

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Caratterizzazione puntuale mediante laser micrometrico di sensori 3D a trincea irraggiati con neutroni fino a fluenze di $10^{18} \text{ 1MeV } n_{\text{eq}}/\text{cm}^2$

IFAE 2025

Matthew Addison⁵, Andrea Bellora², Federica Borgato³, Maurizio Boscardin⁶,
Alessandro Cardini¹, Gian Matteo Cossu¹, Gian Franco Dalla Betta⁴, Luigi La Delfa¹,
Adriano Lai¹, Andrea Lampis¹, Angelo Loi¹, Maria Margherita Obertino²,
Sabina Ronchin⁶, Stefania Vecchi⁷, **Michele Verdoglia^{1,8}**

1 INFN Cagliari, 2 Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, 3 Dipartimento di Fisica e Astronomia "Galileo Galilei" - DFA (Università degli studi Padova), 4 Dipartimento di Ingegneria Industriale (Università di Trento), 5 Department of Physics and Astronomy, University of Manchester, Manchester, United Kingdom, 6 FBK, 7 INFN Ferrara, 8 Università degli Studi di Padova

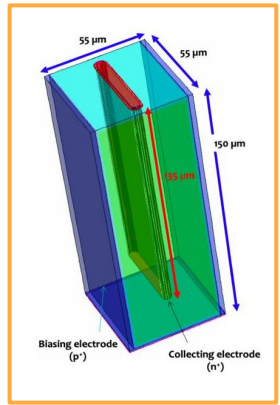
Temi della presentazione

- Inquadramento contestuale del lavoro;
- Descrizione dell'apparato di misura TCT a freddo;
- Descrizione dell'apparato di misura al Test Beam;
- Confronto tra misure preliminari in laboratorio e risultati al test beam;
- Risultati preliminari su sensori TimeSPOT irraggiati fino a $10^{18} \text{ 1MeV } n_{\text{eq}} / \text{cm}^2$;
- Conclusioni e prossimi passi.

Sfide e soluzioni dei rivelatori di vertice di prossima generazione

Incremento
luminosità

Soluzione
↓
INFN

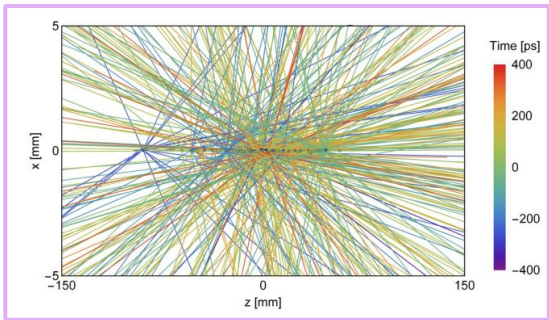


Pixel 3D a trincea TimeSPOT
Misura di posizione e **tempo**
Resistenza alle radiazioni.

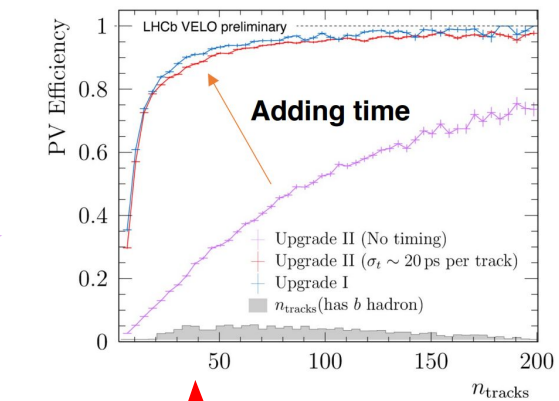
$$\sigma_x = \sim 10 \mu\text{m}$$

$$\sigma_t = \sim 10 \text{ps}$$

$$@ 10^{17} \text{ 1MeV } n_{\text{eq}} / \text{cm}^2$$



Pile-up
Elevata fluenza



Tracciamento 4D

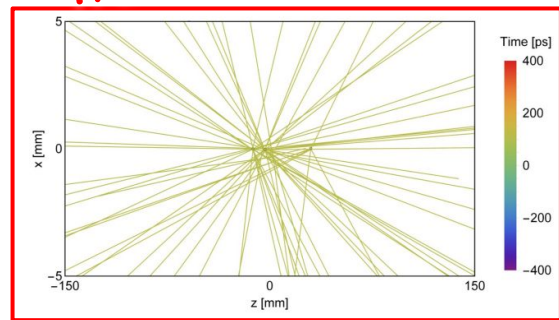
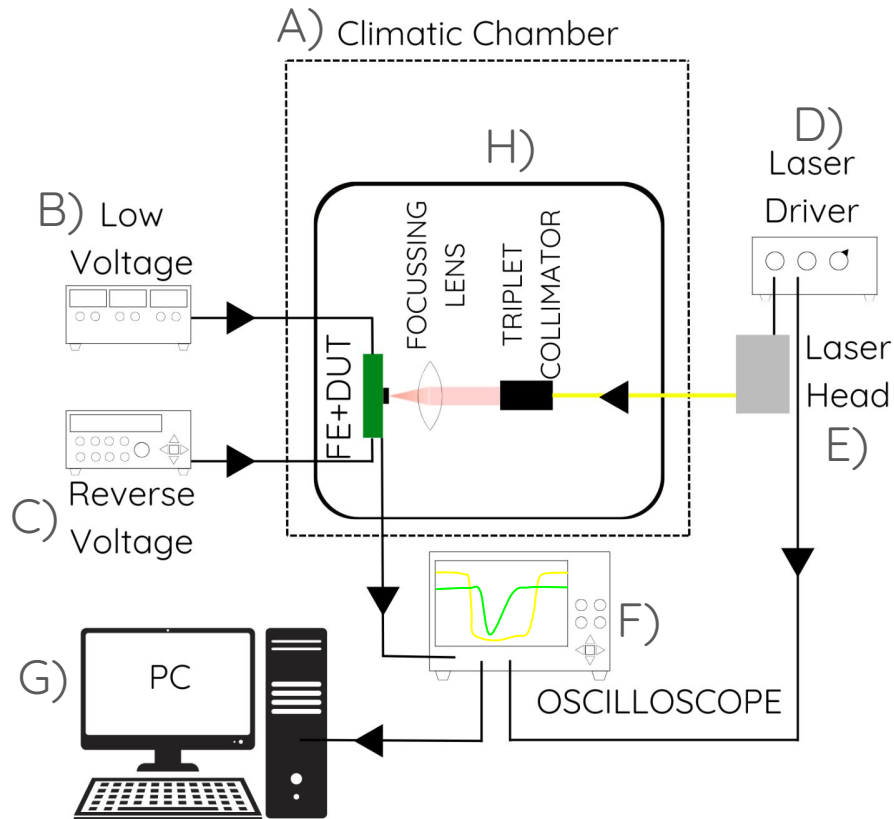


Image from
<https://www.frontiersin.org/journals/physics/articles/10.3389/fphy.2024.1393019>

Images from <https://cds.cern.ch/record/2775324/files/LHCb-OFFSHELL-Keizer.pdf>

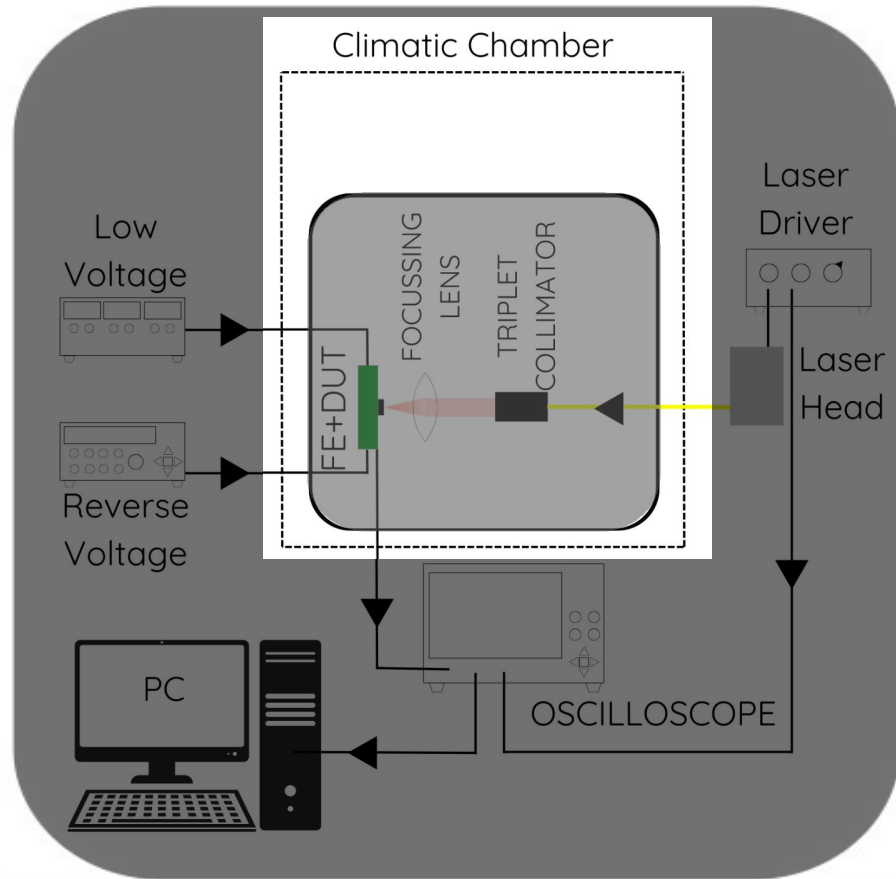
Schema dell'apparato di misura in laboratorio



