

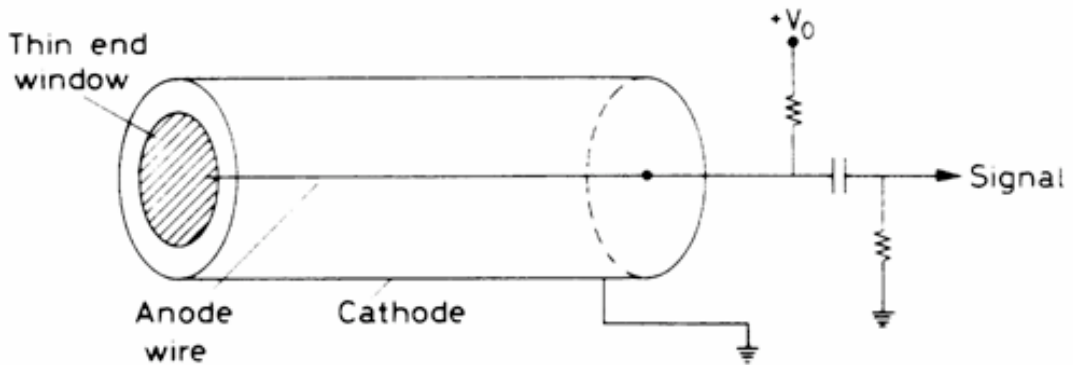
Introduzione ai rivelatori di particelle

Parte 5 rivelatori a gas

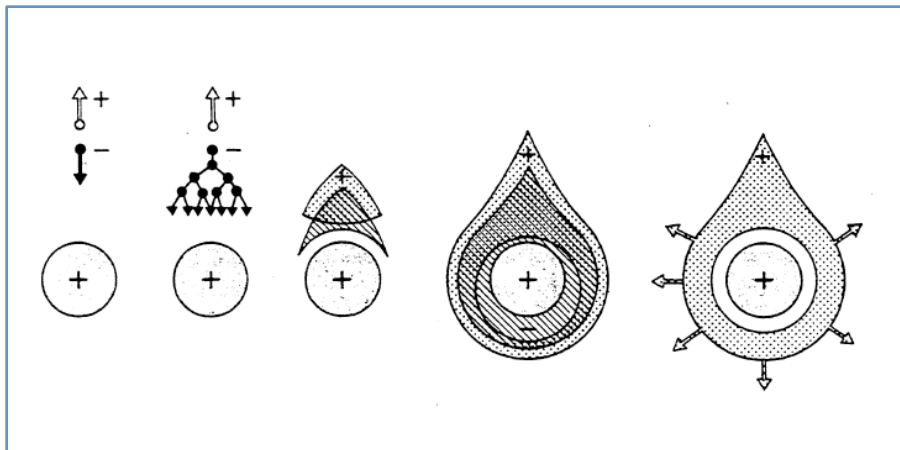
Introduzione ai rivelatori di particelle

camere a fili

- rivelatore in uso da decenni



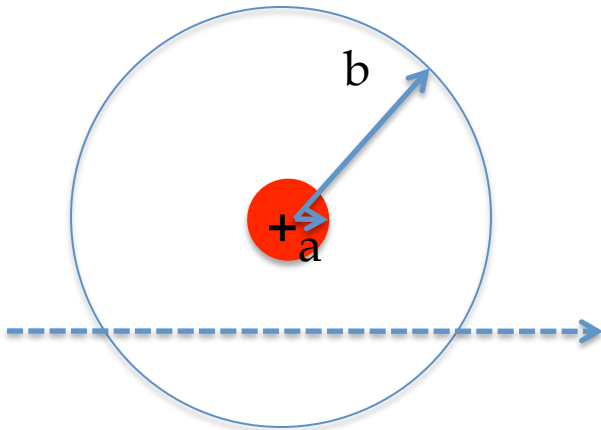
- l'anodo (elettrodo positivo) è un filo sottile
- il campo elettrico tra anodo e catodo permette agli elettroni generati dalla particella di derivare verso il filo
- nei pressi del filo, il campo elettrico cresce come $1/r$ e raggiunge valori sufficienti a generare la valanga ionica, che genera un segnale sufficiente ad essere rivelato



- la valanga si sviluppa attorno al filo molto sottile
- gran parte della carica è nelle ultime lunghezze di ionizzazione

Introduzione ai rivelatori di particelle

camere a fili



$$C' = \frac{2\pi\epsilon}{\ln b/a} \quad \text{capacità per metro}$$

campo elettrico:

$$E(r) = \frac{C'V_0}{2\pi\epsilon_0} \frac{1}{r} = \frac{V_0}{\ln b/a} \frac{1}{r}$$

potenziale elettrostatico:

$$U(r) = -\frac{C'V_0}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r}{a} = -\frac{V_0}{\ln b/a} \ln \frac{r}{a}$$

- valori tipici

$$a = 20\mu\text{m}, \quad b = 5\text{mm}, \quad V_0 = 2\text{kV}$$

$$\rightarrow C' = 10 \text{ pF/m}$$

$$\rightarrow E(a) \sim 2 \cdot 10^7 \text{ V/m}$$

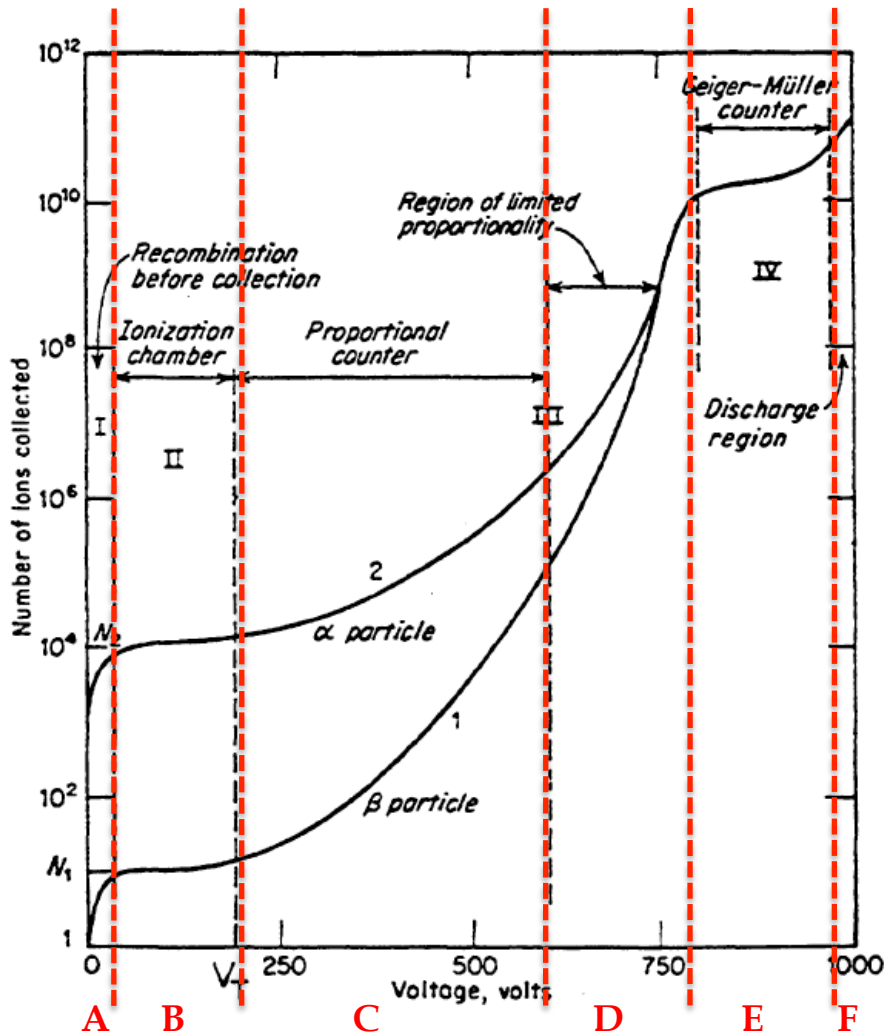
- l'amplificazione si può approssimare a

$$M = \text{const} \cdot e^{CV_0}$$

- cresce esponenzialmente con V_0
- la costante dipende dal gas

Introduzione ai rivelatori di particelle

camere a fili

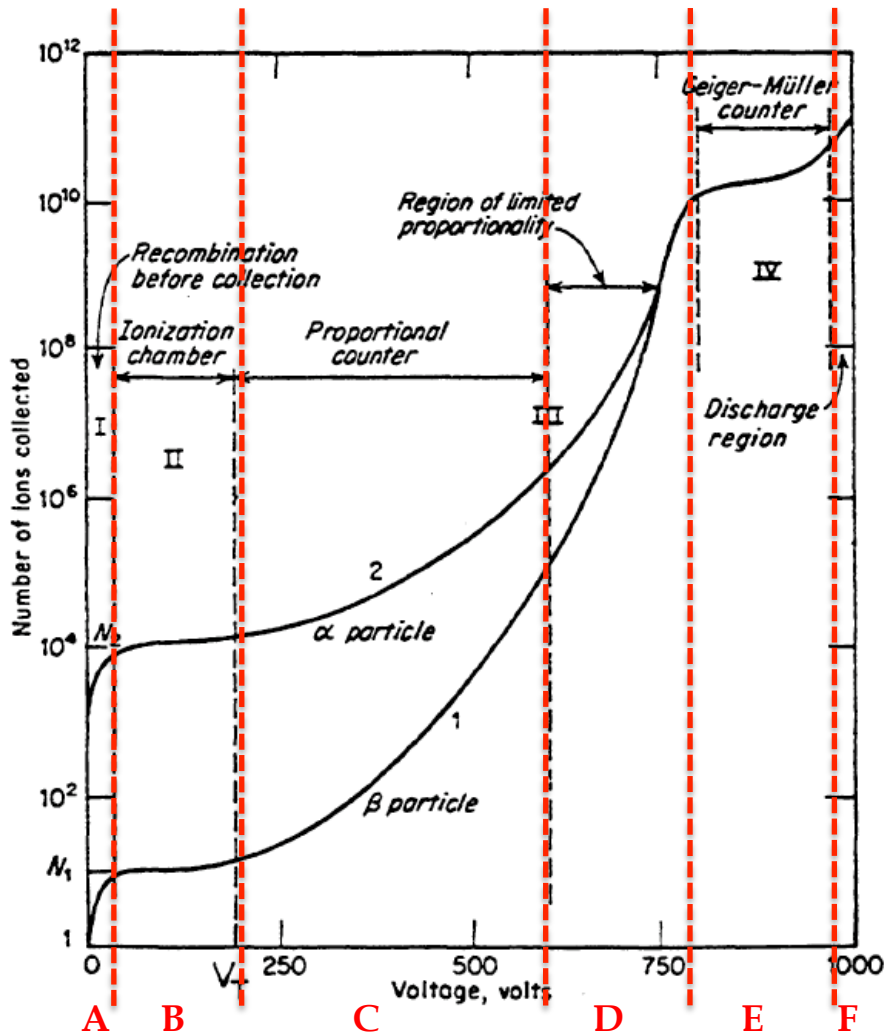


- **regimi di amplificazione**

- A. il campo elettrico è insufficiente a raccogliere tutta la carica, che si ricombina
- B. la carica è raccolta senza amplificazione (camera a ionizzazione)
- C. l'amplificazione è modesta ($M \leq 10^5$) e la carica raccolta è proporzionale alla carica iniziale (camera proporzionale)

Introduzione ai rivelatori di particelle

camere a fili

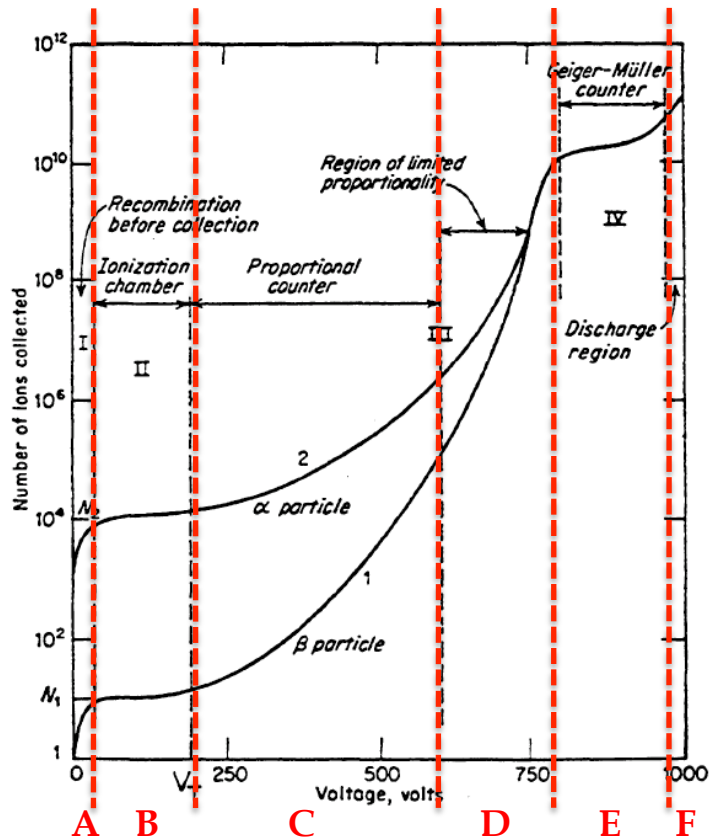


- **regimi di amplificazione**

- D. il guadagno è alto ($M \leq 10^8$) e a causa della carica spaziale ci sono fenomeni di saturazione (proporzionalità limitata)
- E. la valanga si propaga lungo tutto il filo a causa dei fotoni emessi (contatore Geiger)
- F. completo breakdown

Introduzione ai rivelatori di particelle

camere a fili



- scelta del regime

- regime proporzionale:
 - permette misure di dE/dx (PID)
 - segnale piccolo, elettronica più sofisticata
- proporzionalità limitata
 - segnale più agevole elettronicamente
 - si perde la possibilità di misure di energia
- Geiger-Müller
 - segnale molto grande
 - scarica diffusa sul filo, tempi di recupero molto lunghi

Introduzione ai rivelatori di particelle

la scelta del gas

- **Richieste**
 - alto guadagno a tensioni modeste
 - buona proporzionalità
 - lunga vita media
 - breve tempo di recupero
- **Il componente principale è in genere un gas nobile (Ar)**
 - valanga avviene per tensioni basse perché non ci sono modi di diseccitazione non ionizzanti
 - a guadagni modesti ($M=10^3\div 10^4$) l'Ar scarica
 - gli atomi eccitati tornano allo stato di riposo emettendo fotoni (11.6 eV)
 - i fotoni sono in grado di estrarre elettroni dal catodo per effetto fotoelettrico e generare una nuova valanga
- **Si aggiunge una percentuale di gas poliatomico (quencher) che assorbe i fotoni dell'argon**
 - si diseccita per collisioni o producendo radicali semplici
 - tipicamente idrocarburi: CH_4 , C_3H_8 , C_4H_{10} (isobutano) ma anche CO_2
 - bastano percentuali limitate ($\approx 20\%$) per sostenere guadagni alti ($M > 10^6$)

