



# Caratterizzazione di Rivelatori al Silicio Innovativi

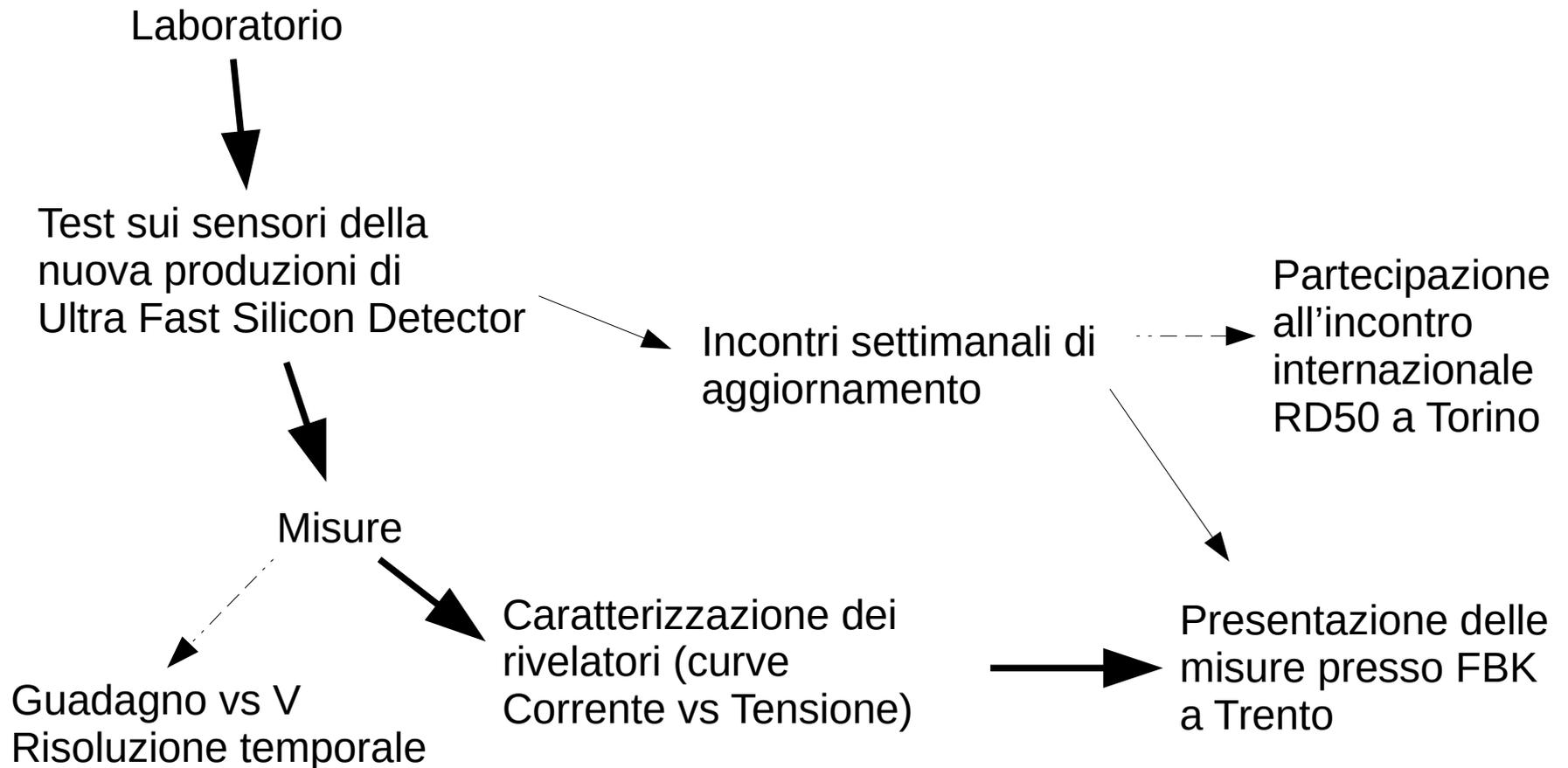
Relatore: Costa Marco

Correlatore: Cartiglia Nicolò

Dissertazione Tesi di Laurea Triennale  
19/10/2016

# Il mio Percorso

Stage + Tesi presso l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, sede via P.Giuria 1

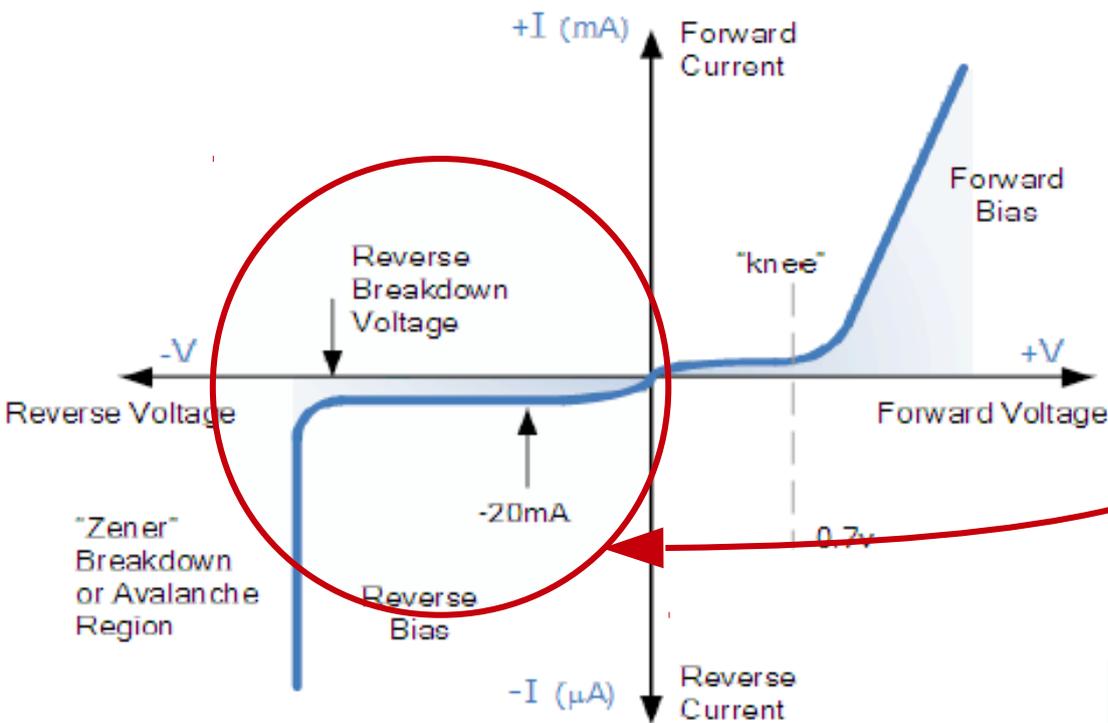
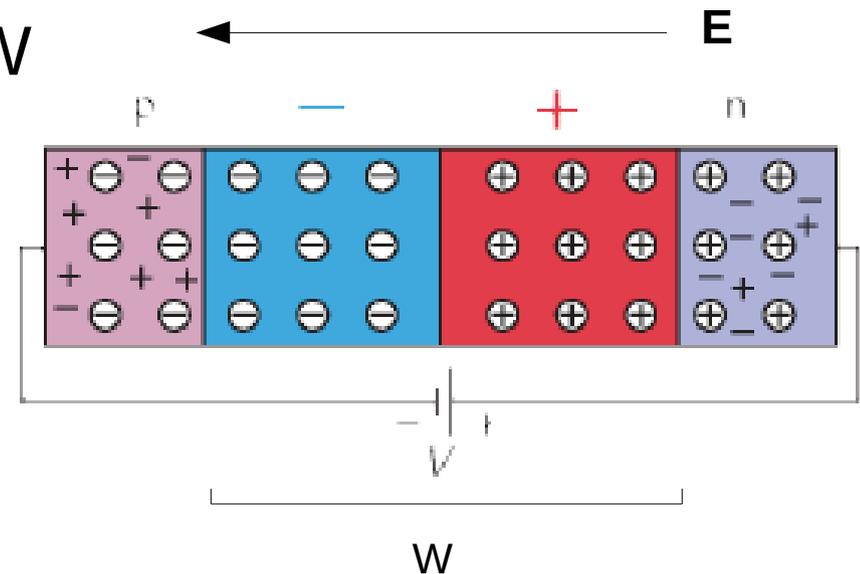


