

Detector technologies: MPGD

Marco Schioppa

Dipartimento di Fisica UNICAL

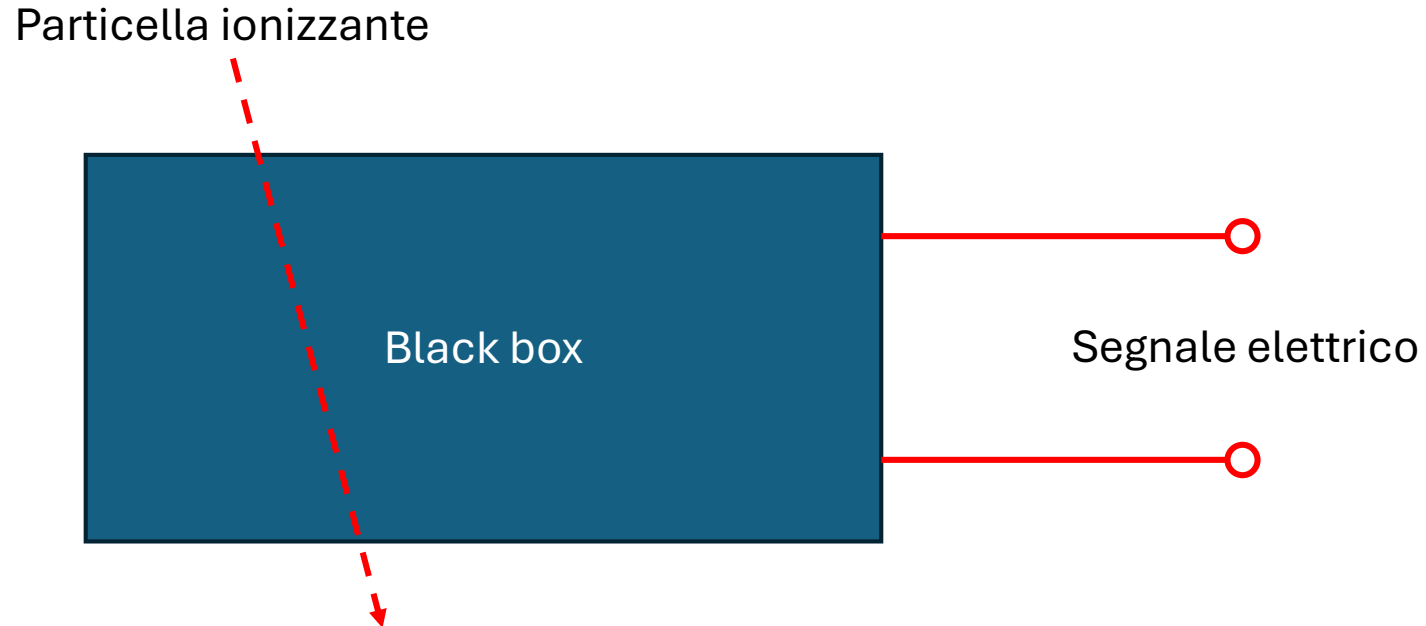
<https://agenda.infn.it/event/41973/timetable/?view=standard>

In evidenza

- Introduzione alla rivelazione di particelle
- Esempi di Micro Pattern Gaseous Detectors
 - Micro mesh gas system (MM)
 - Electron gas multiplier (GEM)
- Conclusioni

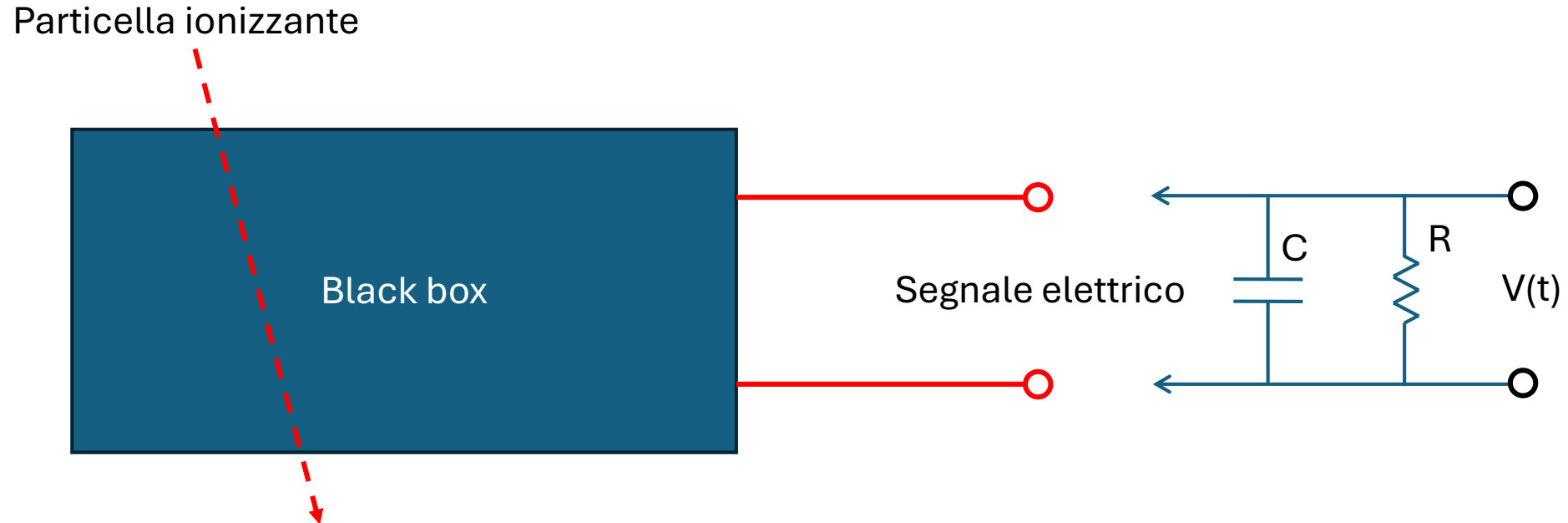
Qualcosa la impariamo dai docenti,
qualcos'altro la impariamo dai libri
poi ci sono cose che impariamo solo
facendo

Un rivelatore di particelle e' un trasduttore d'energia



In un rivelatore a gas la particella ionizzante produce nella gap coppie ione-elettrone. Un campo elettrico esterno separa le cariche: elettroni si dirigono verso l'anodo mentre gli ioni positivi verso il catodo.

Schema elettrico di un rivelatore

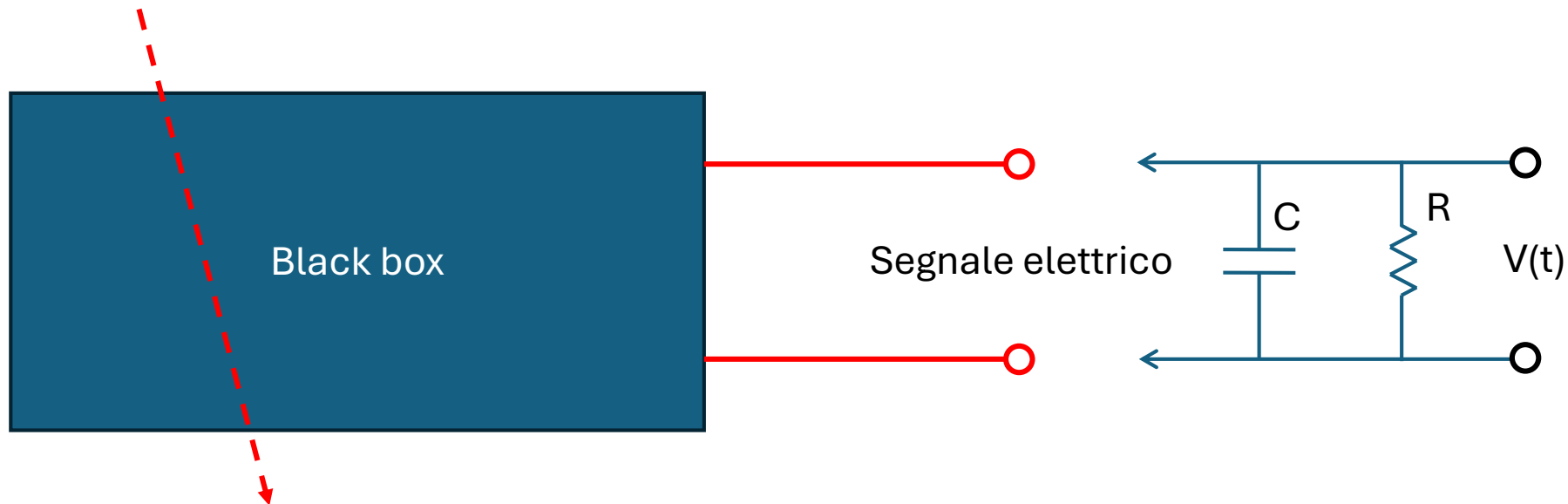


C e' la capacit  elettrica del rivelatore, dei cavi di collegamento e del circuito di preamplificazione

R e' il carico su cui leggiamo il segnale elettrico (i.e. oscilloscopio)

Rivelatori a gas a risposta integrale e ad impulso singolo

Particella ionizzante

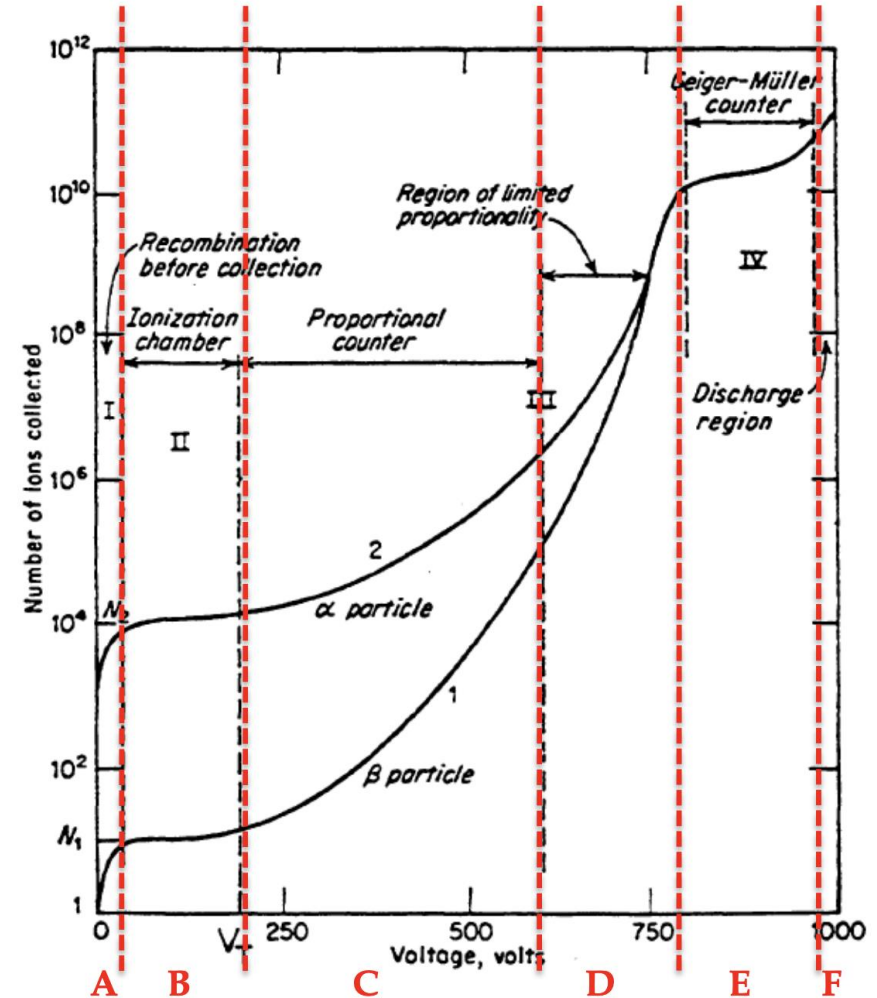


Se il campo elettrico esterno E e' appena sufficiente ad evitare la ricombinazione tra ioni ed elettroni il rivelatore viene usato per misurare la quantità di radiazione per unità di tempo che lo investe (risposta integrale oppure RC infinito); viceversa se il campo E e' tanto intenso da fornire agli elettroni energia da ionizzare ulteriormente il rivelatore e' capace di individuare la singola particella (sempre che il flusso di particelle non sia troppo grande e che il rivelatore sia abbastanza pronto e veloce)

