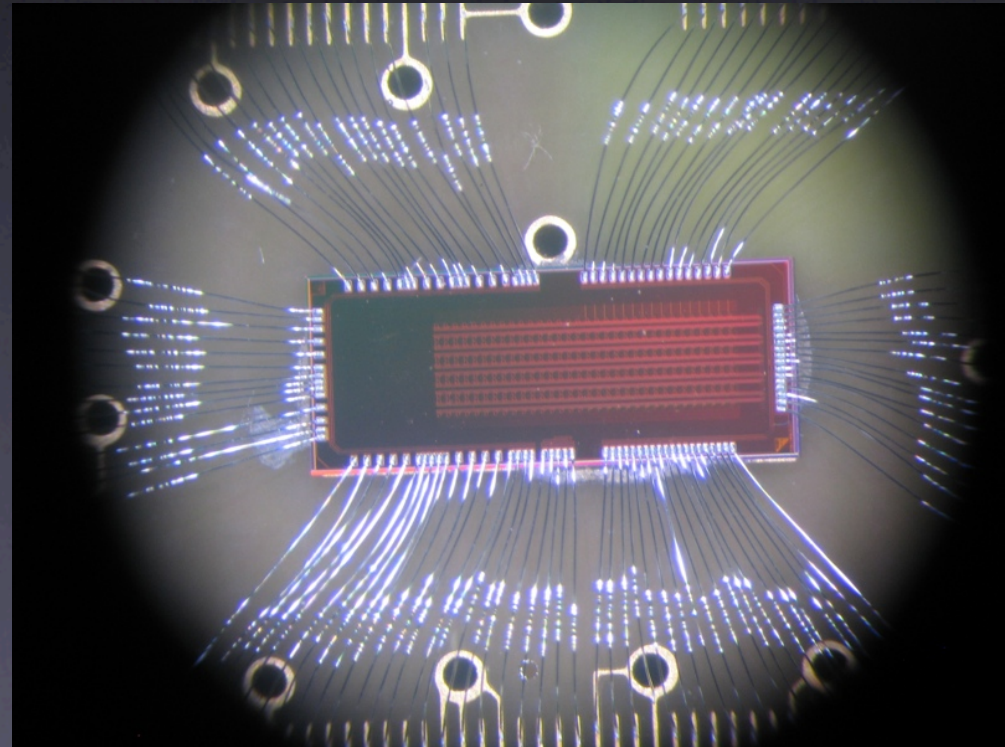


# Caratterizzazione sperimentale del chip ASIC ToPiX 2

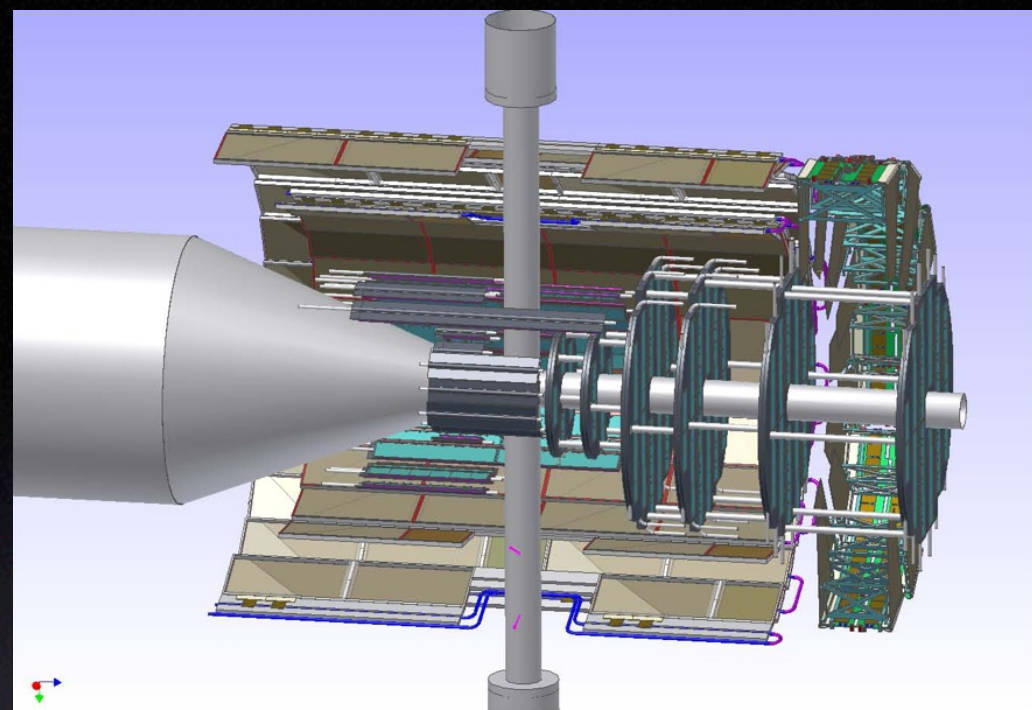
Tommaso Quagli

relatore prof. Luigi Busso





Chip ToPiX 2: elettronica di lettura per il rivelatore a pixel in silicio epitassiale del Micro Vertex Detector dell'esperimento PANDA, in studio e progettazione al GSI di Darmstadt, che studierà le annichilazioni tra antiprotoni e protoni e tra antiprotoni e nuclei.



Struttura del MVD: rivelatori in silicio disposti su 4 cilindri concentrici, i due più interni di pixel e i due più esterni di microstrips e 6 dischi, i primi 4 di pixel e gli ultimi due misti pixel e strips.