# Rivelatori al Silicio: Giunzione PN in Polarizzazione Inversa

Regione di svuotamento di spessore  $W$

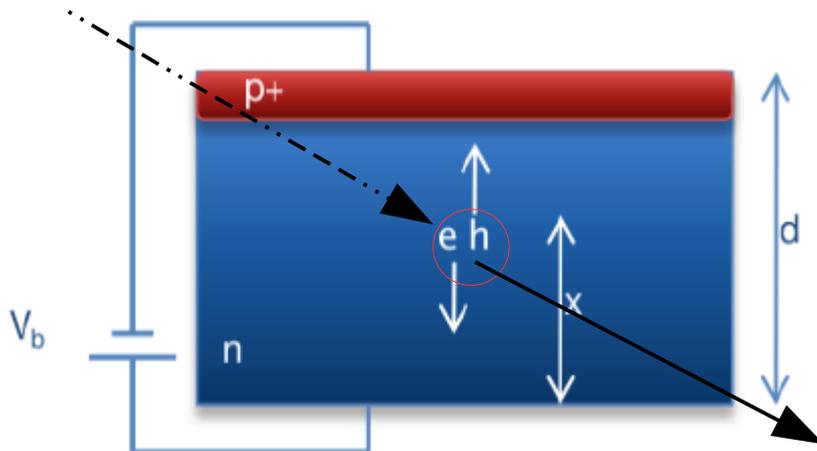
$$W = \sqrt{\frac{2\epsilon_S}{q} \left( \frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) (V_{bi} + V)}$$

$$V_{svuotamento} = N_A \frac{eW}{2\epsilon_S}$$



Corrente di Buio, visibile in regime di polarizzazione inversa

# Rivelatori al Silicio: Formazione del segnale

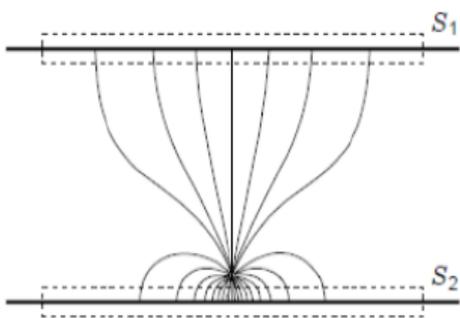


Particella nella regione di svuotamento

- Cessione di energia
- Ionizzazione del Silicio, generazione di n coppie elettrone lacuna\* che derivano lungo le linee di campo di campo
- Segnale
- Elettronica di lettura

Il movimento delle cariche induce una corrente agli elettrodi

Teorema di Ramo:



$$I \sim qvE_w$$

Weighting field, termine legato alla geometria costruttiva. Indipendente dal campo E applicato

Velocità di deriva proporzionale al campo elettrico applicato

Carica

\*Per una particella incidente al minimo di ionizzazione  $n \sim 75/\mu\text{m}$

# Rivelatori al Silicio:

I Rivelatori al Silicio vengono usati per misure di posizione.

LHC (CMS, ATLAS): Rivelatori a pixel  $\sigma_{\text{pos}} \sim 10\mu\text{m}$

Misure di tempo?

Rivelatori a Gas

→  $\sigma_t \sim$

← Li metto o no???

Rivelatori al Silicio

→ Esperimento NA62:  $\sigma_t \sim 150\text{ps}$

(Rivelatori al Silicio a pixel)

Come fare meglio?

$$\sigma_t = \frac{V_{th}}{\frac{dV}{dt}}$$

Affinché  $\sigma_t$  sia piccolo serve un basso rumore ed un segnale che cresca rapidamente (elevato SlewRate)

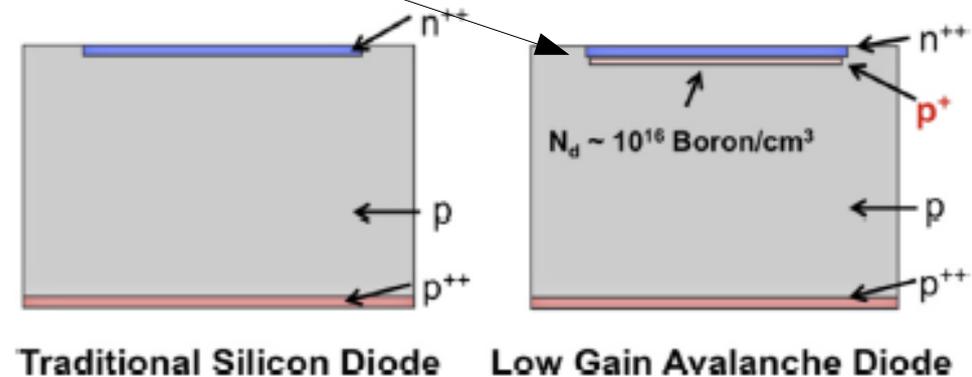
→ Rivelatori sottili, ma ciò implica piccoli segnali

# Ultra Fast Silicon Detectors

Il problema del piccolo segnale può essere ovviato con un Guadagno interno al sensore

Layer di Guadagno

Soluzione: produzione di sensori sottili (~50um) con uno strato di guadagno interno.



—▶ UFSD: alta risoluzione temporale ( 30ps)

# Guadagno

Come scegliere il Guadagno ?