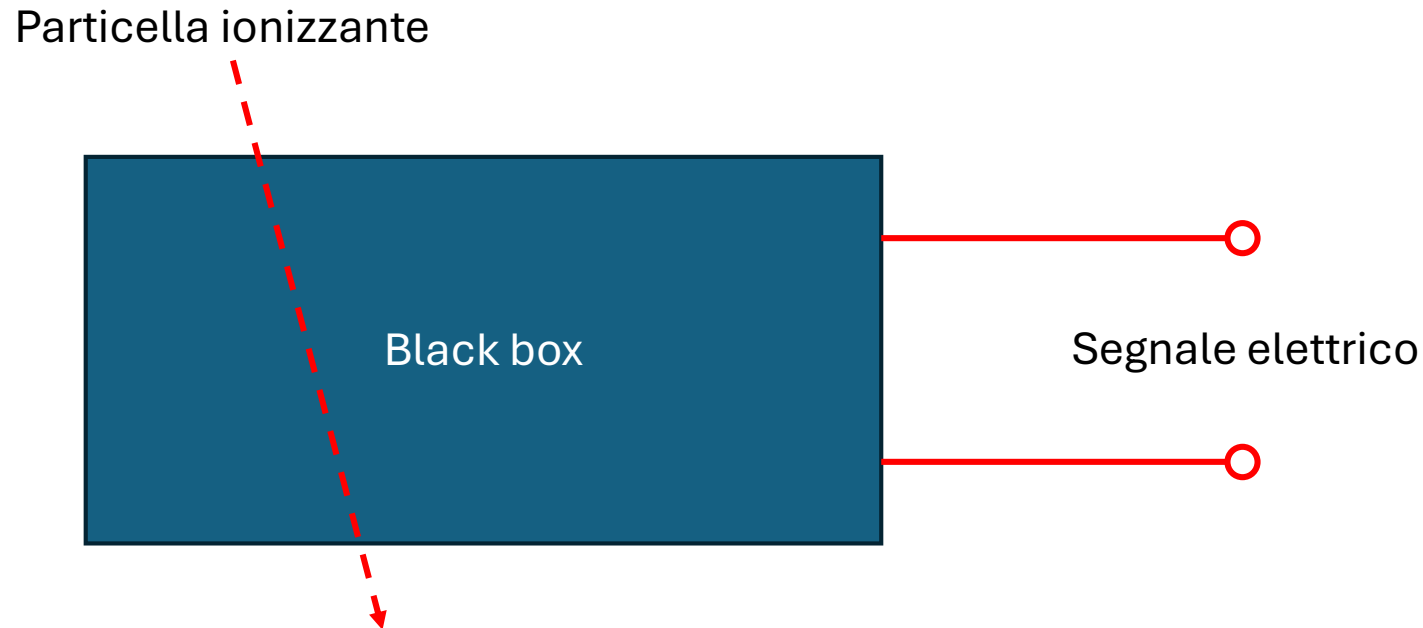
Rivelatori a gas a risposta integrale e ad impulso singolo

Quanto detto si riassume in questo grafico

- a) Ricombinazione (inutile per la rivelazione)
- b) Si raccoglie solo la carica di ionizzazione
- c) Gli elettroni acquistano energia dal campo e possono ionizzare a loro volta. Il segnale che se ne ricava e' proporzionale all'energia rilasciata dalla particella incidente nel mezzo attivo del rivelatore (gas in questo caso)
- d) Proporzionale limitato
- e) Geiger (basta un elettrone per generare il segnale)
- f) Scarica (indesiderata in generale; era usata nei rivelatori a scarica e la tecnica di rivelazione era fotografica)

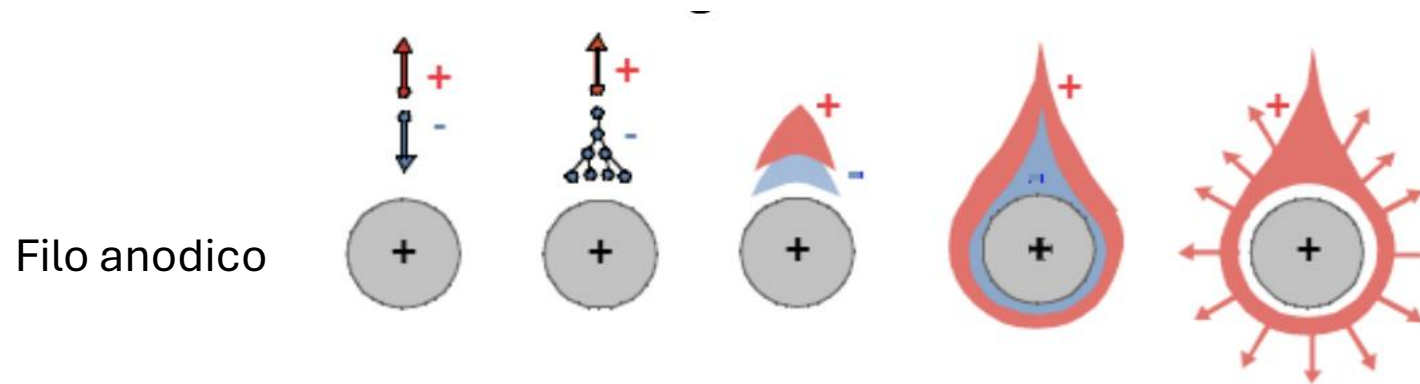


Moltiplicazione in gas



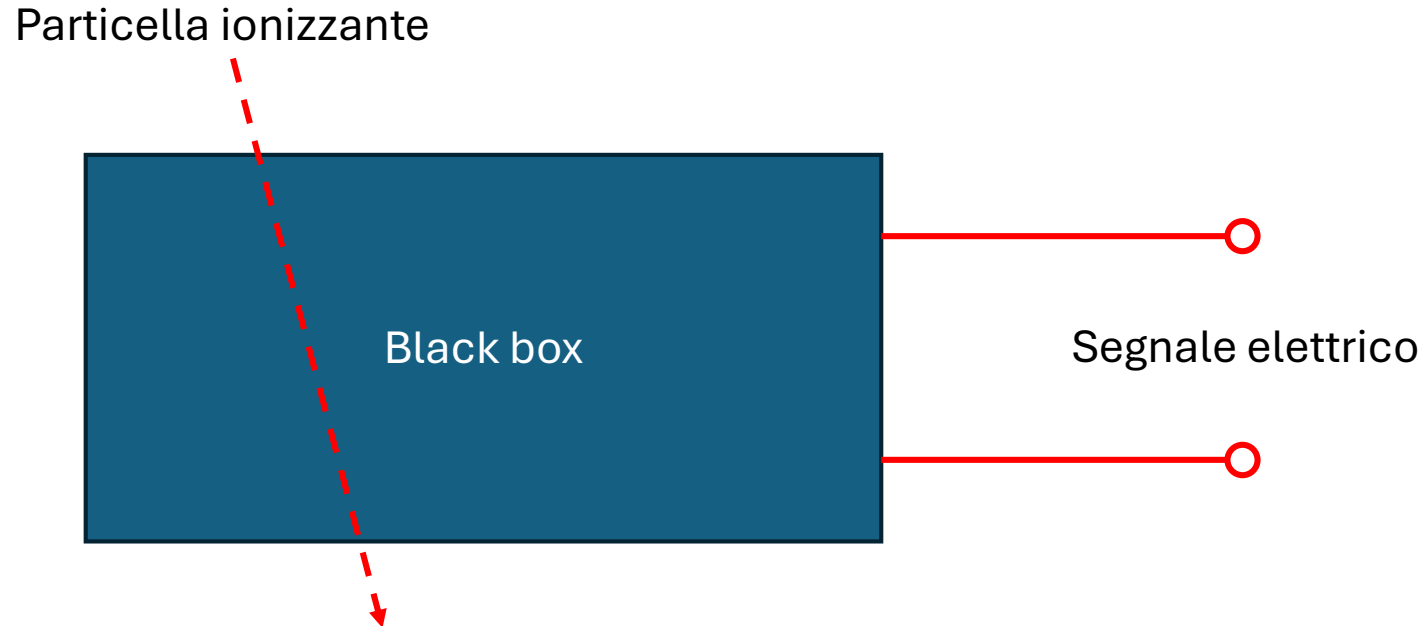
Se il campo elettrico esterno è sufficientemente intenso 5kV/mm in un gas a pressione atmosferica, gli elettroni acquistano sufficiente energia cinetica per ionizzare a loro volta. Si origina una rapida moltiplicazione e se l'elettrone attraversa nel gas «G» una distanza «x» il guadagno «M» è pari a $M = e^{\alpha x}$, essendo α l'inverso del cammino libero medio di ionizzazione nel gas «G» (noto in letteratura come primo coefficiente di Townsend)

Rivelatori a gas con amplificazione su filo



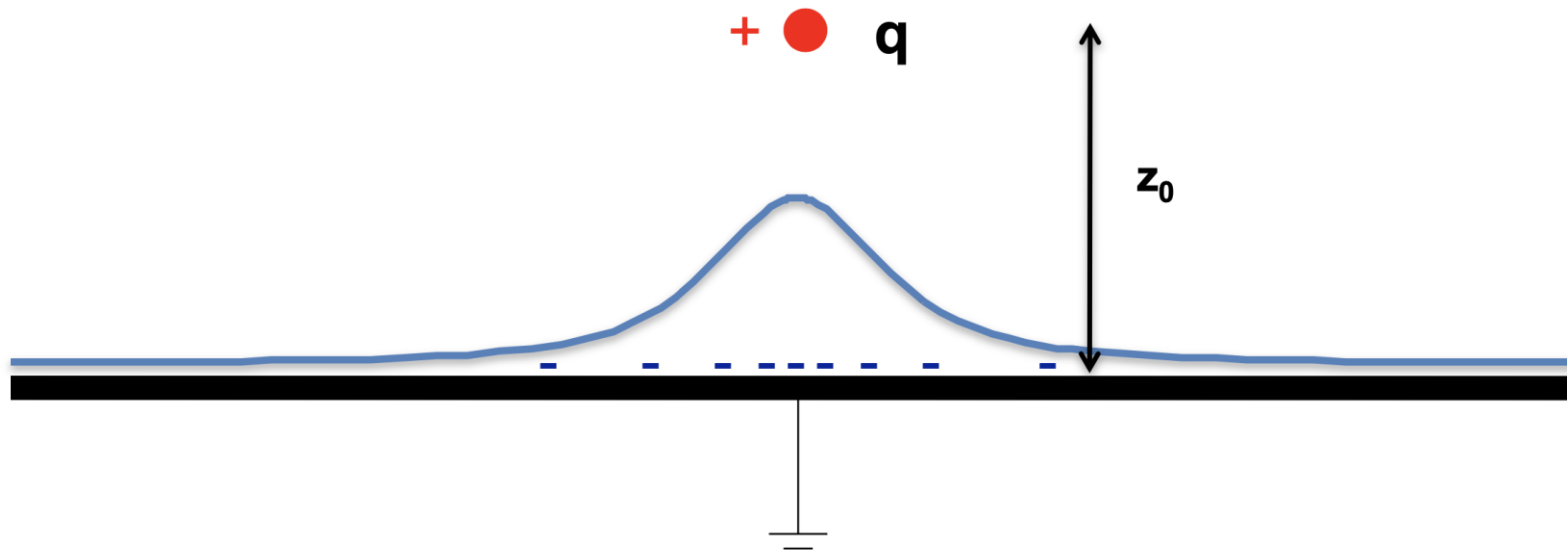
- Il processo di valanga comincia molto vicino all'anodo
- per fili di $20\mu\text{m}$ la carica è generata in gran parte entro $\approx 100\mu\text{m}$ dal filo
- La velocità di deriva degli elettroni vale circa $50\mu\text{m}/\text{ns}$ quindi in qualche ns gli elettroni sono raccolti dal filo, e rimane una nuvola positiva di ioni che si allontana verso il catodo
- Il segnale è dato dal **lavoro** fatto dal generatore per **spostare** le cariche nel campo elettrico (il percorso fatto dagli elettroni è minimo e il contributo degli elettroni al segnale è trascurabile)

Formazione del segnale elettrico nel gas



I segnali elettrici nei rivelatori di particelle sono dovuti all'induzione tramite cariche in **movimento**. Una volta che le cariche sono arrivate agli elettrodi, i segnali sono "finiti".

