

# III CAPITOLO

## PROTOTIPO Q2

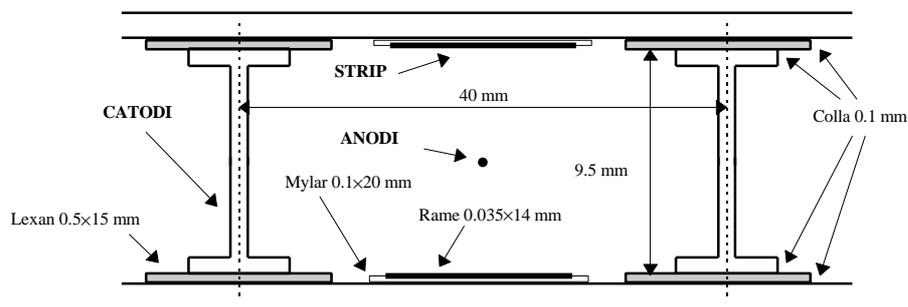
In questo capitolo verranno descritte in dettaglio le caratteristiche della camera prototipo Q2 che costituisce un SL (Super Layer) per le stazioni di  $\mu$  descritte nel capitolo 1 nell'ambito dell'apparato CMS.

Si tratta della versione successiva della camera Q1, diversa solo per quanto riguarda la lunghezza: dal metro circa della prima si è passati a 2.5 m della seconda, pertanto gran parte di quanto si dirà in questo capitolo potrà essere applicato anche a Q1.

La costruzione è iniziata nel maggio '96 presso i Laboratori Nazionali di Legnaro e successivamente (inizio settembre) completata a Padova, per il lavoro di chiusura delle due testate e il montaggio dell'elettronica.

### III.1 CARATTERISTICHE DI Q2

La camera Q2 è un rivelatore a gas del tipo a drift, costituita dalla ripetizione regolare della struttura base visibile in sezione frontale in Figura III.1: 16 volte in orizzontale e 4 in verticale, con uno sfalsamento di mezza cella tra un piano e l'altro, per formare nell'insieme un parallelepipedo lungo poco più di 2.5 m, largo circa 70 cm e alto 6 cm.

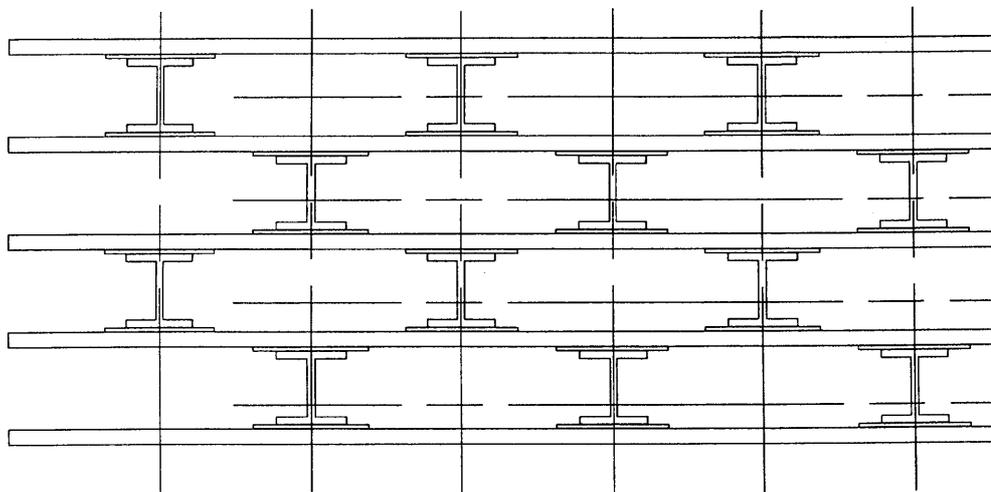


**Figura III.1:** particolare della cella con le dimensioni dei vari elettrodi.

La camera si compone di 5 lastre di alluminio di 2600 mm  $\times$  700 mm  $\times$  2 mm fra le quali vengono incollati i catodi (costituiti da sbarrette di alluminio a forma di I) e le strips (aggiunte alla versione iniziale per migliorare le linee del campo).

La costruzione viene fatta utilizzando dei tavoli piani dotati di riferimenti di precisione sui quali poggiano le lastre di alluminio; sulle lastre vengono incollate le strisce di materiale isolante di 0.5 mm (lexan), sopra queste i catodi e le strips (costituite da una striscia di rame ricoperta da del mylar con funzione di isolante).

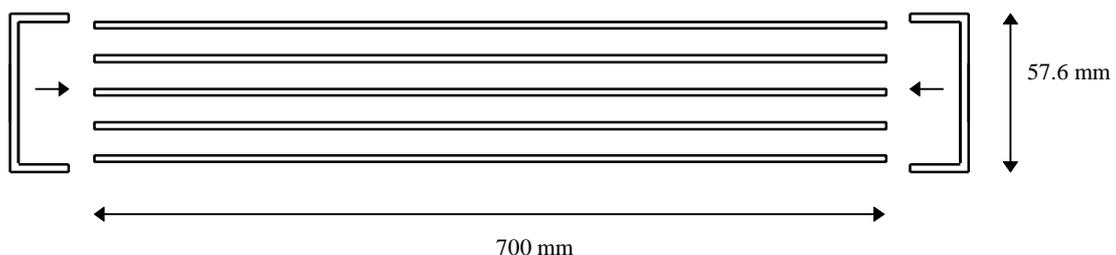
All'estremità di ogni catodo sono inseriti dei tappi (con un terminale per l'alimentazione) che servono da riferimento per il posizionamento dei fili: in questo modo la precisione sulla posizione dei fili è legata alla precisione con la quale si mettono i tappi. Incollati catodi e strips si procede alla tessitura dei fili tesi su dei blocchetti che si infilano tra i due tappi dei catodi più vicini, infine si incolla, sopra i catodi, un'altra lastra di alluminio preventivamente preparata con strips e lexan. L'assemblaggio procede fino al completamento dei 4 piani di celle.



