

SUMMER SCHOOL

LEZIONE SPERIMENTALE SUI RIVELATORI
DENTRO IL VISITOR CENTRE

G. Mancini, G. Bencivenni
INFN-LNF

17/06/2020 🕒 11:30



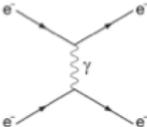
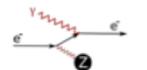
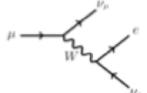
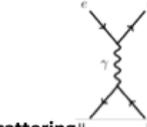
Pictures <small>© Karlsruhe Institut für Technologie (KIT)</small>	Particle	Explanation
	muon or anti-muon	Thin straight tracks - fast particles with high kinetic energy - they ionise molecules without scattering - high energy muons, electrons or their corresponding anti-particles - source: secondary cosmic particles
	electron or positron	
	α particle system	Thick straight tracks (approx. 5 cm): - alpha particle systems ($2p2n$) - massive particle systems with high "ionisation density" (for alpha: 1 MeV/cm) - source: Radon-222 gas, natural radiation
	electron 	Curly / curved tracks: - slow electrons scatter with other electrons via electromagnetic interaction - the lower the momentum of a particle, the easier it scatters - Photoelectrons are low energy electrons set free by high energy photons (via Photoelectric effect) - Source: muon transformation, beta emitters, photoelectric effect
	photoelectron 	
	muon transformation 	Kinks: This could be a muon (or anti-muon) transforming into an electron (or positron), a neutrino and an anti-neutrino.
Y	electron-muon-scattering 	Y-shape: This could be a muon knocking off an electron (bound to an atom) via electromagnetic scattering.

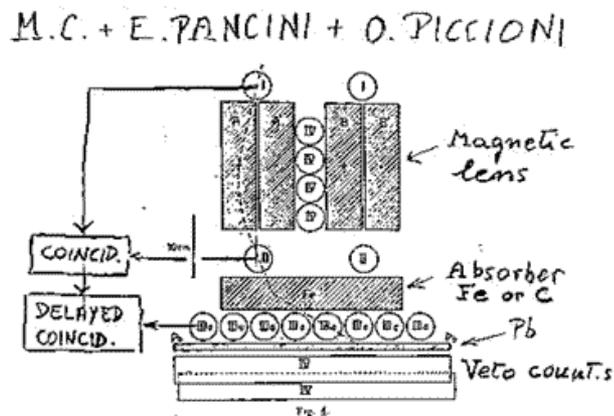
Immagine tratta da CERN S'Cool LAB

https://scoollab.web.cern.ch/sites/scoollab.web.cern.ch/files/documents/20200521_JW_DIYManual_CloudChamber_v7.pdf

L'esperimento di Conversi-Pancini e Piccioni: la scoperta del muone

L. Alvarez dirà: "La moderna fisica delle particelle ebbe inizio durante gli ultimi giorni della seconda guerra mondiale, quando un gruppo di giovani italiani, Conversi, Pancini e Piccioni, iniziarono un notevole esperimento" (lezione Nobel 1968).

L' esperimento di CPP (1942-1945) fu condotto a Roma durante l'ultimo periodo della seconda guerra mondiale: "Nel giugno '43, dopo il bombardamento di S. Lorenzo (80 bombe cadono nella città universitaria), l'esperimento viene trasferito in un' aula del Liceo Virgilio (più vicino al Vaticano) e viene completato nei primi mesi del '44". Il risultato dell'esperimento CPP mostrò che il mesotrone dei raggi cosmici non era la particella di Yukawa (ad interazione forte) ma una nuova particella simile all' elettrone, più pesante con una vita media $\tau = 2.3 \pm 0.14 \mu\text{s}$, fu chiamata muone (μ^+ , μ^-).



Marcello Conversi



Ettore Pancini

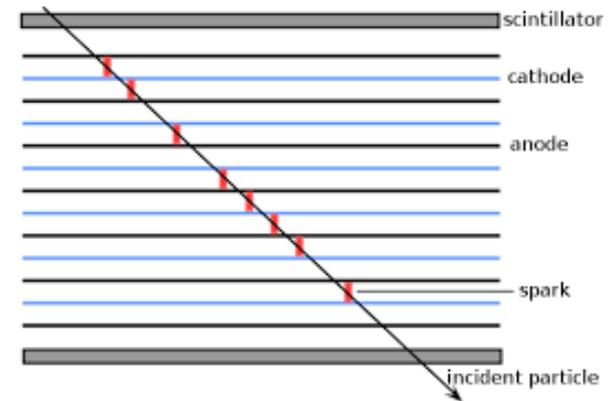


Oreste Piccioni

Spark Chamber a Flash tubes di Conversi (1954)

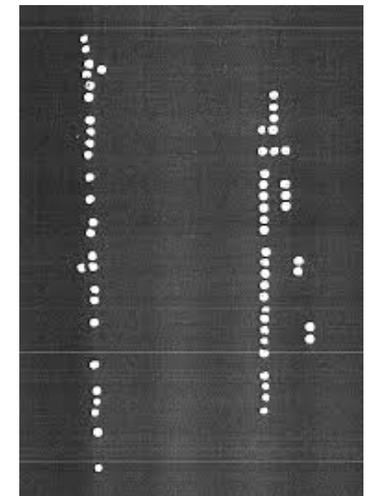
C. SPARK COUNTERS

1. **Spherical Electrodes.** It was discovered in the 1920's that, if a potential difference close to the sparking potential were applied to a pair of electrodes in air, then the spark actually occurred at the very instant that an ionizing event took place between the electrodes. It is clear from our previous discussion that any gas is an electrical non-conductor unless there are ions in the gas. On the other hand, if there are ions present, the conductivity of the gas is determined by the number of ions present. Ionization is, therefore, necessary in these circumstances to initiate the spark. The applied voltage should not exceed the sparking potential by large amounts; otherwise, the phenomenon is complicated by other effects, for example



"Electron and Nuclear Counters, Theory and Use " S.A KORFF (1946)

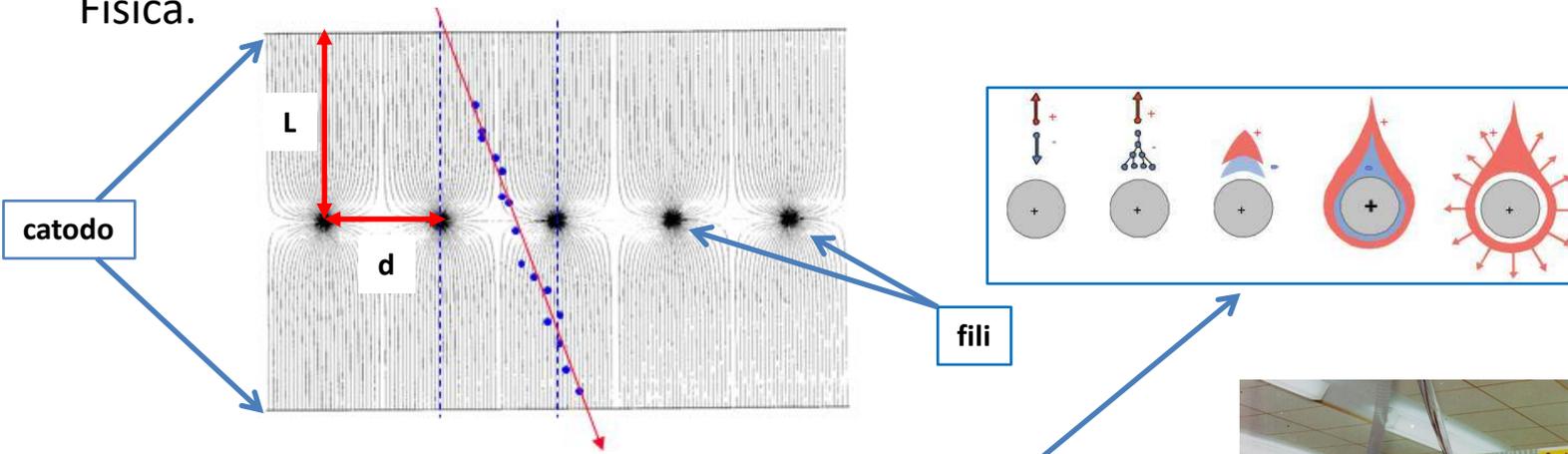
La Spark Chamber a Flash Tubes inventata da M. Conversi consiste in una matrice di tubi riempita di gas neon o neon/elio. I tubi sono posizionati tra due elettrodi metallici a cui viene applicata una differenza di potenziale opportuna e limitata nel tempo. L'intenso campo elettrico genera una scarica nei gas dei tubi in cui è passata una particella cosmica ionizzante. La scarica è visibile a occhio nudo e può essere fotografata.