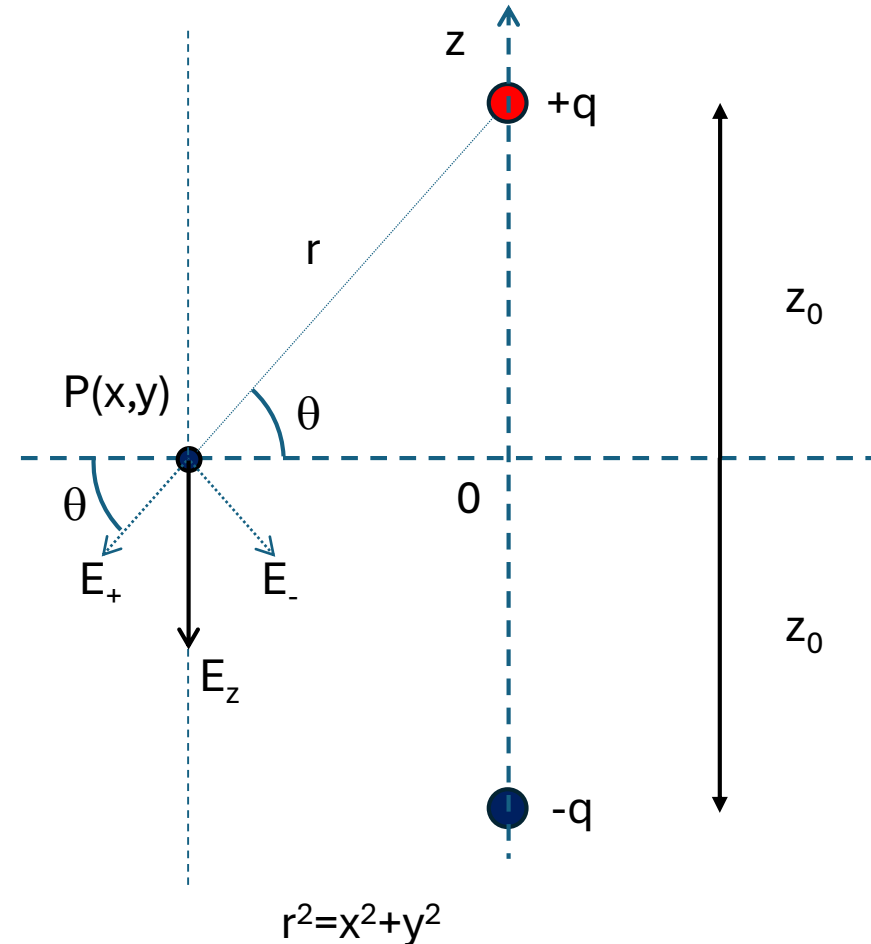
Il fenomeno dell'induzione elettrica



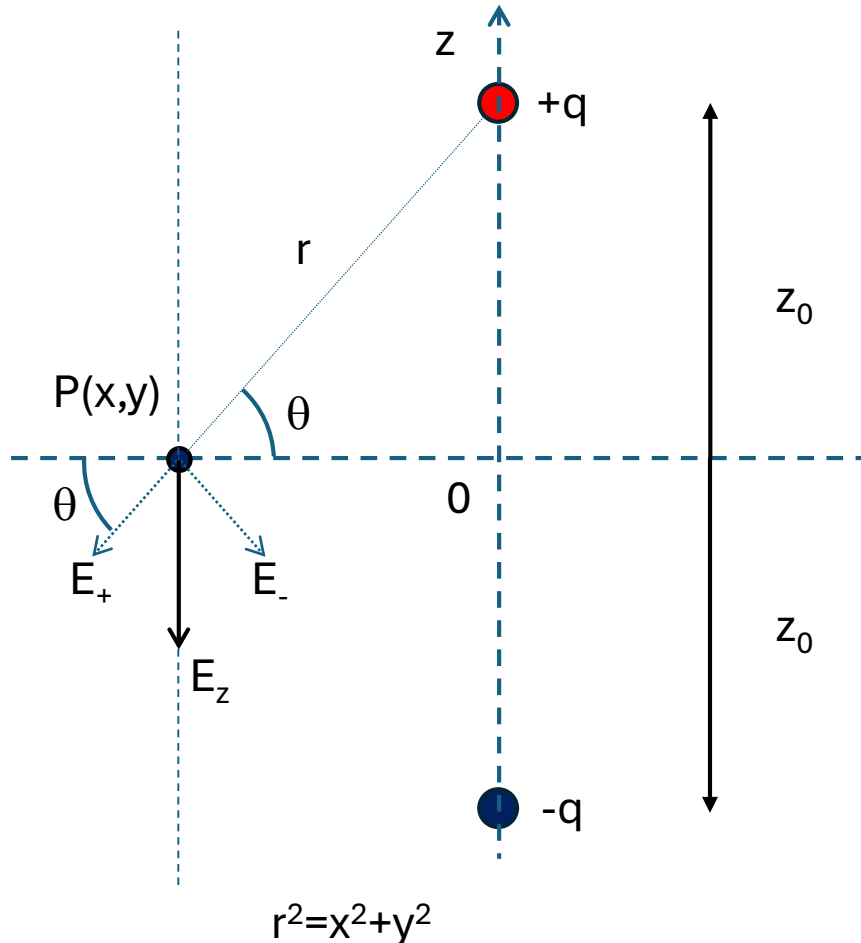
Una carica elettrica puntiforme positiva, posta alla distanza z_0 da un piano metallico messo a massa, attrae cariche di segno opposto sulla superficie del piano stesso. Se la particella non si muove non c'è corrente elettrica verso massa. Poiché la carica indotta è il nostro cavallo di Troia dobbiamo fare lo sforzo di andare più in dettaglio.

Il fenomeno dell'induzione elettrica: metodo della carica immagine

Questo metodo consente di calcolare la densità di carica sulla superficie del conduttore (calcolo affatto semplice!!!) con uno **stratagemma**. Si sfrutta il fatto che la superficie di un conduttore è equipotenziale. In particolare se il conduttore è a massa allora la superficie è a potenziale nullo. Si sostituisce il conduttore con un piano e si sceglie una configurazione di cariche da sistemare sotto al piano tale che il potenziale sul piano sia nullo. In questo caso basta aggiungere una carica di segno opposto nella posizione speculare



Il fenomeno dell'induzione elettrica: metodo della carica immagine



$$E_+ = K q r / r^3$$

$$E_- = K q r / r^3$$

$$K = 1 / (4\pi\epsilon_0)$$

$$E_x = E_y = 0$$

$$E_z = -2E_+ \sin\theta$$

$$\sin\theta = z_0 / r$$

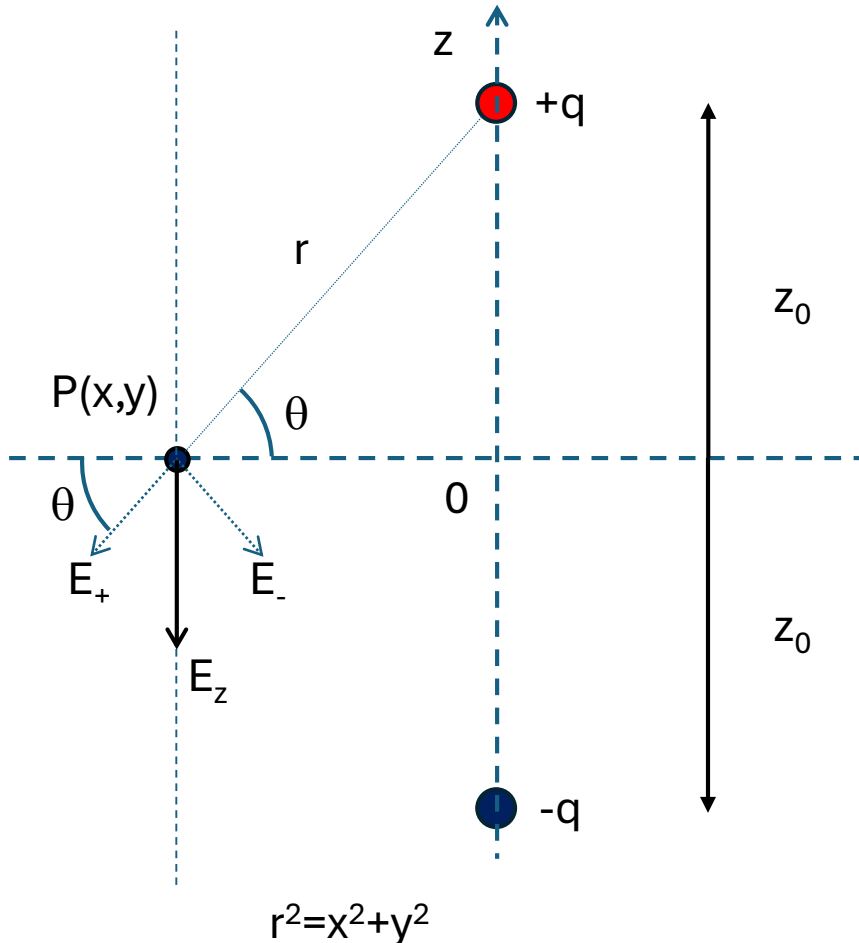
$$E_z = -2K q z_0 / (x^2 + y^2 + z_0^2)^{3/2}$$

$$E_z = -q z_0 / [2\pi\epsilon_0 (x^2 + y^2 + z_0^2)^{3/2}] = -q z_0 / [2\pi\epsilon_0 (r^2 + z_0^2)^{3/2}]$$