- A. Camera Climatica: $T = -20^{\circ}\text{C}$;
- B. Alimentatore LV: alimenta l'elettronica;
- C. Alimentatore HV: fornisce bias ai sensori;
- D. Driver del Laser: impulsi di 50ps, usato come trigger;
- E. Testa del laser: 650nm o 1030nm;
- F. Oscilloscopio: raccolta dati;
- G. PC: LabVIEW usato per il controllo dell'apparato (Posizione dei DUT, Temperatura, lettura Oscilloscopio, HV) + analisi dati;
- H. Ottiche di collimazione e messa a fuoco del laser ($\varnothing$ laser $\sim 2\text{-}4\text{ }\mu\text{m}$);

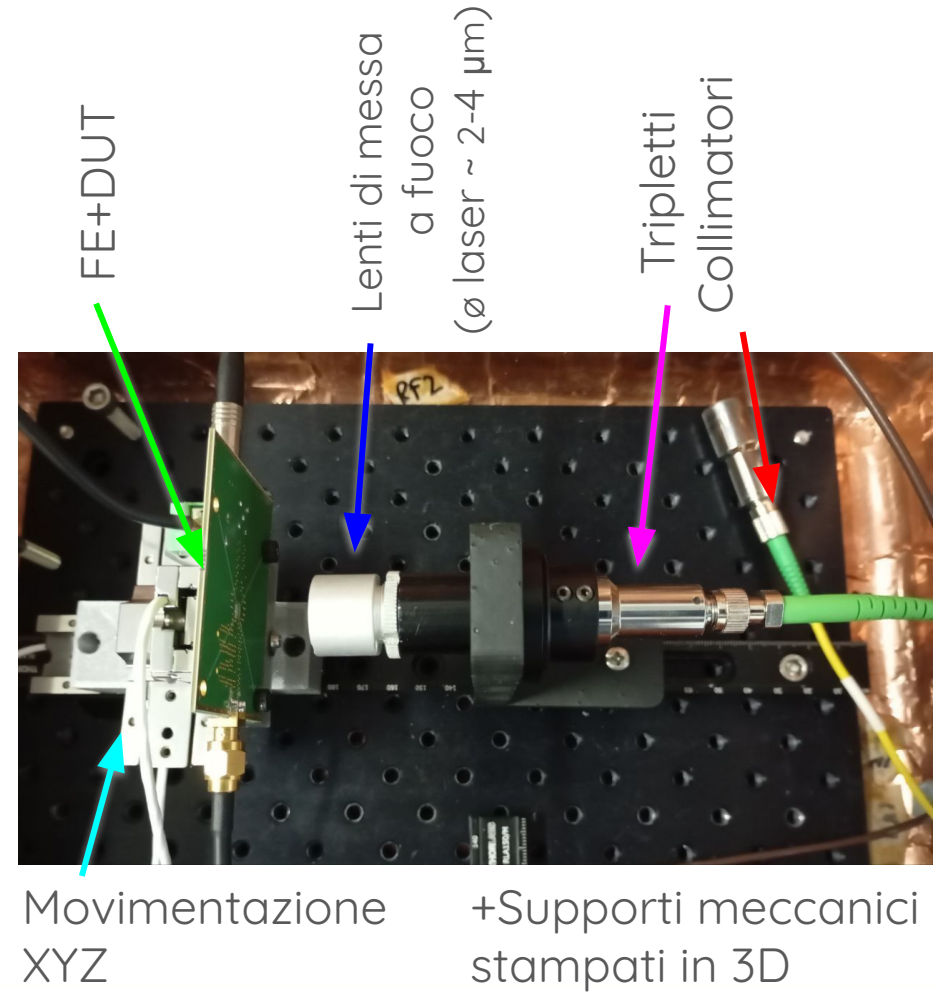
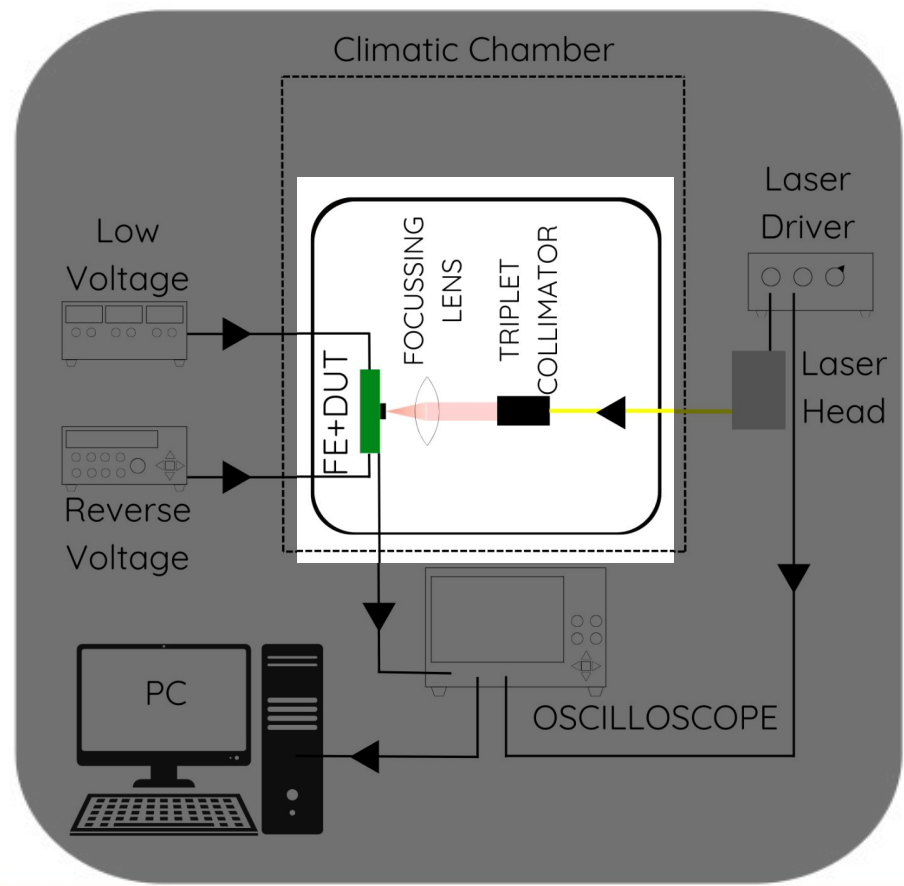
- I dispositivi sotto test sono installati su un sistema di micromovimentazione X,Y,Z