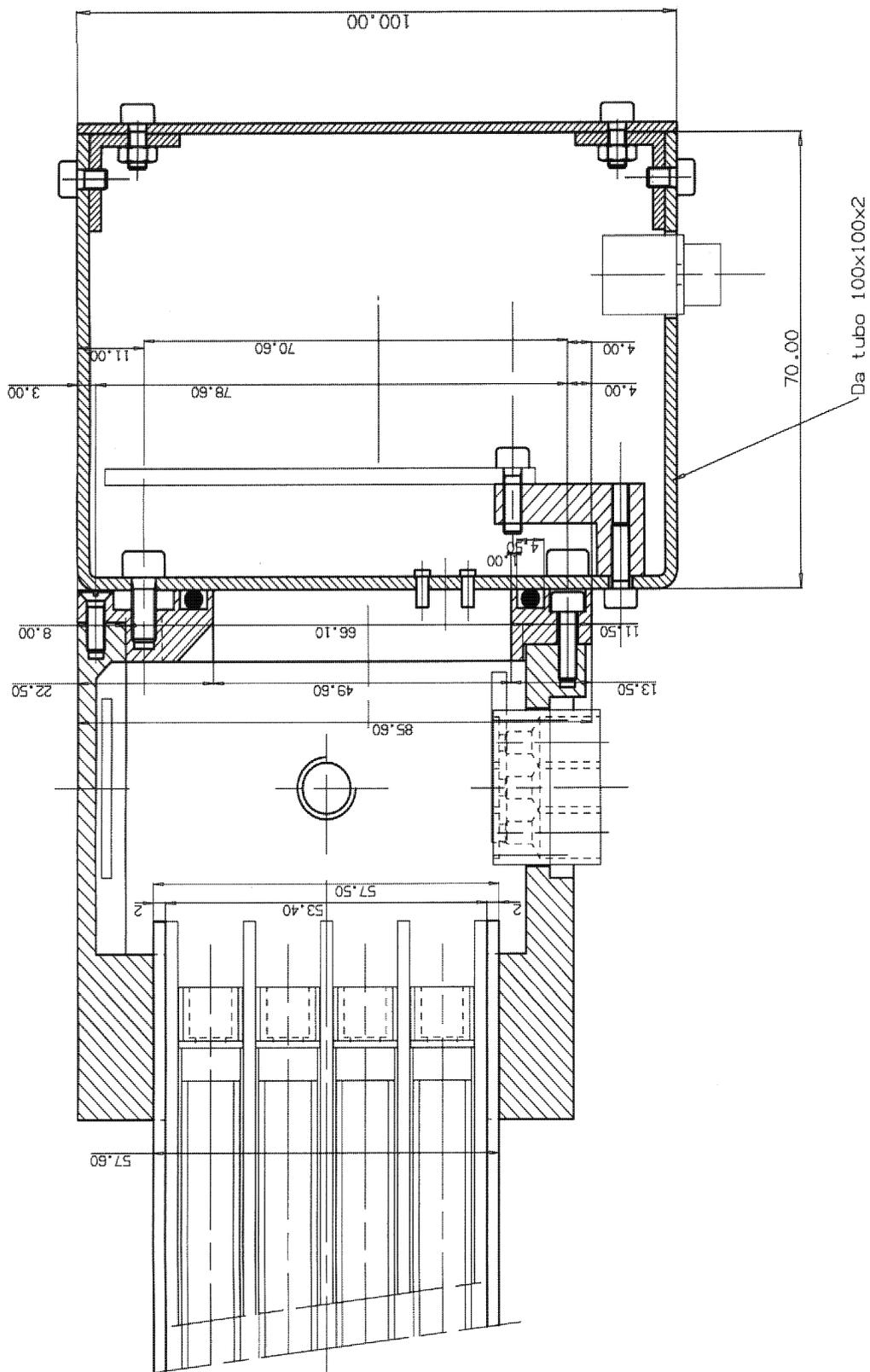
**Figura III.2:** vista frontale di una parte della camera, si vedono i 5 piani di alluminio e le I dei catodi fra di essi.

Durante queste operazioni vengono compiuti dei controlli per verificare l'isolamento ad alta tensione dei singoli elettrodi.

I 4 piani di celle sono poi chiusi lungo il lato di maggiore lunghezza da due C in alluminio (sempre con spessore di 2 mm) come si vede nella Figura III.3.