- Simulazione  Weightfield2 [WF2]  
TCAD
- Diversi valori di Guadagno



► Produzione dei sensori:

- FBK (Trento)
- CNM(Barcellona)

[WF2] = F.Cenna, N.Cartiglia 9<sup>th</sup> Trento workshop, Genova 2014  
<http://personalpages.to.infn.it/~cartiglia/weightfield2>

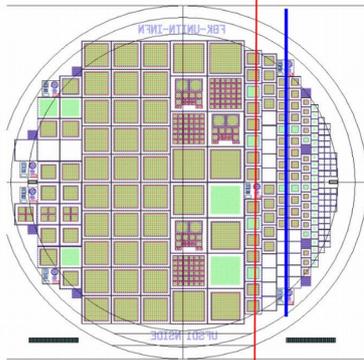
# Le mie misure

Test Sensori della nuova produzione FBK, 300 $\mu$ m di spessore

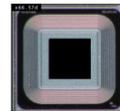
- 13 WAFERS con 5 diversi profili di drogaggio
- Diverse geometrie



Cilindro di Silicio



Wafer



Io sono qui



Fondazione  
Bruno Kessler,  
Trento

INFN, CMS  
Torino

Tracciatore  
CMS

# I sensori funzionano?

## Le misure

Il primo requisito è che i sensori della produzione funzionino nelle regioni attese  
(Tali regioni dipendono dal guadagno, nel caso del Wafer3 ad esempio per tensioni  $V < 1000V$ )

Il metodo che ho utilizzato per l'analisi è lo studio della Corrente di Buio in funzione della Tensione applicata ai capi

Misure su 4 Wafer (1,3,7,10) con due guadagni diversi

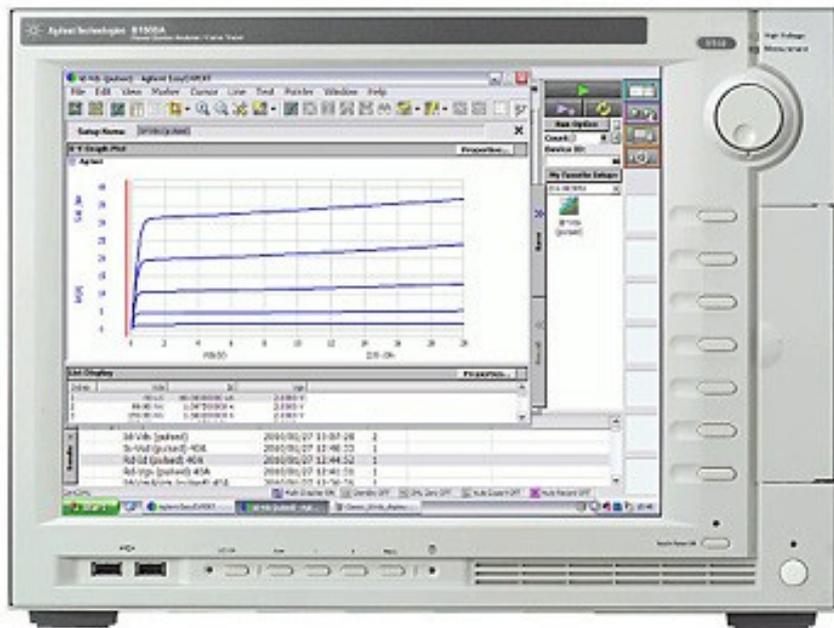
Per ciascuno diverse dimensioni:

- $0,5 \times 0,5 \text{ mm}^2$
- $1 \times 1 \text{ mm}^2$
- $2 \times 2 \text{ mm}^2$
- $3 \times 3 \text{ mm}^2$
- $5 \times 5 \text{ mm}^2$

Dispositivi LGAD\* e Diodi tradizionali

\*Low Gain Avalanche Detector,  $300\mu\text{m}$  di spessore

# Le mie misure: IV Setup sperimentale



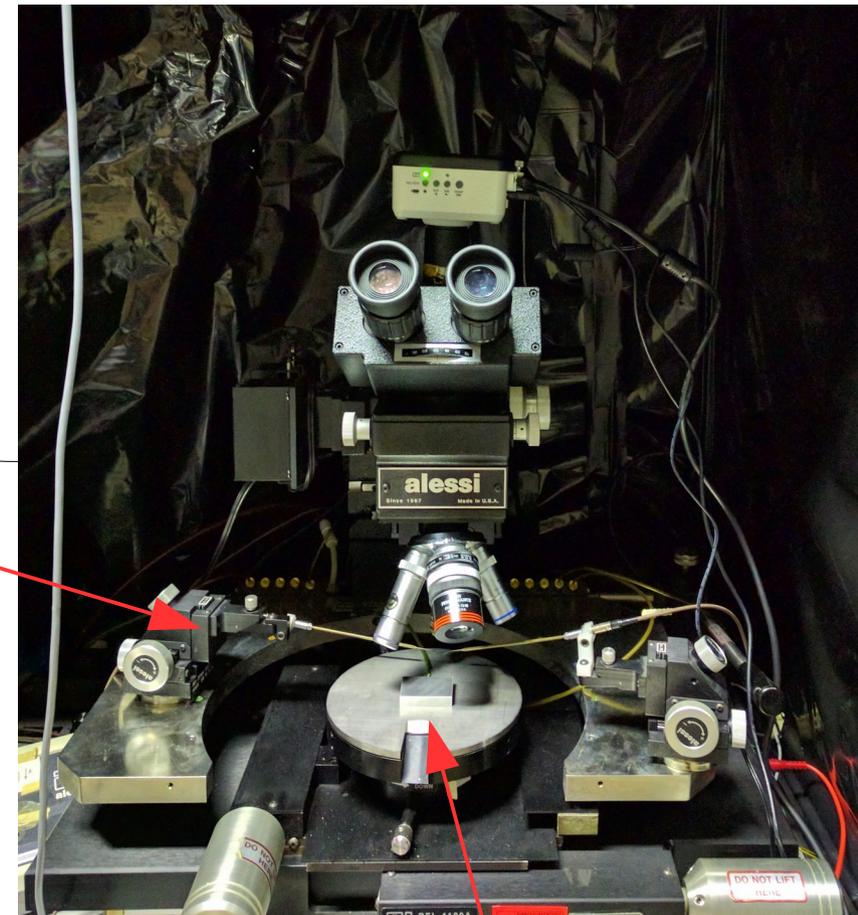
Keysight B1505A Power Analyzer / Curve Tracer

[www.datatec.de](http://www.datatec.de)

Moduli:

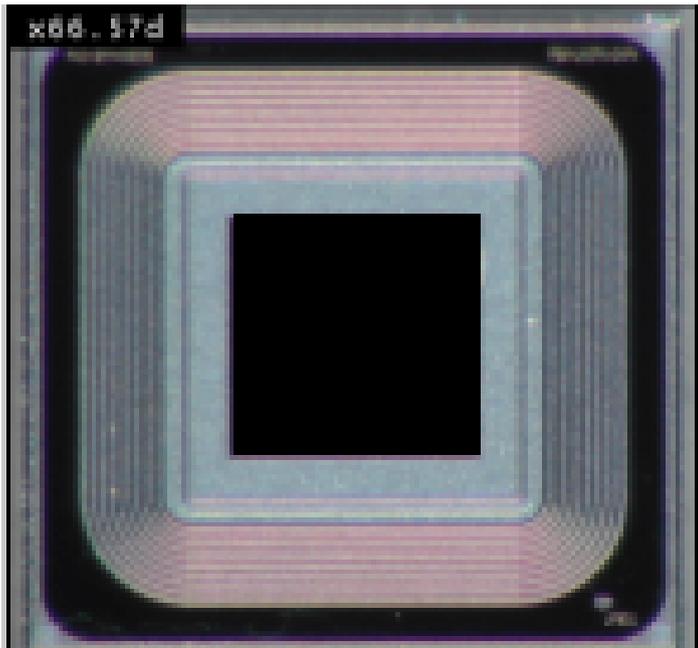
- High Voltage SMU: Max Range ( $\pm 3000V, \pm 4mA$ )  
Min Range(200V,1nA)
- Medium Range SMU: Max Range ( $\pm 100V, \pm 100mA$ )  
Min Range(0.5V,1nA)