Immagini dell'apparato di misura

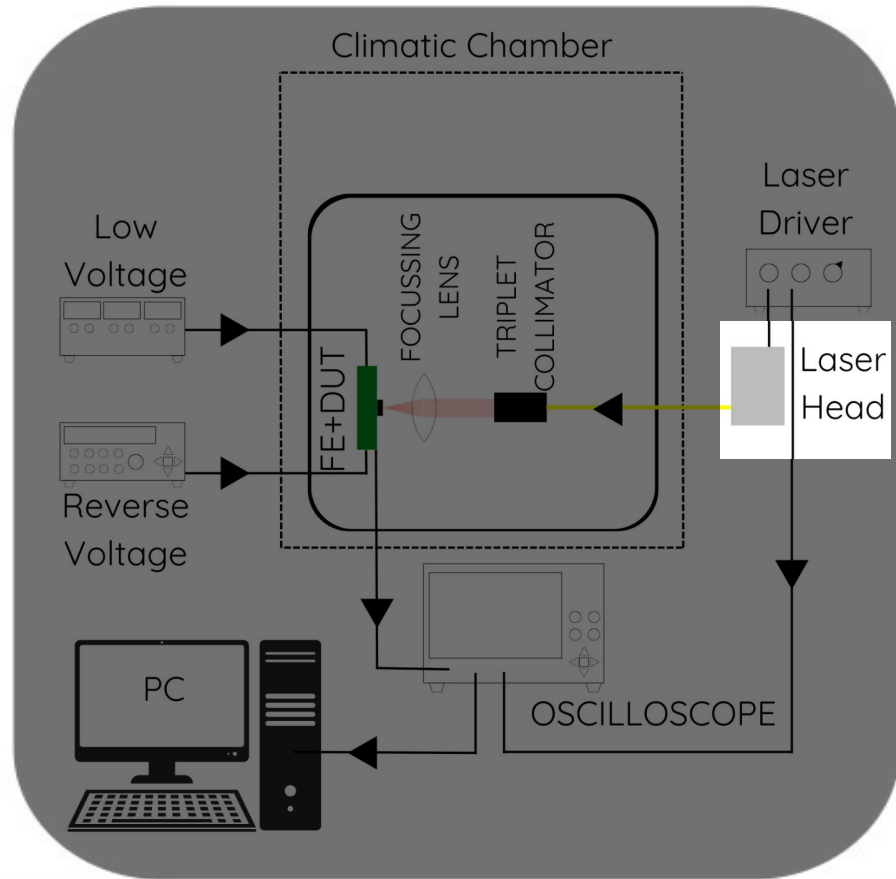


I sensori irraggiati presentano elevate leakage current causata dal danno da radiazione, per tale motivo è necessario operare a basse temperature $< -10^{\circ}\text{C}$ per ridurre tale contributo..

Immagini dell'apparato di misura



Immagini dell'apparato di misura



Laser rosso 650 nm

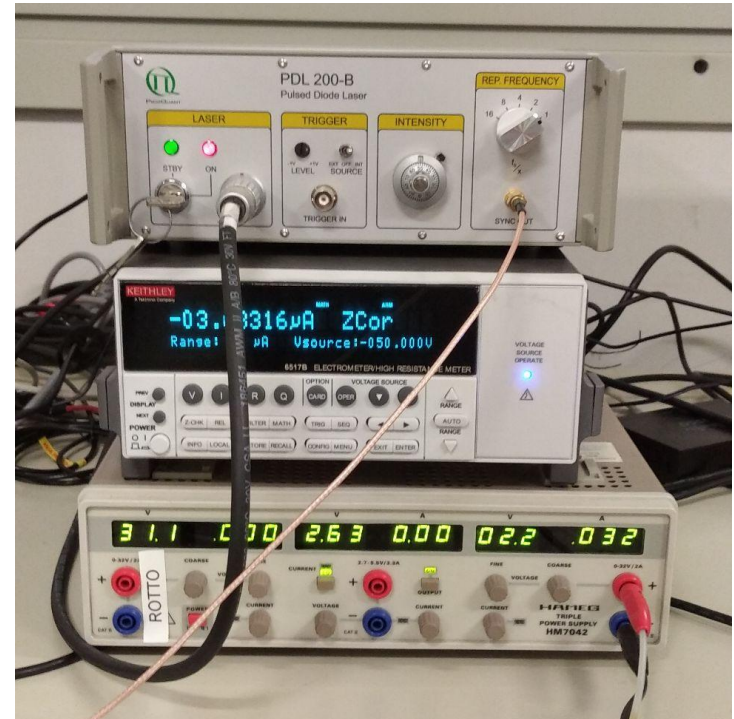
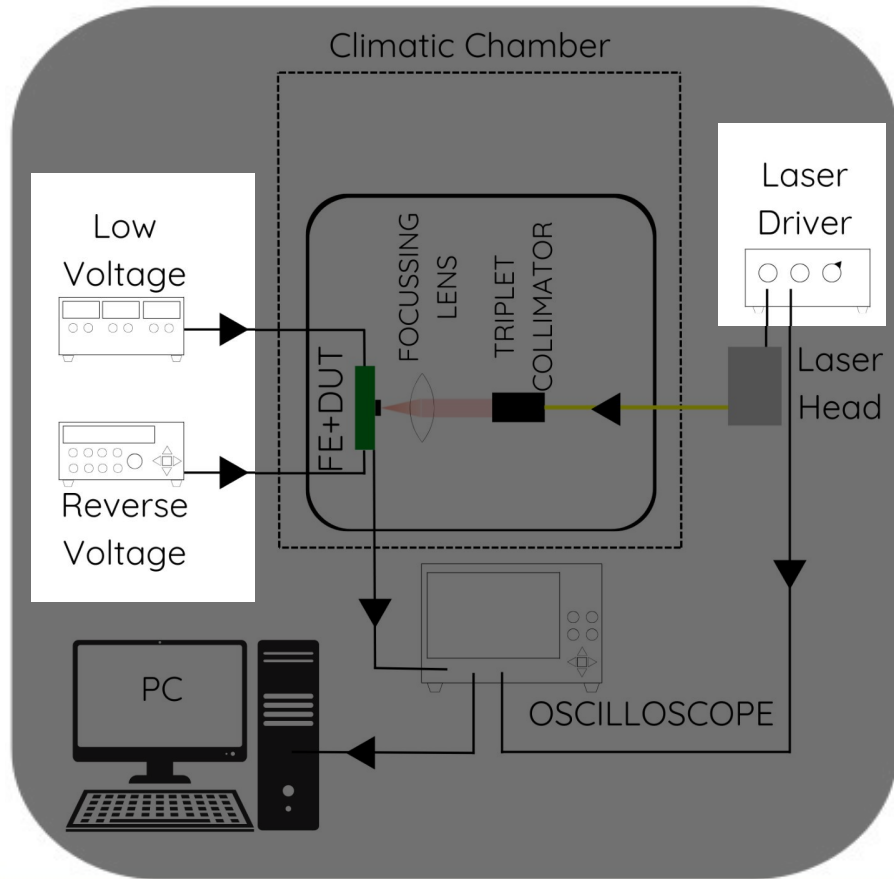


Laser IR 1030 nm



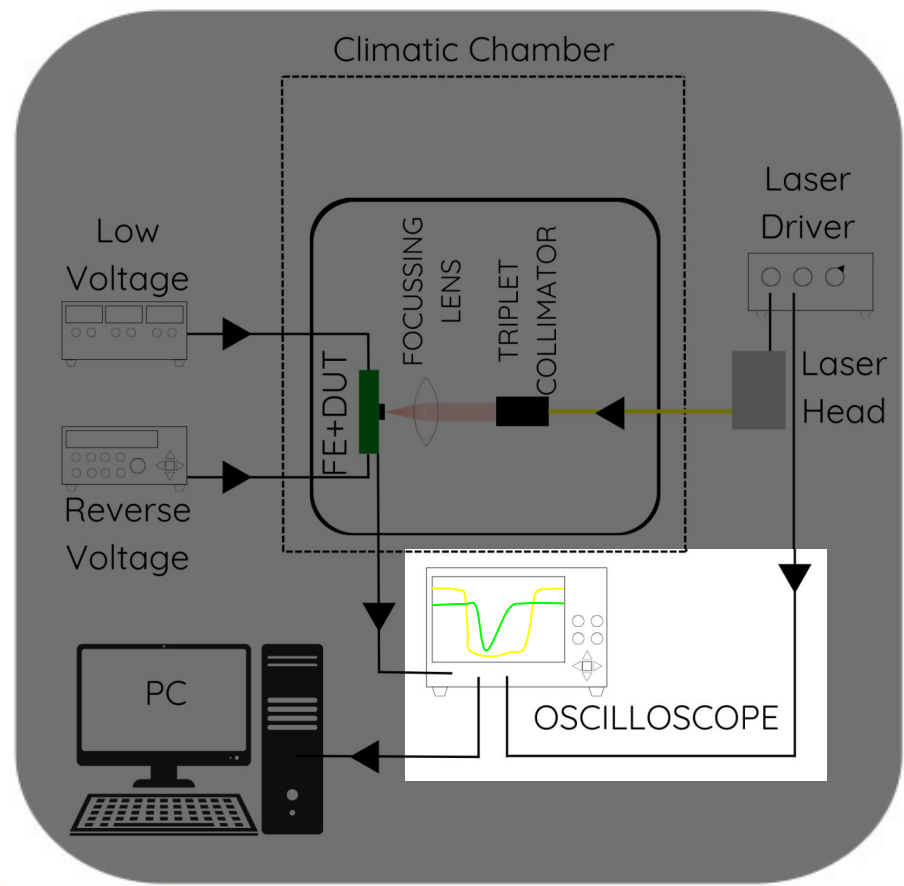
Sorgenti laser utilizzate per depositare la carica nei sensori per valutare la raccolta della carica e la risoluzione temporale.