Il primo rivelatore a fili elettronico: le MWPC

Le Multi-Wire-Proportional-Chamber (MWPC) inventate da George Charpak nel 1968, sono il primo rivelatore a fili con mezzo attivo costituito da gas e con lettura elettronica.

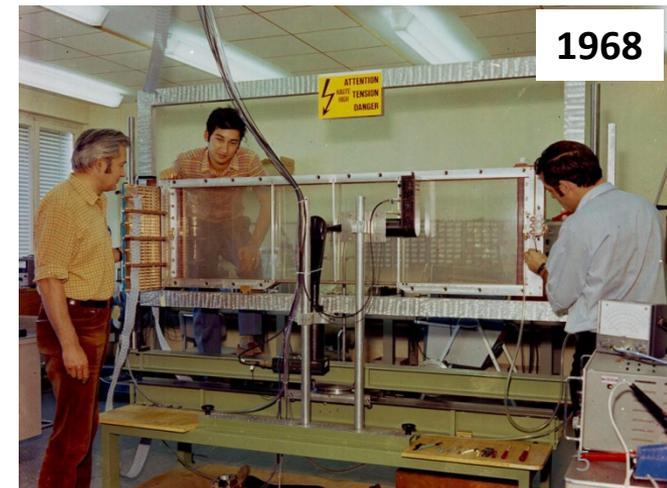
Per questa invenzione nel 1992 gli è stato assegnato il premio Nobel per la Fisica.



$L = 5\text{mm}$, $d = 2\text{mm}$, $r_{\text{wire}} = 10\mu\text{m}$

Il campo elettrico in prossimità del filo è talmente intenso ($\sim 100\text{ kV/cm}$) da generare la moltiplicazione degli elettroni di ionizzazione creati dal passaggio delle particelle nel gas. La lettura digitale di tali segnali raccolti sul filo permette di ottenere buone risoluzioni spaziali:

$$\sigma_x = \frac{d}{\sqrt{12}} \quad (d = 2, \sigma_x = 500\mu\text{m})$$



1968

I Grandi Rivelatori Traccianti ai Collider

I rivelatori di tracciamento centrale utilizzati nei moderni collider sono tipicamente costituiti da un rivelatore centrale di grande volume, $4 \div 5$ m di diametro e $3 \div 4$ m lunghezza. Date queste dimensioni i rivelatori a gas costituiscono la soluzione più adatta in termini di prestazioni e costi.

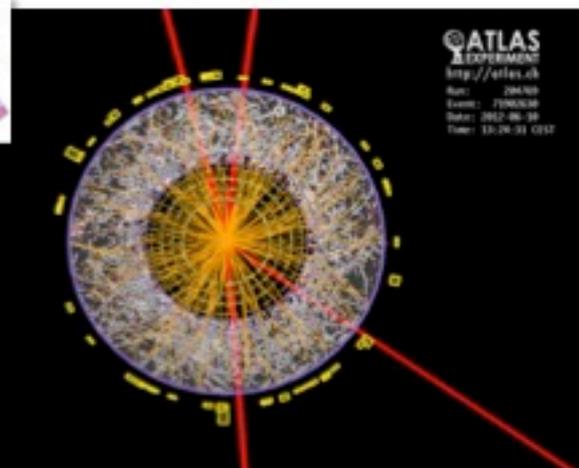
Generalmente due sono le tecnologie impiegate:

- Camere a deriva a multi-filo (Drift Chamber – DC) → KLOE DC
- Camere a proiezione temporale (Time Projection Chamber - TPC) → ALEPH TPC

Tutti questi rivelatori a fili con mezzo attivo costituito da opportune miscele di gas sono figli delle MWPC di Charpak.

ATLAS

A Thoroidal Lhc Apparatus



EM Calorimeters: $\sigma/E = 10\%/ \sqrt{E} \pm 0.7\%$

excellent e/γ identification
good energy resolution (e.g. for $H \rightarrow \gamma\gamma$)

Precision Muon Spectrometer: $\sigma/p_T = 10\% @ 1 \text{ TeV}$

fast trigger response
good momentum resolution
(e.g. $A/Z \rightarrow \mu\mu$, $H \rightarrow 4\mu$)

Hadron Calorimeter:

$\sigma/E = 50\%/ \sqrt{E} \pm 3\%$

good jet resolution
good missing E_T resolution
(e.g. $H \rightarrow \tau\tau$)

Inner Detector:

Si Pixel & strips; TRT

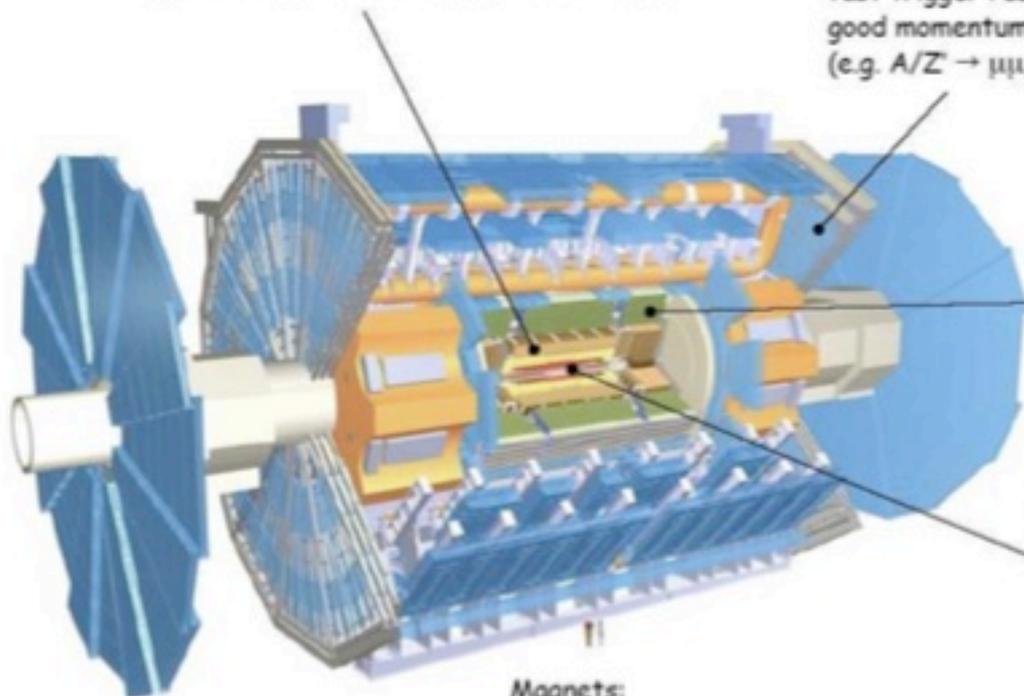
$\sigma/p_T = 5 \cdot 10^{-4} p_T \pm 0.001$

