# LOW GAIN AVALANCHE DETECTOR ATTIVITÀ DI RICERCA E SVILUPPO

Marco Ferrero

Con il gruppo Ultra Fast Silicon Detector (UFSD)

IFAE 2016 WORKSHOP - GENOVA, 30 Marzo - 1 Aprile

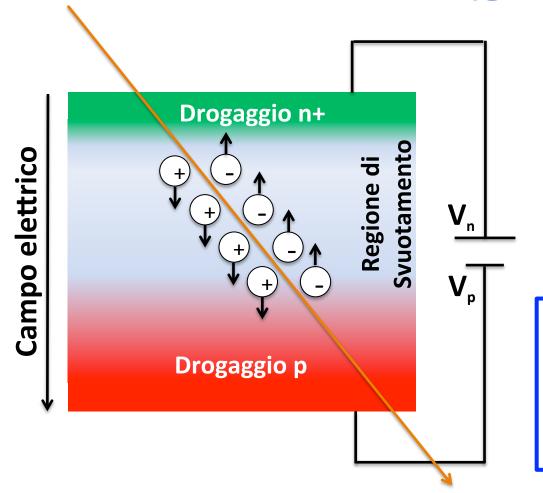




#### **Outline**

- Sensore al Silicio;
- Low Gain Avalanche Detector (LGAD);
- Sensori sottili Vs Sensori spessi;
- Elettronica;
- Sensori CNM e FBK;
- Irraggiamento;

# Sensore al Silicio (giunzione n<sup>+</sup>p)



Giunzione n<sup>+</sup>p con polarizazione inversa (V<sub>n</sub> > V<sub>p</sub>)

La regione di svuotamento si allarga all'aumentare del ΔV tra n<sup>+</sup> e p

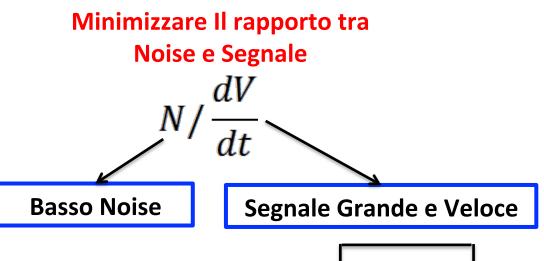
La corrente attraverso la giunzione è piccola.
La regione di svuotamento puó essere usata come rivelatore.

Larghezza della regione di svuotamento:

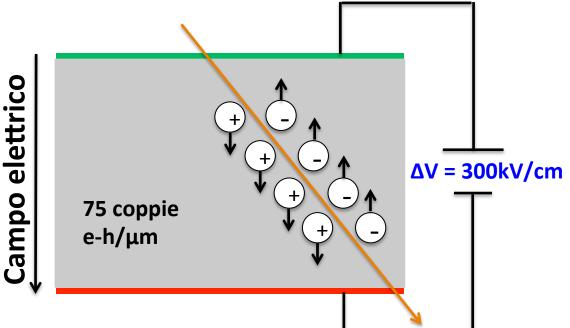
$$w = \sqrt{\frac{2|V + V_{bi}|\varepsilon_{si}}{eN_A}}$$

N<sub>A</sub> = concentrazione degli accettori (atomi di Boro per centimetro cubo)

### Timing con Sensori al Silicio



- 1. Sensori sottili per segnali più veloci;
- 2. Moltiplicare il segnale generato dalla particella;



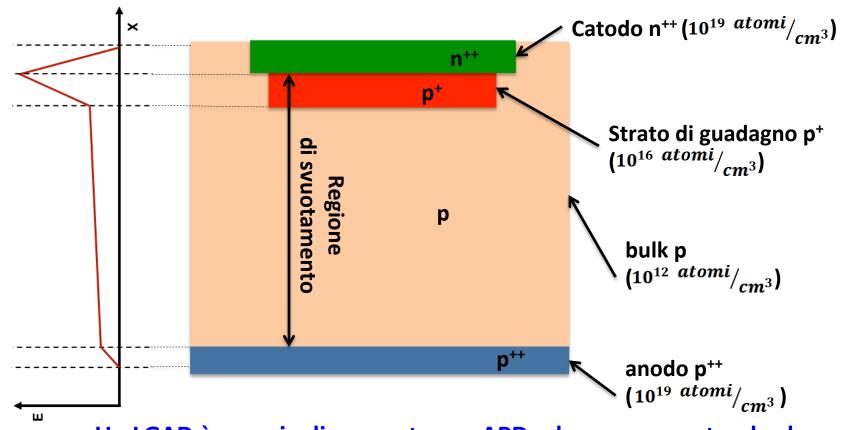
NECESSARI 300kV/cm PER CREARE MOLTIPLICAZIONE DELLE CARICHE.