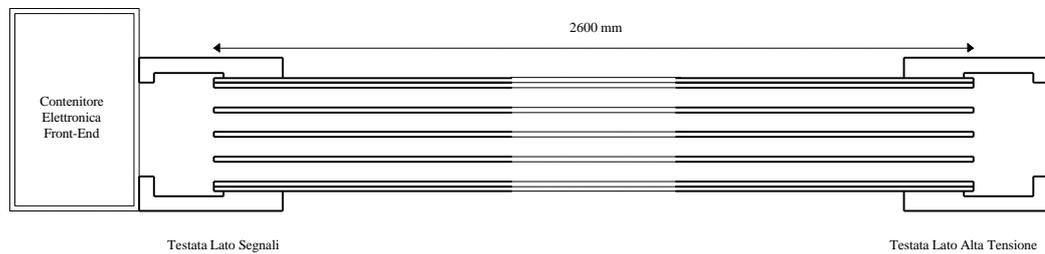


**Figura III.3:** disegno schematico della chiusura laterale delle 5 lastre di alluminio.



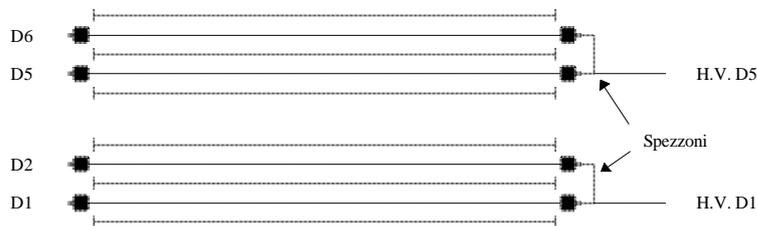
**Figura III.4:** particolare della testata lato segnali vista in una sezione ortogonale al piano dei fili e parallela ai fili.

Ai due lati più corti sono invece fissate due testate, sempre di alluminio, con una apertura frontale, nelle quali trovano posto le varie schede per le alimentazioni degli elettrodi e la terminazione dei fili (Figura III.5).



**Figura III.5:** disegno schematico della camera con le due testate frontali.

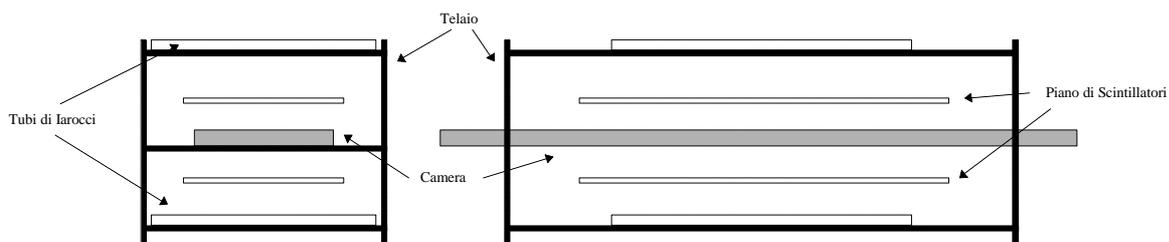
Alla fine dell'assemblaggio meccanico sono stati fatti i collegamenti per le alimentazioni e per la terminazione degli anodi nel lato segnali; durante le ultime prove di alimentazione sono state trovate due celle con le strips che scaricavano, sono stati così eliminati i relativi collegamenti di alimentazione (celle morte in Tabella III.1). Per poter disporre di celle di maggiore lunghezza, due coppie di fili (una di tungsteno ed una di acciaio) sono state collegate assieme nel lato A.T. ed alimentate in comune, come si vede dallo schema di Figura III.6.



**Figura III.6:** schema collegamento doppi fili.

Per ultimo sono state chiuse le due testate con del sigillante per la tenuta del gas: la testata lato A.T. con una lamina di materiale plastico trasparente, l'altra con un box di alluminio per contenere l'elettronica di front end.

La camera per le prove di acquisizione è stata sistemata su un telaio metallico all'interno di due telescopi: uno di scintillatori e uno di tubi di Iarocci.



**Figura III.7:** sistemazione della camera sul telaio fra i due telescopi.

Nella Tabella III.1 sono riassunti i dati principali di Q2; i vari elementi (catodi, anodi e strips) vengono identificati dal piano a cui appartengono (A-D, a partire dall'alto) e dalla posizione, a partire da sinistra, della testata lato segnali.

Tabella III.1

	Parametro	Valore
<b>Fili</b>	sezione	50 $\mu\text{m}$
	tensione	300 g
	lunghezza (a 300 gr)	2568 mm
	fili 1:2 - A:D, A6	W dorato
	fili 3:16 - A:D (no A6)	acciaio
	fili doppi	(D1,D2), (D5,D6)
	resistenza fili tungsteno	45 $\Omega/\text{m}$
	resistenza fili acciaio	450 $\Omega/\text{m}$
<b>Strip</b>	spessore mylar	0.1 mm
	larghezza mylar	20 mm
	spessore rame	0.035 mm
	larghezza rame	14 mm
<b>Catodi</b>	spessore lexan	0.5 mm
	altezza I-Al	9.5 mm
	spessore colla	0.1 mm
<b>Camera</b>	spessore lastra Al	2 mm
	larghezza cella (distanza tra due catodi)	40 mm
	altezza cella (distanza tra due piani di Al)	10.9 mm
	spessore camera	53.6 mm
	celle morte	C16, D8
<b>Contaminazione O<sub>2</sub></b>	flusso 30 cc/minuto	34:40 ppm
	flusso 200 cc/minuto	10 ppm

### III.2 CARATTERISTICHE ELETTRICHE DELLA CELLA<sup>[R3]</sup>

L'andamento del campo elettrico è stato ricavato utilizzando il programma di simulazione GARFIELD, sviluppato al CERN per lo studio delle camere a deriva, essendo evidentemente impraticabile un'analisi teorica analitica, data la complessa geometria; questo programma permette di ottenere:

- campi e potenziali;
- linee di drift per ioni ed elettroni;
- tempi di deriva e relazione spazio-tempo;

- il segnale indotto sui fili (se disponibile la descrizione dettagliata del gas utilizzato).

Nella Figura III.8 della pagina seguente viene illustrato l'andamento delle linee del campo ed il campo elettrico lungo l'asse della cella utilizzata per due scelte delle tensioni di funzionamento della camera.

Da notare come catodi e strips siano simulati con insiemi di fili, come richiesto da GARFIELD, e che nelle figure sono riportati i tempi di deriva per gli elettroni ad intervalli di 50 ns (linee tratteggiate), per un tempo totale di drift di circa 350 ns.

