

ITS3: un innovativo tracciatore di silicio ultrasottile e flessibile per l'Esperimento ALICE

Anna Villani - Università e INFN Trieste

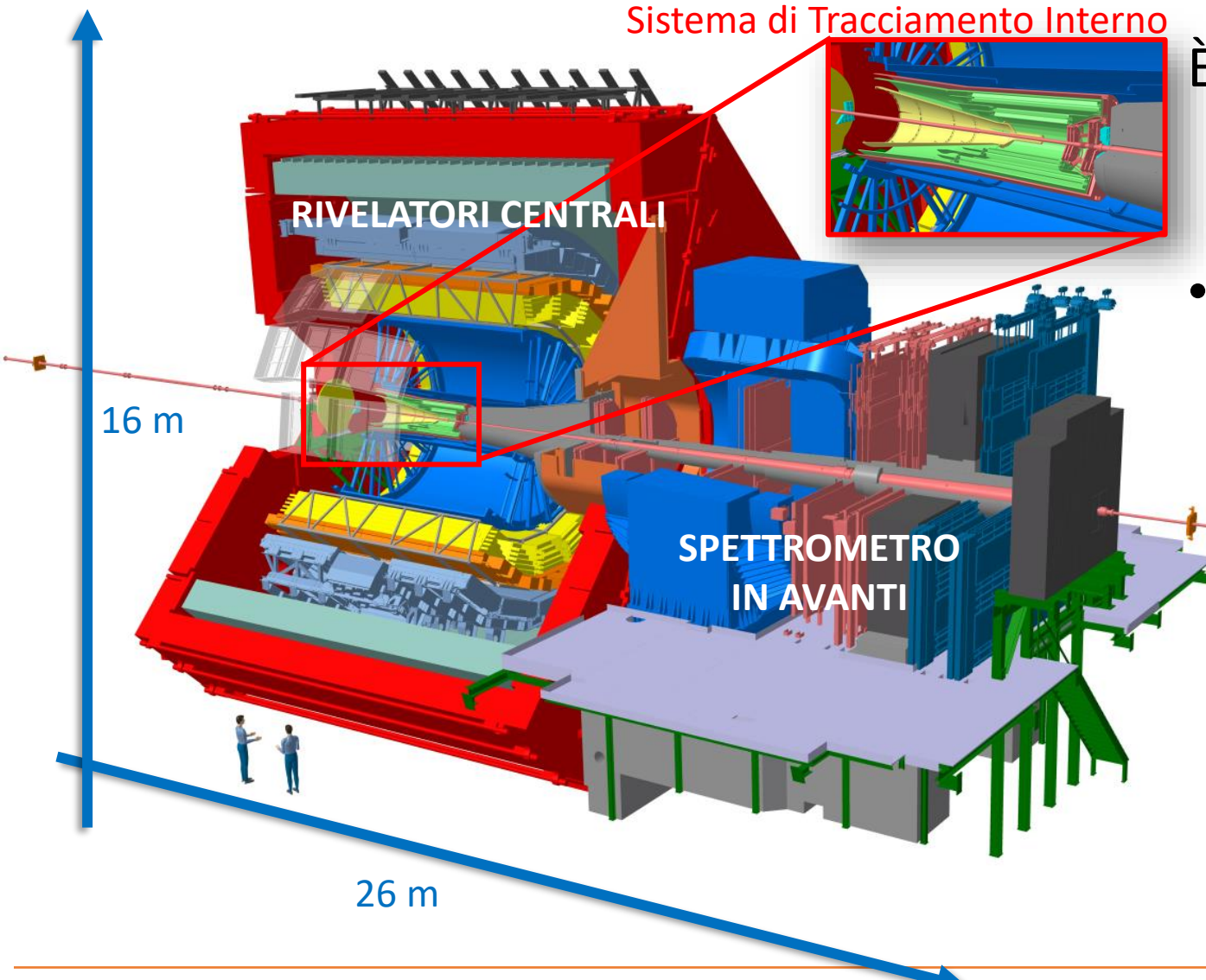
IFAE 2023, Catania



ALICE

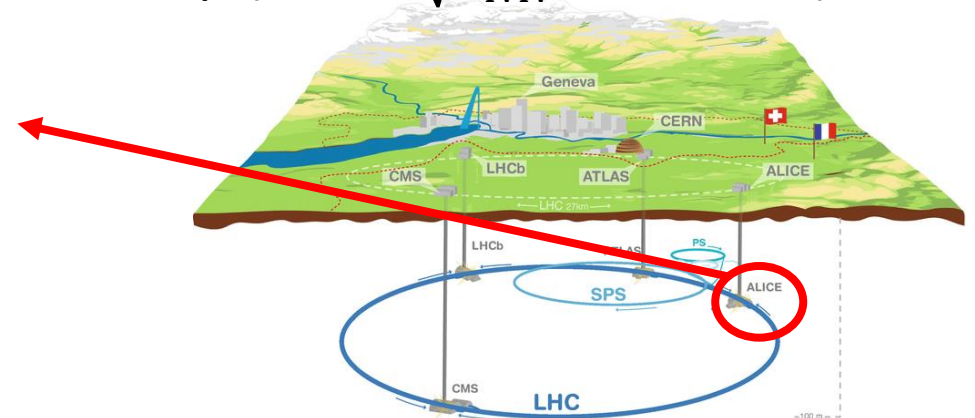


L'Esperimento ALICE a LHC



È composto da diversi sotto-rivelatori:

- Corpo centrale
- Spettrometro muonico in avanti
- Studia le particelle prodotte nelle collisioni:
 - Pb–Pb (fino a $\sqrt{s_{NN}} = 5.36$ TeV)
 - pp (fino a $\sqrt{s} = 13.6$ TeV)
 - Pb–p (fino a $\sqrt{s_{NN}} = 8.0$ TeV)