Questa differenza di potenziale non è raggiungibile con un voltaggio esterno, causa il breakdown del sensore

### Low Gain Avalance Detector (LGAD)

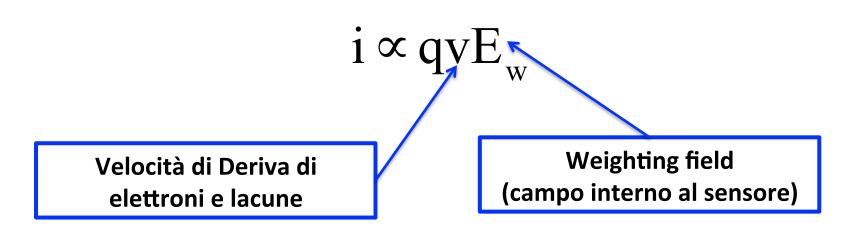
Un alto campo elettrico interno si ottiene aggiungendo internamente al sensore uno strato ad alto drogaggio

300kV/cm che si ottengono internamente non producono breakdown del sensore



#### Teorema di Ramo

La forma del segnale è determinata dal Teorema di Ramo

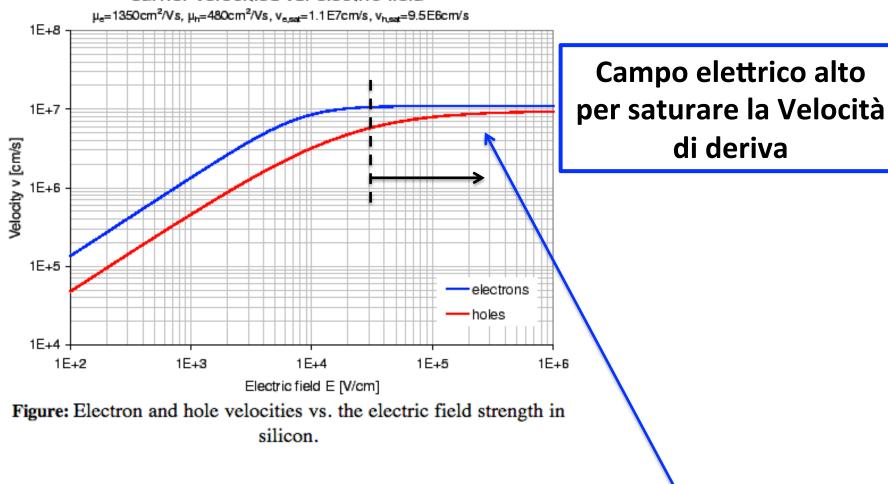


I punti fondamentali per fare un buon timing sono:

Avere una **velocità di deriva uniforme**Avere un **weighting field uniforme** 

### Velocità di deriva

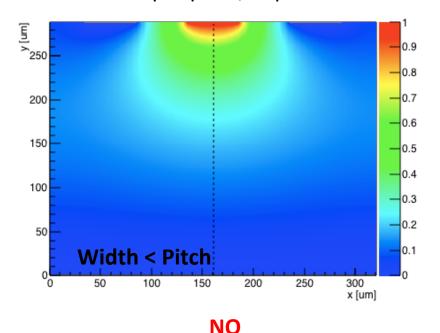
#### Carrier velocities vs. electric field



