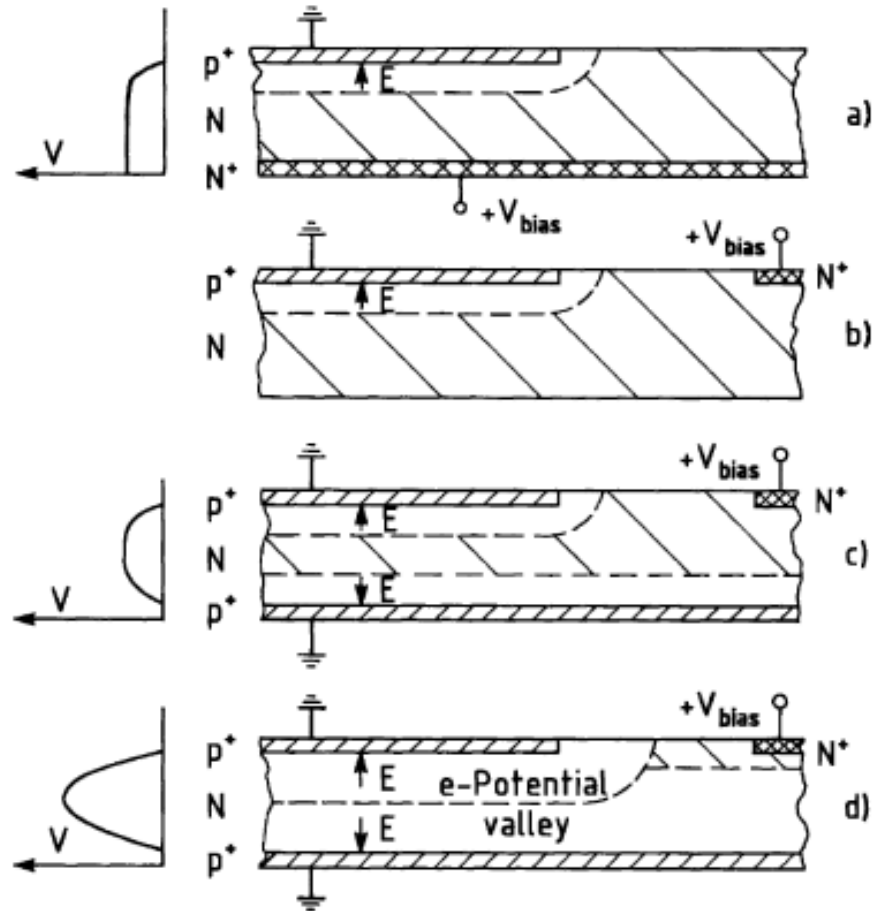


# Rivelatori e Apparati

Slides\_6 – Deriva di silicio

# Verso i rivelatori a drift (deriva) di silicio

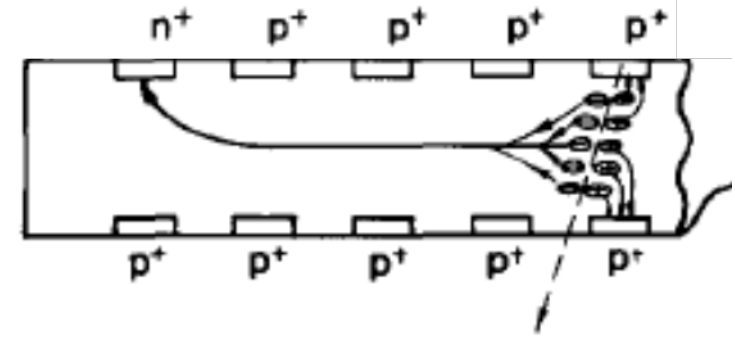
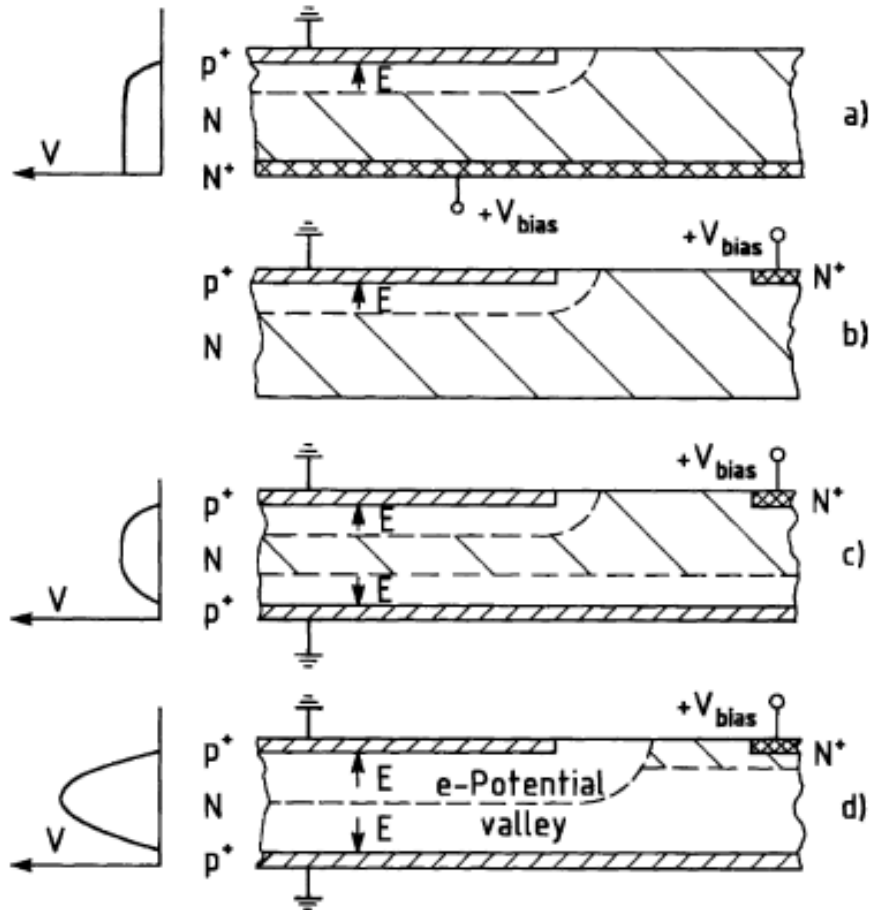


b) L'impianto n+ non deve per forza coprire l'intero lato opposto: puo' essere spostato in un angolo e lo spessore polarizzato si formera' comunque intorno a p+

c) Si puo' replicare p+ sul lato opposto, si formeranno due giunzioni

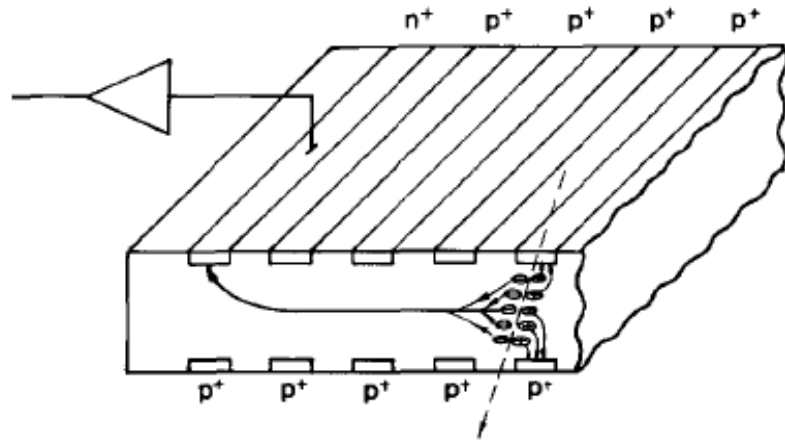
d) Applicando una polarizzazione tra n+ e i p+, si svuota tutto lo spessore, creando un minimo di potenziale ove gli elettroni creati per effetto termico o per generazione da passaggio di particella si accumulano. Tali e- poi si possono spostare per diffusione finche non raggiungono le vicinanze di n+, ove vengono raccolte velocemente per deriva verso n+

# Partizione di tensione sui p+ segmentati

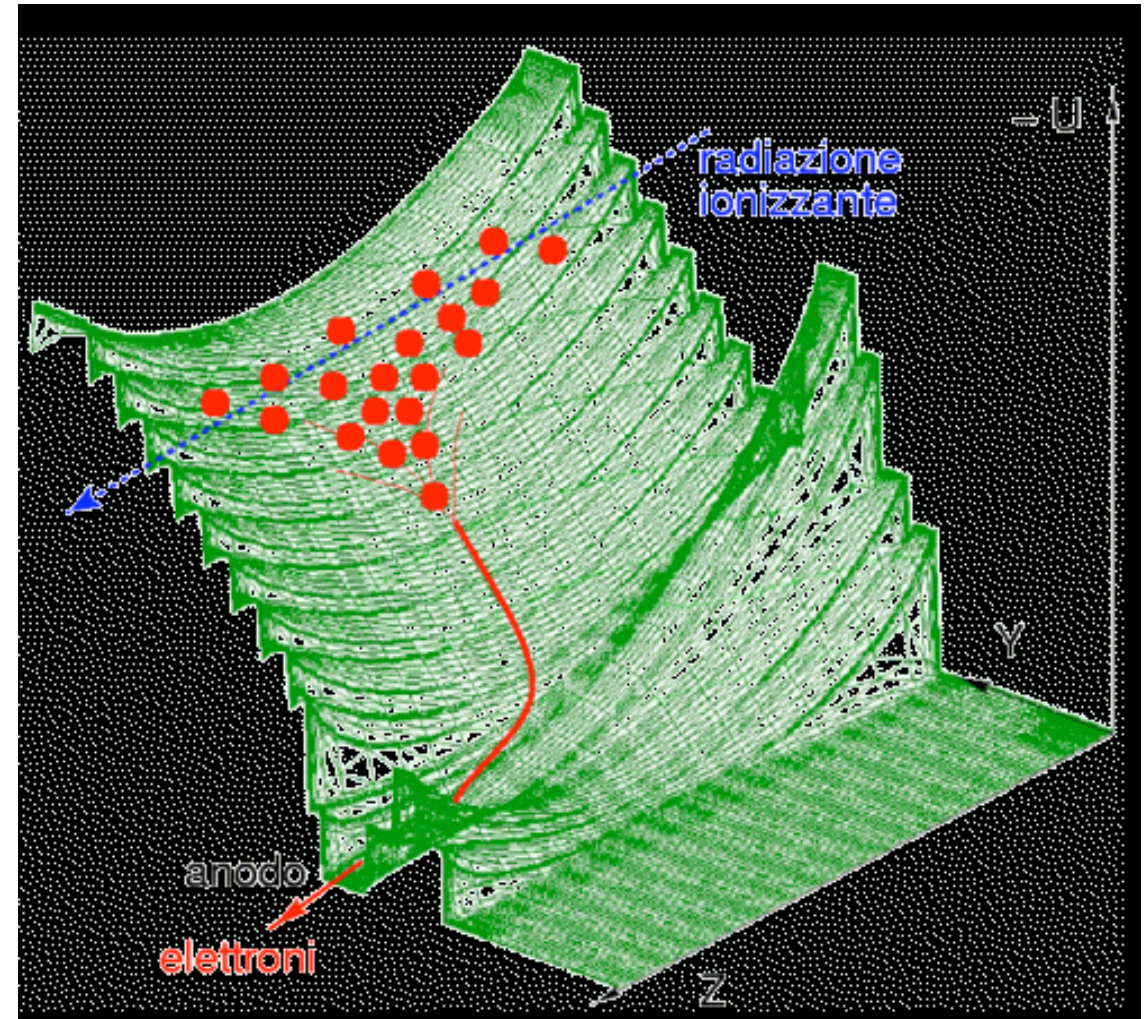


- A questo punto posso segmentare gli impianti p+, e polarizzarli a tensioni gradualmente diverse, mantenendo uguale potenziale sugli impianti opposti, che aumentano all'avvicinarsi all'elettrodo n+, creando un campo elettrico nella direzione longitudinale
- Alimentare singolarmente i diversi impianti comporterebbe un aumento di rumore resistivo e una complessità costruttiva notevoli