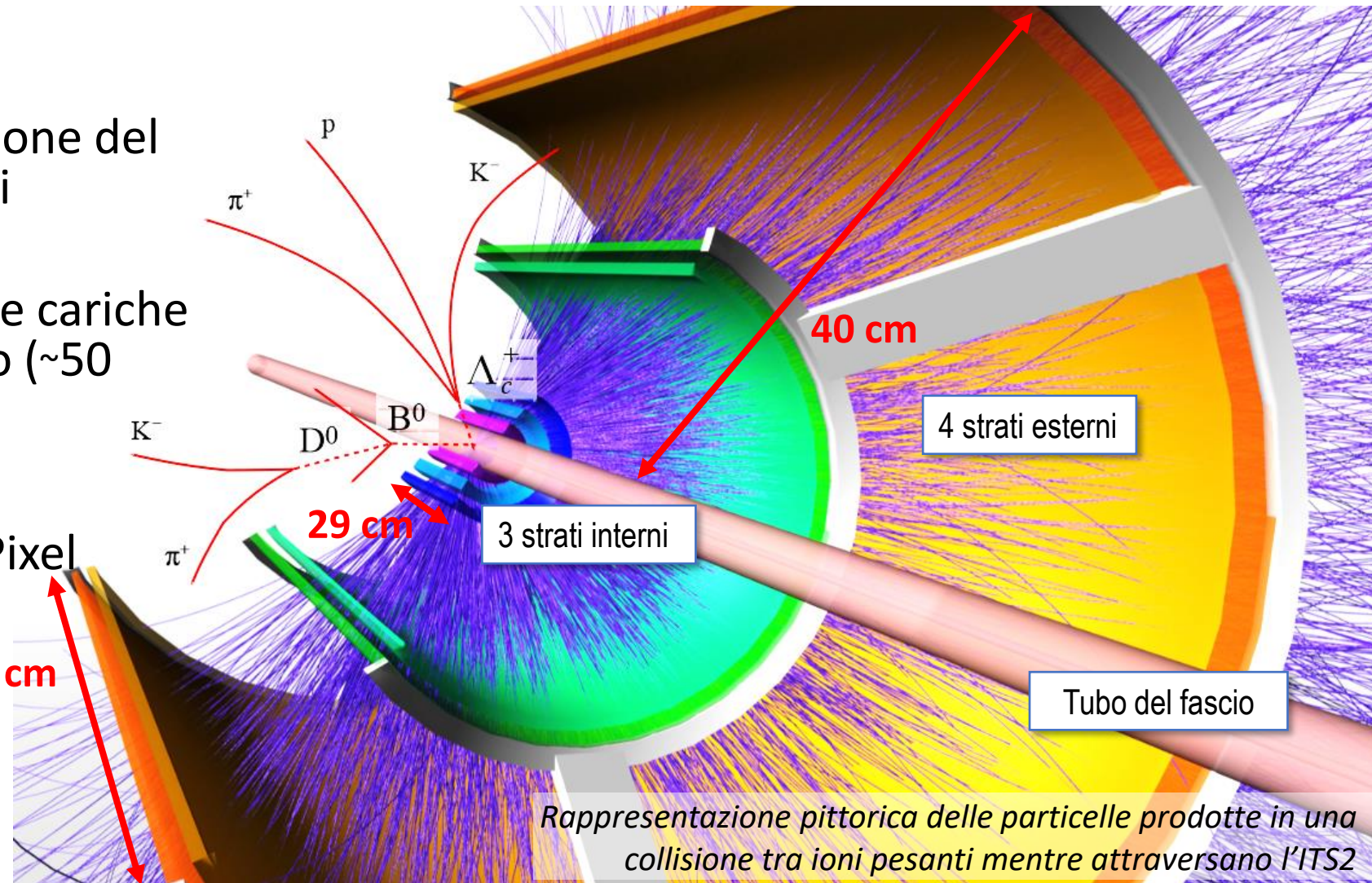


Funzioni dell'ITS:

- Ricostruzione e discriminazione del vertice primario e dei vertici secondari di decadimento
- Tracciamento delle particelle cariche fino a bassi valori di impulso (~ 50 MeV/c)

Caratteristiche dell'ITS2:

- **7 strati** basati su Sensori a Pixel Monolitici Attivi (**MAPS**)
- 10 m^2 di area attiva **147 cm**
- **12.5 Gpixel**
- Raggio più interno 22.4 mm



La tecnologia MAPS

ITS2, 24mila Sensori in silicio a Pixel Monolitici Attivi (MAPS), gli ALPIDE:

- area di $3.0 \times 1.5 \text{ cm}^2$
- matrice di 500mila pixel

L'ITS2 durante la fase di installazione

ITS2: 24mila Sensori in silicio a Pixel Monolitici Attivi (MAPS)

Circuiteria di lettura:

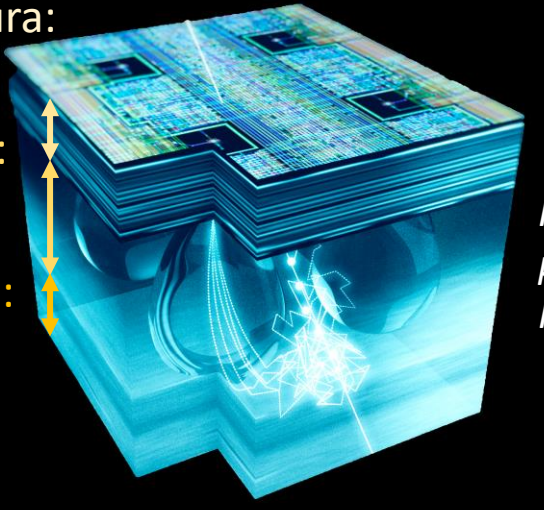
11 μm

Strato attivo:

15 μm

Substrato:

24 μm



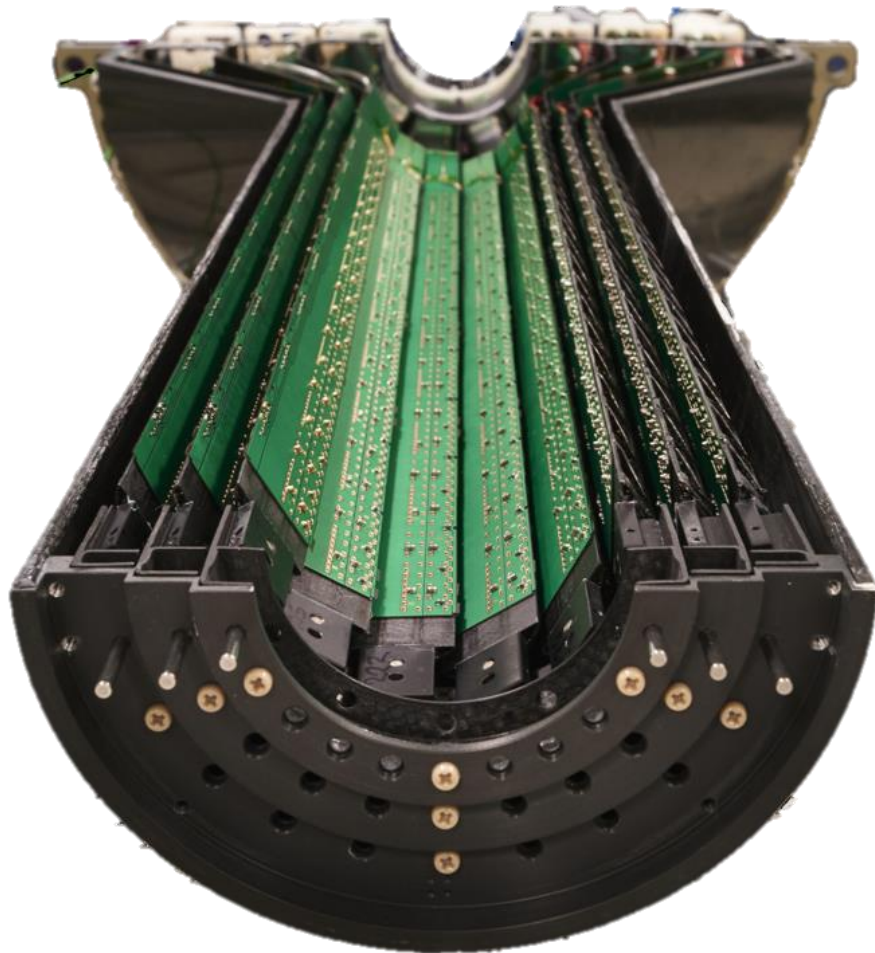
*Rappresentazione
pittorica di 4 pixel
MAPS*

- Logica di lettura e volume sensibile in un **unico cristallo** di silicio
- Circuiteria **CMOS completa** all'interno del pixel
- **Spessore ridotto** (30-50 μm)