Regione di campo elettrico e velocità di deriva in cui lavorare

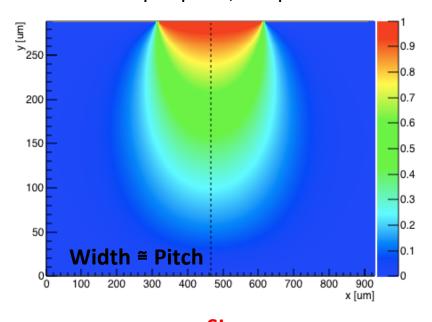
### Weighting field

Pixel: 100μm pitch, 50μm width



Cattivo accoppiamento delle cariche lontane dall'elettrodo

Pixel: 300µm pitch, 290µm width



Forte accoppiamento delle cariche lontane dall'elettrodo

Il weighting Filed deve essere il piu uniforme possibille in modo che l'accoppiamento sia sempre lo stesso, indipendentemente dalla posizione della carica

### Sensori sottili Vs Sensori spessi

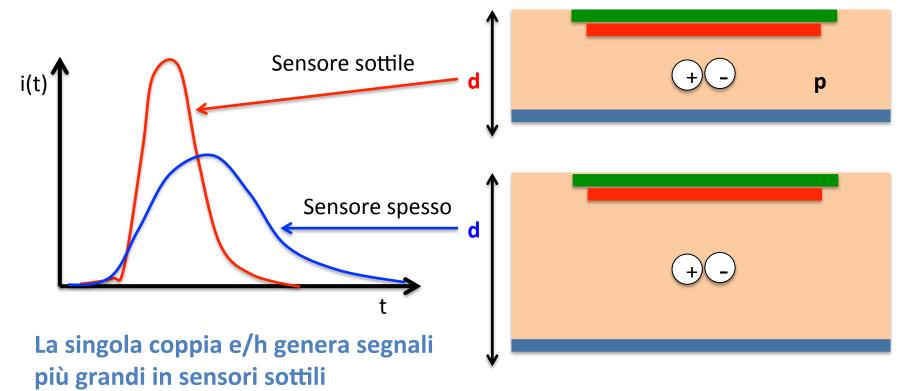
#### Singola coppia elettrone-lacuna

L'integrale della corrente del singolo elettrone e della singola lacuna è uguale alla carica elettrica **q** 

 $\int [\mathbf{i}_e(t) + \mathbf{i}_h(t)] dt = q$ 

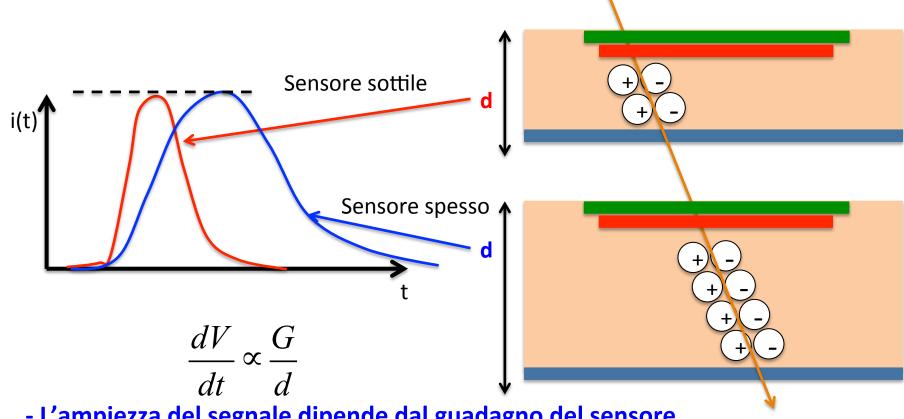
La forma del segnale dipende solo dallo spessore del sensore

Sensori sottili hanno un rate di salita più alto



### Sensori sottili Vs Sensori spessi

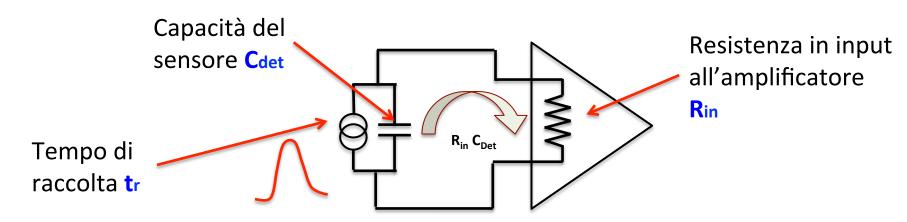
Sensori spessi hanno un numero di cariche maggiori