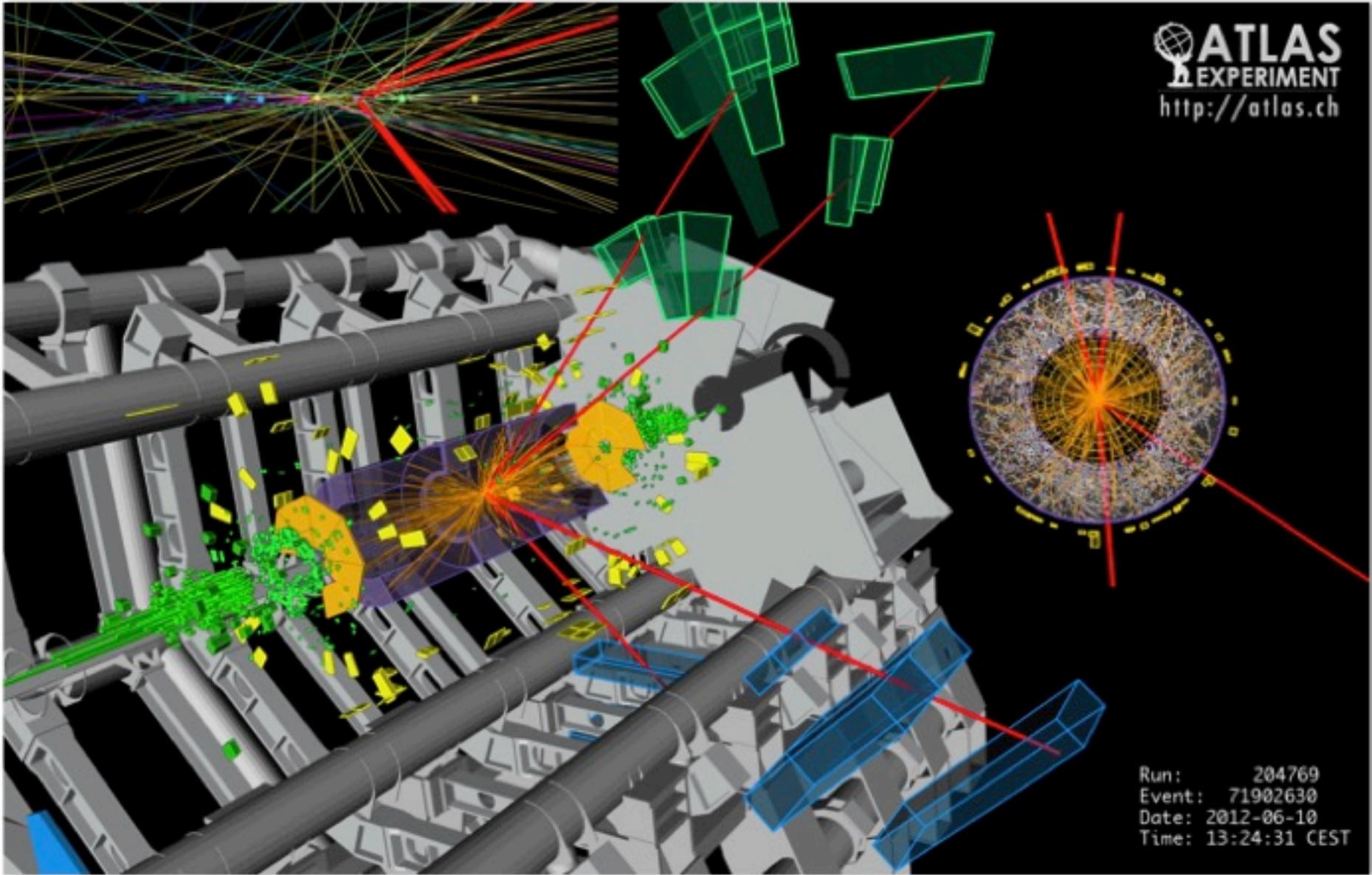
good impact parameter res., i.e.
 $\sigma(d_0) = 15 \mu\text{m} @ 20 \text{ GeV}$
(e.g. $H \rightarrow b\bar{b}$)

Magnets:

Solenoid (inner detector): 2 T

Toroid (muon spectrometer): 0.5 T





Run: 204769
Event: 71902630
Date: 2012-06-10
Time: 13:24:31 CEST

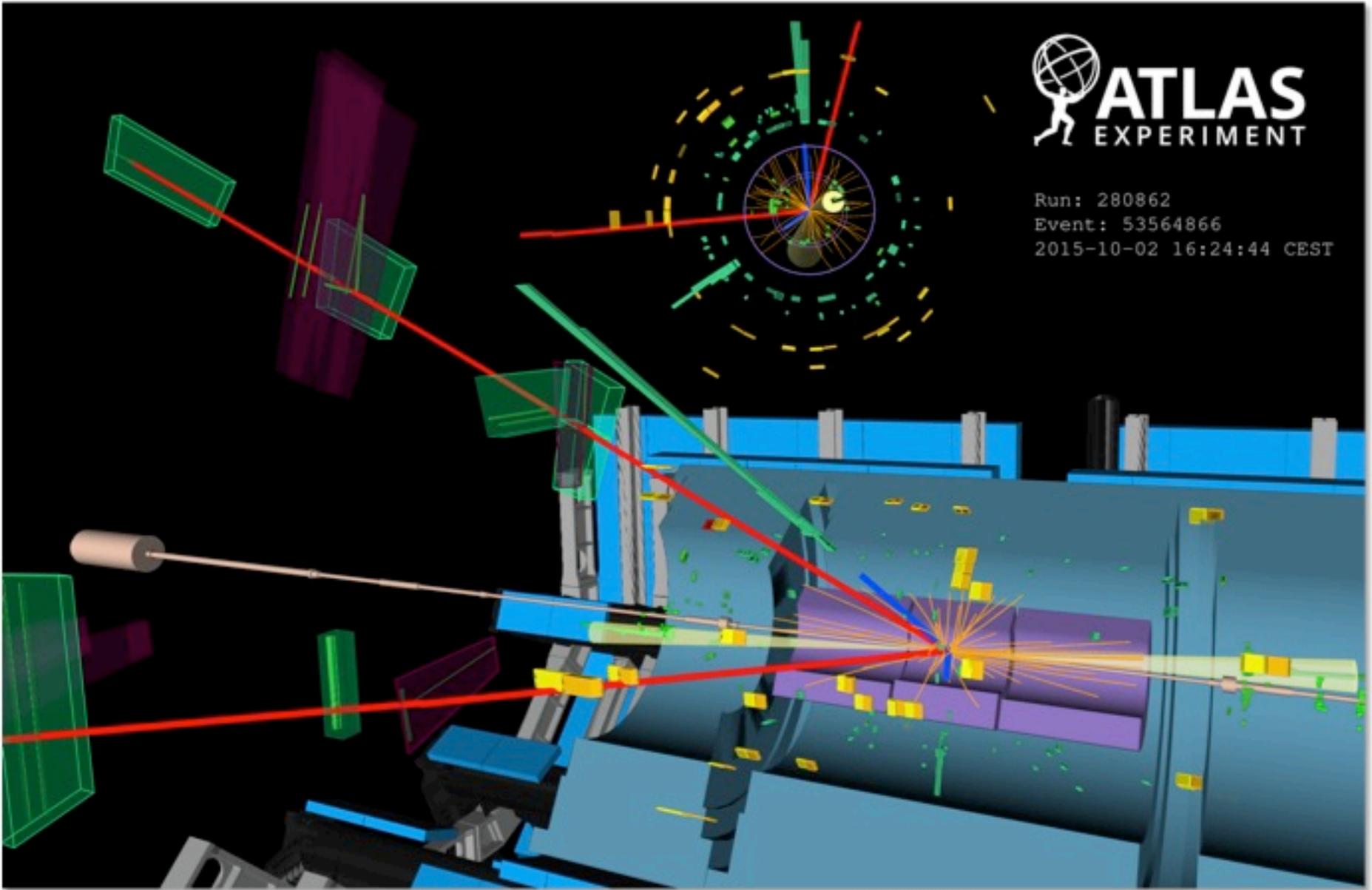


ATLAS
EXPERIMENT

Run: 280862

Event: 53564866

2015-10-02 16:24:44 CEST



ALEPH Silicon Inner Tracker

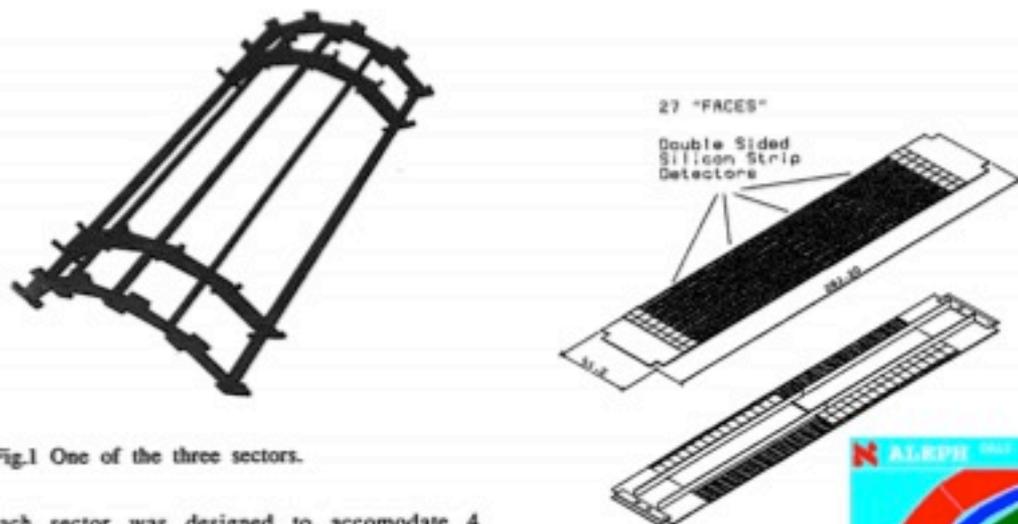
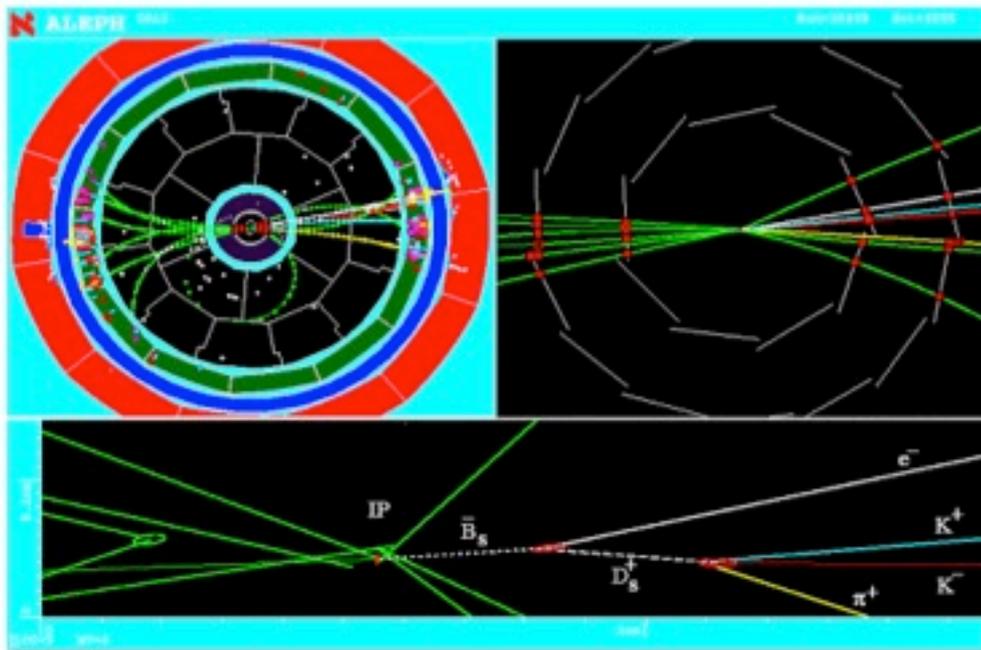


Fig.1 One of the three sectors.

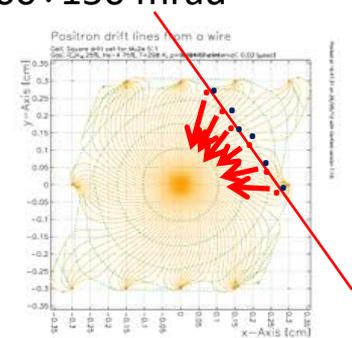
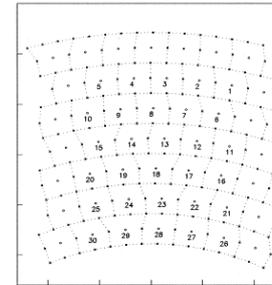
Each sector was designed to accommodate 4 'faces' in the inner layer at an average radius of 9.6 cm and 5 'faces' in the outer layer at an average radius of 11.2 cm. The total number of 'faces' is 27. One 'module', (fig.2), is the elementary unit of the detector, two modules glued together make one 'face', fig.3.



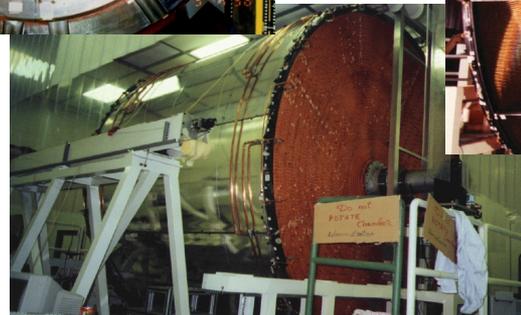
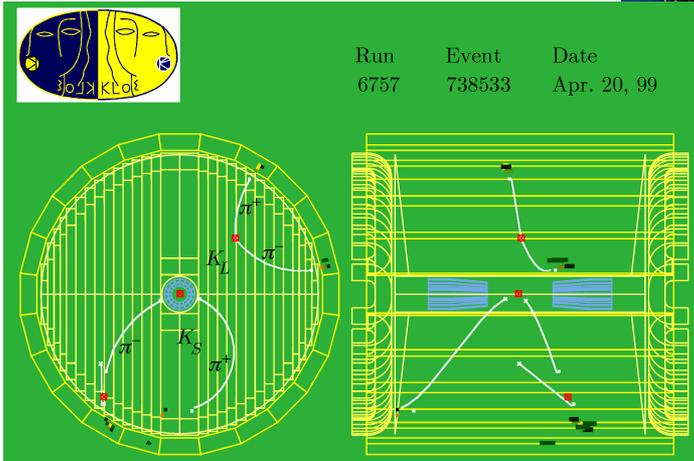
Large Volume DC

Un esempio di DC di grande volume è la Camera dell' esperimento KLOE al collider e^+e^- DAFNE ai Laboratori Nazionali di Frascati (studio dei Kaoni neutri e carichi):

- $D = 4$ m, $L = 3,3$ m (K-long decay length= 340 cm)
- strati di fili stereo alternati (U,V) con struttura a cella quadrata e angoli stereo = $60 \div 150$ mrad
- 12582 fili anodici e 37746 fili catodici
- $80 \mu\text{m}$ Al(Ag) field wires, $25 \mu\text{m}$ W(Au) sense wires
- struttura meccanica leggera in composito di fibra di C
- miscela di gas leggera: 90%He-10% $i\text{C}_4\text{H}_{10}$
- campo B solenoidale (parallelo all'asse della DC) = 0,6 T



deriva degli elettroni di ionizzazione verso il filo anodico

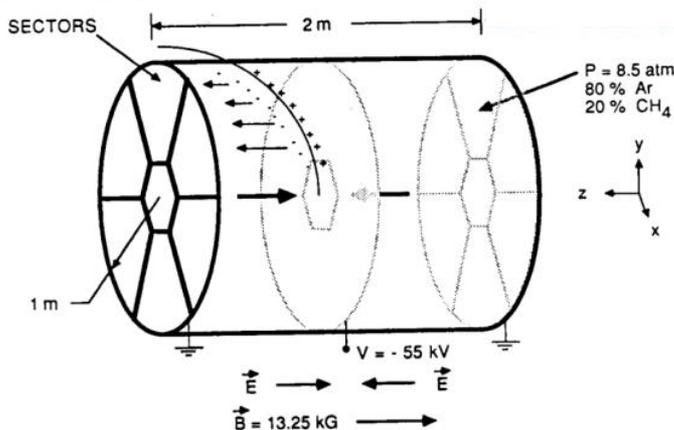


Time Projection Chamber (TPC)

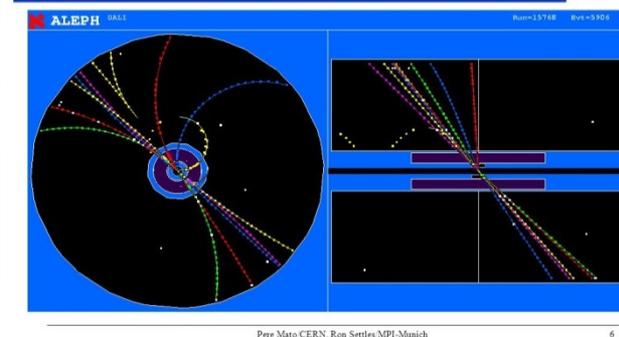
La Camera a Proiezione Temporale (TPC), inventata da David Nygren nel 1974, è un rivelatore caratterizzato da un grande volume cilindrico riempito di gas in cui gli elettroni generati nel processo di ionizzazione del gas da parte delle particelle derivano verso l'anodo.

