

Upgrade del rivelatore a pixel di CMS per HL – LHC

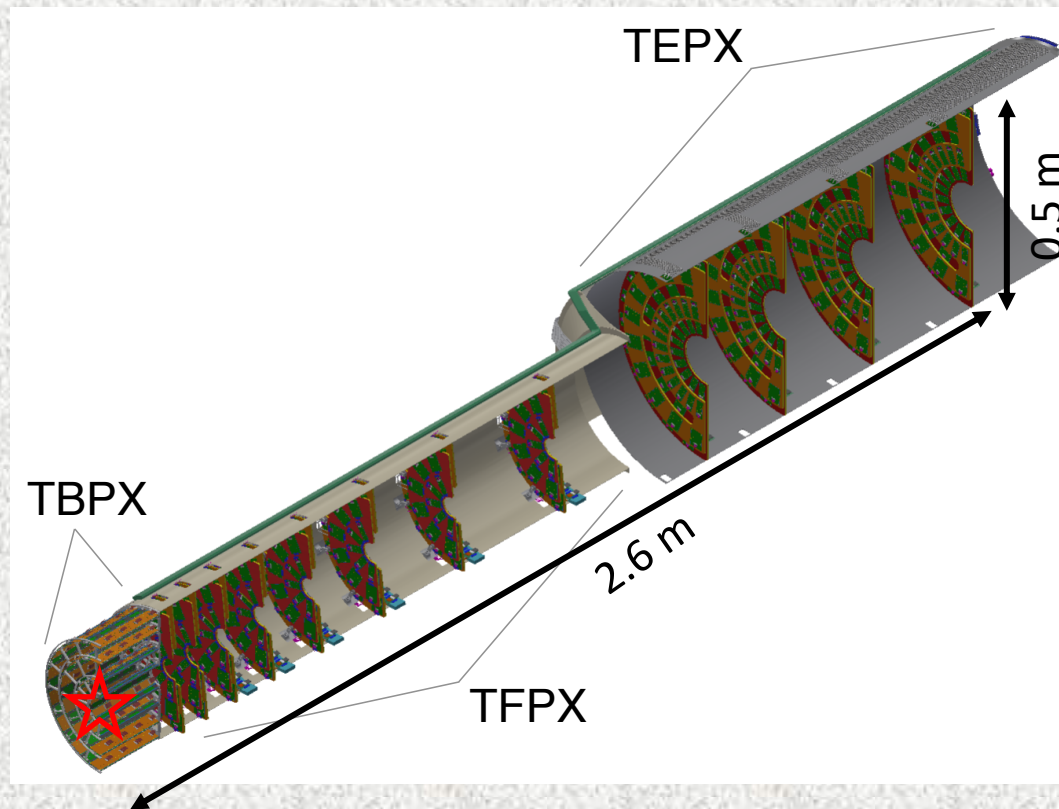
Davide Zuolo

Università degli Studi & INFN Milano – Bicocca

Per il gruppo CMS Tracker MIB

Sommario

- Sfide per il rivelatore a pixel di CMS ad HL – LHC
- Possibili soluzioni
- Coinvolgimento di Milano – Bicocca

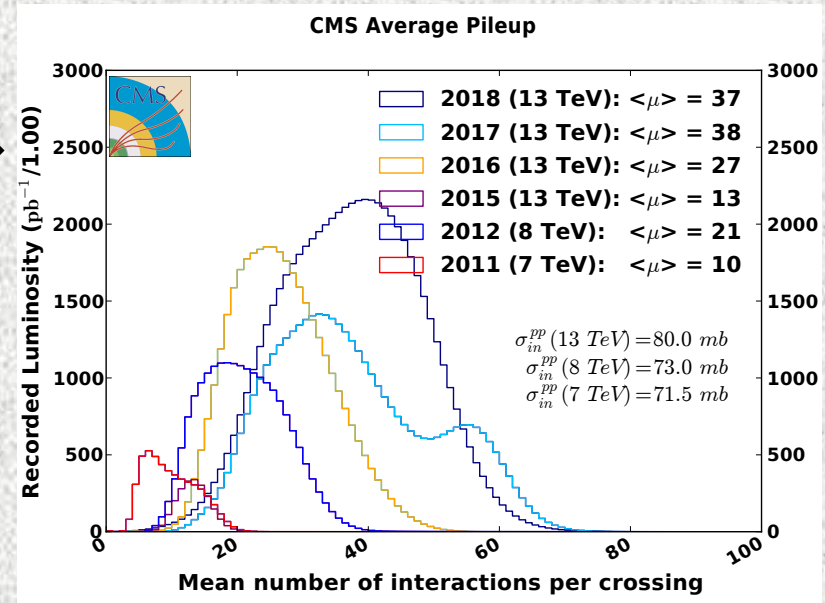
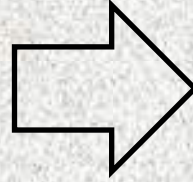


Il problema del pileup

Si definisce “pileup” il numero medio di interazioni che avvengono in una collisione tra due pacchetti di protoni

Il problema del pileup

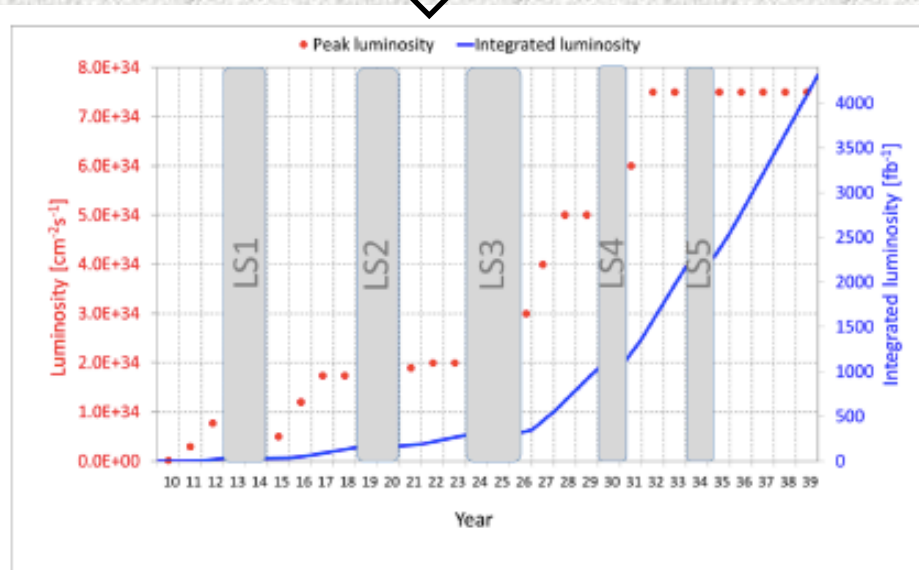
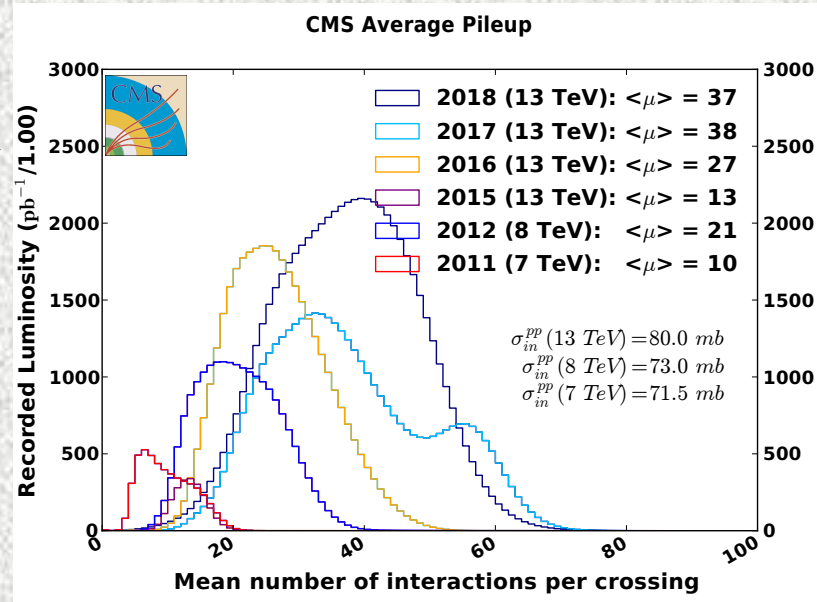
Si definisce “pileup” il numero medio di interazioni che avvengono in una collisione tra due pacchetti di protoni



Il problema del pileup

Si definisce “pileup” il numero medio di interazioni che avvengono in una collisione tra due pacchetti di protoni

