



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BERGAMO



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Sezione di Pavia

RIVELATORI A GAS PER LA FISICA DELLE PARTICELLE

CHIARA AIMÈ &
ILARIA VAI

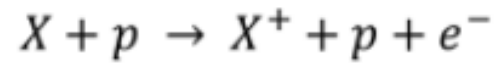
DISCLAIMER

I rivelatori a gas inclusi in questa presentazione rappresentano solo un piccolo esempio di tutto ciò che si può trovare nel nostro ambito.

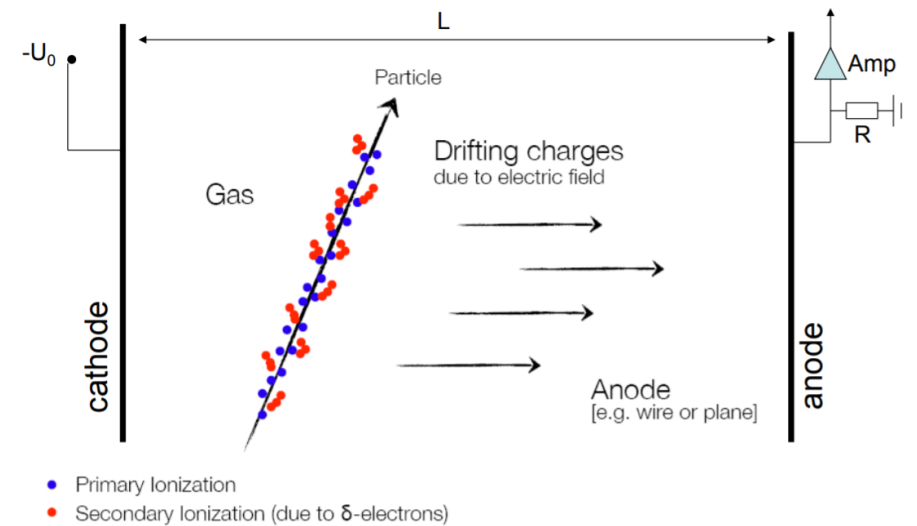
COME FUNZIONA UN RIVELATORE A IONIZZAZIONE

COME FUNZIONA UN RIVELATORE A IONIZZAZIONE

Ionizzazione primaria:



X : atomo del gas
 p : particella carica incidente



MECCANISMO DI IONIZZAZIONE

QUALI PARAMETRI?

Gas	ρ (g/cm ³) (STP)	I_0 (eV)	W_i (eV)	dE/dx (MeVg ⁻¹ cm ²)	n_p (cm ⁻¹)	n_t (cm ⁻¹)
H ₂	$8.38 \cdot 10^{-5}$	15.4	37	4.03	5.2	9.2
He	$1.66 \cdot 10^{-4}$	24.6	41	1.94	5.9	7.8
N ₂	$1.17 \cdot 10^{-3}$	15.5	35	1.68	(10)	56
Ne	$8.39 \cdot 10^{-4}$	21.6	36	1.68	12	39
Ar	$1.66 \cdot 10^{-3}$	15.8	26	1.47	29.4	94
Kr	$3.49 \cdot 10^{-3}$	14.0	24	1.32	(22)	192
Xe	$5.49 \cdot 10^{-3}$	12.1	22	1.23	44	307
CO ₂	$1.86 \cdot 10^{-3}$	13.7	33	1.62	(34)	91
CH ₄	$6.70 \cdot 10^{-4}$	13.1	28	2.21	16	53
C ₄ H ₁₀	$2.42 \cdot 10^{-3}$	10.8	23	1.86	(46)	195

Quelle: K. Kleinknecht, *Detektoren für Teilchenstrahlung*, B.G. Teubner, 1992

QUALI PARAMETRI?

- I_0 : energia di ionizzazione per il dato gas

Gas	ρ (g/cm ³) (STP)	I_0 (eV)	W_i (eV)	dE/dx (MeVg ⁻¹ cm ²)	n_p (cm ⁻¹)	n_t (cm ⁻¹)
H ₂	$8.38 \cdot 10^{-5}$	15.4	37	4.03	5.2	9.2
He	$1.66 \cdot 10^{-4}$	24.6	41	1.94	5.9	7.8
N ₂	$1.17 \cdot 10^{-3}$	15.5	35	1.68	(10)	56
Ne	$8.39 \cdot 10^{-4}$	21.6	36	1.68	12	39
Ar	$1.66 \cdot 10^{-3}$	15.8	26	1.47	29.4	94
Kr	$3.49 \cdot 10^{-3}$	14.0	24	1.32	(22)	192
Xe	$5.49 \cdot 10^{-3}$	12.1	22	1.23	44	307
CO ₂	$1.86 \cdot 10^{-3}$	13.7	33	1.62	(34)	91
CH ₄	$6.70 \cdot 10^{-4}$	13.1	28	2.21	16	53
C ₄ H ₁₀	$2.42 \cdot 10^{-3}$	10.8	23	1.86	(46)	195

Quelle: K. Kleinknecht, *Detektoren für Teilchenstrahlung*, B.G. Teubner, 1992

QUALI PARAMETRI?

- I_0 : energia di ionizzazione per il dato gas
- W_i : energia media per creare una coppia elettrone/ione

Gas	ρ (g/cm ³) (STP)	I_0 (eV)	W_i (eV)	dE/dx (MeVg ⁻¹ cm ²)	n_p (cm ⁻¹)	n_t (cm ⁻¹)
H ₂	$8.38 \cdot 10^{-5}$	15.4	37	4.03	5.2	9.2
He	$1.66 \cdot 10^{-4}$	24.6	41	1.94	5.9	7.8
N ₂	$1.17 \cdot 10^{-3}$	15.5	35	1.68	(10)	56
Ne	$8.39 \cdot 10^{-4}$	21.6	36	1.68	12	39
Ar	$1.66 \cdot 10^{-3}$	15.8	26	1.47	29.4	94
Kr	$3.49 \cdot 10^{-3}$	14.0	24	1.32	(22)	192
Xe	$5.49 \cdot 10^{-3}$	12.1	22	1.23	44	307
CO ₂	$1.86 \cdot 10^{-3}$	13.7	33	1.62	(34)	91
CH ₄	$6.70 \cdot 10^{-4}$	13.1	28	2.21	16	53
C ₄ H ₁₀	$2.42 \cdot 10^{-3}$	10.8	23	1.86	(46)	195

Quelle: K. Kleinknecht, *Detektoren für Teilchenstrahlung*, B.G. Teubner, 1992

QUALI PARAMETRI?

- I_0 : energia di ionizzazione per il dato gas
- W_i : energia media per creare una coppia elettrone/ione
- n_p : numero medio di coppie elettrone/ione primarie per cm

Gas	ρ (g/cm ³) (STP)	I_0 (eV)	W_i (eV)	dE/dx (MeVg ⁻¹ cm ²)	n_p (cm ⁻¹)	n_t (cm ⁻¹)
H ₂	$8.38 \cdot 10^{-5}$	15.4	37	4.03	5.2	9.2
He	$1.66 \cdot 10^{-4}$	24.6	41	1.94	5.9	7.8
N ₂	$1.17 \cdot 10^{-3}$	15.5	35	1.68	(10)	56
Ne	$8.39 \cdot 10^{-4}$	21.6	36	1.68	12	39
Ar	$1.66 \cdot 10^{-3}$	15.8	26	1.47	29.4	94
Kr	$3.49 \cdot 10^{-3}$	14.0	24	1.32	(22)	192
Xe	$5.49 \cdot 10^{-3}$	12.1	22	1.23	44	307
CO ₂	$1.86 \cdot 10^{-3}$	13.7	33	1.62	(34)	91
CH ₄	$6.70 \cdot 10^{-4}$	13.1	28	2.21	16	53
C ₄ H ₁₀	$2.42 \cdot 10^{-3}$	10.8	23	1.86	(46)	195

Quelle: K. Kleinknecht, *Detektoren für Teilchenstrahlung*, B.G. Teubner, 1992

QUALI PARAMETRI?

- I_0 : energia di ionizzazione per il dato gas
- W_i : energia media per creare una coppia elettrone/ione
- n_p : numero medio di coppie elettrone/ione primarie per cm
- n_T : numero medio di coppie elettrone/ione totali per cm

Gas	ρ (g/cm ³) (STP)	I_0 (eV)	W_i (eV)	dE/dx (MeVg ⁻¹ cm ²)	n_p (cm ⁻¹)	n_t (cm ⁻¹)
H ₂	$8.38 \cdot 10^{-5}$	15.4	37	4.03	5.2	9.2
He	$1.66 \cdot 10^{-4}$	24.6	41	1.94	5.9	7.8
N ₂	$1.17 \cdot 10^{-3}$	15.5	35	1.68	(10)	56
Ne	$8.39 \cdot 10^{-4}$	21.6	36	1.68	12	39
Ar	$1.66 \cdot 10^{-3}$	15.8	26	1.47	29.4	94
Kr	$3.49 \cdot 10^{-3}$	14.0	24	1.32	(22)	192
Xe	$5.49 \cdot 10^{-3}$	12.1	22	1.23	44	307
CO ₂	$1.86 \cdot 10^{-3}$	13.7	33	1.62	(34)	91
CH ₄	$6.70 \cdot 10^{-4}$	13.1	28	2.21	16	53
C ₄ H ₁₀	$2.42 \cdot 10^{-3}$	10.8	23	1.86	(46)	195

Quelle: K. Kleinknecht, *Detektoren für Teilchenstrahlung*, B.G. Teubner, 1992

QUALI GAS?

- La scelta dipende molto dalle caratteristiche del rivelatore e dalle prestazioni che si vogliono ottenere
- *Ar* è spesso scelto come base per la miscela perchè ha buone caratteristiche ed è abbondante in natura → anche il fattore economico conta

Gas	ρ (g/cm ³) (STP)	I_0 (eV)	W_i (eV)	dE/dx (MeVg ⁻¹ cm ²)	n_p (cm ⁻¹)	n_t (cm ⁻¹)
H ₂	$8.38 \cdot 10^{-5}$	15.4	37	4.03	5.2	9.2
He	$1.66 \cdot 10^{-4}$	24.6	41	1.94	5.9	7.8
N ₂	$1.17 \cdot 10^{-3}$	15.5	35	1.68	(10)	56
Ne	$8.39 \cdot 10^{-4}$	21.6	36	1.68	12	39
Ar	$1.66 \cdot 10^{-3}$	15.8	26	1.47	29.4	94
Kr	$3.49 \cdot 10^{-3}$	14.0	24	1.32	(22)	192
Xe	$5.49 \cdot 10^{-3}$	12.1	22	1.23	44	307
CO ₂	$1.86 \cdot 10^{-3}$	13.7	33	1.62	(34)	91
CH ₄	$6.70 \cdot 10^{-4}$	13.1	28	2.21	16	53
C ₄ H ₁₀	$2.42 \cdot 10^{-3}$	10.8	23	1.86	(46)	195