La TPC permette una ricostruzione 3-D della traccia:

- La X-Y viene dalla lettura dei fili o dei catodi segmentati delle MWPC poste alle due estremità del cilindro di deriva
- La Z ($= v \times t$) viene ricostruita dalla misura del tempo di deriva degli elettroni, nota la loro velocità nel gas



ALEPH Event



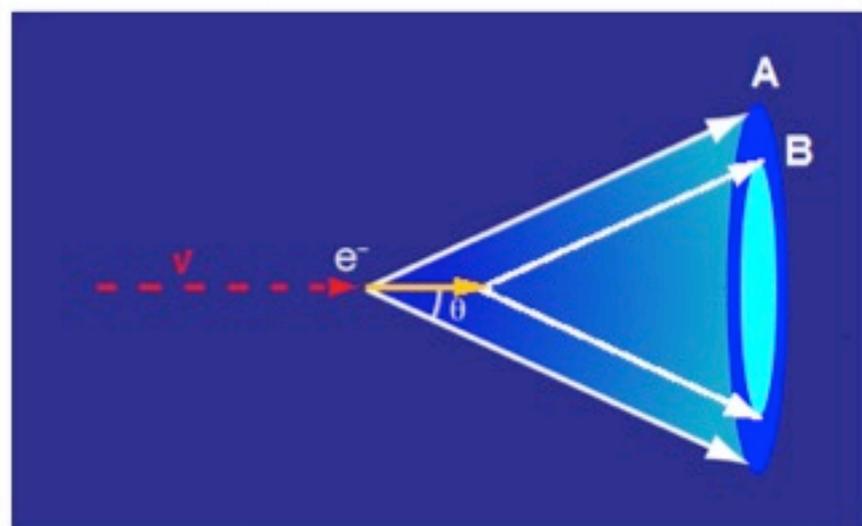
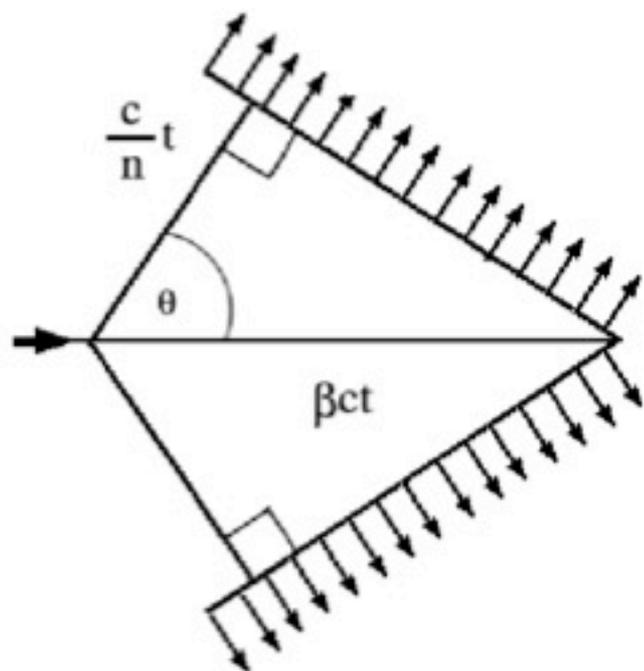
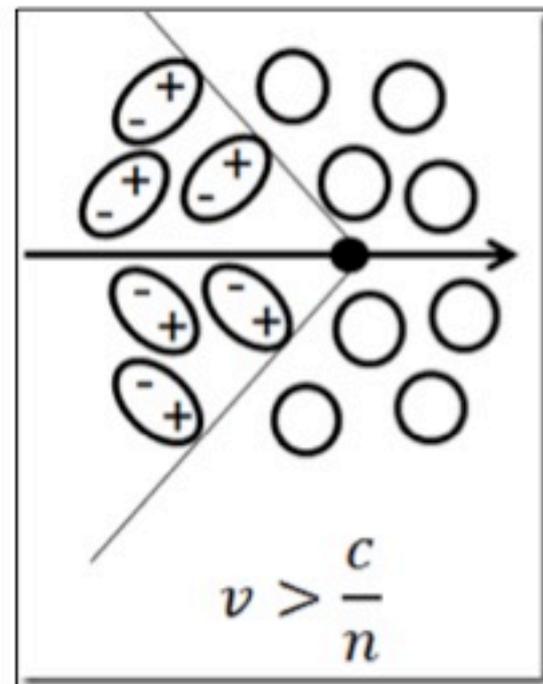
Nygren, David R., "Proposal to investigate the feasibility of a novel concept in particle detection", LBNL internal report (1974)

La TPC di ALEPH al LEP del CERN, [ALEPH coll., NIM 294(1990) 121]:

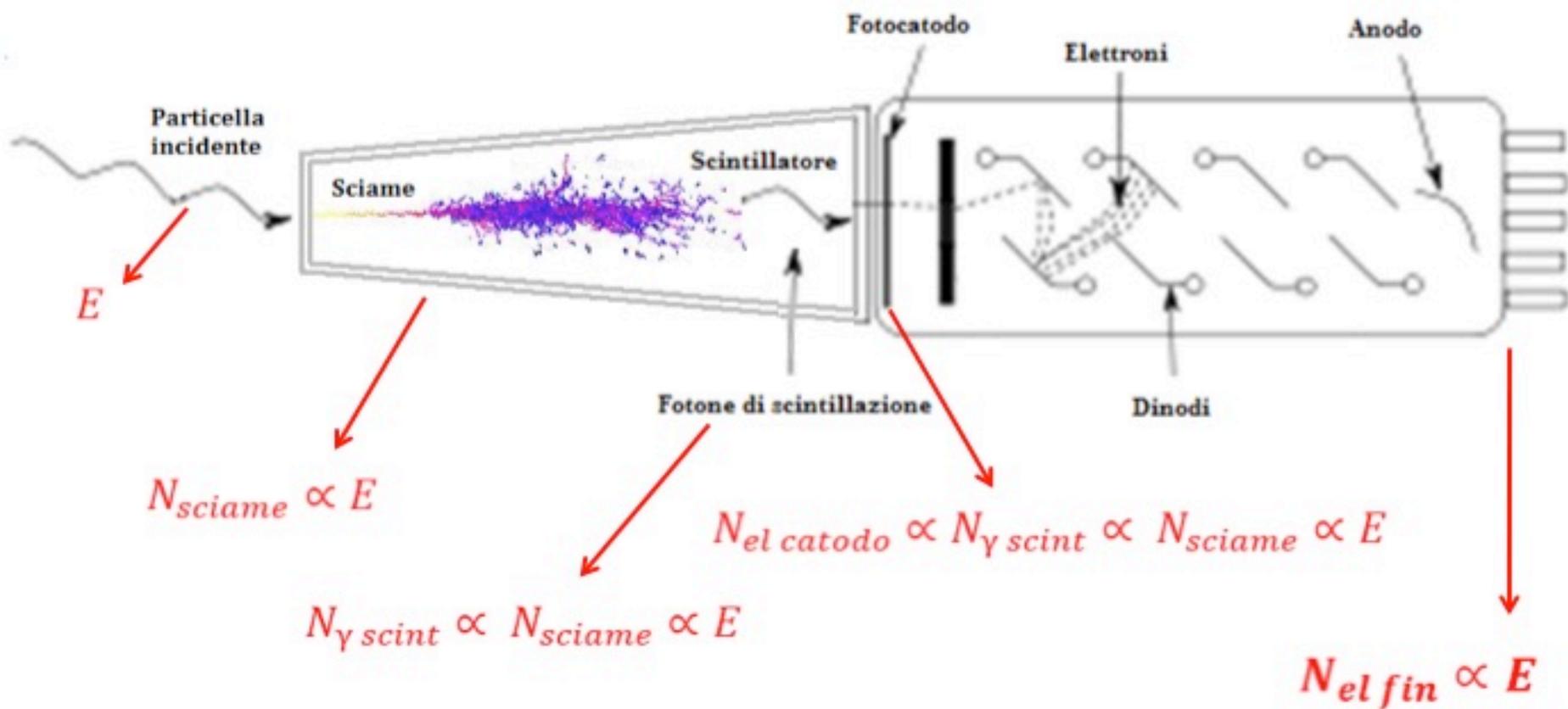
- $D = 3.6\text{m}$, $L = 4.4\text{m}$
- $\sigma_{r\phi} = 173 \mu\text{m}$
- $\sigma_z = 740 \mu\text{m}$

Effetto Čerenkov

Le particelle cariche che avanzano in un materiale a velocità maggiore di quella della luce nel mezzo ($v > c/n$ con c la velocità della luce) producono della luce "veloce" per depolarizzazione del materiale.