Si sfrutta il teorema di Gauss per calcolare il flusso del vettore campo elettrico uscente da una superficie anulare di raggio interno r e raggio esterno $r+dr$, centrato in O , e' pari alla carica dQ contenuta in questo anello divisa per ϵ_0

$$-E_z dA = dQ / \epsilon_0$$

Il fenomeno dell'induzione elettrica: metodo della carica immagine



La densità superficiale di carica σ è per definizione

$$E(r) \varepsilon_0 = dQ/dA = \sigma(r)$$

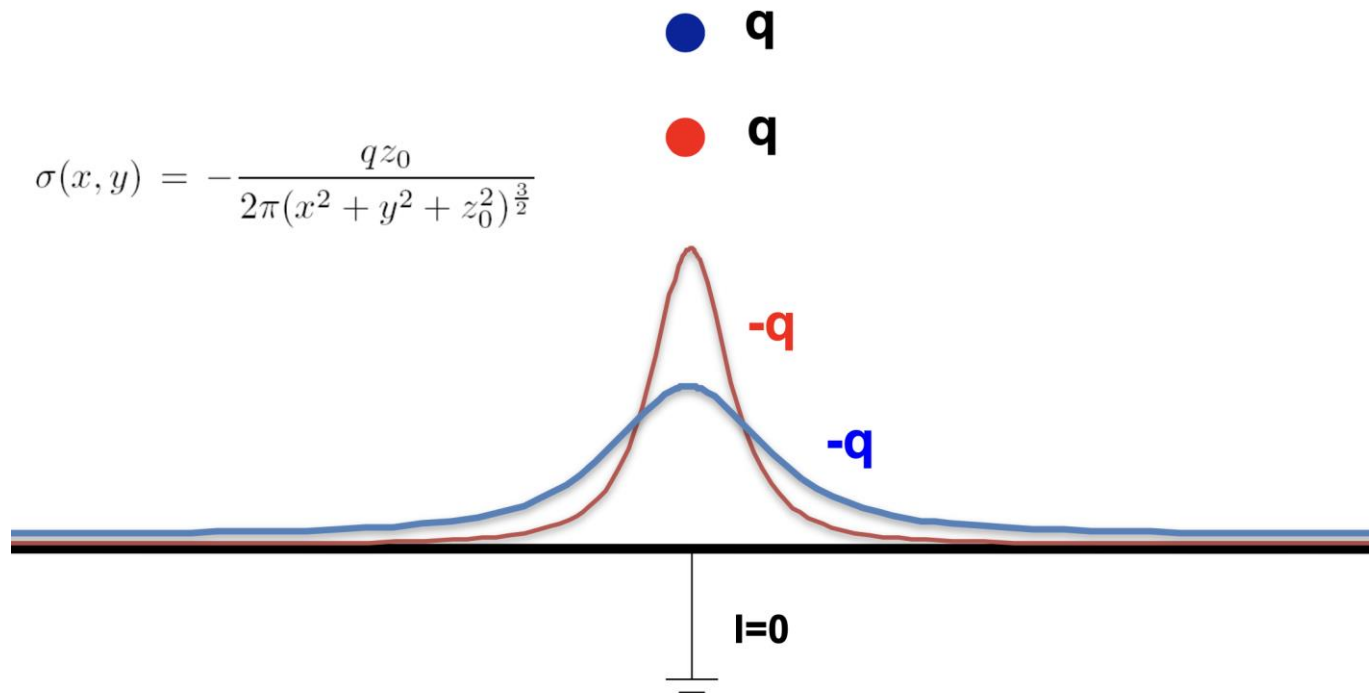
Cioè

$$\sigma(r) = -qz_0/[2\pi (r^2+z_0^2)^{3/2}]$$

La carica totale indotta sulla superficie del conduttore si ottiene integrando su tutti gli anelli sottili dal più piccolo ($r=0$) a quello più grande ($r=\infty$)

$$Q = -q_0$$

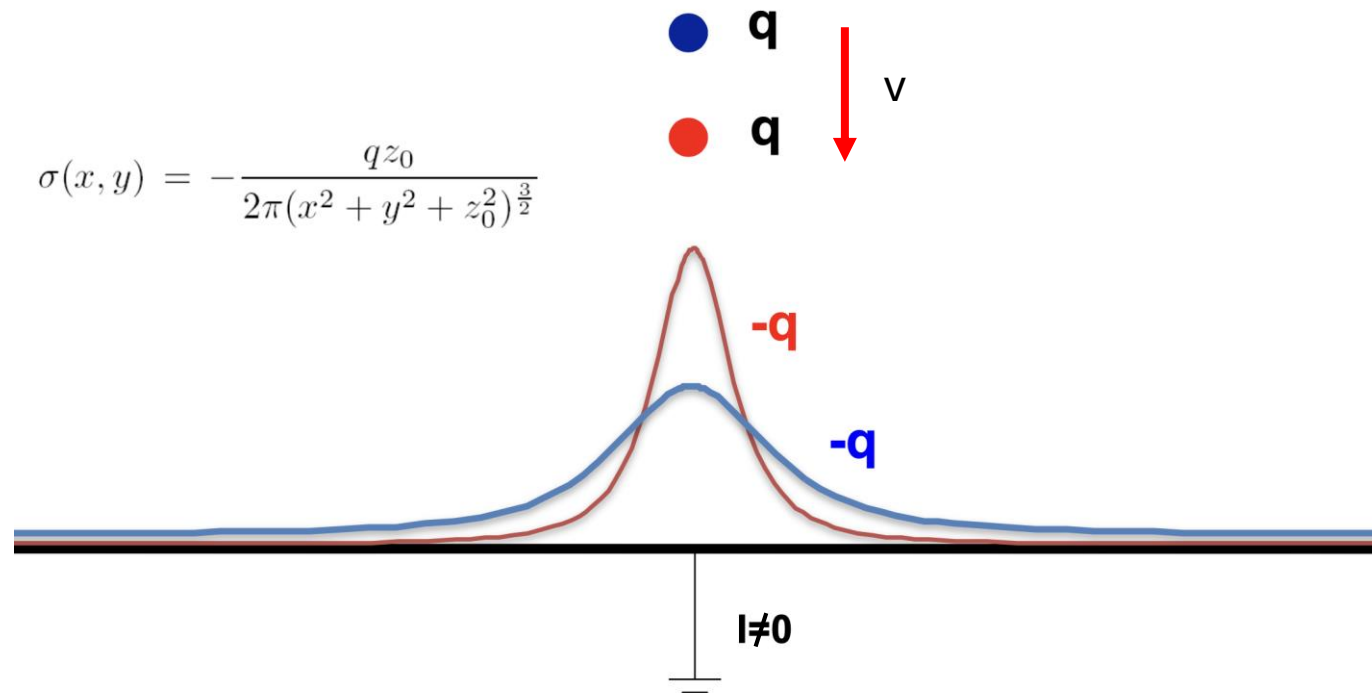
Il fenomeno dell'induzione elettrica



La densità di carica aumenta (diminuisce) avvicinando (allontanando) la carica q alla superficie. Nel caso elettrostatico la corrente è sempre nulla.

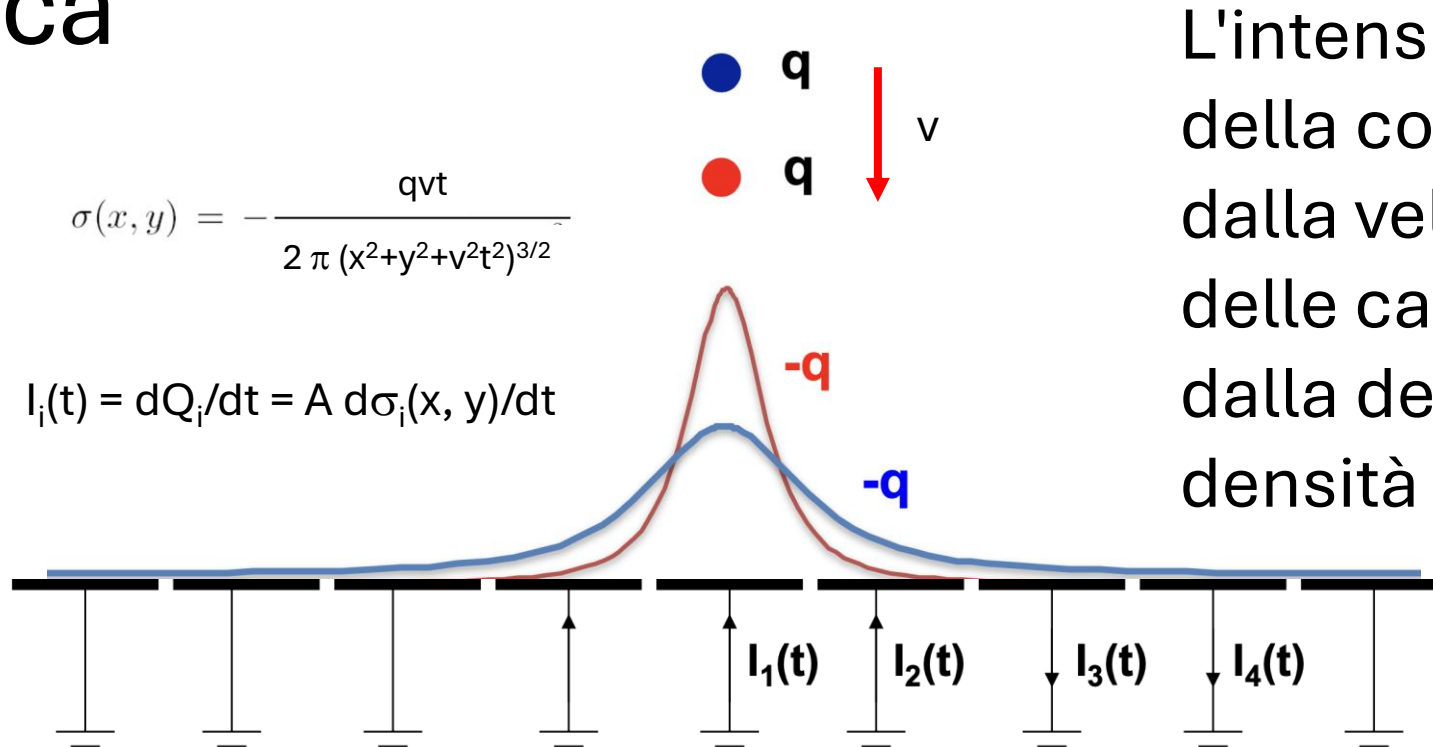
Ma cosa succede se la carica q si muove in direzione ortogonale alla superficie metallica?

Carica q in movimento



La densità di carica indotta sulla superficie $\sigma(r)$ cambia con $z_0(t) = vt$ e inizia a fluire una corrente verso massa

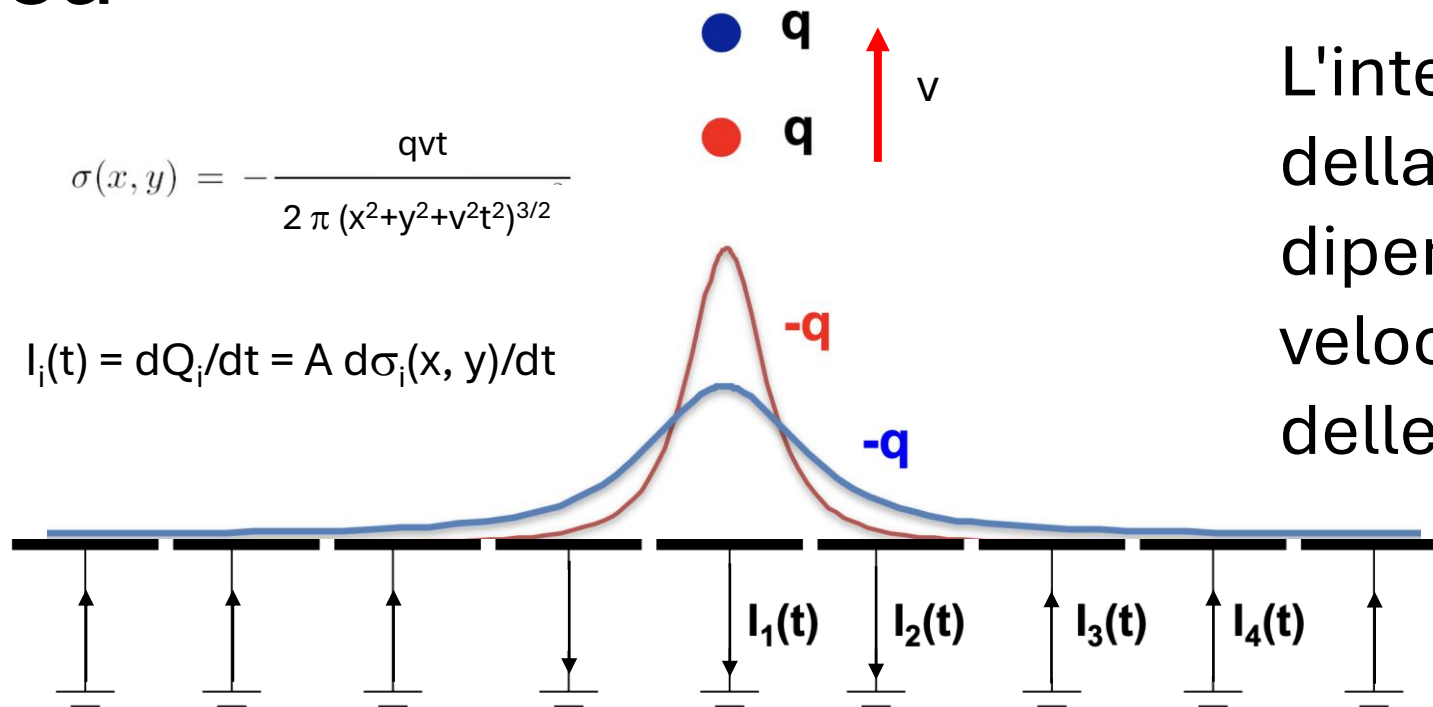
Carica q in movimento verso la superficie metallica