Quelle: K. Kleinknecht, *Detektoren für Teilchenstrahlung*, B.G. Teubner, 1992

UN PO' DI STATISTICA

Il processo di ionizzazione primaria segue la **distribuzione poissoniana**

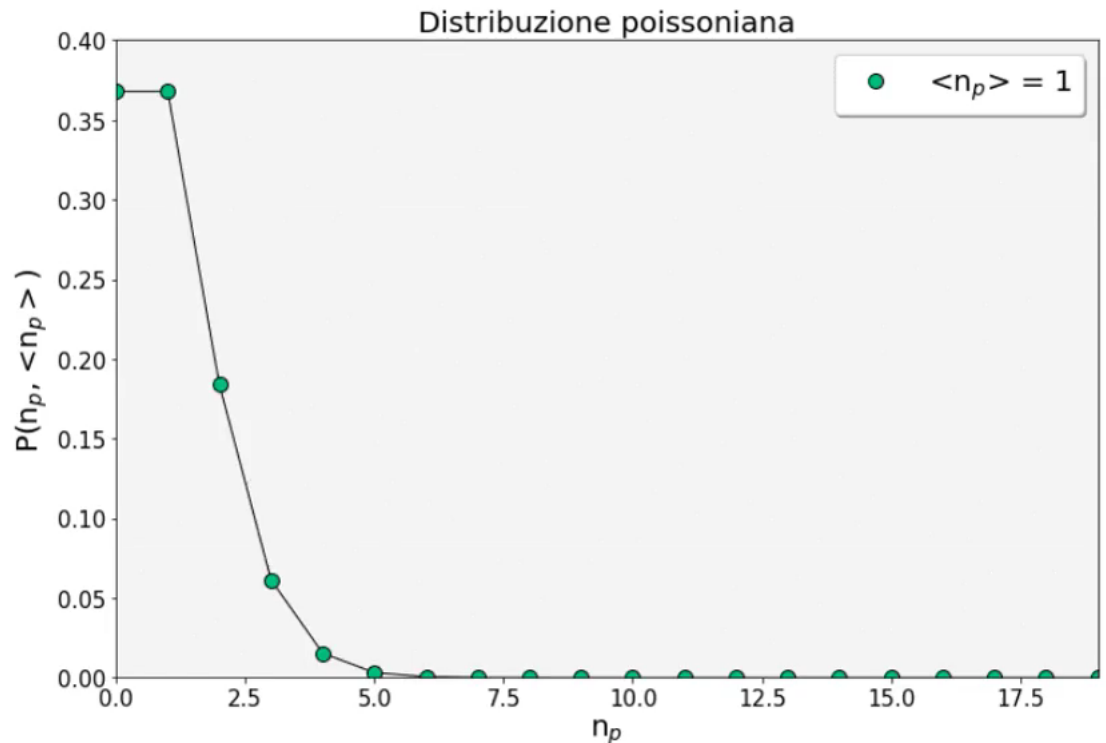
$$P(n_p, \langle n_p \rangle) = \frac{\langle n_p \rangle^{n_p} e^{-\langle n_p \rangle}}{n_p!}$$

dove:

- $\langle n_p \rangle = L/\lambda$
- $\lambda = \frac{1}{n_e \sigma_I}$
- σ_I è la sezione d'urto di ionizzazione
- n_e è la densità elettronica
- L è lo spessore del gas

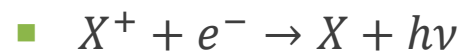
Quali sono gli effetti che influenzano le prestazioni?

CHIARA AIMÈ & ILARIA VAI

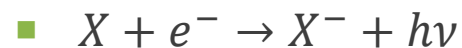


RICOMBINAZIONE ED ELECTRON ATTACHMENT

In assenza di campo elettrico, elettroni e ioni si ricombinano per effetto della forza coulombiana



Inoltre, se un gas elettronegativo è utilizzato nella miscela, i suoi atomi possono catturare elettroni:



→ L'efficienza di raccolta di elettroni e ioni è degradata

Esempi di gas elettronegativi: SF_6 , O_2 ...

Periodic Table of the Elements

Electronegativity

1

H

Hydrogen

2.20

3

Li

Lithium

0.98

4

Be

Beryllium

1.57

11

Na

Sodium

0.93

12

Mg

Magnesium

1.31

19

K

Potassium

0.82

20

Ca

Calcium

1.00

37

Rb

Rubidium

0.82

38

Sr

Strontium

0.95

55

Cs

Cesium

0.79

56

Fr

Francium

0.7

21

Sc

Scandium

1.36

22

Ti

Titanium

1.54

23

V

Vanadium

1.63

24

Cr

Chromium

1.66

25

Mn

Manganese

1.55

26

Fe

Iron

1.83

27

Co

Cobalt

1.88

28

Ni

Nickel

1.91

29

Cu

Copper

1.90

30

Zn

Zinc

1.65

31

Ga

Gallium

1.81

32

Ge

Germanium

2.01

33

As

Arsenic

2.18

34

Se

Selenium

2.55

35

Br

Bromine

2.96

36

Kr

Krypton

3.00

57-71

La

Lanthanum

1.10

72

Hf

Hafnium

1.5

73

Ta

Tantalum

1.6

74

W

Tungsten

2.36

75

Re

Rhenium

1.9

76

Os

Osmium

2.2

77

Ir

Iridium

2.2

78

Pt

Platinum

2.28

79

Au

Gold

2.54

80

Hg

Mercury

2.00

81

Tl

Thallium

1.62

82

Pb

Lead

2.33

83

Bi

Bismuth

2.02

84

Po

Polonium

2.0

85

At

Astatine

2.2

86

Rn

Radon

no data

87-103

Ac

Actinium

1.1

104

Rf

Rutherfordium

no data

105

Db

Dubnium

no data

106

Sg

Seaborgium

no data

107

Bh

Berkelium

no data

108

Hs

Hassium

no data

109

Mt

Mendelevium

no data

110

Ds

Darmstadtium

no data

111

Rg

Roentgenium

no data

112

Cn

Copernicium

no data

113

Nh

Nihonium

no data

114

Fl

Flerovium

no data

115

Mc

Moscovium

no data

116

Lv

Livermorium

no data

117

Ts

Tennessine

no data

118

Og

Oganesson

no data

67

La

Lanthanum

1.10

68

Ce

Cerium

1.12

69

Pr

Praseodymium

1.13

70

Nd

Niobium

1.14

71

Pm

Promethium

1.13

72

Sm

Samarium

1.17

73

Eu

Europium

1.2

74

Gd

Gadolinium

1.2

75

Tb

Terbium

1.22

76

Dy

Dysprosium

1.23

77

Ho

Holmium

1.24

78

Er

Erbium

1.24

79

Tm

Thulium

1.25

80

Yb

Ytterbium

1.1

81

Lu

Lutetium

1.27

86

Ac

Actinium

1.1

87

Th

Thorium

1.3

88

Pa

Protactinium

1.5

89

U

Uranium

1.38

90

Np

Neptunium

1.36

91

Pu

Plutonium

1.28

92

Am

Americium

1.3

93

Cm

Curium

1.3

94

Bk

Berkelium

1.3

95

Cf

Californium

1.3

96

Es

Einsteinium

1.3

97

Fm

Fermium

1.3

98

Md

Mendelevium

1.3

99

No

Nobelium

1.3

100

Lr

Lutetium

no data

© 2017 Todd Helmenstine
sciencenotes.org

<https://sciencenotes.org/list-of-electronegativity-values-of-the-elements/>

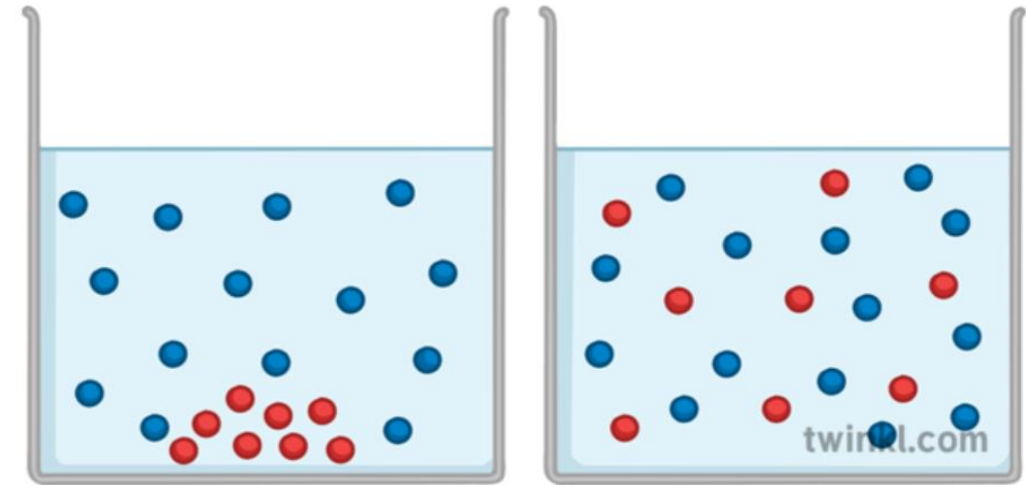
DIFFUSIONE

In assenza di campo elettrico elettroni e ioni si muovono per **diffusione** dal punto di creazione e subiscono multiple collisioni sul loro cammino → perdita di energia

→ Raggiungono energie termiche e ricombinano

$$\frac{dN}{dx} = \frac{N_0}{\sqrt{4\pi Dt}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right)$$

dove D è il coefficiente di diffusione, che dipende da pressione e temperatura del gas.



<https://www.twinkl.co.za/illustration/diffusion-2>

DRIFT E MOBILITÀ

In presenza di campo elettrico ($\vec{E}$), elettroni e ioni vengono accelerati → raggiungono una velocità massima media chiamata **velocità di drift**

$$\vec{v}_d = \mu_{e/i} \vec{E}$$

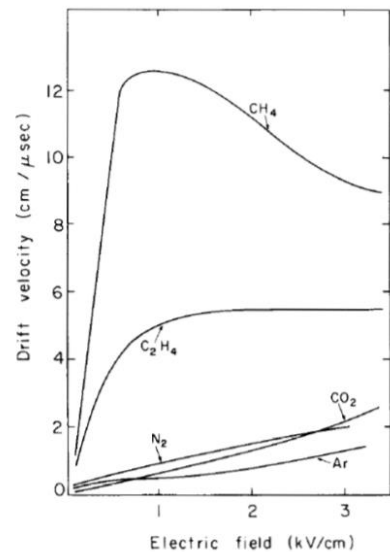
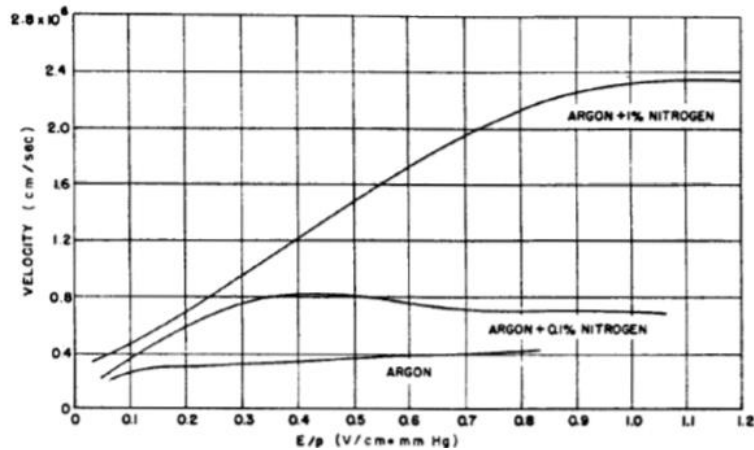
μ_e : mobilità elettroni

μ_i : mobilità ioni

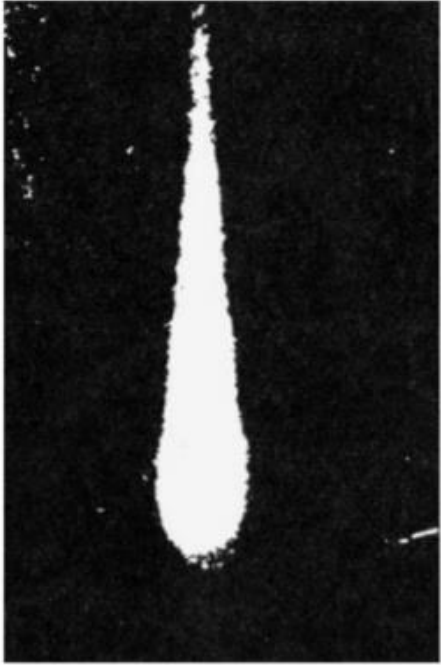
Ordini di grandezza:

$$v_d^e \sim \text{cm}/\mu\text{s}$$

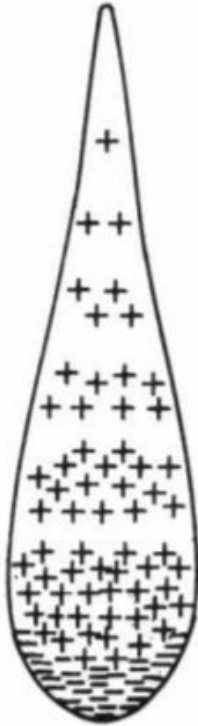
$$v_d^i \sim \text{cm}/\text{ms}$$



Townsend avalanche



Drop-like shape of an avalanche
Left: cloud chamber picture
Right: schematic view



CREAZIONE DELLA VALANGA

Campi elettrici intensi = elevata energia cinetica acquisita dagli elettroni = aumento ionizzazione

→ **Sviluppo di una valanga di carica**

La forma tipica a goccia è dovuta alla differenza di mobilità tra elettroni e ioni.