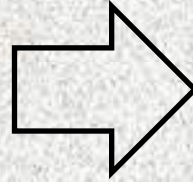
Dipende da



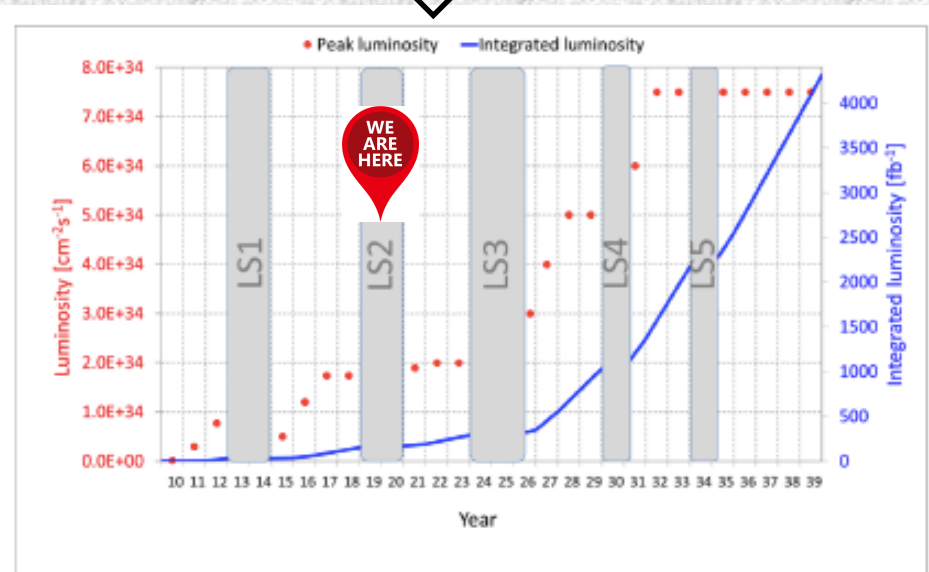
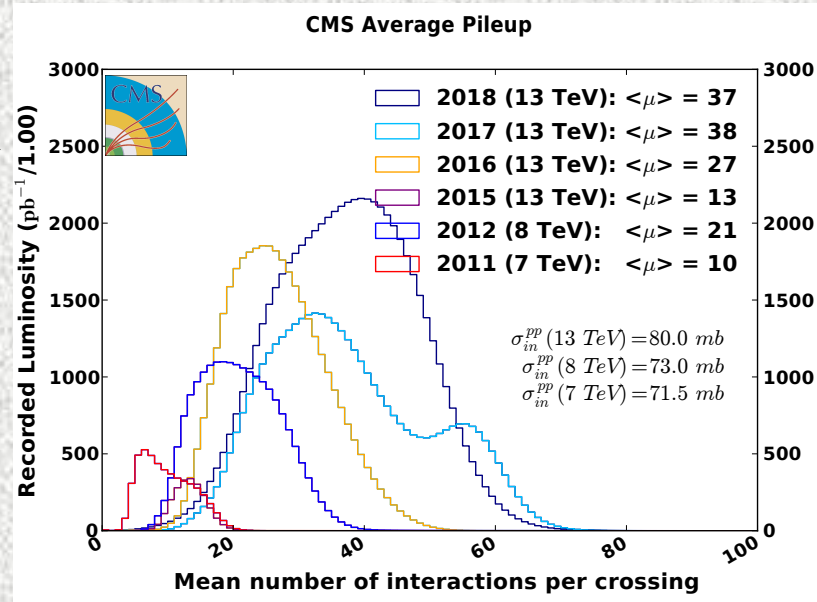
La luminosità istantanea è uno dei parametri principali per descrivere un acceleratore di particelle: moltiplicandola per la sezione d'urto si può conoscere la frequenza con cui si verificherà un certo processo

Il problema del pileup

Si definisce “pileup” il numero medio di interazioni che avvengono in una collisione tra due pacchetti di protoni



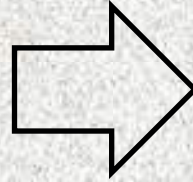
Dipende da



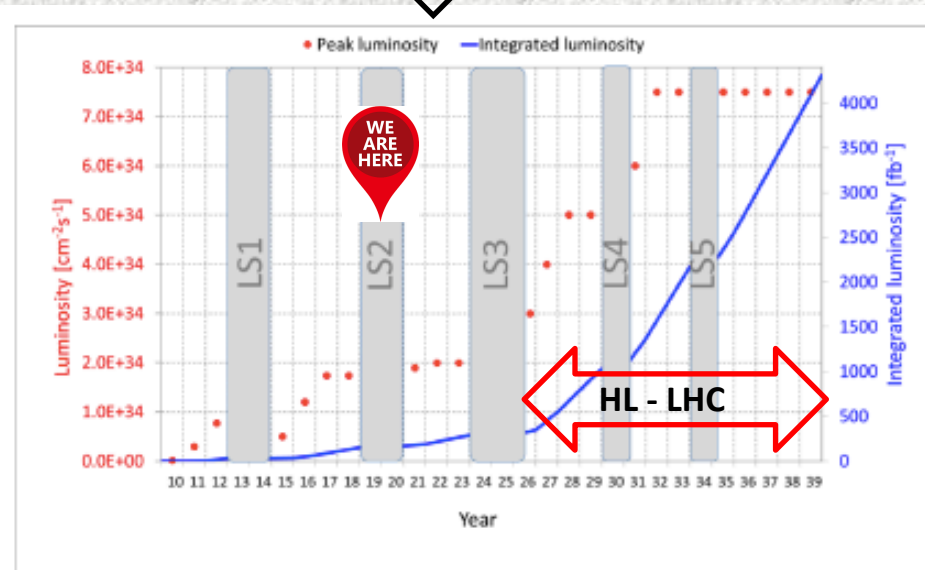
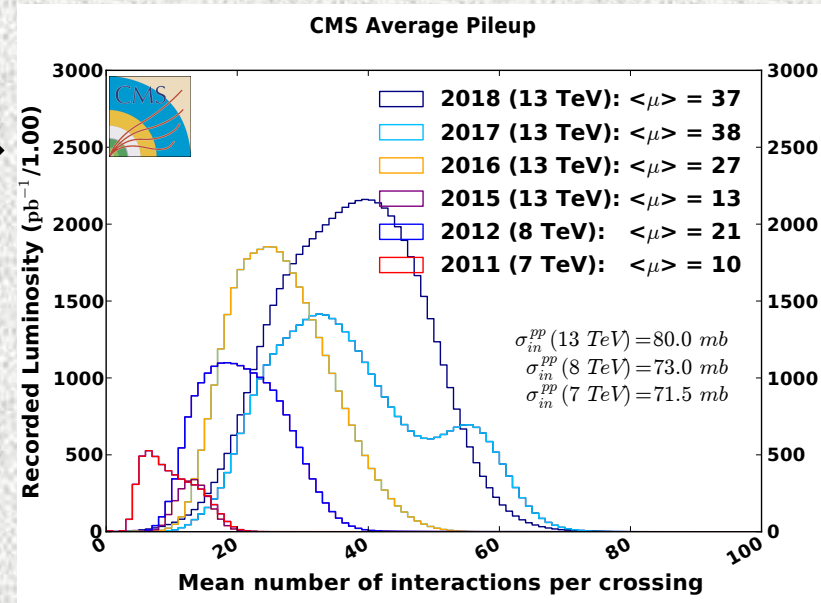
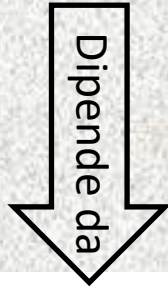
La luminosità istantanea è uno dei parametri principali per descrivere un acceleratore di particelle: moltiplicandola per la sezione d'urto si può conoscere la frequenza con cui si verificherà un certo processo

Il problema del pileup

Si definisce “pileup” il numero medio di interazioni che avvengono in una collisione tra due pacchetti di protoni