Introduzione ai rivelatori di particelle

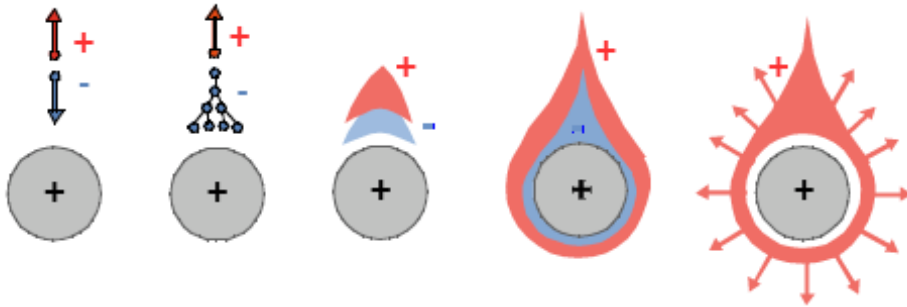
la scelta del gas

- **estrazione di elettroni dal catodo**
 - gli ioni che raggiungono il catodo possono cedere energia estraendo elettroni
 - si può aggiungere una piccola percentuale di gas elettronegativo (0.4% CF_3Br , freon) in modo da limitare il cammino libero di cattura degli elettroni
 - deve essere inferiore alla distanza catodo-anodo
 - non troppo altrimenti si perde efficienza di collezione della carica generata dalla particella ionizzante
 - in questo modo si ottengono guadagni elevati, in regime di proporzionalità limitata
- **L'aggiunta di idrocarburi complessi ha uno svantaggio**
 - con il tempo i prodotti della dissociazione degli idrocarburi si depositano sugli elettrodi polimerizzando
 - effetto proporzionale al flusso di particelle e al guadagno (ageing)
 - Effetto Malter
 - se c'è un sottile strato di isolante, gli ioni che arrivano al catodo si neutralizzano lentamente
 - se il flusso di particelle è alto (10^2 particelle/cm²) l'elettrodo si carica ed estrae elettroni dal catodo
 - **si forma una scarica che si ferma solo togliendo tensione**
 - Si può mitigare aggiungendo una percentuale di molecole complesse non polimerizzanti che si ionizzano al posto del quencher ma quando arrivano al catodo non fanno danni
 - metilal, potenziale di ionizzazione inferiore a quello dell'isobutano
 - **oppure si usano quencher più semplici (CO_2) anche se meno efficienti**
- Miscela magica: 70% Ar, 29.6% Isobutano, 0.4% Freon
 - fatta "bubolare" attraverso metilal

Introduzione ai rivelatori di particelle

la generazione del segnale elettrico

- Il processo di valanga comincia molto vicino all'anodo



- per fili di $20 \mu\text{m}$ la carica è generata in gran parte entro $\approx 100 \mu\text{m}$ dal filo
 - $v_D = 50 \mu\text{m/ns}$ quindi in qualche ns gli elettroni sono raccolti dal filo, e rimane una nuvola positiva di ioni che si allontana verso il catodo
- Il segnale è dato dal lavoro fatto per spostare le cariche nel campo elettrico
 - il percorso fatto dagli elettroni è minimo, contributo trascurabile al segnale

$$dW = qEdr = \frac{qV_0}{\ln(b/a)} \frac{dr}{r} \quad \text{lavoro su } q \text{ in campo } E$$

$$W_{el} = -e \frac{V_0}{\ln(b/a)} \int_r^a \frac{dr}{r} = e \frac{V_0}{\ln(b/a)} \ln \frac{r}{a}$$

$$\text{per } r \approx a \rightarrow W_{el} \approx 0$$

$$W_{ion} = +e \frac{V_0}{\ln(b/a)} \int_r^b \frac{dr}{r} = e \frac{V_0}{\ln(b/a)} \ln \frac{b}{r}$$

$$\text{per } r \approx a \rightarrow W_{ion} \approx eV_0$$

Introduzione ai rivelatori di particelle

segnale in tensione sul filo

- consideriamo il rivelatore come un condensatore isolato di capacità C e lunghezza l , a tensione V_0
 - fenomeni veloci rispetto RC
 - si conserva l'energia nel sistema
 - variazione energia del condensatore compensa la variazione di energia delle cariche che si muovono nel campo
 - la variazione di tensione del condensatore dovuta al segnale è piccola ($V \approx V_0$)

$$dE_{carica} = -q \frac{dU}{dr} dr$$

$$dE_C = d\left(\frac{1}{2} CV_0^2\right) = CV_0 dV$$

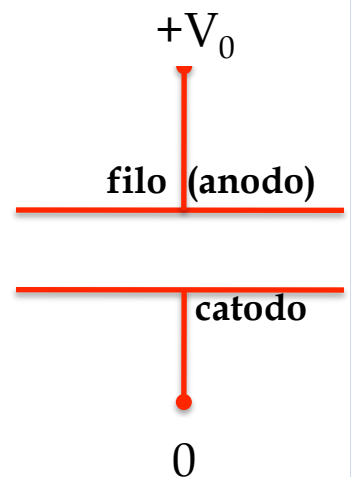
$$dE_{carica} + dE_C = 0 \rightarrow CV_0 dV - q \frac{dU}{dr} dr = 0$$

$$dV = \frac{q}{CV_0} \frac{dU}{dr} dr$$

$$V^- = -\frac{Q}{CV_0} \int_r^a \frac{dU}{dr} dr = +\frac{Q}{2\pi\epsilon_0 l} \ln\left(\frac{a}{r}\right)$$

$$V^+ = \frac{Q}{CV_0} \int_r^b \frac{dU}{dr} dr = -\frac{Q}{2\pi\epsilon_0 l} \ln\left(\frac{b}{r}\right)$$

$$V^+ + V^- = -\frac{Q}{2\pi\epsilon_0 l} \ln\left(\frac{b}{a}\right) = -\frac{Q}{C}$$



- Il segnale è negativo (Q è la carica totale della valanga)
- NB il valore $-Q/C$ è il segnale totale dopo che tutti gli ioni hanno raggiunto il catodo, considerando il sistema isolato

Introduzione ai rivelatori di particelle

segnale in tensione sul filo

- **caso tipico**
 - $Q = 100 \text{ coppie} \times 10^5 \text{ guadagno} \times 1.6 \cdot 10^{-19} \text{C}$
 - $C = 10 \text{pF/m}, l \approx 1 \text{m}$
 - $Q/C = 0.16 \text{V}$
 - tempo di integrazione lungo ($100 \mu \text{s} \div 1 \text{ms}$)
 - dipende dalla velocità di deriva degli ioni
- **valutiamo lo sviluppo temporale del segnale**
 - $V(t)$ segnale sul filo

$$V(t) = \frac{Q}{CV_0} \int_a^{r(t)} \frac{dU}{dr} dr = -\frac{Q}{2\pi\epsilon_0 l} \ln\left(\frac{r(t)}{a}\right)$$

calcolo $r(t)$ nota la velocità di drift degli ioni

$$v^+(t) = \frac{dr}{dt} = \mu^+ \frac{E}{p} = \mu^+ \frac{CV_0}{2\pi\epsilon_0 l p} \frac{1}{r}$$

risolvo separando le variabili

$$\int_a^{r(t)} r dr = \frac{r(t)^2 - a^2}{2} = \int_0^t \mu^+ \frac{CV_0}{2\pi\epsilon_0 l p} dt \rightarrow r(t) = \sqrt{a^2 + \mu^+ \frac{CV_0}{\pi\epsilon_0 l p} t}$$

sostituendo $r(t)$

$$V(t) = -\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 l} \ln\left(1 + \mu^+ \frac{CV_0}{\pi\epsilon_0 l p a^2} t\right) = -\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 l} \ln\left(1 + \frac{t}{t_0}\right)$$

Introduzione ai rivelatori di particelle

segnale in tensione sul filo

- tempo totale T di raccolta del segnale

$$r(T) = b$$

$$b = \sqrt{a^2 + \mu^+ \frac{CV_0}{\pi\epsilon_0 lp} T} \rightarrow T = \frac{\pi\epsilon_0 lp (b^2 - a^2)}{\mu^+ CV_0}$$

$$V(T) = -\frac{Q}{C}$$

- valori tipici

- $\mu^+ = 1.7 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}\text{V}^{-1}\text{atm}^{-1}$
- $V_0 = 2\text{kV}$
- $a = 20 \mu\text{m} = 2 \times 10^{-4}\text{cm}$, $b = 0.5\text{cm}$

- si ottiene $T \approx 200 \mu\text{s}$

- il fronte del segnale è molto rapido

- tempo $t_{1/2}$ per raccogliere metà carica

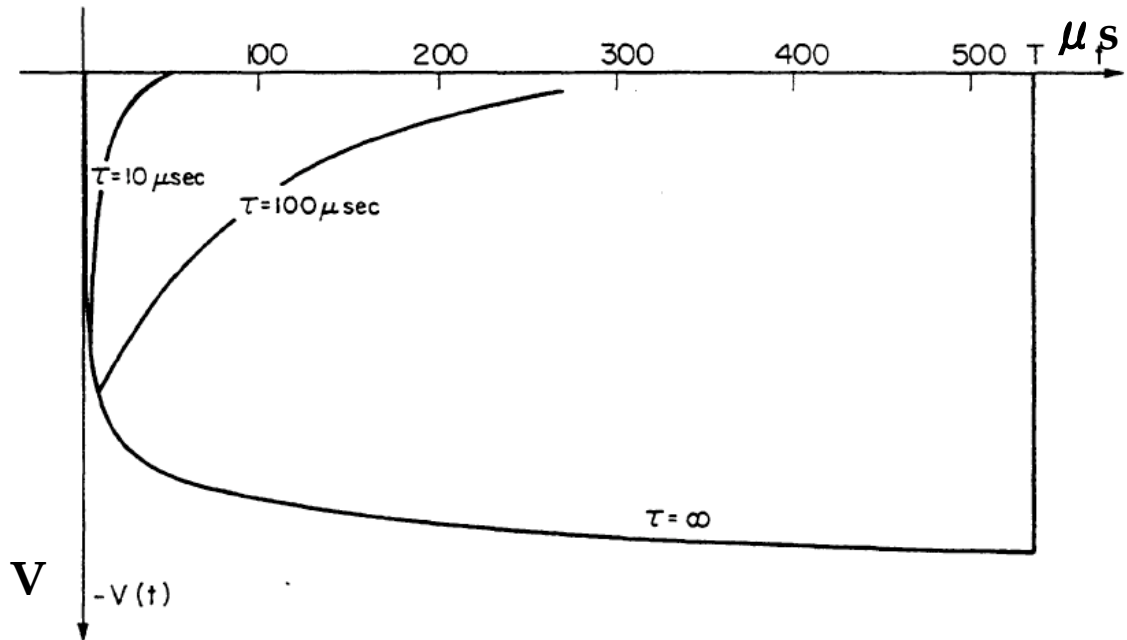
$$t_{1/2} \approx \frac{a}{b} T$$

- con i valori precedenti si ottiene $t_{1/2} \approx 800\text{ns}$
- conviene terminare il circuito con una resistenza R in modo da differenziare il segnale con un tempo caratteristico corto $\tau = RC$

Introduzione ai rivelatori di particelle

segnale in tensione sul filo

- sviluppo temporale del segnale



- il fronte del segnale è molto rapido

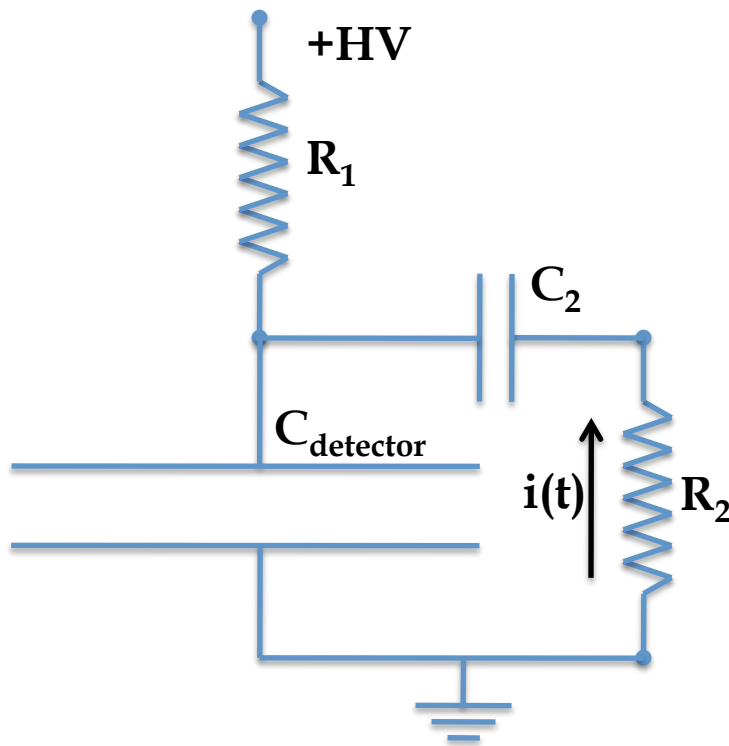
- tempo $t_{1/2}$ per raccogliere metà carica

$$t_{1/2} \approx \frac{a}{b} T$$

- con i valori precedenti si ottiene $t_{1/2} \approx 800\text{ns}$
- conviene terminare il circuito con una resistenza R in modo da differenziare il segnale con un tempo caratteristico corto $\tau = RC$

Introduzione ai rivelatori di particelle

segnale sul filo

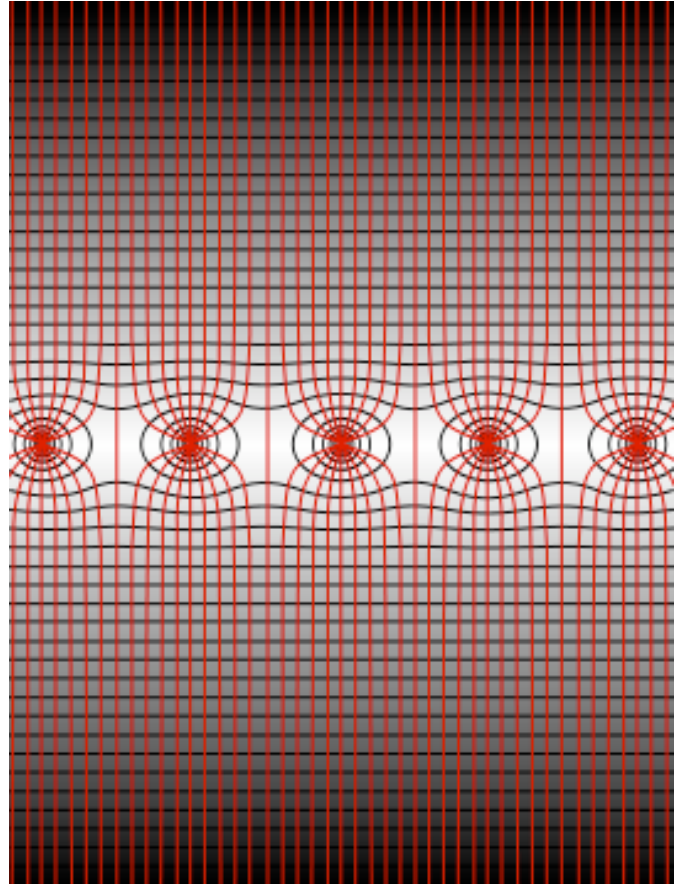


- R_1 grande, limita la corrente in caso di scarica
 - caduta di HV sul rivelatore in caso di grandi flussi di particelle
- C_2 condensatore di disaccoppiamento (per non avere alta tensione sull'elettronica di lettura)
- R_2 resistenza che determina il tempo di formatura del segnale
 - segnali molto corti sono necessari quando c'è un flusso elevato di particelle sul rivelatore

Introduzione ai rivelatori di particelle

MWPC

- **Multi Wire Proportional Chamber**
 - Charpak (1924-2010), 1968
 - premio Nobel 1992 per lo sviluppo di questi rivelatori
 - Insieme di fili anodici paralleli finemente spazati, tra due catodi paralleli
 - campo elettrico sostanzialmente uniforme in gran parte del rivelatore
 - campo di drift per la raccolta degli ioni
 - E diventa intenso vicino ai fili, zona di amplificazione

