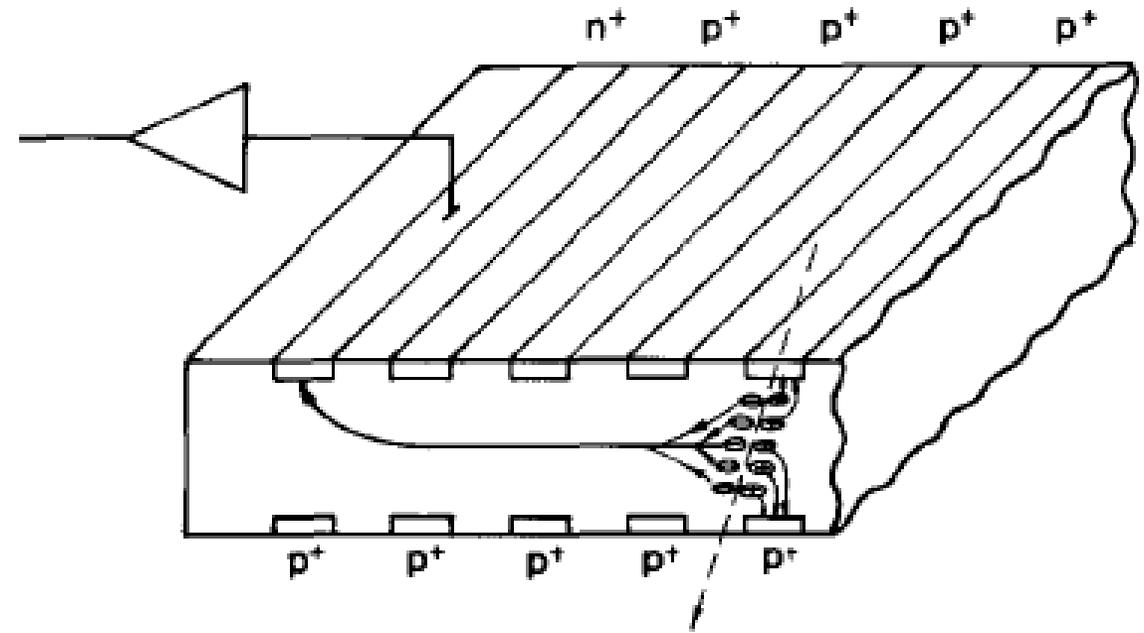
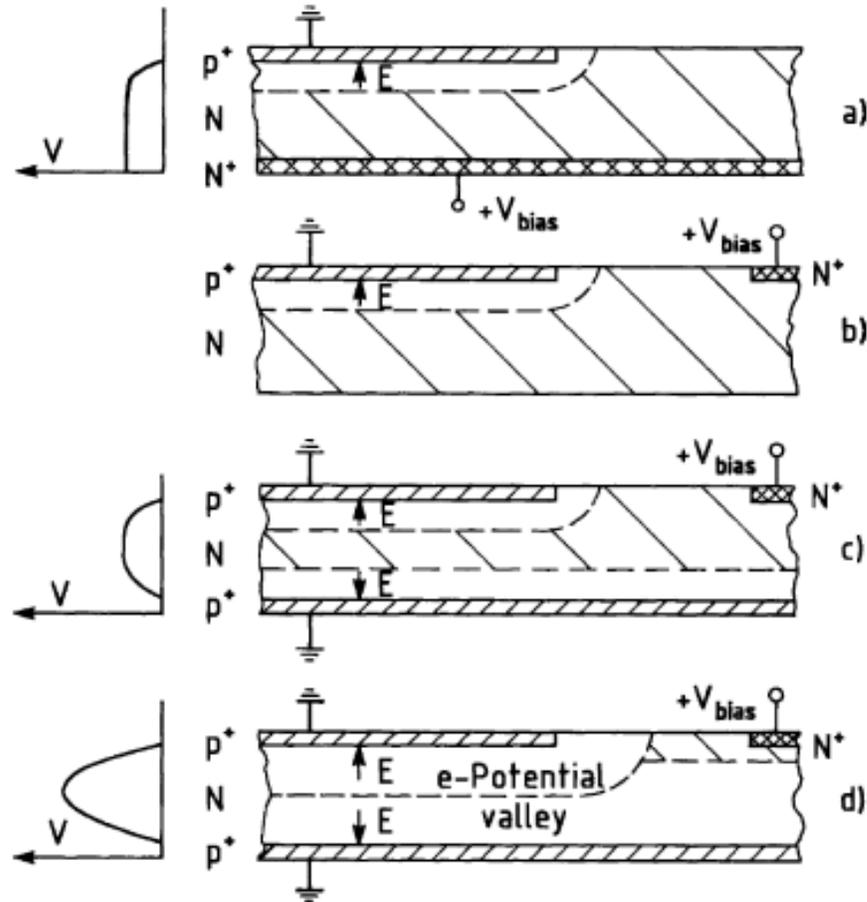




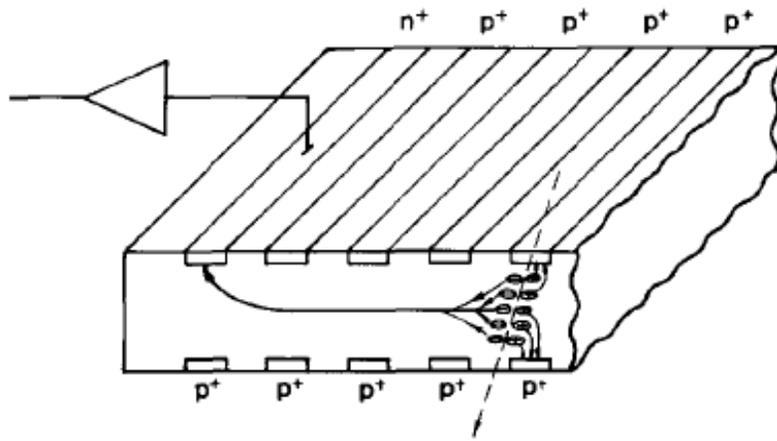
# Rivelatori e Apparati

Slides\_5 – Deriva di silicio

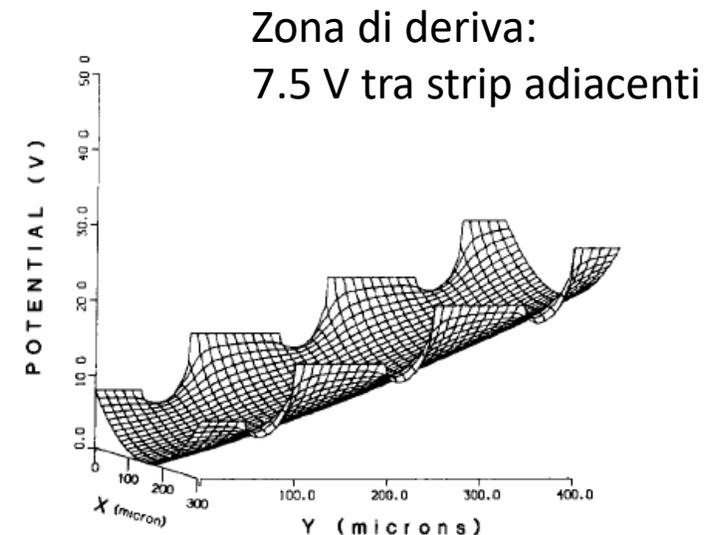
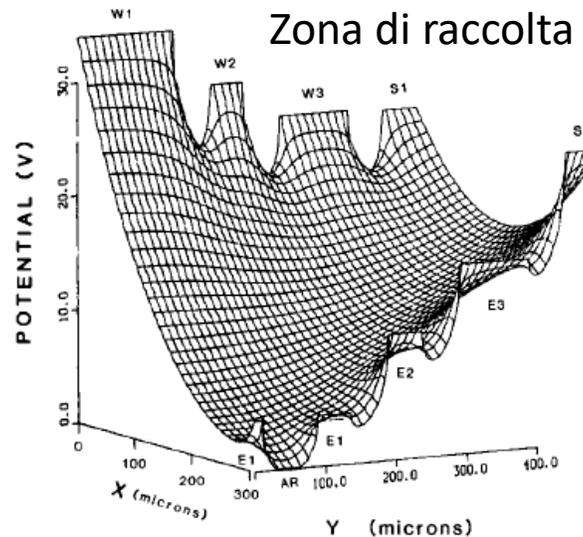
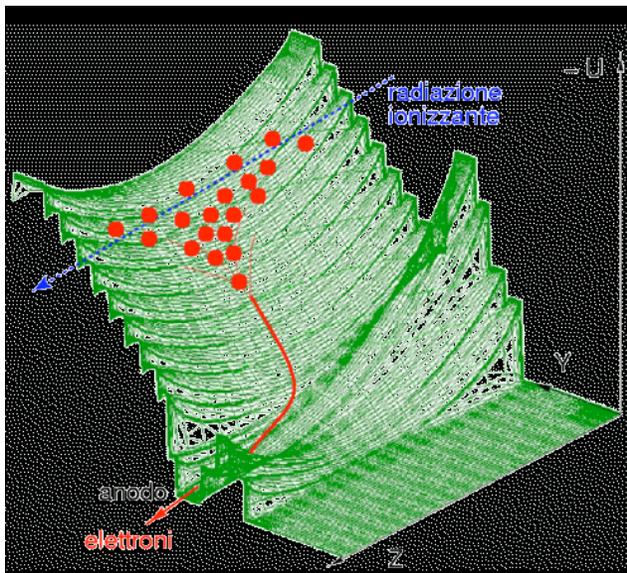
# Verso i rivelatori a drift (deriva) di silicio