- L'ampiezza del segnale dipende dal guadagno del sensore
- Il tempo si salita del segnale dipende dallo spessore del sensore

I sensori UFSD sono un tipo di LGAD con le caratteristiche ottimali per fare misure di tempo

#### **Elettronica**



#### Due costanti di tempo:

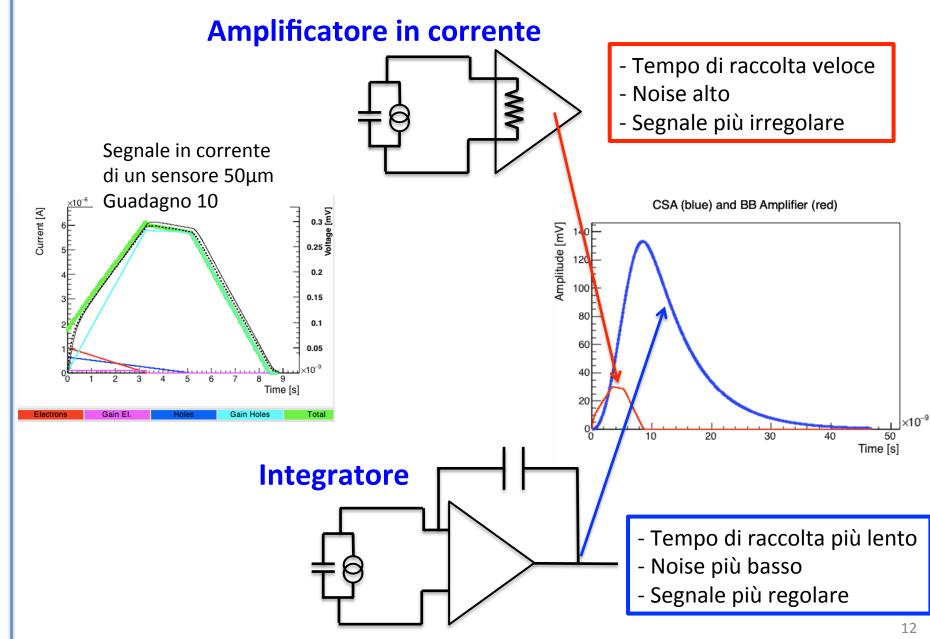
tr tempo di raccolata del segnale;

T = CdetRin costate di tempo dell'elettronica

Tra le due costanti di tempo in gioco la predominate deve essere il tempo di raccolta del segnale

$$\tau \leq t_r$$

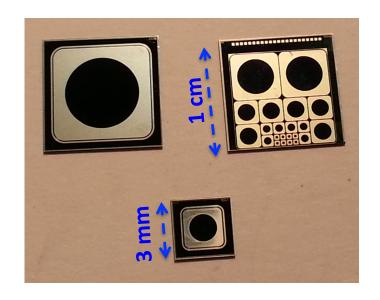
# Elettronica: qual è l'amplificatore ideale?



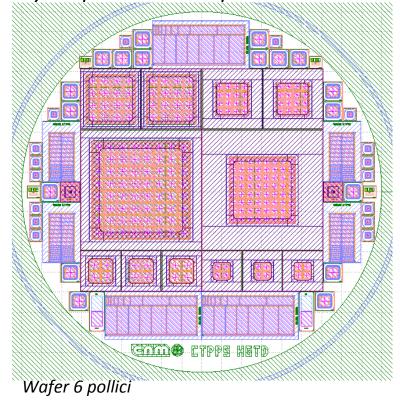
#### Produzioni di sensori con CNM

- Produzione di sensori 300µm (produzione testata)
- Produzione 50μm attesa per maggio;

Sensori 300μm (pad singoli e multi-pad)



Layout produzione 50µm



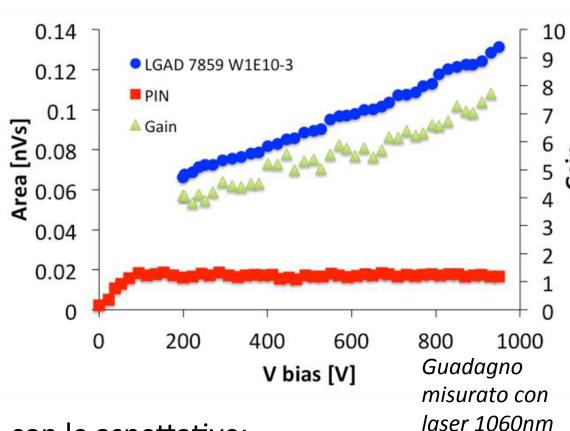
# Misure di laboratorio: Curva di guadagno