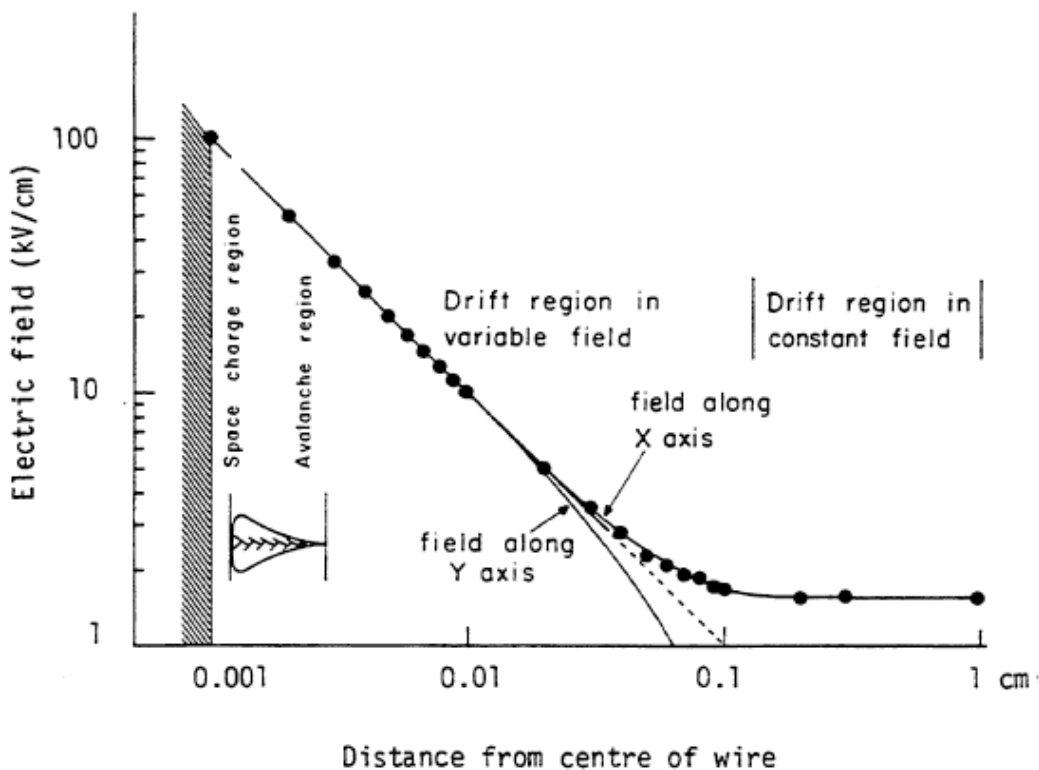


Introduzione ai rivelatori di particelle

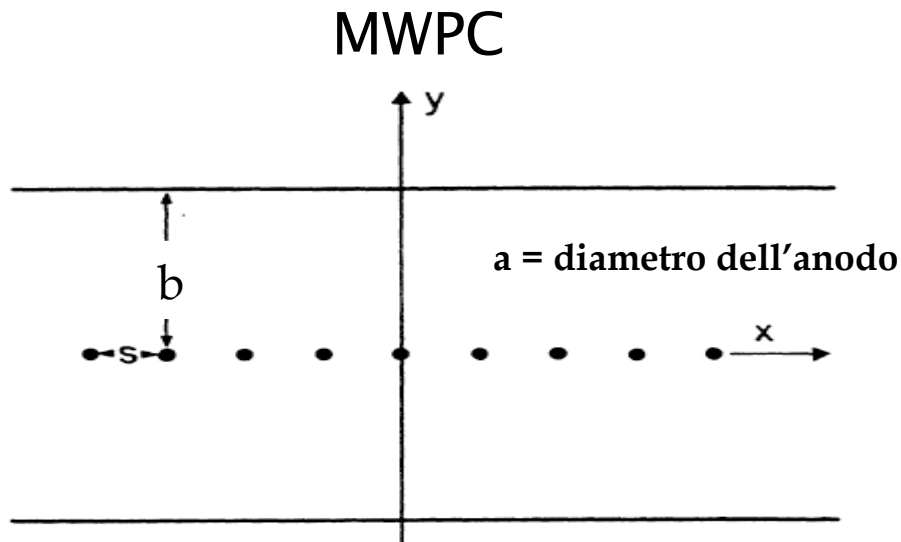
MWPC

- **Multi Wire Proportional Chamber**

- valori tipici dei parametri
 - spaziatura dei fili 2mm
 - distanza piano anodico/catodo 4 mm
 - tensione di lavoro 3kV
 - miscela magica
- spesso si lavora con il catodo a -HV e fili a massa
 - per evitare le capacità di disaccoppiamento



Introduzione ai rivelatori di particelle



- valori di capacità e campo E:

capacità per unità di lunghezza:

$$C' = \frac{2\pi\epsilon_0}{\pi b/s - \ln(2\pi a/s)}$$

$$\text{per } y \ll s \quad E(r) = \frac{C'V_0}{2\pi\epsilon_0} \frac{1}{r} \quad r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\text{per } y \geq s \quad E_Y = \frac{C'V_0}{2\pi\epsilon_0} \frac{1}{s}$$

- scelta dei parametri

- la camera è tanto più stabile quanto più il filo è sottile

- ragioni meccaniche limitano ad $a=20 \mu\text{ m}$ a meno di camere molto piccole

- la spaziatura minima dei fili è 2mm

- valori inferiori tendono ad essere instabili elettricamente
- NB al diminuire di s diminuisce C e quindi il campo elettrico a parità di V_0

Introduzione ai rivelatori di particelle

MWPC

- **Stabilità meccanica**

- variazioni percentuali di guadagno causate da problemi meccanici:

ricordando che

$$M \propto e^{cV_0} = e^Q \rightarrow \frac{\Delta M}{M} = \Delta Q \rightarrow \frac{\Delta M}{M} = \ln M \cdot \frac{\Delta Q}{Q}$$

dalla capacità per unità di lunghezza a V_0 costante:

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{C'}{2\pi\epsilon_0} \frac{\Delta a}{a} \quad \frac{\Delta Q}{Q} = \frac{C'b}{2\pi\epsilon_0 s} \frac{\Delta b}{b}$$

per valori tipici dei parametri:

$$\frac{\Delta M}{M} = 3 \frac{\Delta a}{a} \quad \frac{\Delta M}{M} = 12 \frac{\Delta b}{b} \quad \frac{\Delta M}{M} = 20 \frac{\Delta s}{s}$$

- è necessaria un'ottima precisione costruttiva e stabilità meccanica per avere guadagno uniforme
 - essenziale per misure di energia
- importanti soprattutto le forze elettrostatiche tra i fili

Introduzione ai rivelatori di particelle

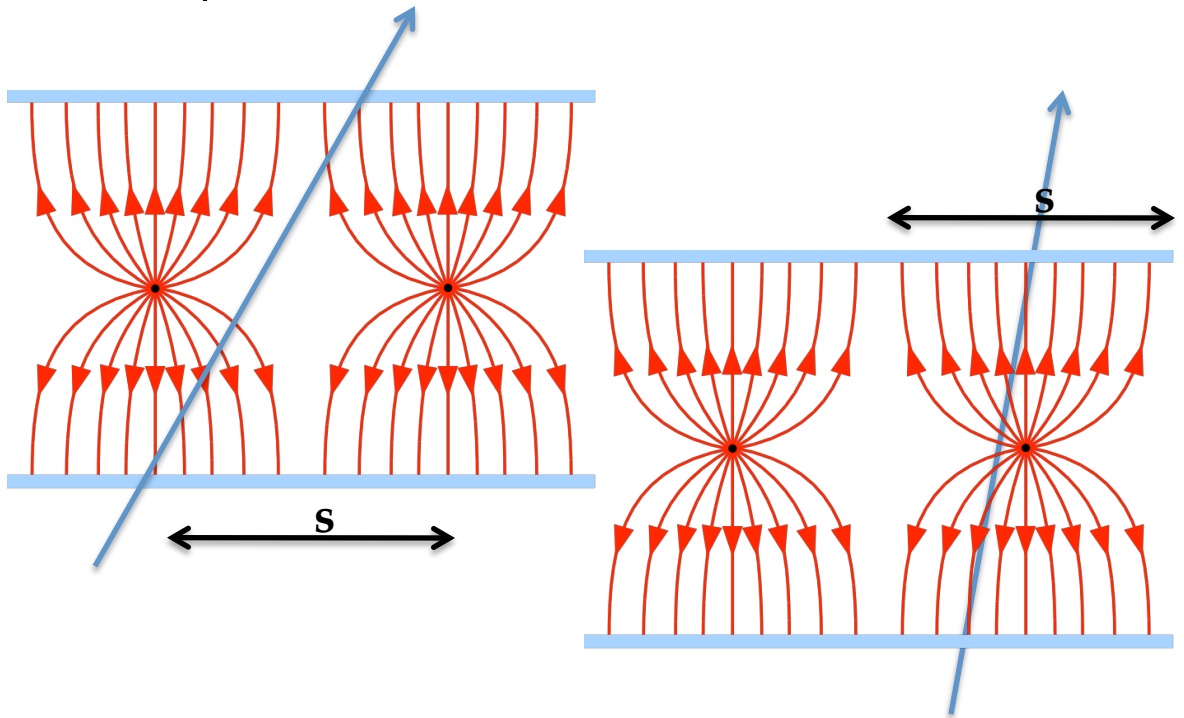
MWPC

- **Risoluzione**

- se si leggono i fili, la risoluzione nella coordinata ortogonale ai fili è

$$\sigma_x = \frac{s}{\sqrt{12}}$$

$$\sigma_x = \frac{2}{\sqrt{12}} = 0.6\text{mm} \text{ per spaziatura dei fili pari a } 2 \text{ mm}$$

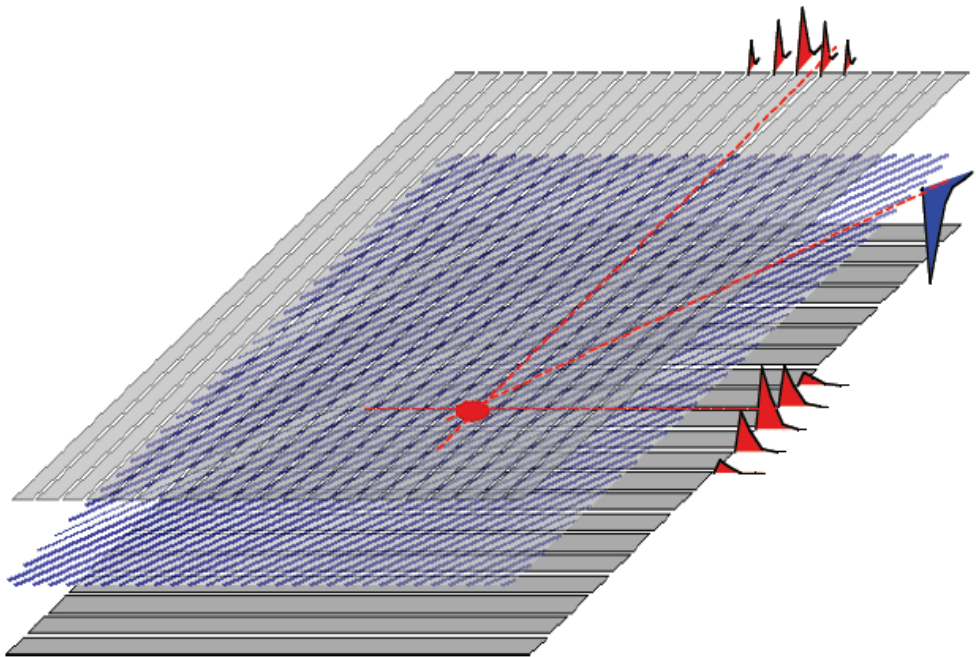


- per tracce non ortogonali al piano si può generare segnale in più di un filo
 - la risoluzione non cambia se si assegna la posizione all'intervallo s tra i due fili, e non alla zona di larghezza s attorno ad un filo

Introduzione ai rivelatori di particelle

MWPC

- Lettura catodica
 - catodo segmentato ortogonalmente ai fili
 - in genere larghezza delle strip \approx spaziatura anodo-catodo
 - si legge il segnale indotto sul catodo, che interessa più strips adiacenti



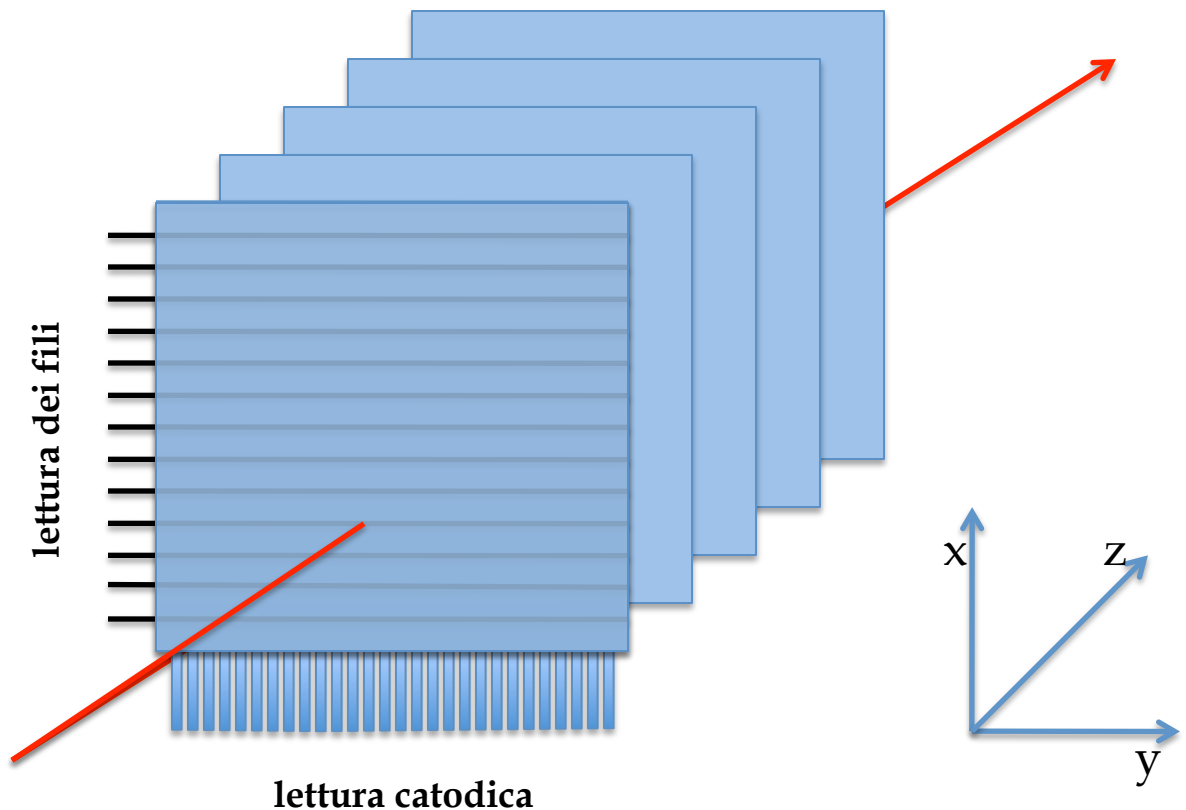
- si determina il centroide del segnale indotto
 - in generale con $\Delta x \approx$ distanza anodo-catodo vengono interessate 3÷4 strips per tracce verticali
- si ottengono risoluzioni di $\approx 100 \mu\text{m}$
- in questo caso, spesso catodo a massa e fili ad HV
 - camere a sola lettura catodica
 - NB la risoluzione ortogonale ai fili è ancora data dalla spaziatura dei fili anche se la lettura è catodica