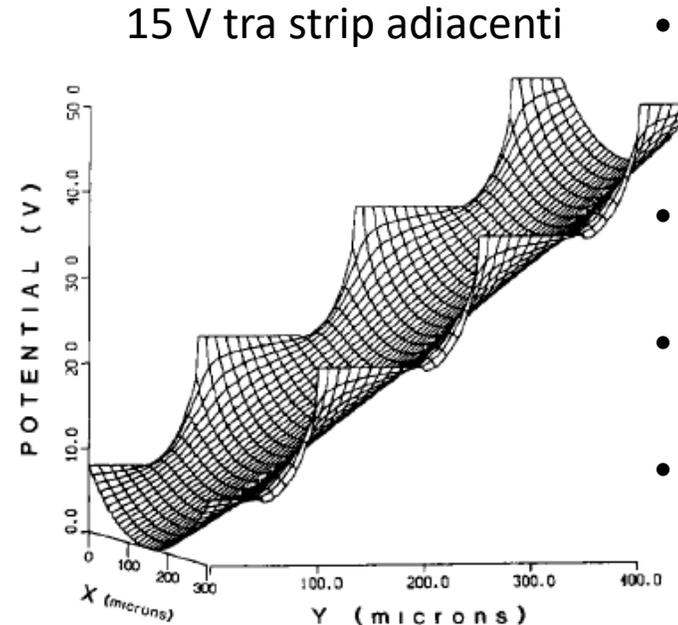
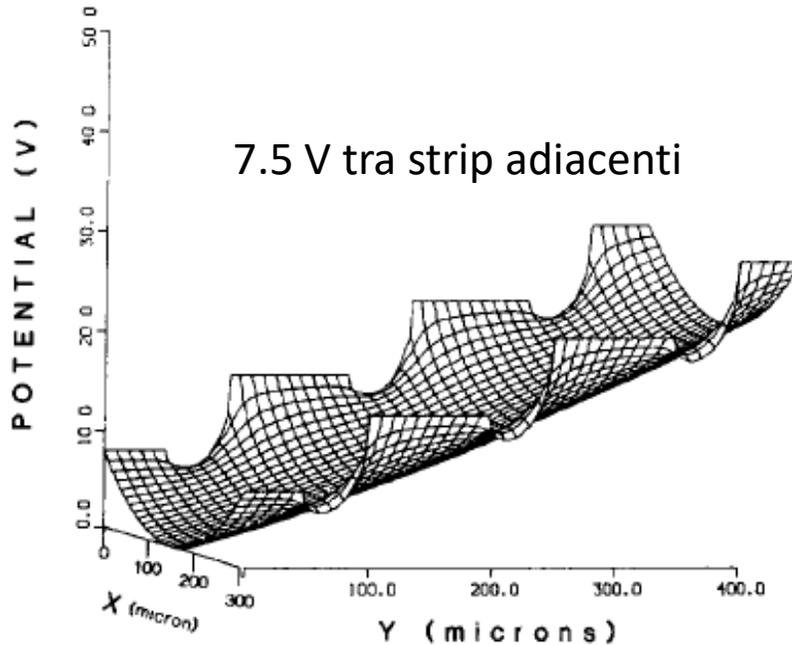
# Silicon Drift Detector – Deriva di silicio



- Regione di deriva: minimo potenziale sul piano di simmetria dello spessore, decresce lungo la direzione perpendicolare alle strip p+
  - Il potenziale viene formato fornendo la differenza di potenziale tra la prima e ultima strip, e diviso grazie a correnti di lacune che fluisce tra le strip non connesse a bias, finché esse si posizionano a livelli equidistanti nel potenziale
- Regione di raccolta: potenziale ha un'asimmetria verso l'anodo di raccolta, anche aiutato da un contropotenziale sul lato opposto



# Limitazioni potenziale tra strip p+

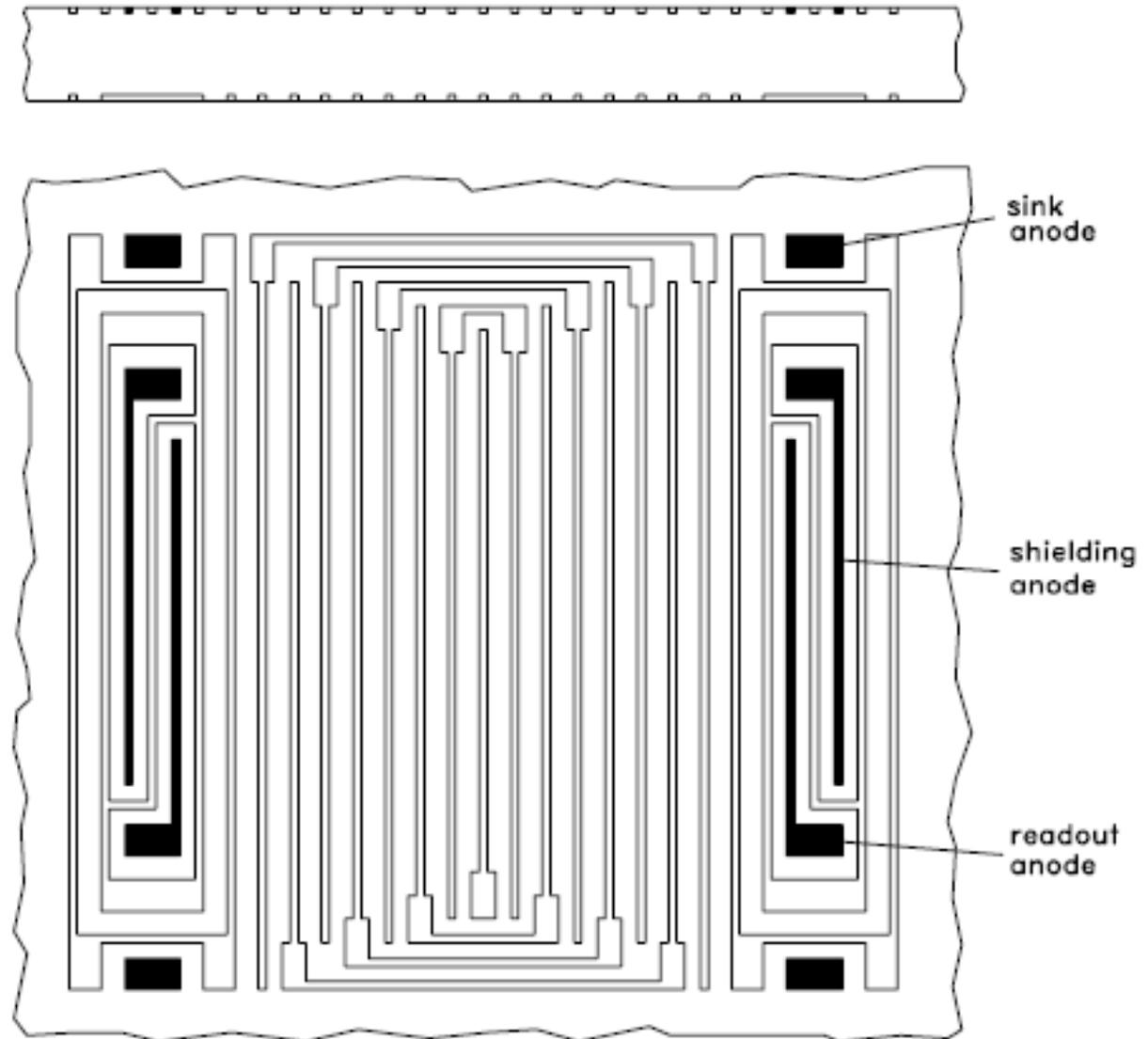


- Potenziale degli e- cala in tutte le direzioni dal contatto p+: non ci puo' essere flusso di buche
- Le resistenze esterne sulle due strip estreme limitano la corrente.
- La tensione viene divisa con collegamento a catena tra strip vicine.
- Alimentarle tutte esternamente provoca una corrente elevata di lacune.