L'intensità e il segno della corrente dipende dalla velocità di deriva delle cariche nel gas e dalla derivata della densità di carica

Se il piano conduttore e' segmentato in strisce di larghezza w, ciascuna vedrà una corrente diversa. Più grande dove la densità cresce più rapidamente nel tempo

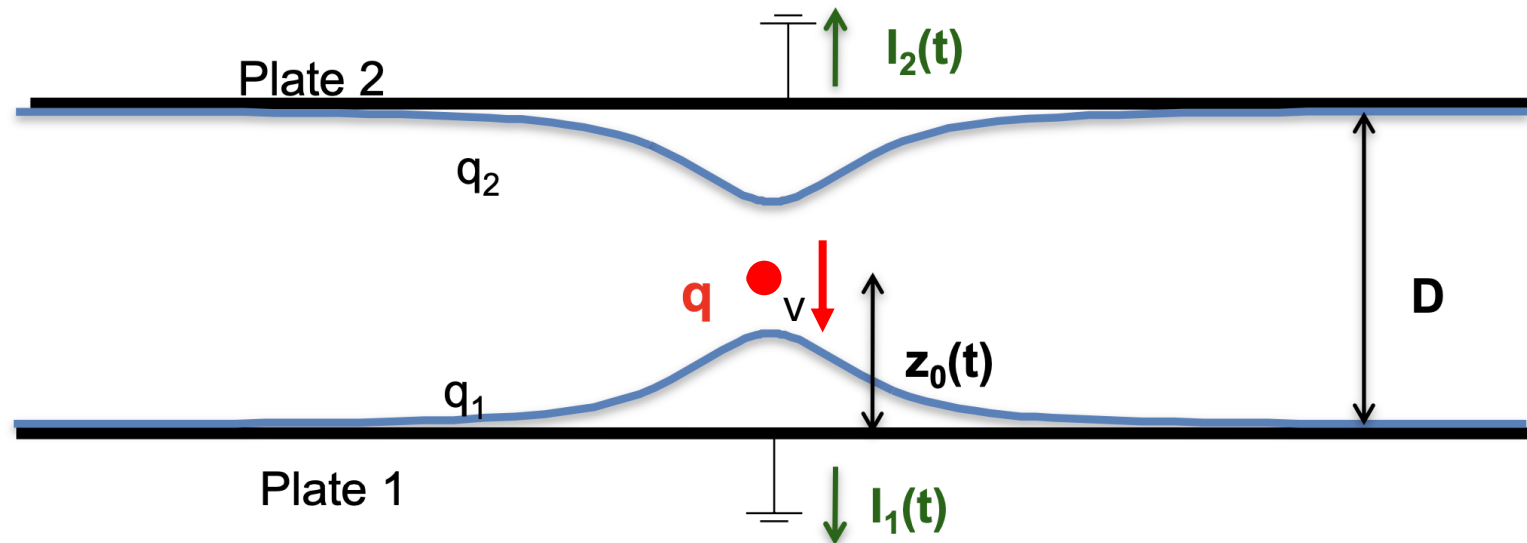
Carica q in allontanamento dalla superficie metallica



L'intensità e il segno della corrente dipende dalla velocità di deriva delle cariche nel gas

Se il piano conduttore e' segmentato in strisce di larghezza w, ciascuna vedrà una corrente diversa. Più grande dove la densità e' maggiore

Carica q in movimento in una camera piana

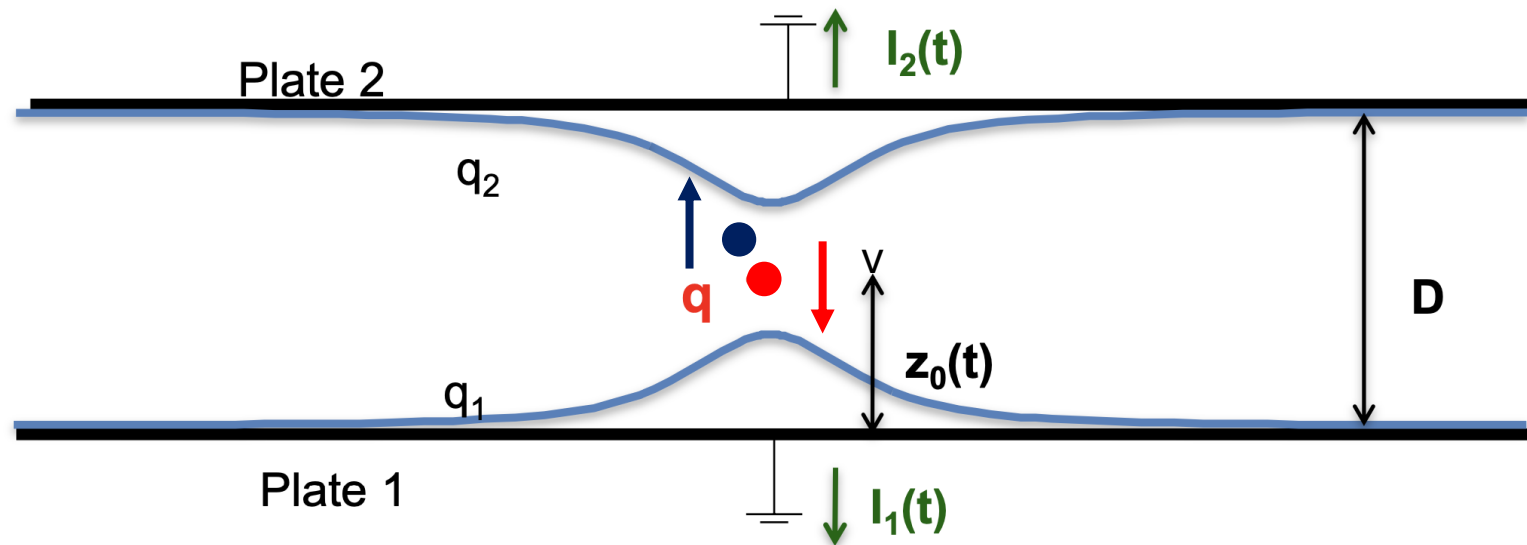


Viaggiando verso il piano inferiore la corrente $I_1(t)$ cresce mentre quella sull'altro piano decresce. Se la carica q è positiva la corrente $I_1(t)$ è negativa mentre quella $I_2(t)$ è positiva.

$$q_1(t) + q_2(t) = -q$$

$$I_1(t) + I_2(t) = 0$$

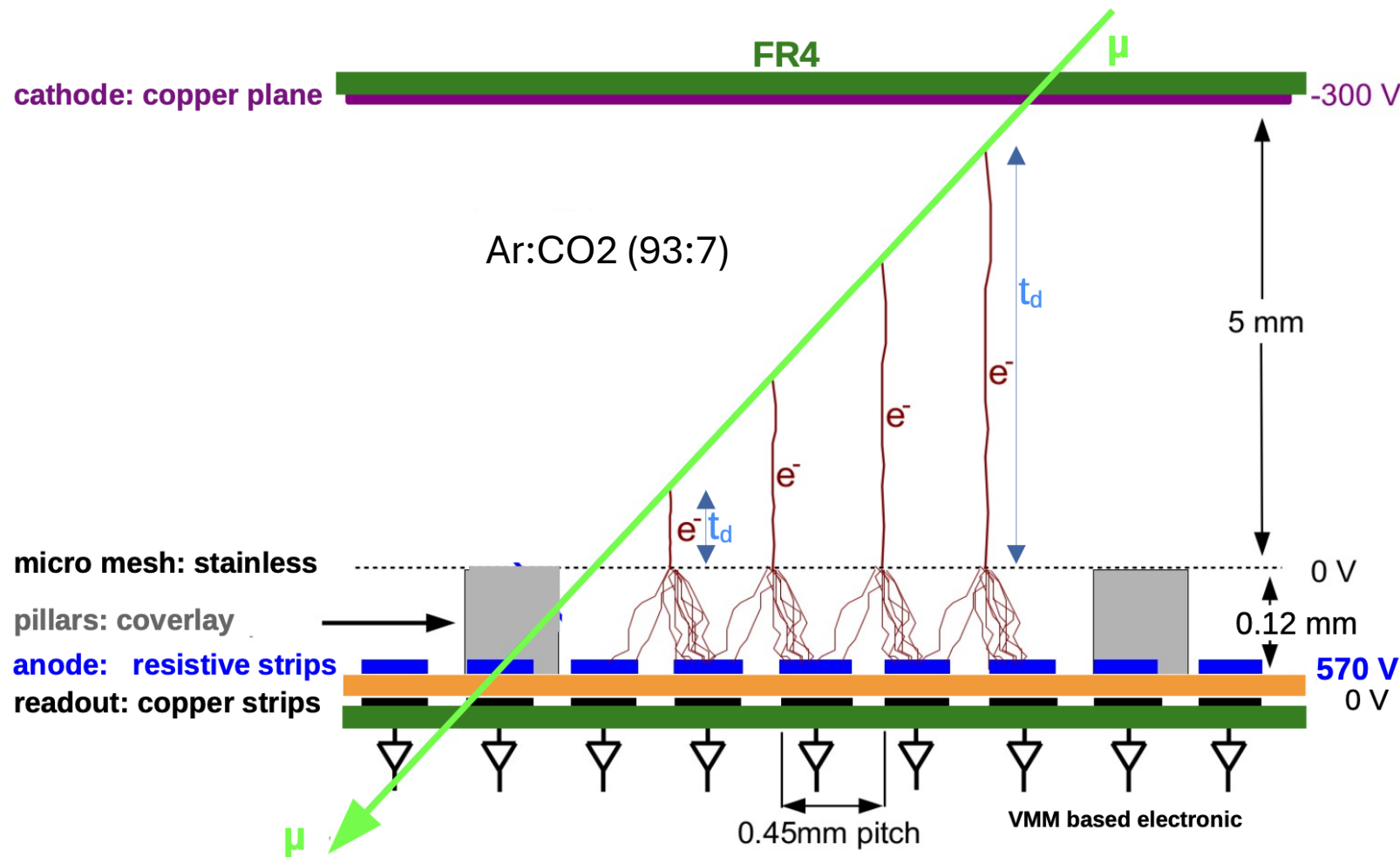
Cariche in movimento in una camera piana



In un rivelatore di particelle le cariche che si muovono sono di due tipi e viaggiano in direzioni opposte. Ciascuna contribuisce ad entrambe le correnti: la corrente $I_1(t)$ sarà positiva mentre quella $I_2(t)$ negativa, uguali ed opposte