# Requisiti per il rivelatore a pixel

- Ampio intervallo di carica rilasciata nel sensore (fino a circa 100 fC)
- Buona risoluzione per le particelle al minimo di ionizzazione; di conseguenza è richiesto un basso rumore dell'amplificatore (inferiore a 0.032 fC = 200 e<sup>-</sup>)
- Alta risoluzione spaziale, temporale e linearità rispetto alla carica per ricostruire la traccia e l'energia rilasciata dalla particella
- Limitato materiale a causa dell'intervallo di impulso delle particelle (a partire da alcune centinaia di MeV/c)
- Elettronica triggerless
- Tolleranza alla radiazione ( $5 \cdot 10^{14}$  n<sub>1 MeV eq/cm<sup>2</sup>)</sub>

# Rivelatore a pixel in tecnologia standard ibrida

- Sensore in silicio epitassiale, con spessore inferiore a 200  $\mu\text{m}$
- Elettronica di readout sviluppata in tecnologia CMOS 130 nm
- Misurazione della carica rilasciata con la tecnica del Time over Threshold (ToT)
- Dimensione del pixel 100  $\mu\text{m}$  x 100  $\mu\text{m}$

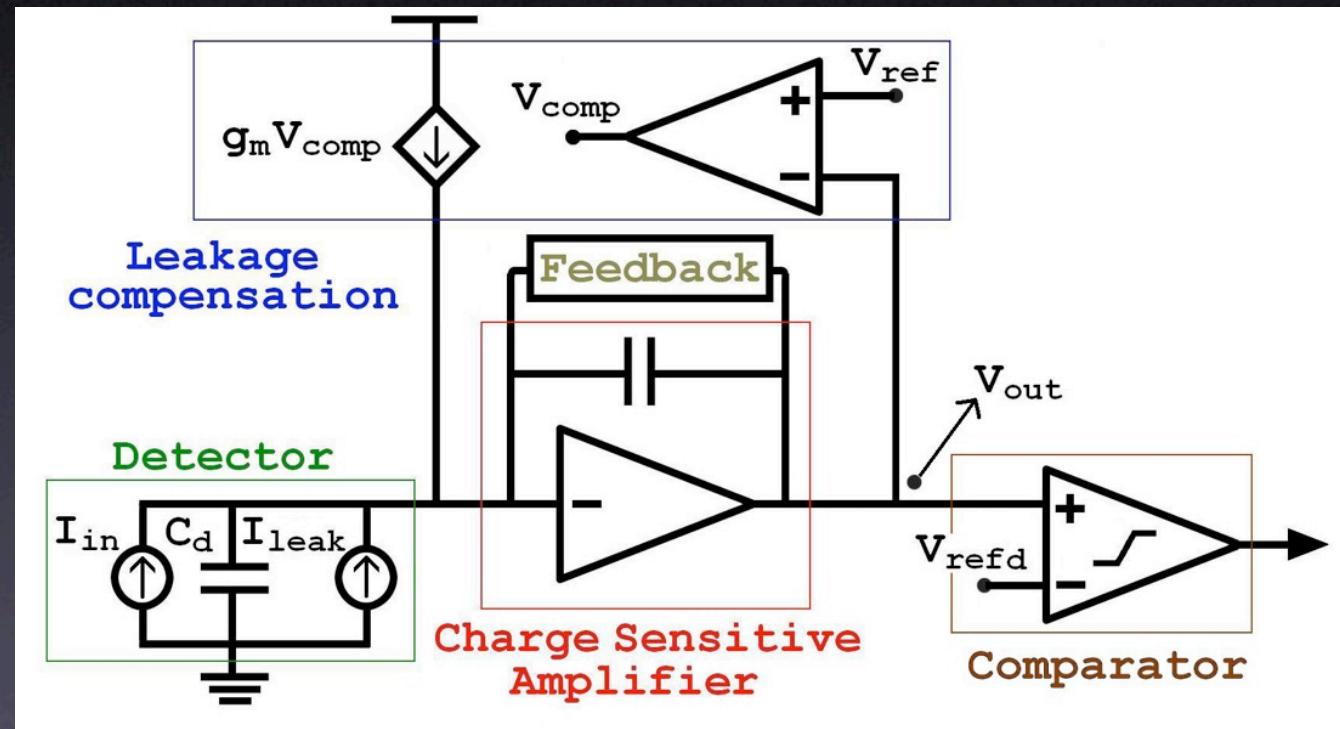
# Il prototipo ToPiX 2

- Il prototipo in test è formato da due colonne da 128 pixel e due colonne da 32 pixel su un'area di 5x2 mm<sup>2</sup>, realizzato in tecnologia CMOS 130 nm
- Ogni cella di readout ha dimensioni 100 μm x 100 μm
- È implementata la tecnica del Time over Threshold
- Le celle di readout possono essere programmati per lavorare con segnali di entrambe le polarità
- È implementata la parte analogica e digitale in ogni cella.
- Pad esterni per il collegamento di alcune celle di readout con sensore esterno
- Frequenza di clock 50 MHz

# Struttura della cella di readout - I

La parte analogica di ogni cella di readout è formata da:

- Amplificatore di carica
- Circuito di scarica a corrente costante
- Circuito di compensazione della baseline
- Comparatore

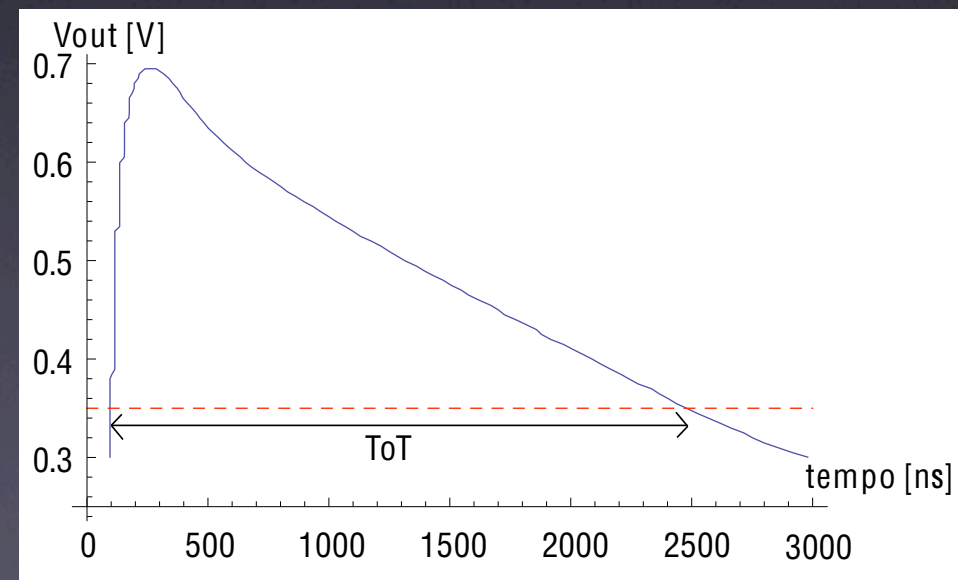
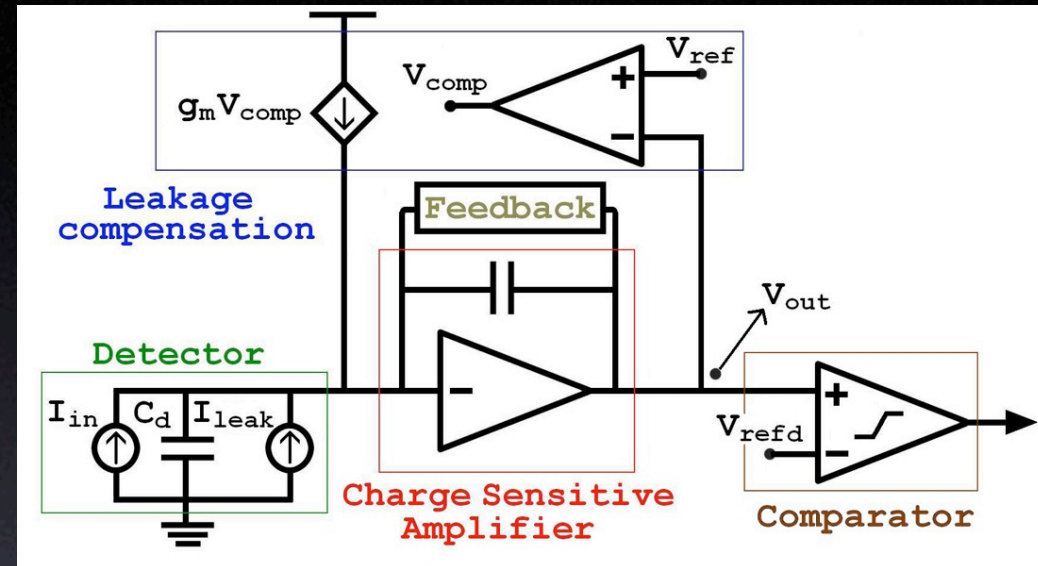