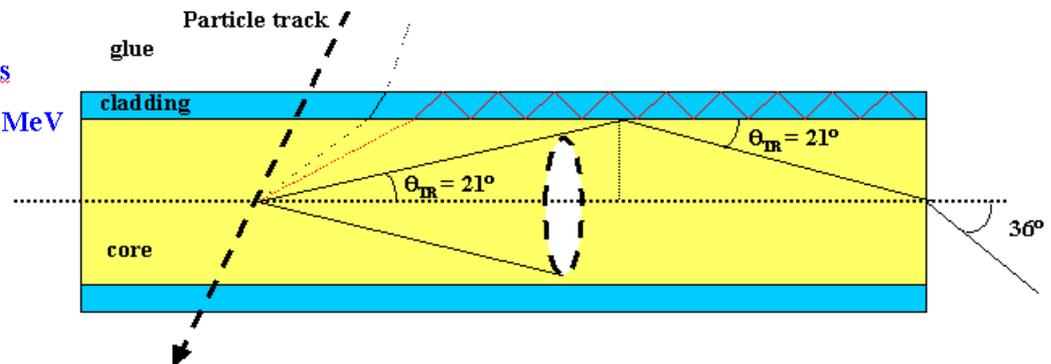
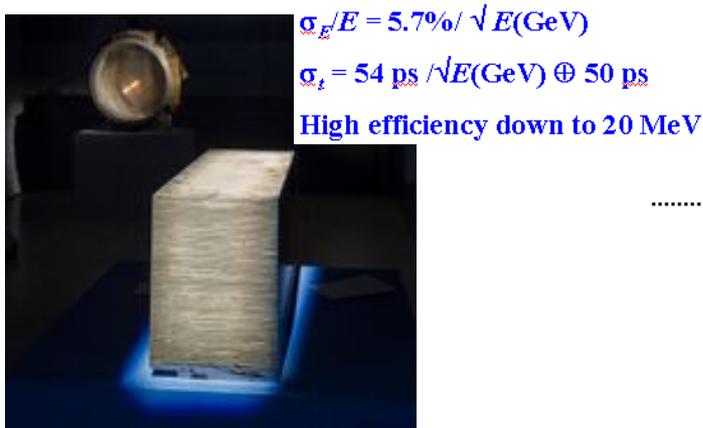
Scintillatore accoppiato ad un fotomoltiplicatore



Il calorimetro elettromagnetico di KLOE

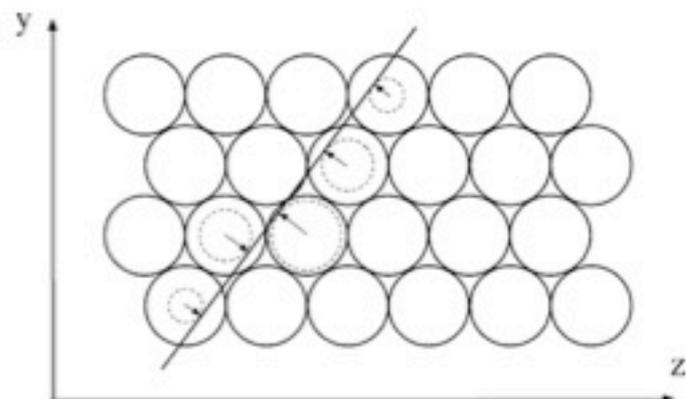
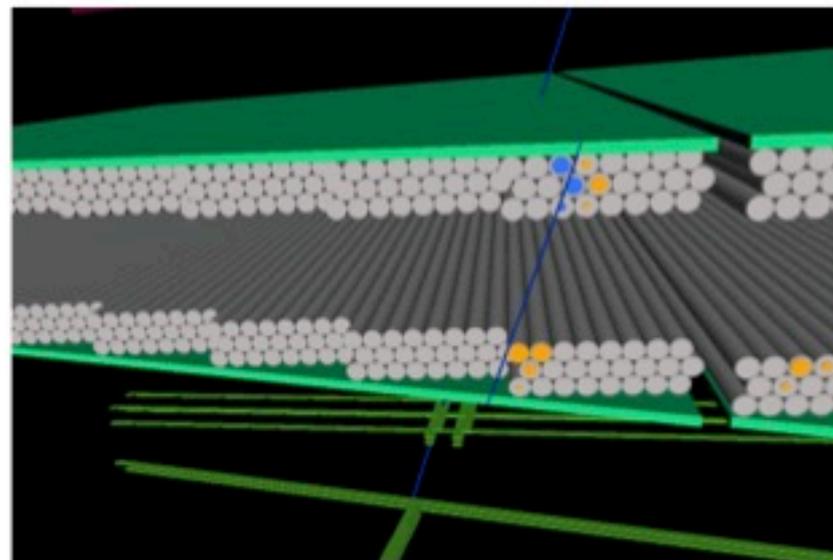
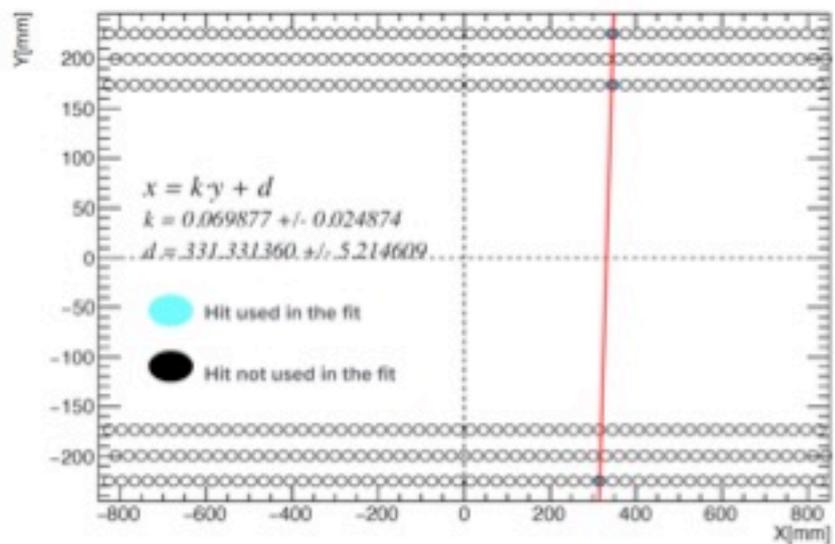
Gli elettroni e i fotoni di alta energia sono rivelati e identificati da un rivelatore denominato *calorimetro elettromagnetico*, che ne misura la loro energia. L'energia di queste particelle viene depositata sotto forma di sciame di e- γ secondari di energia via via sempre più degradata. L'energia viene misurata dai sensori attivi del calorimetro.

Il calorimetro e.m. di KLOE è del tipo a “*campionamento*”, costituito da 200 strati di convertitori di piombo (0.5 mm di spessore) intervallati da sottili fibre scintillanti (diametro 1 mm), che costituiscono la parte attiva del rivelatore. Gli elettroni dello sciame interagiscono nelle fibre eccitandone gli atomi che emettono luce che si propaga nella fibra e viene registrata alle estremità da appositi rivelatori fotosensibili, detti fotomoltiplicatori.