Immagini dell'apparato di misura

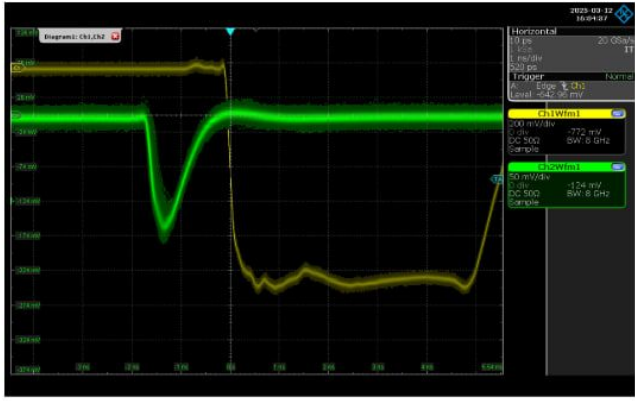


Driver Laser:
frequenza degli impulsi 1-8 MHz
durata degli impulsi ~ 50 ps, $\sigma_t \sim 3$ ps

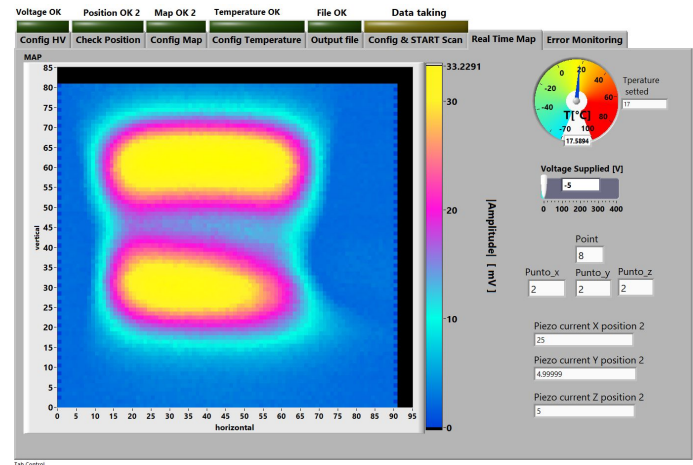
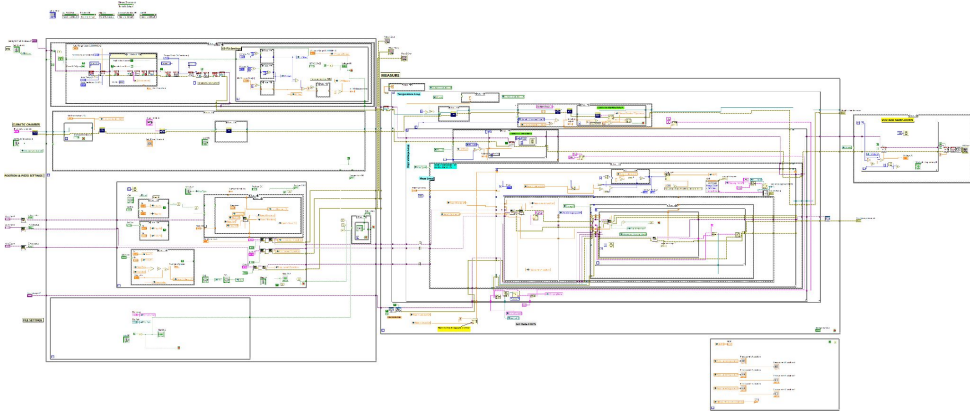
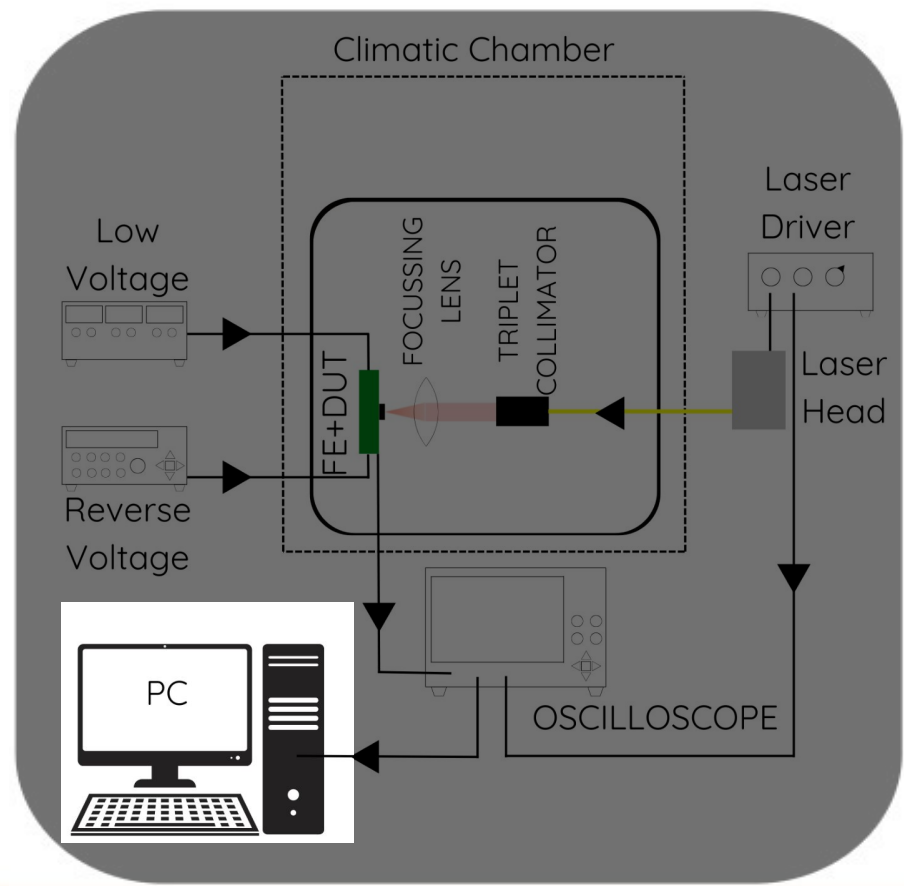
Immagini dell'apparato di misura