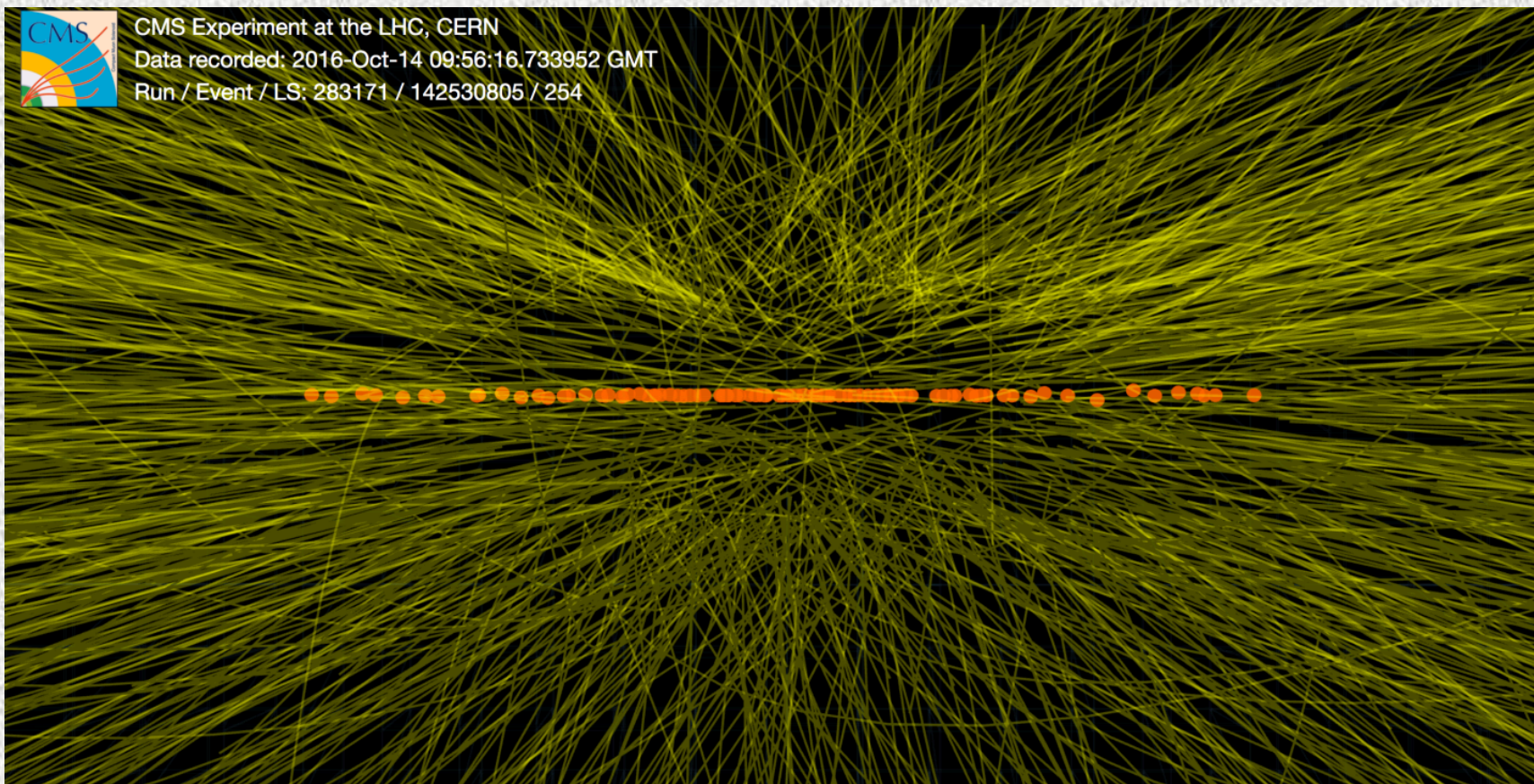


Dipende da



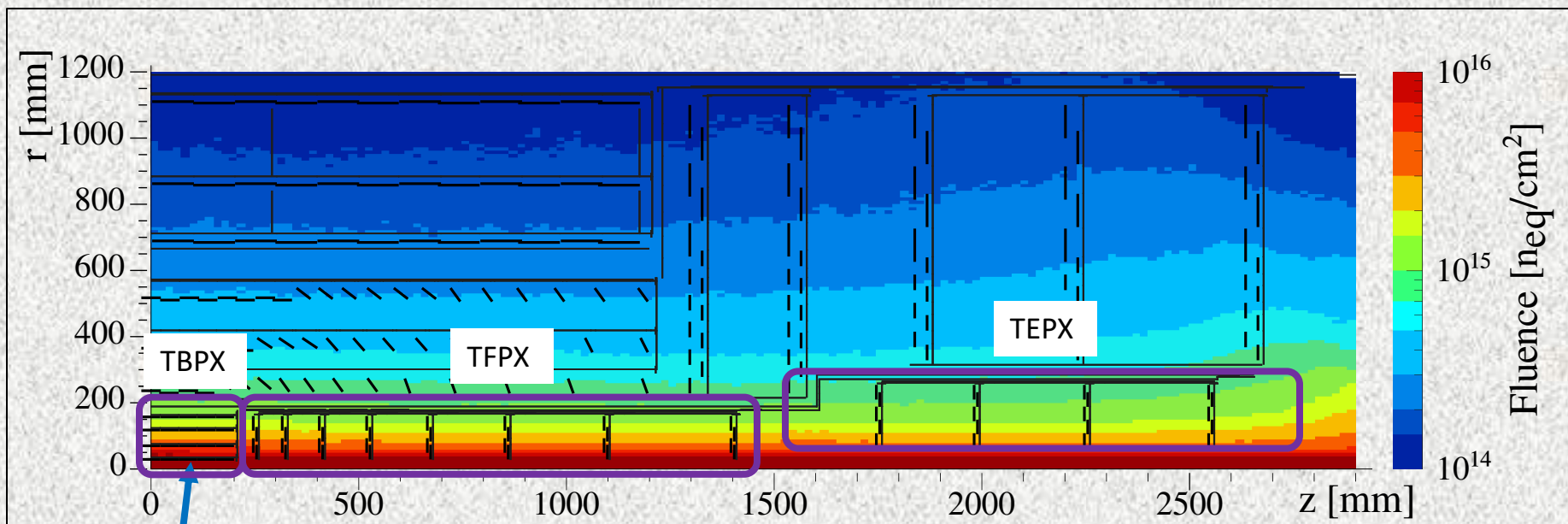
La luminosità istantanea è uno dei parametri principali per descrivere un acceleratore di particelle: moltiplicandola per la sezione d'urto si può conoscere la frequenza con cui si verificherà un certo processo

La situazione ad HL - LHC



Tracce ricostruite in una collisione ad LHC tra due pacchetti di protoni con pileup 100 → ad HL-LHC è previsto un valore medio di circa 200 → **occorre diminuire le dimensioni dei pixel per poter separare al meglio le tracce**

Il problema dell'irraggiamento



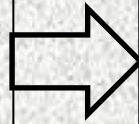
Il primo layer del rivelatore a pixel, indicato dalla freccia, sarà esposto ad una fluenza di radiazione di $2.3 \times 10^{16} \text{ neq}/\text{cm}^2$ dopo 10 anni di operazione \rightarrow il valore stimato per i rivelatori attualmente installati è di circa **un'ordine di grandezza inferiore**

Il danno da radiazione nei rivelatori

In seguito all'irraggiamento la vita media e quindi il libero cammino medio dei portatori di carica diminuiscono a causa della maggiore probabilità di trapping

Il danno da radiazione nei rivelatori

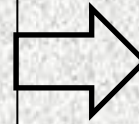
In seguito all'irraggiamento la vita media e quindi il libero cammino medio dei portatori di carica diminuiscono a causa della maggiore probabilità di trapping



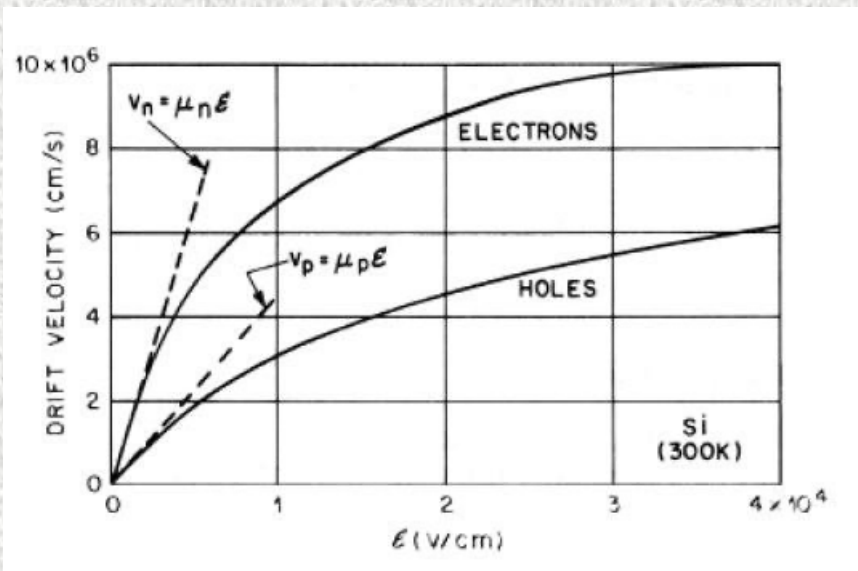
Per mitigare gli effetti dell'irraggiamento sulla raccolta di carica occorre **diminuire la distanza tra gli elettrodi**

Il danno da radiazione nei rivelatori

In seguito all'irraggiamento la vita media e quindi il libero cammino medio dei portatori di carica diminuiscono a causa della maggiore probabilità di trapping

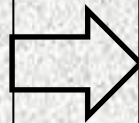


Per mitigare gli effetti dell'irraggiamento sulla raccolta di carica occorre **diminuire la distanza tra gli elettrodi**

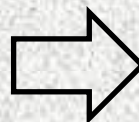
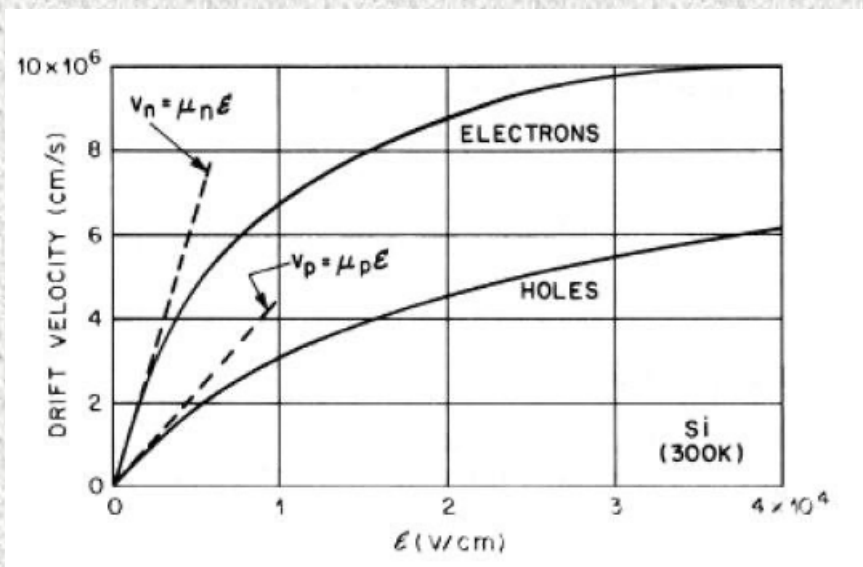


Il danno da radiazione nei rivelatori

In seguito all'irraggiamento la vita media e quindi il libero cammino medio dei portatori di carica diminuiscono a causa della maggiore probabilità di trapping

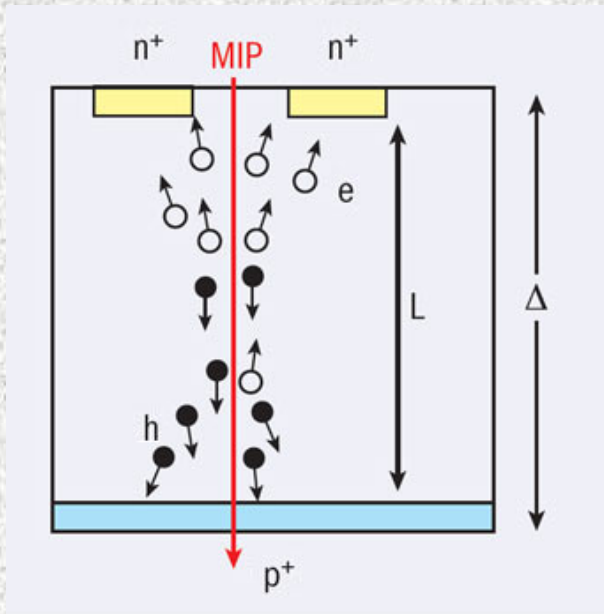


Per mitigare gli effetti dell'irraggiamento sulla raccolta di carica occorre **diminuire la distanza tra gli elettrodi**



Ad una fluensa di radiazione di $\sim 1.0 \times 10^{16} n_{eq}/cm^2$ il libero cammino medio, alla velocità di saturazione, è di circa **$30 \mu m$ per gli elettroni e $12 \mu m$ per le lacune** (lo spessore di rivelatori attuali è di **$285 \mu m$**)