Inizialmente il progetto non prevedeva l'utilizzo delle strips: sono state aggiunte per rendere più uniforme l'andamento del campo nella zona di deriva.

Per poter determinare la moltiplicazione degli elettroni primari è importante conoscere il valore del campo sulla superficie dell'anodo<sup>1</sup>. Considerando la cella come un insieme di conduttori posti a determinati potenziali, l'elettrostatica fornisce per le cariche le relazioni seguenti:

$$\begin{aligned} q_1 &= c_{11}V_1 + \dots + c_{1n}V_n \\ &\vdots \\ q_n &= c_{n1}V_1 + \dots + c_{nn}V_n \end{aligned}$$

dove i coefficienti  $c_{ij, i \neq j}$  si dicono di induzione e quelli  $c_{ii}$  di capacità.

Si può allora ricavare il campo sul filo ricordando la relazione che lega campo a densità superficiale di carica per un conduttore (formula di Gauss):

$$E_{a,0} = AV_a + BV_s + CV_c$$

dove i coefficienti dipendono solo dalla geometria della cella (catodi da 3 mm e strips da 14 mm):

$$A=71.4 \text{ cm}^{-1} \quad B=-56.8 \text{ cm}^{-1} \quad C=-0.8 \text{ cm}^{-1}$$

Possiamo riscrivere la relazione che fornisce il campo elettrico in questo modo:

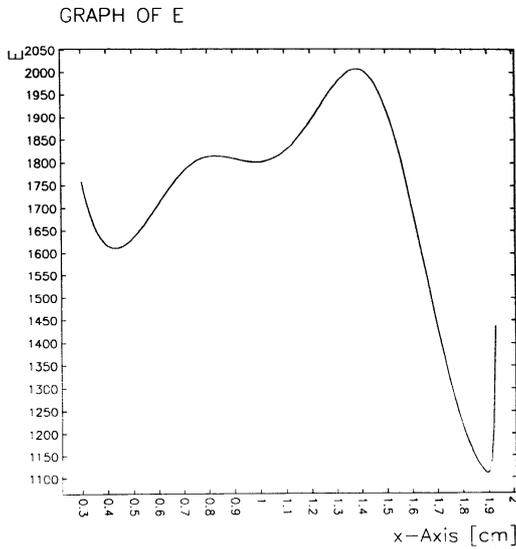
$$E_{a,0} = A(V_a - V_s) + (A + B)V_s + CV_c = 71.4 \cdot (V_a - V_s) + 14.6 \cdot V_s - 0.8 \cdot V_c$$

si vede così come il campo dipenda essenzialmente dalla tensione strips-anodo e molto poco dalla tensione dei catodi, la cui funzione principale è di modellare il campo di deriva (utilizzando per la differenza di tensione anodi-strips il valore di 1800 V, si ottiene che il campo superficiale è attorno ai 150 KV/cm).

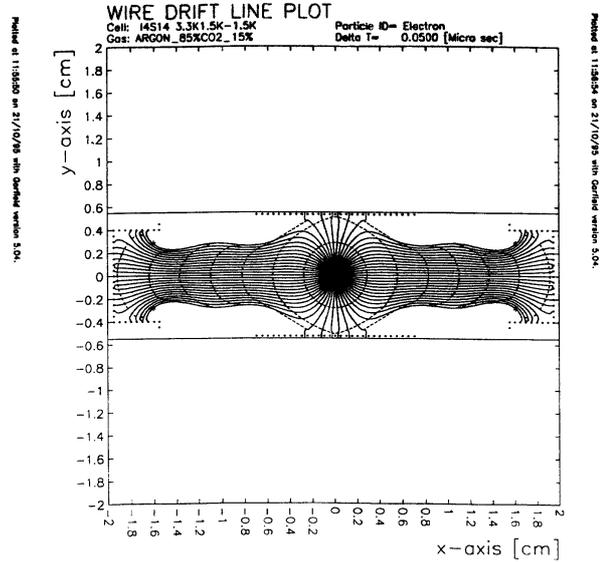
---

<sup>1</sup> Il valore per il fattore di moltiplicazione calcolato in questo modo viene sottostimato rispetto a quanto si trova sperimentalmente: si è visto che questo dipende dalla sezione troppo grande utilizzata per i fili che simulano catodi e strips. Usando diametri sempre più piccoli si arriva asintoticamente ad un valore 2 o 3 volte più grande.