Primo coefficiente di Townsend: $\alpha = \frac{1}{\lambda_{ion}}$, dove λ_{ion} è il libero cammino medio

$$dn = n\alpha dx \rightarrow n = n_0 e^{\alpha x} \rightarrow G = \frac{n}{n_0} = e^{\alpha x}$$

con un guadagno massimo di $G \sim 10^8$ o $\alpha x \sim 20$, chiamato **limite di Raether**, al di sopra del quale si generano scariche...

11/01/2021

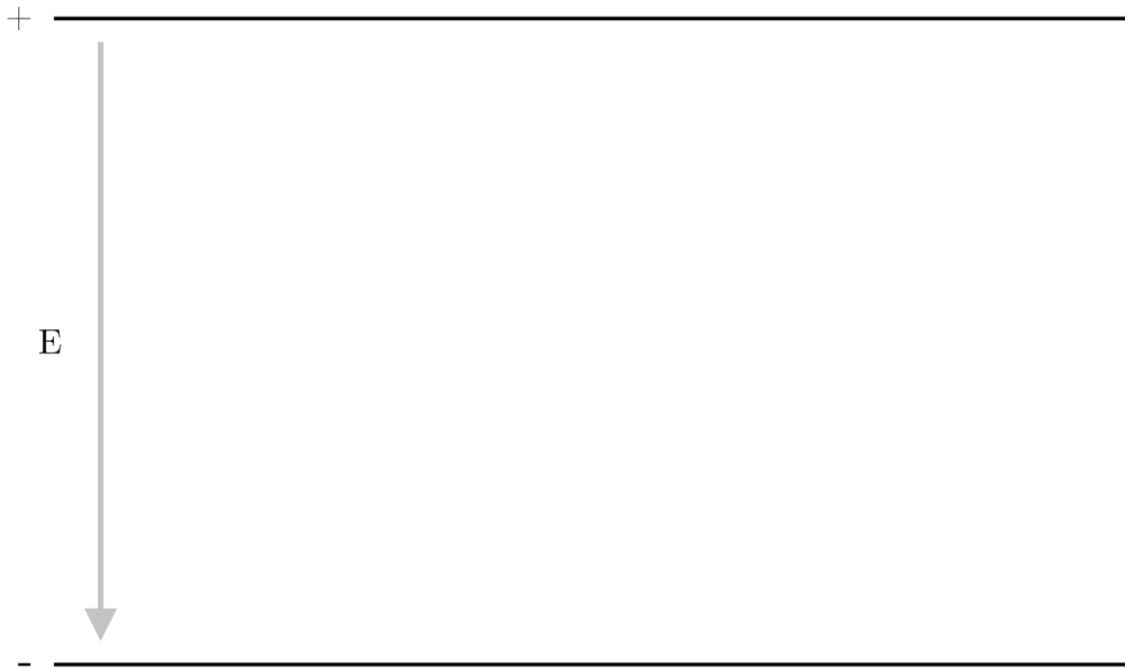
17

RIVELATORI A GAS CLASSICI

CHIARA AIMÈ & ILARIA VAI



LA GEOMETRIA PIÙ SEMPLICE: RIVELATORE A PIATTI PIANI PARALLELI

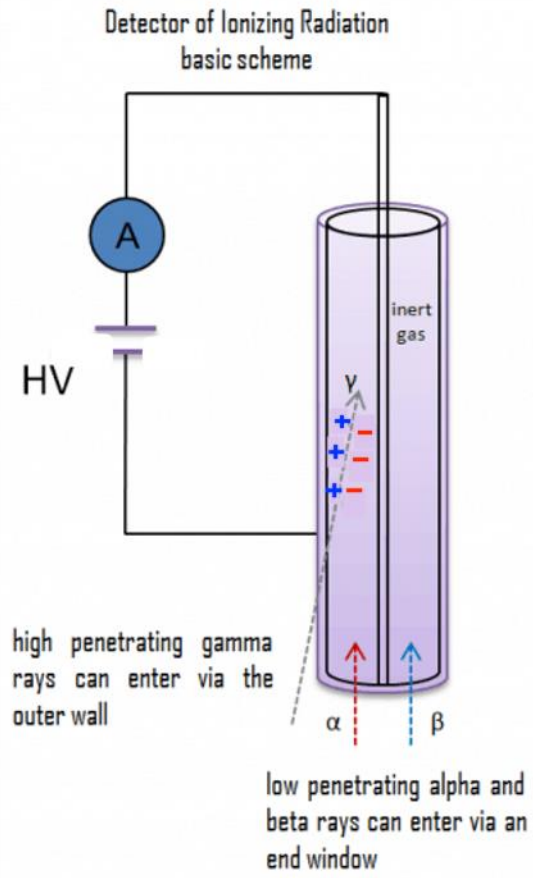


Campo elettrico molto intenso perpendicolare agli elettrodi.

Gli elettroni sono accelerati verso l'anodo e generano valanghe durante il loro percorso → la dimensione della valanga dipende dalla posizione in cui avviene la prima ionizzazione!

→ ***L'ampiezza del segnale prodotto non è proporzionale all'energia depositata!***

CONTATORE CILINDRICO PROPORZIONALE



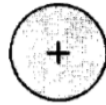
Geometria: singolo filo anodico circondato da un catodo cilindrico.

Campo elettrico: $E = \frac{1}{r} \frac{V_0}{\ln(b/a)}$

- r : distanza radiale dal filo
- $+V_0$: tensione relativa dell'anodo rispetto al catodo
- a : raggio del filo anodico
- b : raggio interno del catodo

→ Il campo elettrico è debole a raggi più grandi, cioè lontano dall'anodo: la moltiplicazione avviene solo in prossimità del filo → **proporzionalità**

FORMAZIONE DELLA VALANGA

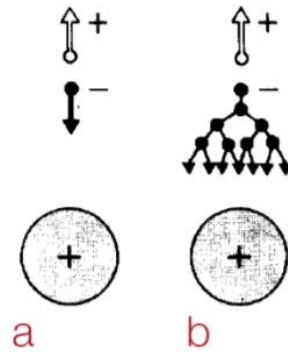


a

https://www.desy.de/~garutti/LECTURES/ParticleDetectorSS12/L4_gasDetectors.pdf

- a) Un singolo elettrone primario si muove verso l'anodo

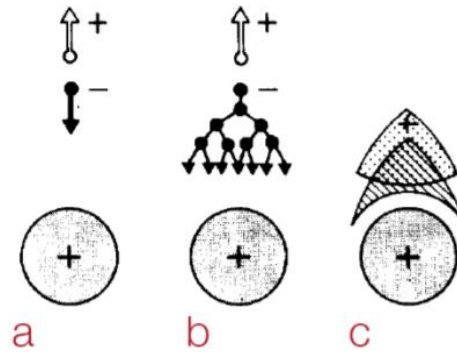
FORMAZIONE DELLA VALANGA



https://www.desy.de/~garutti/LECTURES/ParticleDetectorSS12/L4_gasDetectors.pdf

- a) Un singolo elettrone primario si muove verso l'anodo
- b) Avvicinandosi all'anodo, l'elettrone primario genera una valanga

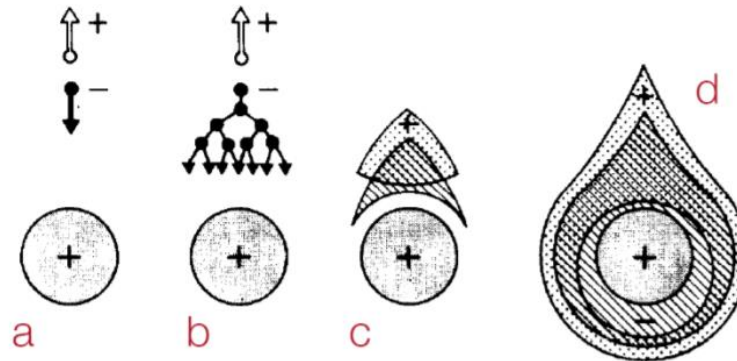
FORMAZIONE DELLA VALANGA



https://www.desy.de/~garutti/LECTURES/ParticleDetectorSS12/L4_gasDetectors.pdf

- a) Un singolo elettrone primario si muove verso l'anodo
- b) Avvicinandosi all'anodo, l'elettrone primario genera una valanga
- c) Elettroni e ioni diffondono lateralmente

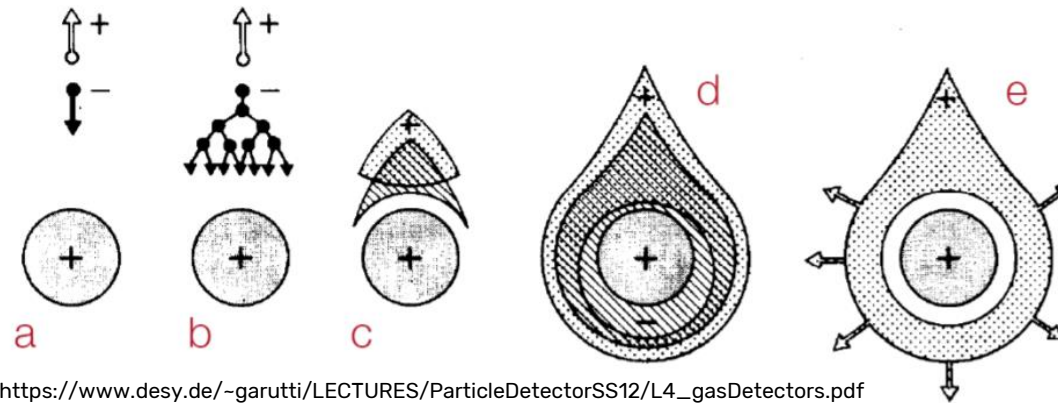
FORMAZIONE DELLA VALANGA



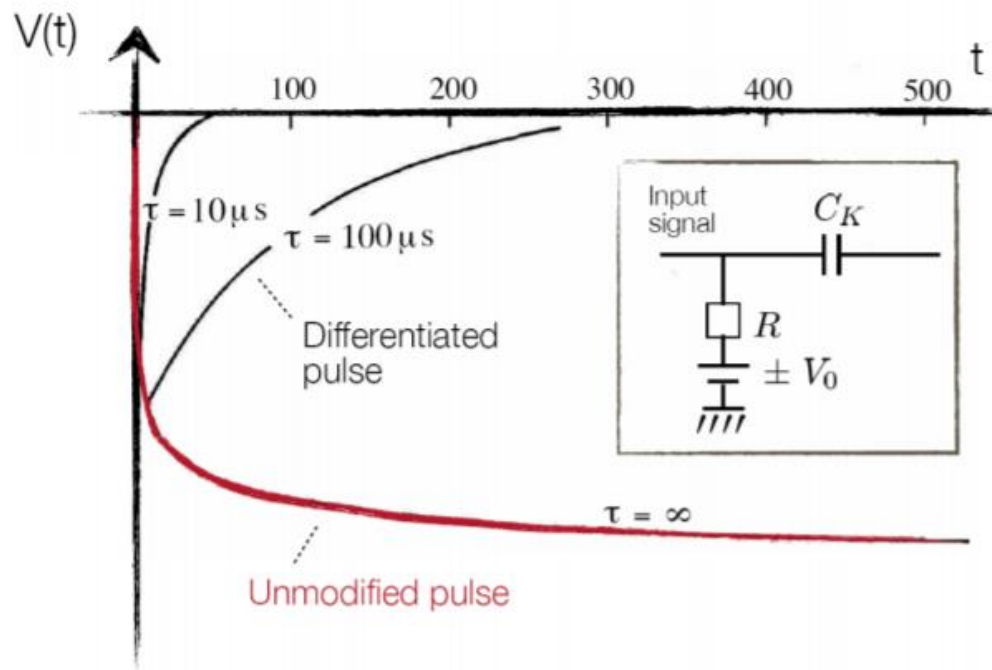
https://www.desy.de/~garutti/LECTURES/ParticleDetectorSS12/L4_gasDetectors.pdf

- a) Un singolo elettrone primario si muove verso l'anodo
- b) Avvicinandosi all'anodo, l'elettrone primario genera una valanga
- c) Elettroni e ioni diffondono lateralmente
- d) La valanga circonda l'anodo

FORMAZIONE DELLA VALANGA



- a) Un singolo elettrone primario si muove verso l'anodo
- b) Avvicinandosi all'anodo, l'elettrone primario genera una valanga
- c) Elettroni e ioni diffondono lateralmente
- d) La valanga circonda l'anodo
- e) Gli elettroni sono raccolti velocemente (1 ns), mentre gli ioni iniziano a muoversi verso il catodo, inducendo un segnale sugli elettrodi



https://www.desy.de/~garutti/LECTURES/ParticleDetectorSS12/L4_gasDetectors.pdf

Il segnale è indotto dal moto delle cariche verso l'anodo e il catodo.