- Non si puo' aumentare piu' di tanto la differenza di potenziale tra strip p+, altrimenti si annulla la barriera di potenziale per le buche: si creerebbe una grande corrente di buche tra strip p+ adiacenti

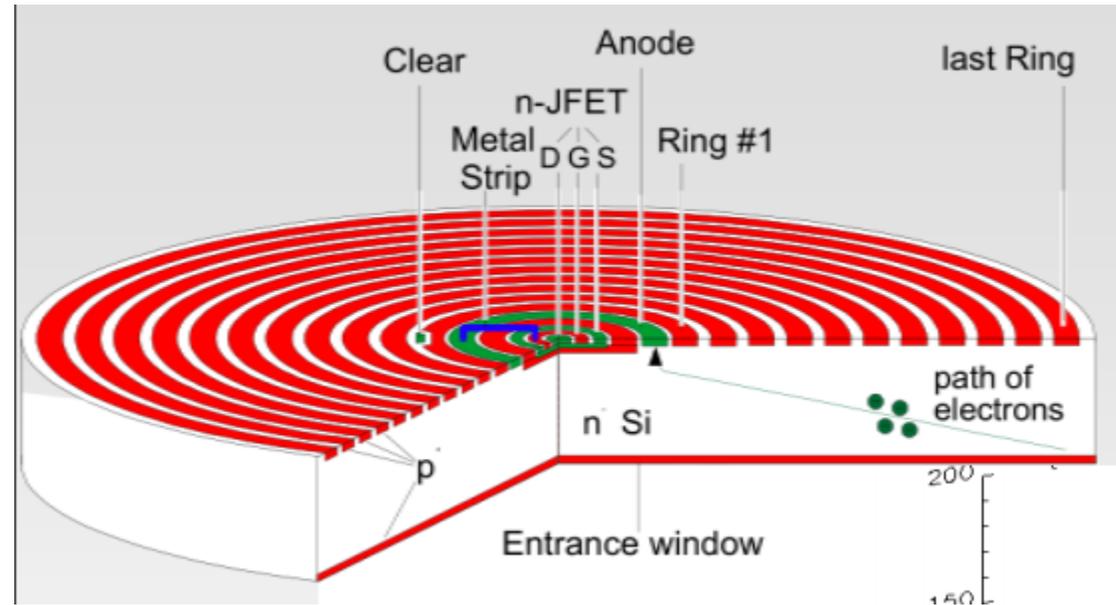
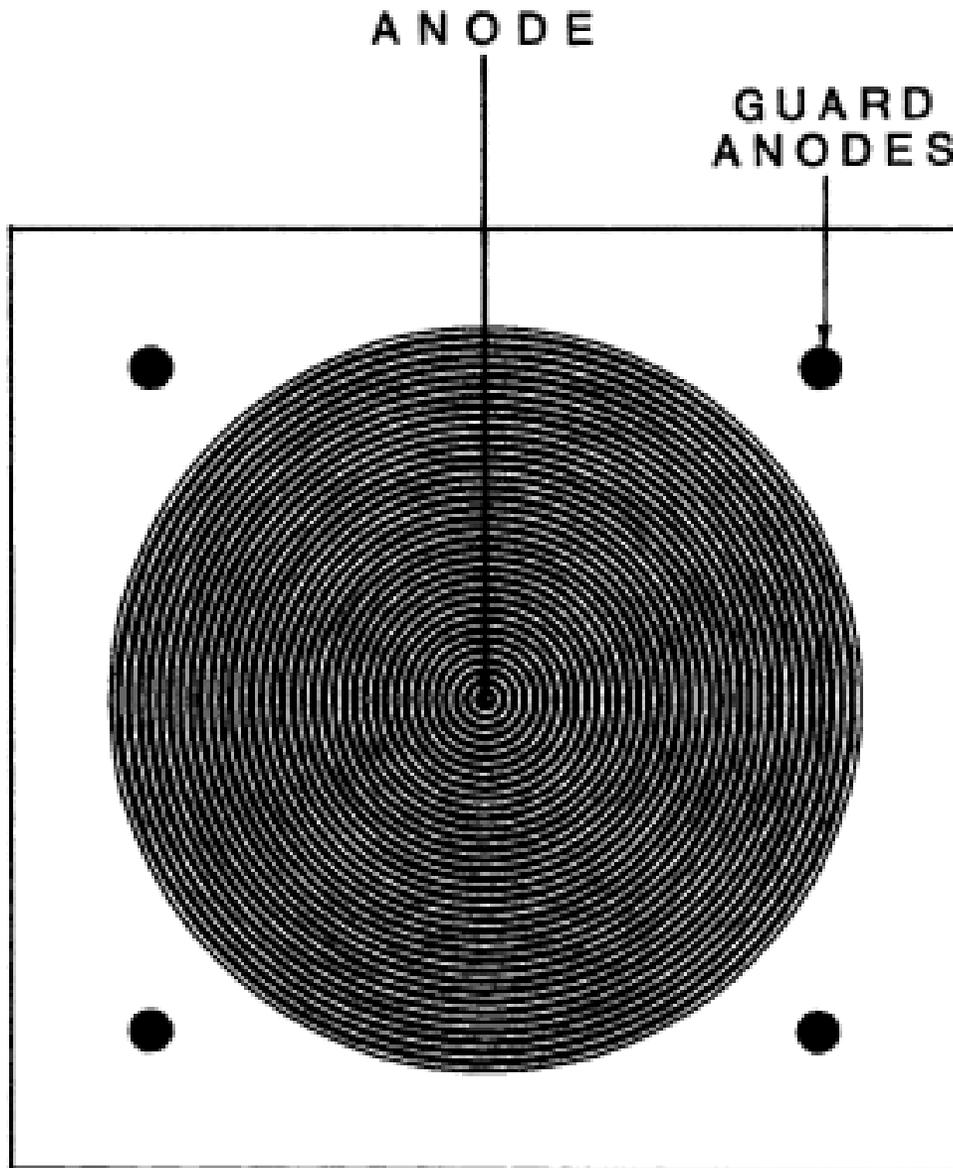
# Per misura di posizione

Simmetria rispetto  
all'asse centrale,  
raccolta da entrambi i  
lati opposti del sensore



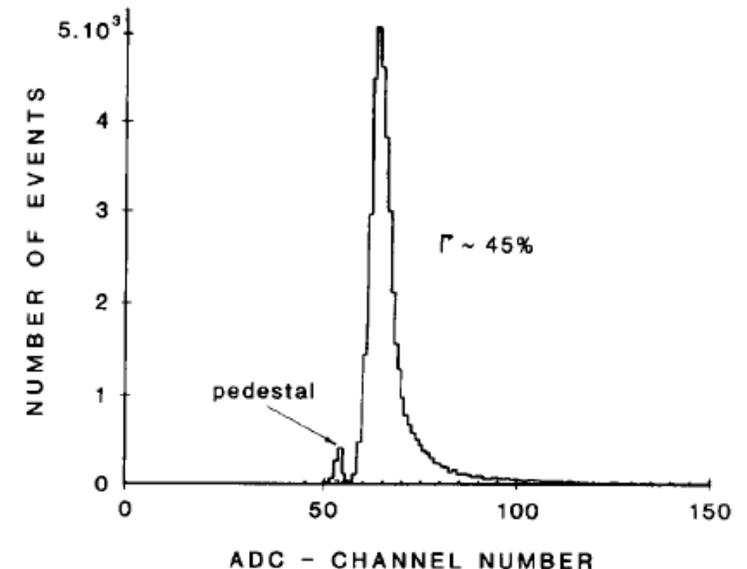
# Per spettroscopia

- Piccolo anodo al centro: 100 fF
- Campo di deriva simmetrico
- Contatto inferiore continuo p+



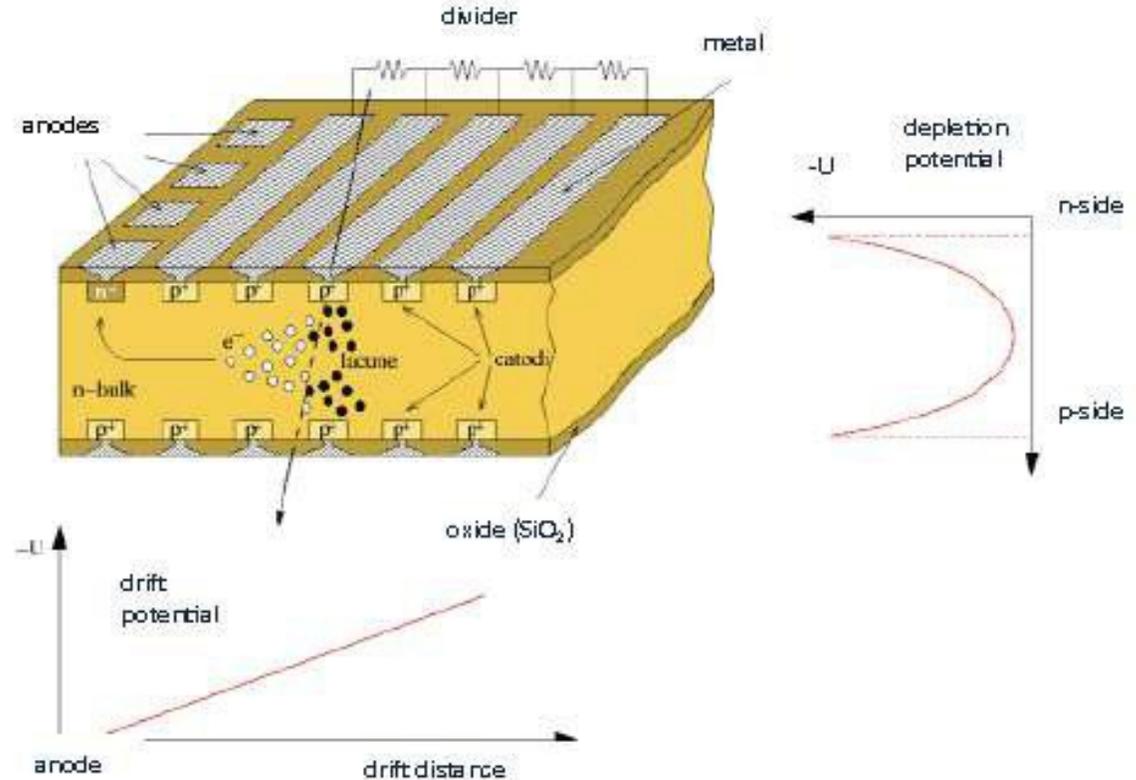
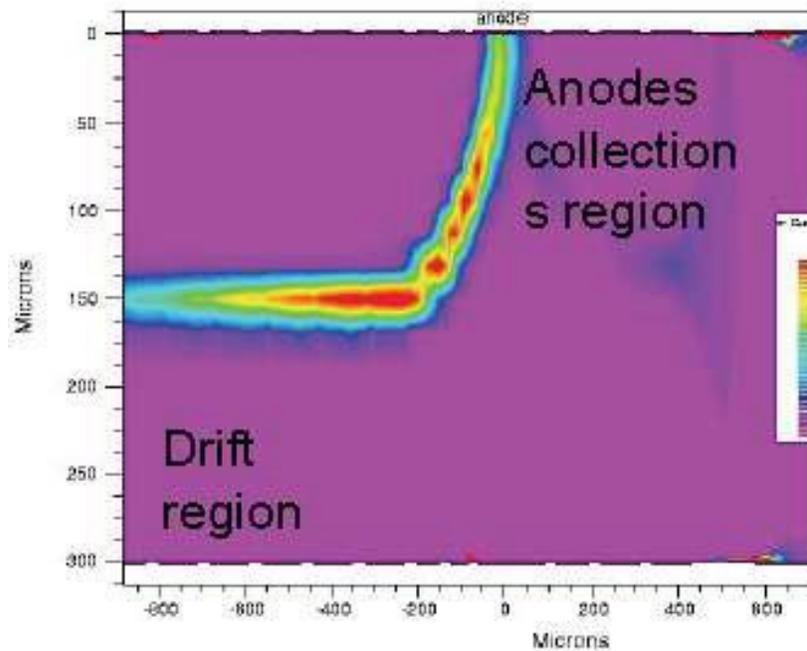
# Prestazioni prima camera a deriva di silicio