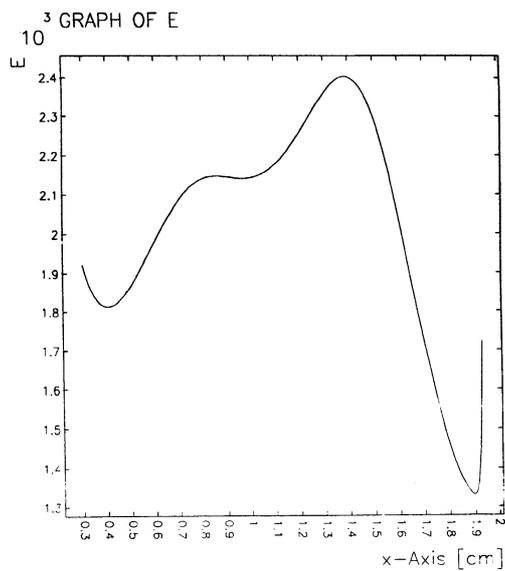
**H.V.: -1500 1500 3300**



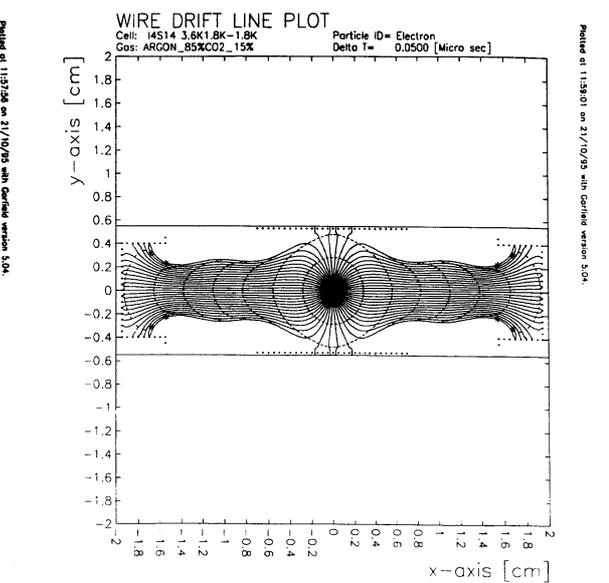
**H.V.: -1500 1500 3300**



**H.V.: -1800 1800 3600**



**H.V.: -1800 1800 3600**



**Figura III.8:** andamento del campo elettrico per due scelte di funzionamento della cella.

Ora che abbiamo il campo elettrico, facendo il percorso inverso, possiamo ricavare la capacità per unità di lunghezza del filo verso massa. Calcoliamo, per cominciare, la carica per unità di lunghezza:

$$Q_l = 2p e_0 r E_{a,0}$$

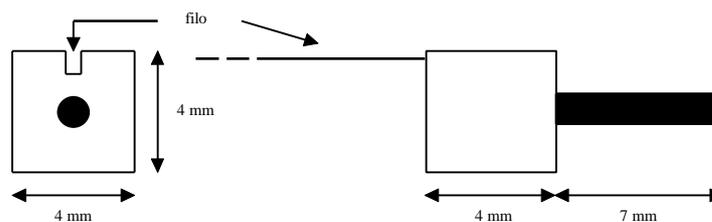
ponendo a massa catodi e strips, ricaviamo per la capacità la formula:

$$Q_l = 2p e_0 r A_a$$

inserendo i valori numerici (per i fili usiamo il diametro di 50  $\mu\text{m}$ ) si ottiene per la capacità il valore di 9.9 pF/m.

### III.3 TESSITURA DEI FILI

Si tratta di un'operazione abbastanza delicata: i fili, dato il diametro di 50  $\mu\text{m}$ , devono essere maneggiati con molta attenzione, evitando di piegarli per non comprometterne le caratteristiche.



**Figura III.9:** vista in sezione e frontale dei blocchetti su cui vengono fissati i fili.

I fili vengono tesi a 300 g su un apposito telaio di 2.568 m (pari alla lunghezza che avranno nella camera) e crimpati da entrambe le estremità su dei blocchetti (pin) di ottone-musmetal (deve essere usato un metallo meno resistente dei fili in modo che sia il blocchetto ad adattarsi attorno al filo), con una cava rettangolare di sezione 100  $\mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$  come in Figura III.9 (il punzone di crimpatura ha una sezione rettangolare di 3 mm  $\times$  0.8 mm). Su una faccia del blocchetto c'è un terminale utilizzato come connettore per le alimentazioni e la lettura dei segnali.

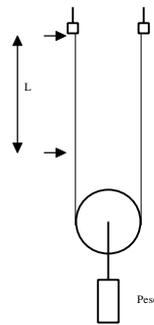
La macchina crimpatrice avuta da Aachen è stata adattata alle dimensioni dei pin utilizzati; nell'operazione di crimpatura è possibile regolare la velocità con cui il pistone va a premere il pin, la pressione esercitata e il tempo per il quale questa pressione viene esercitata.

Le prove eseguite per i fili in acciaio hanno evidenziato che i risultati migliori per la tenuta del filo si avevano con una discesa lenta del pistone, una pressione di 8 bar ed un tempo di 12 s. Da notare che l'uso di una pressione troppo bassa rischia di far sfilare il filo sottoposto a tensione, mentre se è troppo alta il filo si spezza nella zona di

crimpatura. Il tempo di crimpatura dà modo al materiale del blocchetto di adattarsi alla sezione del filo: si tratta di trovare il tempo minimo necessario in cui ciò avvenga. In generale conviene usare una pressione non troppo alta ed operare a tempi lunghi.

Come si dirà più avanti, le prime misure per determinare l'impedenza della camera eseguite ad inizio settembre hanno evidenziato l'attenuazione non piccola dell'acciaio, per cui si è voluto eseguire delle prove con altri tipi di filo per verificarne le differenze. Tra quelli disponibili sono stati utilizzati il tungsteno dorato e il rame-berillio, che hanno una resistenza per unità di lunghezza 10 volte inferiore.

Alcuni fili in acciaio sono stati quindi sostituiti quando la camera era già completata per cui, per mancanza di tempo, si sono utilizzati per la crimpatura gli stessi parametri dell'acciaio; sono stati inseriti 8 fili in tungsteno ed 1 in rame-berillio, il quale, alla fine delle misure di impedenza, è stato di nuovo sostituito con dell'acciaio<sup>2</sup>.