Probe Station



Probe  
coassiali

Chuck



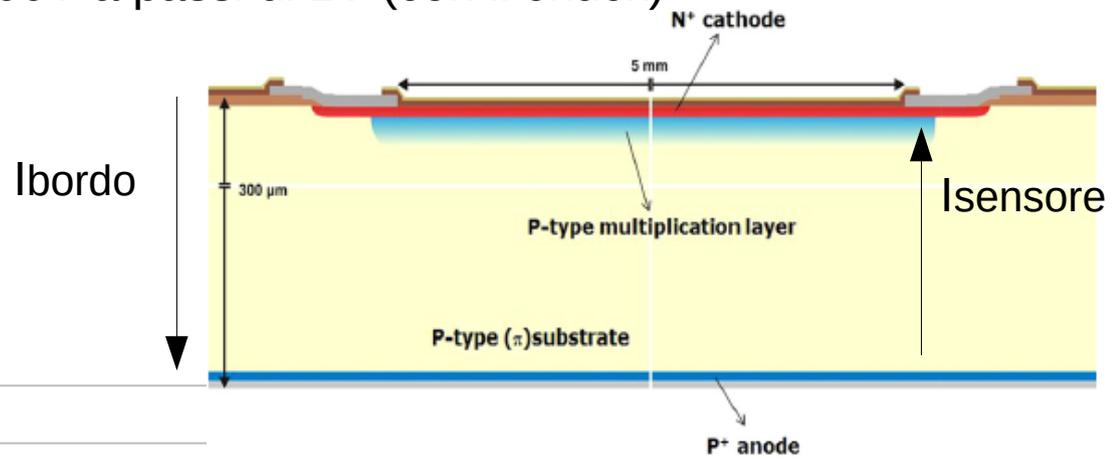
Lato superiore del sensore

Lato inferiore

# Le misure

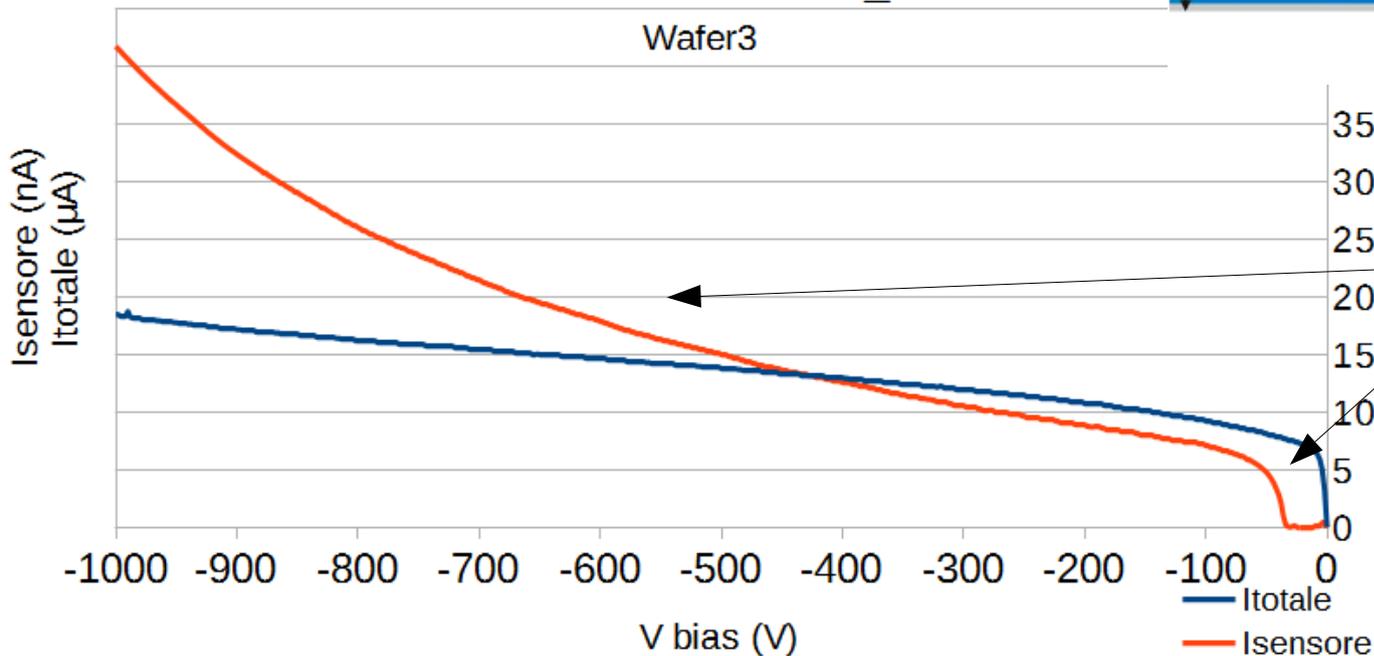
- Elettrodo n+      →      V1=0V (con probe)
- Linee di guardia →      0V (con probe)
- Elettrodo p+      →      V2 da 0V a -1000V a passi di 2V (con il chuck)

La corrente di bordo viene raccolta attraverso le linee di guardia per isolare la corrente interna.



1x1 mm<sup>2</sup> LGAD03\_A

Wafer3



Con la Keysight :