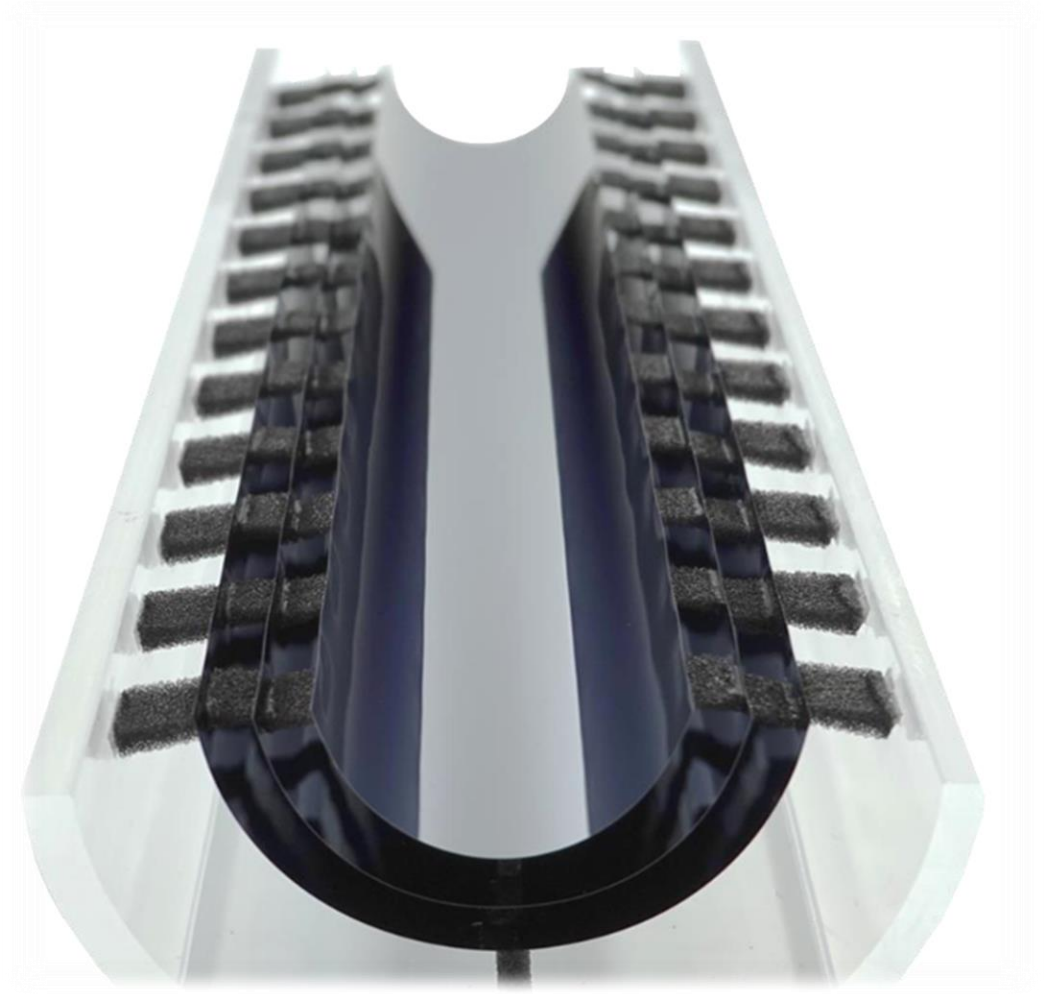
L'ITS2 durante la fase di installazione

L'aggiornamento da ITS2 a ITS3

Strati interni dell'ITS2



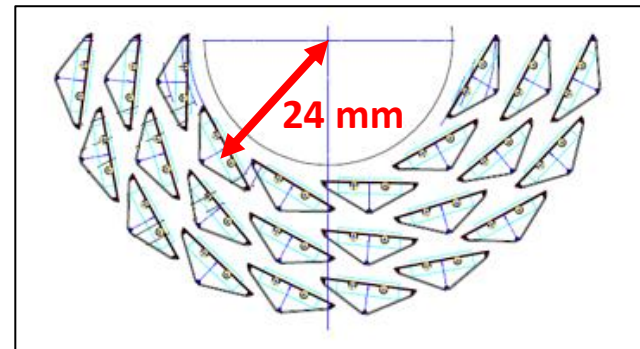
Modello dell'ITS3



L'aggiornamento da ITS2 a ITS3

Strati interni dell'ITS2

Modello dell'ITS3



Metà sezione dei tre strati interni dell'ITS2



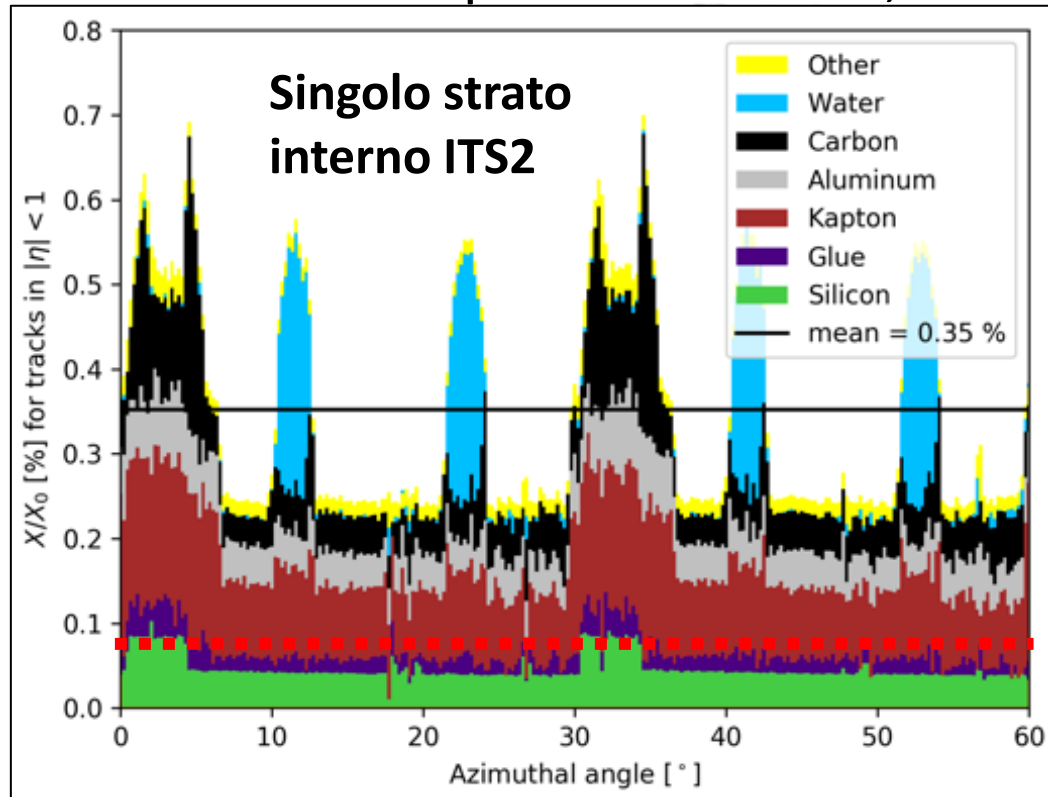
Metà sezione dei tre strati interni del modello di ITS3

Caratteristiche dell'ITS3:

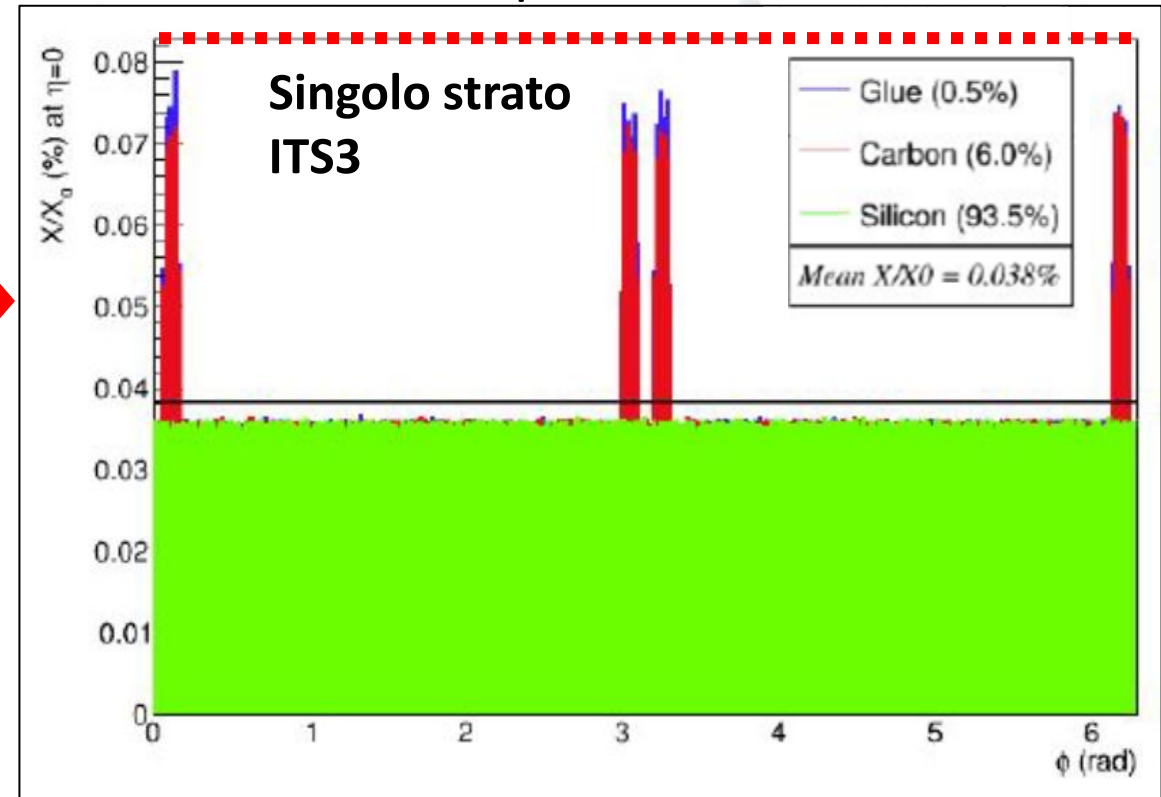
- Eliminazione della struttura segmentata facendo uso di **sensori flessibili e di grande area**
- Riduzione dello spessore massico introdotto ($0.3\% \rightarrow 0.05\% X_0/\text{strato}$) e della distanza dal punto di interazione ($24 \rightarrow 18 \text{ mm}$)