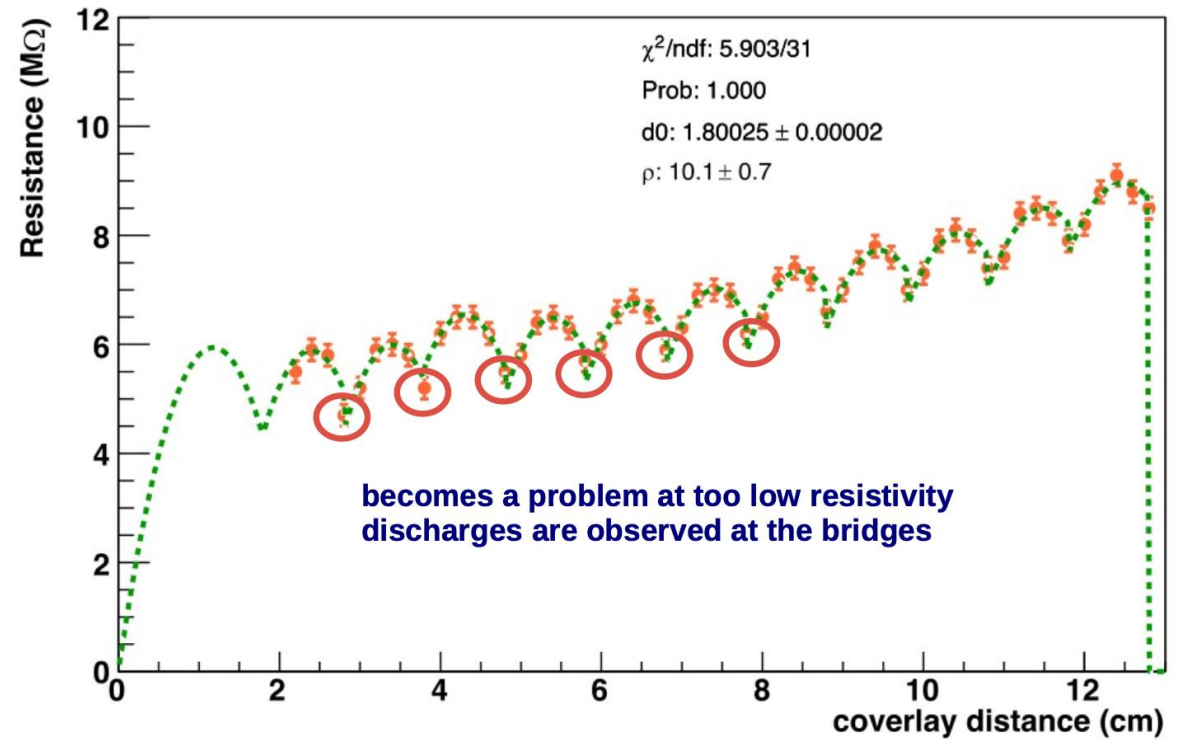
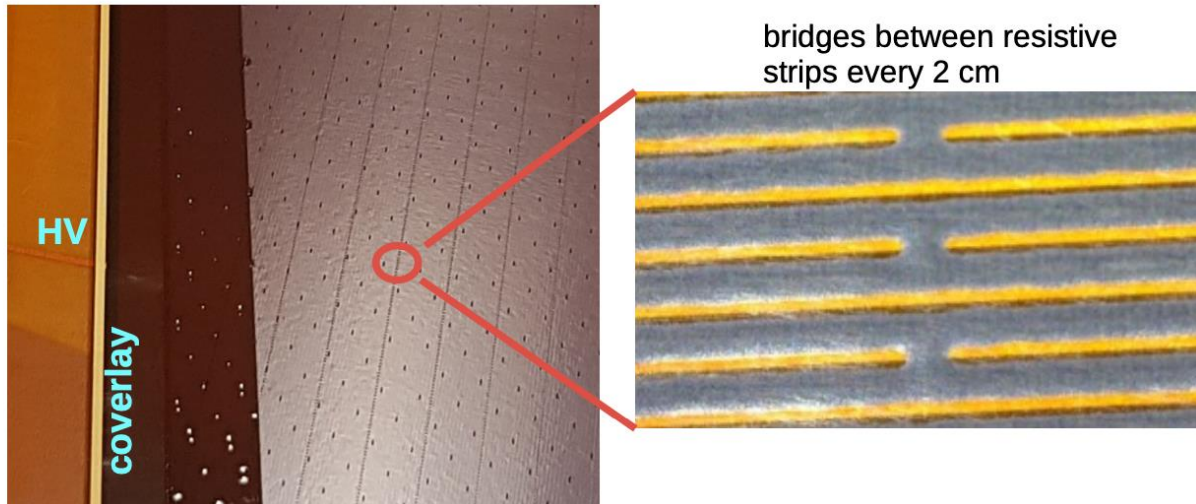
MicroPatternGasDetector

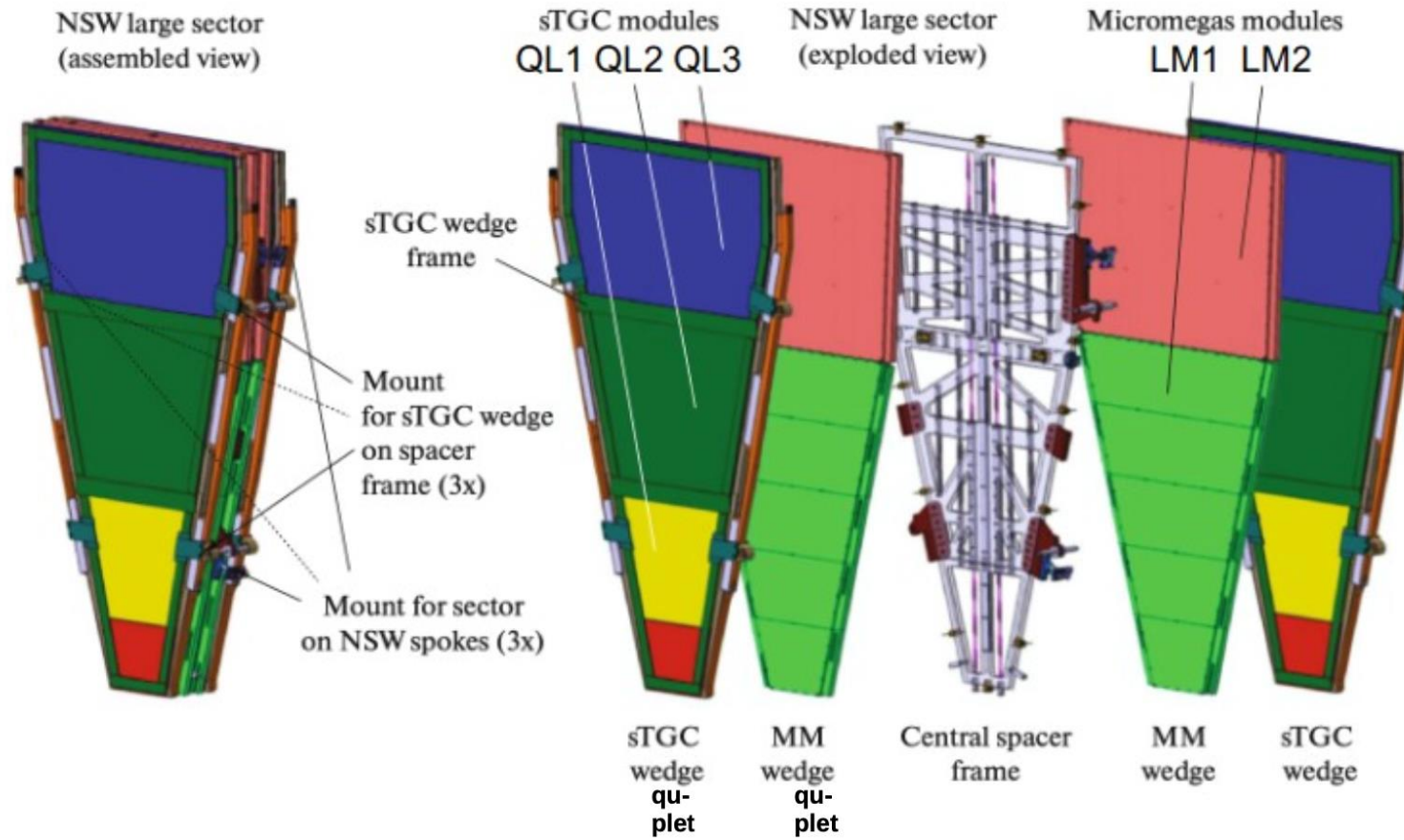
Rivelatori MM



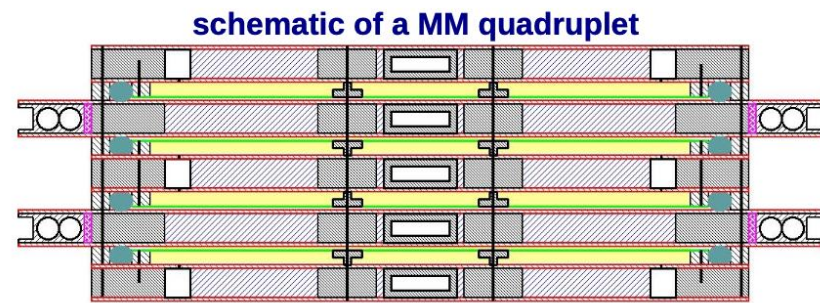
- Rivelatore a piatti piani e paralleli con una regione di deriva e una di amplificazione
- L'elettrodo positivo e' segmentato e posto sopra le strip di lettura
- Elettrodo e strip hanno la stessa forma e passo di 0.45mm

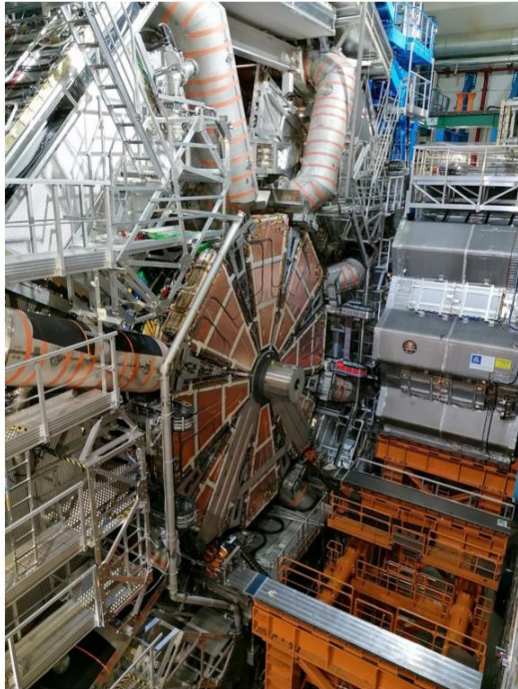
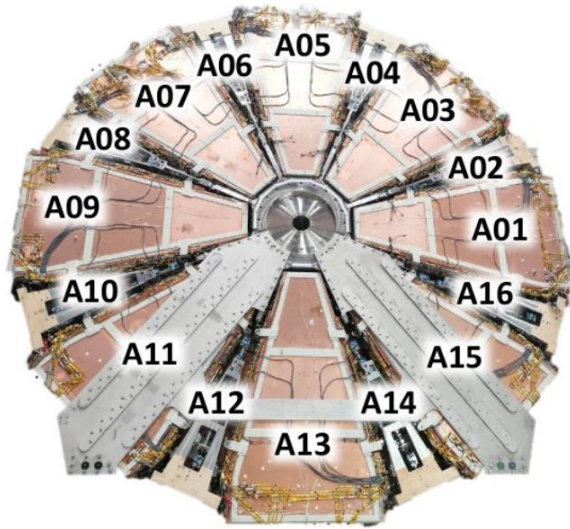
Rivelatori MM