Oscilloscopio 8GHz

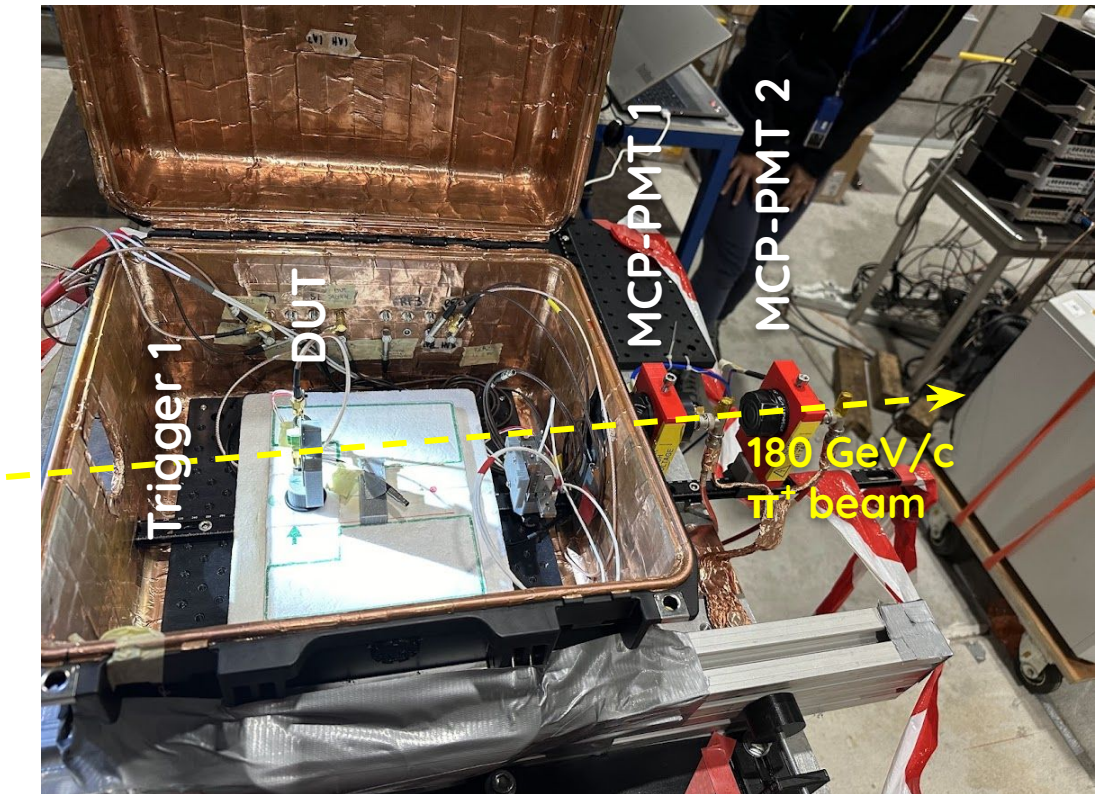
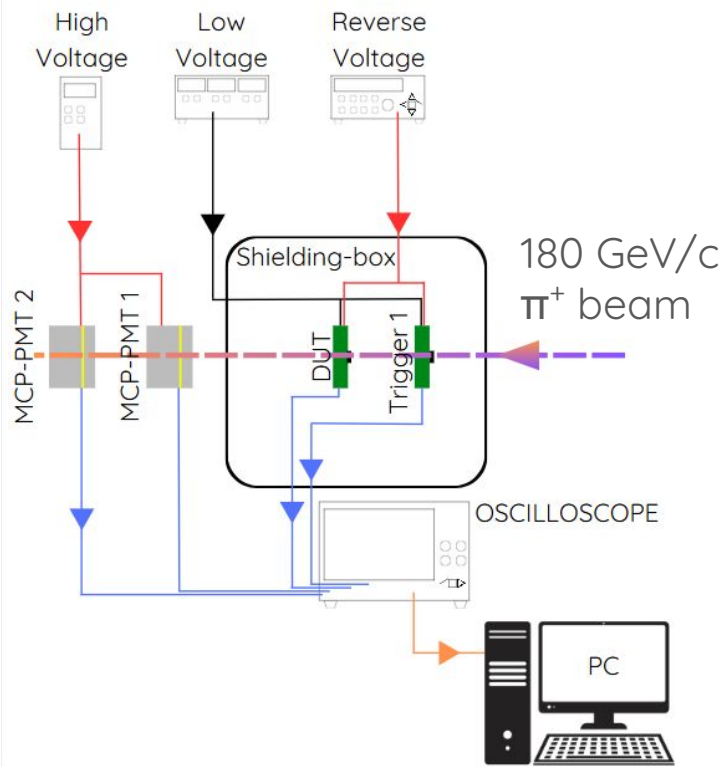


Immagini dell'apparato di misura



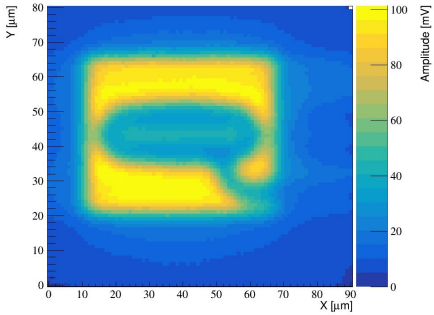
Programma LabVIEW di controllo e acquisizione dati

Apparato sperimentale al Test-beam

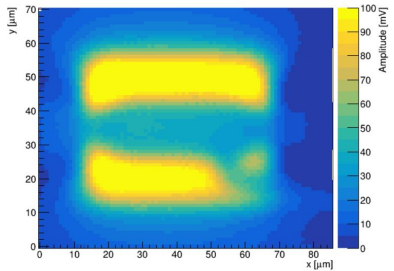


Misure in laboratorio Vs test-beam: $\phi = 10^{17}$ (~fluenza di HL-LHC)

- Studio della raccolta carica:
- Studio di effetti dell'irraggiamento



Sensore non irradiato @ 50V



Sensore Irraggiato
 $\phi = 10^{17}$ @ 300V e -20°C

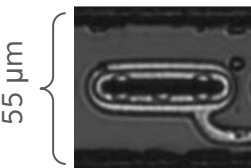
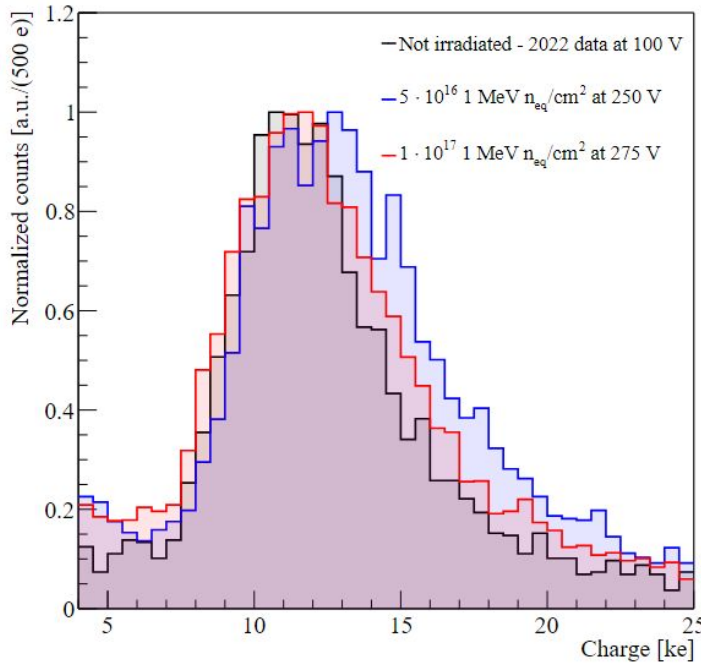


Immagine al microscopio della superficie di un pixel

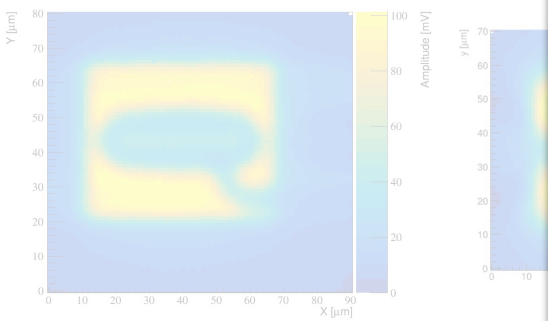
Laboratorio
Test-Beam



Spettri in carica raccolti al test beam con π^+ da 180 GeV/c

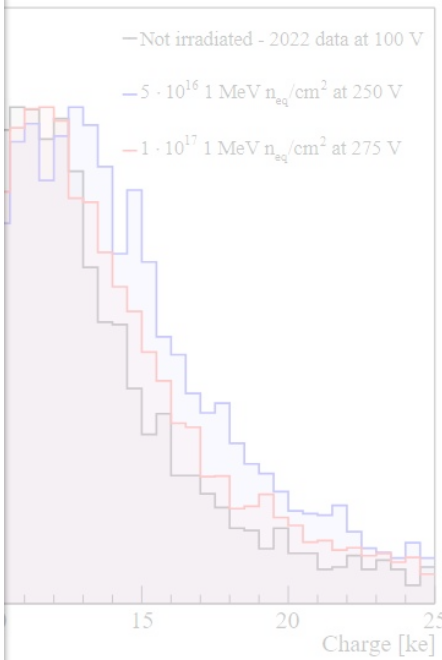
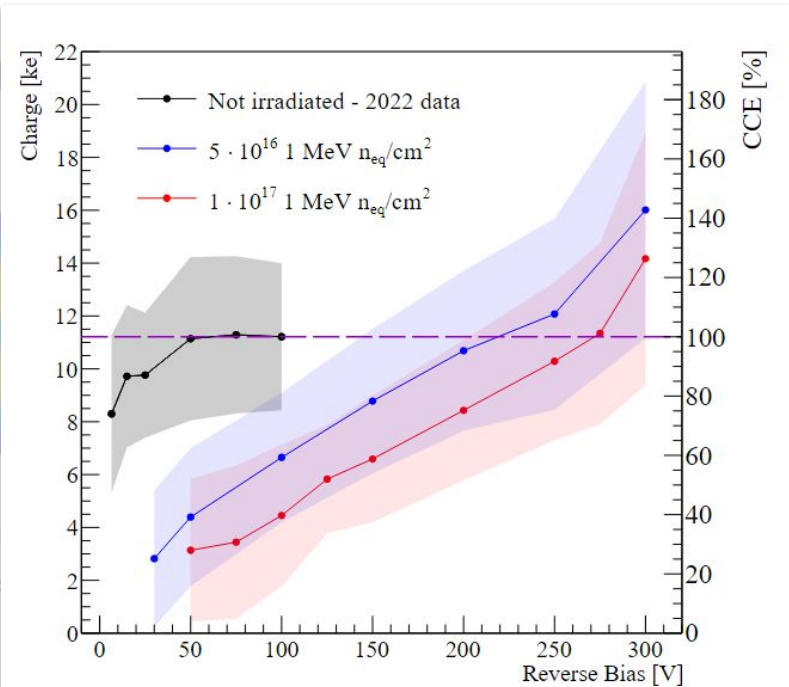
Misure in laboratorio Vs test-beam: $\phi = 10^{17}$ (~fluenza di HL-LHC)