- Velocita' di deriva
  - T deve essere mantenuta stabile ( $v$  varia di  $\sim 1\%$  /K)
  - Velocita' deve essere calibrata e mappata
- Rumore:
  - La corrente di bias non influenza la corrente di leakage all'anodo
  - La corrente di lacune che entrano nel partitore di tensione modifica il potenziale
  - 4nA leakage dopo divisione della tensione
- Capacita'
  - Anodi piccoli (25 $\mu$ m) introducono piccola capacita
  - Capacita totale
- Misura Perdita energia particelle

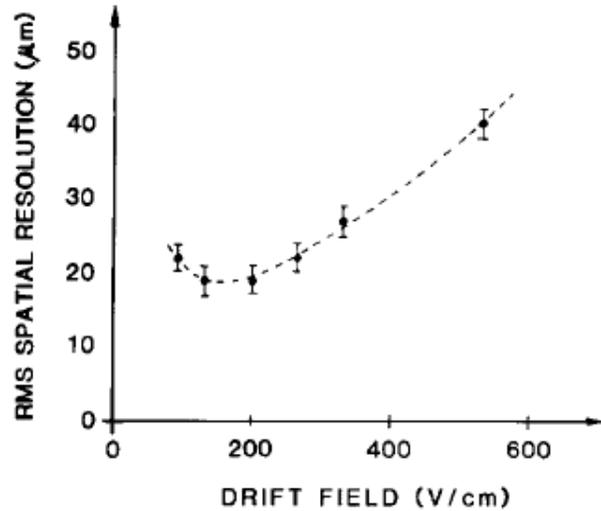


# Drift detector – Movimento delle cariche

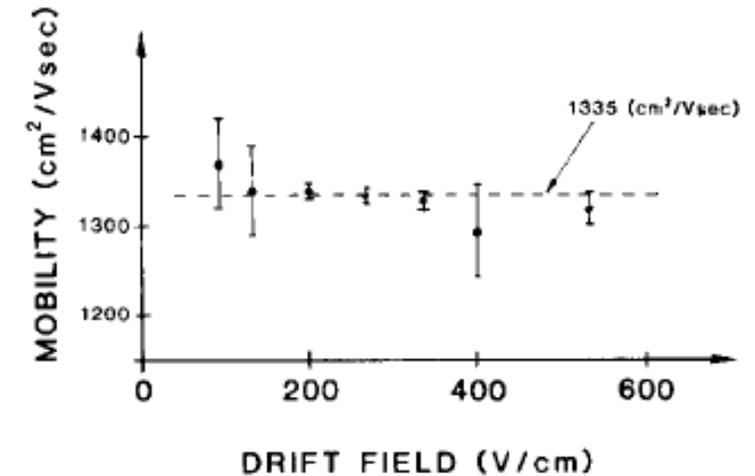
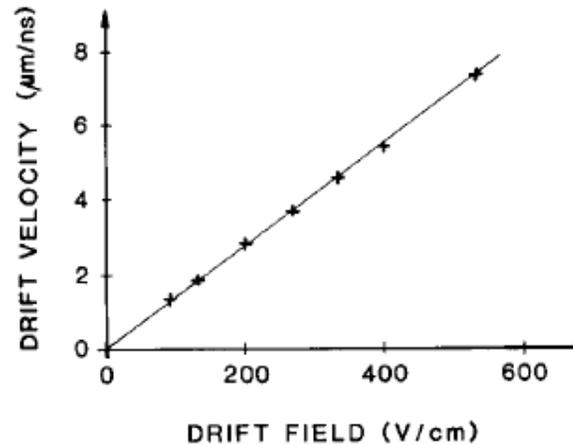
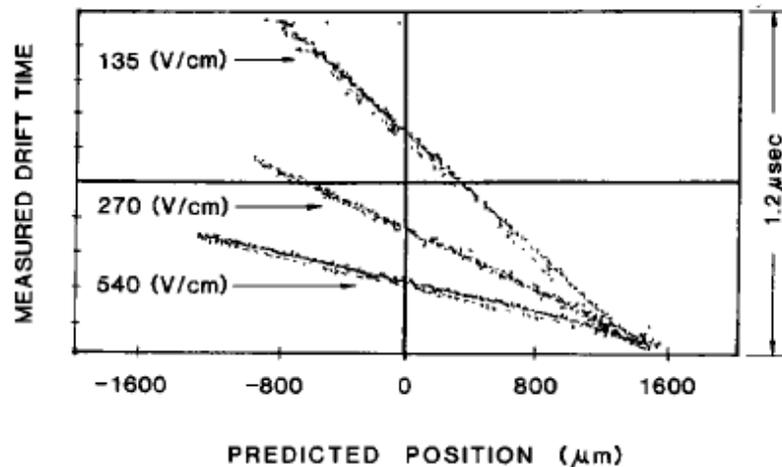
- Lacune derivano ai catodi p+ (non letti)
- e- derivano lungo y seguendo il minimo del potenziale in un tempo  $t_D$  di deriva e poi derivano all'anodo sul lato per la raccolta:
  - La segmentazione dell'anodo fornisce la coordinata x
  - Il tempo di deriva lungo y fornisce la seconda coordinate:  $v \sim 5 \mu\text{m/ns}$



# Prestazioni deriva di silicio

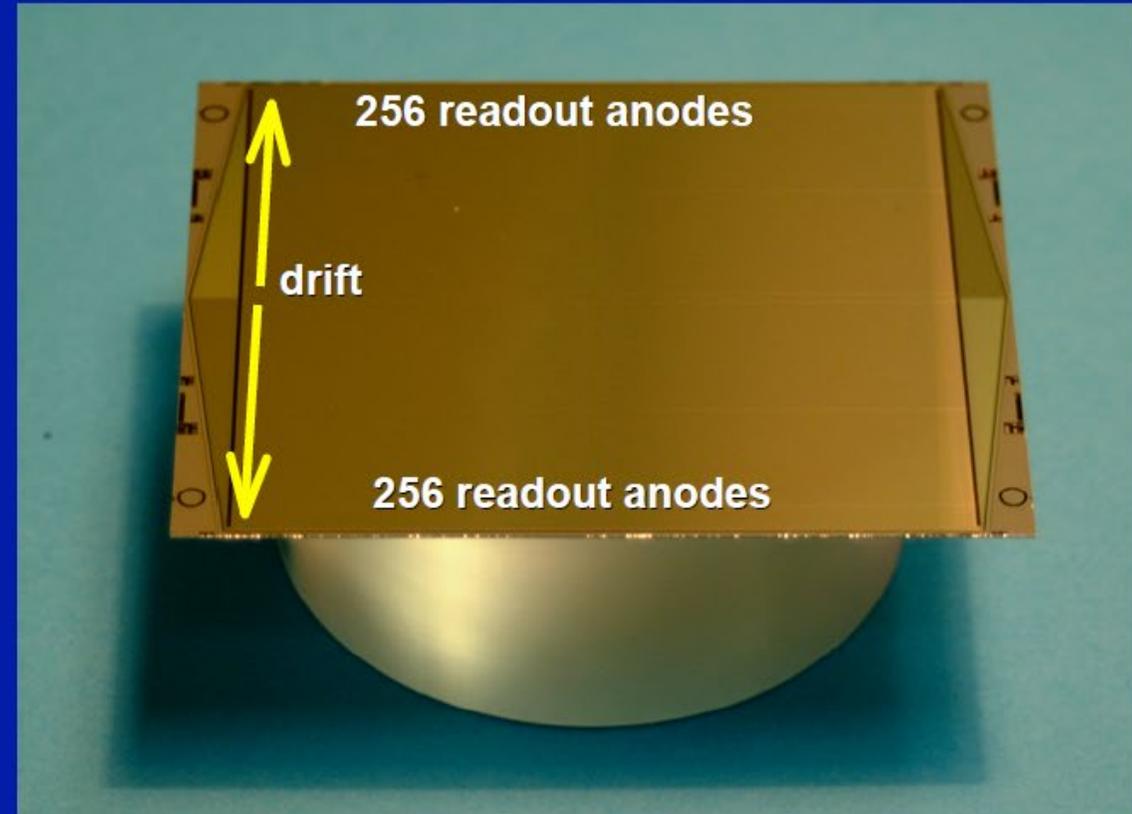


- Risoluzione temporale in funzione di campo di deriva:
  - Riferita a distanza fissa
- Linearita'
- Necessita di un tempo zero
- Velocita' di deriva in funzione del campo di deriva
- Stima della mobilita' degli e- in funzione del campo