- I sensore (corrente di buio)
- I totale = I sensore + I bordo

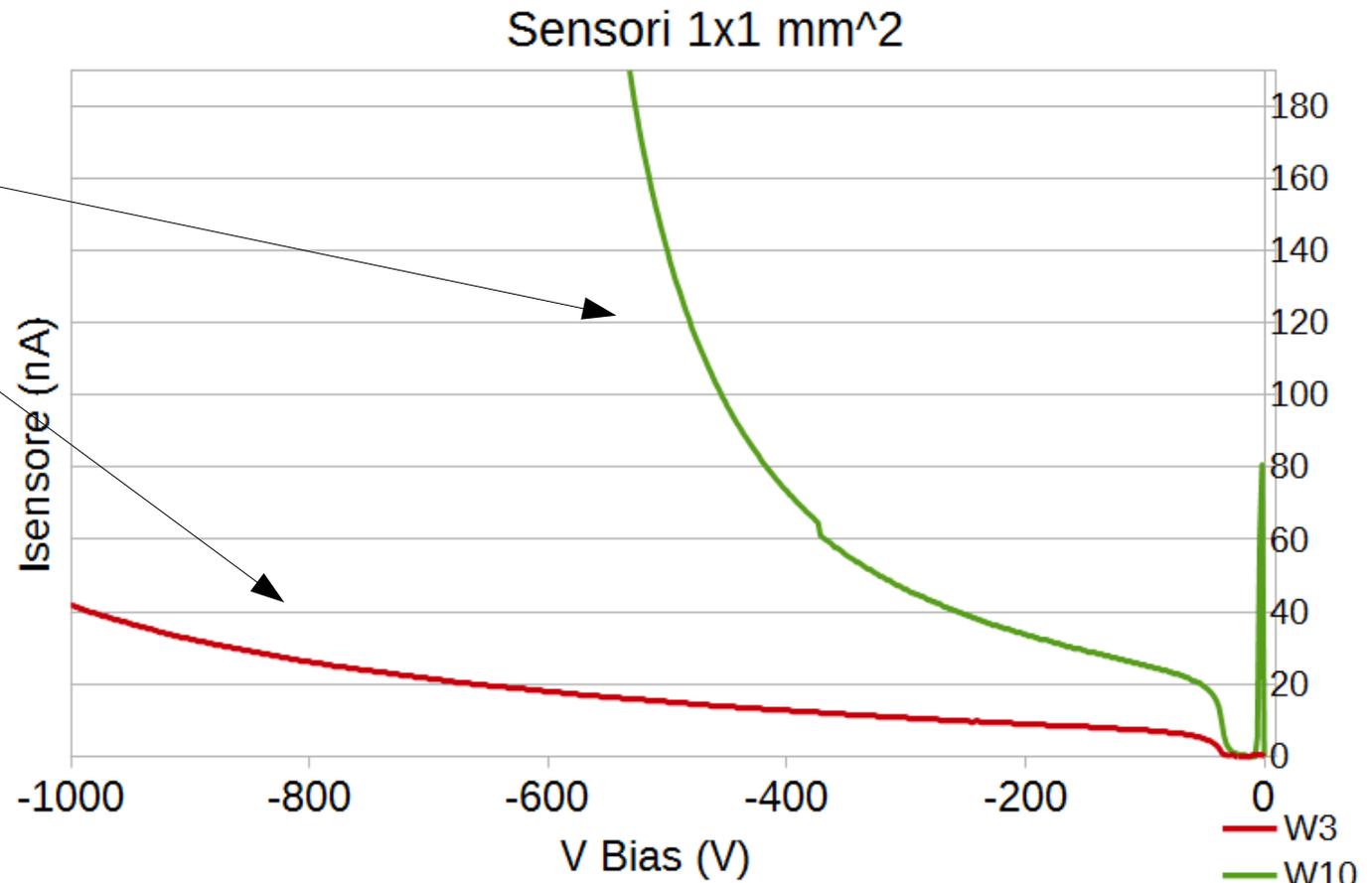
# Quando funziona un sensore?

Un sensore è buono se, per  $V_{bias} < 1000$  V, presenta correnti interne piccole ( $\sim 10 \mu A$ ), lontane dal breakdown interno e non presenta fenomeni di breakdown sul bordo.

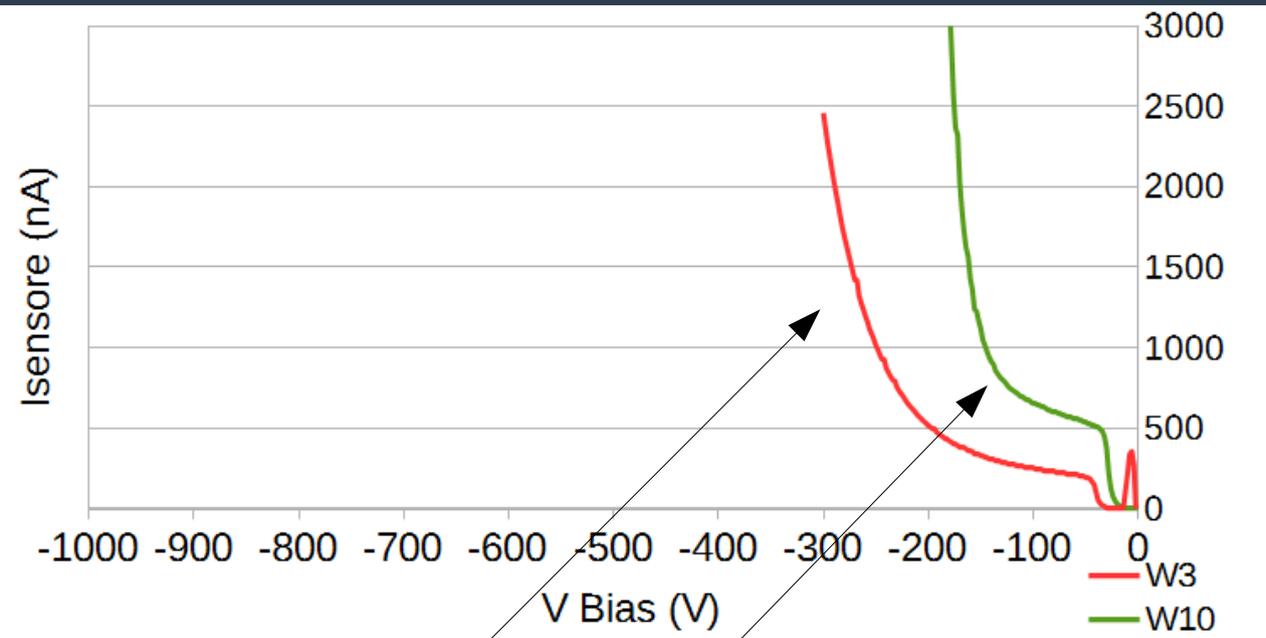
A parità di superficie:

- Sensore con più guadagno
- Sensore con meno guadagno

Entrambi i sensori sono buoni!  
Maggiore guadagno implica correnti interne che crescono più rapidamente.