# Simulazione del potenziale in sensore a drift

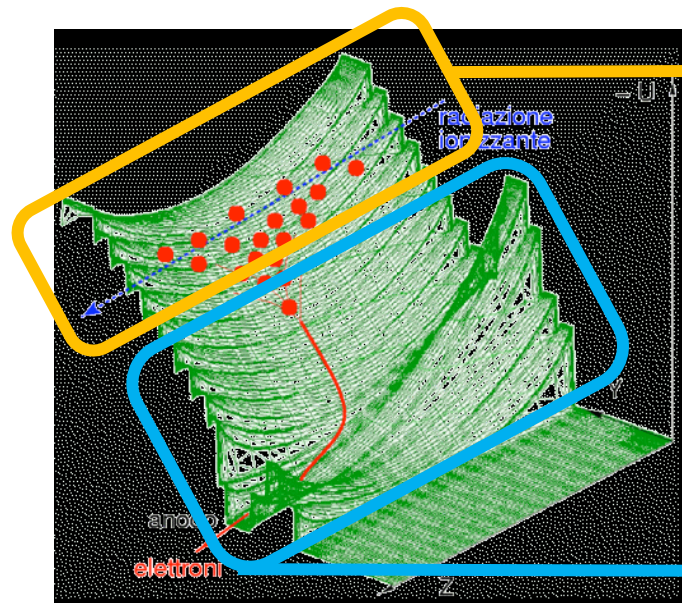


- ‘Minimo’ di potenziale ( $-U$ ) a meta’ spessore diminuisce gradualmente mano a mano che ci si avvicina all’anodo

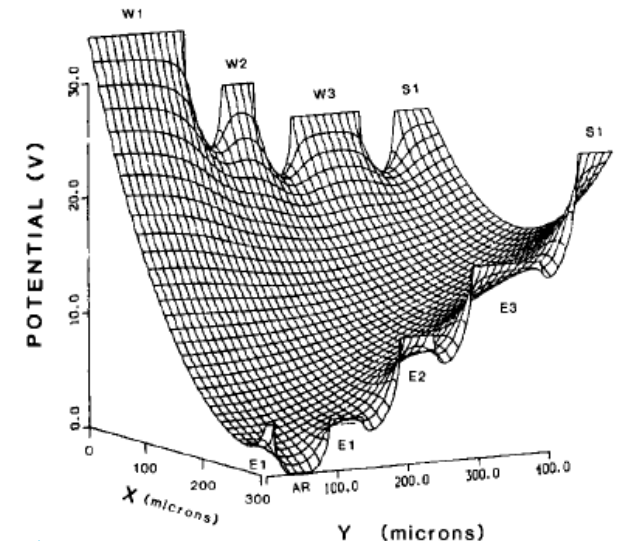
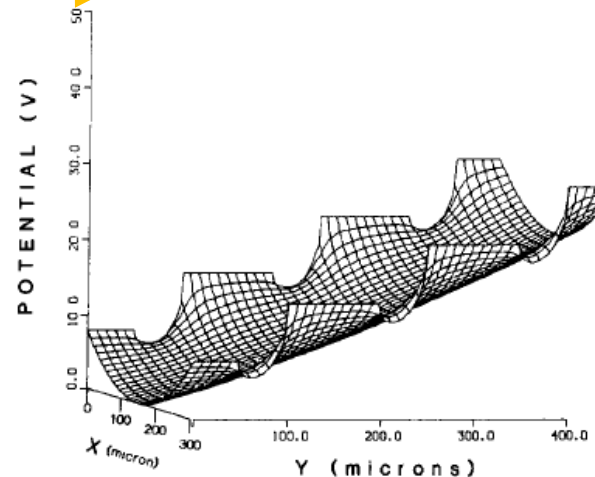


# Silicon Drift Detector – Deriva di silicio

- 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 corrente di lacune che fluisce tra le strip non connesse a bias, finche 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
- In corrispondenza dell'anodo di raccolta sul lato opposto gli impianti hanno potenziale costante o addirittura piu' alto per aumentare la differenza rispetto a n+

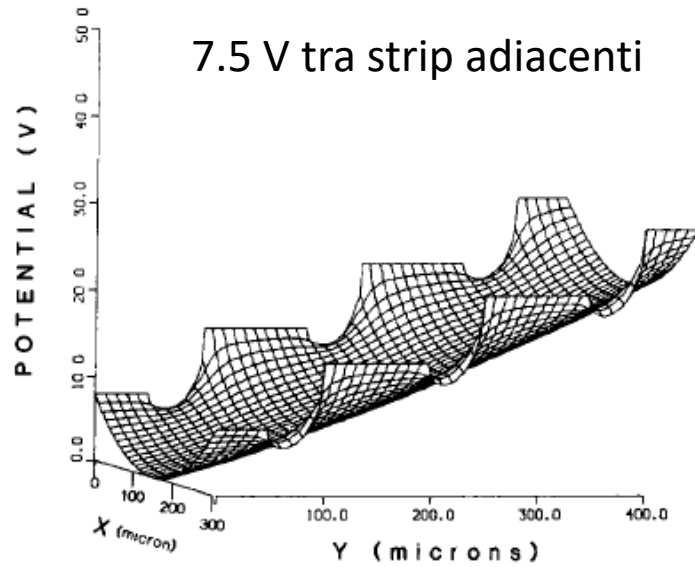


Zona di deriva

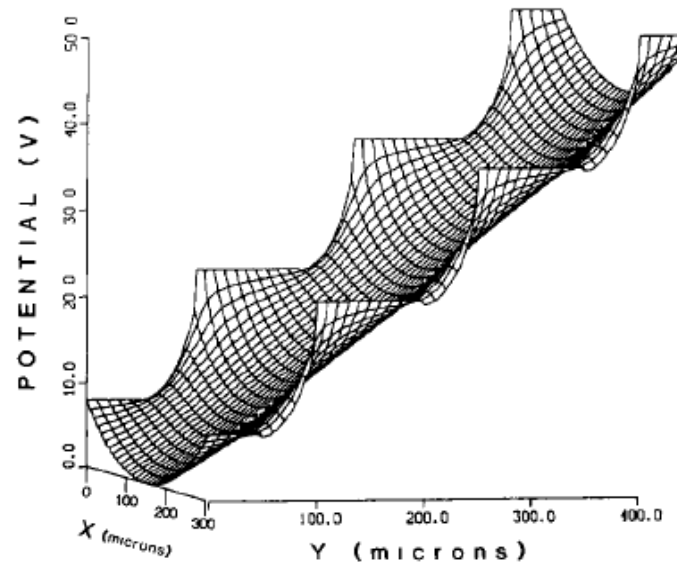


Zona di raccolta

# Limitazioni potenziale tra strip p+



15 V tra strip adiacenti

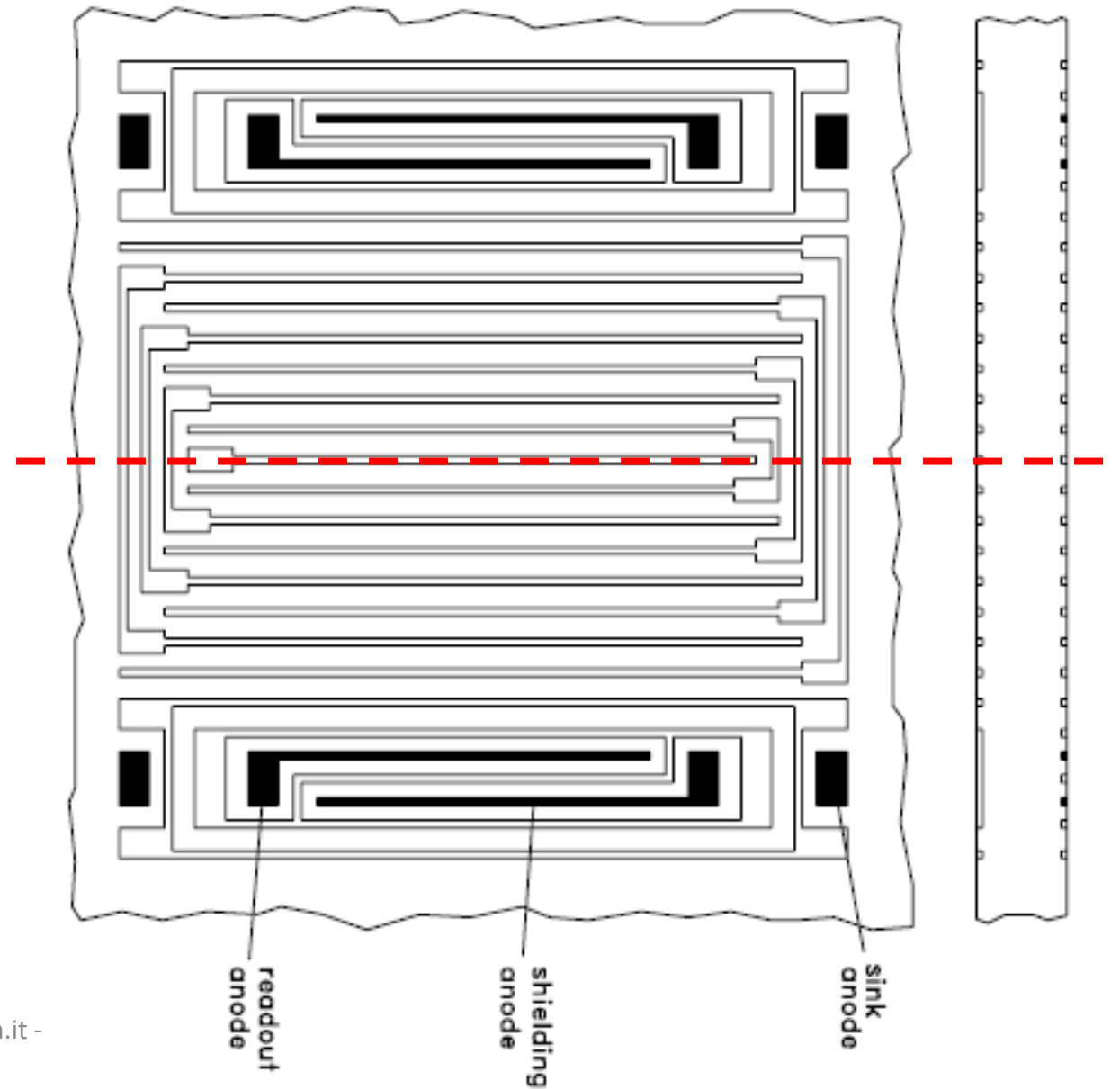


- Potenziale visto dagli e- cala in tutte le direzioni dal contatto p+: in questo modo non ci puo' essere flusso di buche
- Le resistenze esterne sulle due strip estreme limitano la corrente.
- La tensione viene divisa con collegamento a catena tra strip vicine.
- Alimentarle tutte esternamente provocherebbe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