**Figura III.10:** setup per le prove di allungamento.

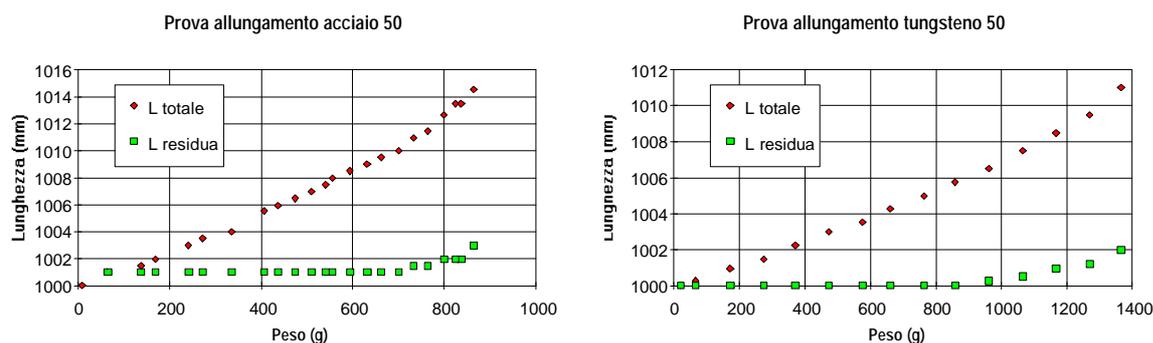
Determinati i parametri di crimpatura è stata fatta una prova di allungamento<sup>3</sup> nel modo illustrato nel disegno di Figura III.10 sia per i fili in acciaio che per quelli in tungsteno. I risultati si vedono nei grafici di Figura III.11: viene riportato anche l'allungamento residuo applicando 65 g per l'acciaio e 20 g per il tungsteno. Questi risultati confermano che la crimpatura è corretta e che i due tipi di filo sopportano con sicurezza la tensione di 300 g.

**Tabella III.2**

	<b>Acciaio</b>	<b>Tungsteno</b>
<b>Carico snervamento</b>	700 g	850
<b>Carico rottura</b>	880 g	-

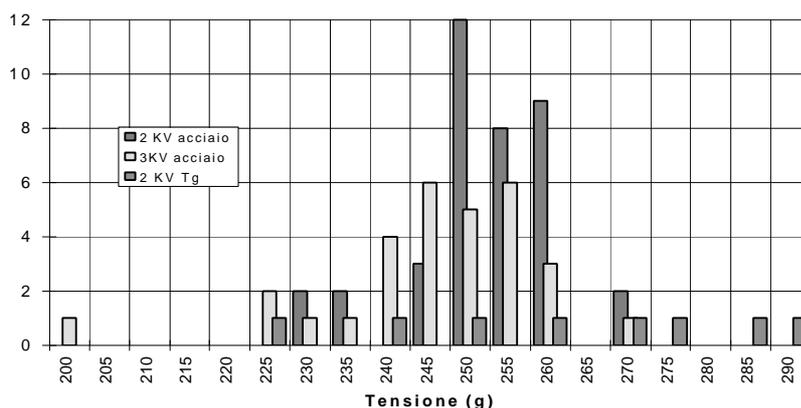
<sup>2</sup> La posizione dei fili sostituiti è riportata in Tabella III.1. Oltre a queste sostituzioni è stato necessario rimpiazzare alcuni fili in acciaio rotti nel corso delle misure di tensione meccanica dei fili. Avendo terminato i fili crimpati in acciaio nella cella A6 si è messo un filo in tungsteno.

<sup>3</sup> Le prove di allungamento e le misure della tensione meccanica dei fili sono state eseguite dal Sig. Pitacco.



**Figura III.11:** prove di allungamento dei fili su un metro; per l'acciaio l'applicazione di 899 g ne ha provocato la rottura.

Alla fine della tessitura si è provveduto ad una verifica della tensione dei fili con il metodo della risonanza, applicando una tensione tra anodi e massa, variabile in frequenza, fino ad ottenere in risonanza l'oscillazione dei fili.



**Figura III.12:** istogramma della tensione dei fili misurata con il metodo della risonanza.

I risultati sono riportati in Figura III.12 mentre in Tabella III.3 sono calcolate medie deviazioni standard (le tensioni si riferiscono alla d.d.p. anodi-massa usata per la misura): come si vede tutti i fili sono tesi a circa 250 g (misura di poco inferiore ai 300 g previsti), la leggera differenza è dovuta alla piccola diversità tra lunghezza del telaio dove vengono crimpati e lunghezza effettiva nelle celle.

**Tabella III.3**

	<b>Acciaio 2 KV</b>	<b>Acciaio 3 KV</b>	<b>Tung. 2 KV</b>
<b>Media</b>	249.7	242.8	259.2
<b>Stand. Dev.</b>	9.0	13.3	21.6
<b>Eventi</b>	38	30	8

### III.4 ALIMENTAZIONI ALTA TENSIONE

Catodi, strips e fili vengono alimentati attraverso due moduli della CAEN: l'alimentatore modello SY127 capace di 40 canali e il distributore SY227 di 128 canali raggruppati in quattro slot, entrambi comandati via computer.

L'alimentatore SY127 fornisce le uscite attraverso dei moduli (fino ad un massimo di 10) inseribili sul retro, ciascuno di 2 o 4 canali a seconda del modello usato. Nel nostro caso tutti i moduli avevano 4 canali. Nella Tabella III.4 sono mostrate le caratteristiche dei moduli, mentre la Tabella III.5 evidenzia le caratteristiche in termini di prestazioni dell'alimentatore: come si vede la stabilità della tensione di uscita, sia per la temperatura che per il lungo periodo, è ottima.