The SDD was selected to equip the 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> layers of the Inner Tracking System (ITS) of the ALICE experiment at LHC. The finger print of this silicon drift detector is:

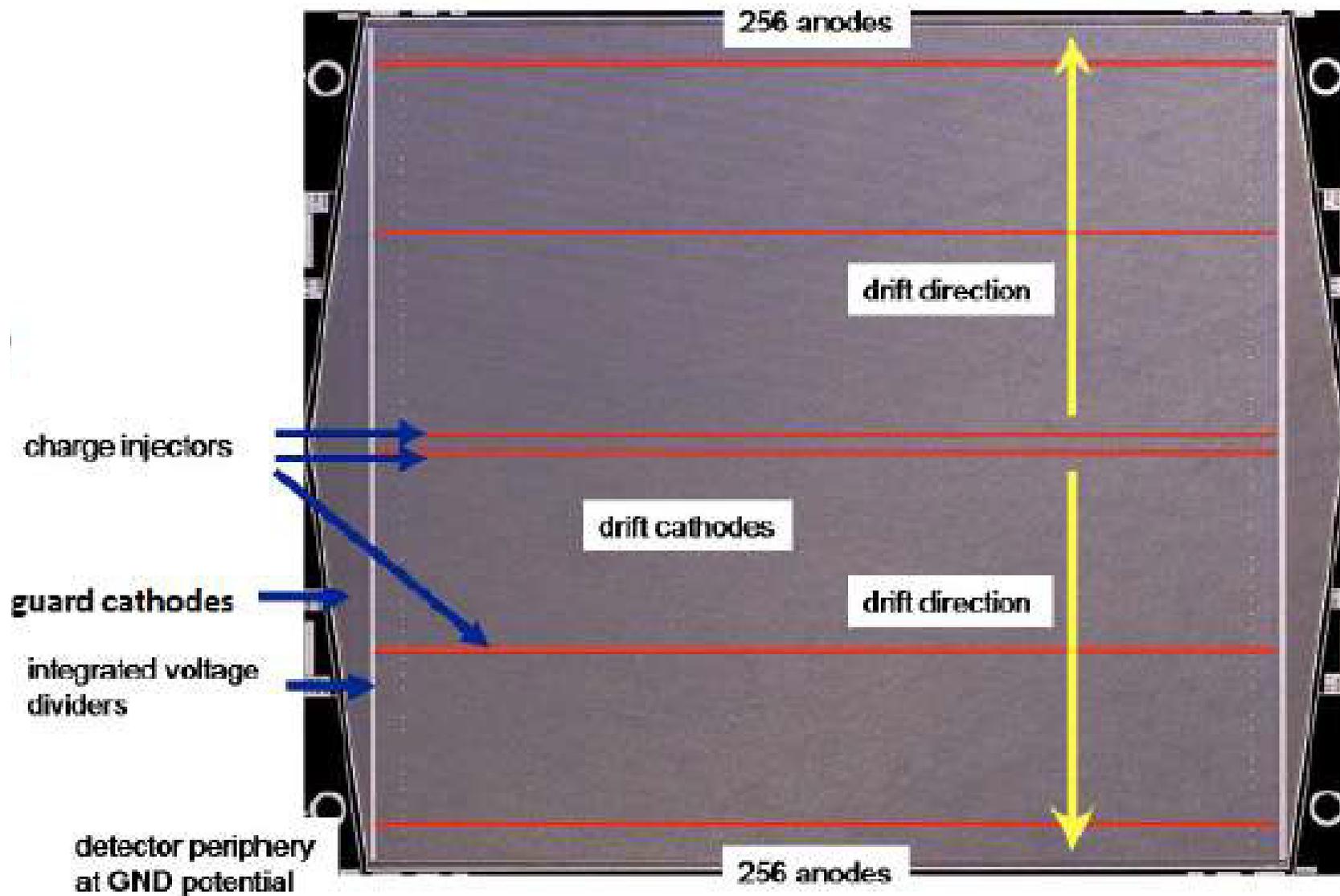
- **Wafer type:**
- **5" Neutron Transmutation Doped <111> 3 kΩ.cm, 300 μm thick**
- **Area:**
  - sensitive: 7.02 × 7.53 cm<sup>2</sup>, divided into two drift regions
  - total: 7.25 × 8.76 cm<sup>2</sup>, (ratio = 0.83)
- **Each drift region:**
  - 35 mm long
  - 291 cathodes driven by built-in voltage divider
  - 256 anodes – 294 μm pitch
  - 3 rows of 33 MOS charge injectors (for the drift velocity calibration)
- **Guard regions:**
  - independent built-in voltage dividers



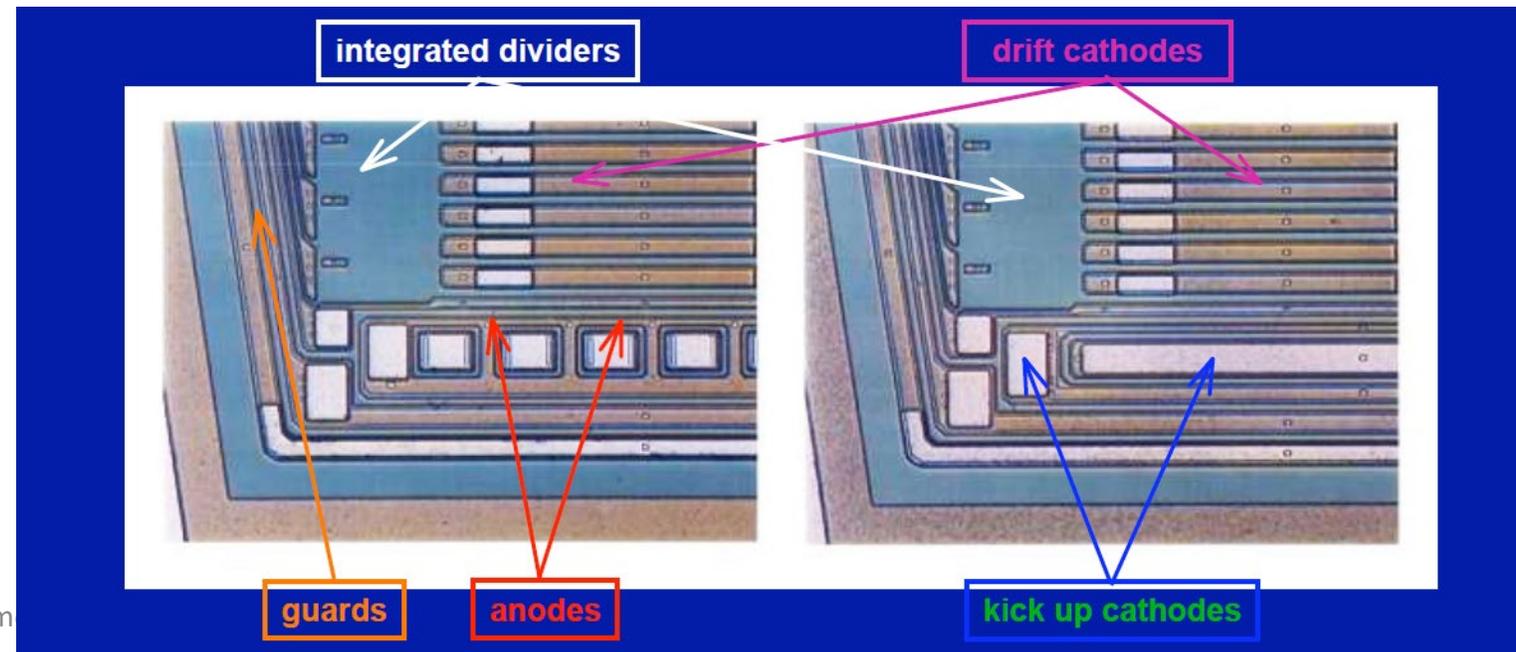
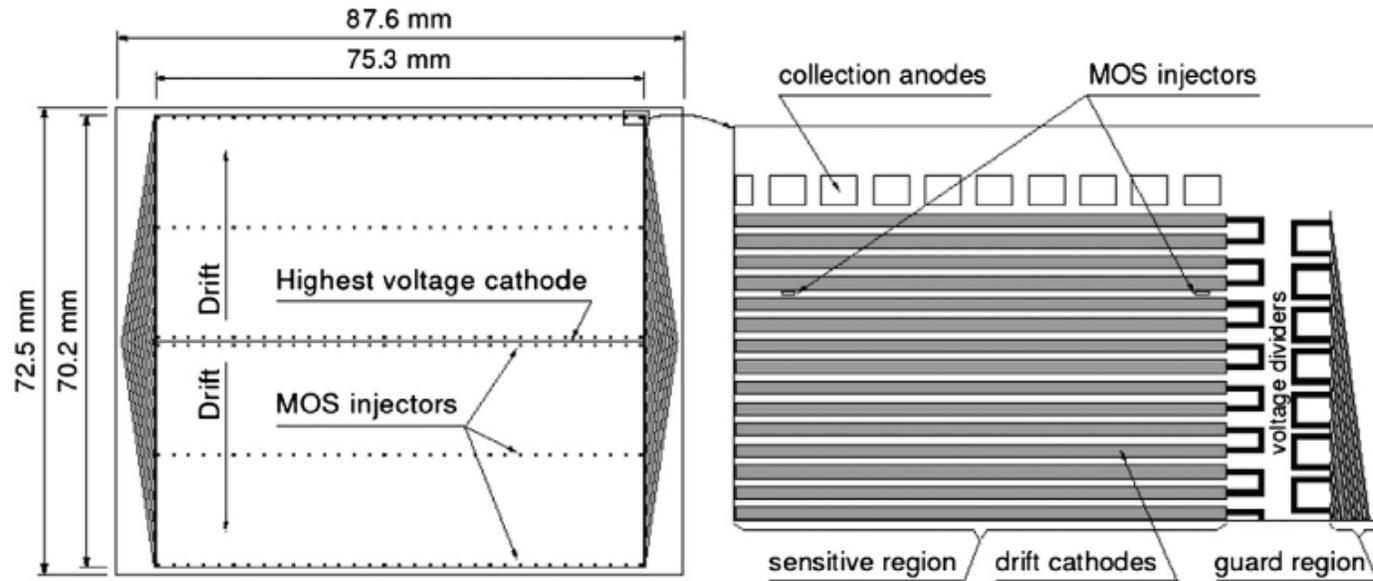
#### Typical operating parameters:

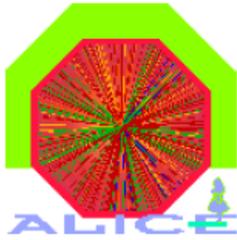
- **Drift bias voltage: -2.4 kV, 8V/cathode E=670V/cm**
- **Maximum drift time : 4.3 μs, v<sub>d</sub> = 8 μm/ns**
- **Power dissipation on board: 0.95 W**
  - equivalent R<sub>tot</sub> of all drift + guard dividers 4781 kΩ
  - total current in all dividers ~0.40 mA

- ALICE  
SDD



# Struttura iniettore MOS e partitori di tensione





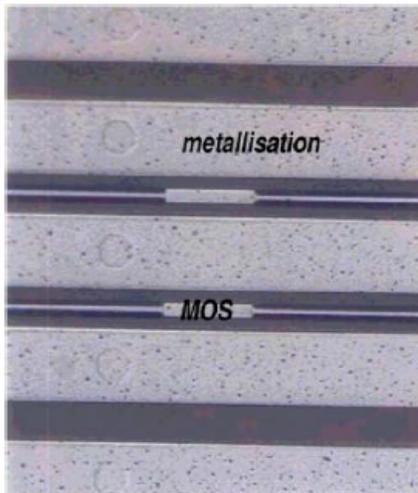
# Drift Velocity Calibration

$$V_{\text{drift}} \sim 8 \mu\text{m/ns}$$

But  $V_{\text{drift}} = f(\text{HV}, T) \propto T^{-2.4}$

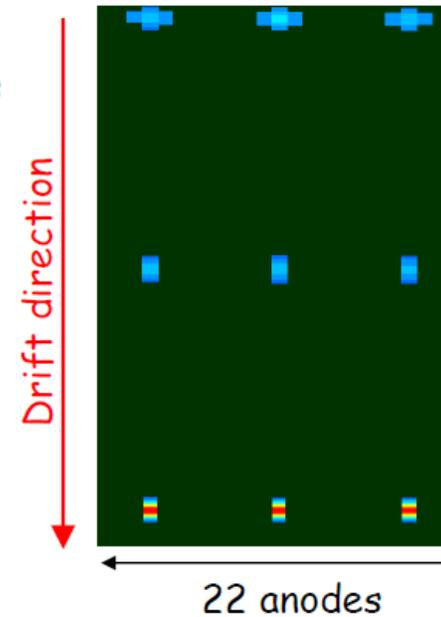
During the experiment,  $T$  must be stable within 0.1 K

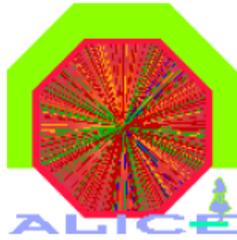
- ⇒ Cooling system based on water flowing in tubes along the support
- Calibration by using electron injectors (MOS) located at precise locations



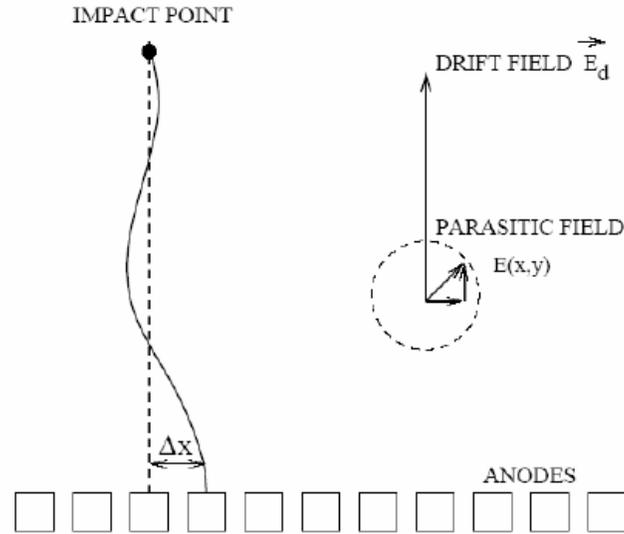
In SDD, there is 3 lines of 33 injectors  
 1 close to the anodes  
 1 in the middle  
 1 at the far side

The drift time allows to deduce the velocity of electrons and therefore to make the conversion  
 $T_{\text{drift}} \rightarrow \text{Position}$

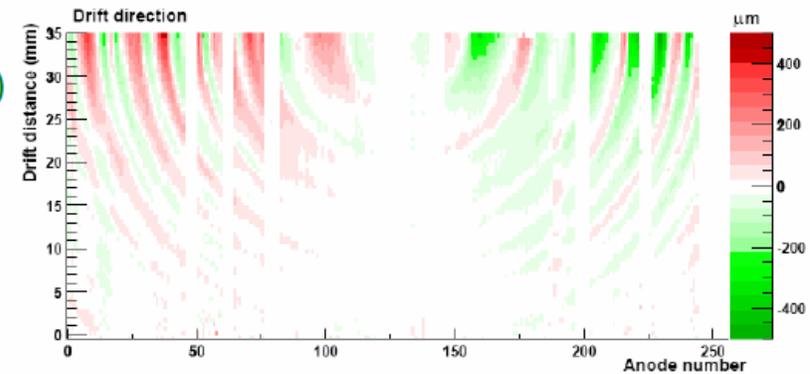
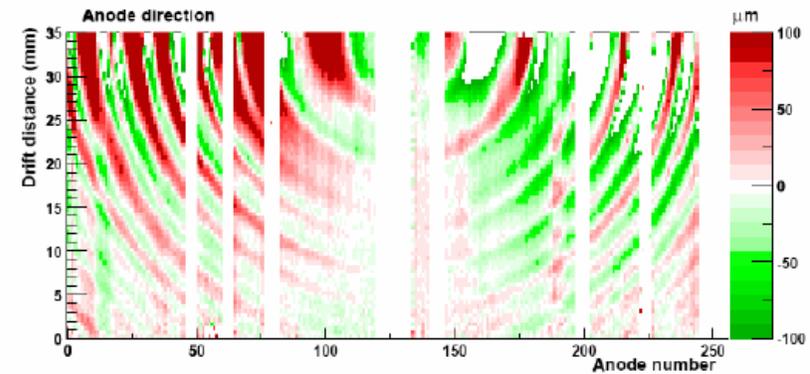




# Deviations in Position



Defects in the doping induce  
Parasitic field (up to ~ 15%)  
⇒ Error on the true position



Deviations :