L'aggiornamento da ITS2 a ITS3

Contributi allo spessore massico, ITS2



Contributi allo spessore massico, ITS3



I sensori MAPS per l'ITS3:

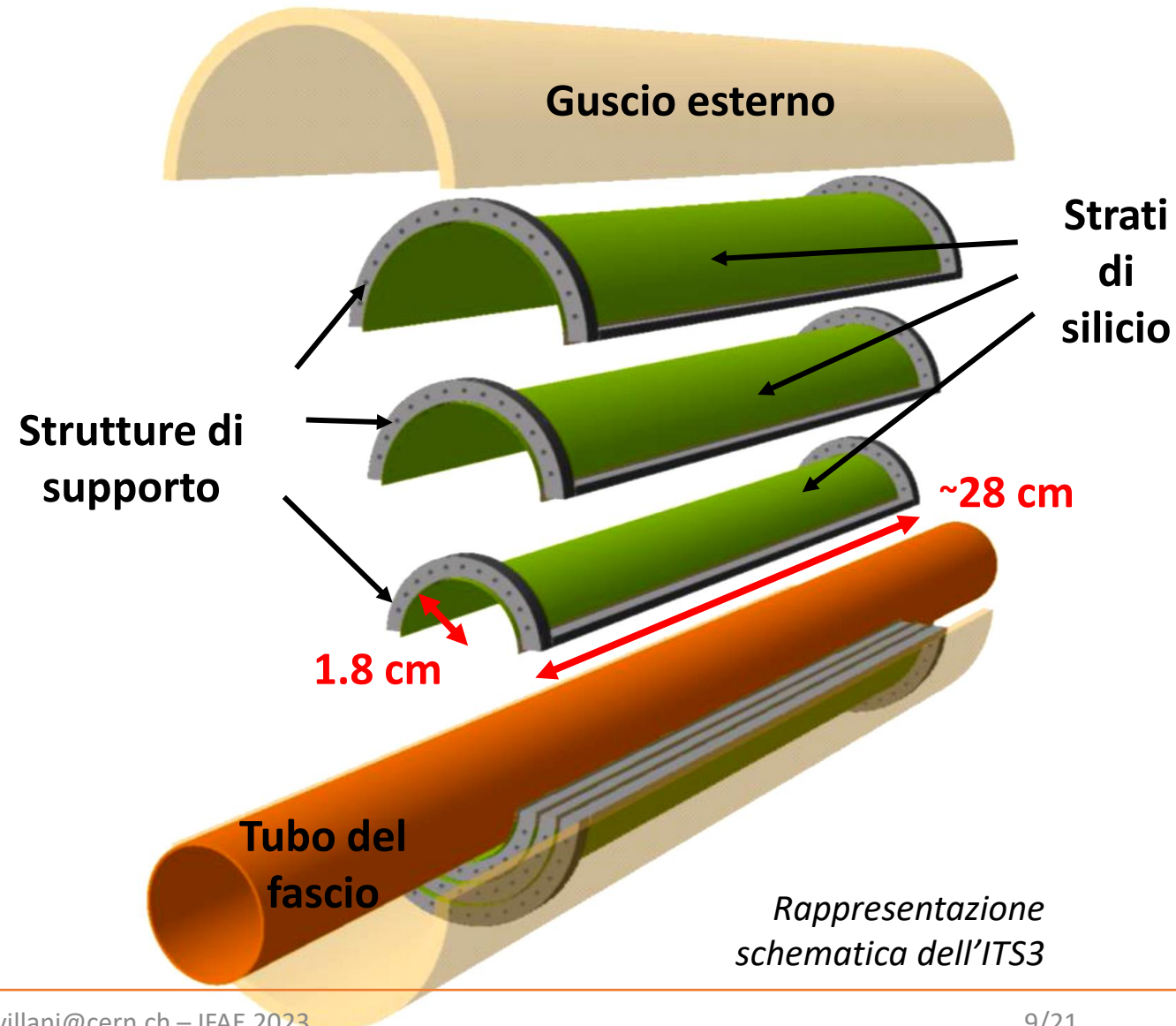
- **Grande area** (fino a $28.0 \times 9.4 \text{ cm}^2$)
- **Curvati** (raggio min. 18 mm, ITS2: 22.4 mm)
- **Ultra-sottili** (20-40 μm , ITS2: 50 μm)

Miglioramenti delle prestazioni:

- Efficienza di tracciamento
- Risoluzione di traccia (fattore 2x)

Importanti ricadute sul programma di fisica di ALICE, basato su:

- Tracciamento fino a bassi valori di impulso
- Ricostruzione dei vertici secondari



I sensori MAPS per l'ITS3:

- Grande area (fino a $28.0 \times 9.4 \text{ cm}^2$)
- Curvati (raggio min. 18 mm, ITS2: 22.4 mm)
- Ultra-sottili (20-40 μm , ITS2: 50 μm)