La produzione di CNM consiste di tre diverse concentrazioni dello strato di guadagno

#### Sensore CNM Run 7859: W1E10-3

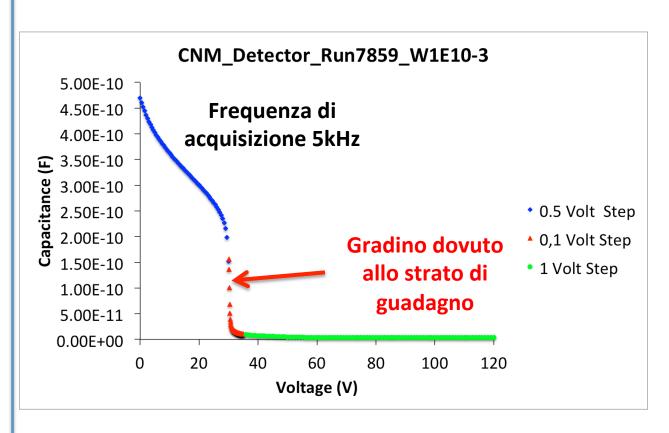


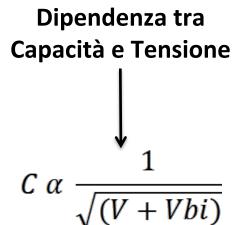
Questo dispositivo appartiene alle produzione con piú basso guadagno



- Guadagno in linea con le aspettative;
- Guadagno lineare con il voltaggio di Bias;

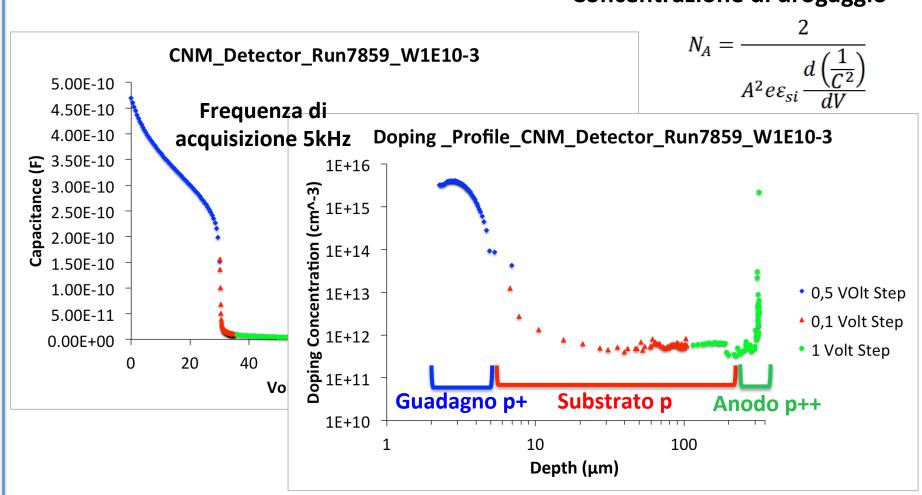
# Misure di laboratorio: profilo di drogaggio





# Misure di laboratorio: profilo di drogaggio

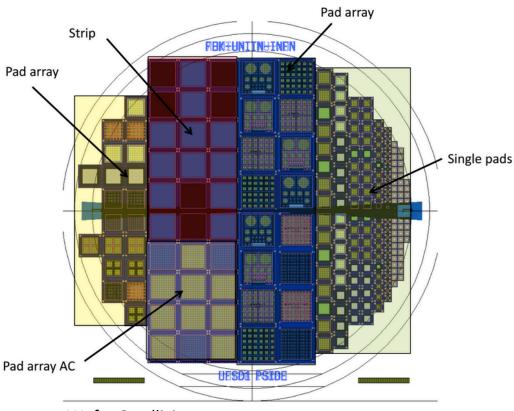
#### Concentrazione di drogaggio



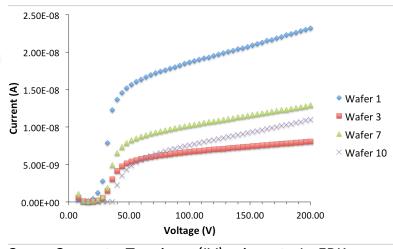
#### Produzioni di sensori con FBK

- Prima produzione di sensori 300μm, geometrie multiple (PAD e STRIP);
- Produzione 50μm attesa per l'autunno;