# Struttura della cella di readout - 2

La carica rilasciata nel sensore viene integrata attraverso la capacità inserita nell'amplificatore che viene scaricata con un circuito di feedback a corrente  $I_{fb}$  costante.

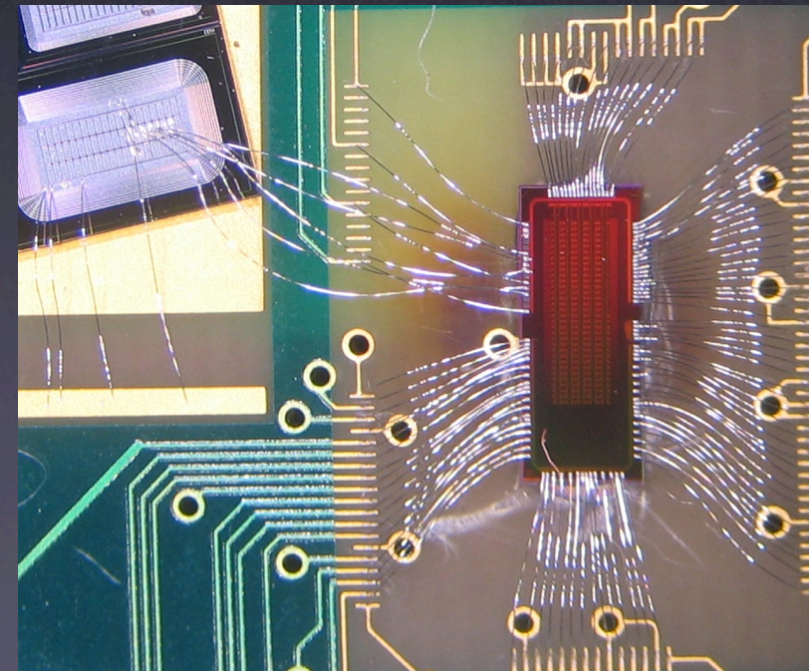
Un comparatore confronta il segnale analogico in uscita dall'amplificatore di carica con una soglia ( $V_{refd}$ ) impostata attraverso un DAC a 5 bit.

La parte digitale della cella di readout memorizza in un registro il time stamp in cui il segnale passa al di sopra della soglia e il time stamp in cui torna al di sotto, oltre che la configurazione di ogni singola cella di readout.



# Setup Sperimentale - I

- Prototipo di ToPiX 2 montato su board sperimentale collegata al PC tramite interfaccia della National Instruments, software utilizzato LabView
- Possibilità di iniettare un impulso di calibrazione su uno qualsiasi delle 320 celle di readout, oppure una carica esterna per le celle di readout per le quali è possibile il collegamento ad un sensore esterno.
- Una board presenta un sensore a pixel in silicio epitassiale mentre una seconda board presenta un sensore a pixel floating zone; collegamento tra pixel e celle di readout ottenuto con il wire bonding.
- Sul retro di una board è montata una cella di Peltier con un sensore di temperatura.
- Le correnti di polarizzazione e la corrente di scarica lfb sono regolate con dei trimmer montati sulla board

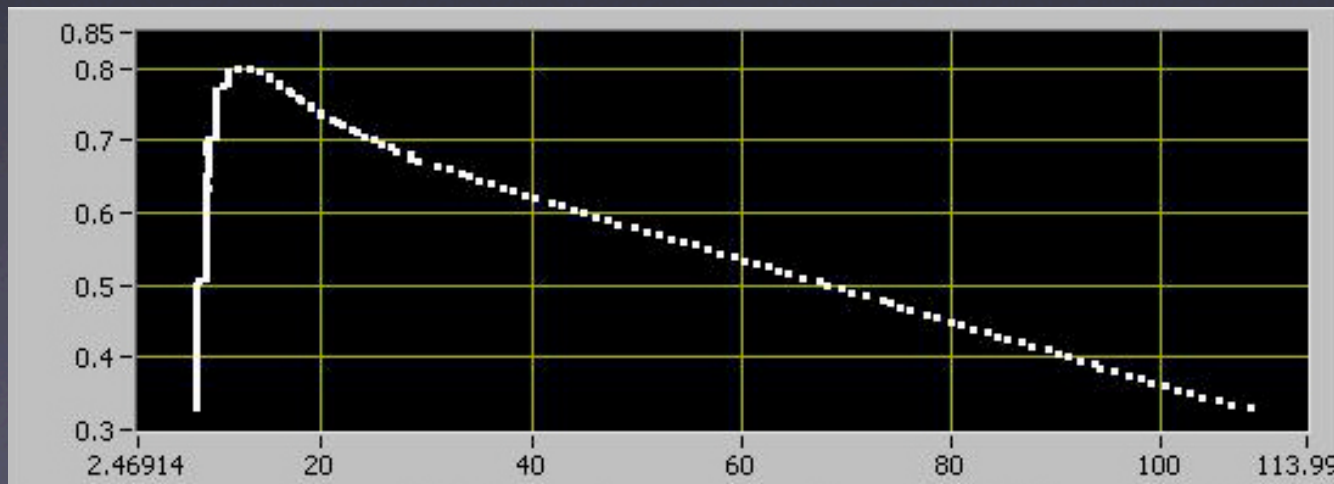




# Setup Sperimentale - 2

Con il software, scritto in LabView, si impostano inizialmente le tensioni di polarizzazione e la baseline ( $V_{ref}$ ) con un DAC.