- Non si puo' aumentare piu' di tanto la differenza di potenziale tra strip p+, altrimenti si annulla la barriera di potenziale per le Buche
  - Se usiamo 15 V il potenziale si deforma al punto da crescere a partire dall'impianto, creando una grande corrente di buche tra strip p+ adiacenti

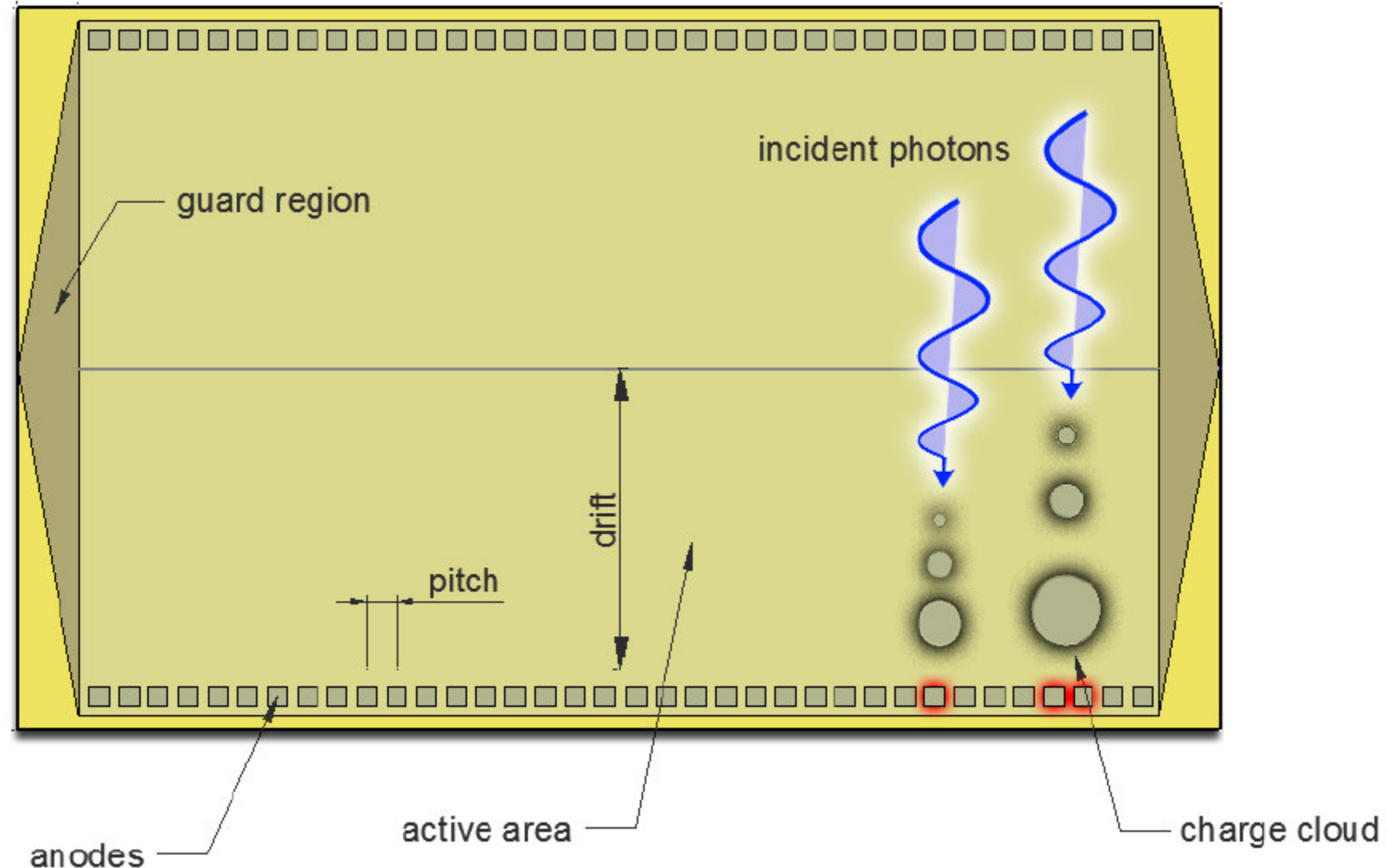
Per misura di  
posizione:  
simmetria left-right

Simmetria rispetto all'asse  
centrale, raccolta da  
entrambi i lati opposti del  
sensore, in modo da  
utilizzare un solo partitore di  
tensione per entrambe le  
sezioni, e ottenere la stessa  
deriva con meta' tensione



# Segmentazione dell'anodo

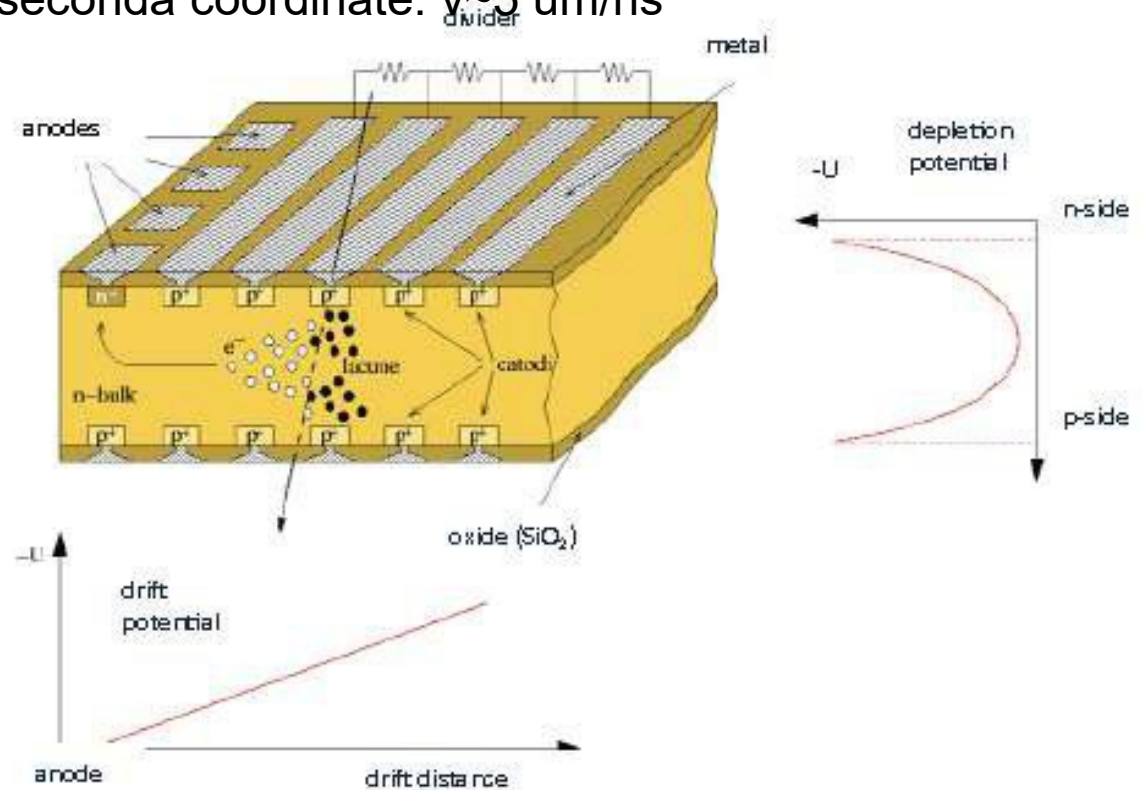
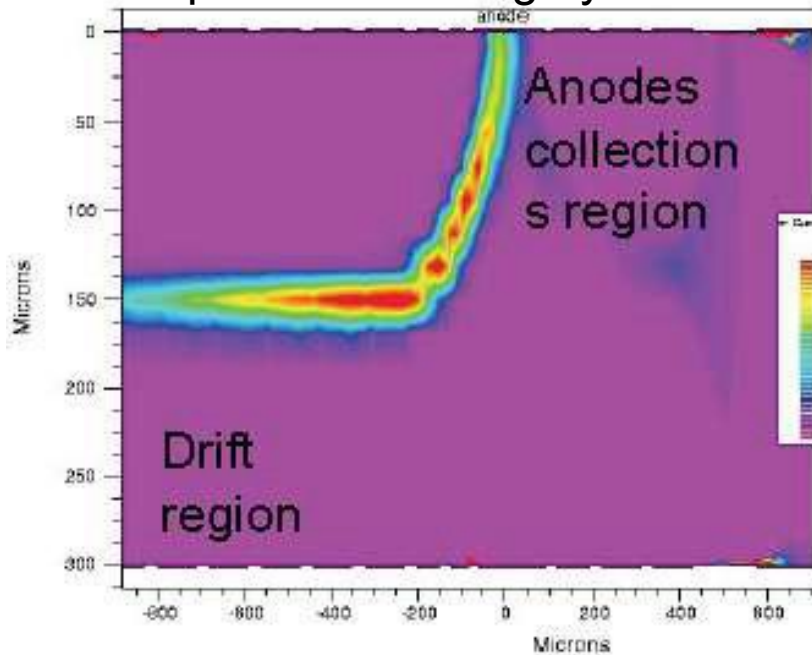
- La seconda coordinata e' fornita dalla segmentazione dell'anodo di raccolta
- La segmentazione deve essere proporzionata alladimensione della nuvola di elettroni, che ha avuto modo di espandersi durante la lunga deriva