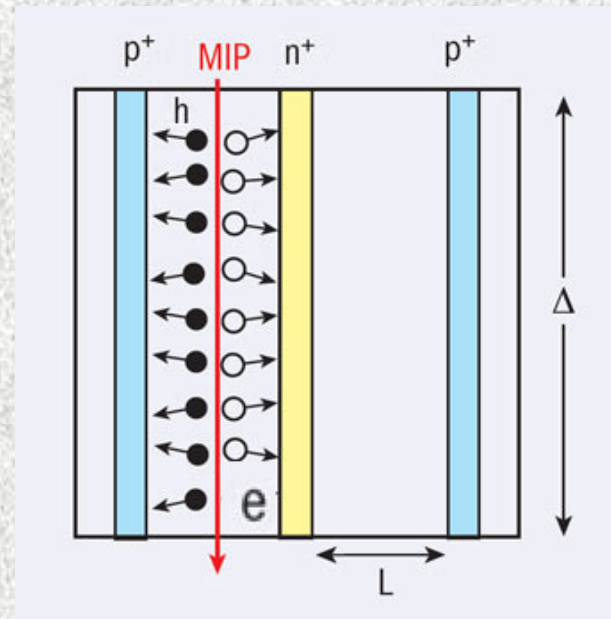
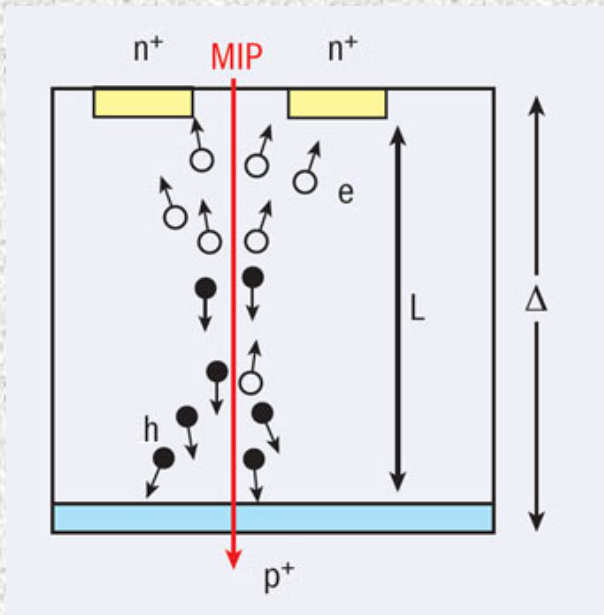
Possibili soluzioni



Rivelatori “planari”:

- Soluzione standard
- Elettrodi paralleli alla superficie
- Ridurre distanza → ridurre spessore
→ valore previsto 150 μm

Possibili soluzioni



Rivelatori “planari”:

- Soluzione standard
- Elettrodi paralleli alla superficie
- Ridurre distanza \rightarrow ridurre spessore \rightarrow valore previsto 150 μm

Rivelatori “3D”:

- Soluzione innovativa
- Elettrodi perpendicolari alla superficie
- Ridurre distanza \rightarrow avvicinare colonne \rightarrow valore previsto 35 – 52 μm

Stato del progetto

- Il problema del pileup verrà affrontato riducendo la dimensione di pixel da $100 \times 150 \mu\text{m}^2$ a $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ o $25 \times 100 \mu\text{m}^2$

Stato del progetto

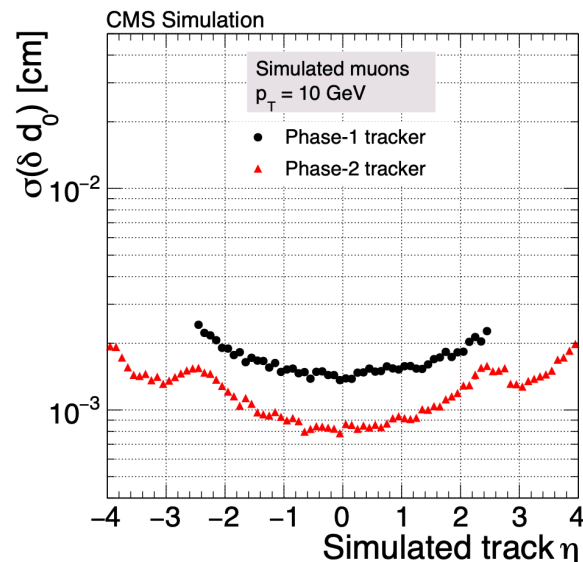
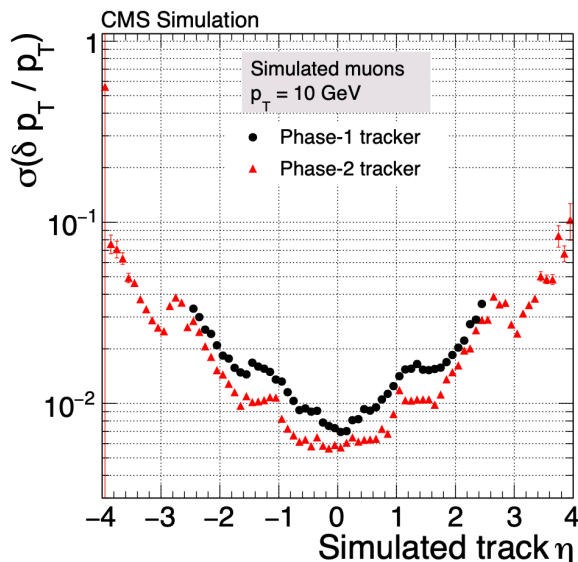
- Il problema del pileup verrà affrontato riducendo la dimensione di pixel da $100 \times 150 \mu\text{m}^2$ a $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ o $25 \times 100 \mu\text{m}^2$
- Il problema dell'irraggiamento verrà affrontato riducendo la distanza tra gli elettrodi a cui viene raccolta la carica: lo spessore previsto dei rivelatori è di $150 \mu\text{m}$

Stato del progetto

- Il problema del pileup verrà affrontato riducendo la dimensione di pixel da $100 \times 150 \mu\text{m}^2$ a $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ o $25 \times 100 \mu\text{m}^2$
- Il problema dell'irraggiamento verrà affrontato riducendo la distanza tra gli elettrodi a cui viene raccolta la carica: lo spessore previsto dei rivelatori è di $150 \mu\text{m}$
- Il primo layer del rivelatore è il più esposto alla radiazione → possibile l'impiego dei rivelatori 3D in cui la distanza tra gli elettrodi è notevolmente ridotta

Stato del progetto

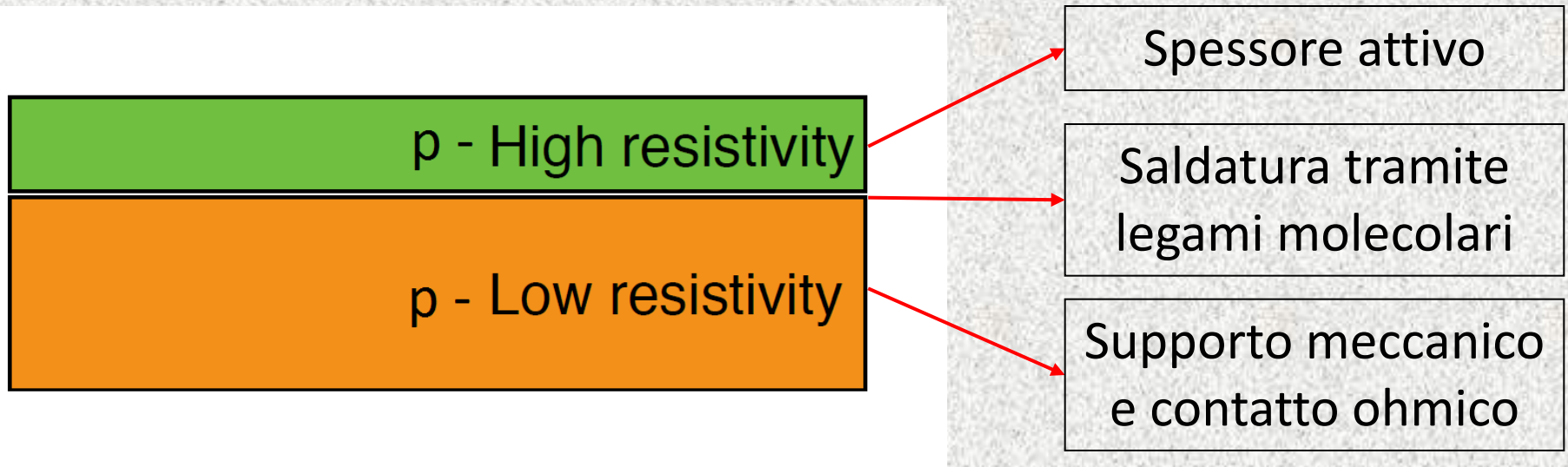
- Il problema del pileup verrà affrontato riducendo la dimensione di pixel da $100 \times 150 \mu\text{m}^2$ a $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ o $25 \times 100 \mu\text{m}^2$
- Il problema dell'irraggiamento verrà affrontato riducendo la distanza tra gli elettrodi a cui viene raccolta la carica: lo spessore previsto dei rivelatori è di $150 \mu\text{m}$
- Il primo layer del rivelatore è il più esposto alla radiazione \rightarrow possibile l'impiego dei rivelatori 3D in cui la distanza tra gli elettrodi è notevolmente ridotta



Un esempio della performance del nuovo tracciatore su dati simulati

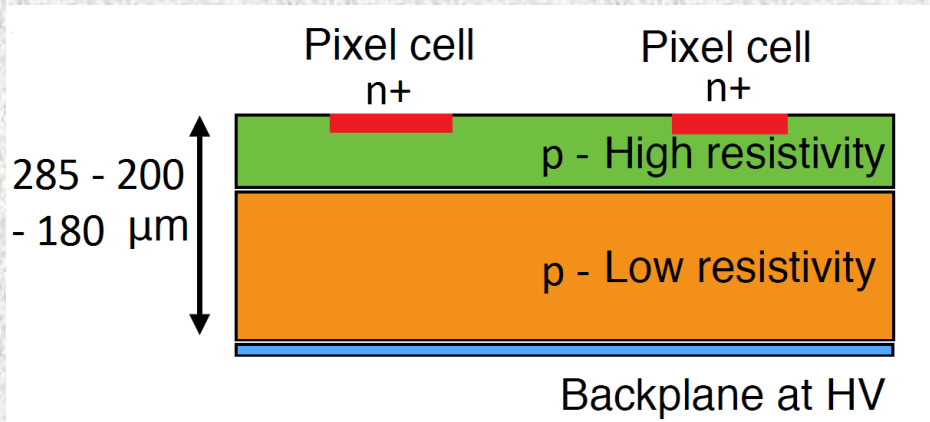
Prototipi

- Prodotti in collaborazione con Fondazione Bruno Kessler (Trento)
- Tipo n+ su p (la raccolta di elettroni nei rivelatori irraggiati è favorita dalla maggiore velocità di movimento)
- Tecnologia di Direct Wafer Bonding (DWB)