Si imposta quindi un intervallo di tensioni di soglia ( $V_{refd}$ ); iniettando un impulso all'ingresso della cella di readout, il comparatore segnala quando il segnale  $V_{out}$  è passato al di sopra della soglia e quando è tornato al di sotto; la forma del segnale viene quindi ricostruita dal software.



# Caratterizzazioni eseguite

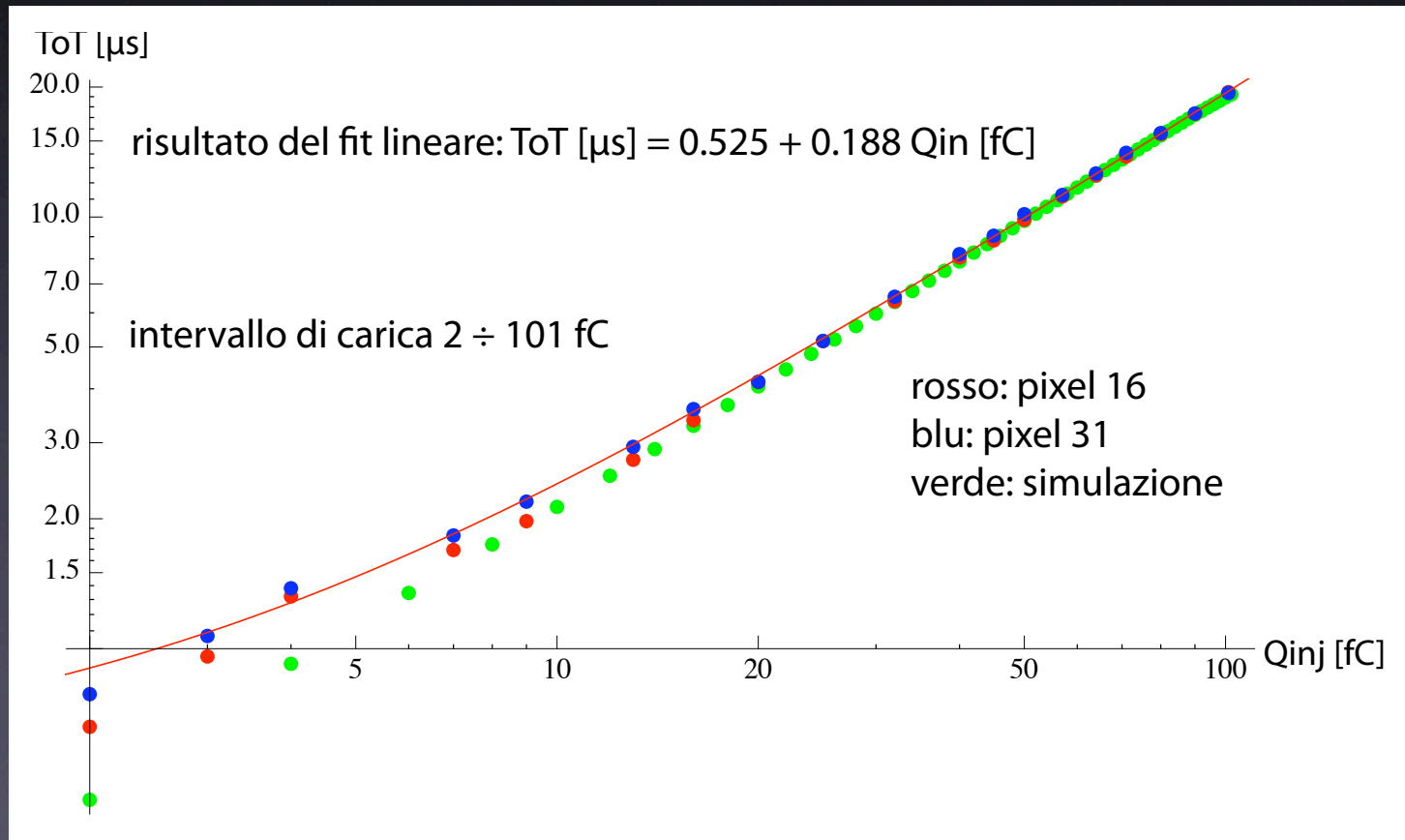
- Misurazione della linearità del ToT rispetto alla carica iniettata
- Misurazione della dispersione delle pendenze della coda del segnale in uscita dall'amplificatore, al variare della corrente  $I_{fb}$  di scarica
- Studio della risposta ad un segnale di calibrazione al variare della temperatura
- Acquisizione con sorgente gamma sulla board con il sensore in Si epitassiale
- Tutte le misure eseguite sperimentalmente sono state simulate con il software Cadence e i risultati confrontati

# Linearità ToT sulla carica - I

- Un impulso di ampiezza variabile è generato esternamente al chip. L'impulso viene integrato su una capacità di 1 pF posta all'ingresso delle celle di readout collegabili all'esterno.
- Il ToT (tempo in cui il segnale rimane al di sopra della soglia) viene misurato con una soglia superiore alla baseline di 30 mV