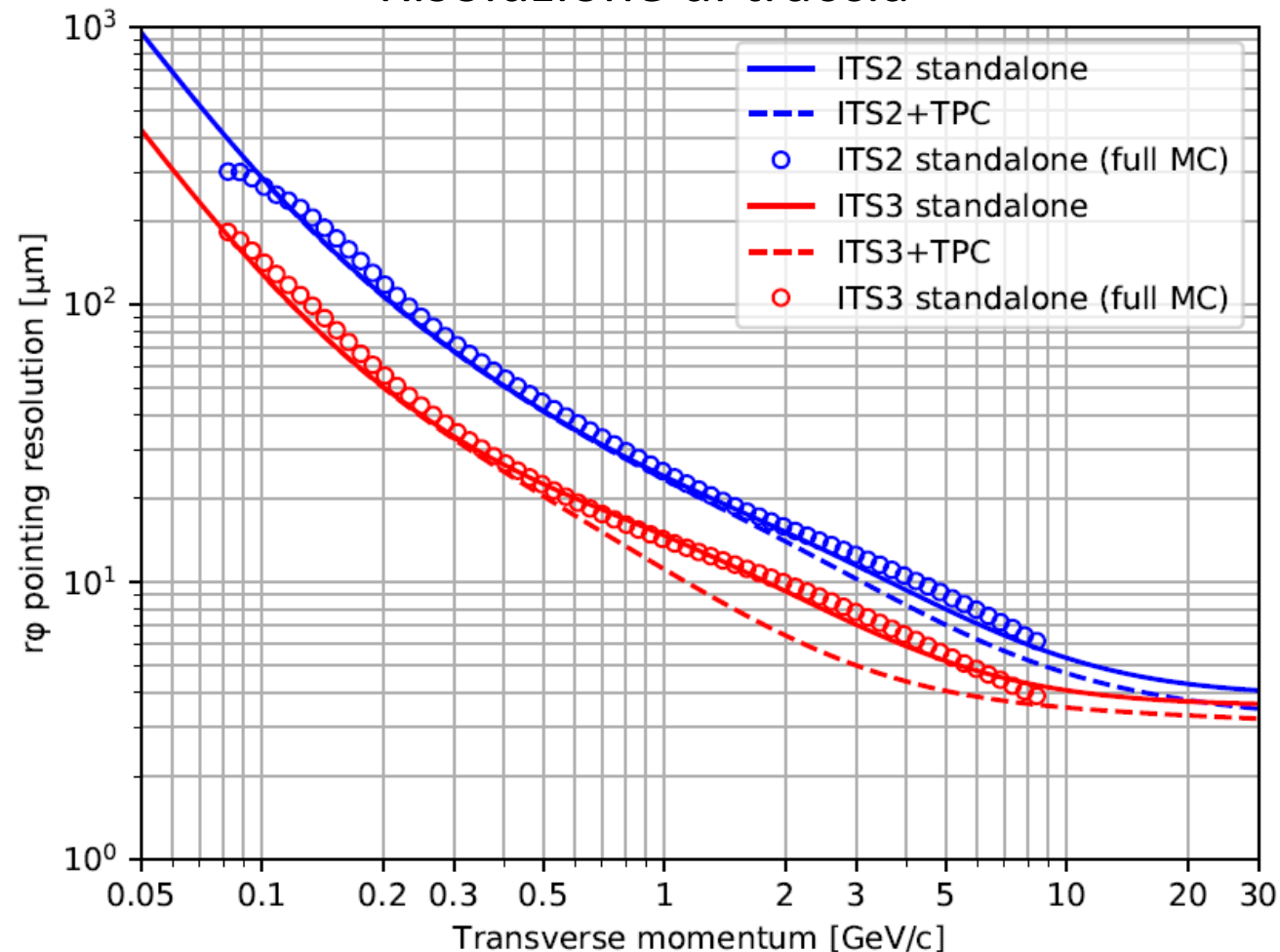
Miglioramenti delle prestazioni:

- Efficienza di tracciamento
- Risoluzione di traccia (fattore 2 \times)

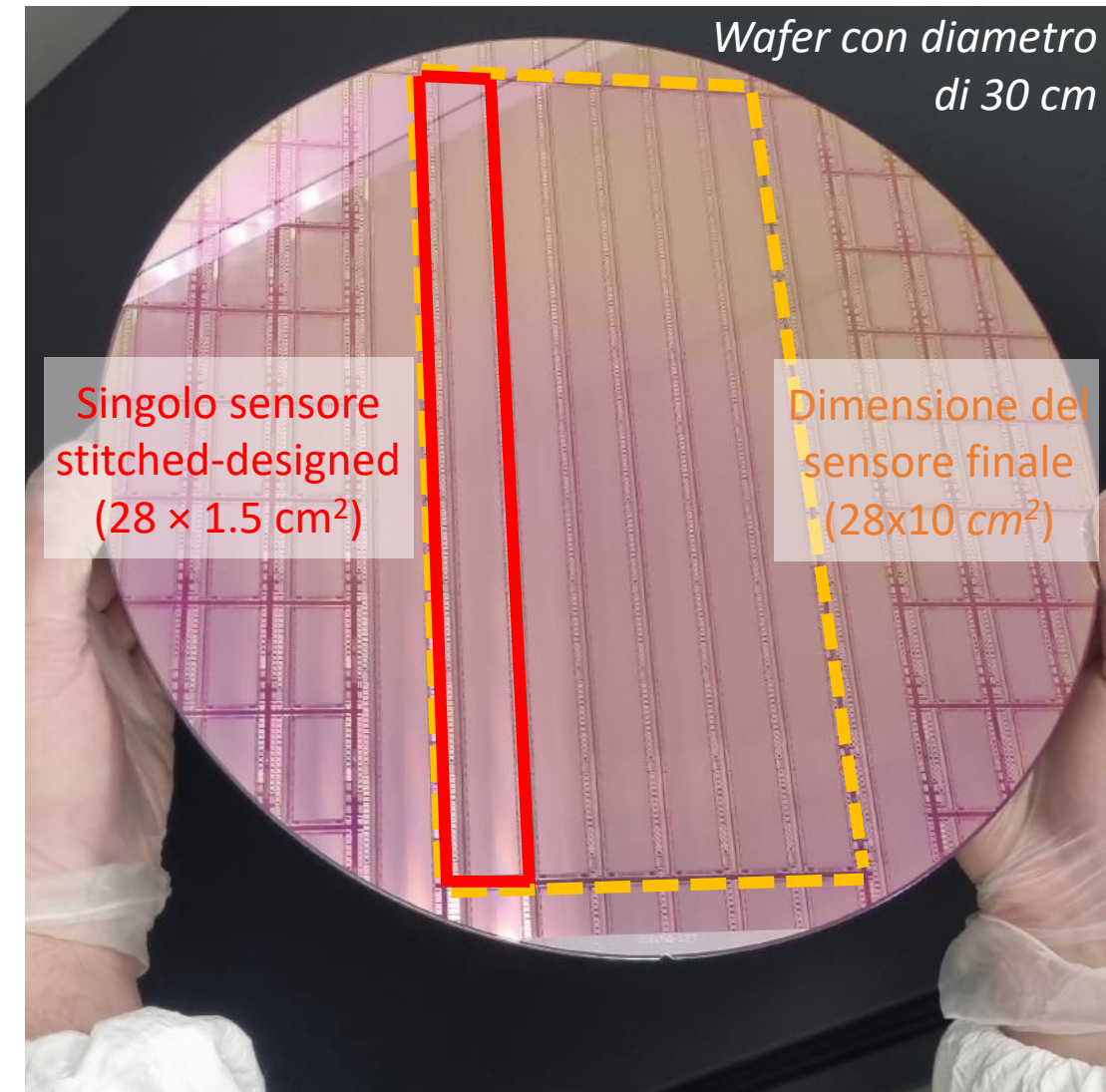
Importanti ricadute sul programma di fisica di ALICE, basato su:

- Tracciamento fino a bassi valori di impulso
- Ricostruzione dei vertici secondari

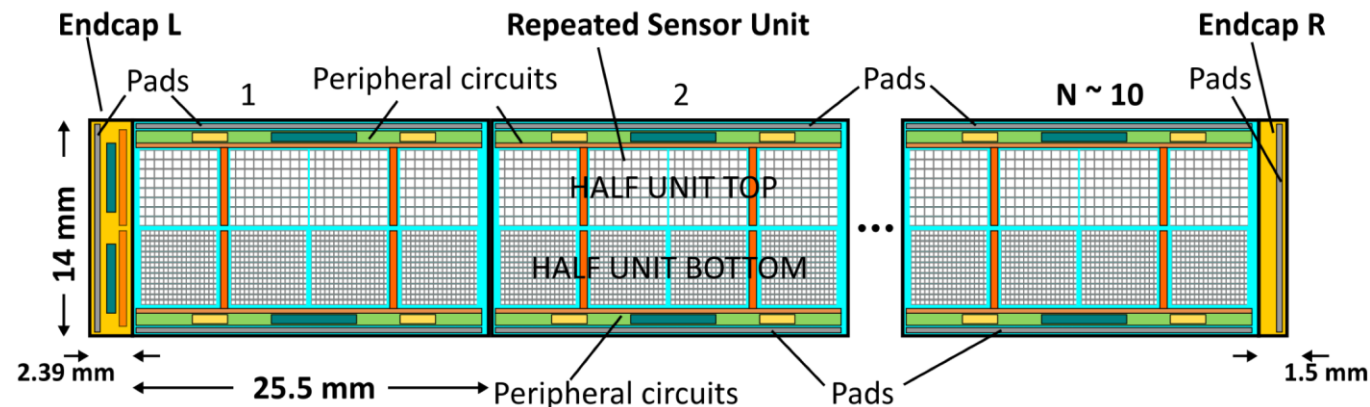
Risoluzione di traccia



Nuove sfide tecnologiche per l'ITS3



- **Processo CMOS a 65 nm:** realizzate diverse strutture di test per validarne le funzionalità
- **Stitching,** ossia ripetizione e concatenamento dell'unità funzionale del sensore: primi sensori stitched in produzione



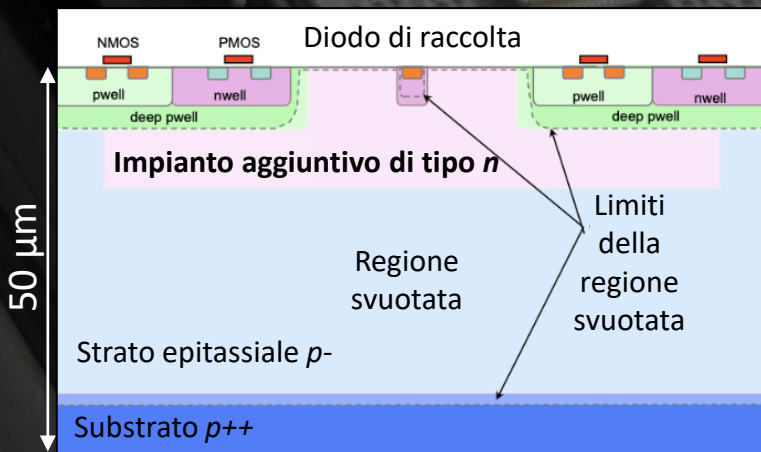
Rappresentazione schematica di un sensore realizzato con la tecnica dello stitching