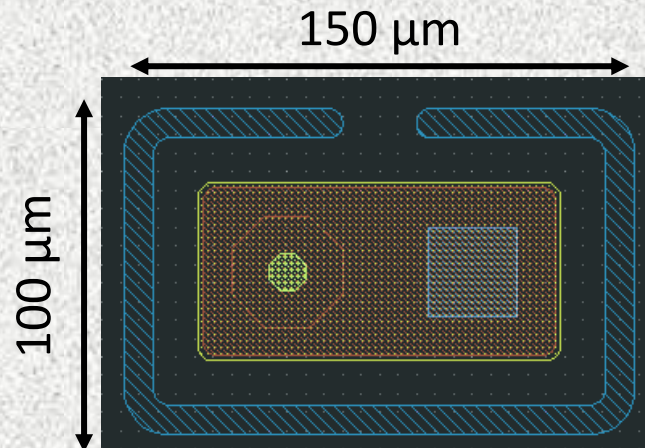


Rivelatori planari

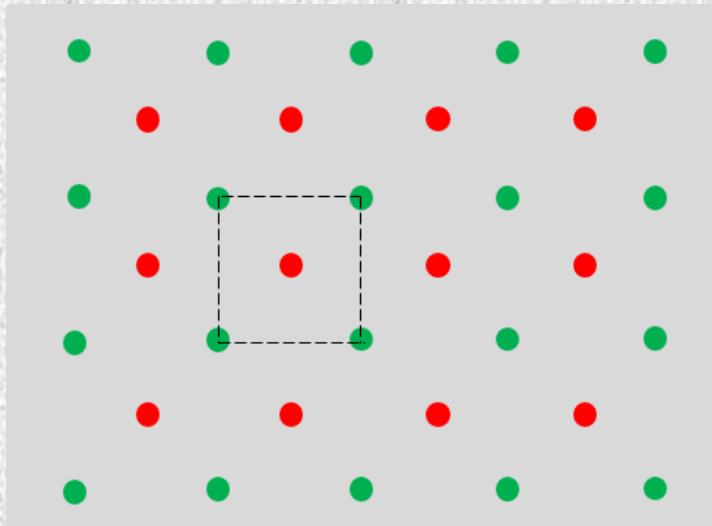
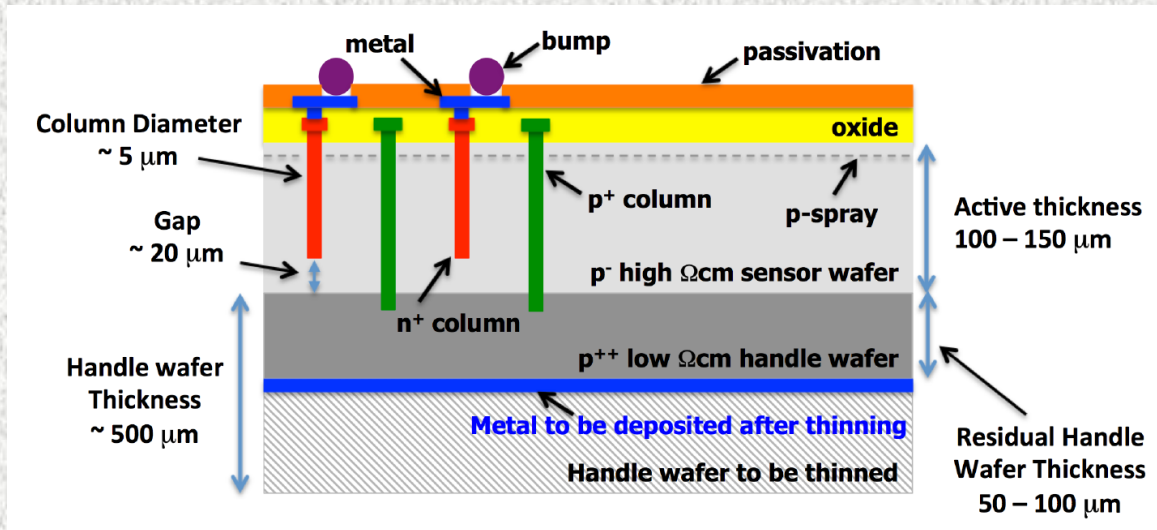
- Sono state prodotte due partite di sensori planari, con spessore differente
- In questi primi prototipi le dimensioni dei pixel sono rimaste invariate



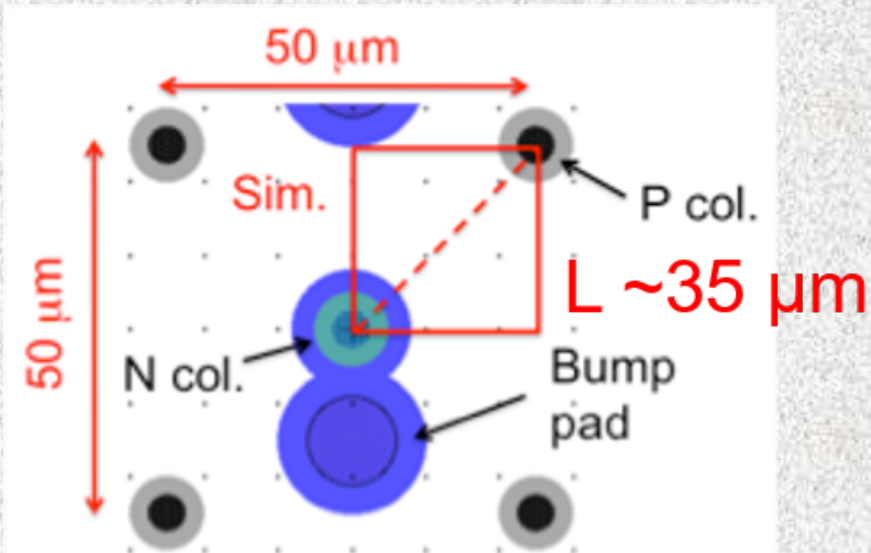
Spessore attivo ridotto a 100 o 130 μm (< 50% dei rivelatori attualmente in uso)



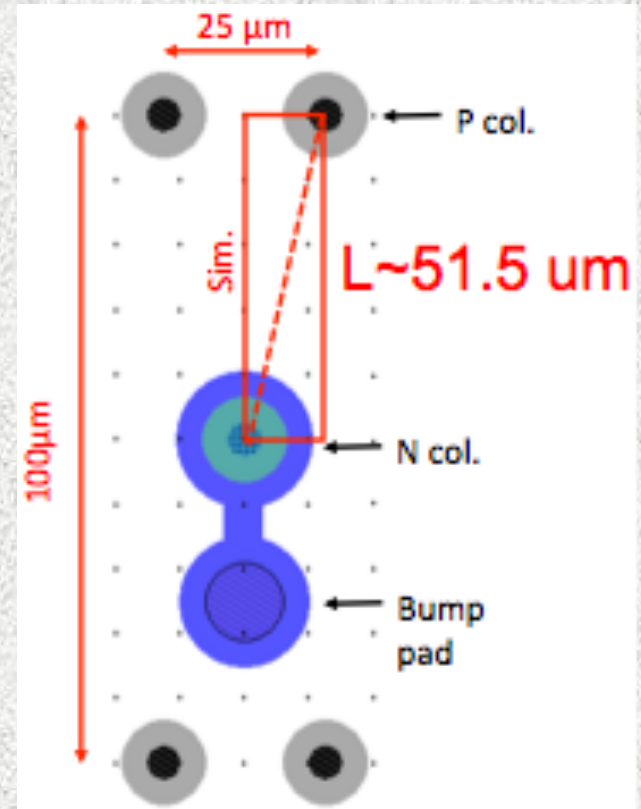
Rivelatori 3D – 1



Rivelatori 3D – 2



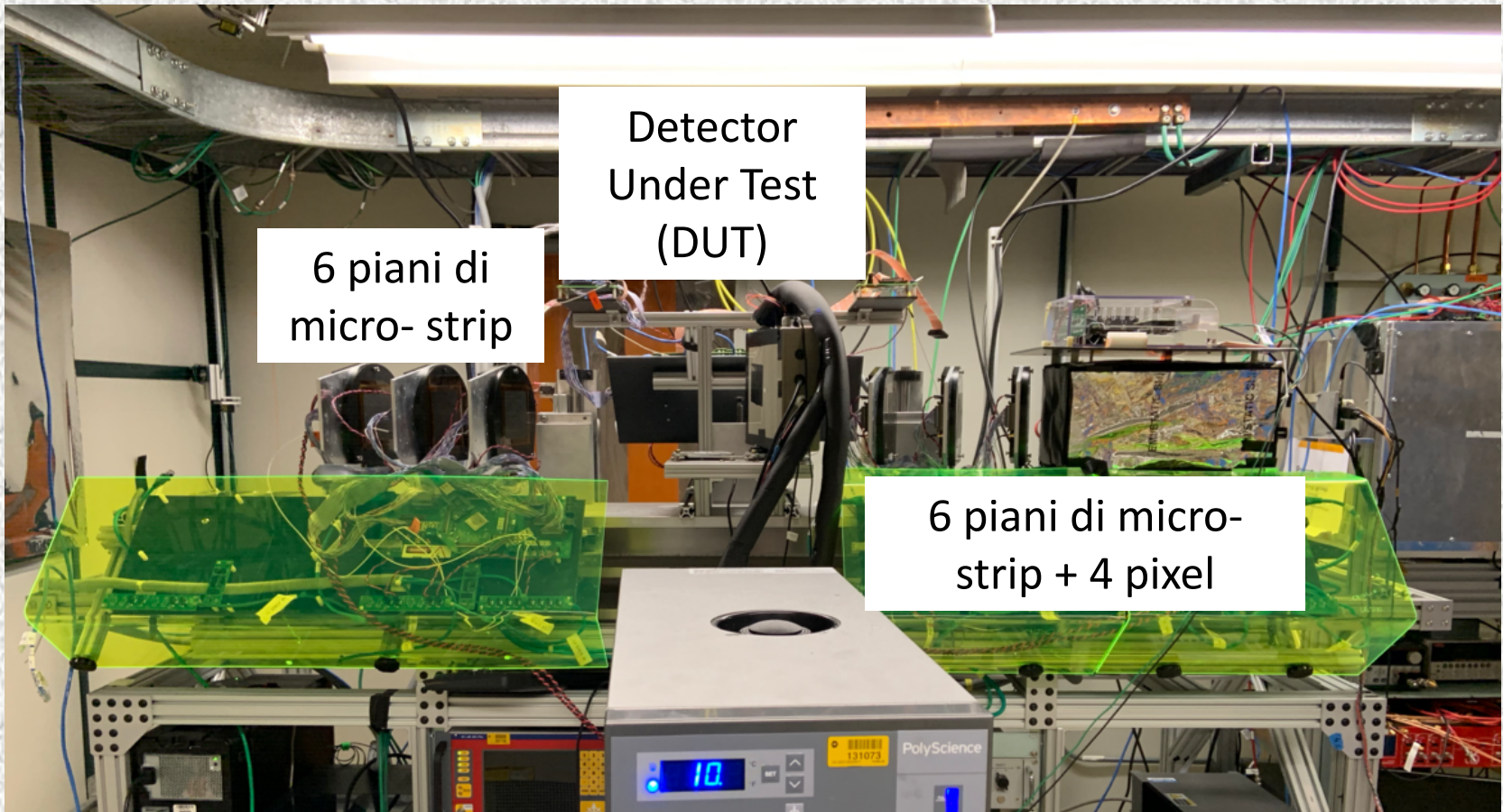
Rivelatore 3D – $50 \times 50 \mu\text{m}^2$