Tabella III.4

Modulo	Polarità	HV full scale	Corrent full scale	HV res	Corrent res
A132	+	6 KV	1 mA	2 V	1 $\mu$ A
A333	-	4 KV	2 mA	1 V	1 $\mu$ A

Tabella III.5

Parametro	Valore
coeff. di temp. della tensione d'uscita	$\leq 50$ ppm/C° (tra 10 e 45 C°)
stabilità lungo termine H.V.	$\pm 2$ V $\pm 1$ LSB
accuratezza e riproducibilità tensione di uscita	$\pm 0.1\%$ tra 10 V e $HV_{max}/2$ $\pm 0.4\%$ nel range superiore
impedenza di uscita	$\approx 100$ M $\Omega$

Attraverso il computer è possibile settare per ciascun canale dell'alimentatore:

- tensione di lavoro;
- limite della corrente per avere un overcurrent ( $I_0$ );
- rate della rampa di salita e discesa;
- comportamento in caso di overcurrent attraverso il valore dato al parametro *Trip*.<sup>4</sup>

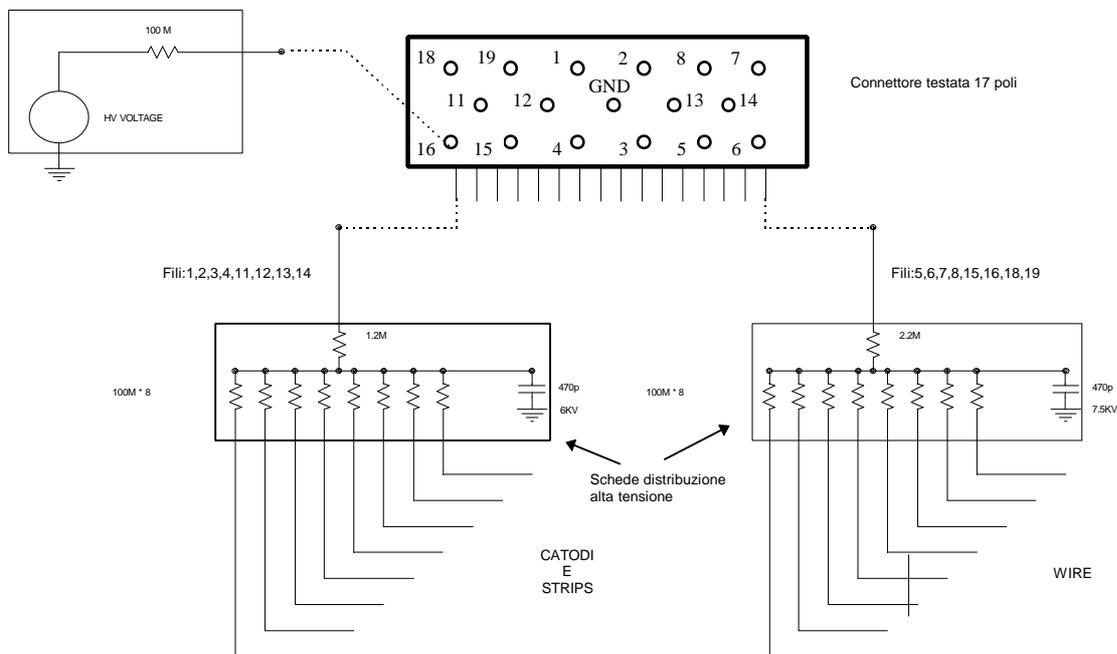
<sup>4</sup> Il valore di questo parametro, in decimi di secondo, rappresenta il tempo che intercorre tra l'overcurrent e l'inizio del ramp-down: se il valore è 0, la tensione è subito riportata a zero, se vale 9999 l'overcurrent non viene considerato.

Nella Tabella III.6 sono riportate le impostazioni dell'alimentatore utilizzate sia per la camera Q1 che Q2.

**Tabella III.6**

	$I_0$ (mA)	$R_{up}$ (V/s)	$R_{dw}$ (V/s)	$Trip$ (1/10 s)
<b>Catodi</b>	1000	10	20	100
<b>Strips</b>	100	10	20	100
<b>Wire</b>	100	10	30	100

Le alimentazioni entrano nella camera attraverso un connettore da 17 poli posto sulla testata lato A.T., da qui vengono portate a delle schede che le distribuiscono ai vari elettrodi (Figura III.13). Da notare che ad ogni resistenza da 100 MΩ sono collegate o due strips o due catodi.



**Figura III.13:** schema elettrico delle connessioni A.T. della camera.

Nella Tabella III.7 sono riportate le connessioni dell'alimentatore A.T. per fili, catodi e strips. Il filo A.T. si riferisce al nome del pin del connettore: come si nota si è cercato di raggrupparli in modo che un'eventuale problema di alimentazioni per un gruppo non andasse a pregiudicare il funzionamento dell'intera camera (ad esempio togliendo tutto un piano). Gli anodi sono terminati dal lato lettura con una capacità e una resistenza come si vede dalla Figura III.14 della pagina seguente: la capacità serve per disaccoppiare l'elettronica di front end dall'alta tensione dei fili, la resistenza come protezione, mantenendo collegata verso massa la capacità.