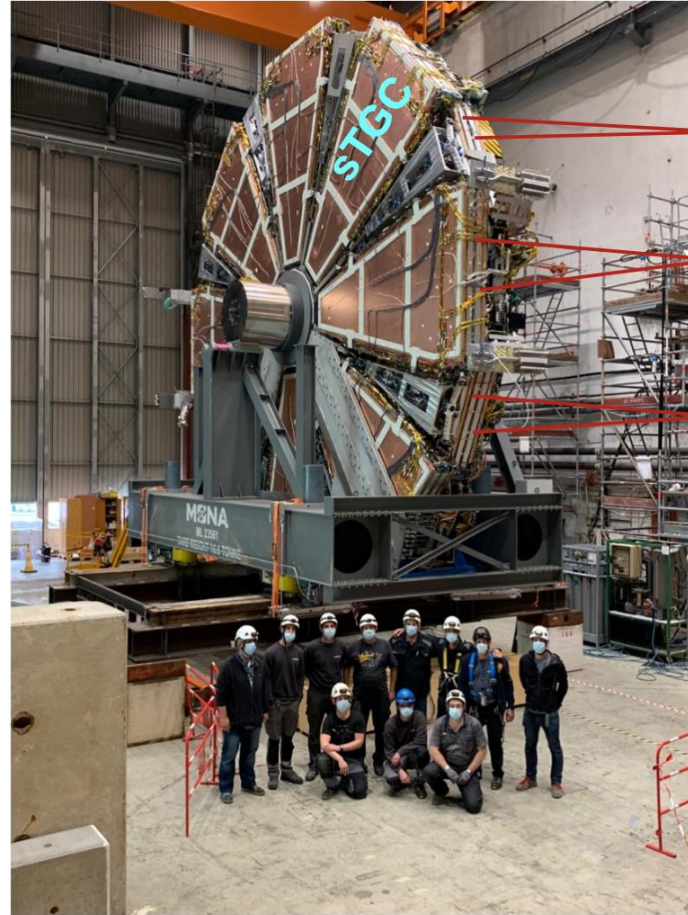


**8 small and 8 large
Micromegas sectors per NSW
16 active layers per sector**





NSW-A in B191

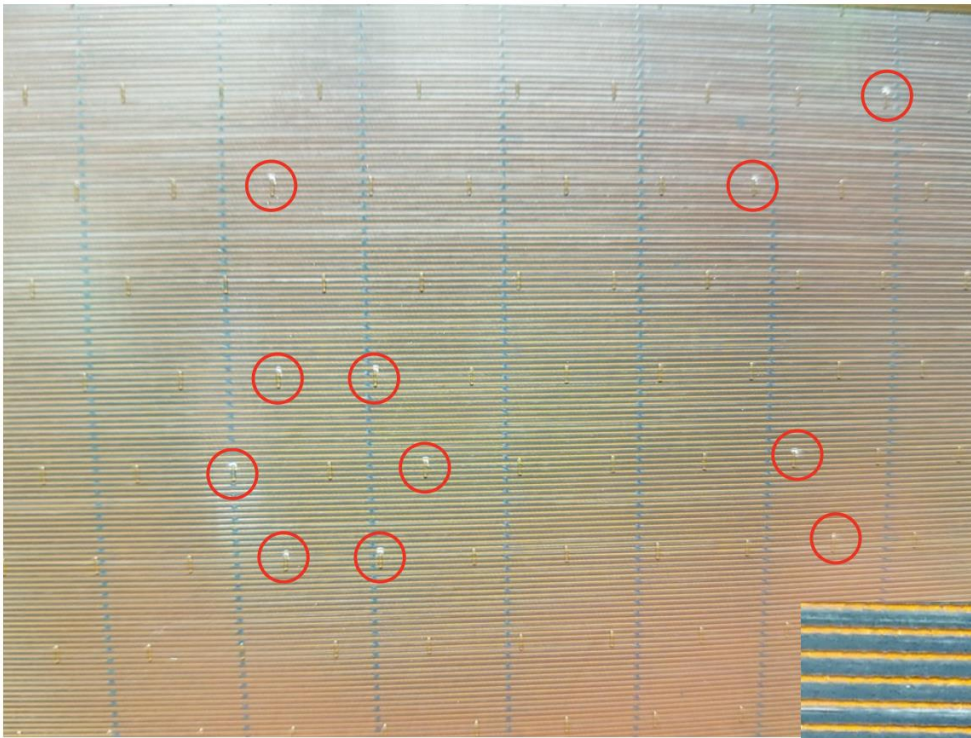


Small MM quadruplets

Large MM quadruplets

Small MM quadruplets

**Both wheels are integrated in ATLAS, they are connected to gas and to HV
HV tests are ongoing**

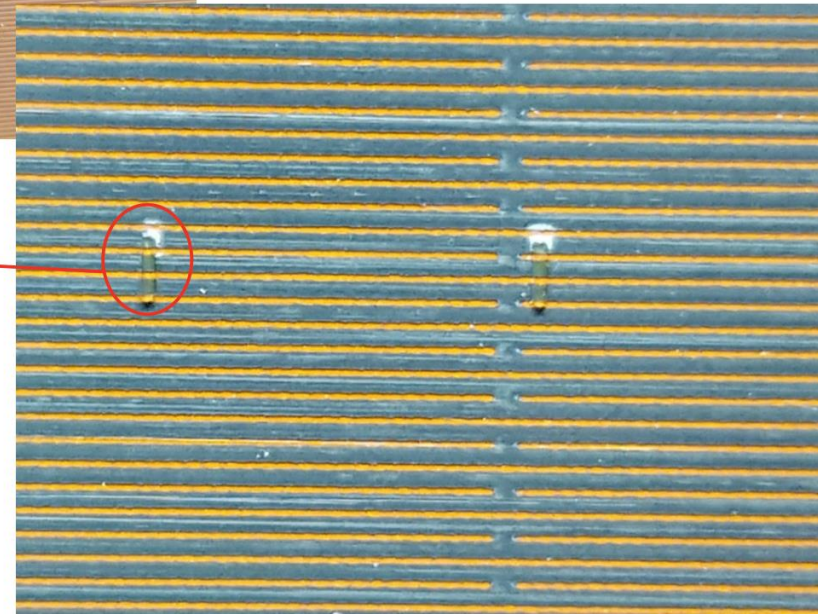


**inspecting SM2 M35
after permanent
discharges on
eta out PCB 7
Ar:CO2**

! non-standard PCB !

**all discharges were at the same pillar-region
no correlation with res.strip bridges
tilted pillar surface ?
mesh not touching part of the pillar ?
bad surface of res.strips ?**

**It is probable that after long-term discharges
a carbon channel can build up at the border of
a pillar creating a resistive HV sector.**

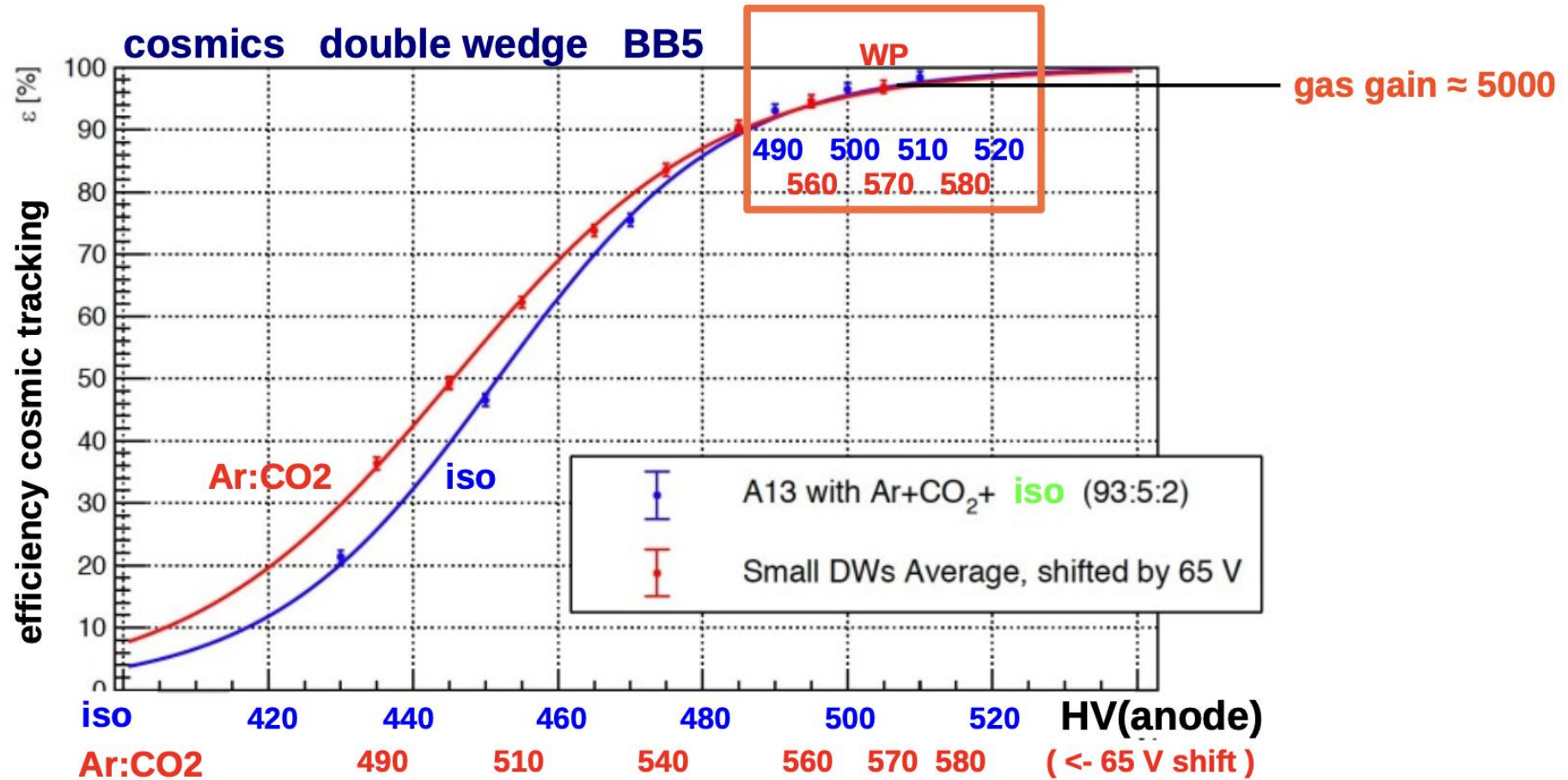


This is the potential danger of long-term discharges under Ar:CO2 appearing next to pillars.