Campione del KLOE emc, peso 200 kg

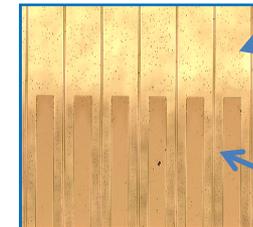
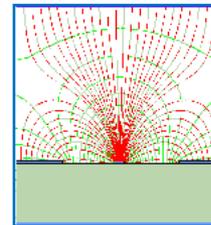
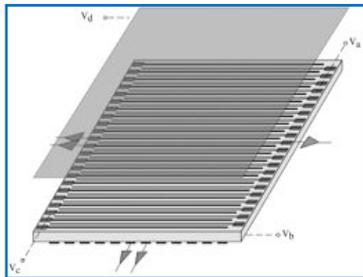
MDT



Rivelatori a gas: dai fili alle micro-strutture

Limitazioni e pregi dei rivelatori a gas con fili anodici:

- 😊 grandi aree e volumi sensibili a costi moderati
- 😞 spaziatura dei fili troppo grande (~ 2 mm) \rightarrow risoluzione spaziale limitata
- 😞 carica positiva spaziale (ioni lenti e grandi distanze di raccolta) \rightarrow ridotta capacità di sopportare flussi di particelle elevati



MSGC, A. Oed, NIMA 263(1988) 351

Soluzione: sostituzione dei fili anodici e catodici a distanza millimetrica con micro-strutture anodiche e catodiche poste a distanza sub-millimetrica (0,2mm) \rightarrow Micro-Pattern-Gaseous-Detectors (MPGD) – primo esempio le Micro-Strip-Gas-Chamber (A.Oed, 1988)

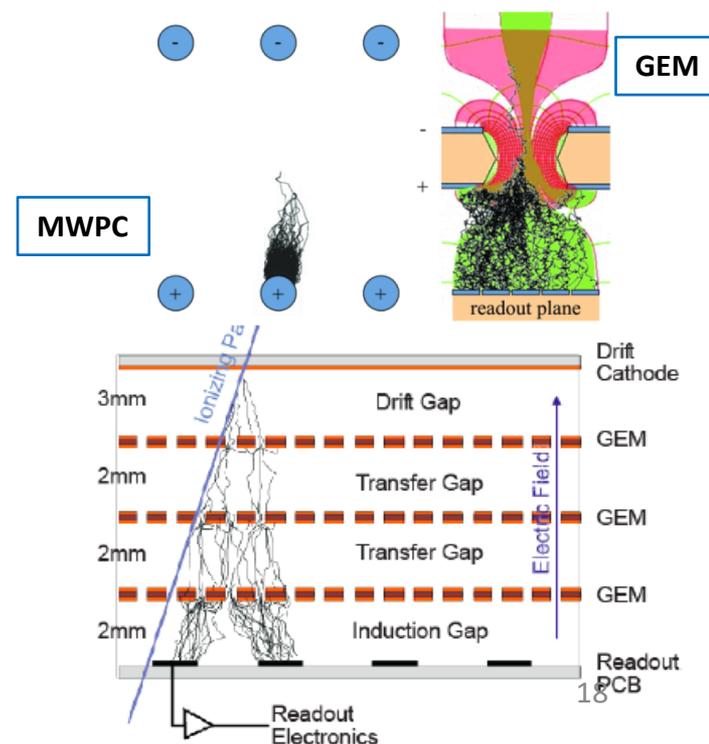
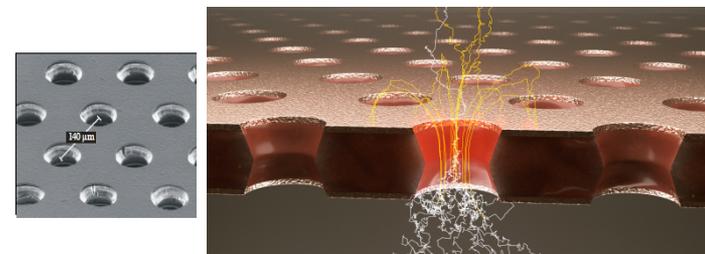
Le Gas Electron Multiplier (GEM)



Le GEM (Gas Electron Multiplier) [F.Sauli, NIM A386 (1997) 531] sono uno dei primi Micro-Pattern Gaseous-Detectors (MPGD) ad elevate prestazioni spaziali capaci di operare in ambienti a grandi flussi di particelle.

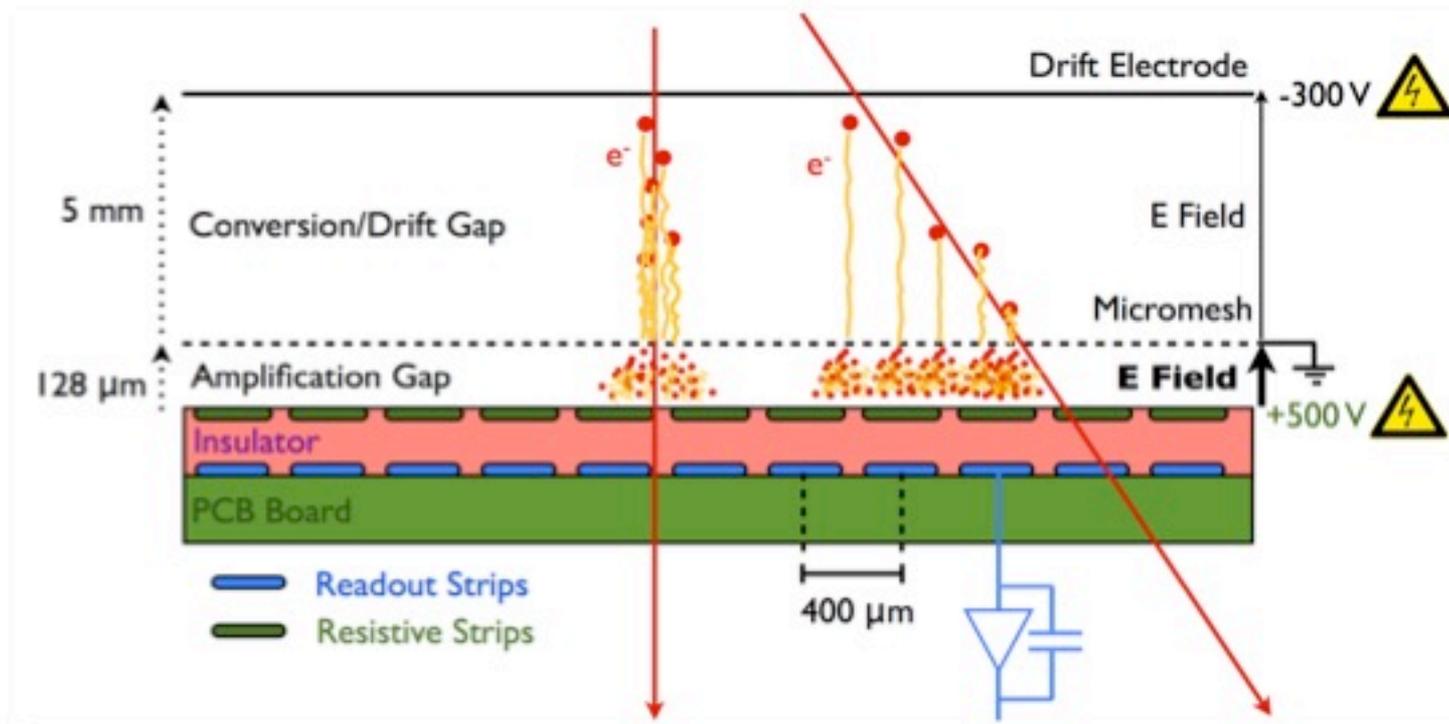
Esse sono basate sull'impiego di un sottile foglio (50 μm) di Kapton bi-ramato perforato a formare una matrice di fori piccolissimi (diametro 70 μm) ad elevata densità (passo 140 μm) tramite una tecnologia foto-litografica.