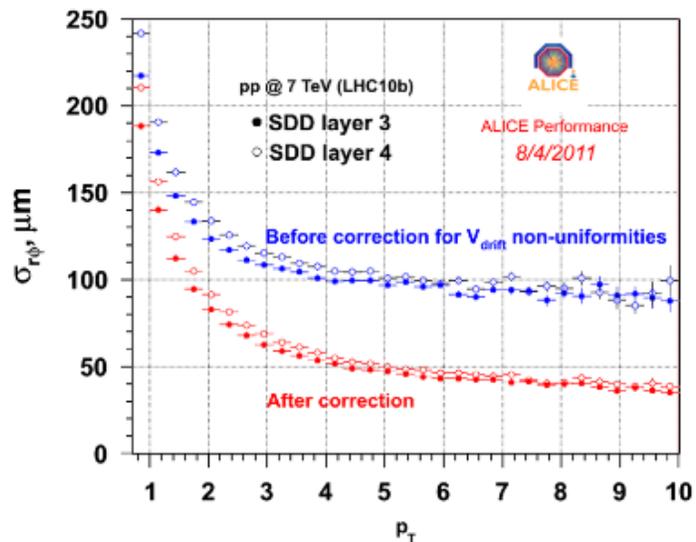
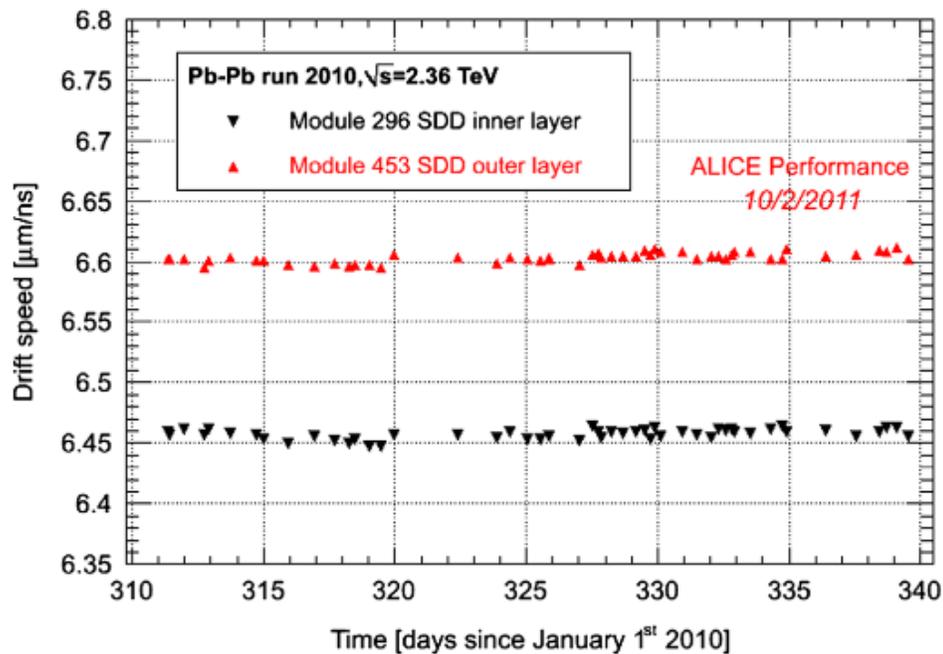
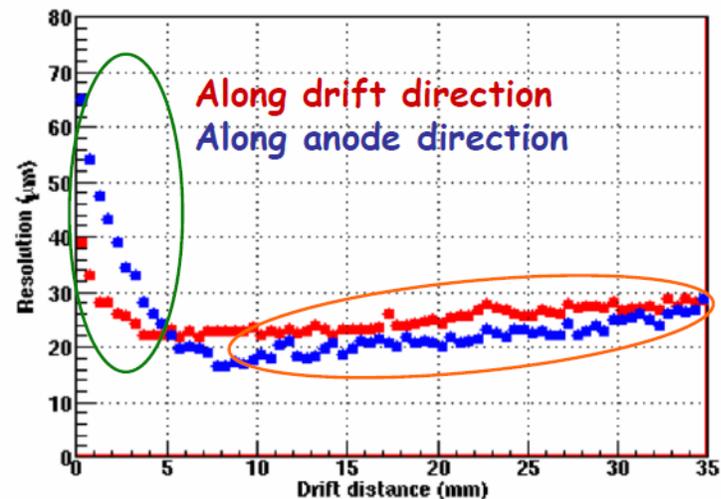
$$Pos_{meas} - Pos_{real} \rightarrow \pm 500 \mu m \text{ (drift direction)}$$

Systematic effect

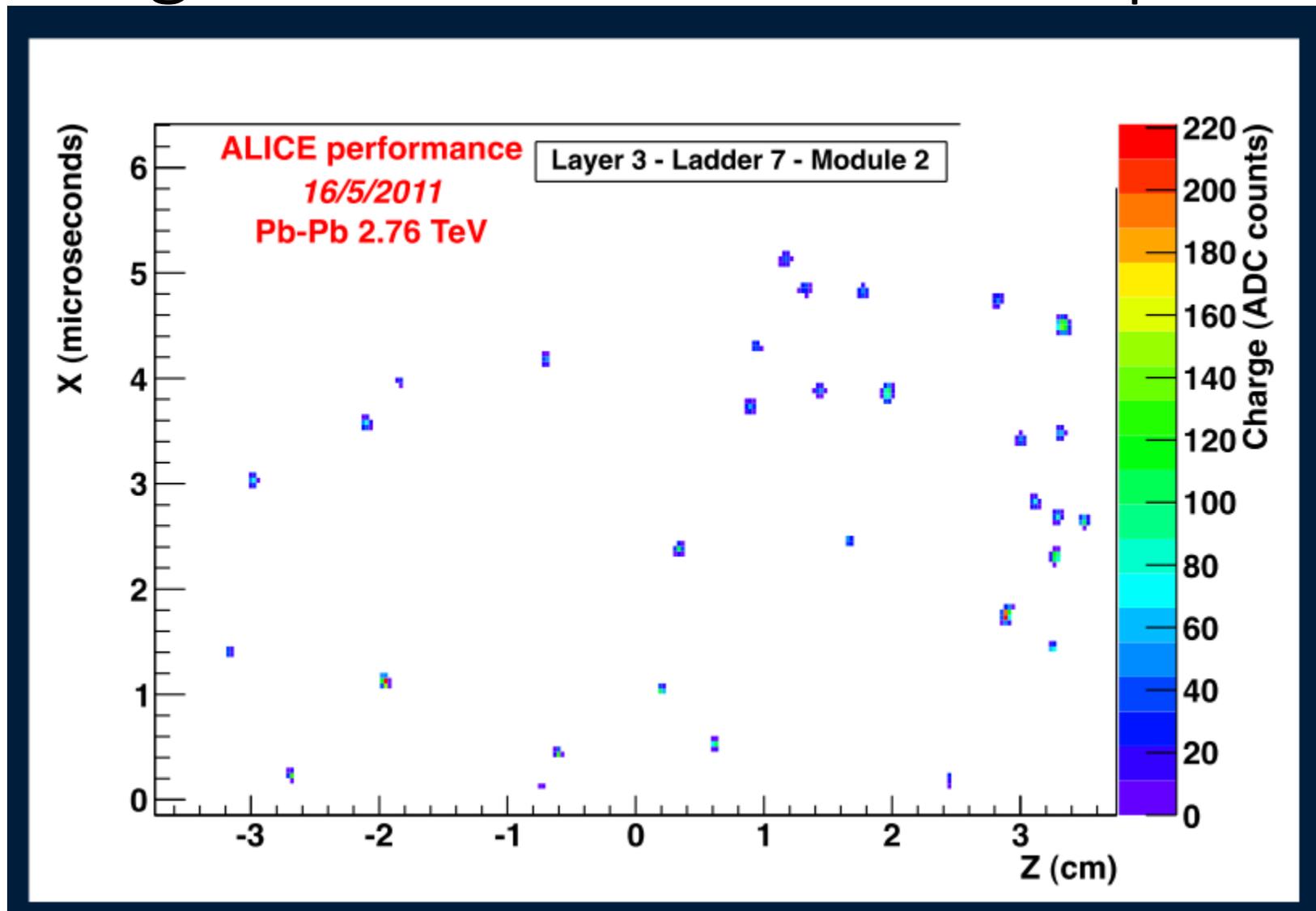
Measured with a laser in order to « map »  
each detector

# ALICE SDD

- Prestazioni misurate
  - Risoluzione spaziale in funzione distanza
  - Risoluzione spaziale vs pt particelle
  - Stabilita' velocita' deriva



# Chiario segnale anche ad alta molteplicita'

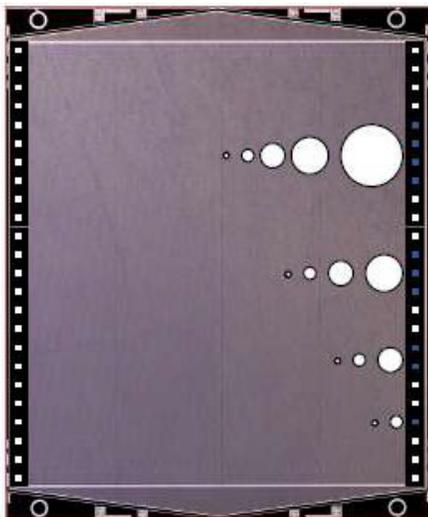


# Altre applicazioni

- Spettroscopia + ricostruzione posizione 2D
    - Risoluzione all'anodo di decine di  $\mu\text{m}$  per X-rays con 2 keV
    - Lunghezza di deriva piu' grossolana: non c'e' rivelazione di tempo zero (6 mm per  $E > 3.5$  keV)
- ⇒ Medical field: Compton camera
- ⇒ Nuclear physics precision spectroscopy
- ⇒ X-ray astronomy/astrophysics
- ⇒ X-ray imaging for Advanced Light Sources (SR and FEL)