Rivelatore 3D – $25 \times 100 \mu\text{m}^2$

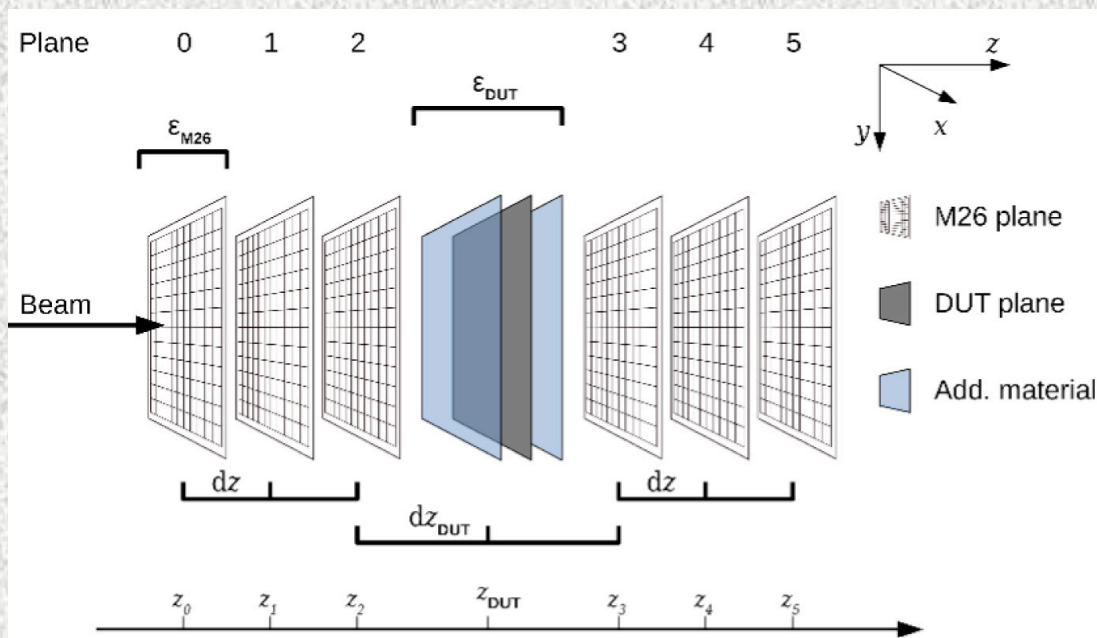
Sono stati successivamente prodotti, e verranno testati appena possibile, sensori planari con pixel di 50×50 e $25 \times 100 \mu\text{m}^2$. La decisione finale sulla dimensione verrà presa in seguito a questi test.

Caratterizzazione dei prototipi – 1

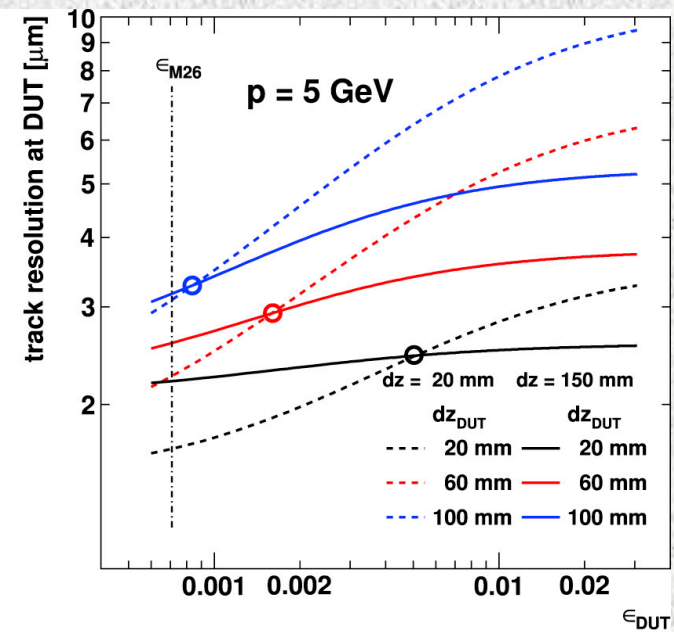


Questo “telescopio” installato presso la Test Beam Facility del Fermilab permette di ricostruire le traiettorie delle particelle incidenti (protoni con energia di 120 GeV) sui DUT con una **precisione migliore di 6 μm** .

Caratterizzazione dei prototipi – 2



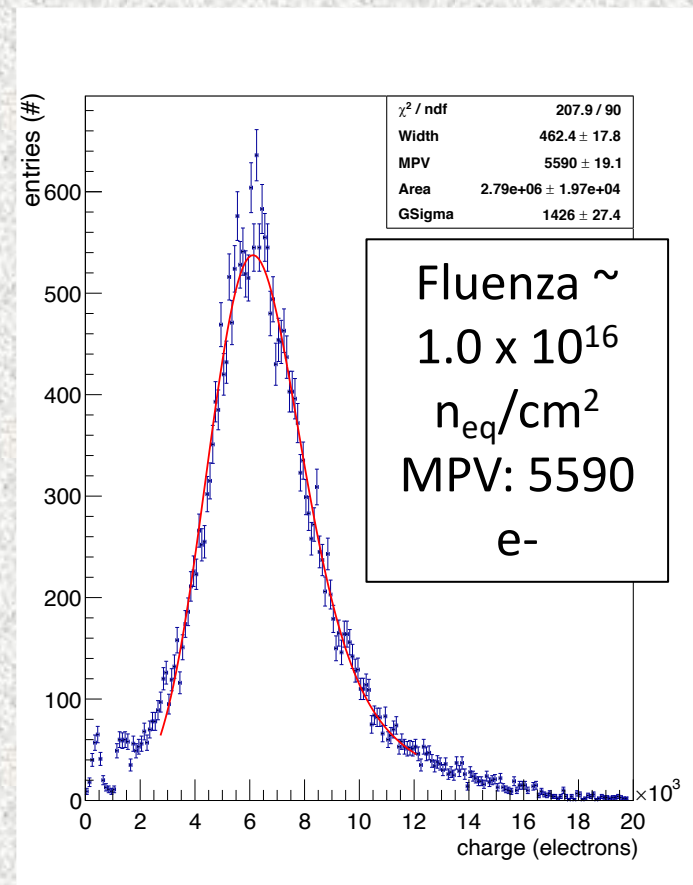
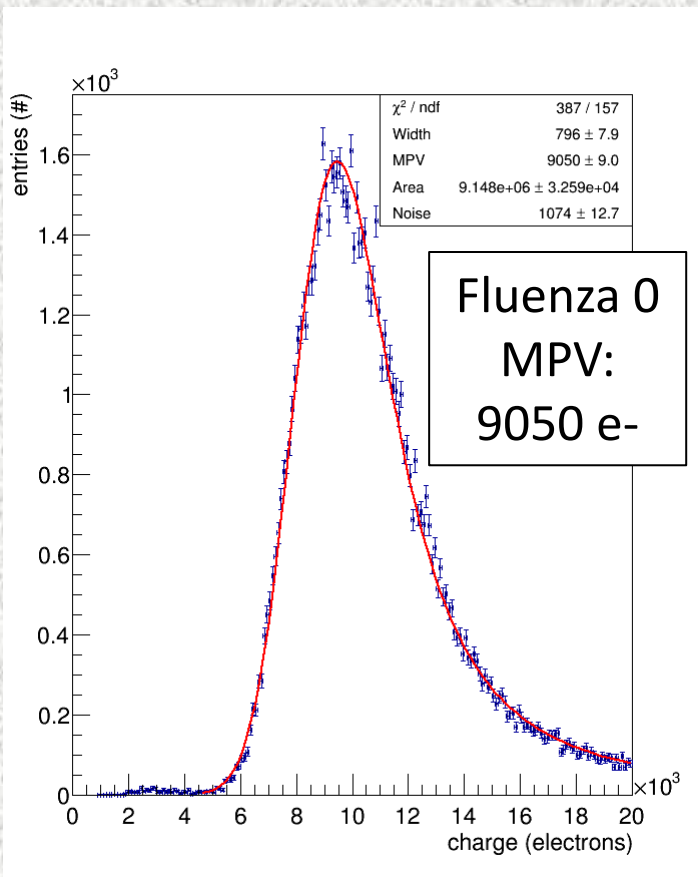
(a) Configuration