● Studio della raccolta



Sensore non irradiato

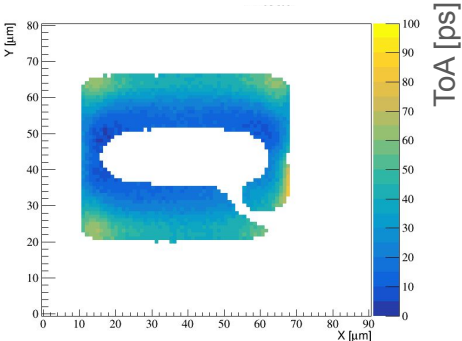
Immagine al microscopio della superficie di un pixel



Recupero delle prestazioni e scoperta dell'effetto di moltiplicazione della carica in sensori 3D a trincea TimeSPOT irradiati fino a fluenze di $10^{17} \text{ 1MeV } n_{eq} / \text{cm}^2$

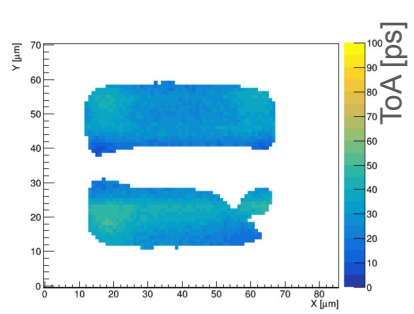
Misure in laboratorio Vs test-beam: $\phi = 10^{17}$ (~fluenza di HL-LHC)

- Studio della risoluzione temporale:



Sensore non irradiato @ 50V

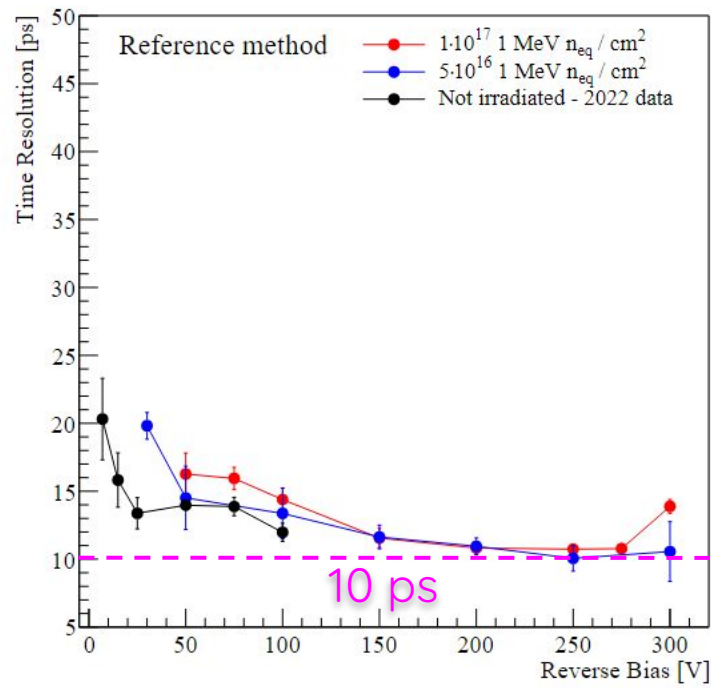
$\sigma_t \sim 14 \text{ ps}$



Sensore Irraggiato
 $\phi = 10^{17}$ @ 300V
e -20°C

$\sigma_t \sim 10 \text{ ps}$

Laboratorio
Test-Beam



Risoluzione temporale in funzione della tensione di bias.

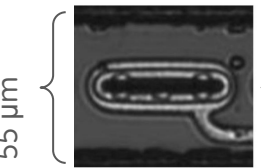
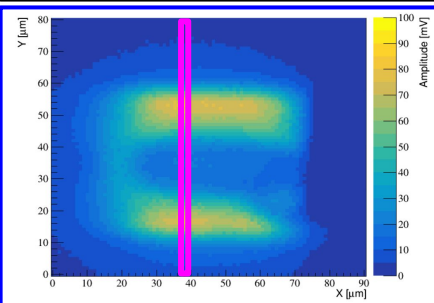
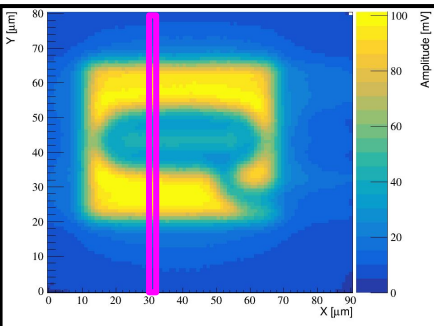


Immagine al microscopio della superficie di un pixel

Misure in laboratorio: $\phi = 10^{18}$ (~ fluenza di FCC-hh)

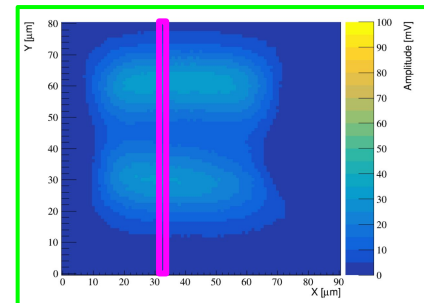
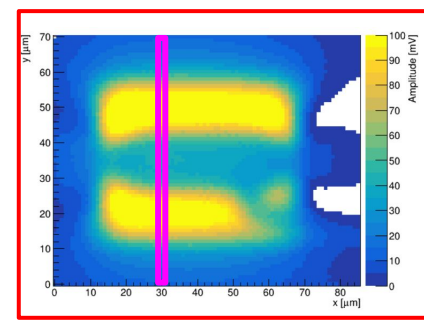
- Studio della raccolta carica su sensori irraggiati fino a 10^{18} :

Sensore non irraggiato



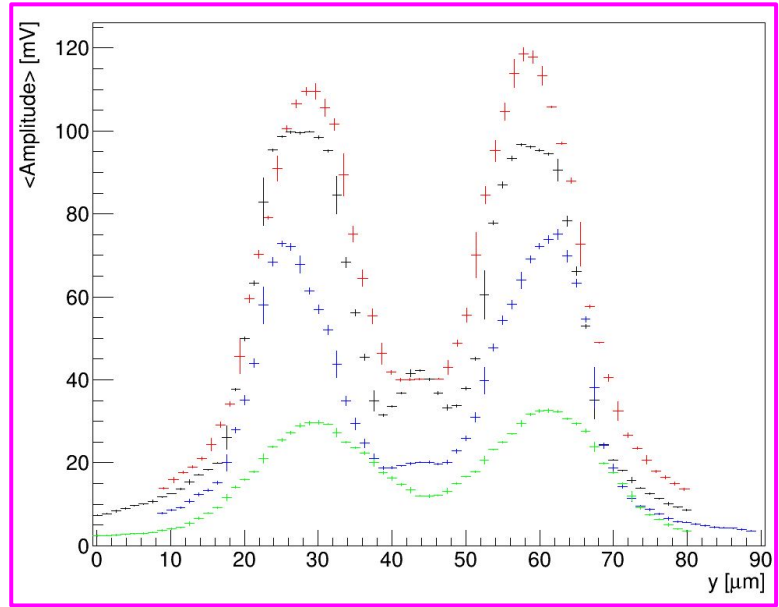
$\phi = 5 \times 10^{17}$ @ 400V e -20°C

$\phi = 10^{17}$ @ 300V e -20°C



$\phi = 10^{18}$ @ 400V e -20°C

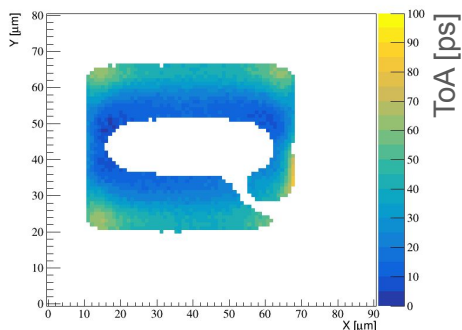
Profili in ampiezza



! Elettronica limitata a 400V !