# BreakDown

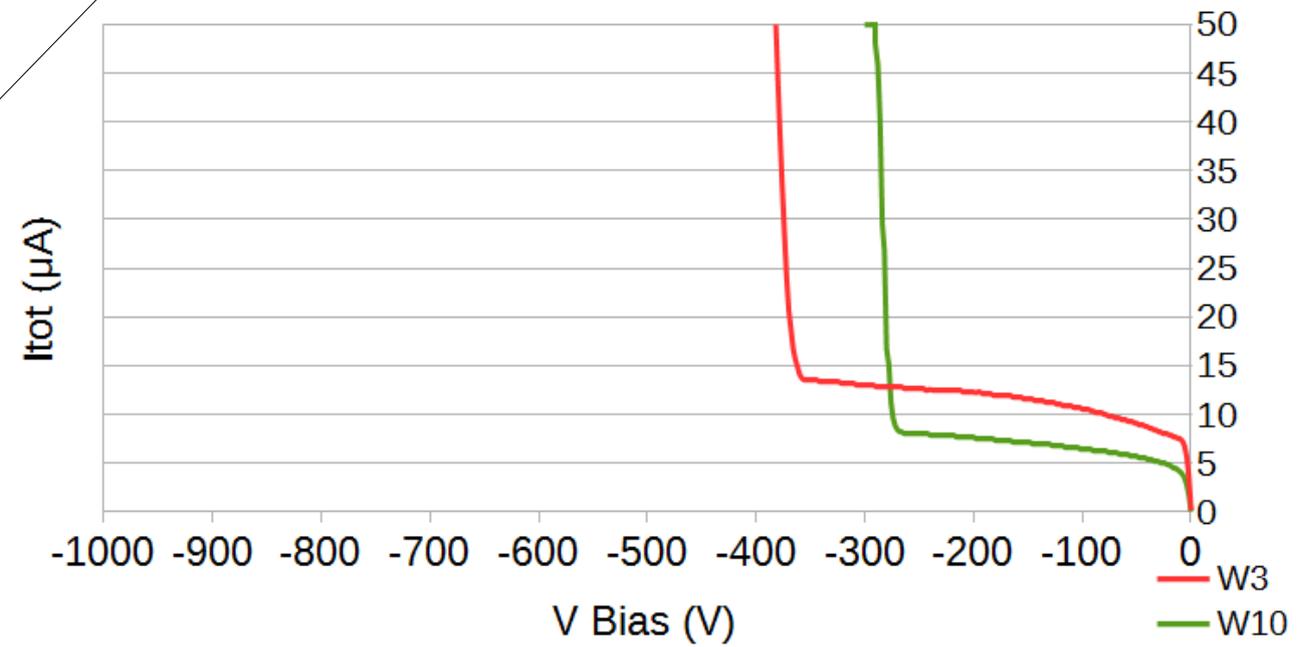


Il breakdown interno è individuabile nel cambio improvviso di pendenza della curva  $I_{\text{sensore}}(V_{\text{Bias}})$ .

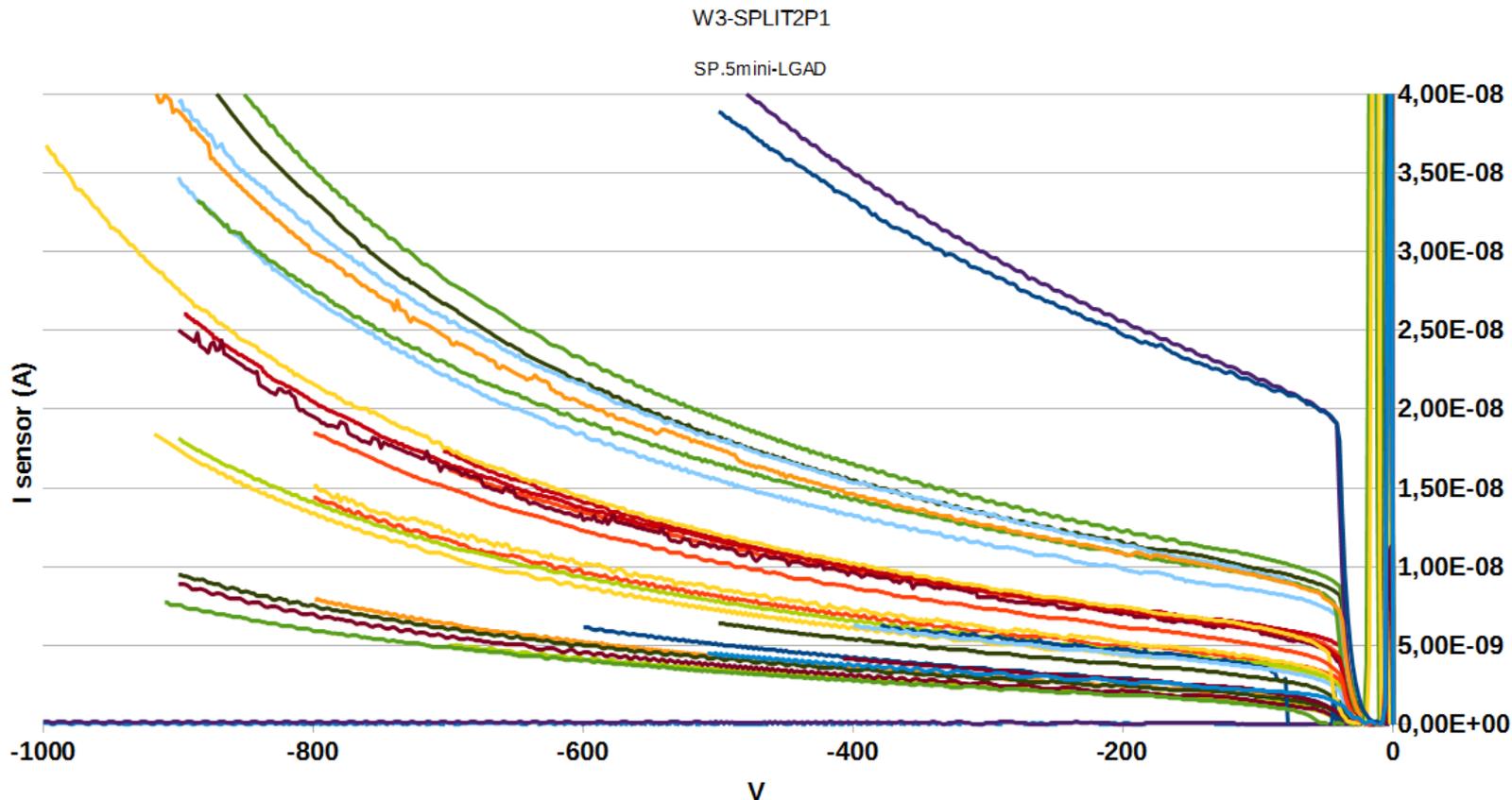
Il breakdown sul bordo si osserva sulle  $I_{\text{tot}}$  come brusco aumento del suo valore, quasi verticale.