Equivalence Ar:CO₂:iso <-> Ar:CO₂ (standard)

93:5:2

93:7



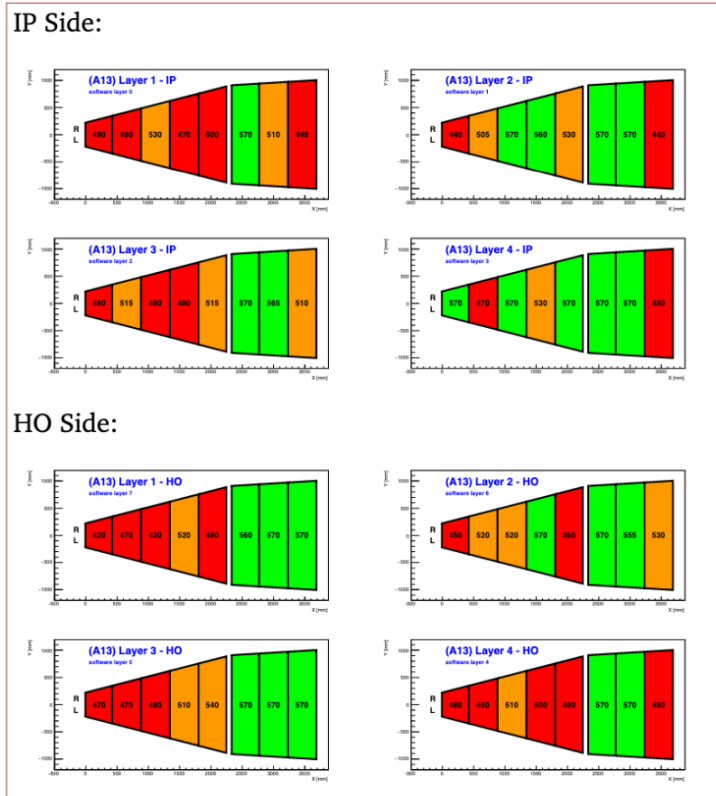
Motivation: Performance of the Old Double Wedge A13

cosmics @ CERN BB5

(A13 was not passivated, chambers are meanwhile passivated)

Ar:CO₂ 93:7 vol%
nom. HV: 570 V

Ar:CO₂:iC₄H₁₀ 93:5:2 vol%
HV: 500 V (1st try, conservative)



insufficient performance
many HV sectors do not reach 570 V

green:
sector is on nominal HV

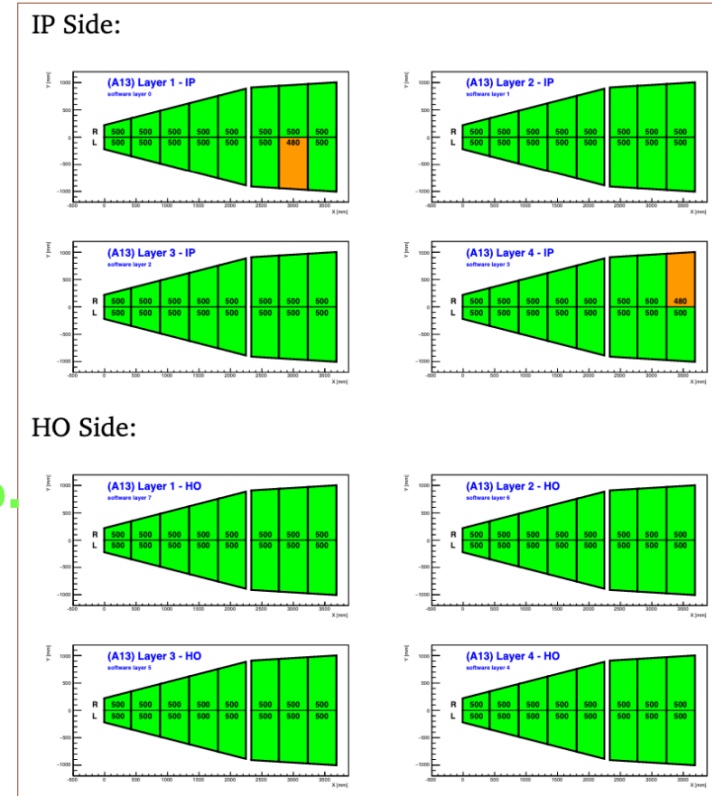
red:
sector is below nominal HV

-2% of CO₂



+2% of **Isob.**

non-flammable
non-explosive
gas-mixture

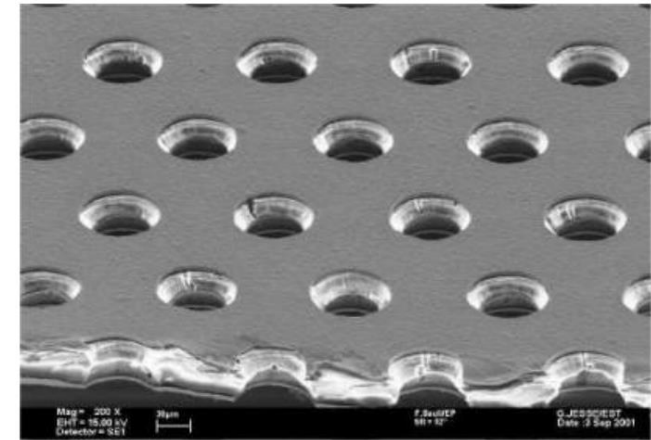


almost perfect performance
all but 2 HV sectors are at 500 V
not yet at 520 V, as this was a first try

Rivelatori GEM

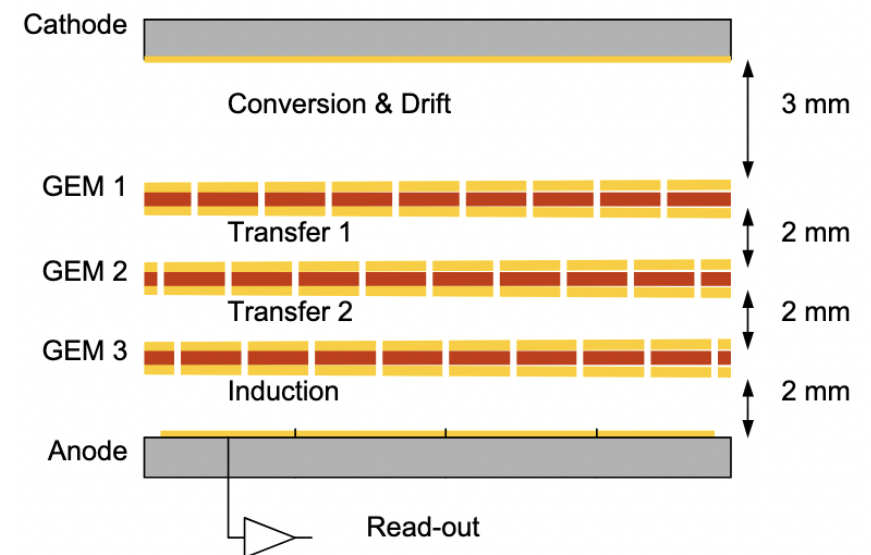
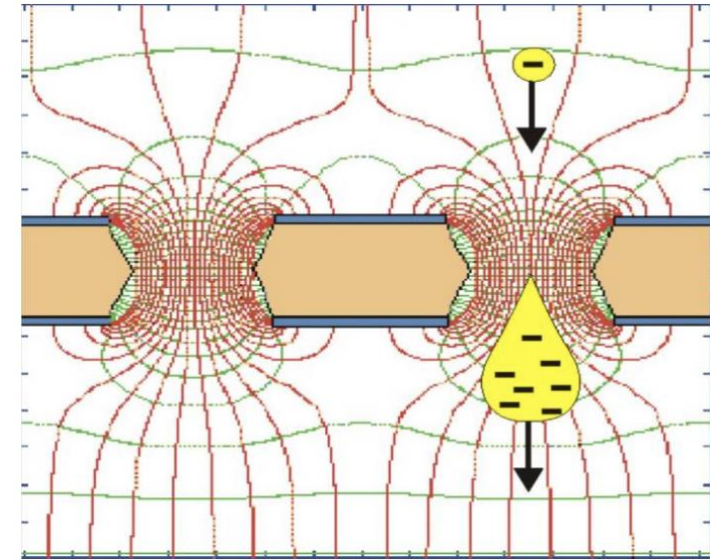
I rivelatori a GEM sono rivelatori a gas inventati da Fabio Sauli nel 1997.

Una GEM (Gas Electron Multiplier) è costituita da un sottile foglio di materiale plastico (kapton) ricoperto di Rame su entrambi i lati. Il foglio contiene tanti piccolissimi fori (diametro $70\ \mu\text{m}$, passo $140\ \mu\text{m}$).



Rivelatori GEM

Applicando una differenza di potenziale (400 V) tra le facce della GEM si crea un campo elettrico molto intenso all'interno dei fori, che innesca la moltiplicazione a valanga degli elettroni. Il guadagno è modesto (ordine di grandezza 100). Un guadagno di 10^5 si può ottenere con una Tripla GEM

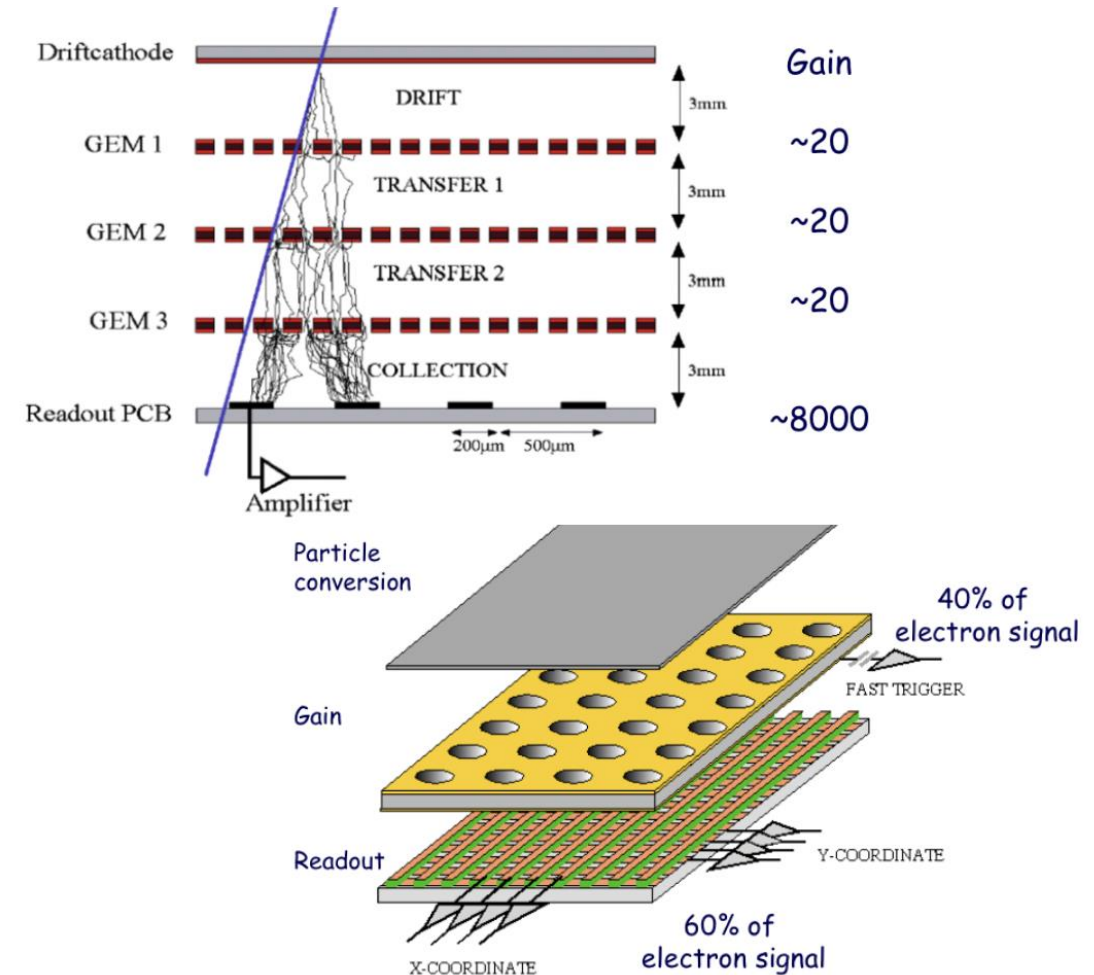


Rivelatori GEM

Schema di una possibile GEM

Vantaggi

- 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



Conclusioni

- L'era dei rivelatori a gas con elettrodi ravvicinanti e' iniziata da alcuni decenni ed in pieno sviluppo
- Nuove idee sono in campo per costruire rivelatori a gas per i futuri acceleratori multi-TeV

Bibliografia

- J. Townsend *[The theory of ionization of gases by collision](#)* (London, Constable, 1910)
- *Pinto, S.D. (2010). "Micropattern gas detector technologies and applications the work of the RD51 collaboration". [IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference](#). pp. 802–807. [arXiv:1011.5529](#)*