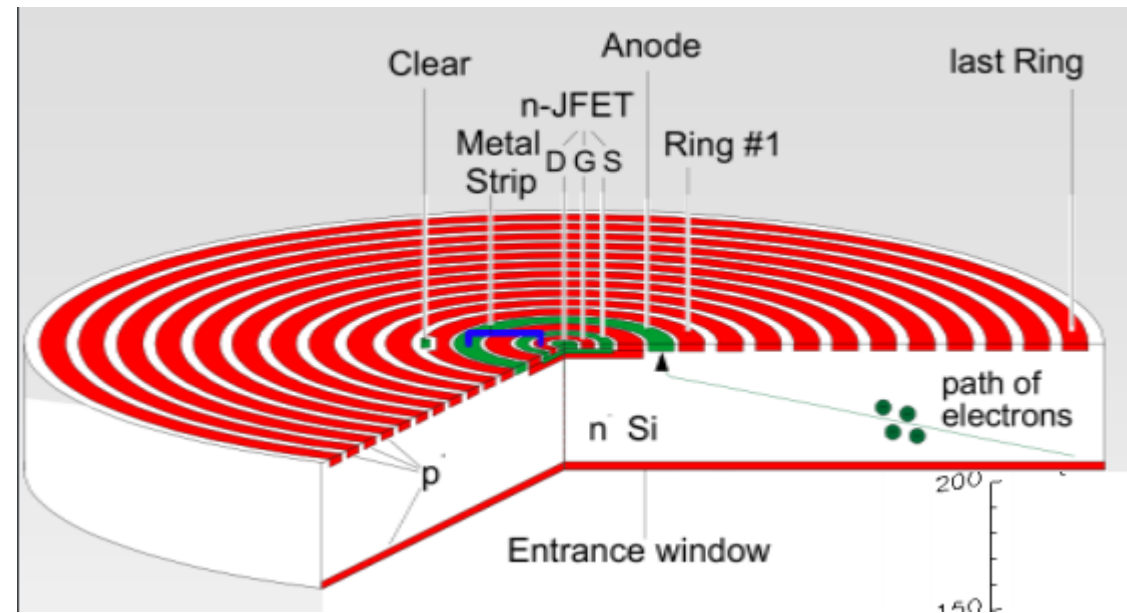
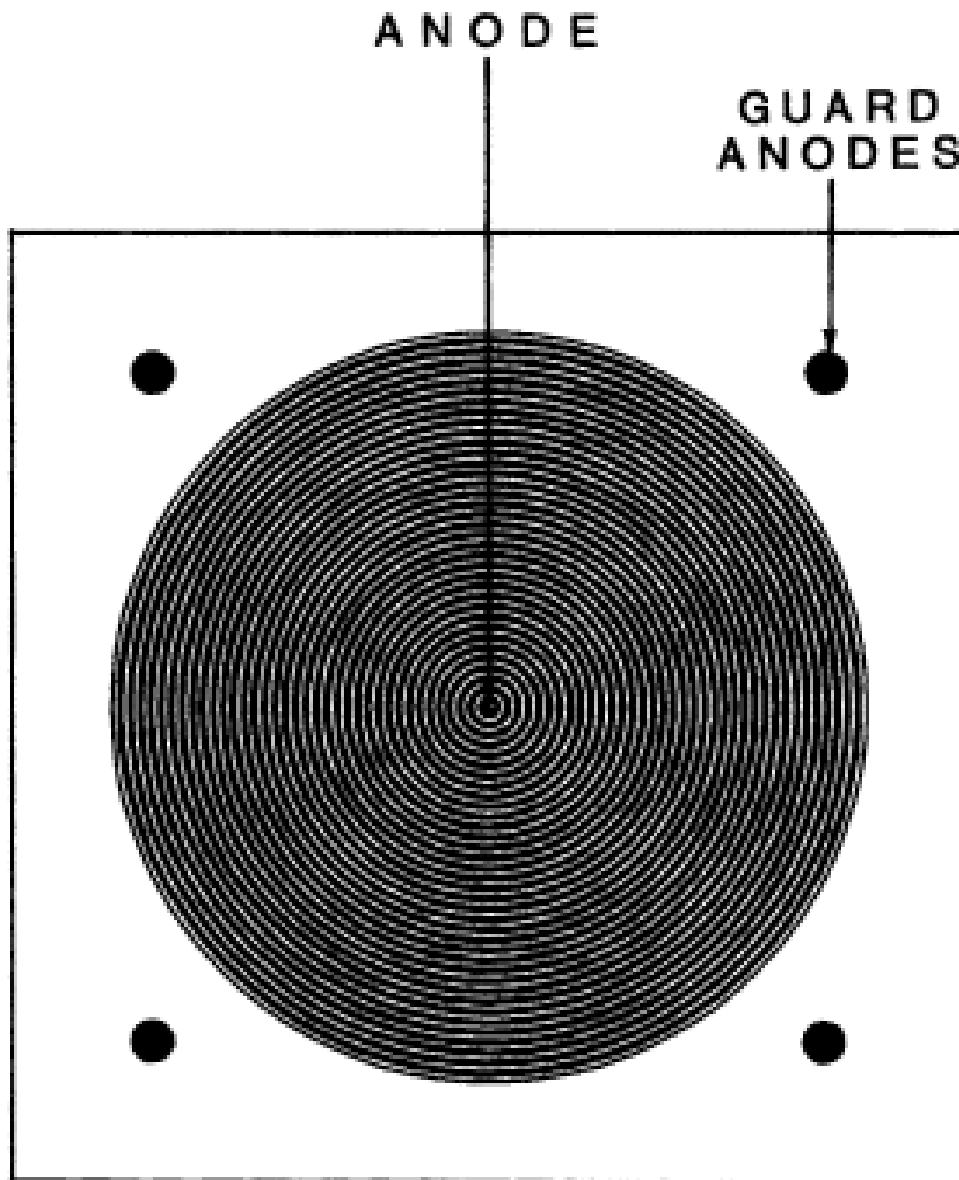
# Drift detector – Movimento delle cariche

- Lacune derivano ai catodi p<sup>+</sup> (non letti)
- e<sup>-</sup> 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:  $y \sim 5 \text{ um/ns}$



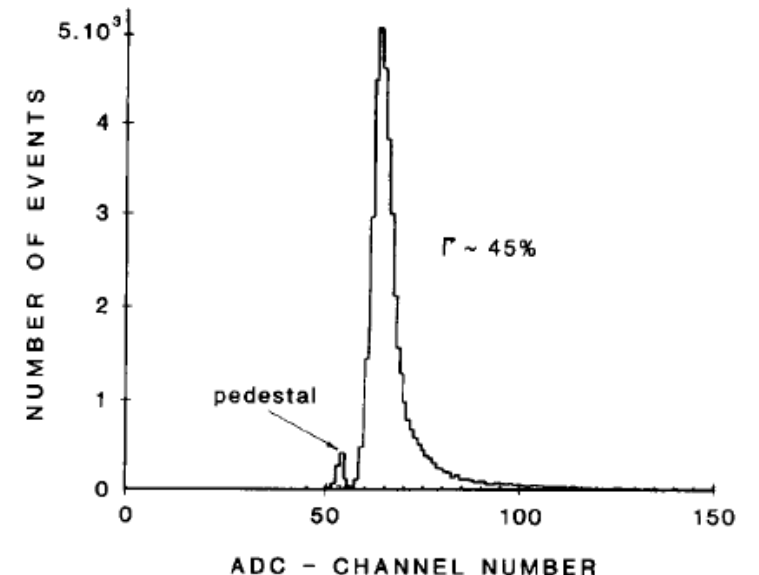
# Per spettroscopia: simmetria centrale

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

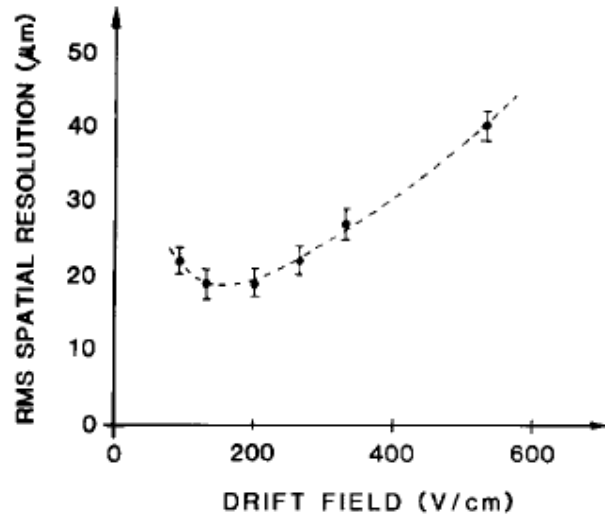


# Prestazioni prima camera a deriva di silicio

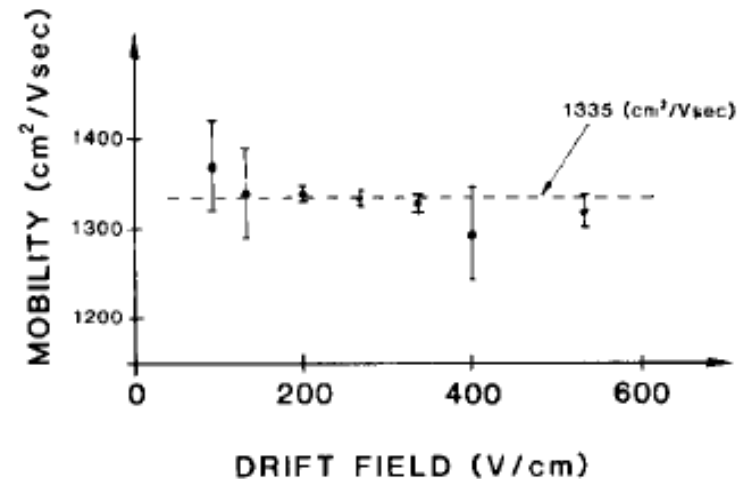
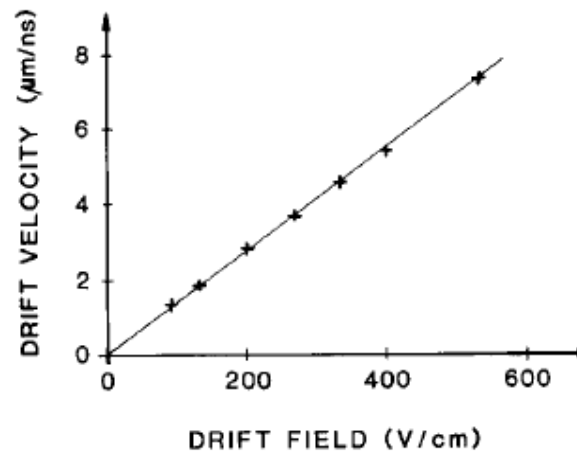
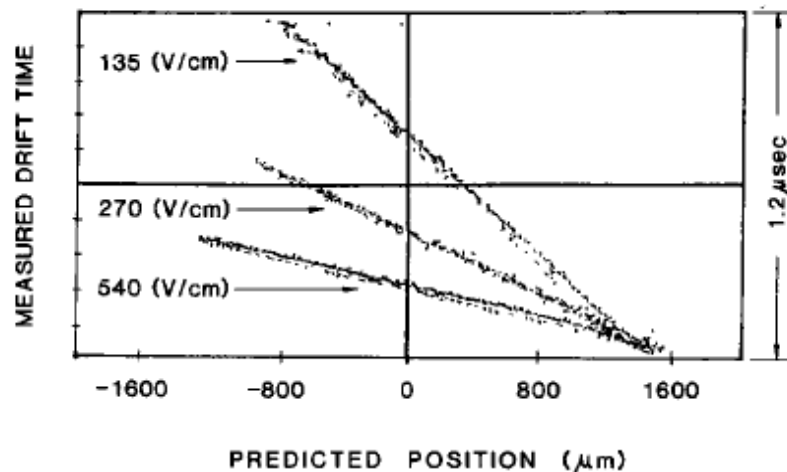
- Velocita' di deriva
  - T deve essere mantenuta stabile ( $v$  varia di  $\sim 1\%$  /K)
  - Velocita' deve essere calibrata e mappata
- Rumore:
  - La corrente di bias non influenza la corrente di leakage all'anodo
  - La corrente di lacune che entrano nel partitore di tensione modifica il potenziale
  - 4nA leakage dopo divisione della tensione
- Capacita'
  - Anodi piccoli (25 $\mu$ m) introducono piccola capacita (2pF)
- Misura Perdita energia particelle