Introduzione ai rivelatori di particelle

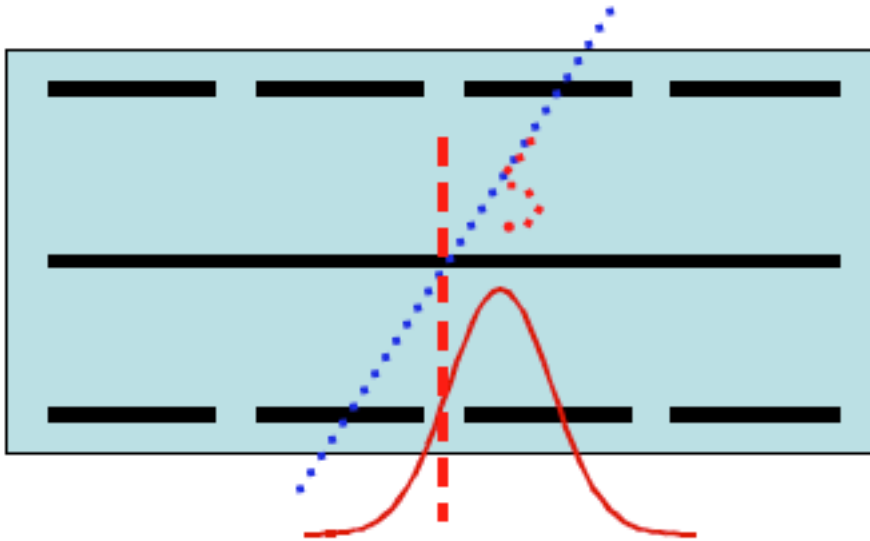
esempio di rivelatore con MWPC

esempio di uso di rivelatore con MWPC

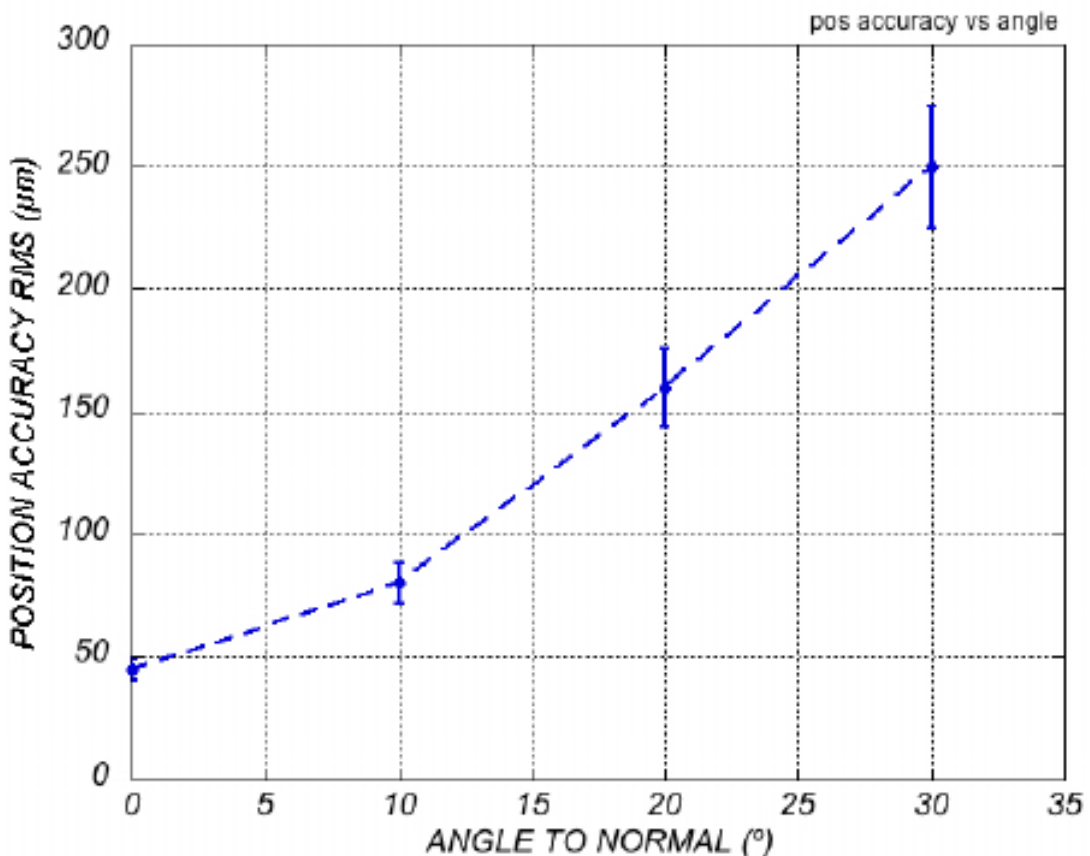
- coordinata x , precisione = $s/\sqrt{12}$
- coordinata y , precisione $100\div 200 \mu\text{m}$
- coordinata z , la posizione del piano di fili



Introduzione ai rivelatori di particelle



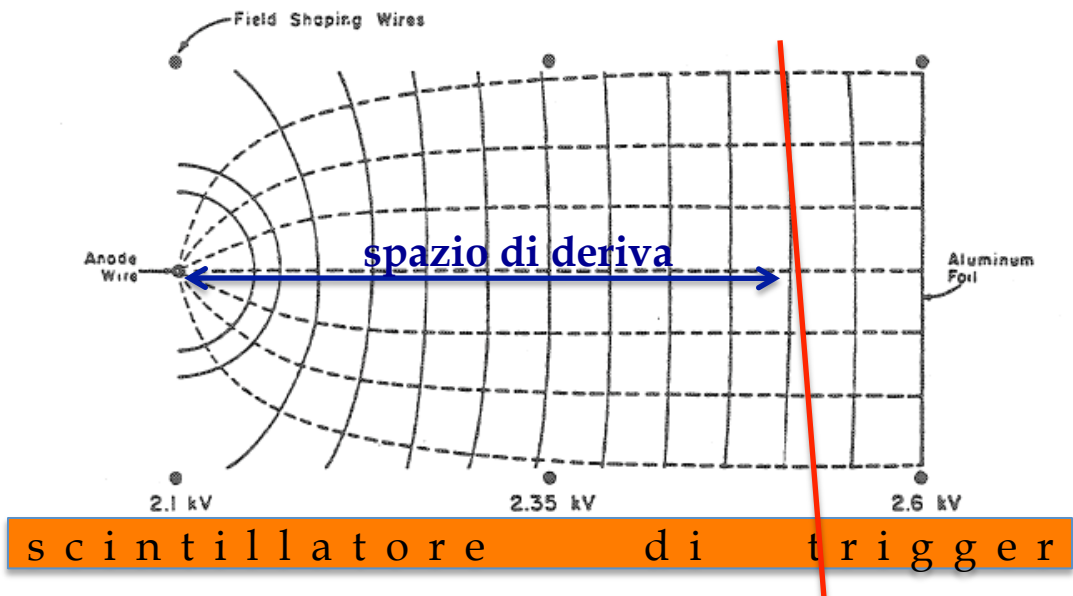
Le fluttuazioni statistiche della ionizzazione primaria, e l'emissione di δ influenzano la risoluzione della lettura catodica, in particolare a con tracce non perpendicolari alla camera



Introduzione ai rivelatori di particelle

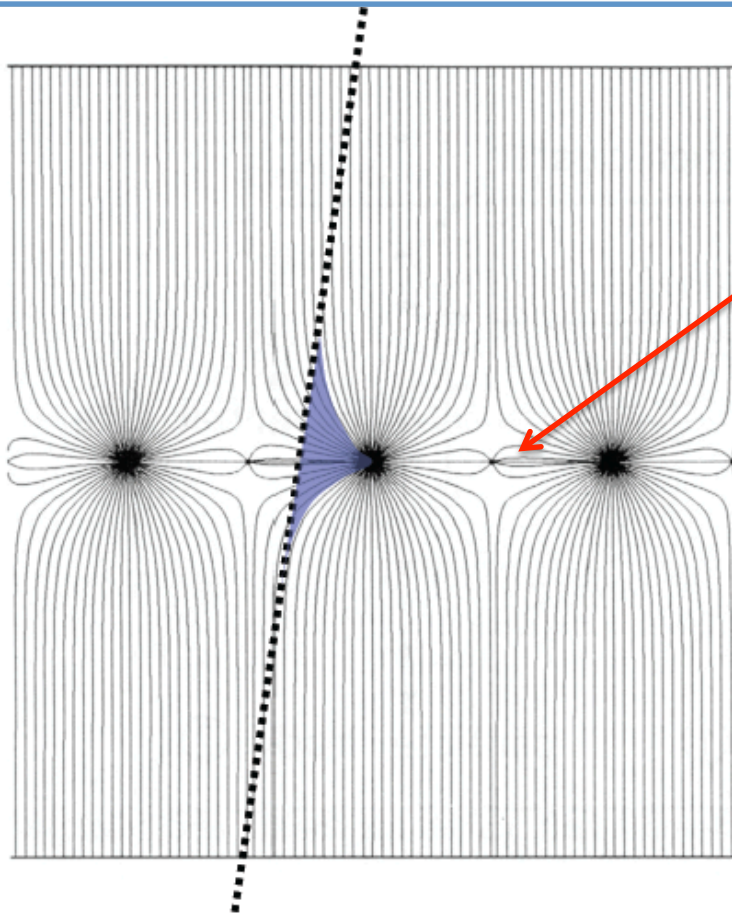
camere a deriva

- sono delle camere a fili con un lungo percorso di deriva
- la posizione della traccia è determinata dal tempo di deriva nel campo elettrico il più possibile uniforme
 - campo reso uniforme con “fili di campo” (field shaping wires)



- misura del tempo
 - serve un trigger esterno per dare lo “start” al conteggio del tempo
 - lo “stop” è dato dal segnale sull’anodo
- velocità di deriva tipiche $50 \mu\text{ m/ns}$
 - servono risoluzioni in tempo dell’ordine del ns per ottenere risoluzioni spaziali di $\approx 100 \mu\text{ m}$

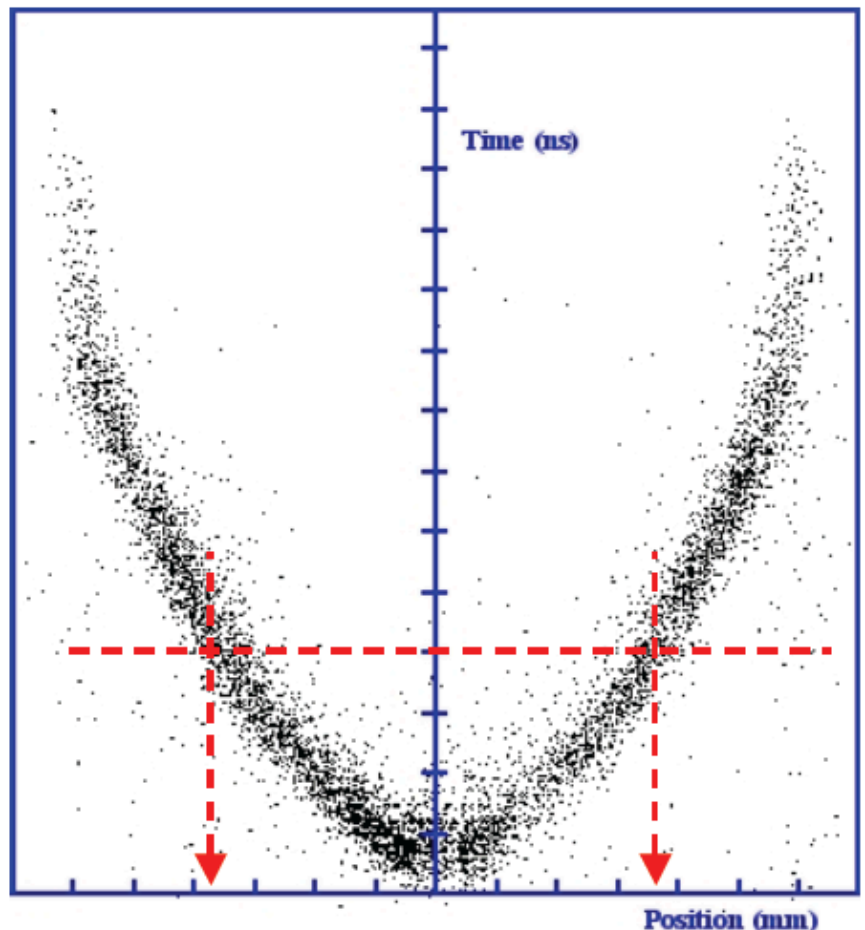
Introduzione ai rivelatori di particelle



Filo di shaping

Si ottiene un campo elettrico più uniforme

Relazione tempo-spazio in una camera a deriva. Notare l'ambiguità $dx-sx$

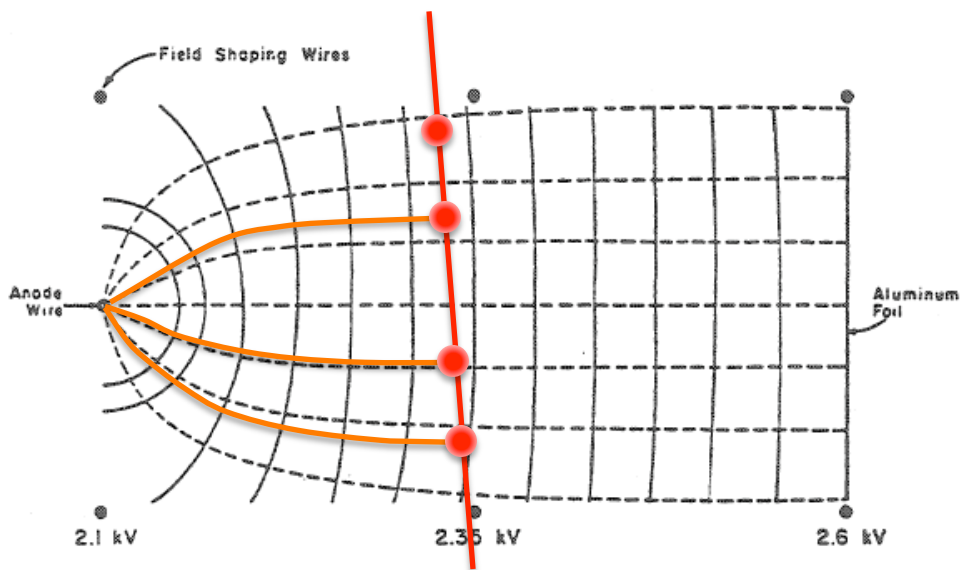


Introduzione ai rivelatori di particelle

camere a deriva

risoluzione nelle camere a deriva

- tre effetti importanti
 - il rumore dell'elettronica
 - la diffusione longitudinale della carica
 - proporzionale a \sqrt{t} e quindi a \sqrt{x} per velocità di deriva costanti
 - la statistica di ionizzazione primaria