(b) Resolution

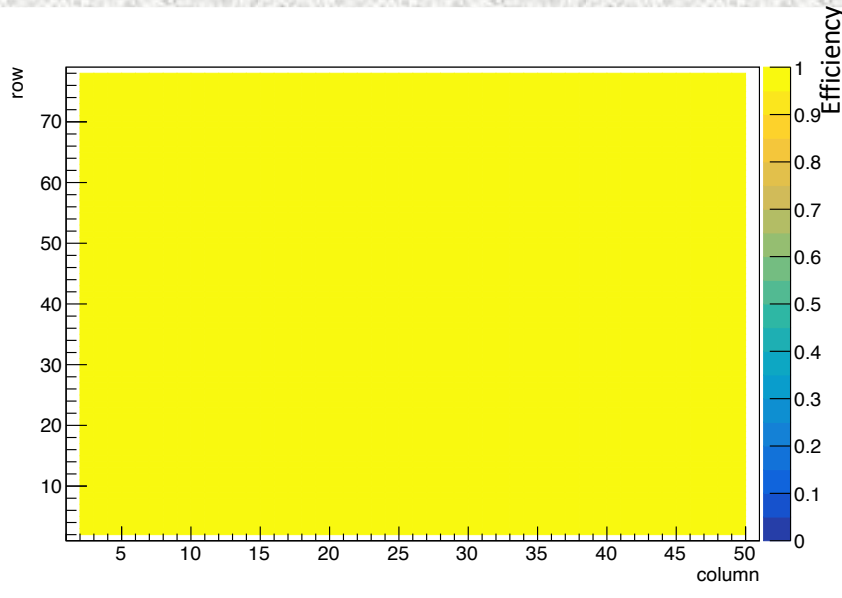
- Il nostro gruppo ha anche contribuito al test di nuovi prototipi al laboratorio DESY di Amburgo.
- In questo caso sono stati utilizzati elettroni con energia di 6 GeV.
- La precisione con cui vengono ricostruite le tracce dipende dalla posizione relativa dei bracci del telescopio e può raggiungere valori **migliori di 3 μm**

Carica raccolta

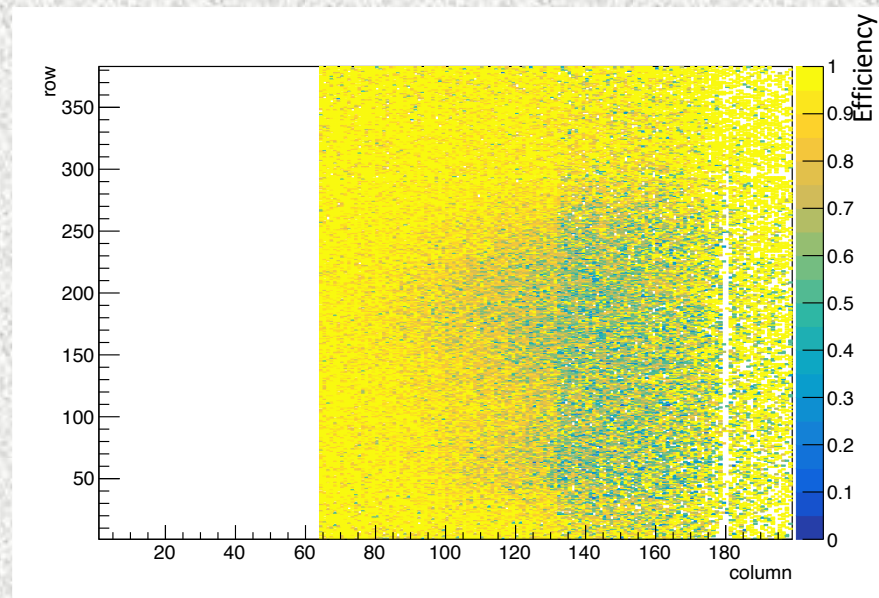


- Generalmente espressa in elettroni
- Dipende dallo spessore del rivelatore e dalla tensione applicata
- Il valore di riferimento è il Most Probable Value (MPV) ottenuto fittando la distribuzione con una **Landau** convoluta una gaussiana

Efficienza – 1



Rivelatore non irraggiato



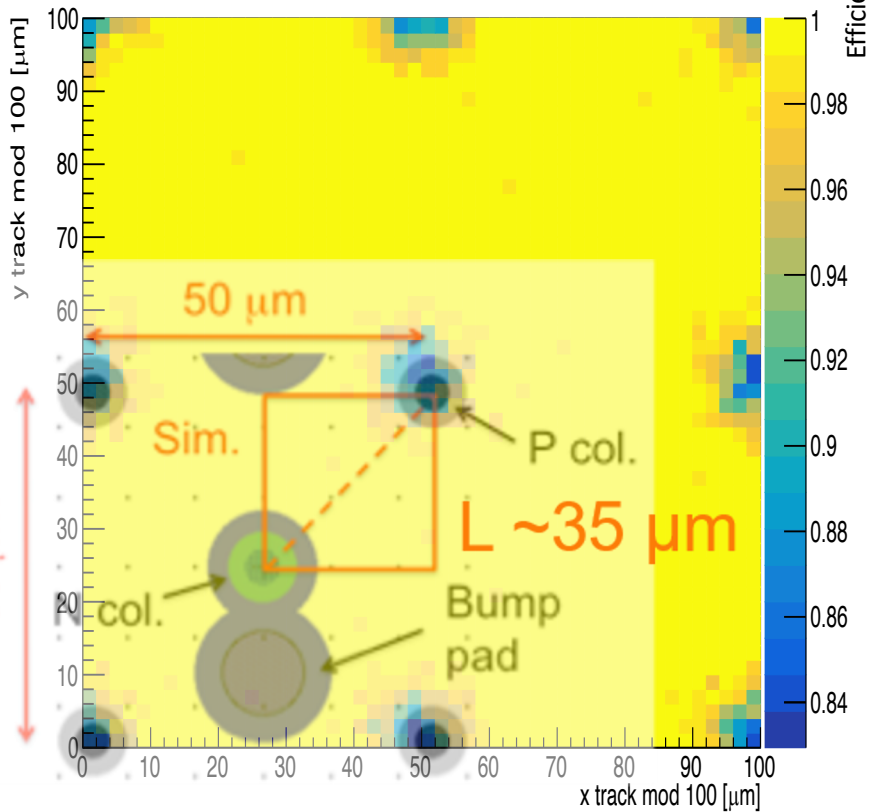
Rivelatore irraggiato (Fluenza $\sim 1.0 \times 10^{16}$ n_{eq}/cm²)
È chiaramente visibile il profilo del fascio con cui il rivelatore è stato irraggiato

$$\text{efficienza} = \frac{\text{Numero di tracce incidenti sul DUT a cui è associato un hit}}{\text{Numero di tracce incidenti sul DUT}}$$

- In un rivelatore nuovo ci si aspetta un valore vicino 99.9%
- L'efficienza diminuisce dopo l'irraggiamento