Sensore con guadagno basso  
Sensore con guadagno alto

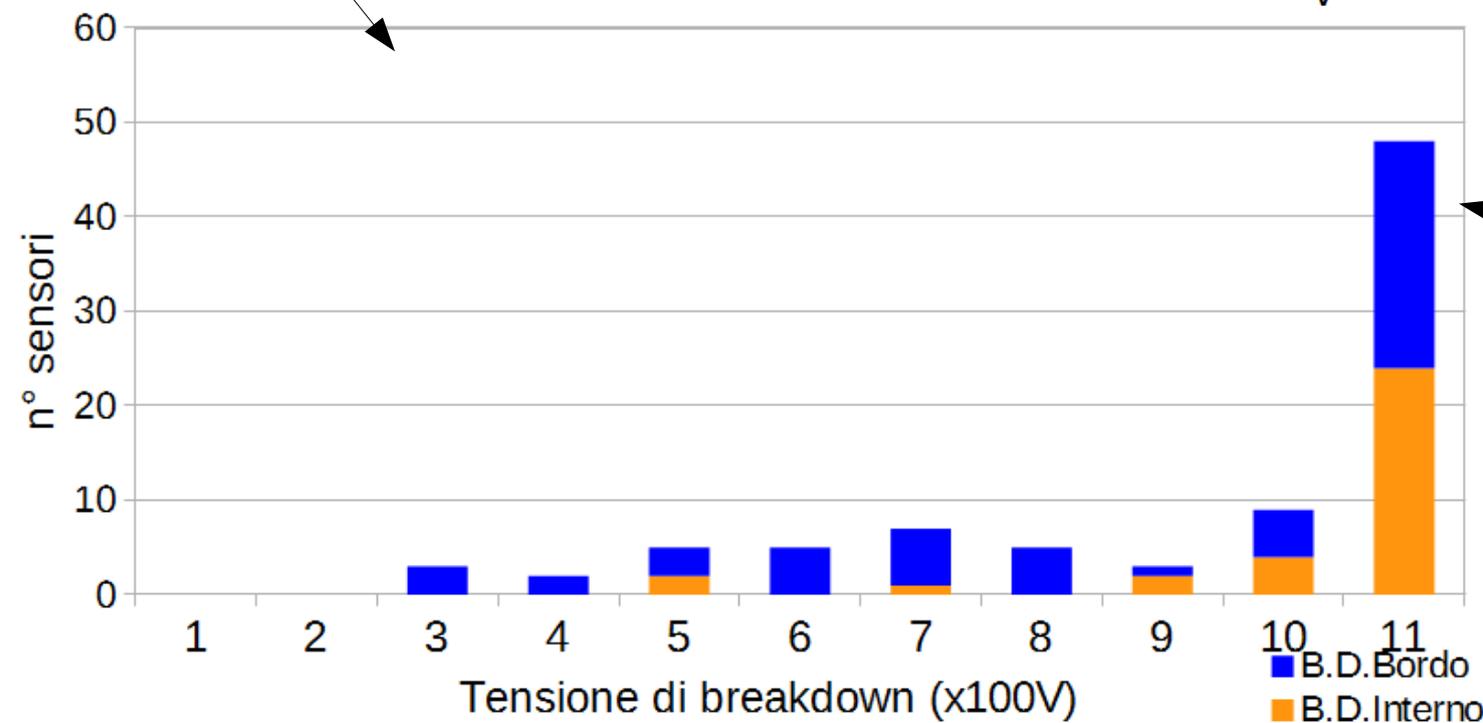
In entrambi i casi i sensori non sono considerati buoni!



Misure per il  
**Wafer 3**  
 0.5x0.5 mm<sup>2</sup>  
 37 sensori

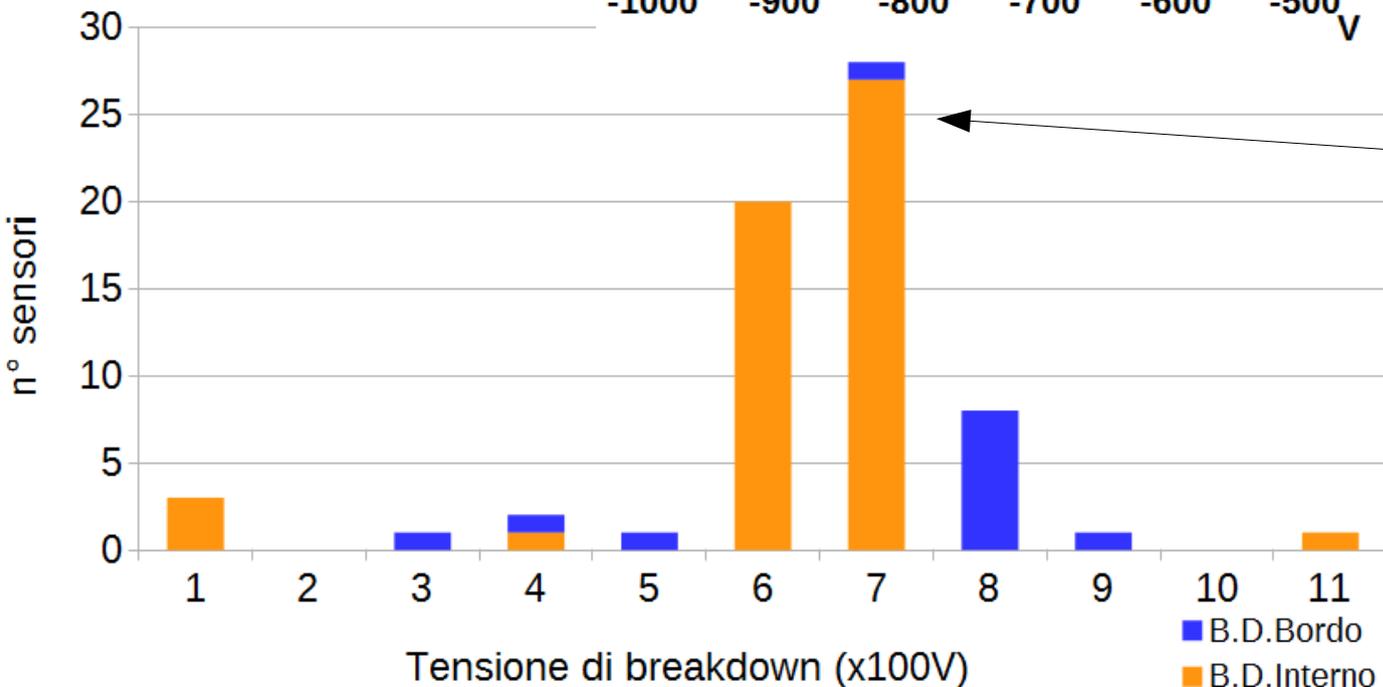
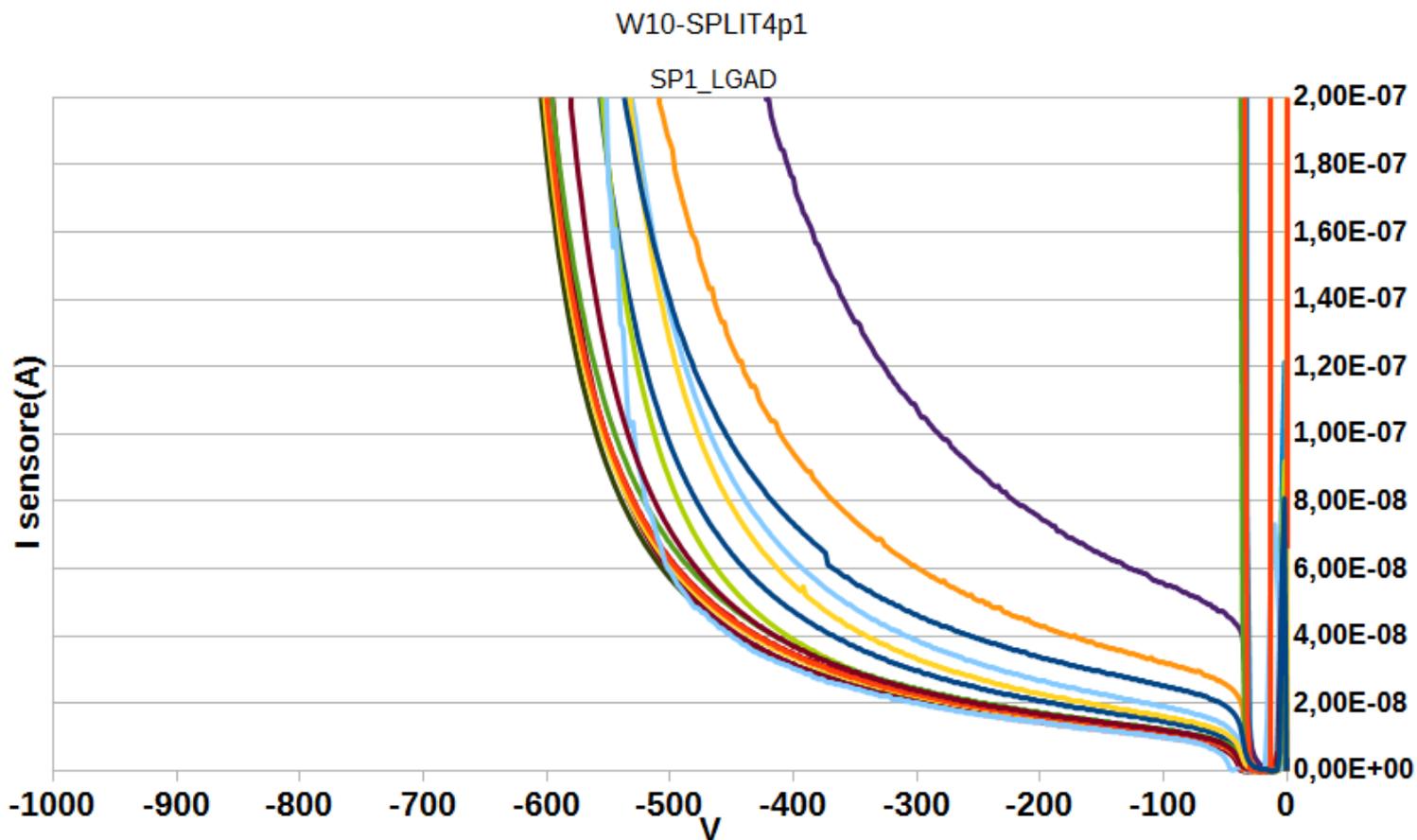