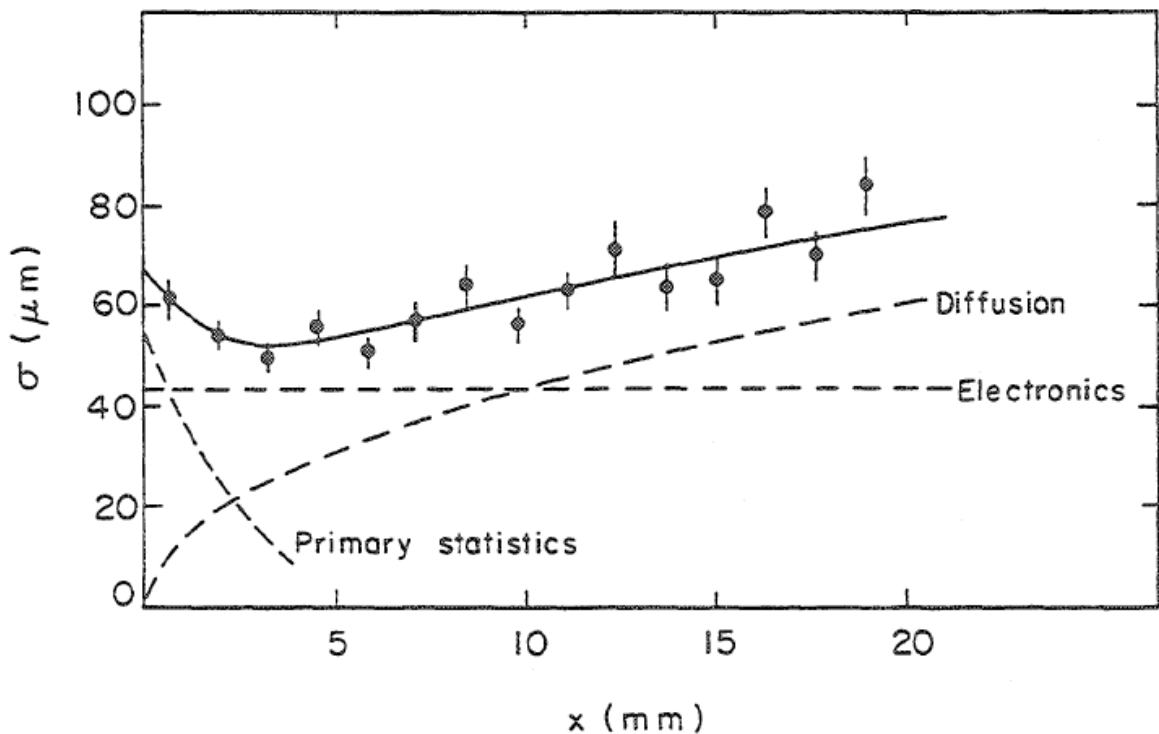
- i percorsi di deriva dei clusters di ioni sono diversi a seconda della posizione lungo la traccia
- effetto rilevante soprattutto per tracce vicine all'anodo

Introduzione ai rivelatori di particelle

camere a deriva

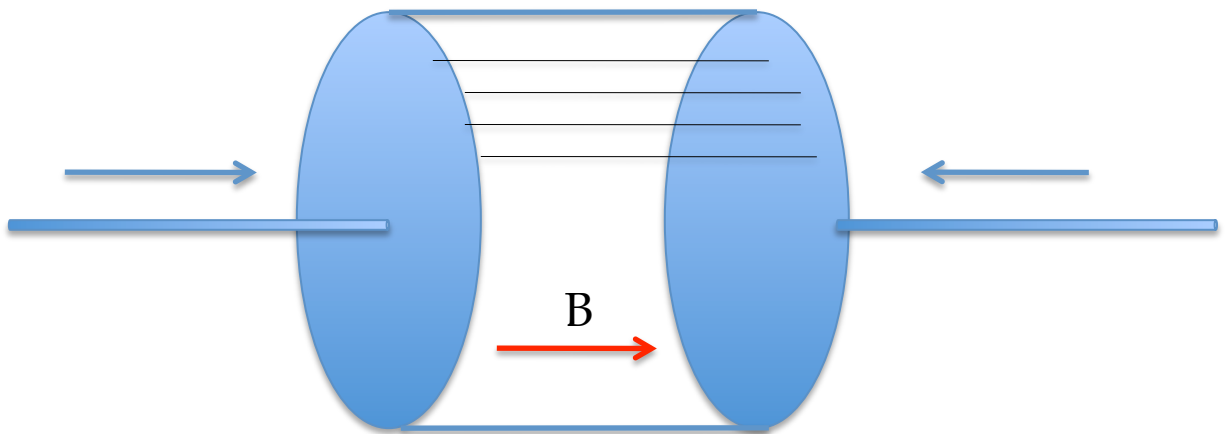
risoluzione nelle camere a deriva

- tre effetti importanti
 - il rumore dell'elettronica
 - la diffusione longitudinale della carica
 - la statistica di ionizzazione primaria



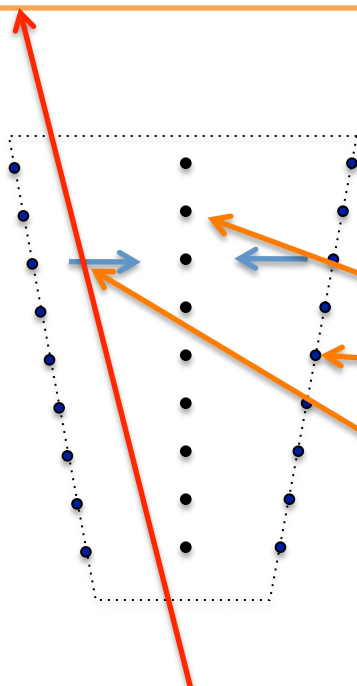
- si ottengono risoluzioni dell'ordine di 100μ anche con spazi di deriva di vari cm

Introduzione ai rivelatori di particelle



spesso usate come rivelatori centrali nei colliders

- grandi cilindri con i fili (anodi, catodi) paralleli al fascio
- il campo elettrico è ortogonale ai fili
- il campo magnetico è parallelo ai fili (curvatura nel piano trasversale)
 - quindi E perpendicolare a B

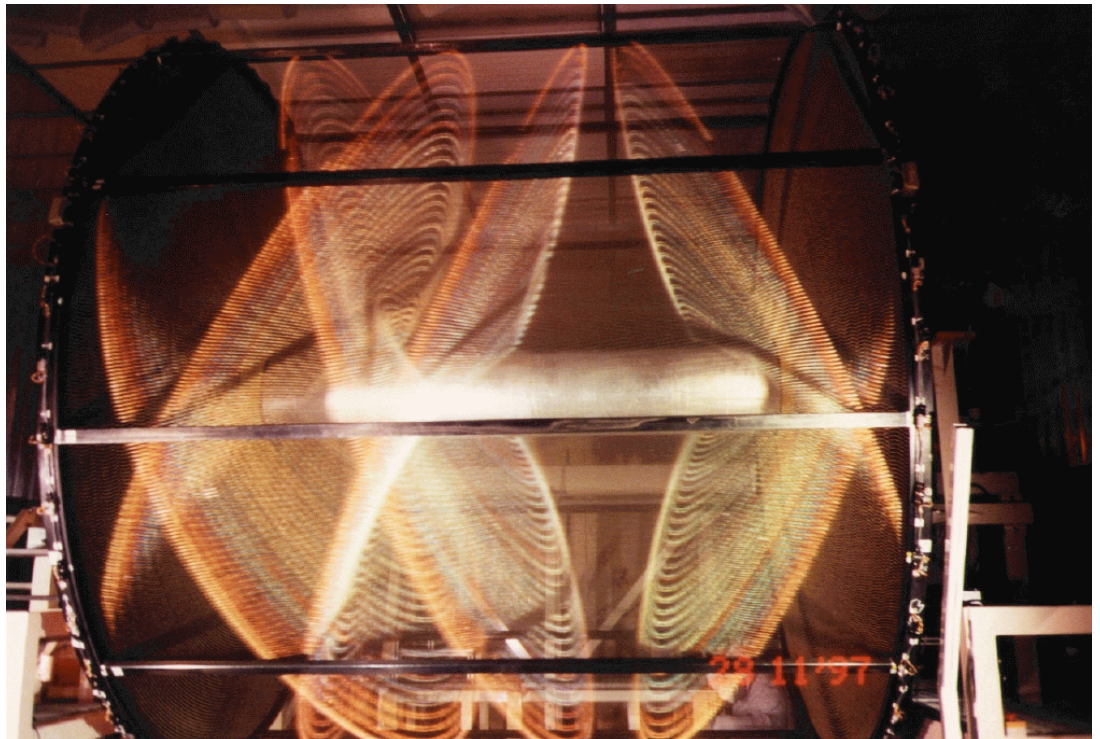
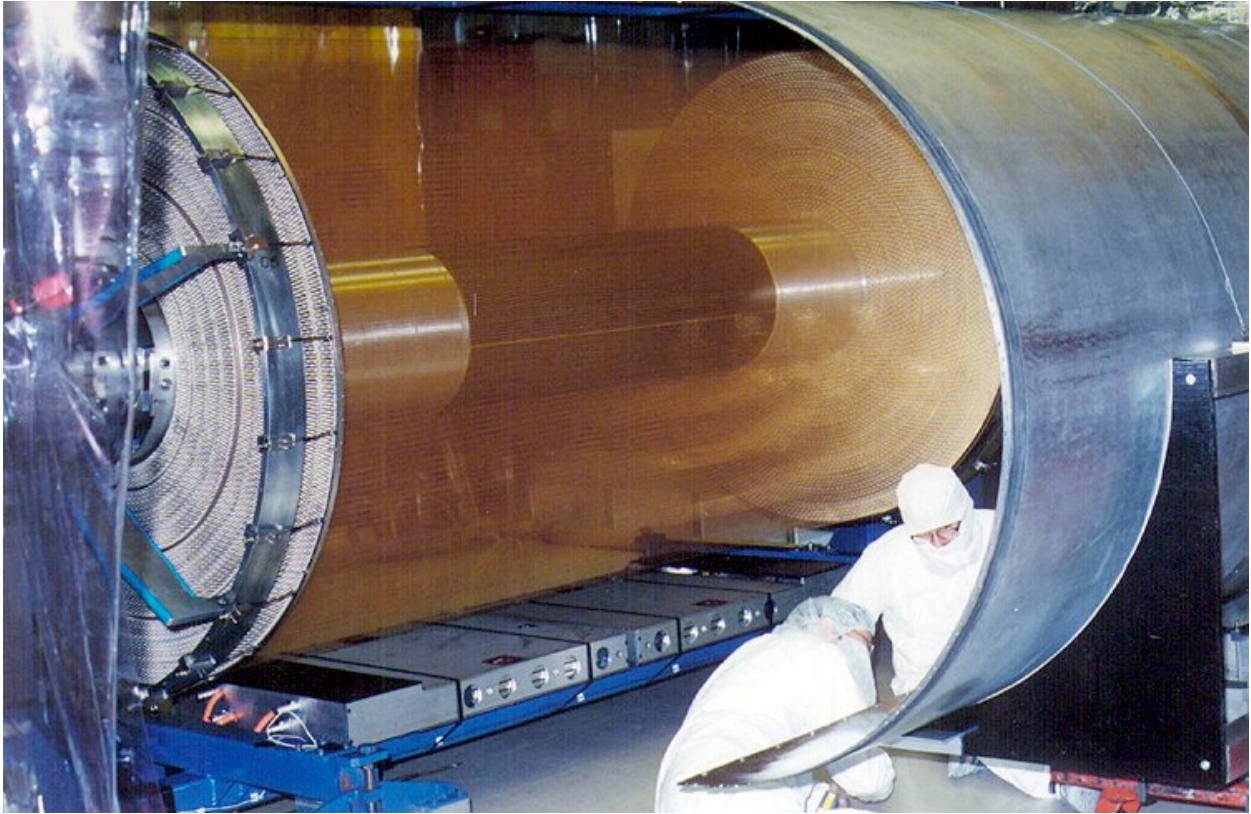


Esempio di una cella di deriva (sezione trasversale)

- fili anodici
- catodi e fili di field shaping (per mantenere il campo di deriva uniforme)
- direzione della deriva (con $B=0$)
- NB l'ambiguità $dx-sx$ per una traccia che attraversa la cella

Introduzione ai rivelatori di particelle

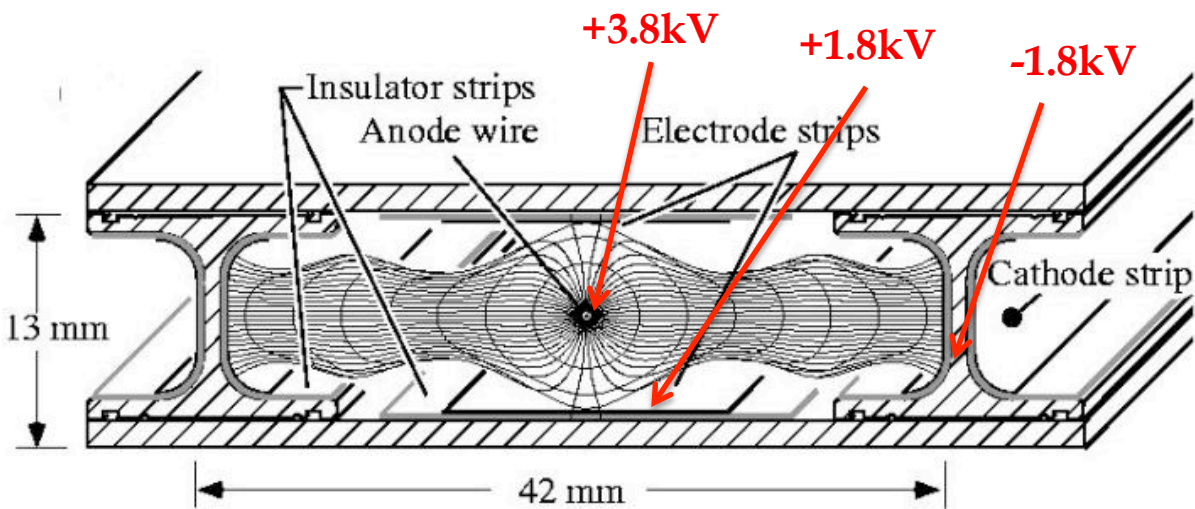
camere a deriva



Introduzione ai rivelatori di particelle

camere a deriva

- Molte diverse scelte costruttive
- tubi a deriva di CMS (DT)
 - misura di muoni



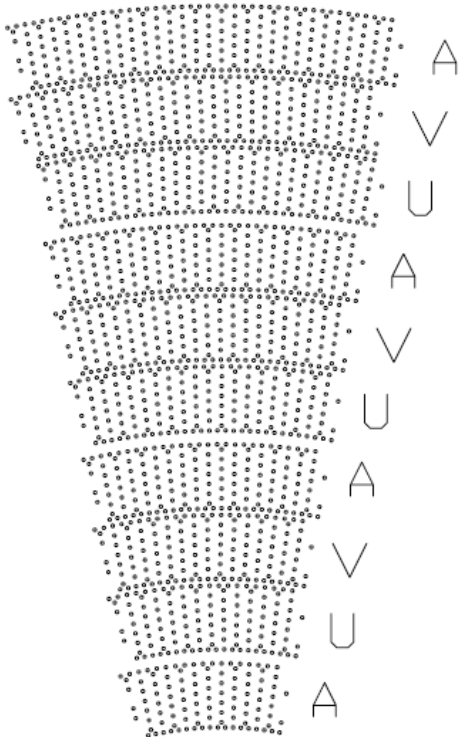
- campo di deriva il più possibile omogeneo
 - relazione spazio/tempo lineare
 - possibilità di utilizzo nel trigger
- struttura meccanica in Al
 - relativamente pesante, non è un problema per un rivelatore di muoni
 - filo anodico da $50 \mu\text{m}$
- Miscela 85% Ar 15% CO_2
 - non infiammabile
- Massimo tempo di deriva $\approx 400\text{ns}$
 - risoluzione $\approx 100 \mu\text{m}$