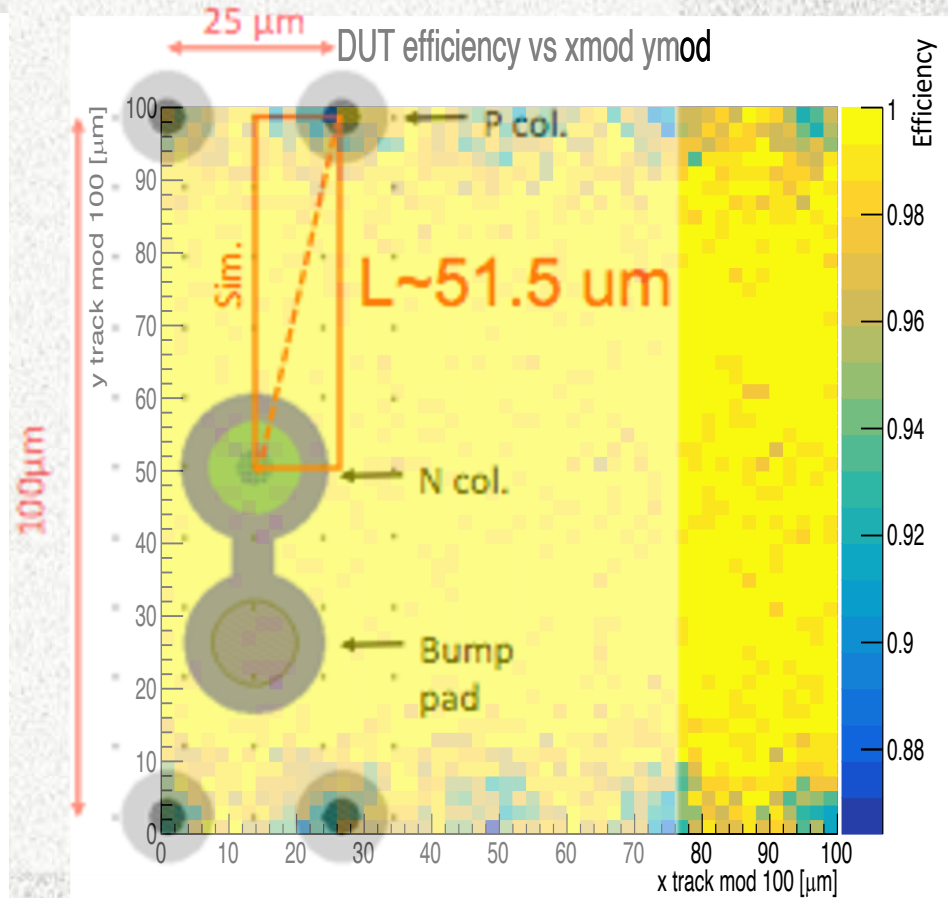
Efficienza – 2

DUT efficiency vs xmod ymod



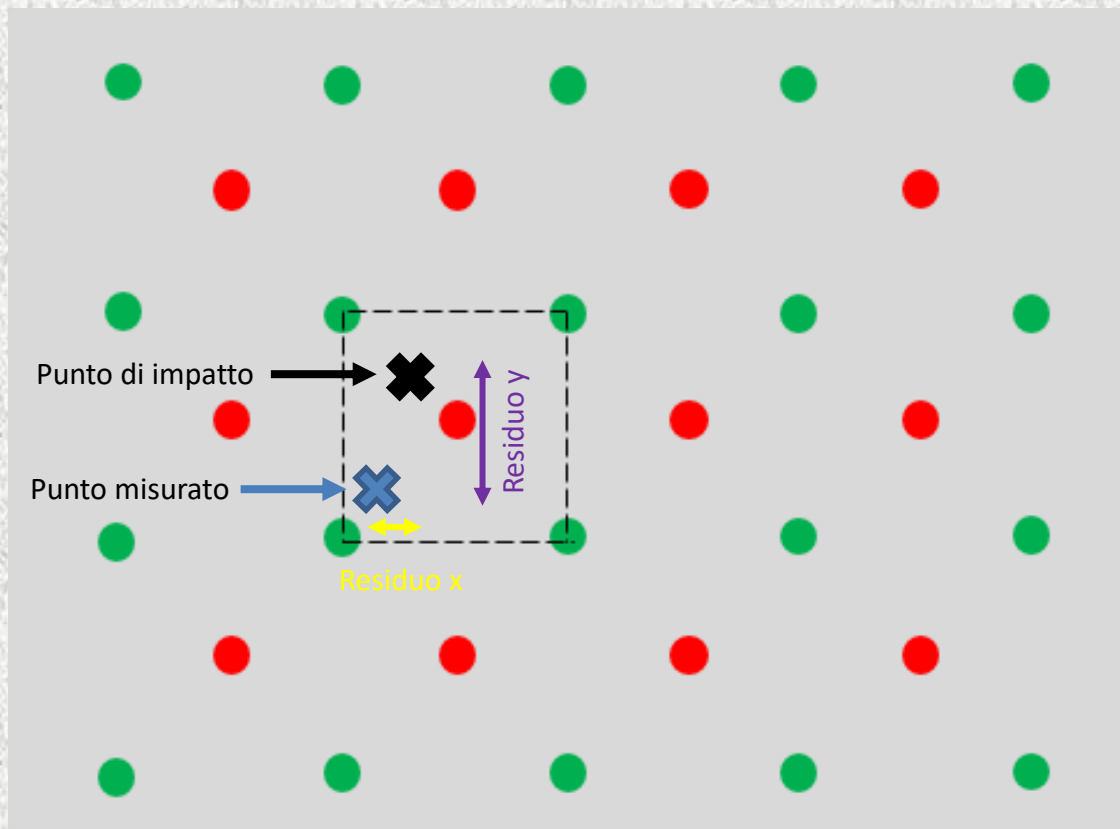
Rivelatore 3D – $50 \times 50 \mu\text{m}^2$

DUT efficiency vs xmod ymod



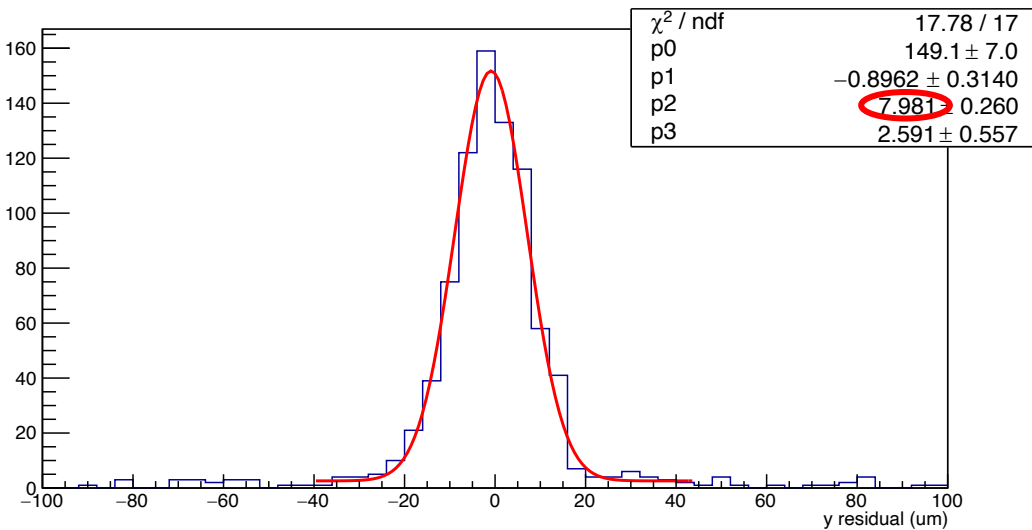
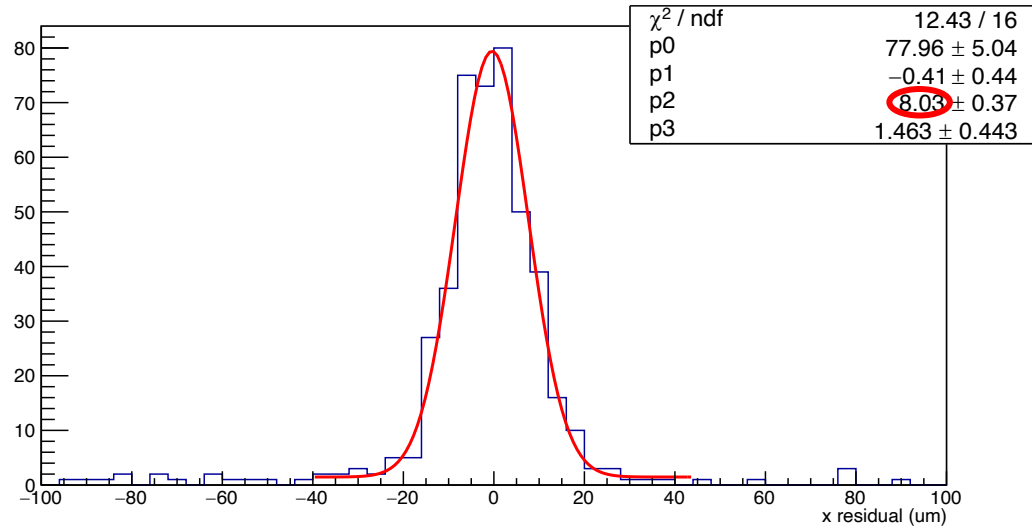
Rivelatore 3D – $25 \times 100 \mu\text{m}^2$

Risoluzione



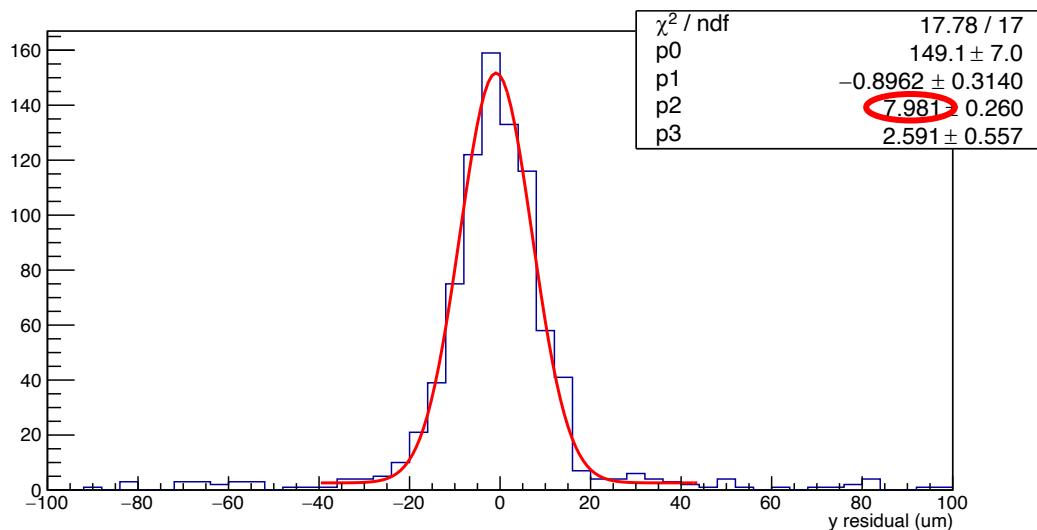
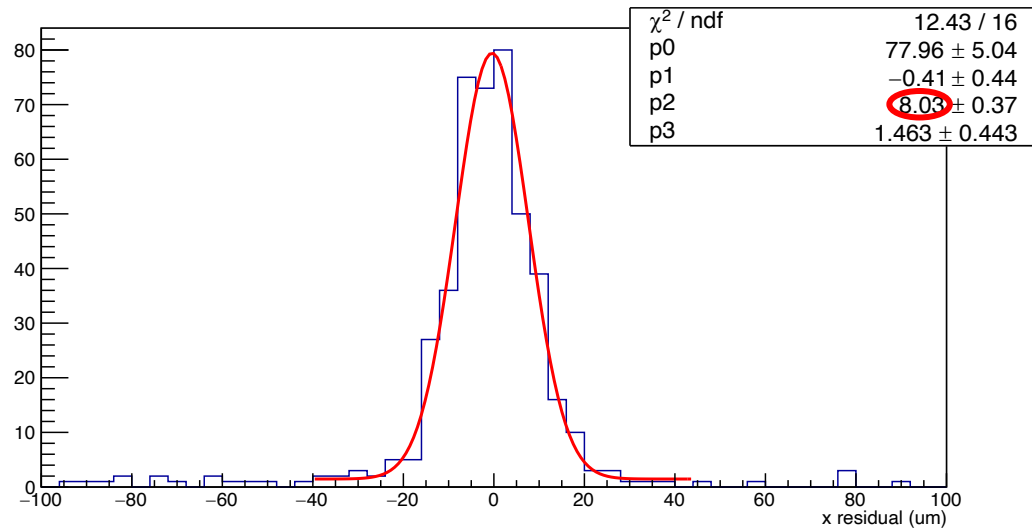
- Si definisce residuo la differenza tra le coordinate del punto di impatto di una traccia sul DUT e il punto misurato

Risoluzione



- Si definisce residuo la differenza tra le coordinate del punto di impatto di una traccia sul DUT e il punto misurato
- La RMS della distribuzione dei residui è utilizzata per stimare la risoluzione

Risoluzione



- Si definisce residuo la differenza tra le coordinate del punto di impatto di una traccia sul DUT e il punto misurato
- La RMS della distribuzione dei residui è utilizzata per stimare la risoluzione
 - La risoluzione del telescopio viene sottratta a questa RMS per ottenere la risoluzione del DUT

Conclusioni e prospettive

- Il gruppo di Milano – Bicocca è fortemente coinvolto nelle attività di ricerca e sviluppo dei rivelatori a pixel di CMS per HL – LHC (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900219315074>)
- I rivelatori 3D dai noi testati sono risultati finora quelli più performanti tra i progetti attualmente in corso
- Le attività di ricerca e sviluppo continueranno per almeno un anno in modo da fornire dati solidi per la scelta delle dimensioni dei rivelatori e dell'impiego dei rivelatori 3D nel primo layer.
- La strada verso HL – LHC è lunga e piena di opportunità!

Conclusioni e prospettive

- Il gruppo di Milano – Bicocca è fortemente coinvolto nelle attività di ricerca e sviluppo dei rivelatori a pixel di CMS per HL – LHC (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900219315074>)

- I riv...
- Le a...
- in m...
- riv...
- La s...



anno
ei