Il rapporto tra il segnale indotto da elettroni e ioni è dell'ordine di

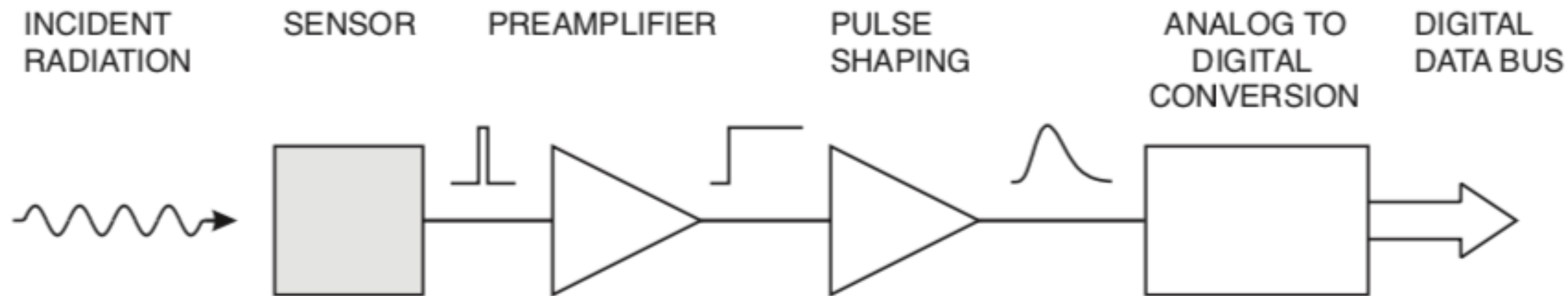
$$\frac{V^-}{V^+} \sim 0.013$$

con valori tipici di $a = 10 \mu m$, $b = 10 mm$, $r = 1 \mu m$ $\left(E = \frac{1}{r} \frac{V_0}{\ln(b/a)} \right)$

→ Segnale quasi interamente dovuto al moto degli ioni!

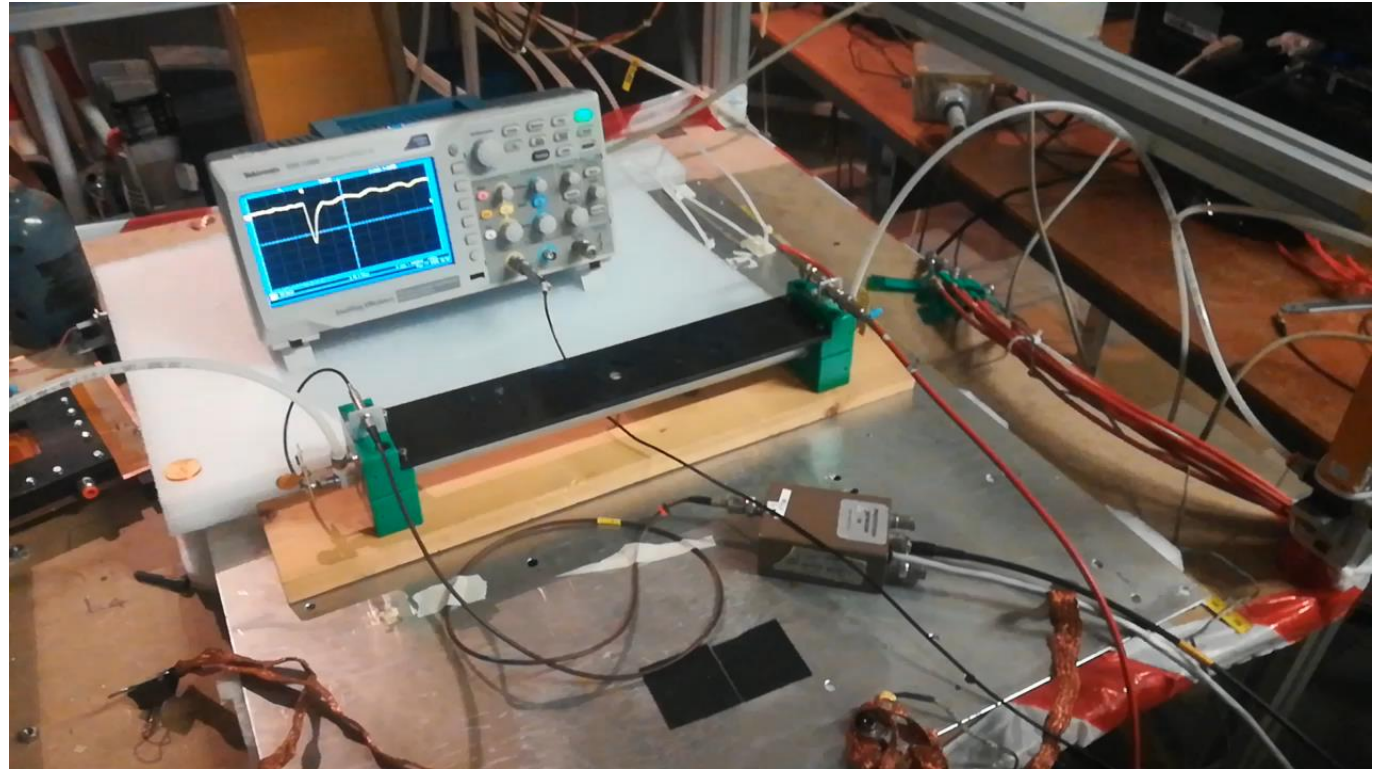
La linea rossa mostra il segnale non modificato → circuiti RC sono utilizzati in uscita dal rivelatore per accorciarne la durata.

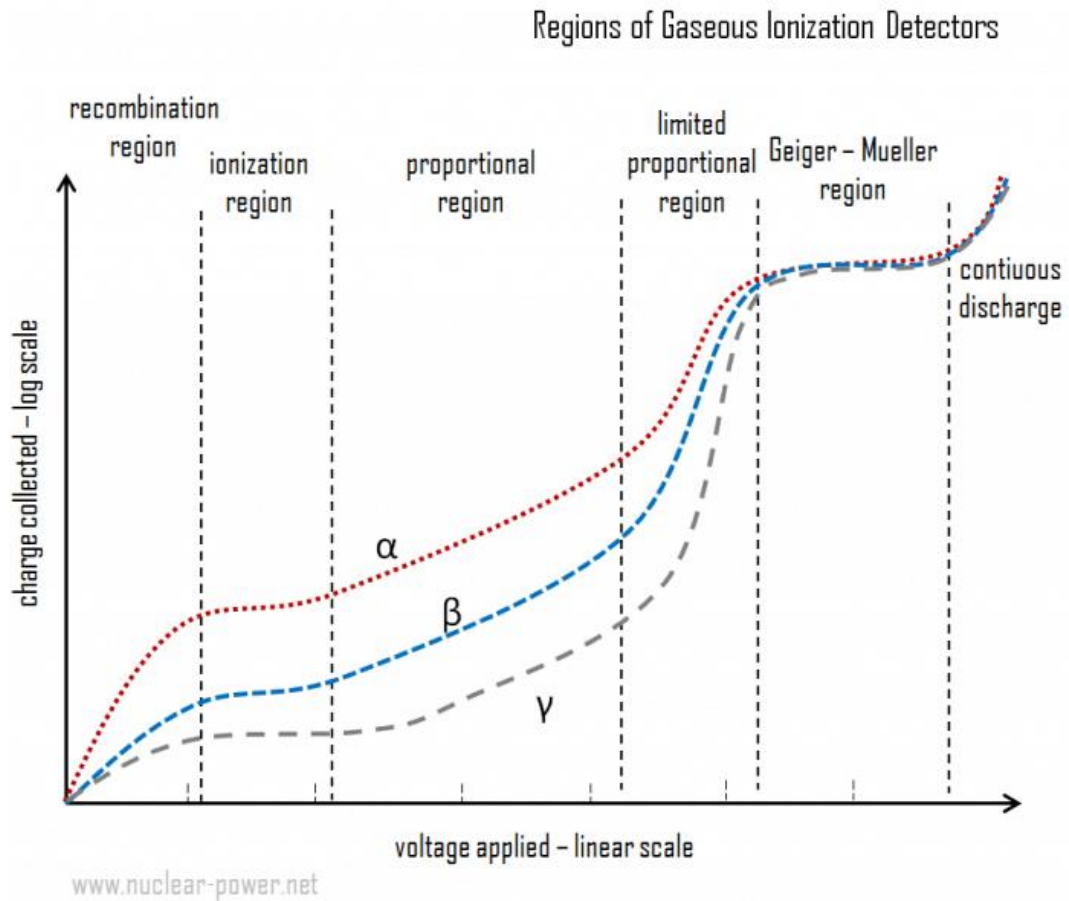
IL SEGNALE



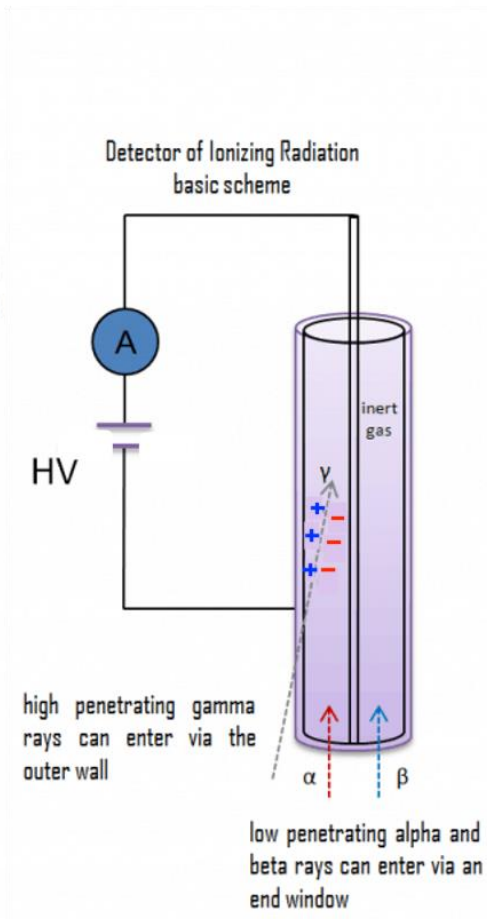
CATENA DI LETTURA

LINEA AL LABORATORIO - I





<https://www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/radiation-detection/gaseous-ionization-detector/proportional-counter-proportional-detector/gas-amplification-factor-gas-amplification-curve/>



REGIMI OPERATIVI

SCELTA DEL GAS

Le performance di un contatore proporzionale, ed in generale di un rivelatore a gas, sono fortemente influenzate dalla scelta del gas.

SCELTA DEL GAS

Le performance di un contatore proporzionale, ed in generale di un rivelatore a gas, sono fortemente influenzate dalla scelta del gas.

Tre criteri guidano la scelta:

- Bassa tensione di lavoro
- Buona proporzionalità
- Alta rate** supportata

**La rate è il numero di particelle incidenti sul rivelatore per unità di tempo e, in genere, di area. Si misura in Hz/cm^2 .

SCELTA DEL GAS

Le performance di un contatore proporzionale, ed in generale di un rivelatore a gas, sono fortemente influenzate dalla scelta del gas.

Tre criteri guidano la scelta:

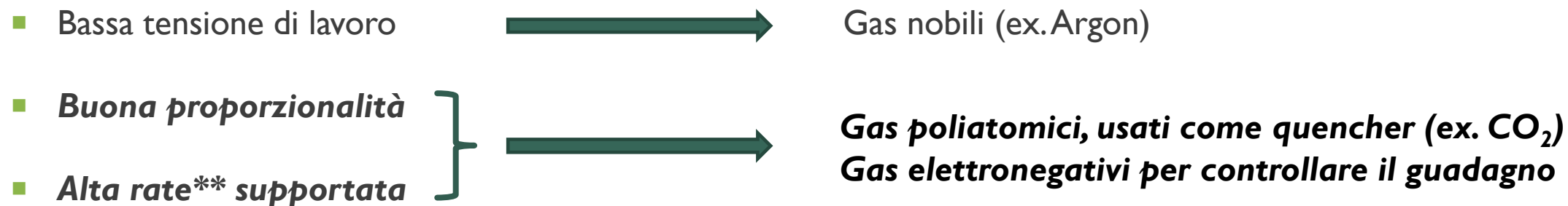
- ***Bassa tensione di lavoro***  ***Gas nobili (ex. Argon)***
- Buona proporzionalità
- Alta rate** supportata

**La rate è il numero di particelle incidenti sul rivelatore per unità di tempo e, in genere, di area. Si misura in Hz/cm^2 .