Introduzione ai rivelatori di particelle

camere a deriva

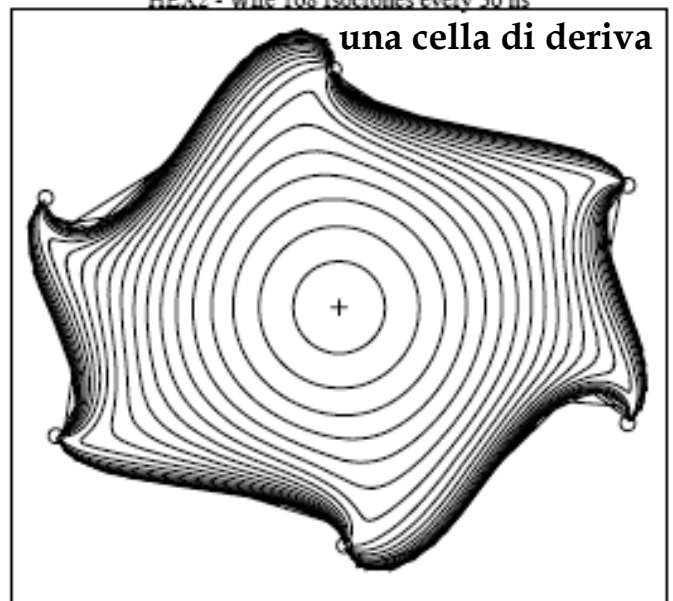
- rivelatore centrale di BaBar a SLAC

schema di uno spicchio di camera

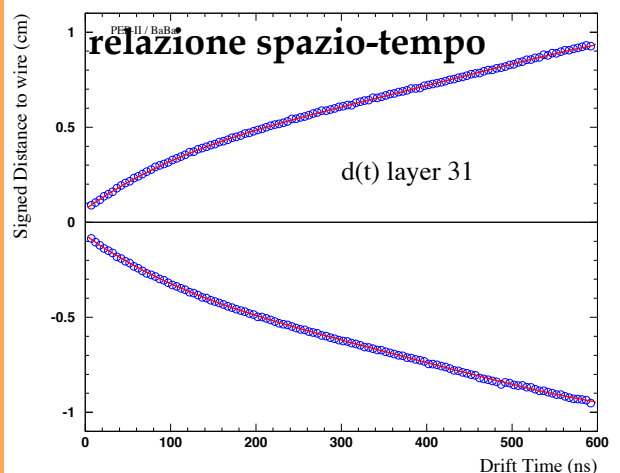


HEX2 - Wire 168 Isocrones every 50 ns

una cella di deriva



- 2.75m lunghezza, 1.6m diametro
- 7104 fili anodici da $20 \mu\text{m}$
 - layers "stereo" (ad angolo rispetto all'asse) permettono la misura della coordinata assiale
- campo magnetico da 1.5T
 - percorsi di deriva non rettilinei
- relazione non-lineare spazio-tempo di deriva
- 80% He 20% isobutano
 - struttura e gas molto leggeri



Introduzione ai rivelatori di particelle

camere a deriva

• ZEUS (HERA) rivelatore centrale

- dimensioni simili a BaBar
- celle piccole per separare tracce vicine (jet chamber)
- "superlayers" assiali e stereo
- lettura della coordinata assiale con le differenze di tempo di arrivo alle due estremità del filo
 - veloce per il trigger
 - precisione limitata (\approx cm)

- Ground wire
- Shaper wire
- Sense wire
- Field wire

w

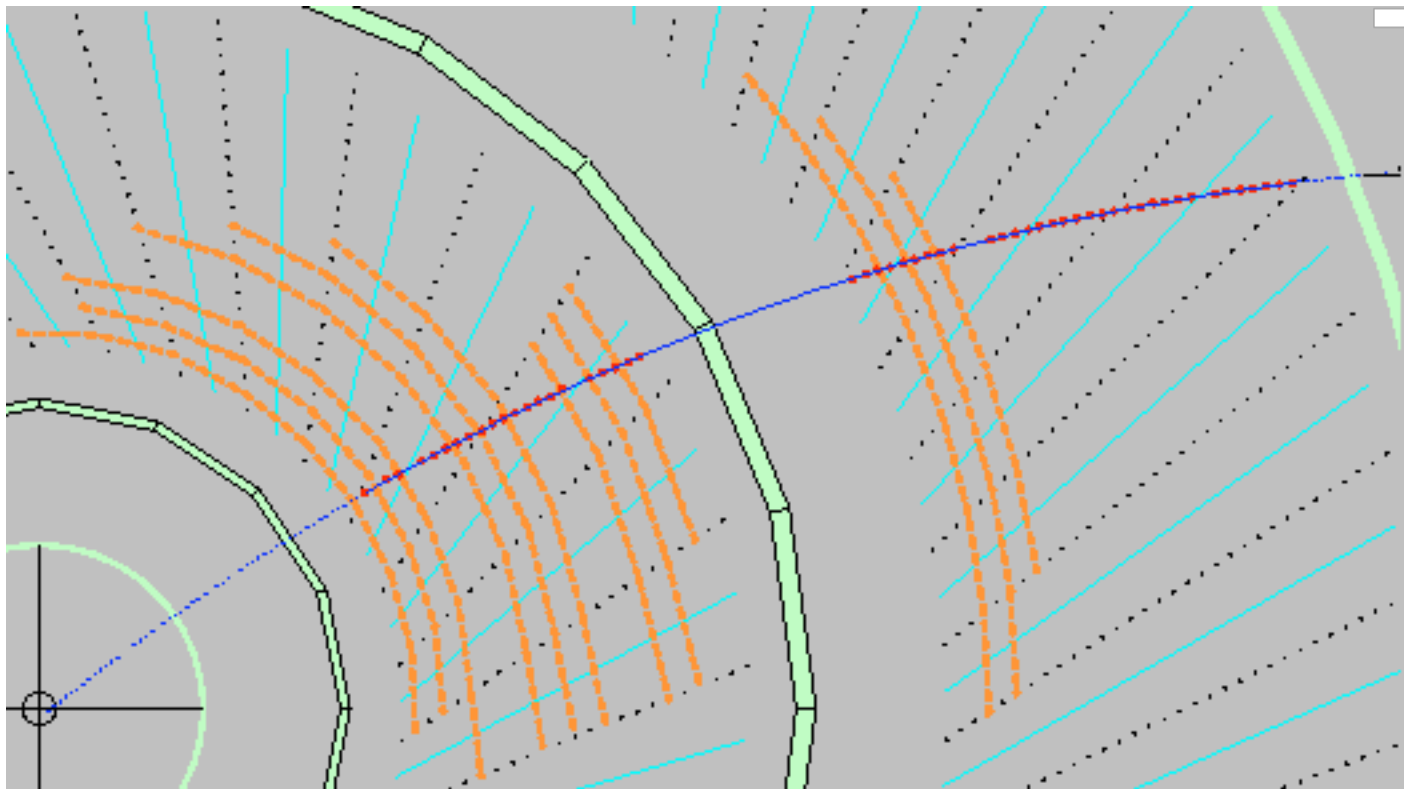
qE

$qv \times B$

cella inclinata per tener conto dell'angolo di Lorentz

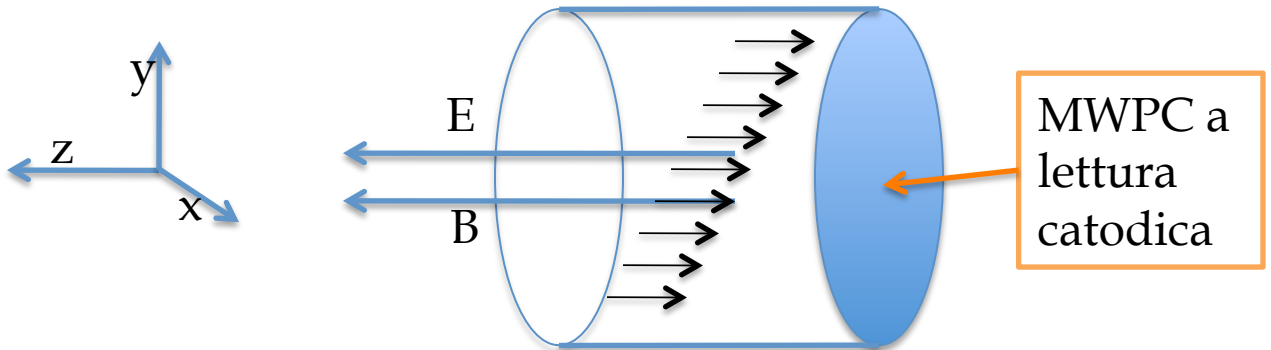
Introduzione ai rivelatori di particelle

camere a deriva



Introduzione ai rivelatori di particelle

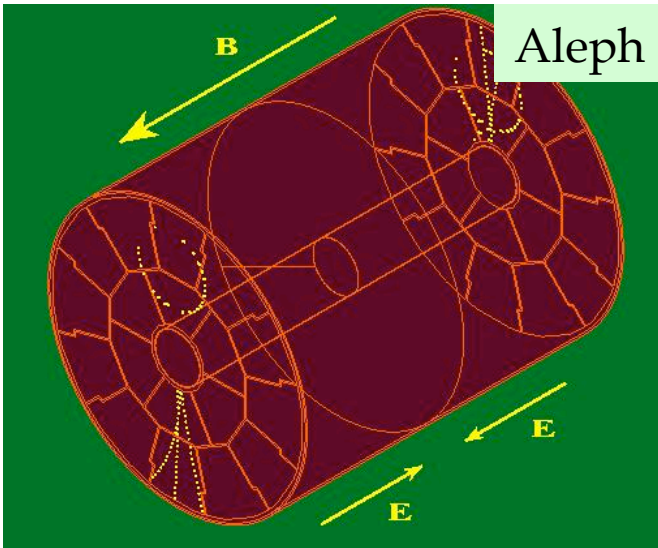
camere a deriva



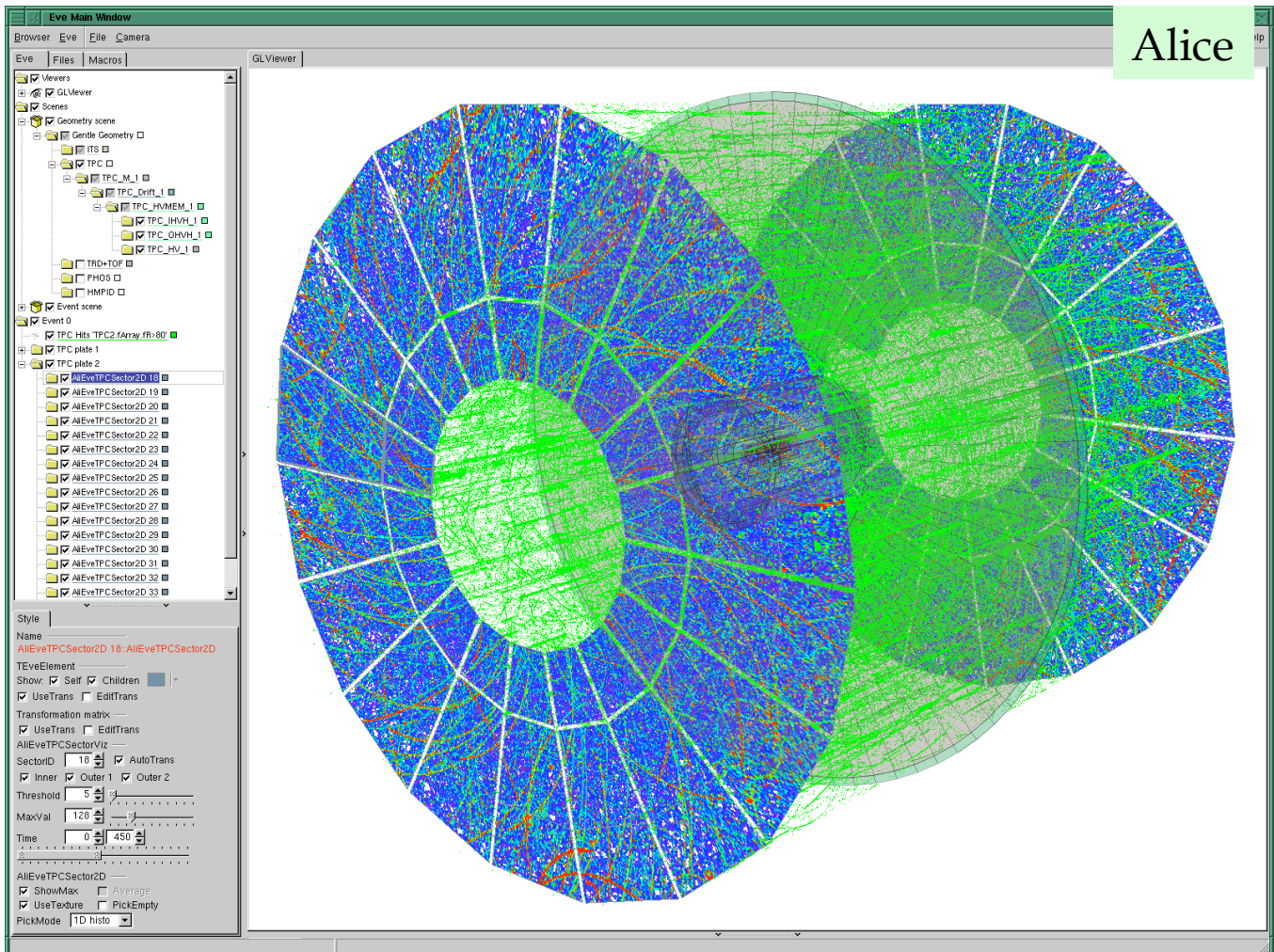
- **Time Projection Chamber (TPC)**
 - grande volume cilindrico di deriva
 - lettura della coordinata z con il tempo di deriva
 - sul fondo, camera MWPC a lettura catodica
 - lettura coordinate x,y
 - vantaggi
 - lettura tridimensionale
 - aiuta la “pattern recognition” in situazioni con grande densità di tracce
 - diffusione trasversale limitata dal campo magnetico
 - influenza la risoluzione in xy
 - poco materiale
 - svantaggi
 - lunghi cammini di deriva ($10\div 100 \mu s$)
 - sensibile a presenza di impurità elettronegative
 - inadatta a situazioni con rapida ripetizione delle interazioni

Introduzione ai rivelatori di particelle

camere a deriva

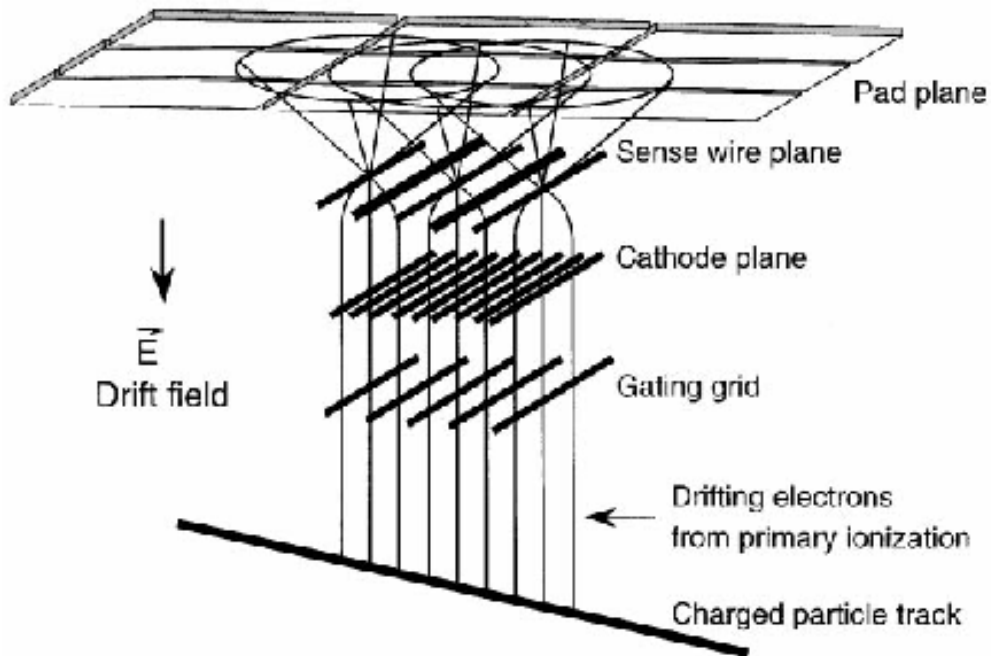


alcune realizzazioni di TPC molto grandi ($\approx 5\text{m}$)