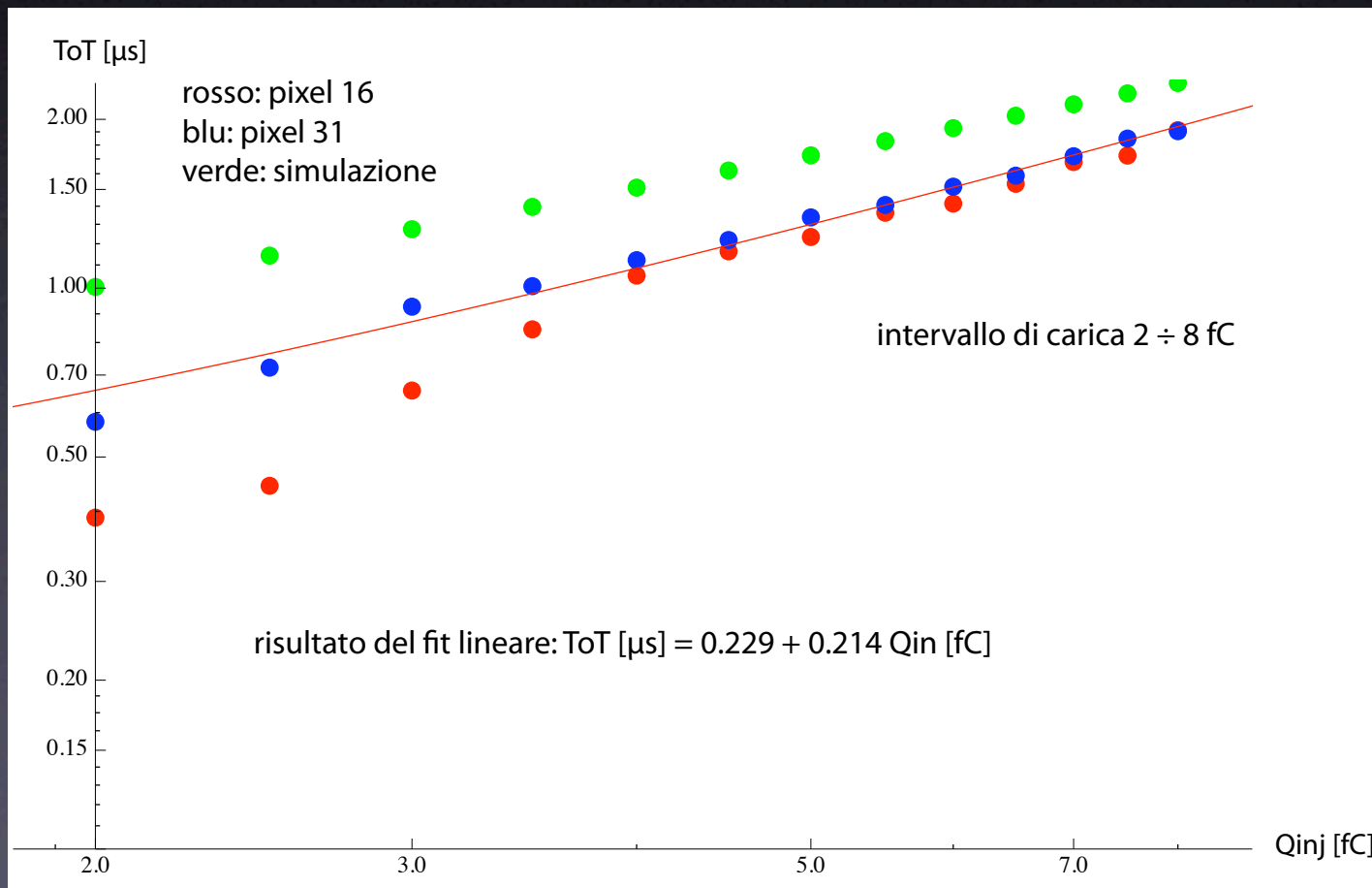
# Linearità ToT sulla carica - 2

- Linearità molto buona per cariche oltre i 10 fC, anche in saturazione
- Eseguendo un fit lineare sui dati sperimentali si può ottenere un valore del guadagno dell'amplificatore, trovando una relazione tra il ToT misurato e la carica iniettata