SCELTA DEL GAS

Le performance di un contatore proporzionale, ed in generale di un rivelatore a gas, sono fortemente influenzate dalla scelta del gas.

Tre criteri guidano la scelta:



**La rate è il numero di particelle incidenti sul rivelatore per unità di tempo e, in genere, di area. Si misura in Hz/cm^2 .

SCELTA DEL GAS

Le performance di un contatore proporzionale, ed in generale di un rivelatore a gas, sono fortemente influenzate dalla scelta del gas.

Tre criteri guidano la scelta:

- **Bassa tensione di lavoro**
- **Buona proporzionalità**
- **Alta rate** supportata**



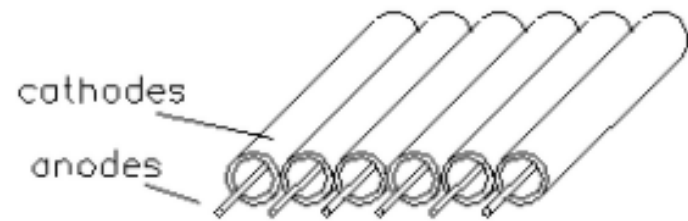
Generalmente i rivelatori a gas vengono operati con miscele di gas (Ar/CO_2 , $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4/\text{iC}_4\text{H}_{10}/\text{SF}_6$)

**La rate è il numero di particelle incidenti sul rivelatore per unità di tempo e, in genere, di area. Si misura in Hz/cm^2 .



E SE VOLESSIMO UN'INFORMAZIONE SULLA POSIZIONE DELL'INTERAZIONE?

DA UNA MATRICE DI RIVELATORI DISCRETI...



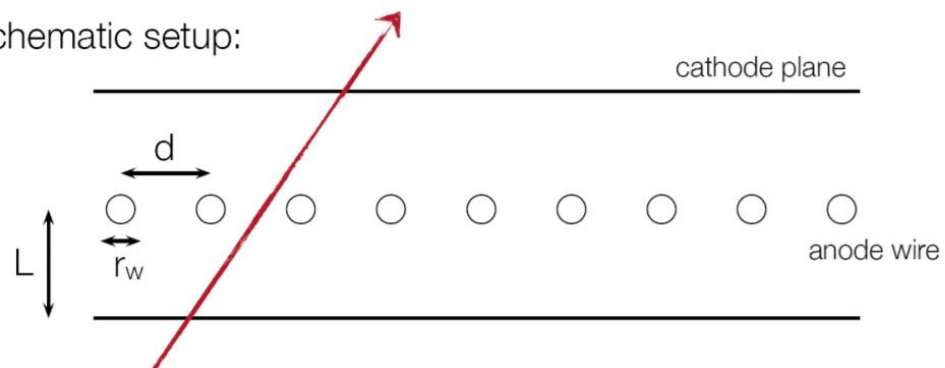
...AD UN CONTATORE PROPORZIONALE MULTIFILO (MWPC)



...AD UN CONTATORE PROPORZIONALE MULTIFILO (MWPC)

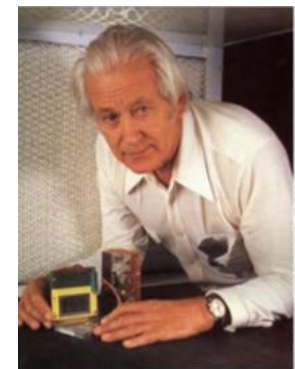


Schematic setup:

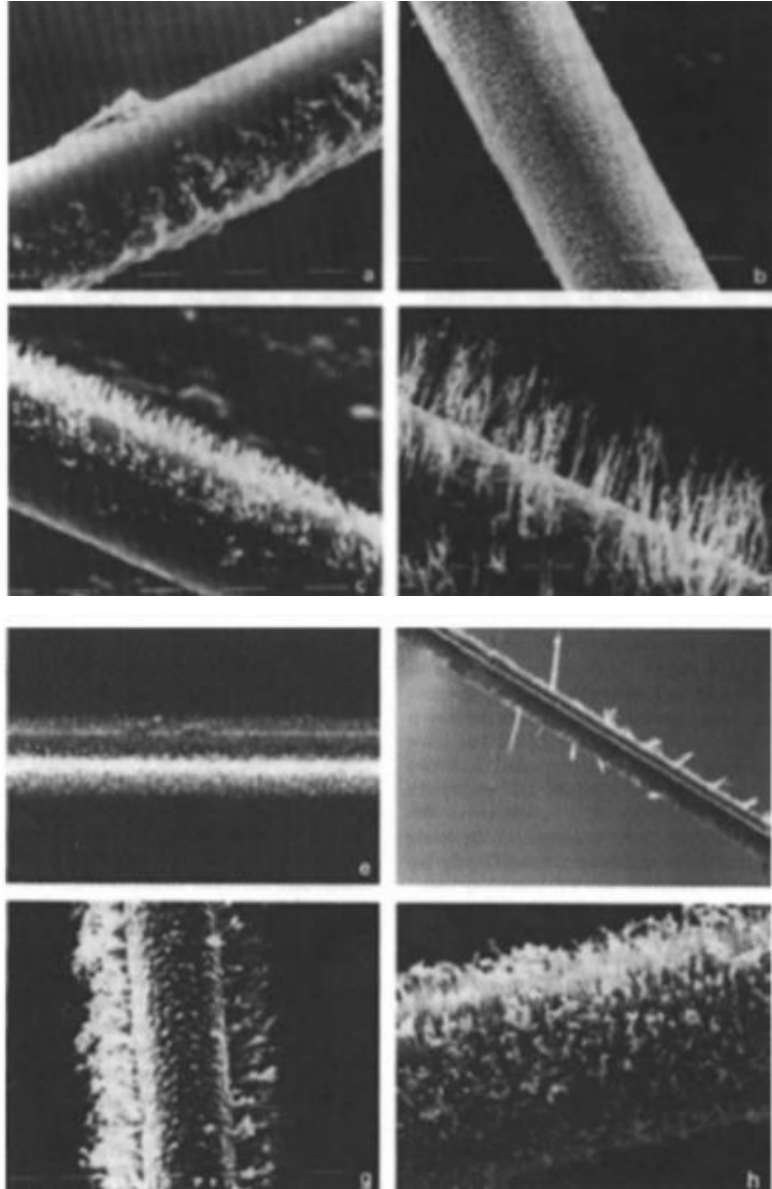


https://www.desy.de/~garutti/LECTURES/ParticleDetectorSS12/L4_gasDetectors.pdf

$$\begin{aligned}d &= 2 - 4 \text{ mm} \\ r_w &= 20 - 25 \mu\text{m} \\ L &= 3 - 6 \text{ mm} \\ V_0 &= \text{diversi kV}\end{aligned}$$



G. Charpak
Nobel prize 1992



CON DELLE LIMITAZIONI

- Limitazioni meccaniche dovute al posizionamento e tensionamento dei fili
 - Risoluzione spaziale limitata a $\sim mm$
- Massima rate sostenibile limitata
- Effetti di ageing

11/01/2021

39

RIVELATORI A GAS DI NUOVA GENERAZIONE

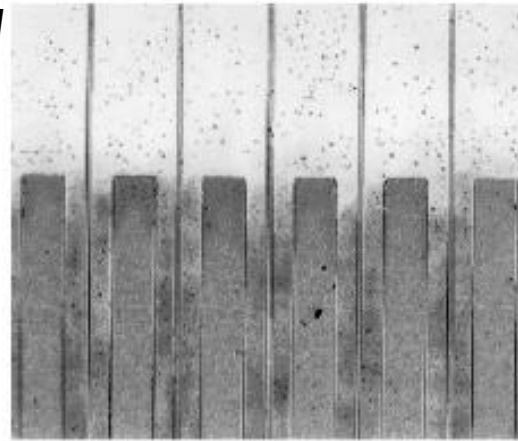
I MICROPATTERN GASEOUS
DETECTORS

CHIARA AIMÈ & ILARIA VAI

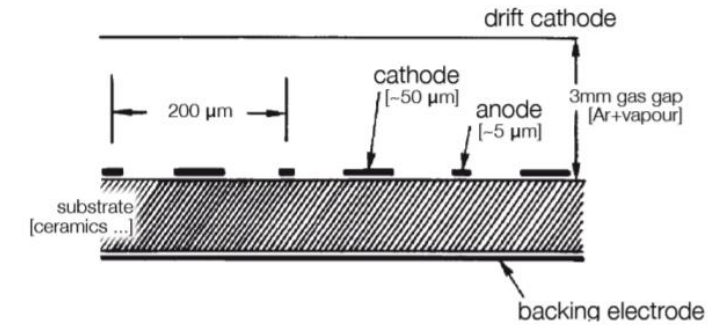


UN NUOVO APPROCCIO: MSGC

By Oed



Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. 1999, 49:341–88



https://www.desy.de/~garutti/LECTURES/ParticleDetectorSS12/L4_gasDetectors.pdf

- **Goal:** eliminare le limitazioni imposte dall'uso dei fili
- **Metodo:** utilizzo di tecniche fotolitografiche per depositare elettrodi metallici direttamente su un substrato

→ **MicroStrip Gas Chamber (MSGC)**

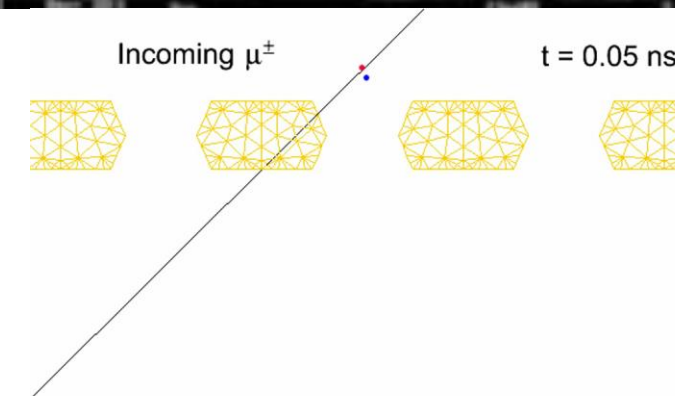
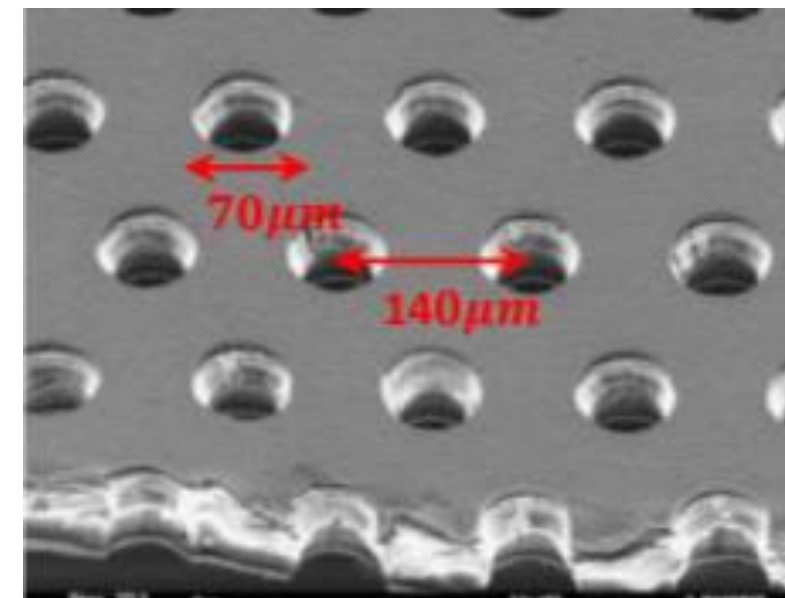
GAS ELECTRON MULTIPLIERS

Foglio GEM:

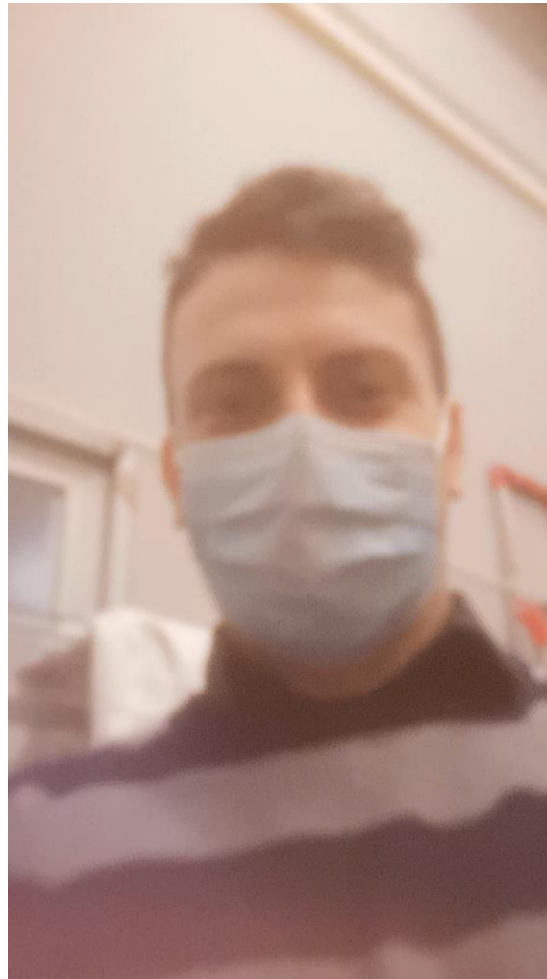
- Foglio di polyimide di spessore 50 μm , ricoperto di rame su entrambi i lati
- Fori in pattern esagonale, con diametro 70 μm e pitch 140 μm

Principio di funzionamento:

- La ionizzazione avviene nella regione di drift ($E_d \sim \text{pochi } kV/cm$)
- Gli elettroni si muovono verso i buchi $\rightarrow$ all'interno dei buchi il campo elettrico è molto più intenso ($E_d \sim \text{poche centinaia } kV/cm$) $\rightarrow$ regione di amplificazione
- Gli elettroni amplificati si muovono verso l'anodo, mentre gli ioni tornano indietro

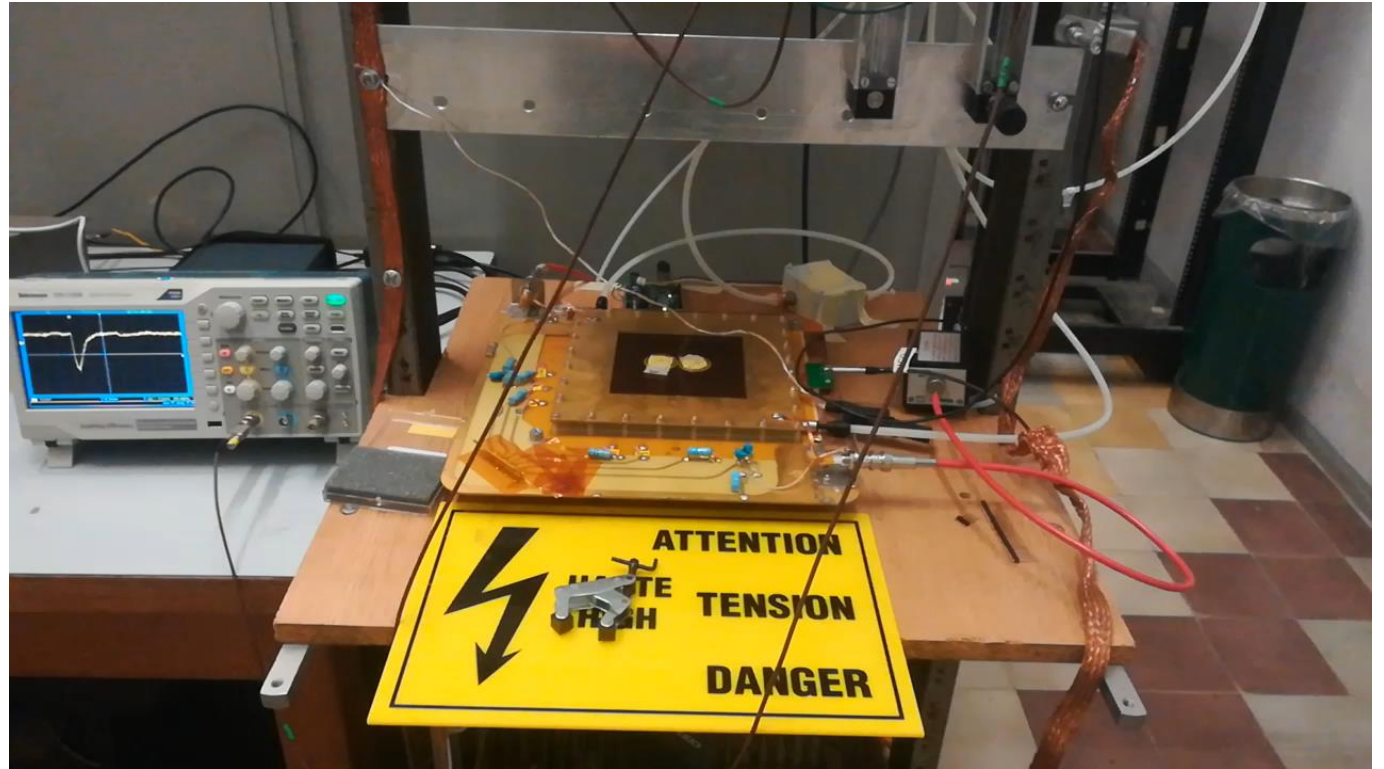


LINEA AL LABORATORIO - 2



*Nessun dottorando è stato
maltrattato durante la preparazione
di questo video ;)*

LINEA AL LABORATORIO - 3



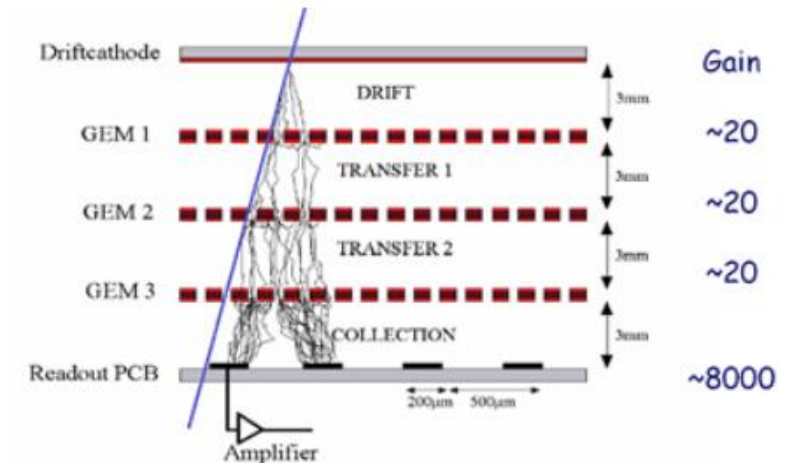
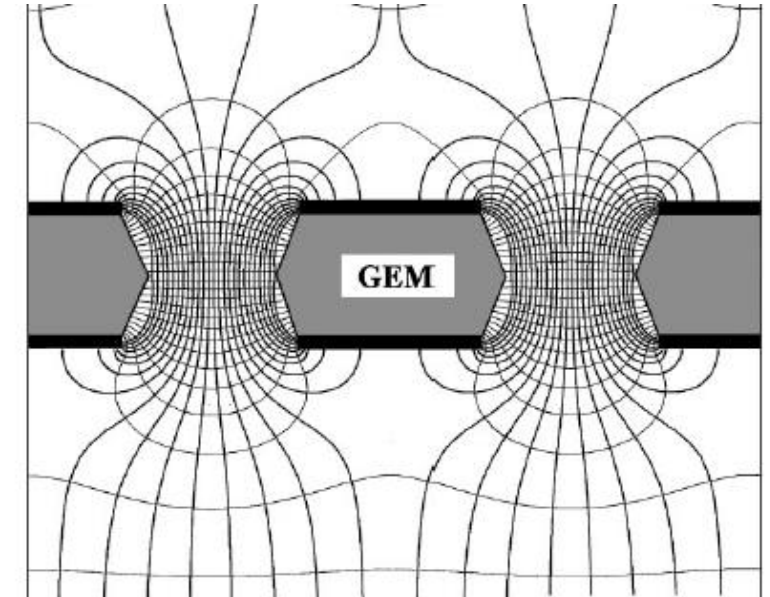
GAS ELECTRON MULTIPLIER

Pros:

- L'amplificazione è localizzata nei buchi → alta rate supportata
- Più fogli GEM possono essere utilizzati in cascata per raggiungere guadagni più alti a tensioni più basse
- Studi recenti hanno dimostrato anche un'alta resistenza alle radiazioni
- Un'ottima risoluzione spaziale può essere ottenuta con una segmentazione appropriata del readout

Cons:

- Le scariche possono danneggiare gli elettrodi



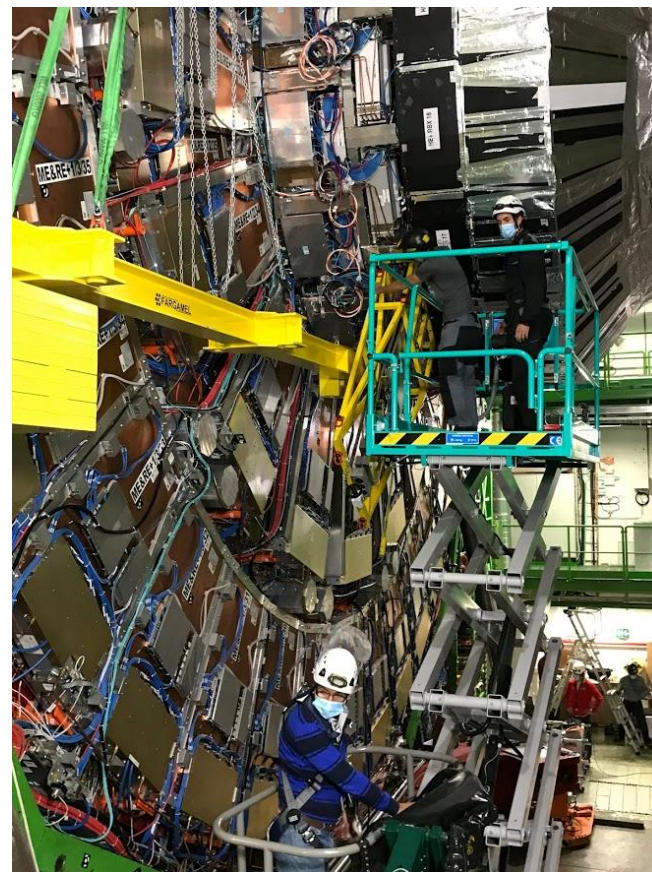
POSSIBILI APPLICAZIONI

FISICA DELLE ALTE ENERGIE

GEM per l'esperimento CMS al CERN



CHIARA AIMÈ & ILARIA VAI



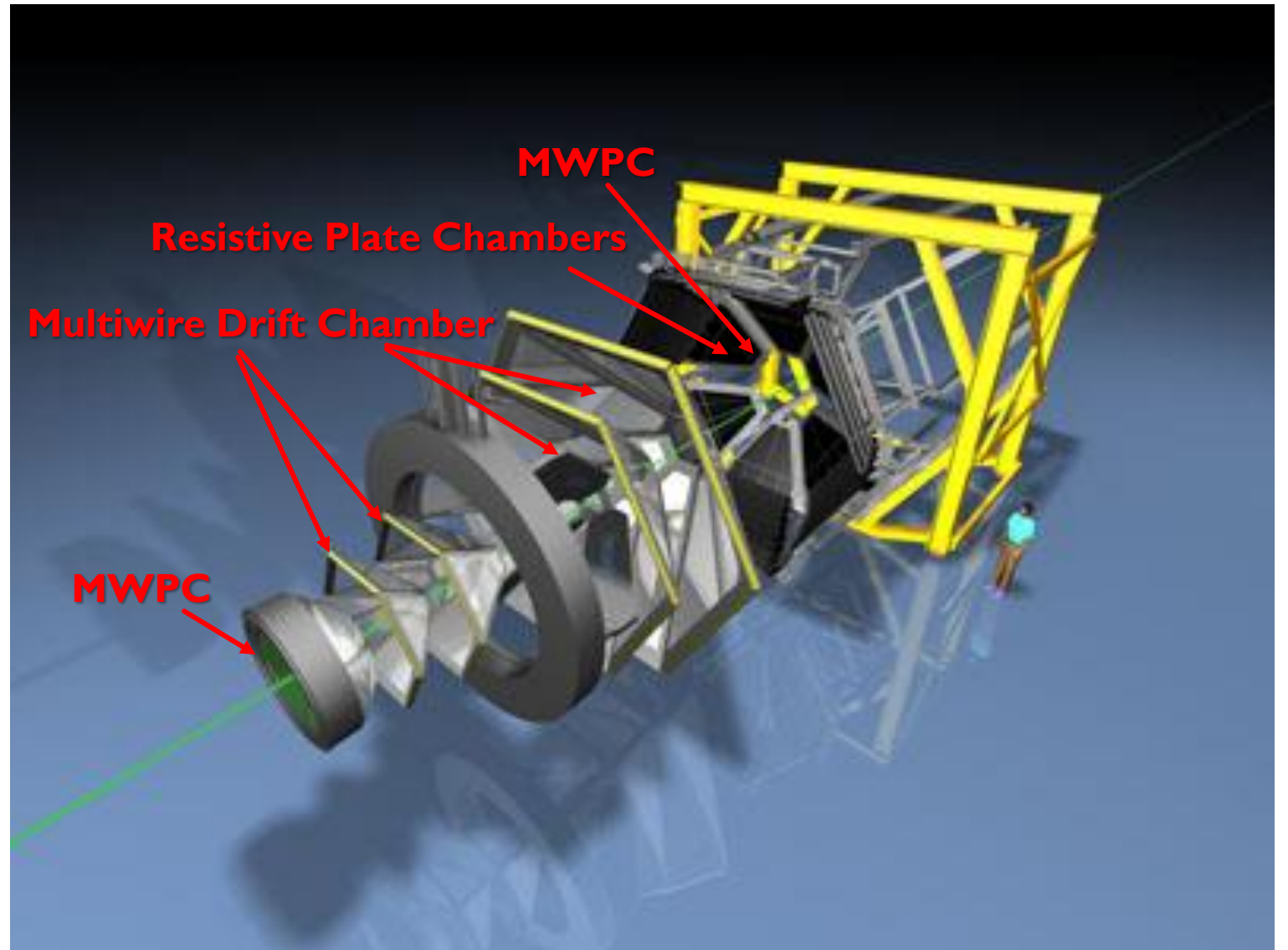
<https://cms.cern/detector/detecting-muons/gas-electron-multiplier>

FISICA NUCLEARE

Esperimento HADES al GSI

https://www.gsi.de/en/researchaccelerators/research_an_overview/hades_experiment.htm

CHIARA AIMÈ & ILARIA VAI

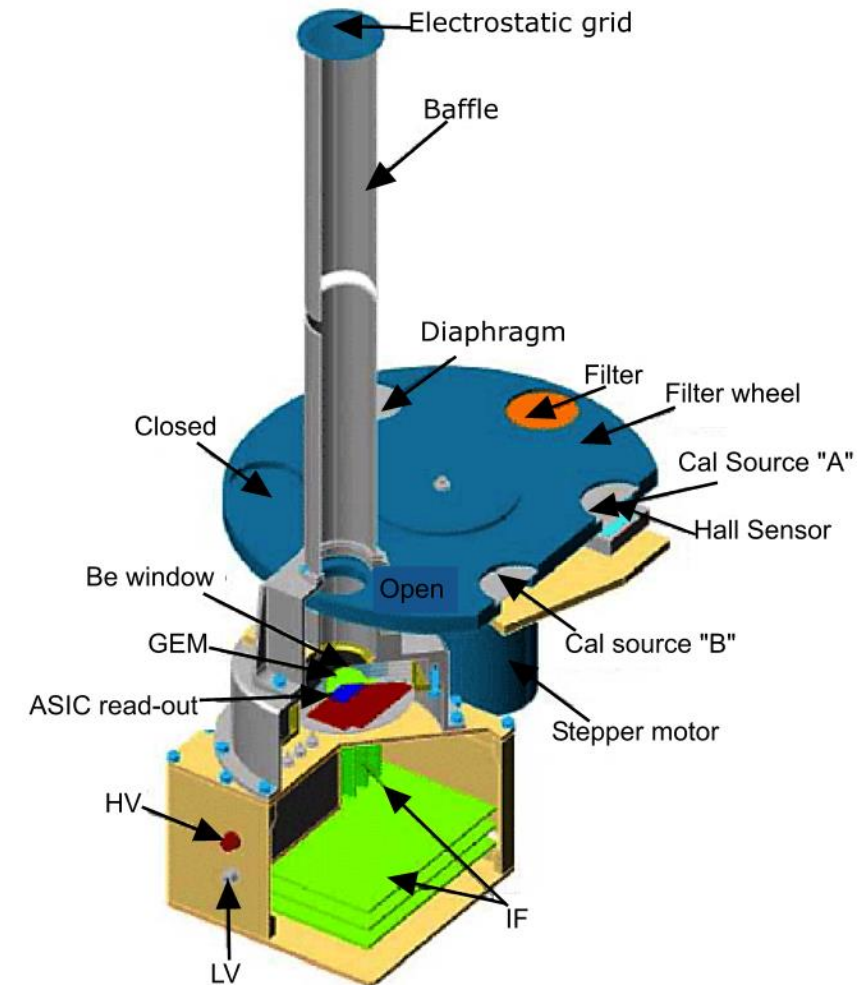
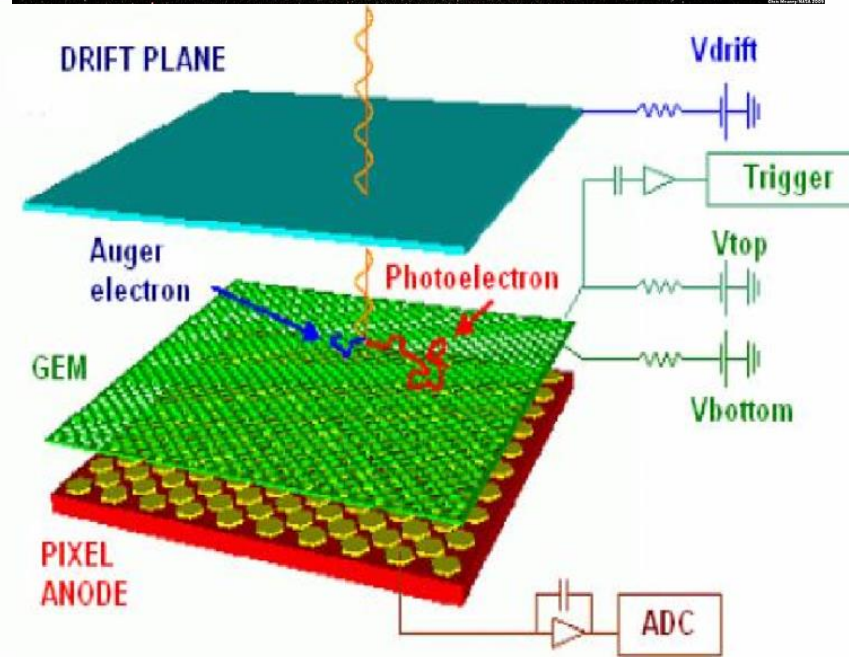
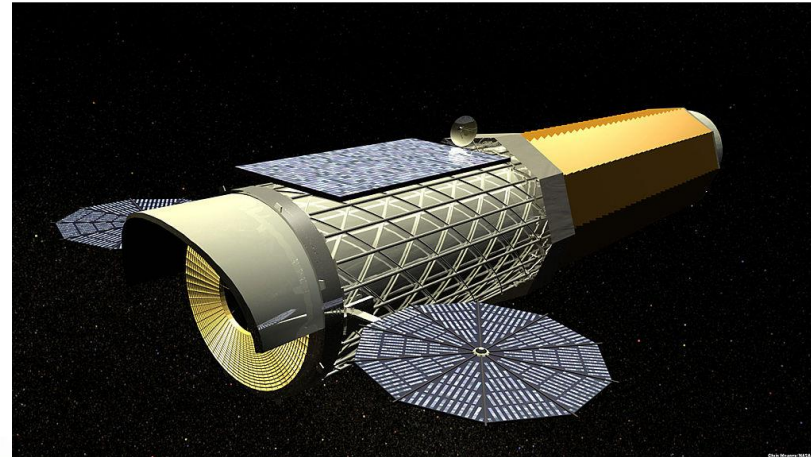


11/01/2021

46

ASTRONOMIA

GEM per polarimetro di IXO



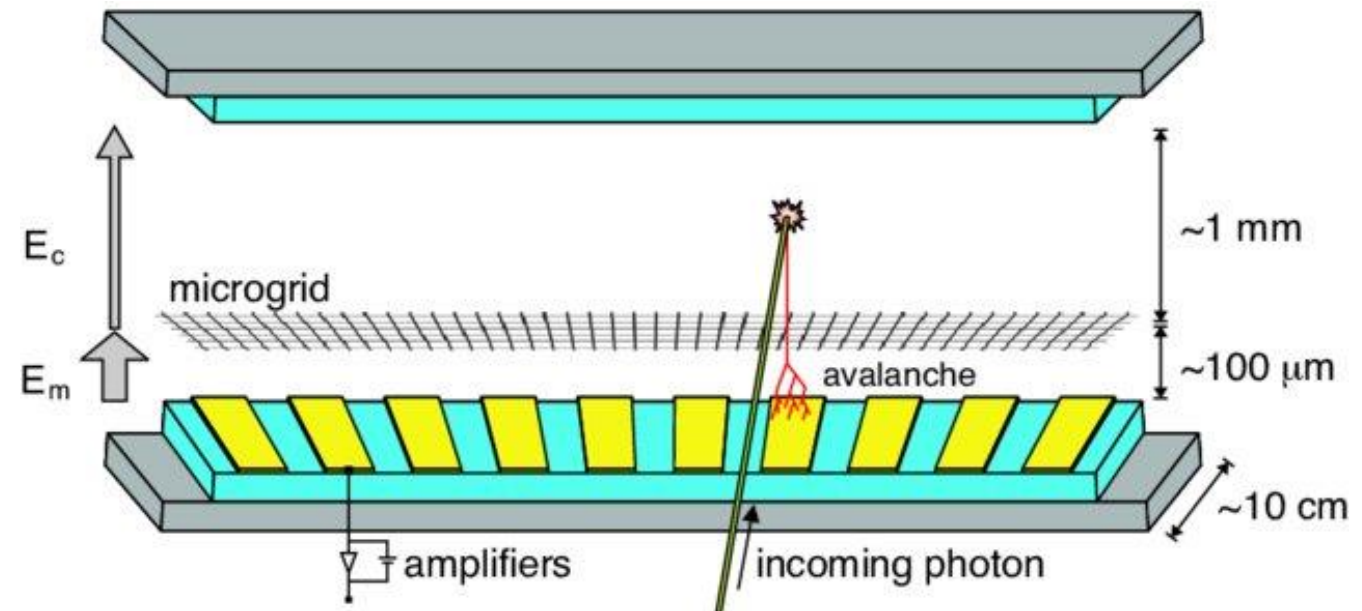
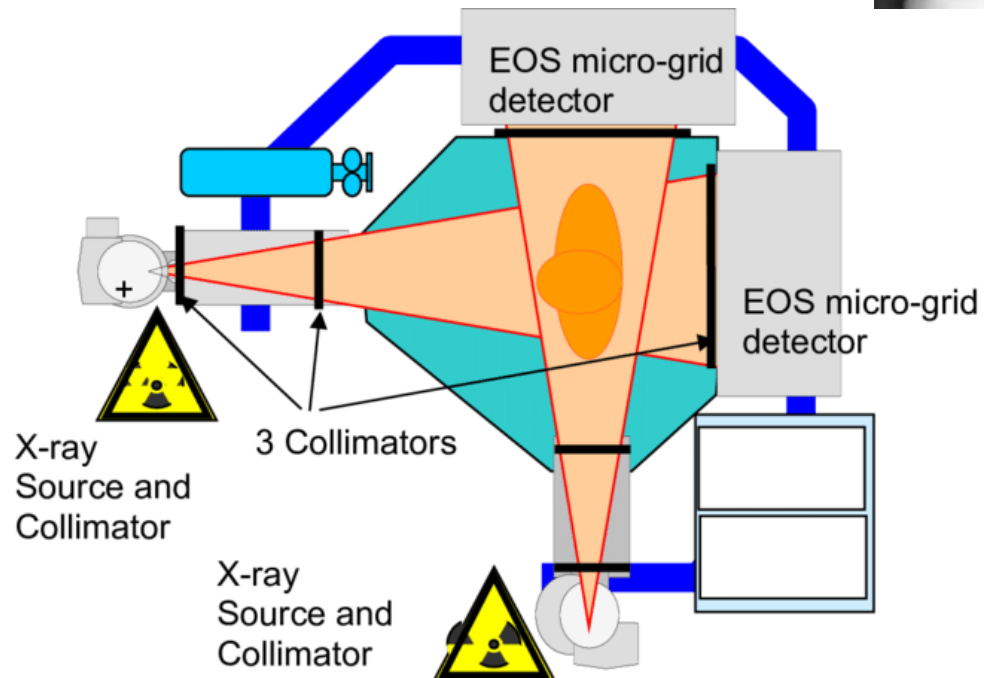
F Muleri et al 2009 JINST 4
P11002

MEDICINA

Micromegas per radiografia a bassa dose



Piqueras, J. (2016). Assessment of a micro-grid Ionization-chamber (EOS) for low-dose chest radiography.