# Prestazioni deriva di silicio

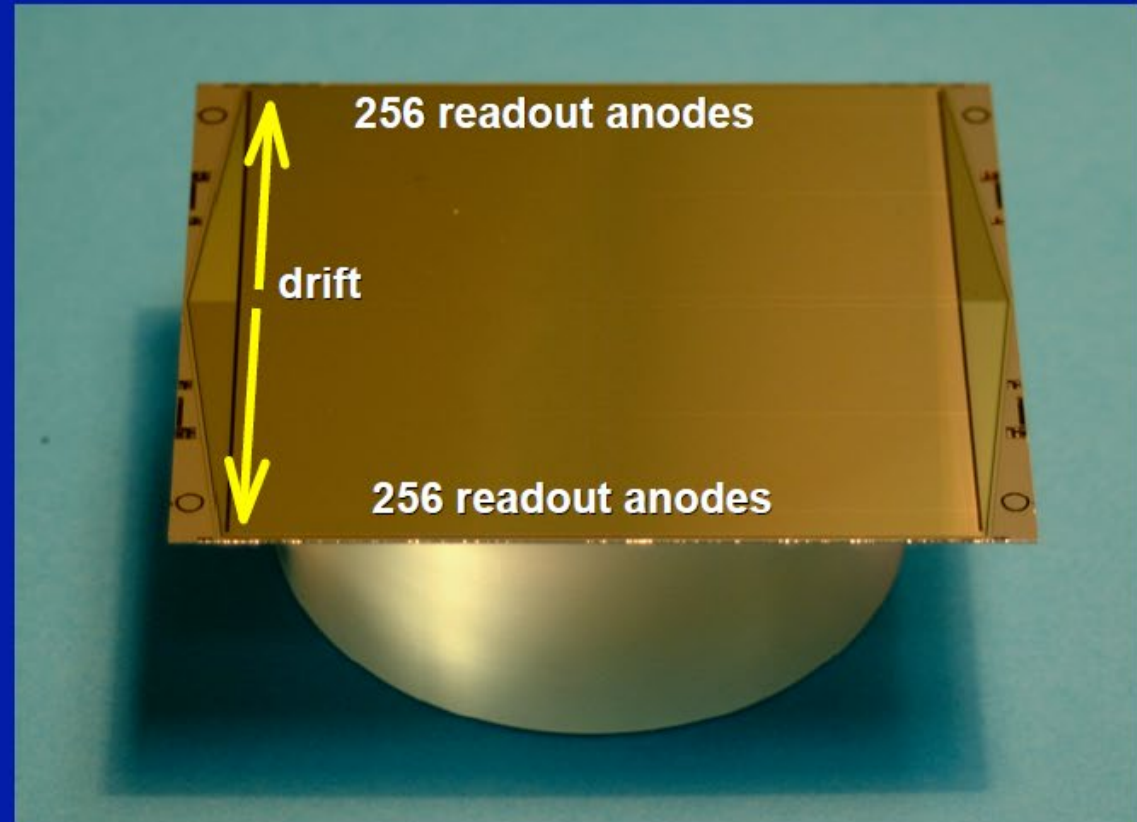


- Risoluzione temporale in funzione di campo di deriva:
  - Riferita a distanza fissa
- Linearita'
- Necessita di un tempo zero
- Velocita' di deriva in funzione del campo di deriva
- Stima della mobilita' degli e- in funzione del campo



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:

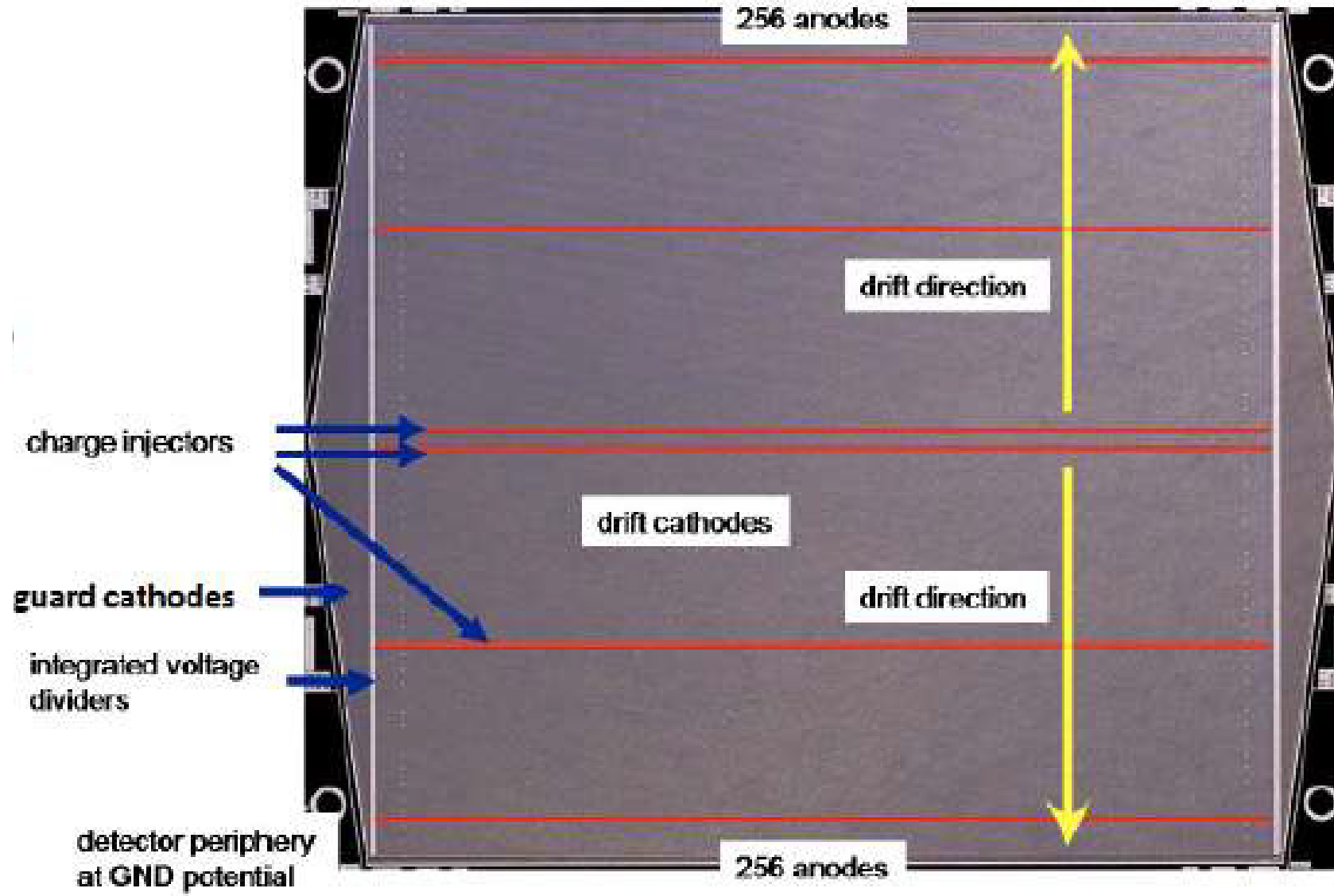
- **Wafer type:**
- **5" Neutron Transmutation Doped <111> 3 kΩ.cm, 300 μm thick**
- **Area:**
  - sensitive:  $7.02 \times 7.53 \text{ cm}^2$ , divided into two drift regions
  - total:  $7.25 \times 8.76 \text{ cm}^2$ , (ratio = 0.83)
- **Each drift region:**
  - 35 mm long
  - 291 cathodes driven 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



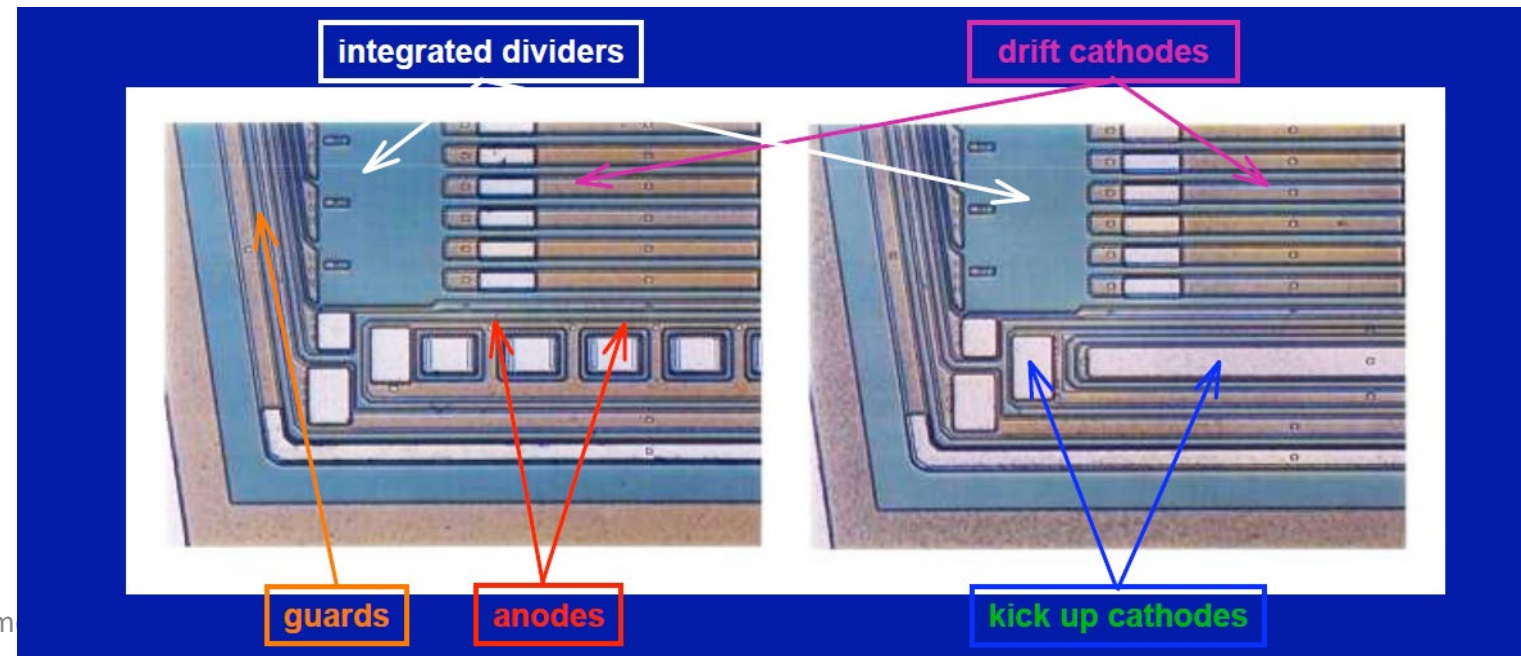
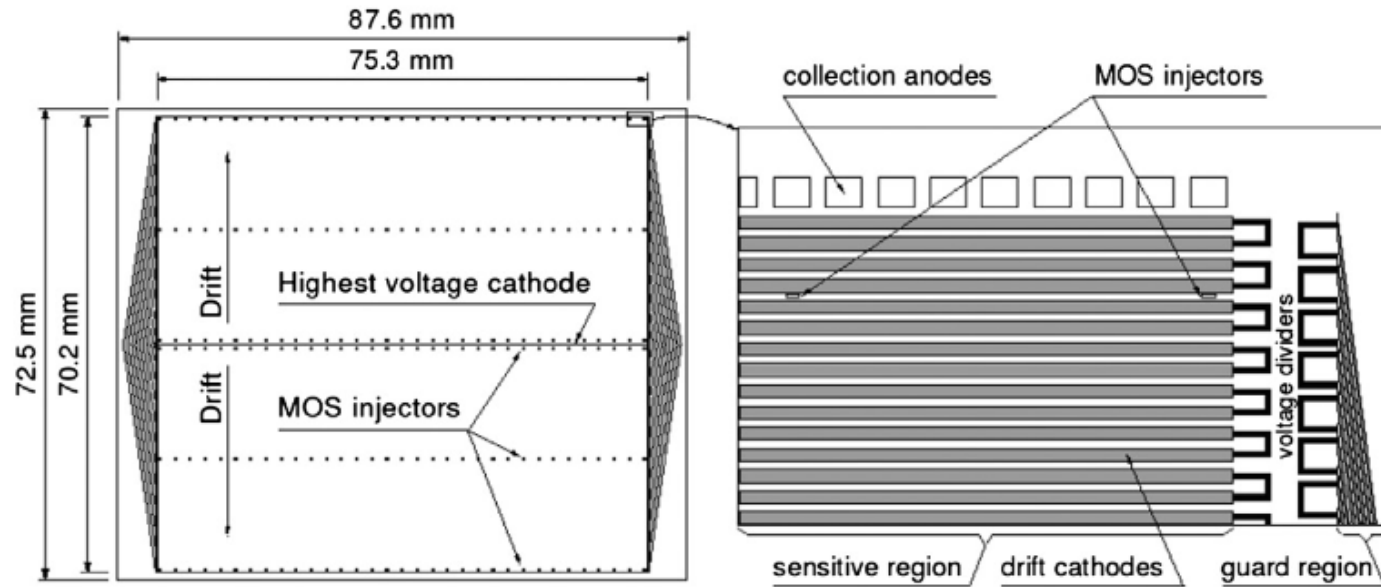
#### Typical operating parameters:

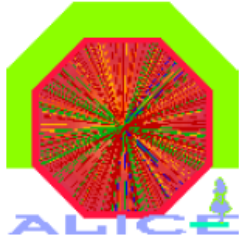
- Drift bias voltage: -2.4 kV, 8V/cathode  $E=670\text{V/cm}$
- Maximum drift time : 4.3 μs,  $v_d = 8 \text{ μm/ns}$
- **Power dissipation on board: 0.95 W**
  - equivalent  $R_{tot}$  of all drift + guard dividers 4781 kΩ
  - total current in all dividers ~0.40 mA

- ALICE  
SDD



# Struttura iniettore MOS e partitori di tensione





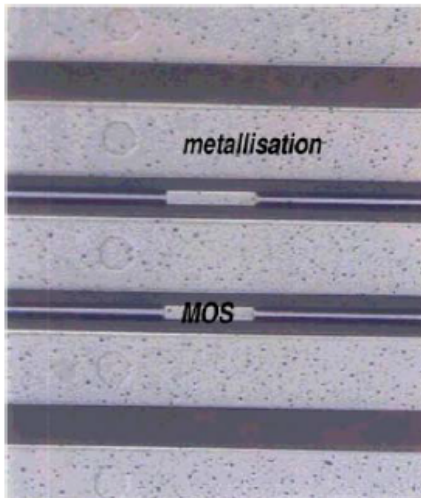
# Drift Velocity Calibration

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

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

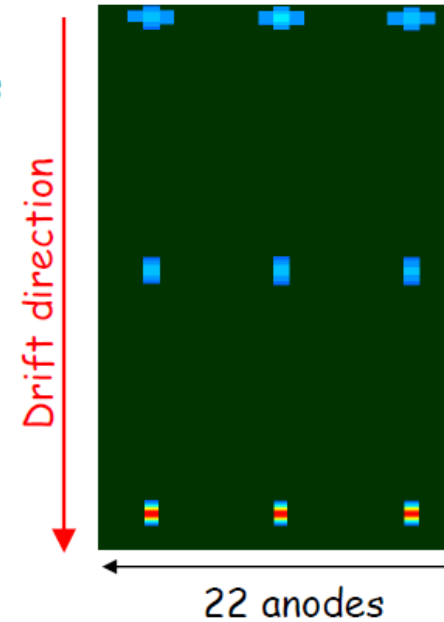
During the experiment,  $T$  must be stable within 0.1 K

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

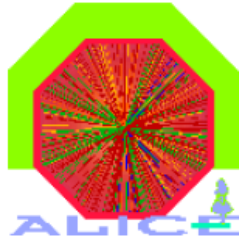


In SDD, there is 3 lines of 33 injectors  
 1 close to the anods  
 1 in the middle  
 1 at the far side

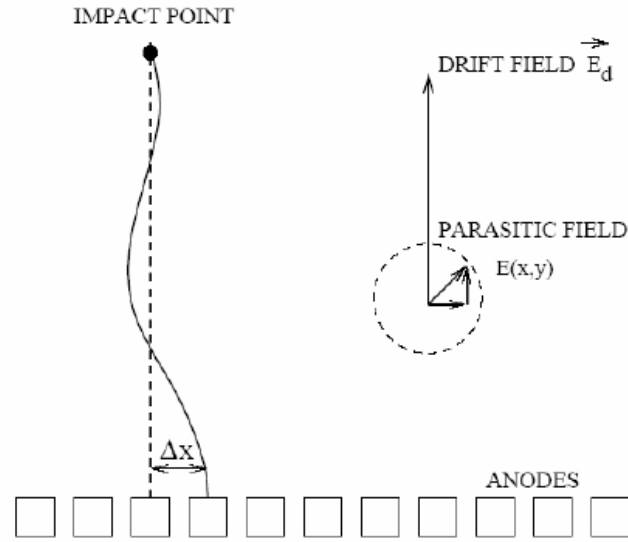
The drift time allows to deduce the velocity of electrons and therefore to make the conversion  
 $T_{\text{drift}} \rightarrow \text{Position}$



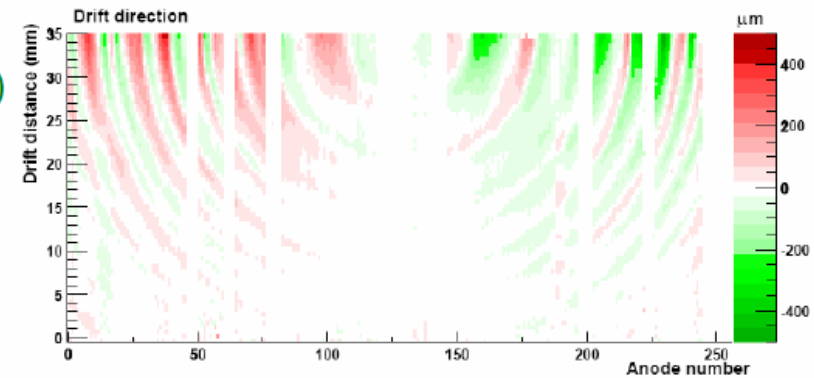
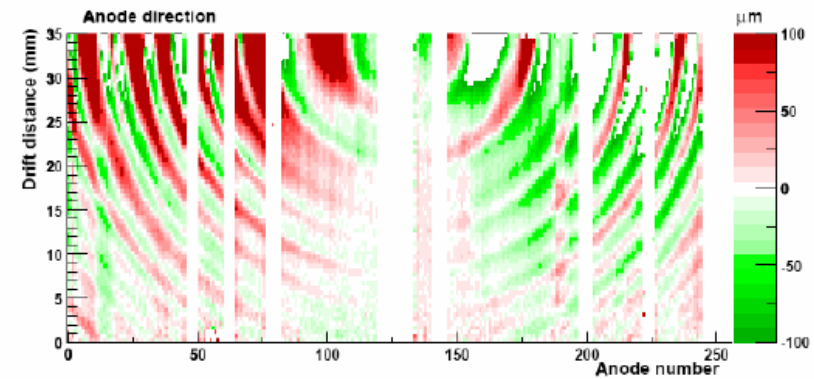




# Deviations in Position



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



Deviations :

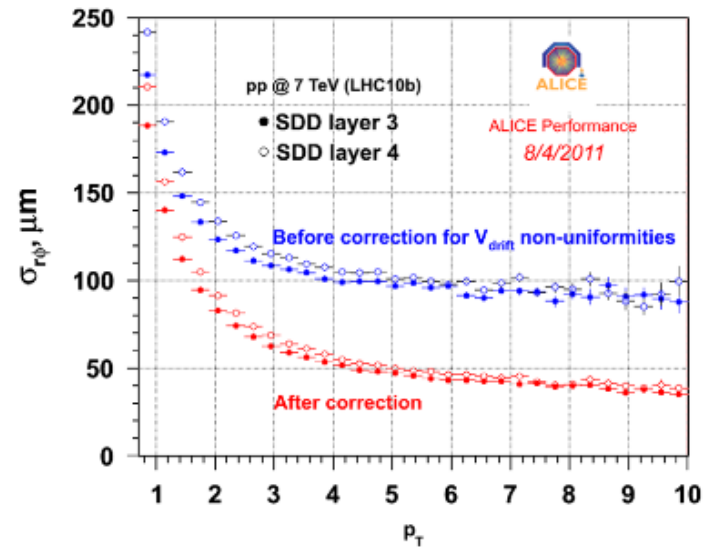
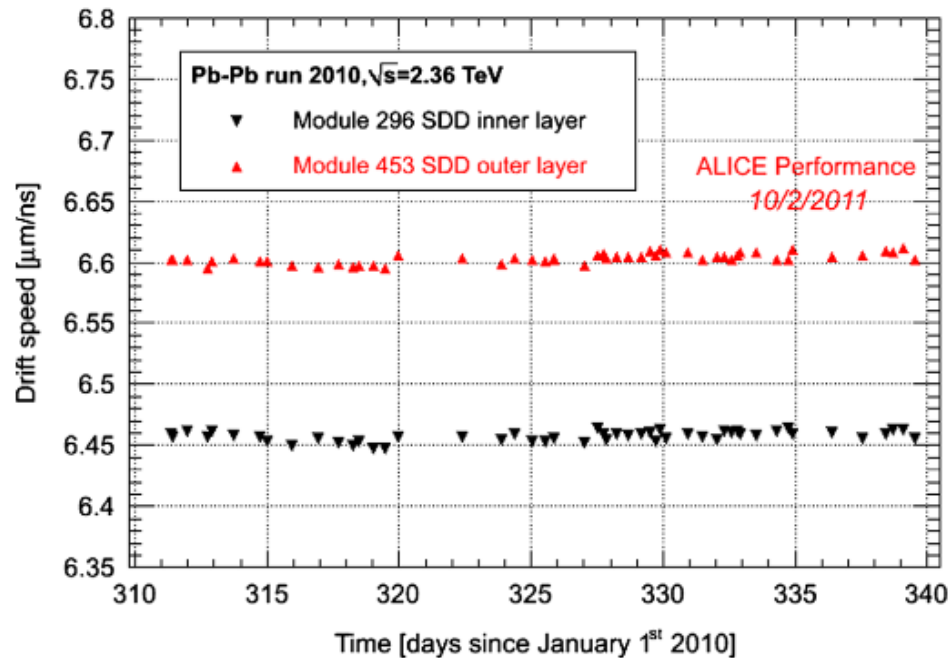
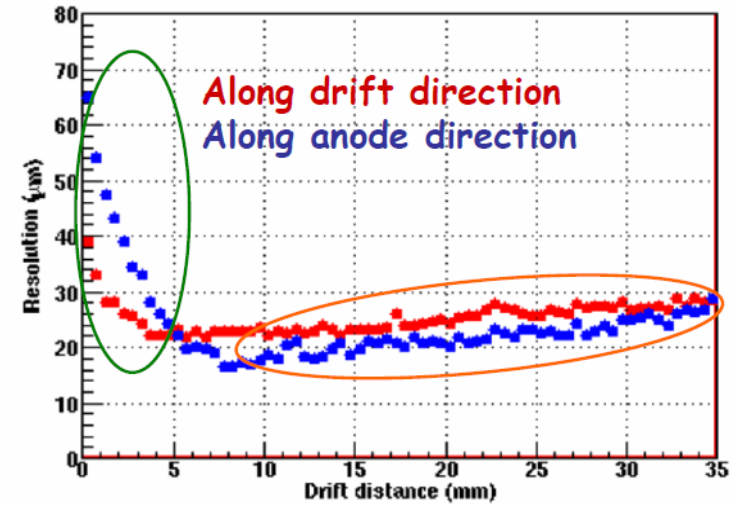
$$Pos_{meas} - Pos_{real} \rightarrow \pm 500 \mu m \text{ (drift direction)}$$