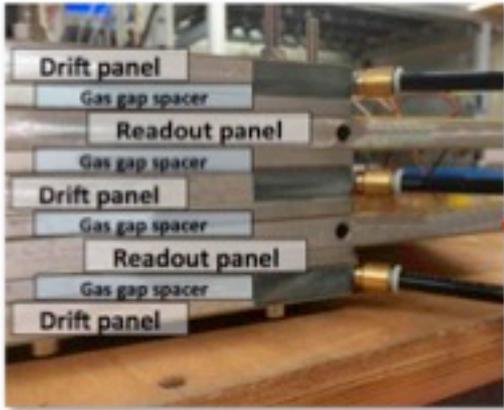
Applicando una tensione di 400-500 V tra le due facce di rame all'interno dei fori si crea un intenso campo elettrico (~ 100 kV/cm) che costituisce l'elemento base di amplificazione degli elettroni di ionizzazione prodotti nel gas dal passaggio di una particella.



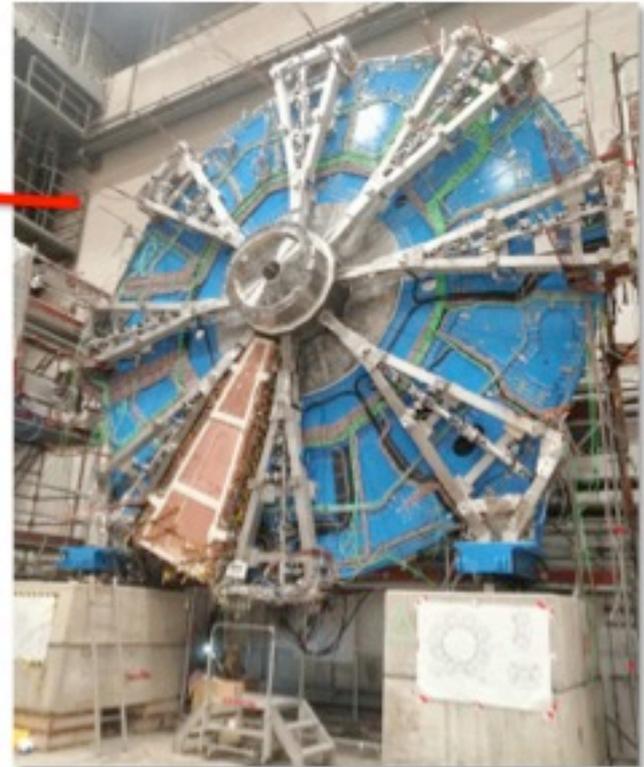
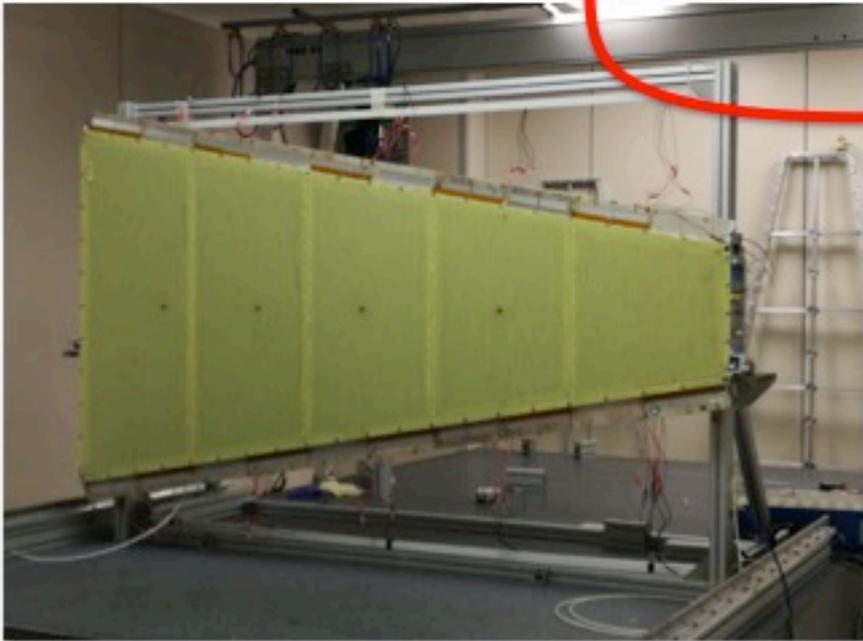
MicroMegas

- Le particelle cariche ionizzano il gas nel detector (100 coppie / cm in Ar:CO 93:7 per muoni)
- Gli elettroni prodotti dalla ionizzazione sono amplificati per effetto valanga tra la micro-mesh e le strip di lettura (RO, anodo)
- Alta risoluzione: larghezza della strip 300 μm , passo delle strip 425-450 μm
- Evacuazione veloce degli ioni positivi: 100 ns, capacità di lavorare in regimi di alta luminosità (testate con densità di flusso $>7\text{MHz}/\text{cm}^2$)
- In 2 dei 4 strati, le strips sono inclinate di $\pm 1.5^\circ$ per permettere di ricostruire la seconda coordinata





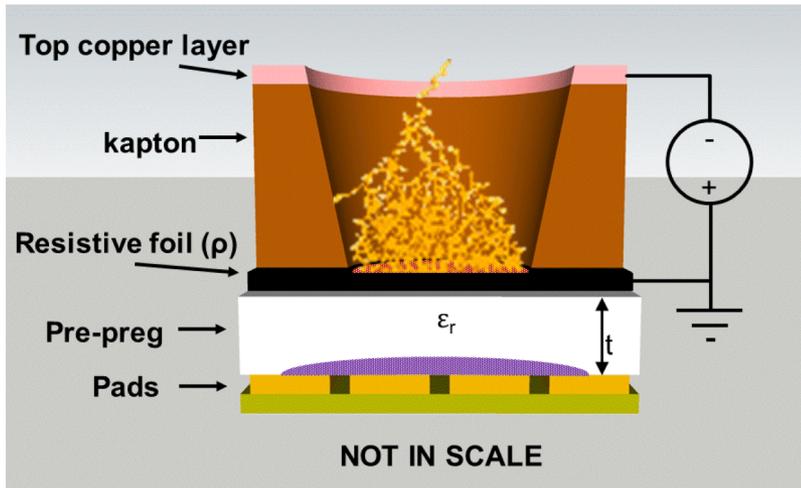
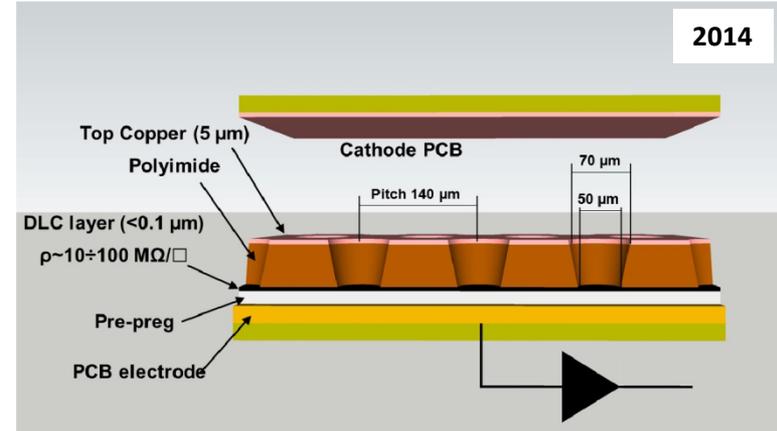
ATLAS NSW



Le micro-Resistive WELL (μ -RWELL)

La μ -RWELL, un nuovo MPGD sviluppato a Frascati, è una evoluzione della GEM caratterizzata da una elevata robustezza alle radiazioni e una estrema semplicità costruttiva.

Il rivelatore è costituito da due soli componenti: il catodo e l'anodo in cui oltre al sistema di lettura è incluso lo stadio di amplificazione simile a quello delle GEM.



Applicando una opportuna tensione tra la parte superiore ramata e quella inferiore resistiva dello stadio di amplificazione il pozzetto (“WELL”) agisce come canale di amplificazione per gli elettroni di ionizzazione prodotti nella gap di deriva riempita di una opportuna miscela di gas.

Moltiplicazione degli elettroni di ionizzazione all'interno di un pozzetto