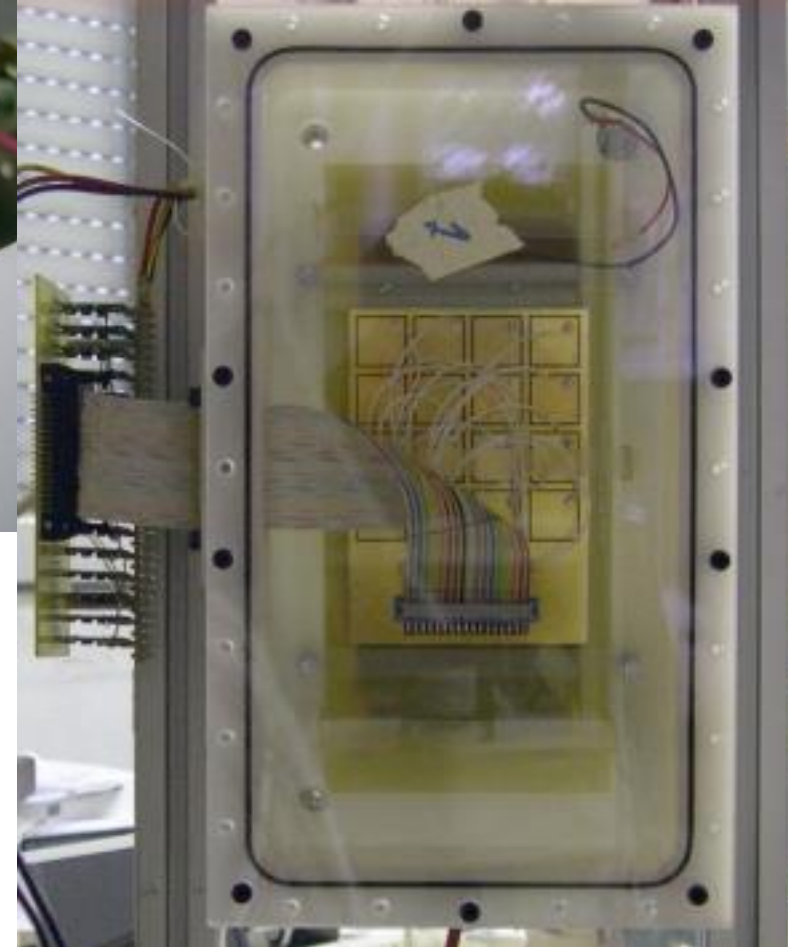
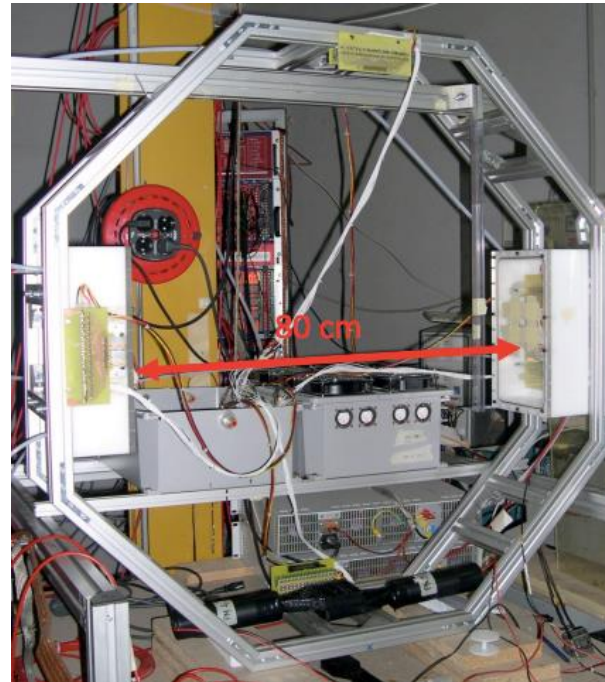
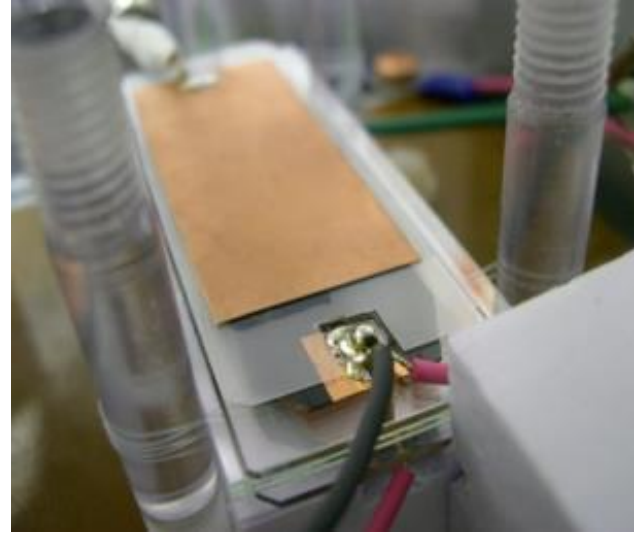
MEDICINA

MWPC e RPC per Positron Emission Tomography



[https://doi.org/10.1016/S1095-0397\(01\)00067-X](https://doi.org/10.1016/S1095-0397(01)00067-X)

CHIARA AIMÈ & ILARIA VAI



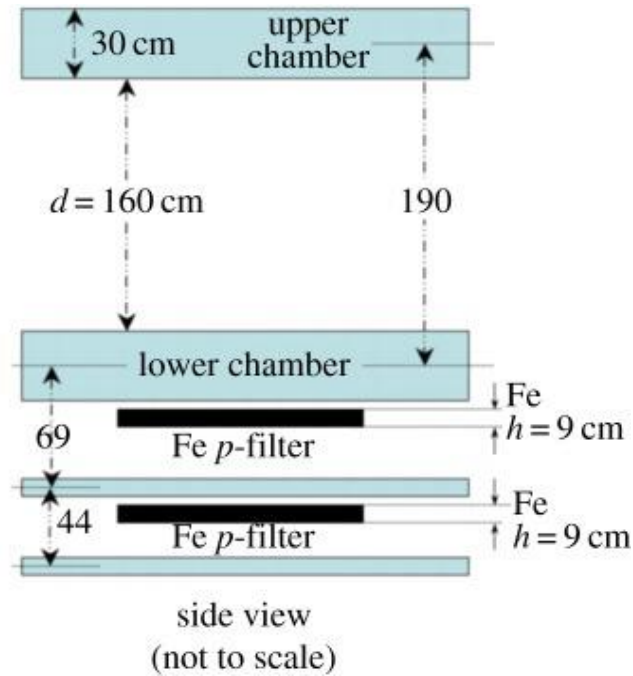
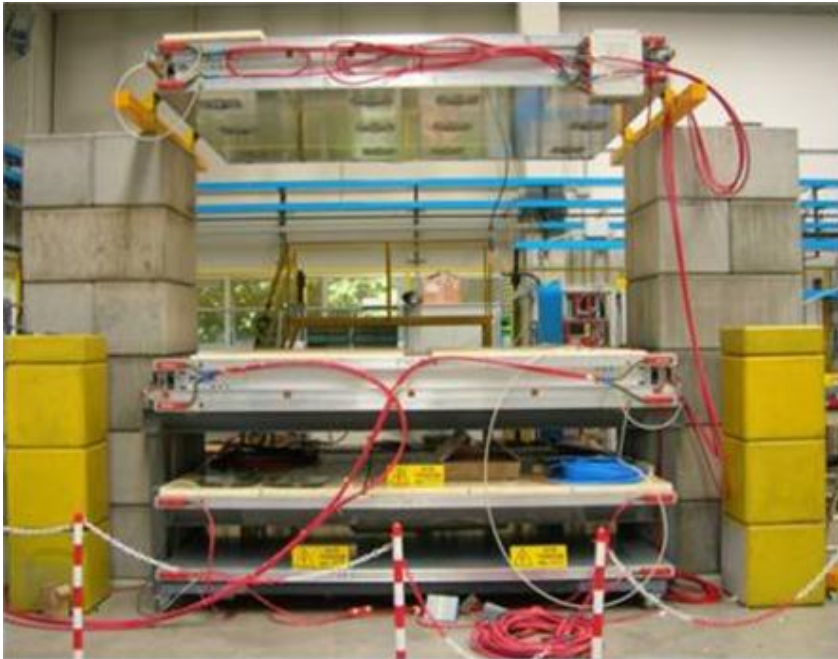
<https://arxiv.org/pdf/1406.2119.pdf>

11/01/2021

49

TOMOGRAFIA MUONICA

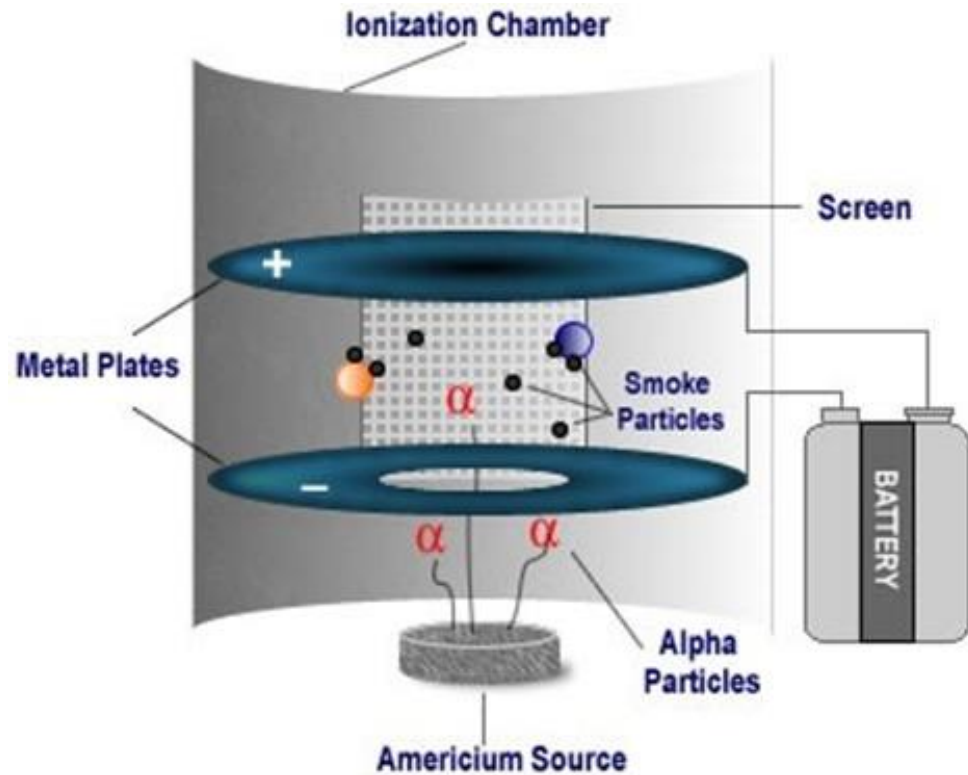
Drift chamber, RPC, GEM e Micromegas



<https://dx.doi.org/10.1098%2Frsta.2018.0065>



CHI STA FUMANDO?



<http://large.stanford.edu/courses/2011/ph241/eason1/>

GRAZIE DELL'ATTENZIONE!

Per domande, curiosità, ecc..:

- chiara.aime01@universitadipavia.it
- ilaria.vai@unibg.it

Oppure:



Alessandro
Braghieri

Paolo Vitulo



Paolo Montagna



Paola Salvini



Davide Fiorina



Simone Calzaferri



Cristina Riccardi