Systematic effect

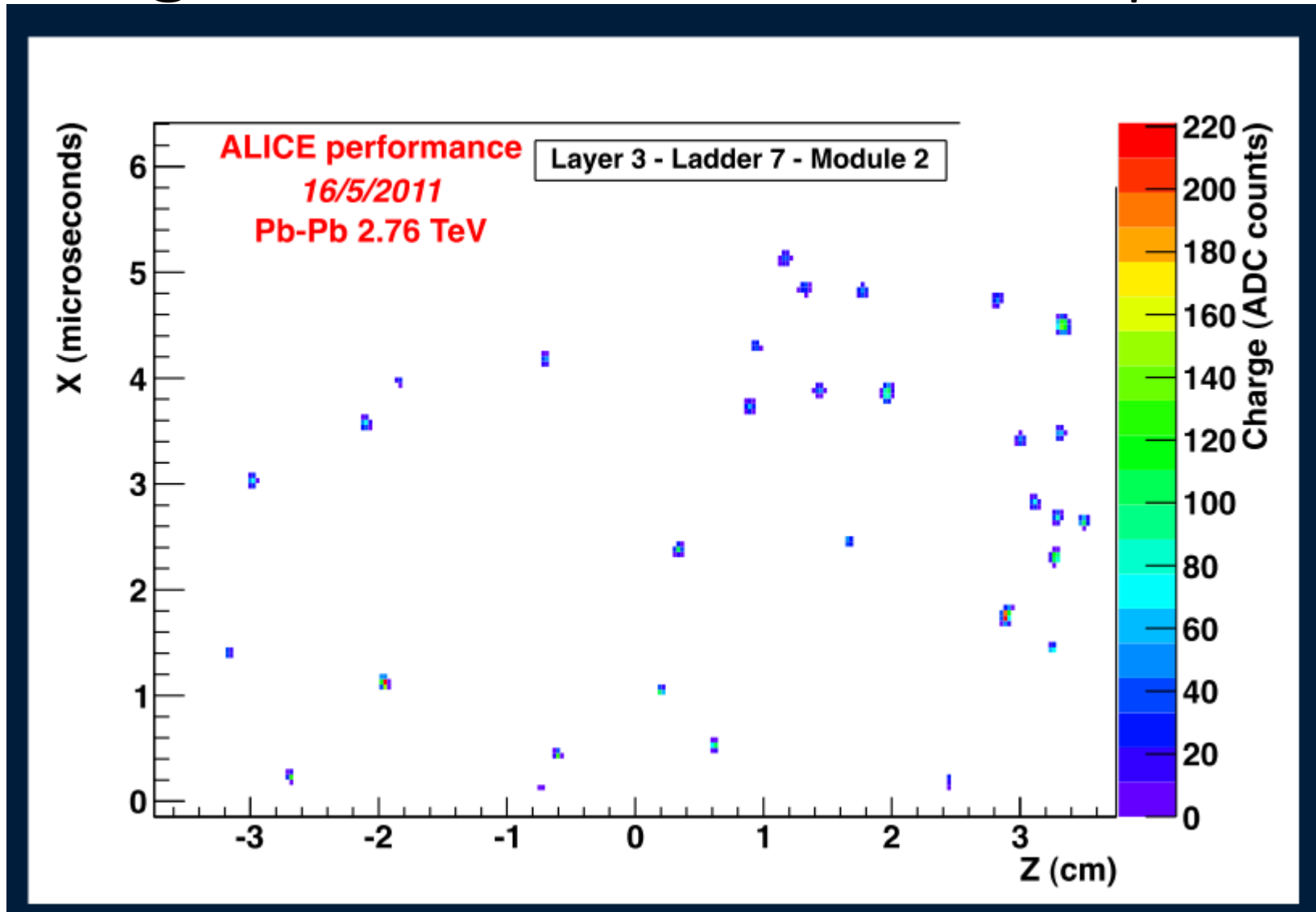
Measured with a laser in order to « map »  
each detector

# ALICE SDD

- Prestazioni misurate
  - Risoluzione spaziale in funzione distanza
  - Risoluzione spaziale vs pt particelle
  - Stabilità velocità deriva



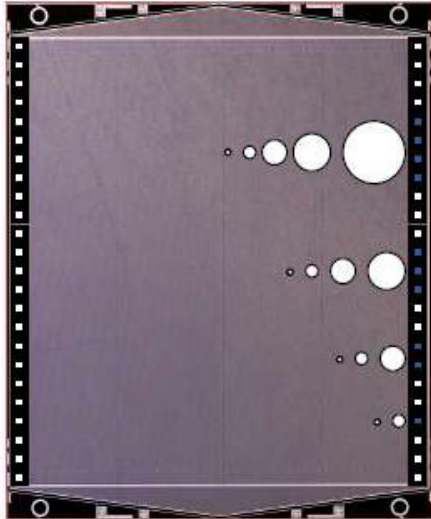
# Chiario segnale anche ad alta molteplicita'



# 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?



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:

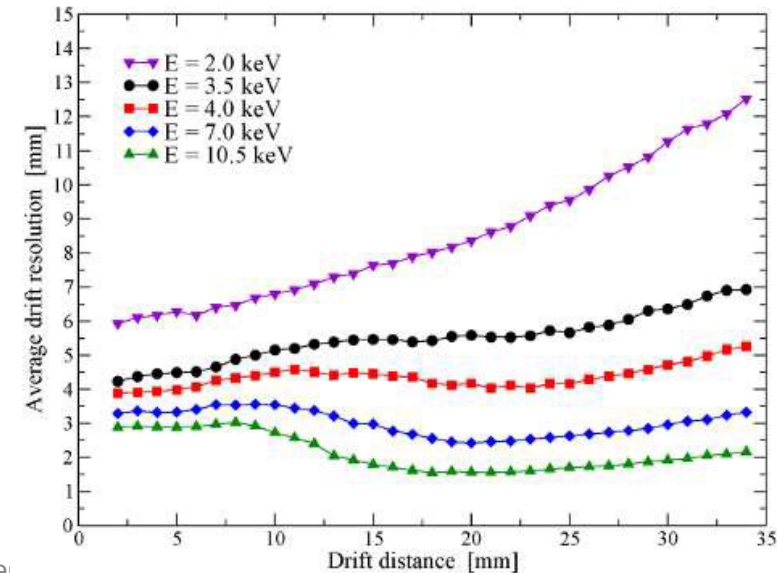
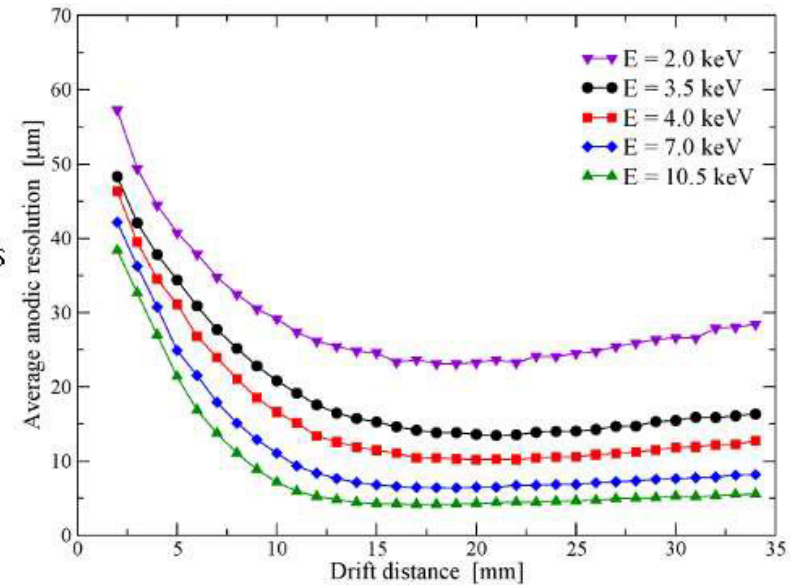
$$D = \frac{k_B T}{q} \mu \quad \text{diffusion coefficient}$$

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

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

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

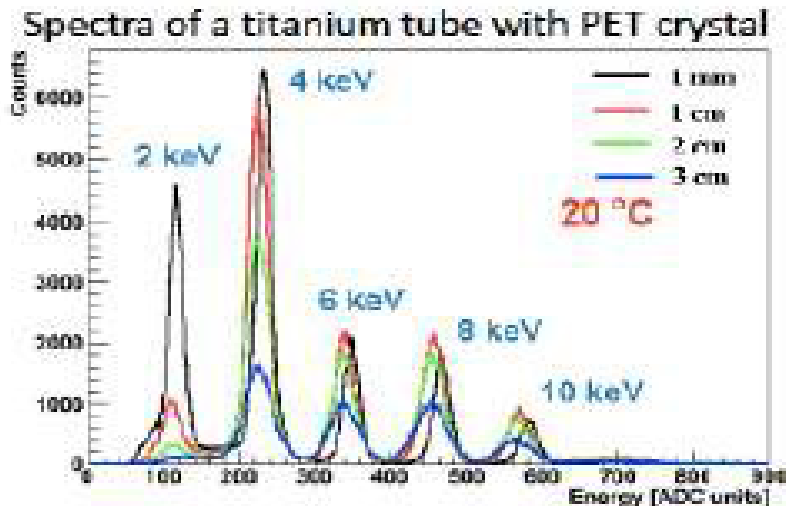
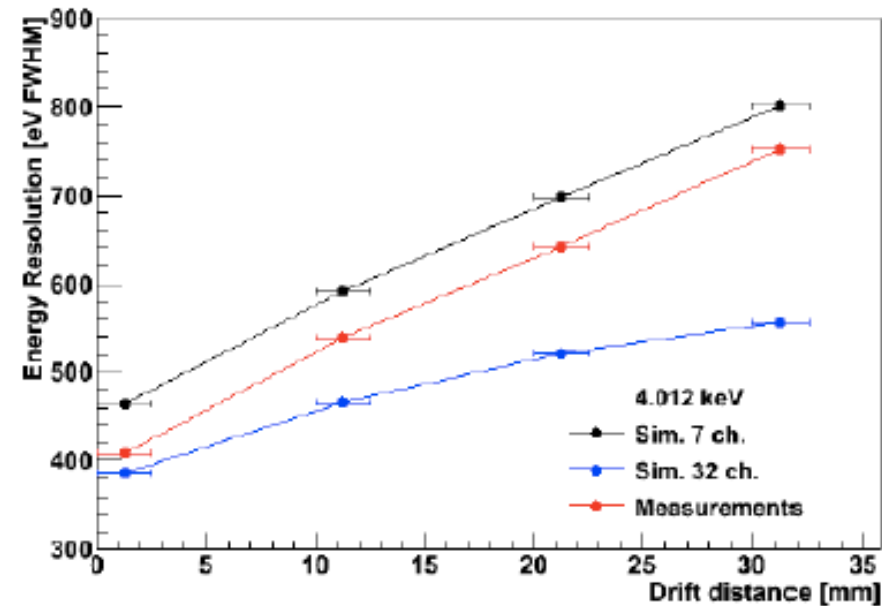
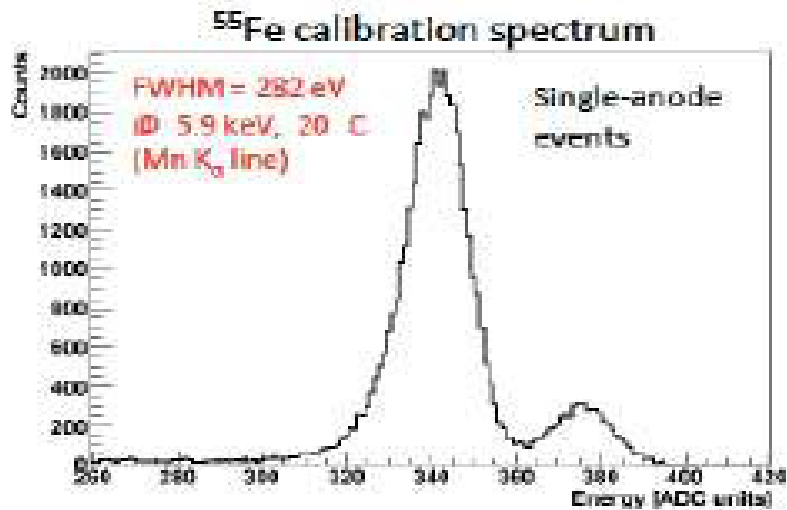
For low energy X-ray photons it is possible to take  $\sigma_0 \approx 0$



# Compromesso segmentazione anodi

- Per aumentare la risoluzione in energia a scopi spettrografici: vorrei che la carica fosse divisa al massimo tra 2 anodi (la risoluzione dipende da  $\sqrt{N_{\text{anodi}}}$  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)

## SDD DESIGN OPTIMIZATION FOR X-RAY SPECTROSCOPY AND IMAGING

Detector development activity performed in the framework of the XDXL and ReDSOX R&D INFN programs

Prototypes designed, manufactured and tested in collaboration between INFN, INAF and FBK.