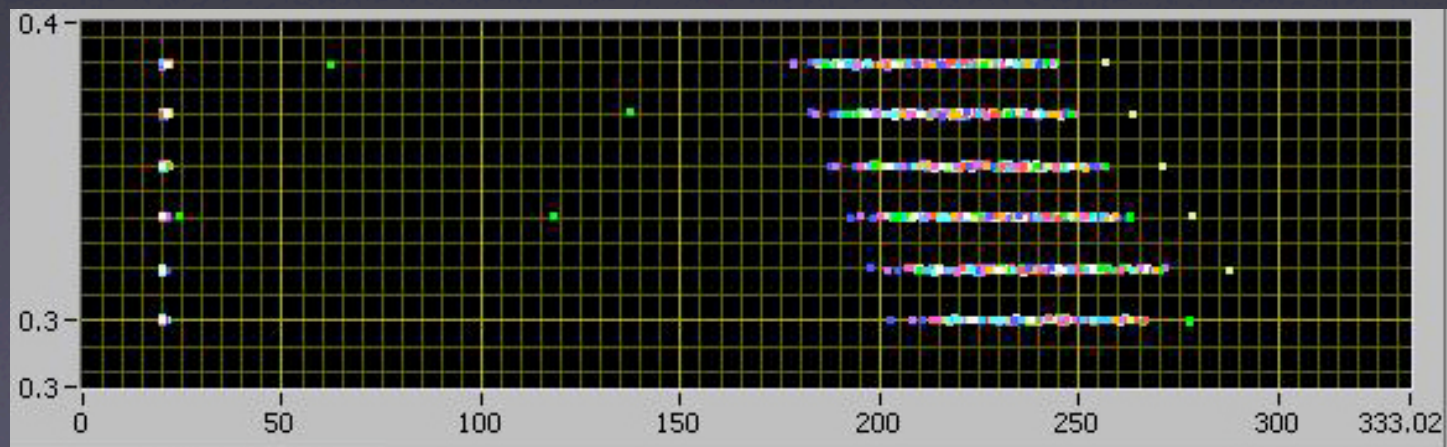
# Linearità ToT sulla carica - 3

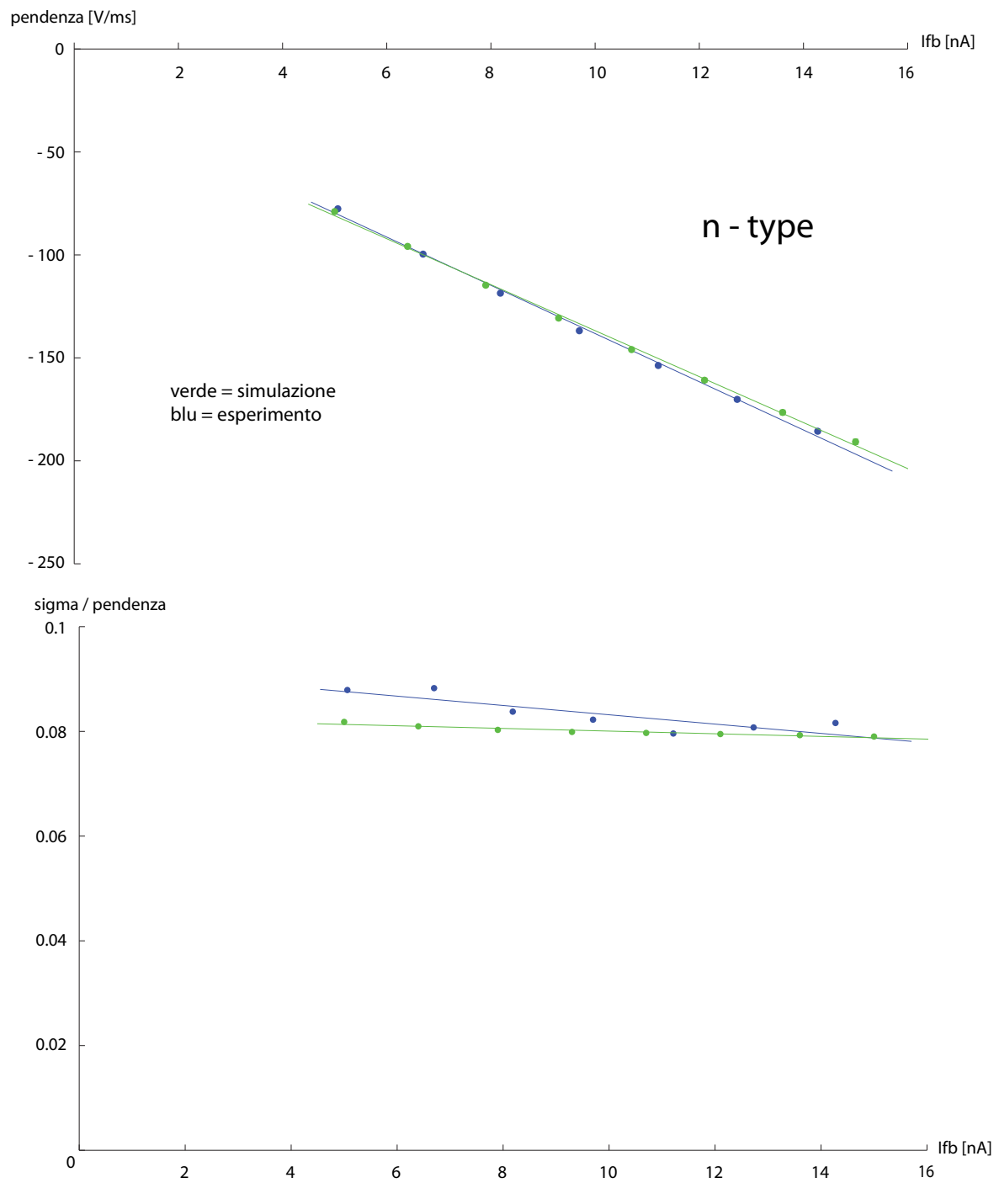
- Si ripete la misura infittendo i punti al di sotto dei 10 fC
- Le differenze tra i due pixel sono dovute ad effetti capacitivi che modificano la forma del segnale in uscita