Tabella III.7

Filo A.T.	Elettrodi	Piani camera
1	catodi 9÷16	B-D
4	catodi 9÷16	A-C
13	catodi 1÷8	B-D
14	catodi 1÷8	A-C
2	strip 1÷8	B-D
3	strip 1÷8	A-C
11	strip 9÷16	B-D
12	strip 9÷16	A-C
5	wire 1÷8	D
6	wire 1÷8	C
7	wire 1÷8	B
8	wire 1÷8	A
15	wire 9÷16	D
16	wire 9÷16	C
18	wire 9÷16	B
19	wire 9÷16	A

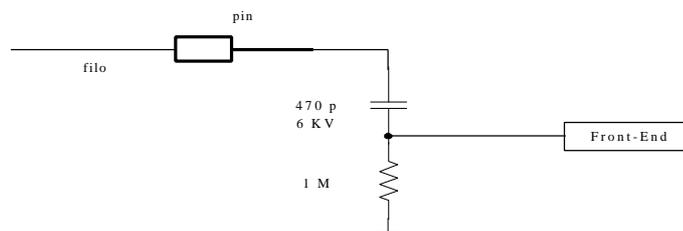
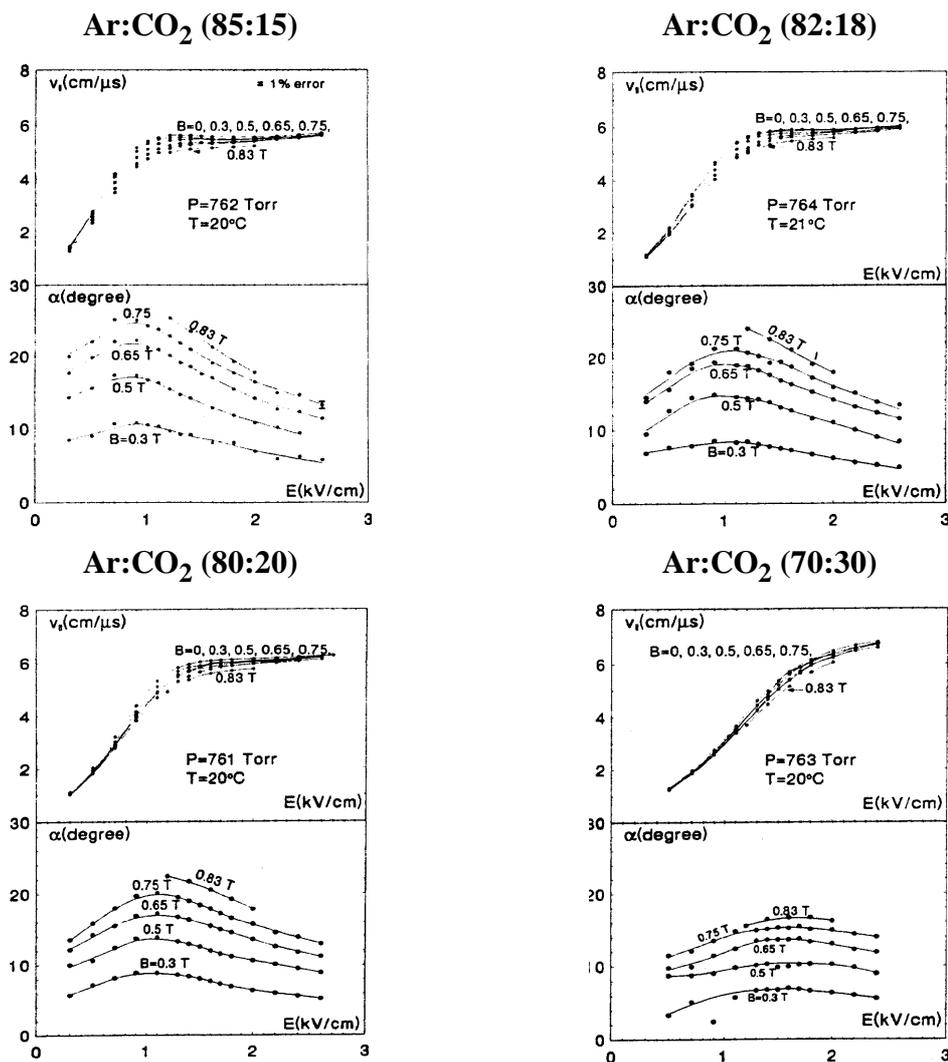


Figura III.14: terminazione degli anodi lato lettura.

### III.5 SCELTA DEL GAS

Dato il numero elevato di camere e le loro non trascurabili dimensioni, le richieste nella risoluzione e l'esigenza di affidabilità, la scelta del gas diviene molto importante. Le caratteristiche che la miscela dovrebbe possedere sono le seguenti:

- essere quanto più semplice, facilmente reperibile e a basso costo;
- non infiammabile e non tossica;
- velocità di drift poco sensibile alle variazioni nel campo elettrico, nella pressione e nella composizione della miscela;
- piccola diffusione longitudinale;
- piccolo angolo di Lorentz (le camere saranno soggette a campi magnetici, anche se non molto elevati);



**Figura III.15:** velocità di drift e angolo di Lorentz per alcune miscele  $\text{ArCO}_2$ <sup>[R2]</sup>.

Nella Figura III.15 sono mostrati velocità di drift e angolo di Lorentz nella miscela  $\text{ArCO}_2$  al variare della composizione relativa: eccetto il caso della miscela 70:30, tutte presentano un buon plateau con pendenza inferiore a  $0.5 \text{ cm}^2/\text{KV}\mu\text{s}$  e un basso angolo di Lorentz. Abbassando la concentrazione di  $\text{CO}_2$  il plateau comincia a tensioni più basse, ma diminuiscono le proprietà di quenching. Inoltre, a meno di operare a concentrazioni superiori al 18%, c'è una forte dipendenza della velocità di drift dalle variazioni nella miscela.<sup>[R2]</sup>

La miscela utilizzata è 85:15, premiscelata, introdotta nella camera in due punti ai lati della testata delle alte tensioni e fatta uscire in altri due punti, sulla testata opposta, con controllo elettronico del flusso in ingresso.

Per verificare la tenuta della camera, è stata misurata la quantità di ossigeno presente nel gas all'uscita: un'elevata quantità è indice, infatti, di una penetrazione di aria dall'esterno (i valori di questo parametro sono in Tabella III.1).