Ringrazio la nuova recluta di questo gruppo, Laura (Zucchina), voglio che tu sappia che apprezzo il coraggio che hai avuto ad aggregarti a questo gruppo di scapestrati.

Ringrazio Laura che ogni giorno mi ha dato un buon motivo per non arrendermi, per aver riso e pianto con me e per essermi rimasta vicina in ogni difficoltà di questo percorso.

Un ringraziamento speciale è dedicato alle mie migliori amiche, Monica ed Elisa. Non ci sono parole per descrivere l'affetto che ci lega. Abbiamo condiviso tanto e lo continueremo a fare. Con voi ho esaudito il mio desiderio di visitare la città eterna ed il nostro primo viaggio a Roma è il più bel ricordo che conservo gelosamente nel cuore.

Ringrazio Silvia, che mi ha visto crescere e che negli ultimi mesi ha assistito a tutti i miei scleri da laureanda.

Ringrazio i miei amici "acquisiti" Chiara e Gabriele per i loro consigli sinceri, Miriam, Sara e La Fra, con le quali ho riscoperto la risata provocata dalla mia R, anche se so che in fondo siete solo invidiose di non avere anche voi questo accento nobiliare.

A Piero, Giovanni, Simona, Stefany e Roberta, so che spesso vi faccio arrabbiare, ma vi voglio comunque bene.

Un ultimo ringraziamento va al mio piccolo "Ciccio Cane", Max, che con i suoi occhioni ed il suo scodinzolare mi ricorda ogni giorno l'amore che prova per me.

A tutti voi... GRAZIE!!!