# Dispersion delle pendenza della coda del segnale - I

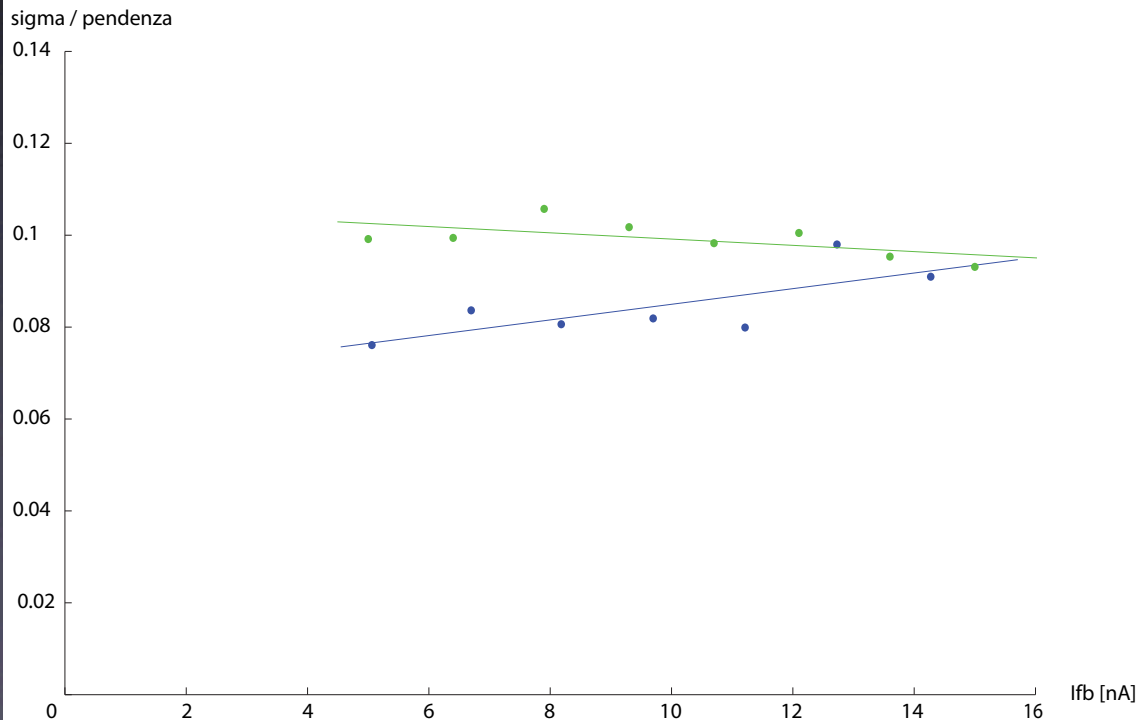
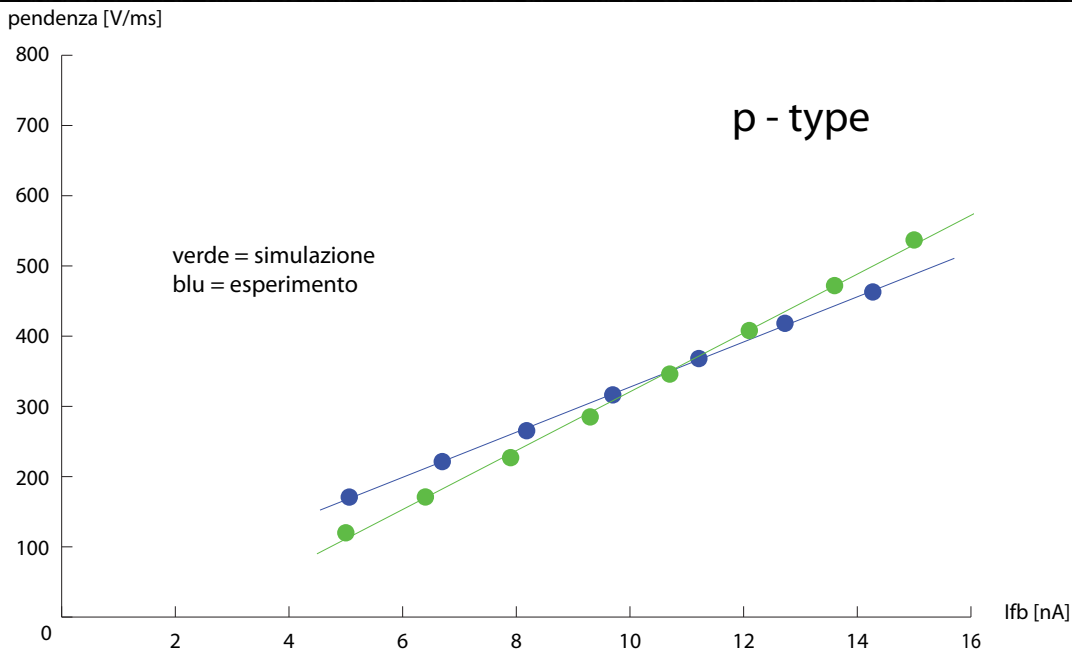
- Nel software in LabView è implementata una funzione che permette di eseguire la scansione di Vout per tutti i 320 pixel del prototipo.
- La scansione viene eseguita per un numero limitato di valori di soglia, per tensioni di poco superiori alla baseline.
- I dati vengono analizzati, ricavando le pendenze delle curve di scarica, e il loro valore medio e la dispersione.
- Si esegue la misura al variare della corrente di scarica I<sub>fb</sub> e per entrambe le polarità





- Ottimo accordo tra simulazione ed esperimento

- Andamento delle pendenze lineare con il variare della corrente di scarica e scarsa variazione della dispersione (8% - 9%)



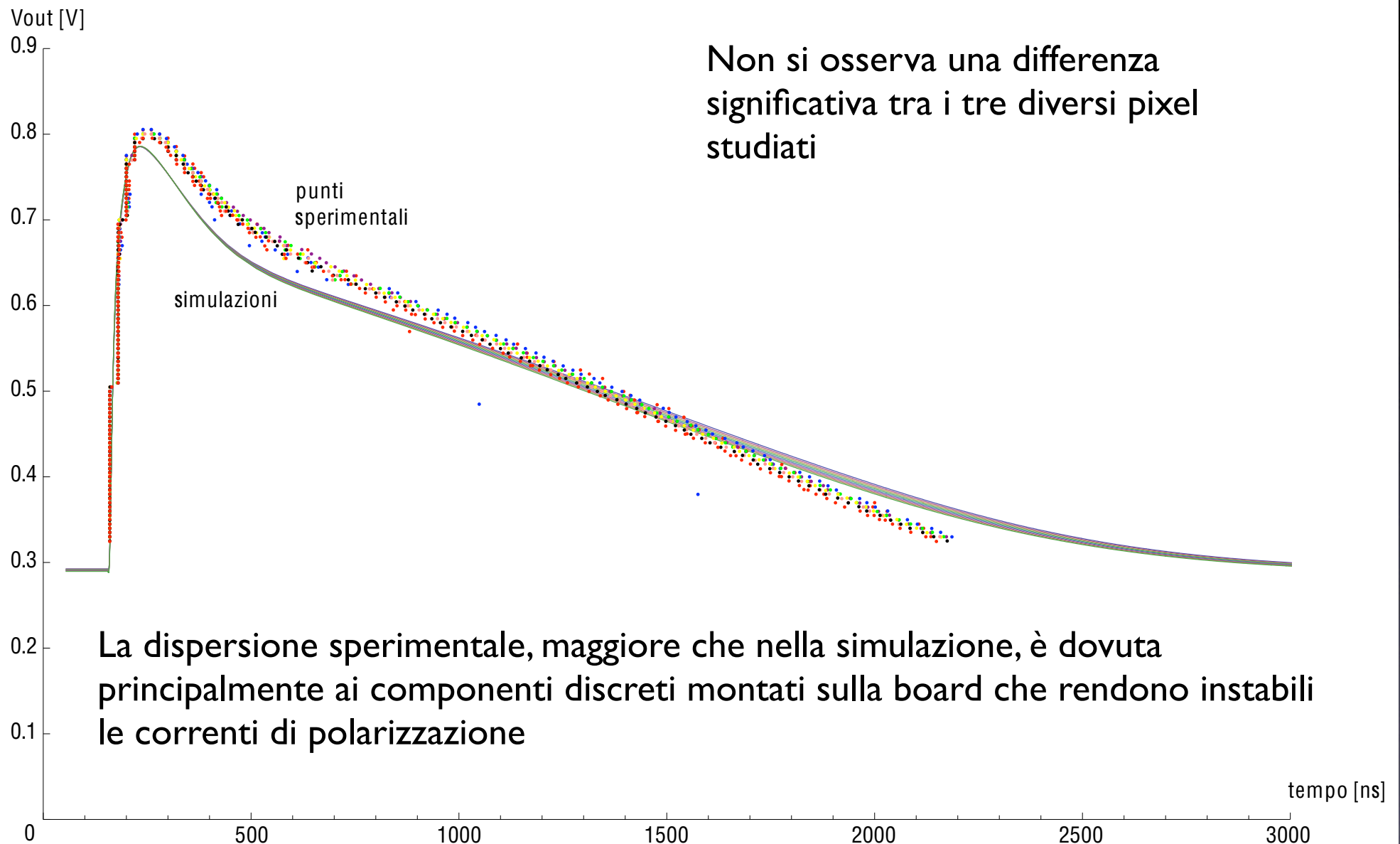
- In modalità p-type si osserva una differenza maggiore tra simulazione ed esperimento
- La dispersione rimane compresa tra 7% e 10%
- Le differenze tra l'andamento delle pendenze possono essere spiegate con effetti capacitivi che modificano la forma del segnale vicino alla baseline