# 2-D imaging with photons?

La distanza di deriva si puo' ricostruire dalla dimensione della nuvola rilevata agli anodi



The charge cloud has a Gaussian shape. Its width depends on the drift time which, for a constant electric field, is a linear function of the drift distance:

$$D = \frac{k_B T}{q} \mu \quad \text{diffusion coefficient}$$

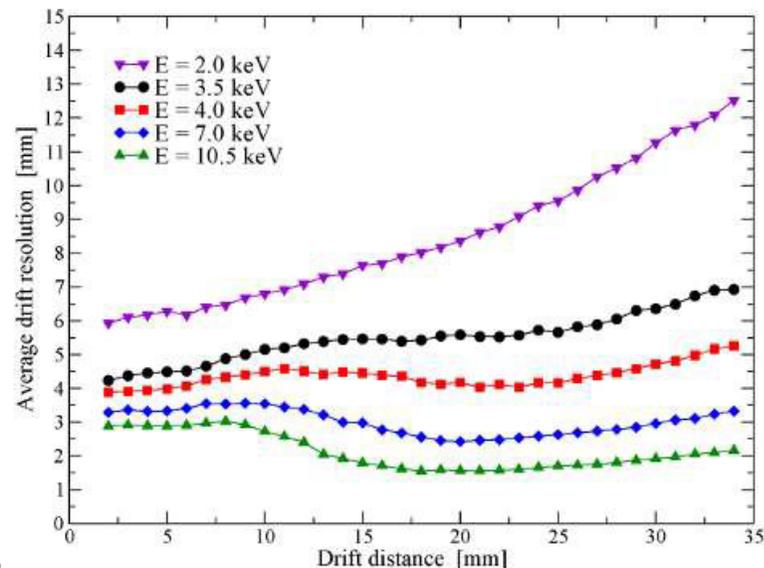
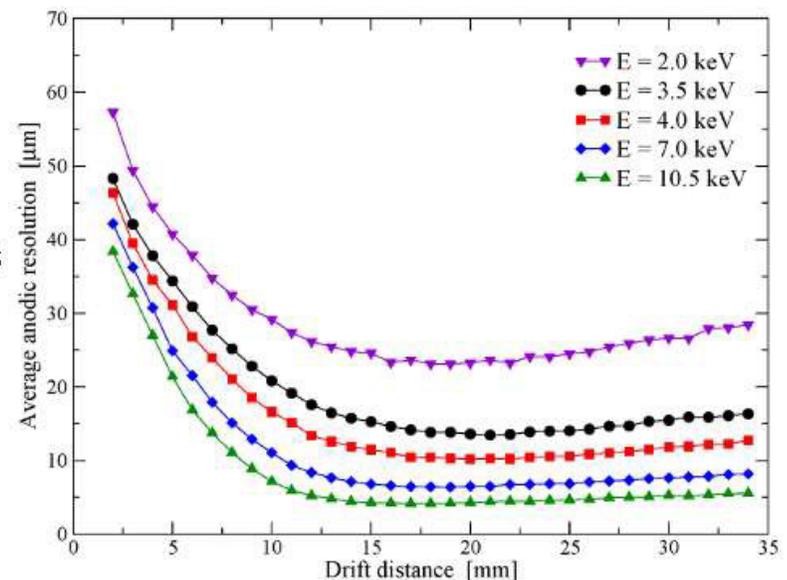
$$v = \mu E \quad \text{drift velocity}$$

$$t = \frac{x}{v} \quad \text{drift time}$$

$$\sigma = \sqrt{2Dt + \sigma_0^2} = \sqrt{2 \cdot \frac{k_B T}{q} \mu \cdot \frac{x}{\mu E} + \sigma_0^2} = \sqrt{2 \frac{k_B T}{qE} x + \sigma_0^2}$$

For low energy X-ray photons it is possible to take  $\sigma_0 \approx 0$

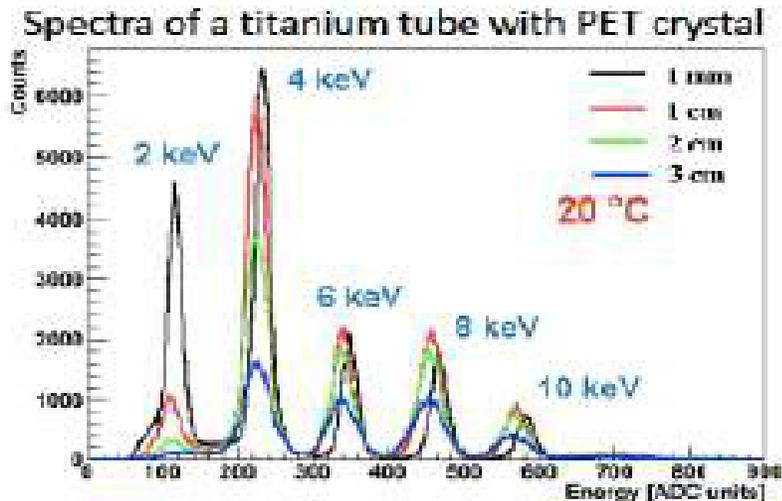
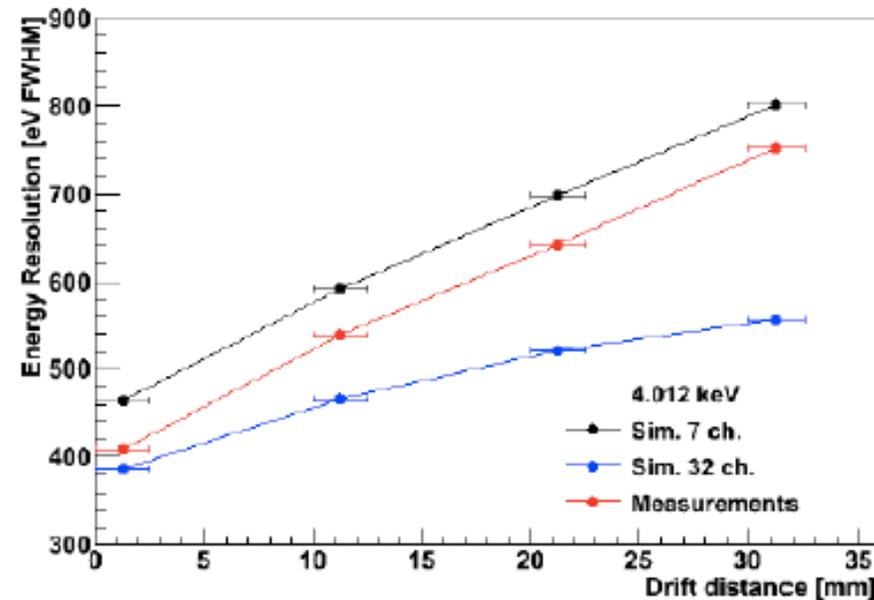
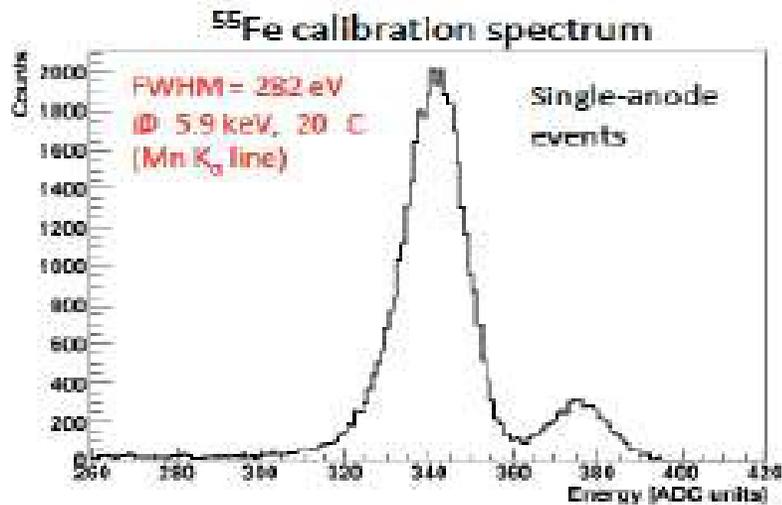
Risoluzioni misurate al variare dell'energia dei fotoni incidenti e della distanza di deriva



# Compromesso segmentazione anodi

- Per aumentare la risoluzione in energia a scopi spettrografici: vorrei che la carica fosse divisa al massimo tra 2 anodi (il contributo del rumore elettronico alla risoluzione energetica e' moltiplicato per un fattore  $\sqrt{N_{\text{anodi}}}$  tra cui e' divisa la carica)
- Per aumentare la precisione spaziale a scopi di imaging: vorrei che l'anodo fosse segmentato di piu' per sfruttare condivisione di carica, a scapito della risoluzione energetica (anche se mitigate da capacita' e corrente di leakage piu' basse)

# Room temperature spectroscopic performance of the ALICE SDD



- Very good noise performance: ENC = 25 e<sup>-</sup> rms @ +20 °C using a sub-optimal front-end electronics, only 2× worse than the best commercial SDDs operated below -20°C
- Good energy resolution for such area: < 570 eV FWHM @ 20 °C with a full instrumented ASIC read-out (realistic simulation)