Introduzione ai rivelatori di particelle

camere a deriva

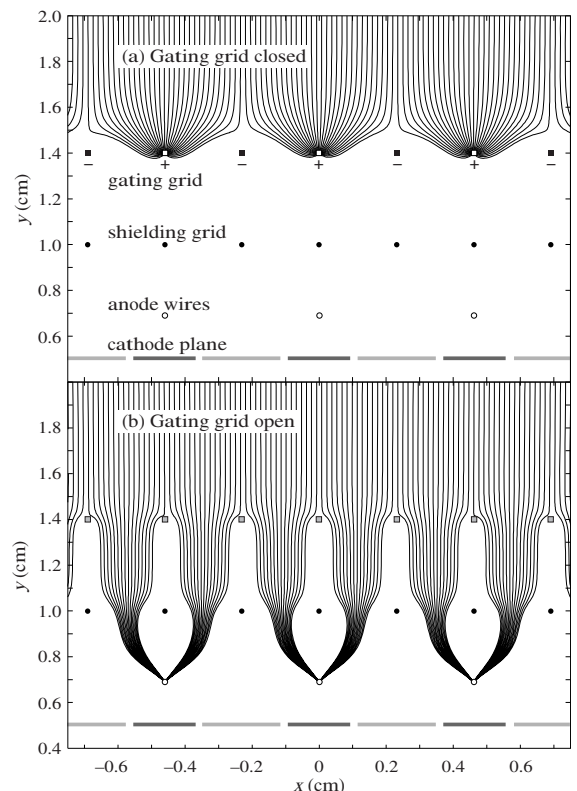


un problema nelle TPC:

- accumulo di carica spaziale generata dall'amplificazione che migra nella zona di drift generando distorsioni del campo

soluzione:

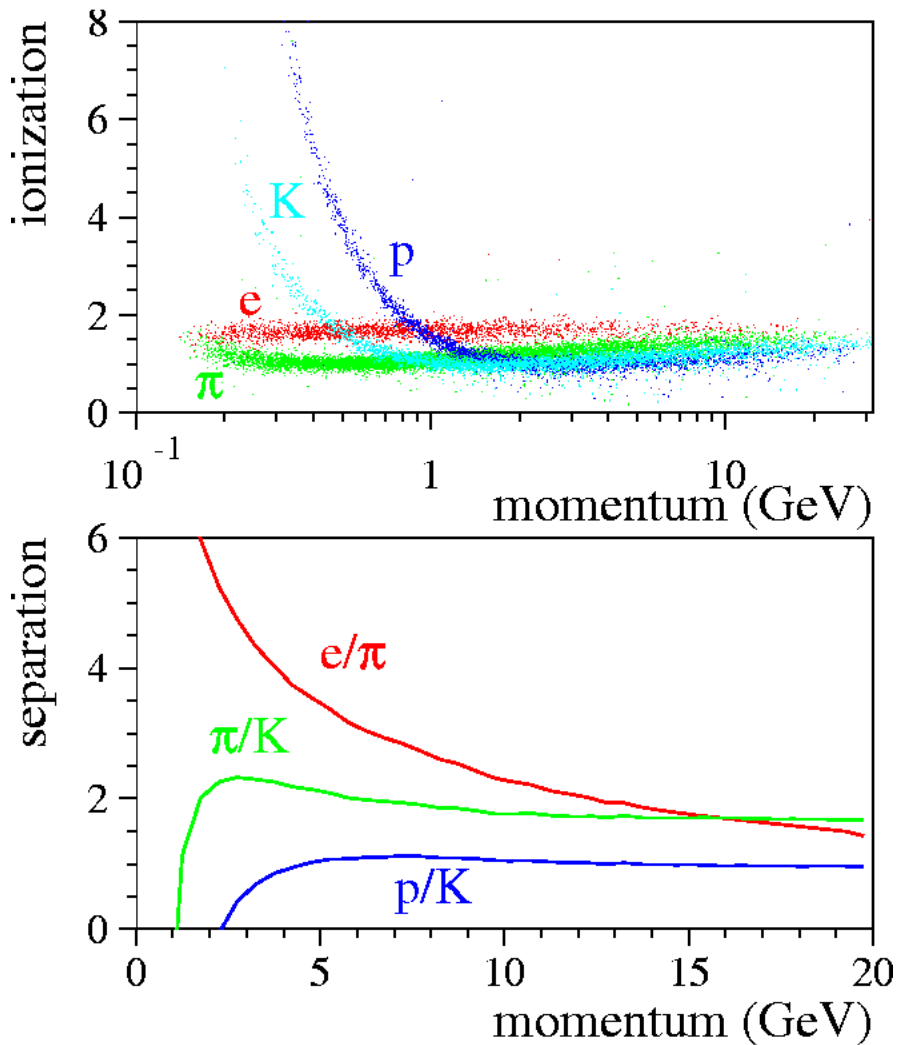
- gating grid, una griglia comandata dal trigger che rende il passaggio della carica possibile solo in presenza di un evento rilevante



Introduzione ai rivelatori di particelle

camere a deriva

ALEPH



TPC:

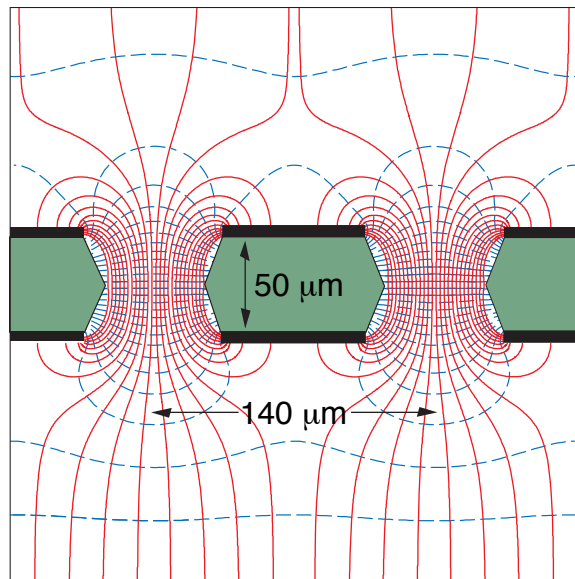
- in generale amplificazione nel gas moderata
 - $M \leq 10^4$
- rivelatori grandi, tracce lunghe
- molti campioni di ionizzazione per traccia
 - molti fili nella camera di lettura
- Adatte a misurare bene dE/dx

Introduzione ai rivelatori di particelle

nuovi rivelatori a gas

Rivelatori basati su microstrutture

- **GEM** (Gas Electron Multiplier)

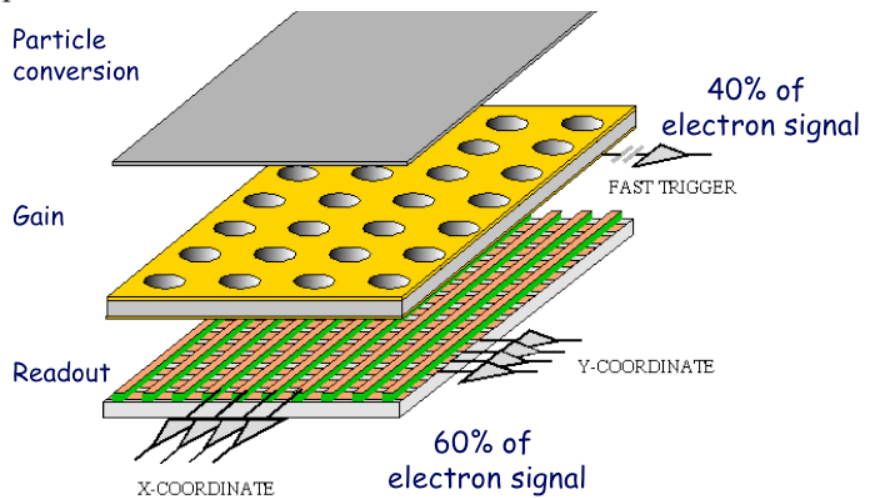
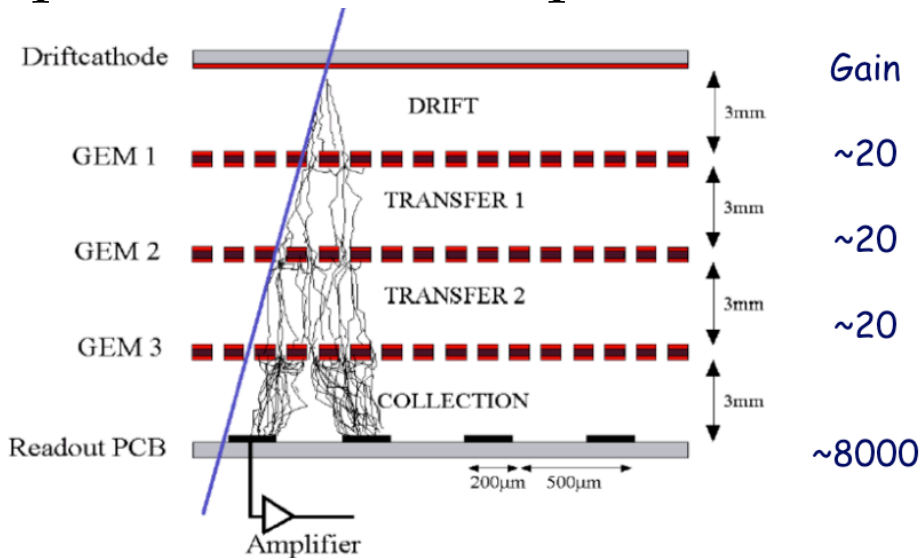


- foglio di kapton metallizzato dai due lati con microfori
 - tecniche litografiche
- HV tra i due piani metallici crea una zona di amplificazione con campi elettrici intensi
 - $400\div 500\text{V}$ su $50\ \mu\text{m}$
- possibile avere più strati di GEM con guadagni individuali modesti
 - minimizzare rischio di scariche

Introduzione ai rivelatori di particelle

nuovi rivelatori a gas

- possibili strutture per le GEM



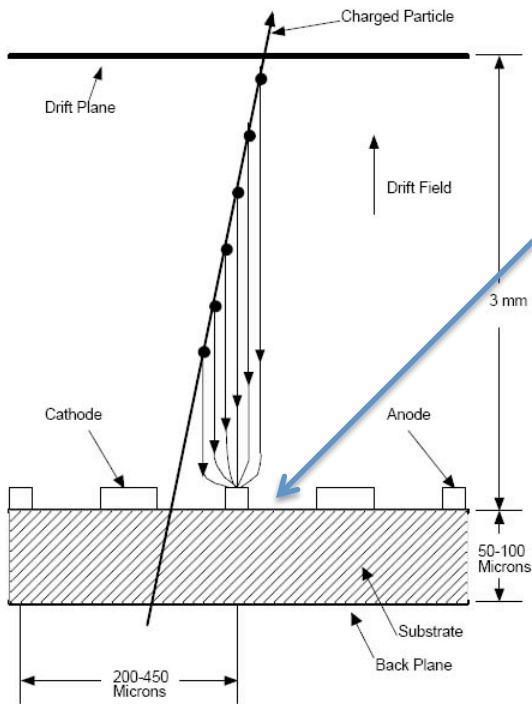
vantaggi delle GEM

- ottima risoluzione spaziale
 - fino a $30 \mu\text{m}$
- ottima risoluzione di tracce vicine
 - $500 \mu\text{m}$
- capacità di sopportare alte frequenze di conteggio
- gli ioni di amplificazione sono neutralizzati agli elettrodi del kapton

Introduzione ai rivelatori di particelle

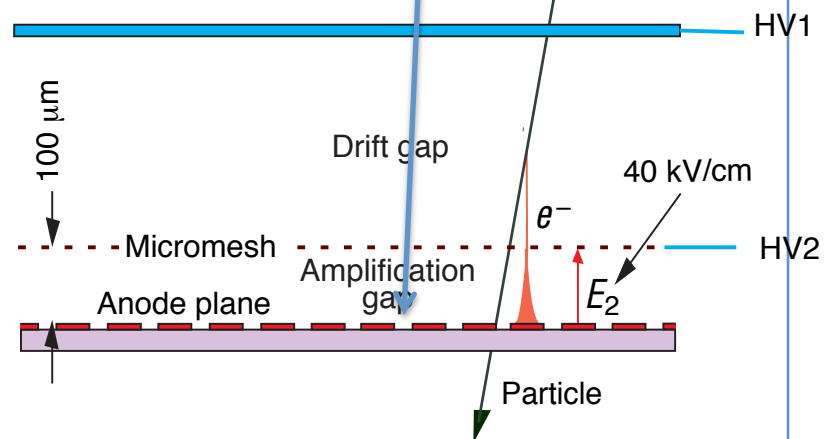
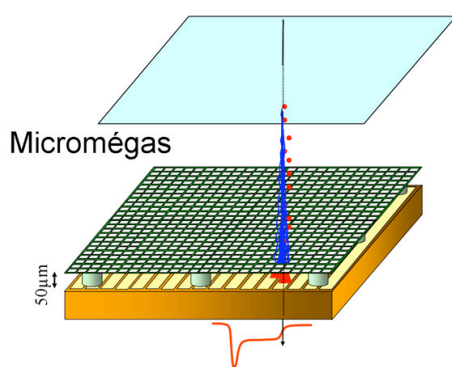
nuovi rivelatori a gas

- Altri rivelatori a gas con micropatterns



MSGD: campo di amplificazione tra strips di anodo e catodo

Micromegas: campo di amplificazione tra micromesh e strips di anodo



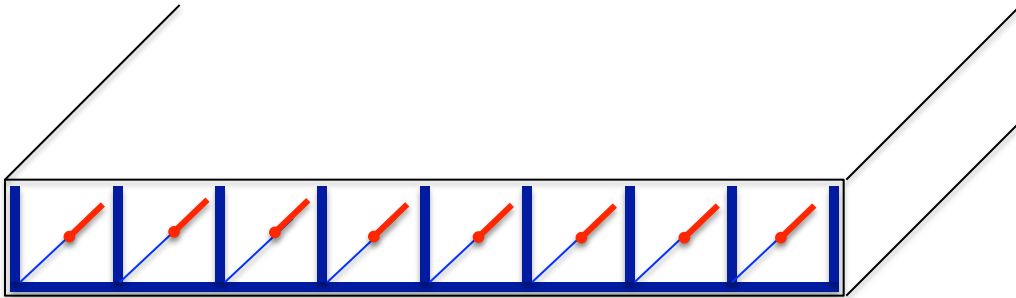
limited streamer

- **Regime di streamer limitato**

- campo elettrico intenso in una regione più ampia
 - fili “spessi” ($100\ \mu\text{m}$ invece di $20\ \mu\text{m}$)
 - oppure elettrodi piani paralleli vicini
- la nuvola ionica dovuta alla valanga non è più limitata in una piccola regione intorno al filo
- la nuvola ionica distorce il campo elettrico
 - limita il drift degli elettroni
 - diventano importanti gli effetti di ricombinazione
 - grande produzione di UV che generano ulteriore ionizzazione
 - si genera un filamento di plasma che porta ad uno streamer (scintilla)
- alte percentuali di quencher (isobutano) limitano la propagazione laterale della valanga
- elettrodi (catodi) resistivi limitano il campo elettrico dopo lo streamer
 - si limita la corrente della scarica