(Rachevski et al., JINST, 2015)

## SUBSTRATE OPTIMIZATION FOR X-RAY DETECTION

MATERIAL: NTD  $\rightarrow$  FZ

GEOMETRIC AREA (filling factor): 5"  $\rightarrow$  6" wafer <100>

RESISTIVITY: 4 k $\Omega$  cm  $\rightarrow$  9 k $\Omega$  cm

THICKNESS (QE): 300  $\mu$ m  $\rightarrow$  450  $\mu$ m

## DESIGN OPTIMIZATION FOR X-RAY DETECTION AND SPACE APP.

VOTLAGE DIVIDER: reduced power

SURFACE CURRENT: minimization

Si-SiO<sub>2</sub> INTERFACE GAP: minimization

FIELD PLATE: optimization for minimal surface current

QUANTUM EFFICIENCY: optimization for low  $E_{ph}$

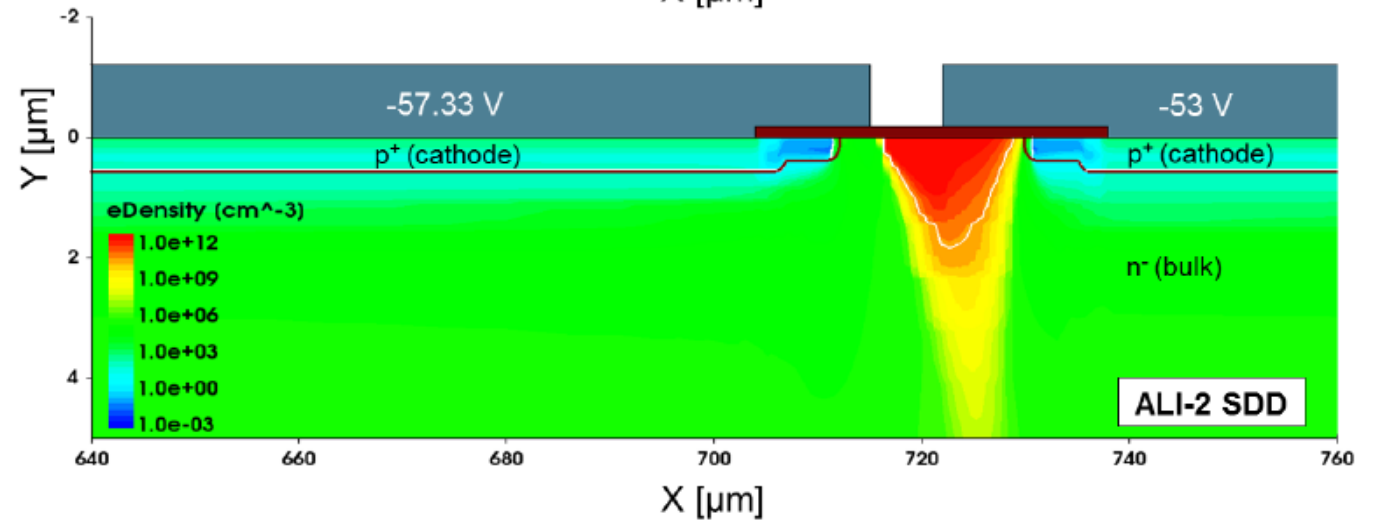
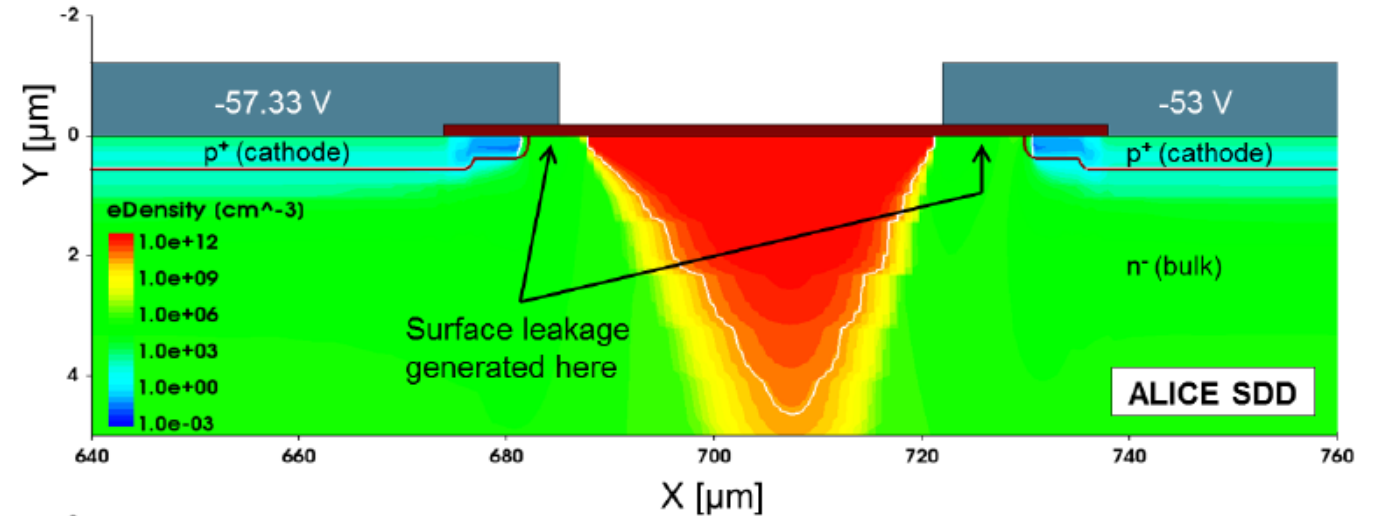
ANODE PITCH: opt. for spectral-timing & imaging





# Restringimento gap tra p<sup>+</sup> vicine

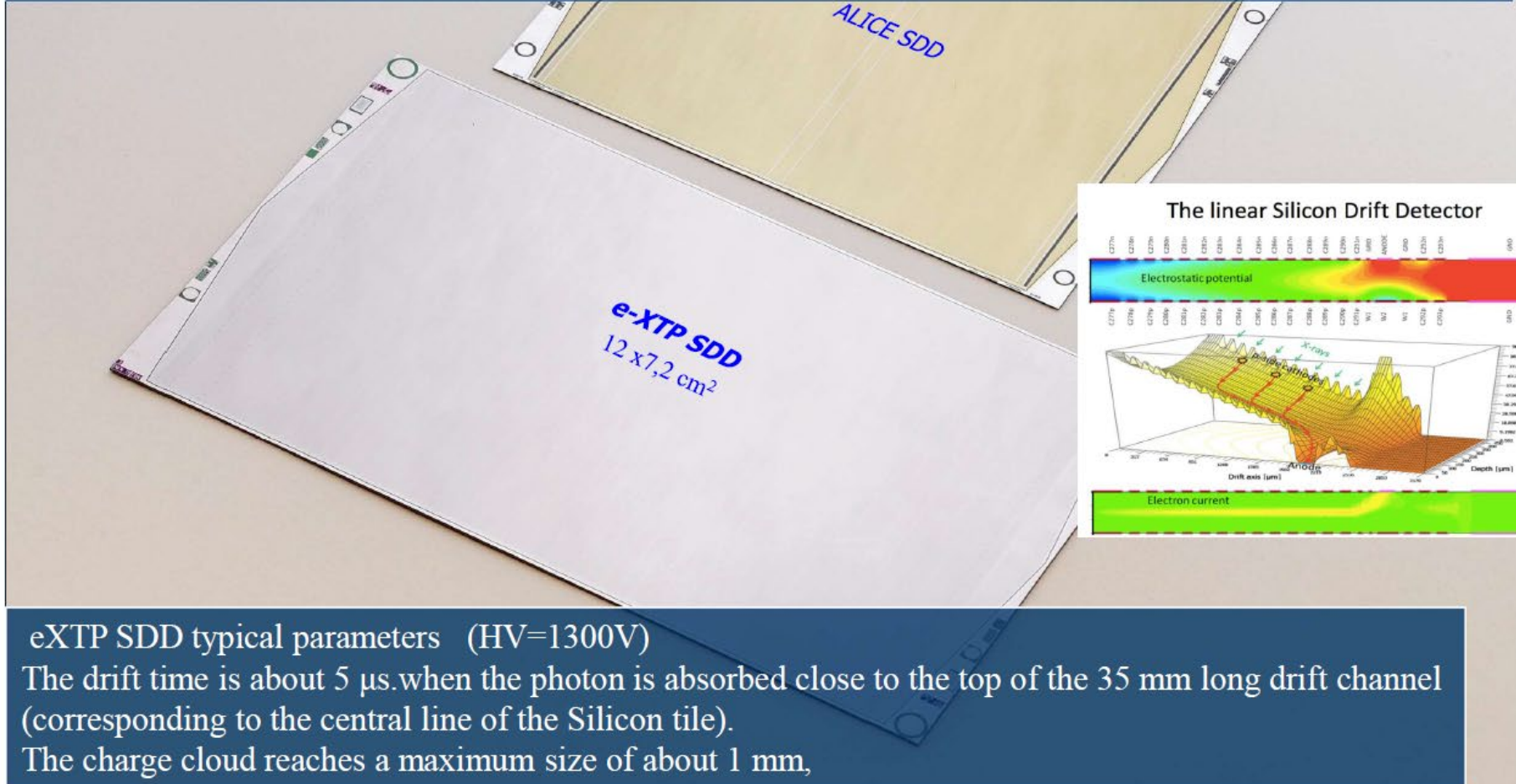
- Densità di elettroni in rosso
- Corrente di leakage di superficie avviene tra SiO e bulk
- Per restringere la zona non svuotata basta aumentare il rapporto tra area degli impianti e area del gap.
- Anche la zona svuotata sotto l'ossido si restringe



## E\_XTP SDD

LOT OF MODIFICATIONS TO IMPROVE LOW ENERGY X-RAY DETECTION

- Active area:  $53 \text{ cm}^2 \rightarrow 76 \text{ cm}^2$ , increment of 43%
- Power consumption at 1300 V: 350 mW
- $\rightarrow 37 \text{ mW}$ , reduction of a factor  $\sim 9$
- Average QE media increased of  $\sim 27\%$  at 4.5 keV



eXTP SDD typical parameters (HV=1300V)

The drift time is about  $5 \mu\text{s}$  when the photon is absorbed close to the top of the 35 mm long drift channel (corresponding to the central line of the Silicon tile).

The charge cloud reaches a maximum size of about 1 mm,