Layout produzione 300μm



La produzione di FBK consiste di 5 split di dose per lo strato di guadagno



Curve Corrente-Tensione (IV) misurate In FBK

Wafer 6 pollici

#### Irraggiamento

#### Due effetti dell'irraggiamento su sensori LGAD:

- 1. Rimozione degli accettori originali
- 2. Aumento della corrente di buio e dello Shot Noise

#### 1. Rimozione degli accettori originali

Ci sono evidenze che in sensori spessi (300 $\mu$ m) la radiazione causa "rimozione di accettori originali" per fluenze superiori a  $10^{14}\,n_{eq}/cm^2$ . Il drogaggio di tipo p dello strato di guadagno viene disattivato;

#### Soluzioni:

- Aumentare la tensione di Bias per compensare la perdita di guadagno;
- Usare sensori sottili (effetti minori dovuti alla corrente di buio);
- Impiantazione di Gallio in alternativa al Boro;

#### 2. Aumento della corrente di Buio e dello Shot Noise

#### **Per ridurre lo Shot Noise:**

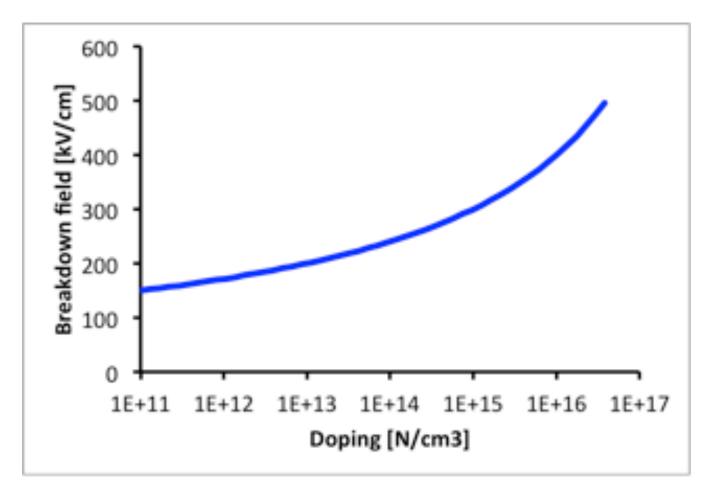
- Ridurre il Guadagno (mantenere il guadagno sotto ~ 20);
- Temperature di lavoro basse (Leakage current dimezzata ogni -7 gradi di temperatura);
- Usare pad piccoli;

#### Conclusioni

- Gli LGAD sono sensori al silicio che offrono segnali di grande ampiezza;
- Il guadagno interno rende gli LGAD ideali per studi di tempo;
- Due produzioni in corso per lo sviluppo di sensori 50μm:
  - CNM: sensori in fase di produzione;
  - FBK: sensori in fase di simulazione e progettazione;

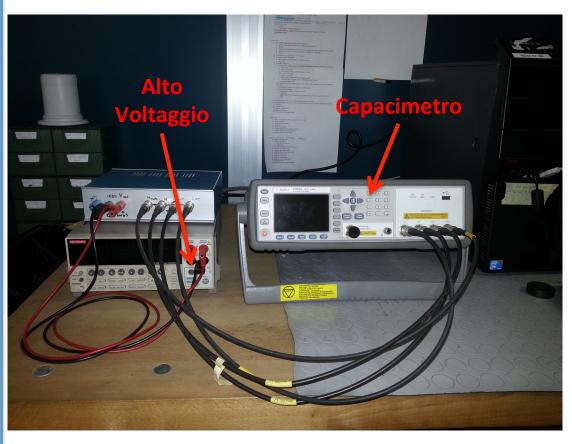
# **BACKUP**

# Breakdown Vs Concentrazione di drogaggio

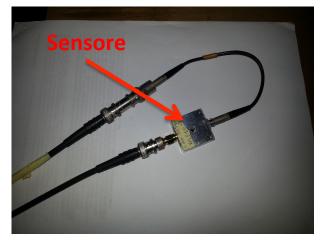


La concentrazione di drogaggio dei portatori minoritari controlla la tensione di Breackdown