Introduzione ai rivelatori di particelle

tubi a streamer limitato

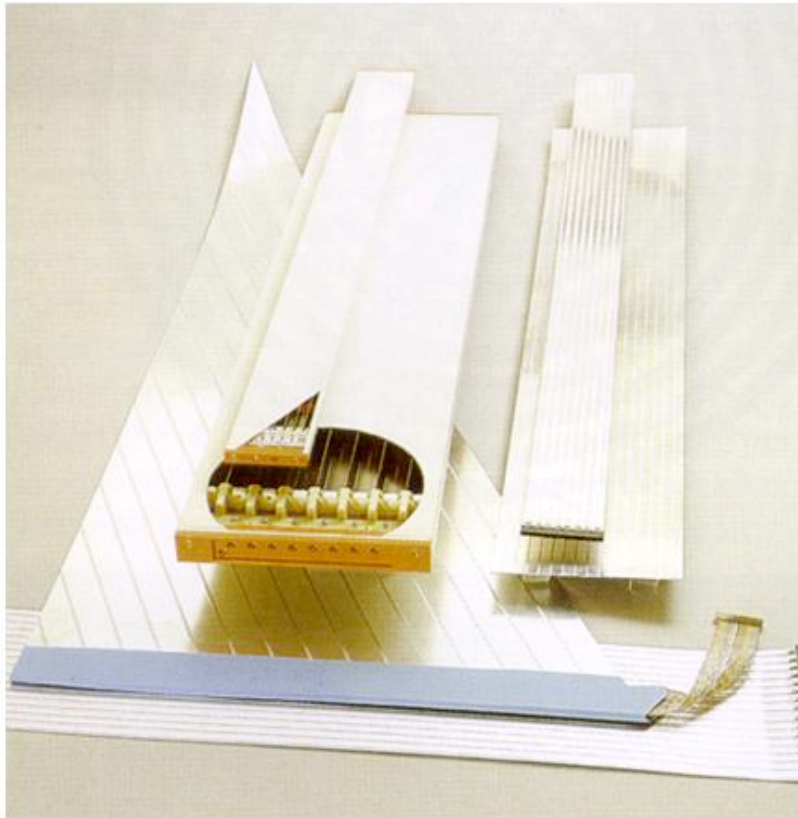


- Tecniche costruttive

- fili da $100 \mu\text{m}$
- passo 1 cm
- catodi formati da una struttura di plastica estrusa, grafitata all'interno per essere conduttiva
 - $\text{k}\Omega \div \text{M}\Omega / \square$
 - tipicamente pettine da 8 celle da 0.9cm con pareti da 1 mm
 - NB grafitatura su 3 lati della cella (coverless), un lato della cella isolante (involucro esterno)
- HV $4.5 \div 5\text{kV}$ (a STP)
- involucro esterno (camicia) di plastica estrusa
 - racchiude un "pettine" di tipicamente 8 celle (7, 16....)
 - gas tight
- costruzione economica
 - materiale plastico, produzione in serie
 - fino a 10m di lunghezza (rivelatore di muoni per ZEUS)
- gas, miscele tipiche
 - Argon - isobutano 30-70% (infiammabile)
 - CO_2 - Ar - isobutano 89-8-3% (non infiammabile)
 - notare l'alta percentuale di agenti quenching

Introduzione ai rivelatori di particelle

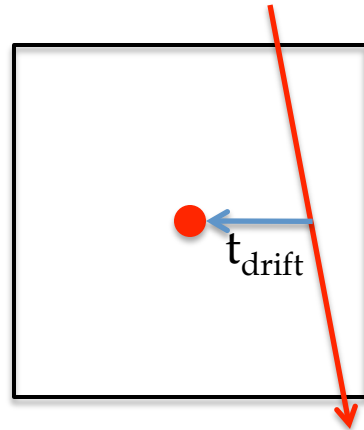
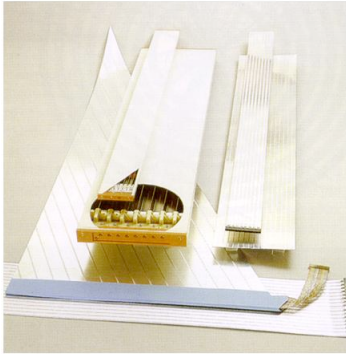
tubi a streamer limitato



- tecniche di lettura
 - ampio segnale ($\approx 30\text{pC}$)
 - strips esterne che leggono il segnale indotto in modo digitale
 - la grafite è resistiva e quindi trasparente a segnali veloci
 - è possibile posizionare elettrodi di lettura su entrambi i lati (lettura x-y)
 - risoluzione = $\text{pitch}/\sqrt{12}$ (tipicamente $\text{pitch} = 1\text{ cm}$)

Introduzione ai rivelatori di particelle

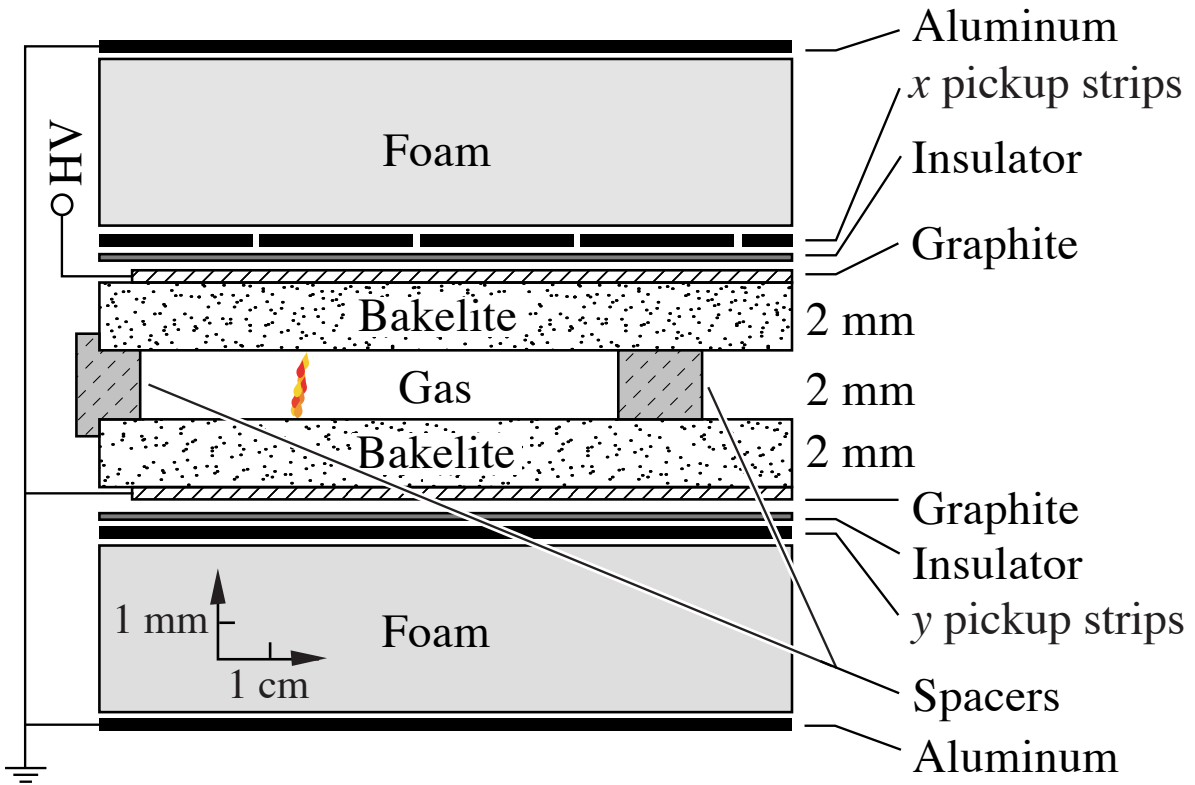
tubi a streamer limitato



- tecniche di lettura
 - strips esterne che leggono il segnale indotto in modo analogico
 - buona risoluzione **lungo il filo**
 - $\approx 500 \mu\text{m}$
 - » è necessaria grafitatura molto omogenea per non distorcere il profilo di carica
 - nell'altra coordinata la risoluzione è determinata dal passo dei fili
 - lo streamer avviene sul filo
 - **lettura del tempo di deriva nella coordinata ortogonale al filo**
 - ottime prestazioni
 - tempo di deriva corto
 - 80ns per uno spazio di deriva massimo di 4mm
 - risoluzione $\approx 200 \mu\text{m}$
 - è necessario leggere il segnale sul filo
 - complicazione delle capacità di disaccoppiamento dall'alta tensione

Introduzione ai rivelatori di particelle

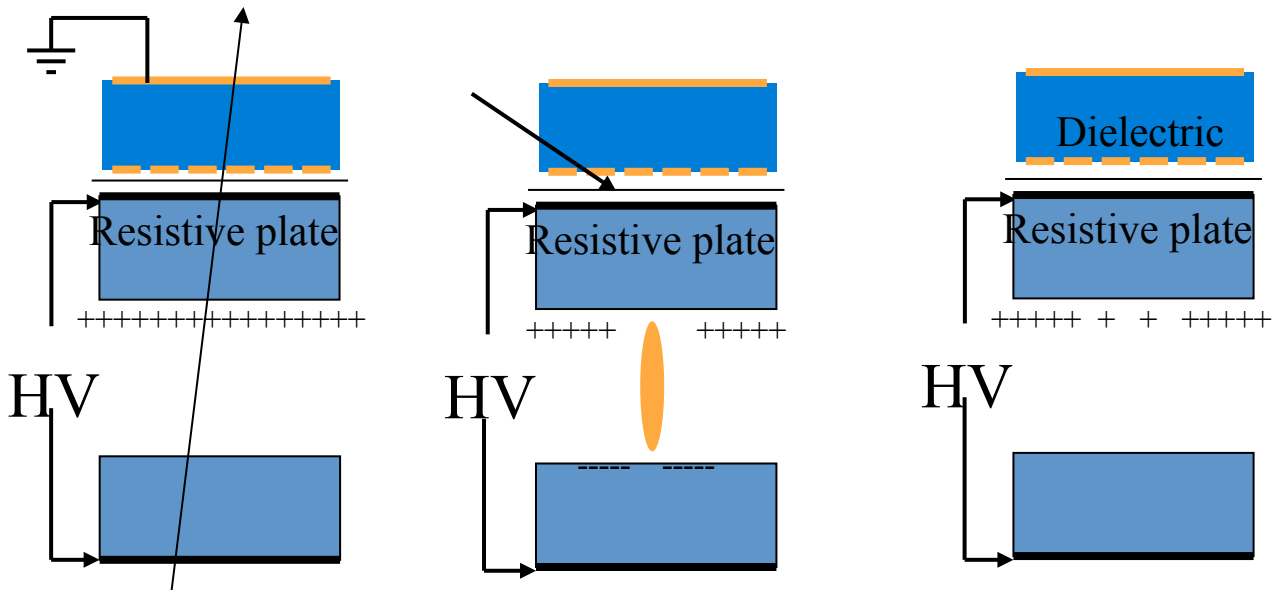
Resistive Plate Chamber



- lastre parallele con alta resistività
 - bachelite, $\approx 10^{11} \Omega / \square$
 - fino a 2×2m
 - vetro resistivo
 - 50cm×50cm
 - distanza tra le lastre 2mm
 - HV 8÷10kV
- campo molto intenso, la valanga avviene su tutta la gap
- i catodi sono trasparenti, segnale letto da elettrodi segmentati esterni
 - non c'è una struttura a fili, possibile leggere entrambe le coordinate con la stessa risoluzione
 - lettura a strips x-y o a pads (grandi pixels)

Introduzione ai rivelatori di particelle

RPC



- **funzionamento**

- la scarica avviene localmente lungo la ionizzazione della traccia

- l'alta resistività dei catodi "spegne" localmente la tensione limitando spazialmente e temporalmente la scarica

- a seconda della tensione e del gas due regimi

- **streamer** (guadagno 10^7)

- segnale molto ampio ($100 \div 1000 \text{ pC}$)

- lungo tempo di recupero (locale) dopo una scarica, capacità limitata di sopportare alti flussi di particelle

- » $1 \div 100 \text{ Hz/cm}^2$ a seconda della resistività

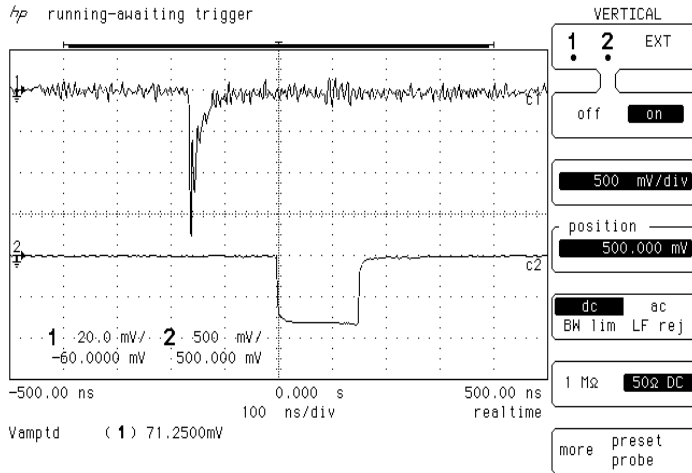
- **valanga** (guadagno 10^6)

- segnale di 10 pC

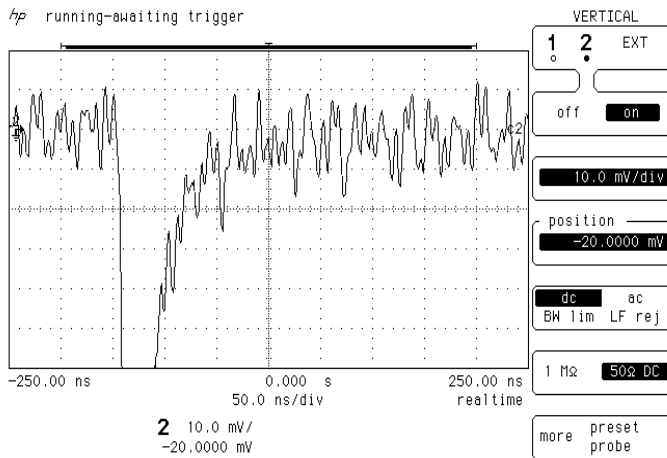
- flussi massimi di 1 kHz/cm^2

Introduzione ai rivelatori di particelle

RPC



Esempio del segnale di valanga in RPC



Esempio del segnale streamer in RPC

Introduzione ai rivelatori di particelle

RPC

- Gas
 - per il regime streamer si usano normali miscele con buone capacità di quench
 - 30% Ar, 69% isobutano, 1% freon
 - per il regime di valanga
 - 95% C₂H₂F₄ (tetrafluoroetano)
 - buona produzione di ioni primari, ma elettronegativo, limita la valanga ed evita lo streamer
 - 5% Isobutano (quench UV)
 - <1% SF₆
 - ulteriore gas elettronegativo per controllare gli elettroni
- Prestazioni degli RPC
 - vantaggi
 - molto veloci (non c'è drift)
 - risoluzioni in tempo ≤ 1ns
 - possono sostituire gli scintillatori per usi di trigger/veto
 - possibilità di lettura bidimensionale
 - economici (materiali semplici)
 - possibile costruire grandi superfici
 - svantaggi
 - capacità limitata di sostenere alti flussi
 - sistema gas complesso in modo valanga
 - necessità di ricircolo a causa dei gas usati
 - necessità di umidificazione per mantenere la resistività della bachelite
 - vita limitata (integrale del flusso di particelle) nel caso di uso in modo streamer

Introduzione ai rivelatori di particelle

camere a ionizzazione a liquido

- **Gas nobili liquidi (Ar, Xe)**
 - vantaggio: densità maggiore
 - fattore ≈ 1000
 - 10^5 ioni/cm in Ar
 - svantaggi
 - ionizzazione a valanga praticamente impossibile in liquido
 - segnale piccolo
 - serve criogenia
 - 83K per LAr
 - 166K per LXe
 - impurità elettronegative
 - lunghezza di assorbimento degli elettroni λ_{abs} deve essere maggiore della distanza tra gli elettrodi
 - servono impurità $< 1\text{ppm}$ per qualche millimetro di drift (**calorimetri a LAr**)
 - per lunghi drift si richiedono impurità (ossigeno) $< 1\text{ppb}$

Introduzione ai rivelatori di particelle

camere a ionizzazione a liquido

- Gas nobili liquidi (Ar, Xe)
 - rivelatori a doppia fase
 - fase liquida dove le particelle ionizzano, e gli elettroni vengono fatti derivare in campo E
 - fase gassosa (sopra) con camere proporzionali
 - scintillazione
 - i gas nobili emettono anche luce quando vengono eccitati da una particella carica
 - diseccitazione di atomi eccitati
 - emissione di luce nella ricombinazione ione/elettrone
 - si possono costruire rivelatori che utilizzano entrambe le tecniche