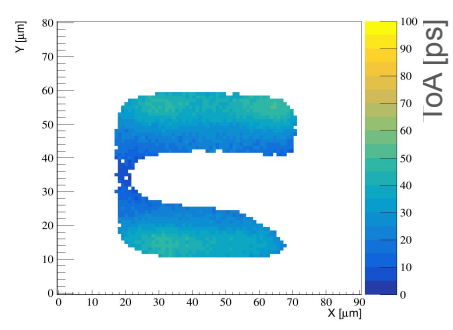
Misure in laboratorio: $\phi = 10^{18}$ (~ fluenza di FCC-hh)

- Studio della risoluzione temporale:



Sensore non irradiato

$\sigma_t \sim 14 \text{ ps}$



Sensore irradiato
 $5 \times 10^{17} \text{ 1MeV } n_{eq} / \text{cm}^2$

$\sigma_t \sim 10 \text{ ps}$

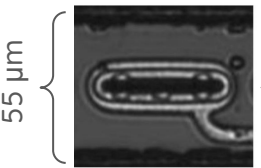
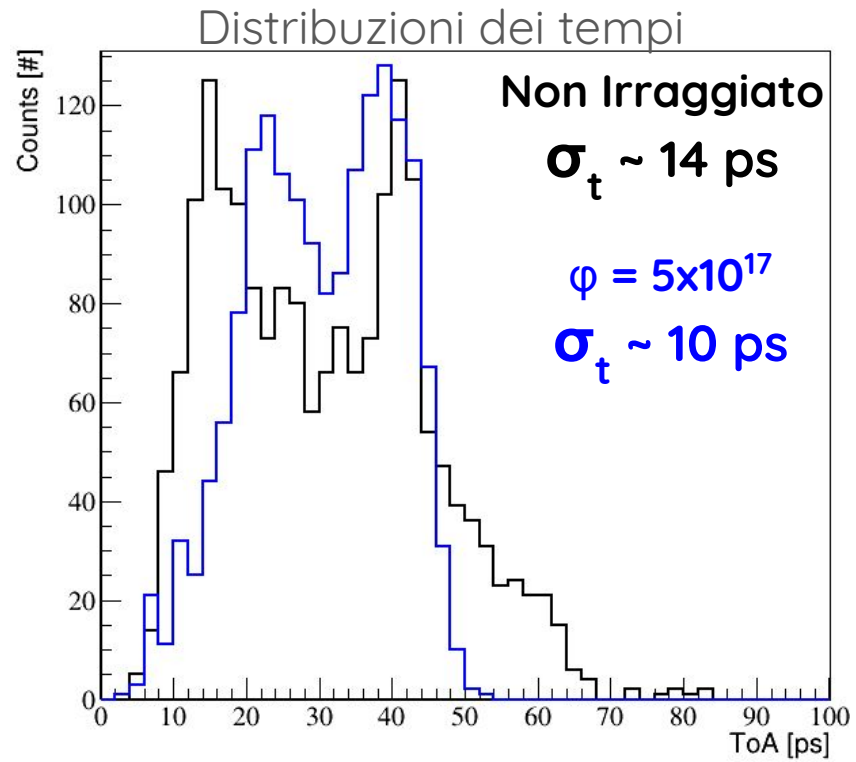


Immagine al microscopio della superficie di un pixel



Conclusioni e prossimi passi

- L'apparato di misura ci permette di ottenere in laboratorio risultati compatibili con un test beam;
 - I sensori 3D a trench TimeSPOT hanno dato prova di ottime prestazioni fino a fluenze di irraggiamento pari a $\Phi = 10^{17}$ (~HL-LHC);
 - Risultati preliminari su sensori 3D a trench TimeSPOT irraggiati fino a 10^{18} 1MeV n_{eq} / cm^2 (~FCC-hh) hanno dato indicazione di un significativo deterioramento delle prestazioni: per $\Phi = 5 \times 10^{17}$ la raccolta carica viene recuperata fino al 70% senza deterioramento della risoluzione temporale, a $\Phi = 10^{18}$ la raccolta carica è ridotta al 30% (limite dei 400V dato dall'elettronica).
- A. Realizzazione di una nuova elettronica capace di arrivare fino a 800V;
- B. Un test Beam con sensori irraggiati fino a 10^{18} 1MeV n_{eq} / cm^2 sarà svolto a Luglio.
- C. Una campagna di irraggiamento con protoni è in corso presso IRRAD (PS - CERN)



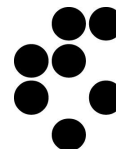
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Irraggiamento finanziato da
European Union Grant Agreement No. 101057511

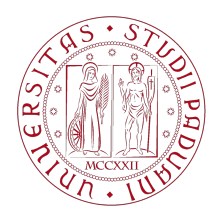


Un ringraziamento ad Igor Mandić (JSI) per essersi preso cura
dell'irraggiamento



Jožef Stefan Institute
Ljubljana, Slovenia

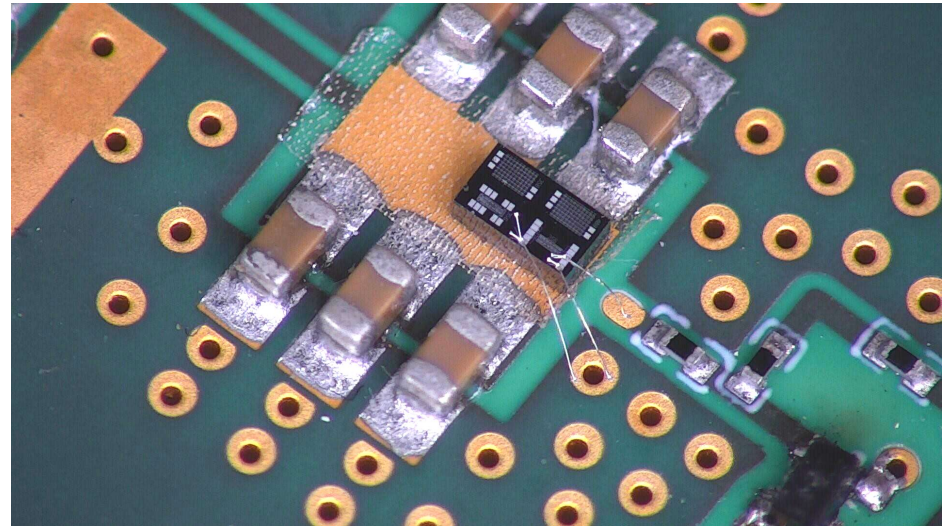
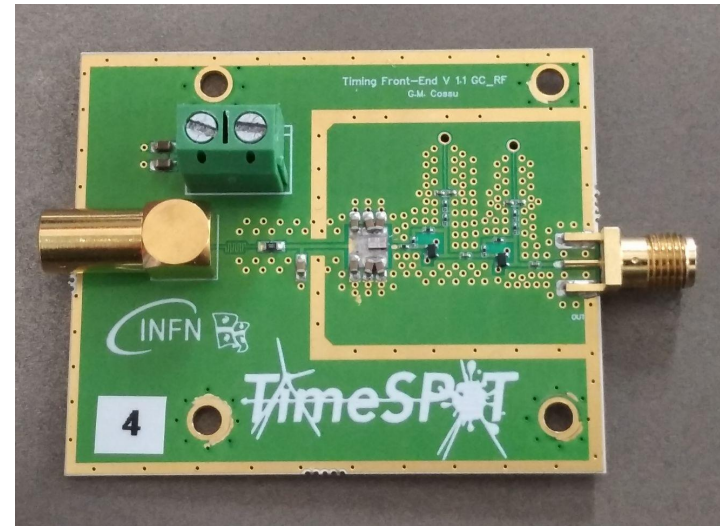
GRAZIE!!!