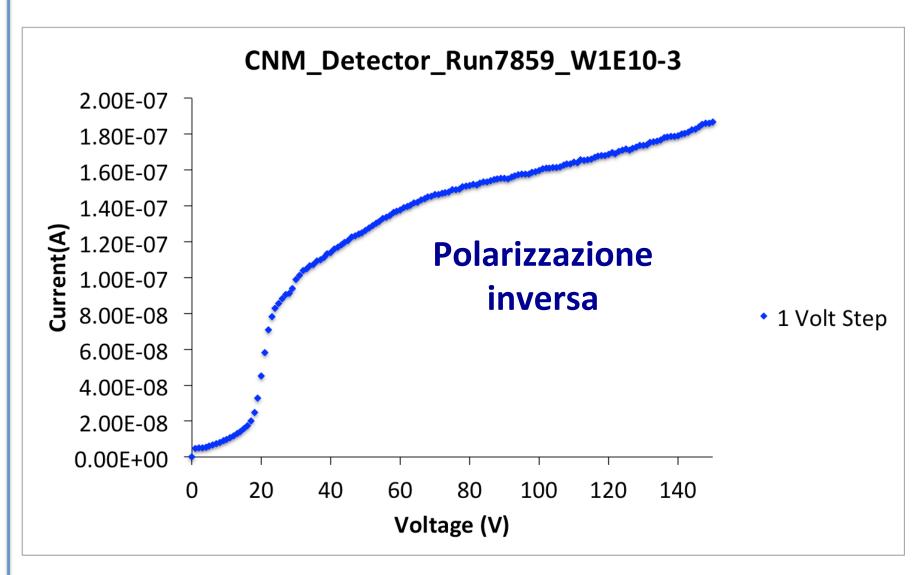
# Setup di laboratorio per le misure IV, Cf e CV



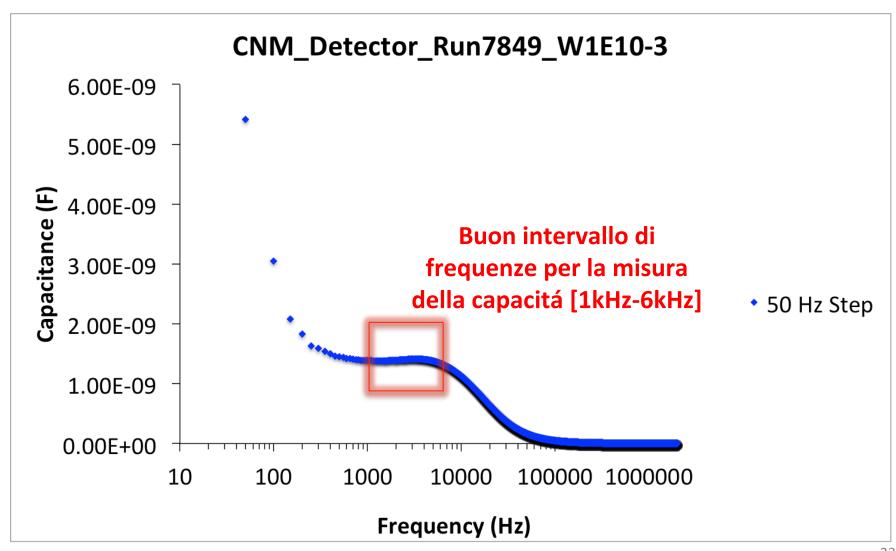
- Generatore di Tensione Keithley 2410 (Alto Voltaggio);
- Capacimetro Agilent E4980A;
- Sensore;