Istogramma delle  
 tensioni di Breakdown  
 interno e sul bordo su  
 tutti i sensori



Su tutto il Wafer 3  
 si osserva un picco  
 dei breakdown per  
 Vbias > 1000V

Misure per il  
**Wafer 10**  
 1x1 mm<sup>2</sup>  
 20 sensori



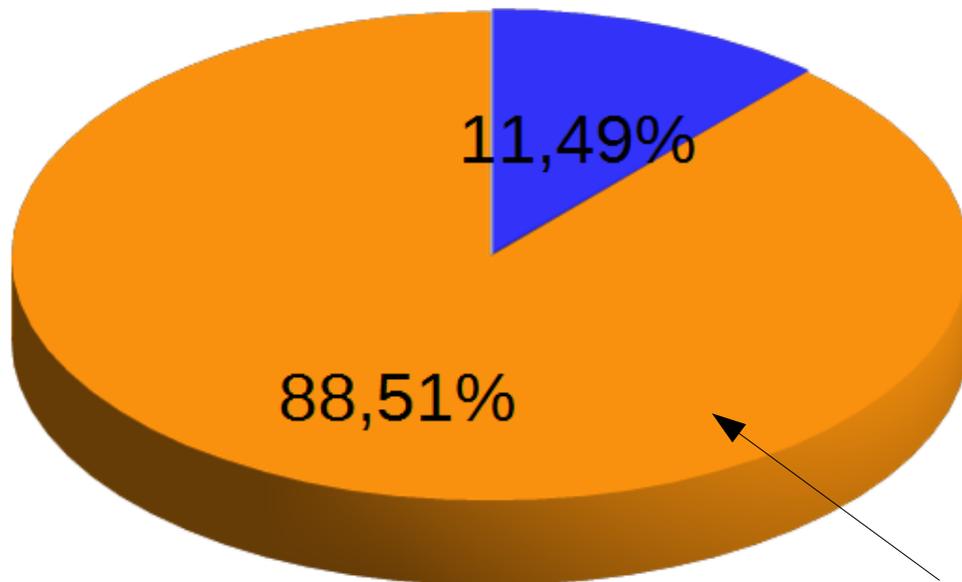
Anche qui vi è un  
 picco, traslato a  
 causa del  
 guadagno, oltre i  
 600V

# Conclusioni

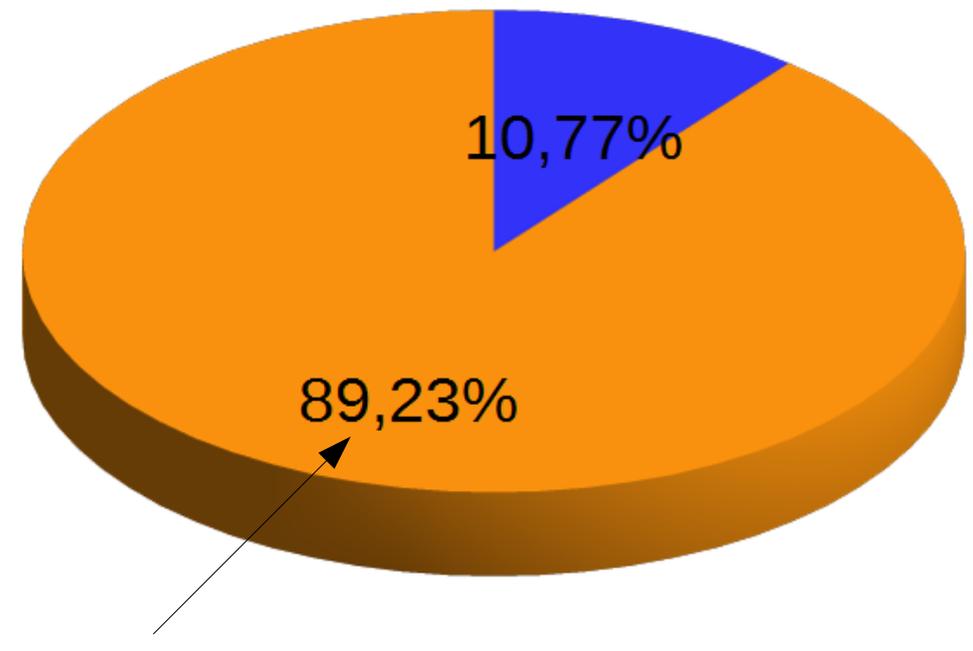
Le misure di Laboratorio hanno dimostrato che la maggior parte dei sensori ha un andamento atteso.

- La produzione è solida.

Wafer 3



Wafer 10



Sensori che hanno superato il test

# Bibliografia