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

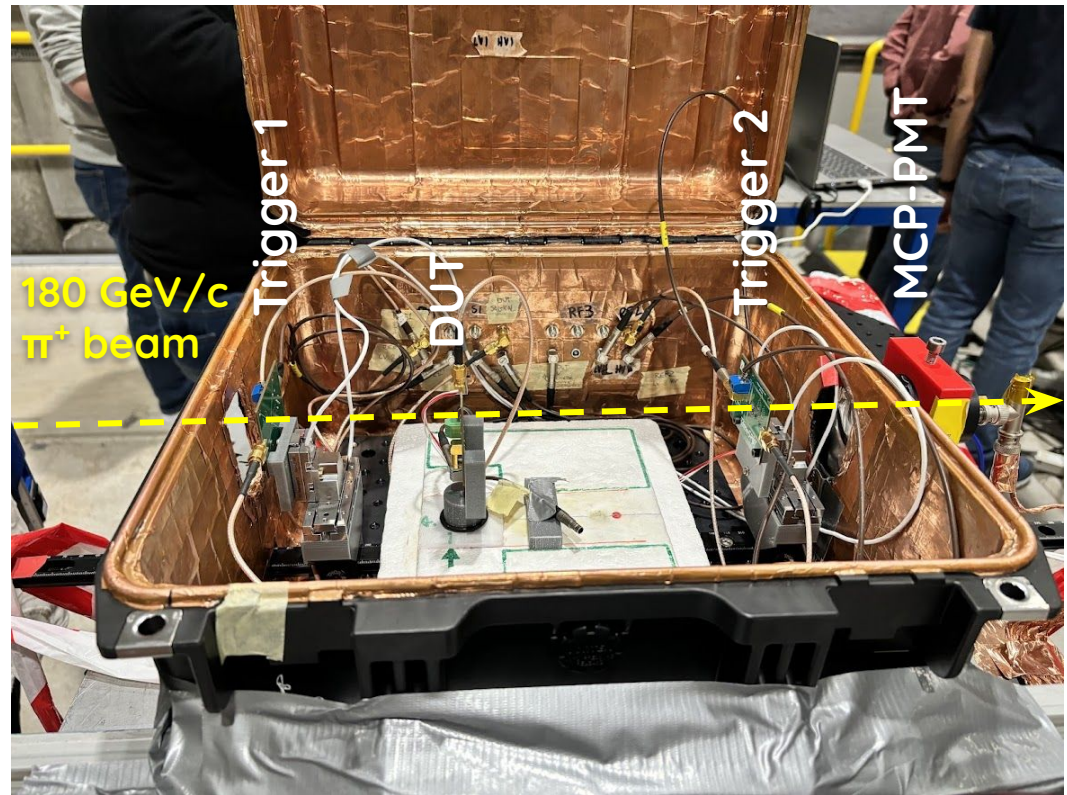
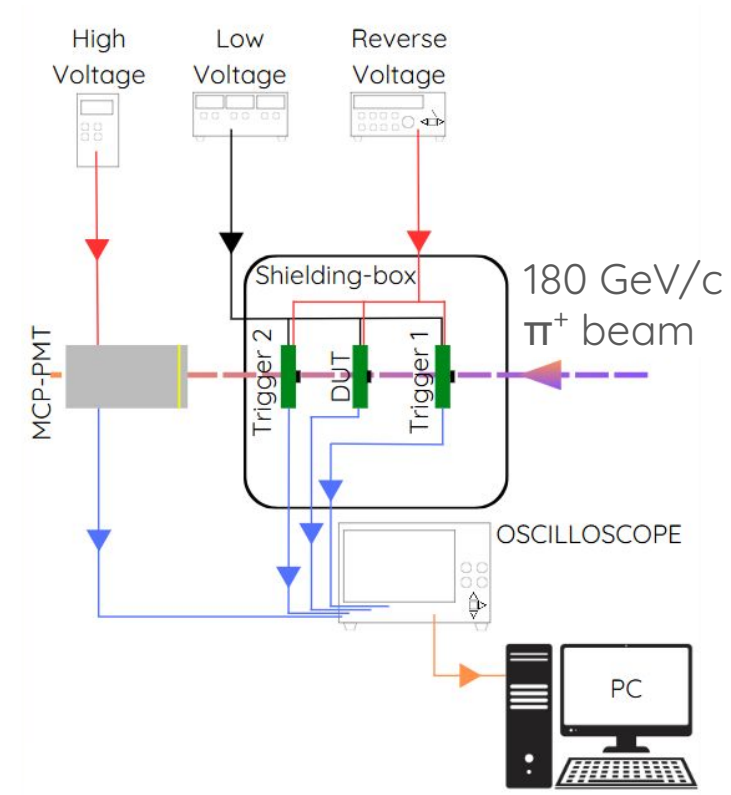


BACK-UP SLIDES

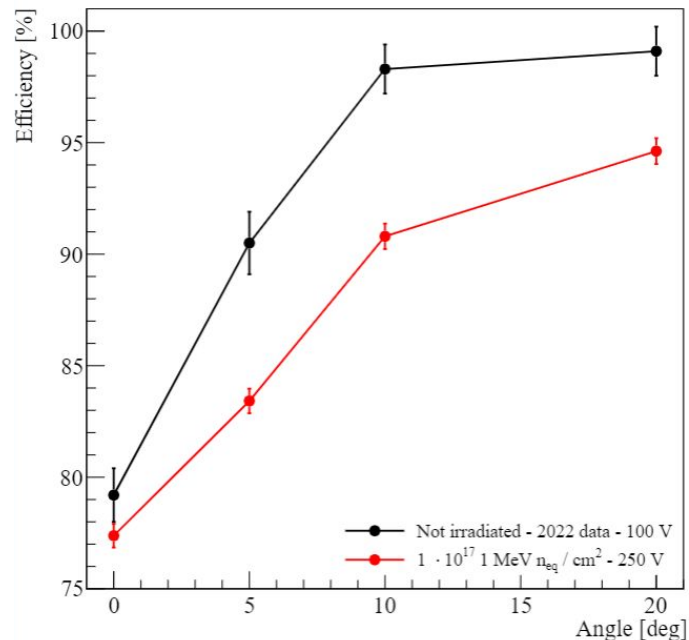


Elettronica custom:
Amplificatore a due stadi di amplificazione a transistor in SiGe.

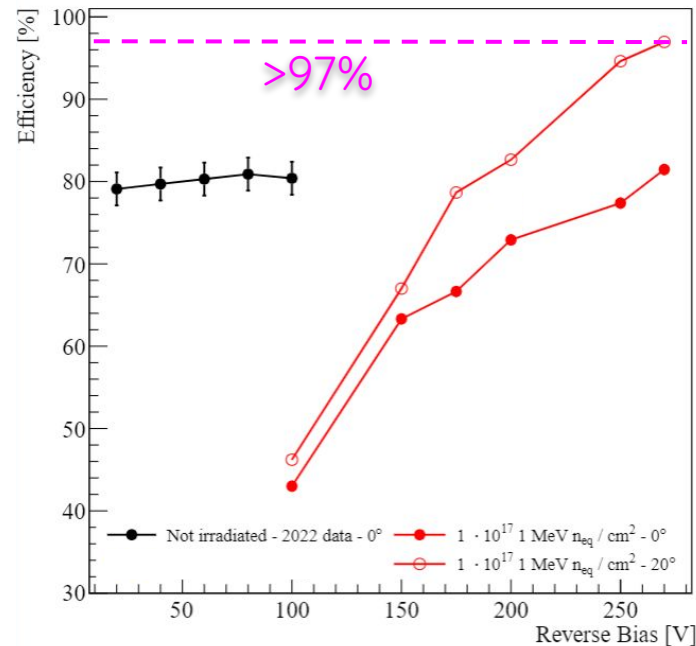
Efficienza dei sensori irraggiati al Test-beam: apparato di misura



Efficienza dei sensori irraggiati al Test-beam



Efficienza in funzione dell'angolo di inclinazione rispetto al fascio



Efficienza in funzione della tensione di bias ed angolo

Risoluzione temporale di un sensore non irraggiato:

- Rapidità dei segnali (taglio in ampiezza @ 50%):

- Zona centrale (regione veloce);
- Lati esterni (regione lenta);
- Angoli (regione “molto lenta”).