# Misure al variare della temperatura - I

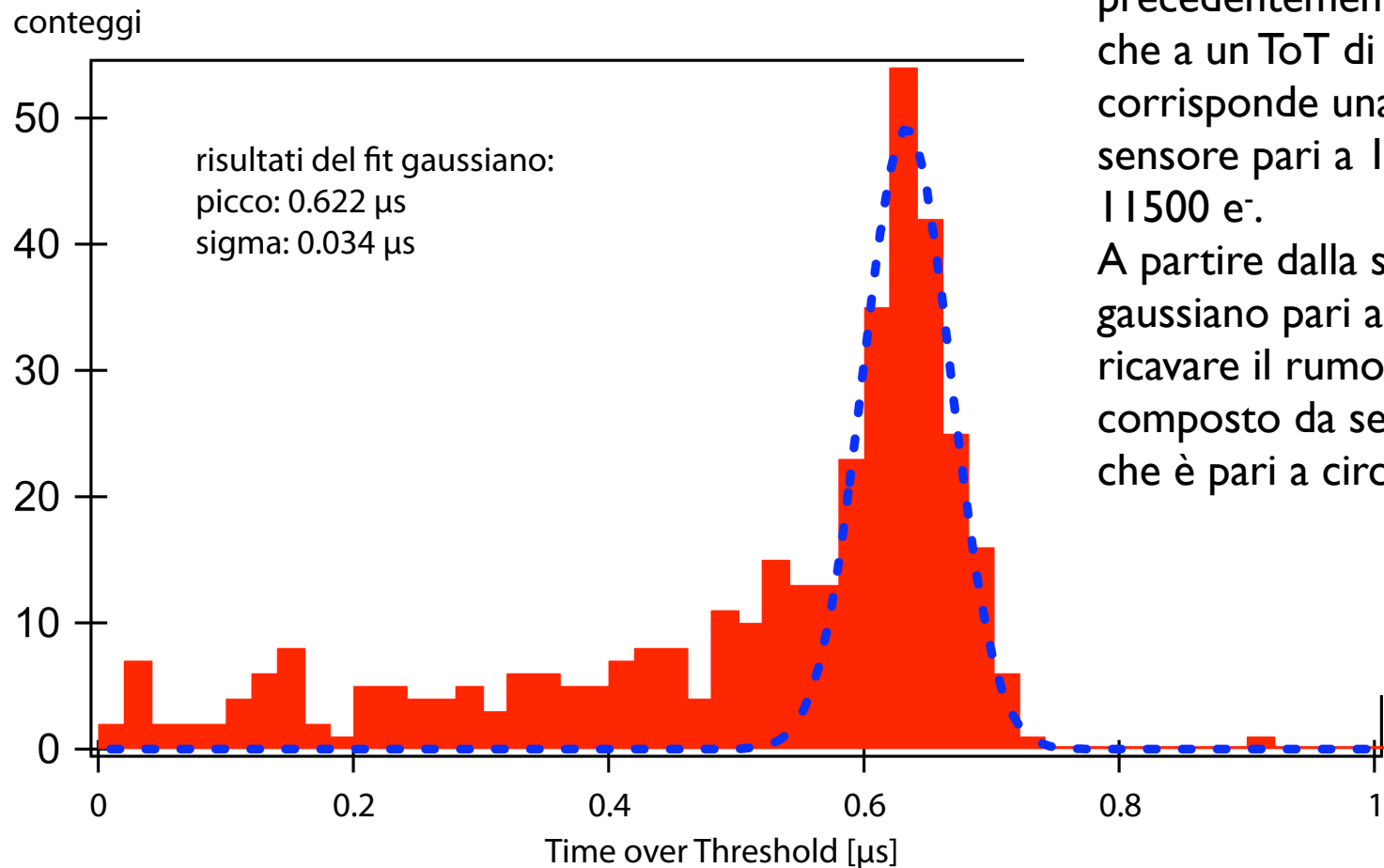
- Si utilizza la board con la cella di Peltier e si varia la temperatura del chip in un intervallo tra 15°C e 50°C circa
- Per ogni valore di temperatura si inietta un impulso di calibrazione su alcuni pixel e si ricostruisce il segnale  $V_{out}$
- Vengono confrontati i segnali ricavati sperimentalmente alle diverse temperature con i risultati della simulazione

# Misure al variare della temperatura - 2



# Acquisizione con sorgente gamma

- Acquisizione con sensore di Si epitassiale, spessore 50  $\mu\text{m}$ , dimensioni 125  $\mu\text{m}$  x 325  $\mu\text{m}$
- Sorgente gamma 60 keV Am241



Dalla relazione tra Time over Threshold e carica iniettata precedentemente ottenuta, si trova che a un ToT di 0.622  $\mu\text{s}$  corrisponde una carica rilasciata nel sensore pari a 1.84 fC, ovvero circa 11500  $e^-$ .  
A partire dalla sigma del fit gaussiano pari a 34 ns, si può ricavare il rumore di tutto il sistema composto da sensore ed elettronica che è pari a circa 630  $e^-$ .

# Conclusioni

- Il chip funziona correttamente rispetto ai requisiti relativi alla carica rilasciata nel sensore
- Aumentando la corrente di scarica, non si osserva un miglioramento significativo della dispersione delle pendenze
- Effetti capacitivi derivati dall'utilizzo dei wire bonding modificano la forma del segnale in uscita generando alcune anomalie
- Funzionamento stabile su un ampio intervallo di temperature, purché si compensino gli effetti di deriva dovuti ai componenti discreti montati sulla board
- Rumore del sistema elettronica/sensore sufficientemente buono