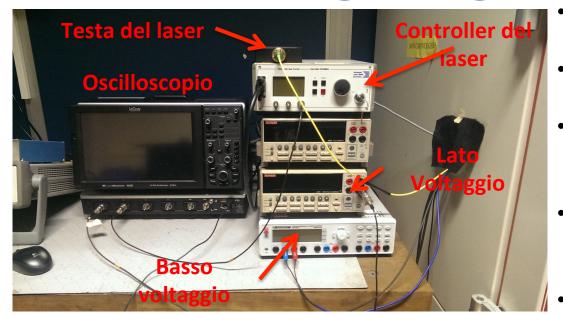
# Misure di laboratorio: curva corrente tensione



# Misure di laboratorio: curva Capacitáfrequanza



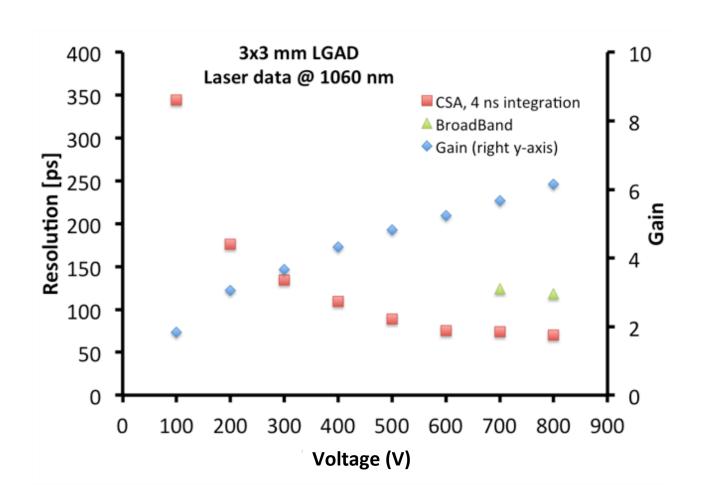
# Setup di laboratorio per le misure di guadagno



Amplificatore
Sensore

- Picosecond Diode Laser;
- Testa laser(1064 nm 400nm);
- Generatore di tensioe Keithley 2410 (Alto Voltaggio);
- Power supply Rohde & Schwarz HMP2030 (Basso Voltaggio);
- Amplificatore Broadband Cividec, 40 dB, 2 GHz BW;
- CSA amplificatore Cividec;
- Oscilloscopio LeCroy Waverunner 2.5 GHz BW;
- Sensore;

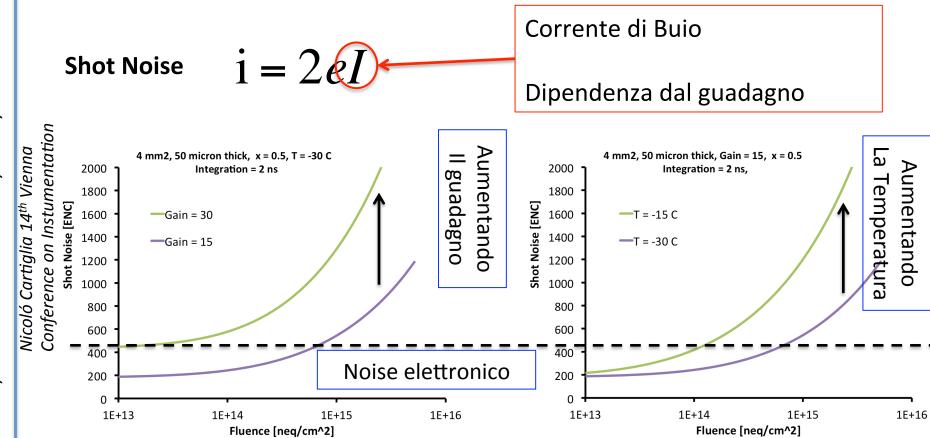
# Misure di laboratorio: Risoluzione temporale



### Irraggiamento

#### 2. Aumento della corrente di Buio e dello Shot Noise

Assumiamo un pad 4 mm<sup>2</sup> ed uno spessore 50μm



#### **Per ridurre lo Shot Noise:**

- Ridurre il Guadagno (mantenere il guadagno sotto ~ 20);
- Temperature di lavoro basse (Leakage current dimezzata ogni -7 gradi di temperatura);
- Usare pad piccoli