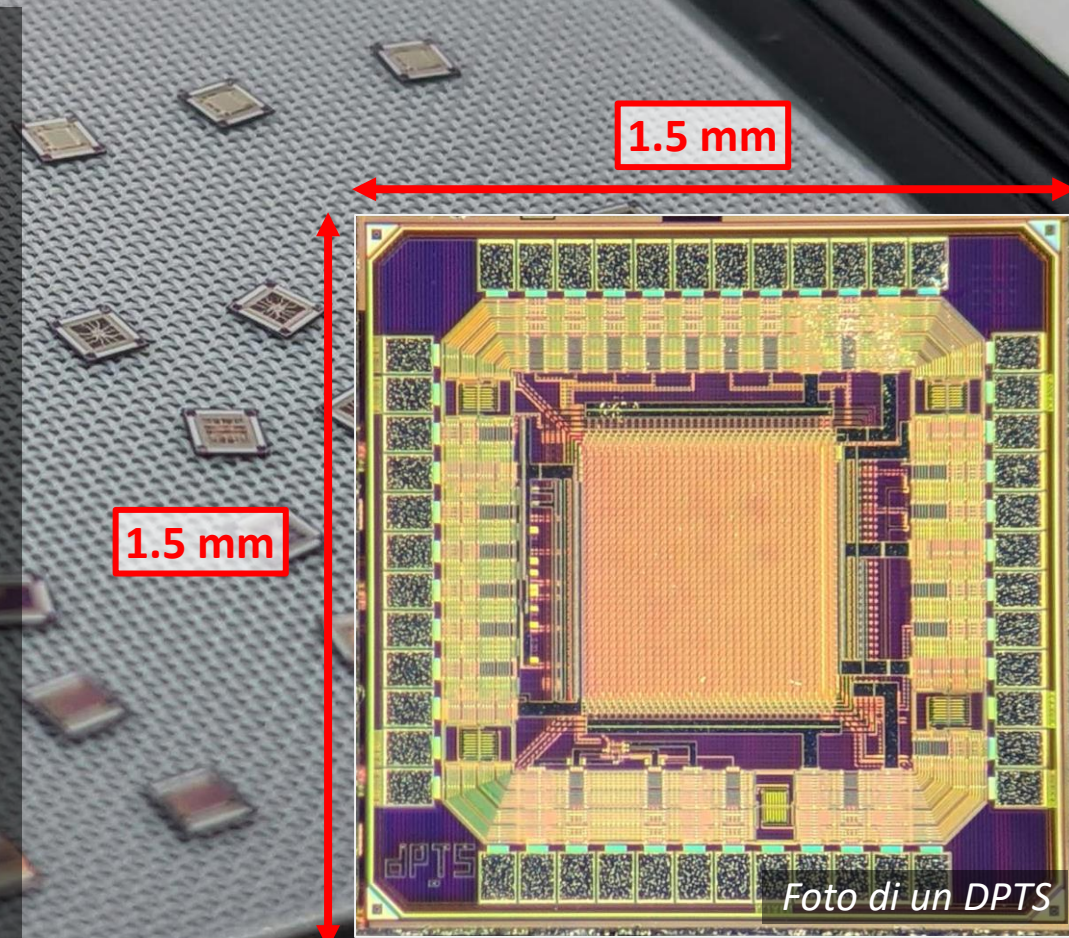
Strutture di test realizzate per validare il processo CMOS a 65 nm

Caratteristiche:

- Matrice di $0.5 \times 0.5 \text{ mm}^2$
- 32×32 pixel
- Spessore di $50 \mu\text{m}$
- Impianto aggiuntivo di tipo $n \rightarrow$ svuotamento completo, raccolta della carica più veloce, uniforme e efficiente



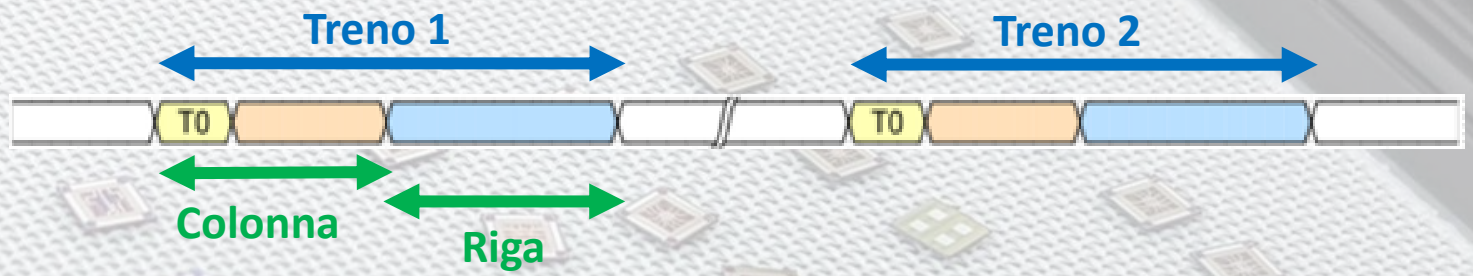
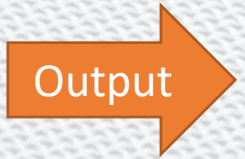
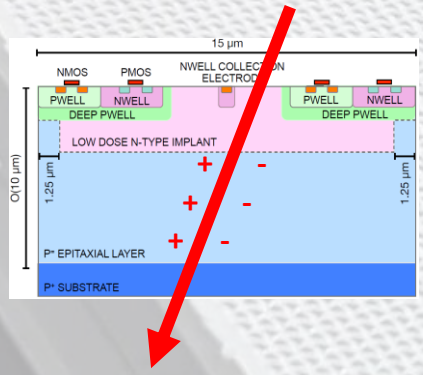
Sezione di un pixel di tipo MPAS



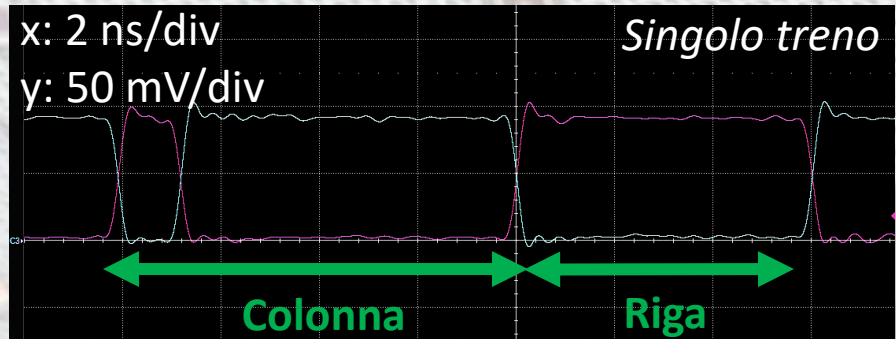
"Digital Pixel Test Structures implemented in a 65 nm CMOS process" [doi:10.48550/arXiv.2212.08621]

Il segnale di output dei DPTS

Due segnali in uscita con polarità opposta:

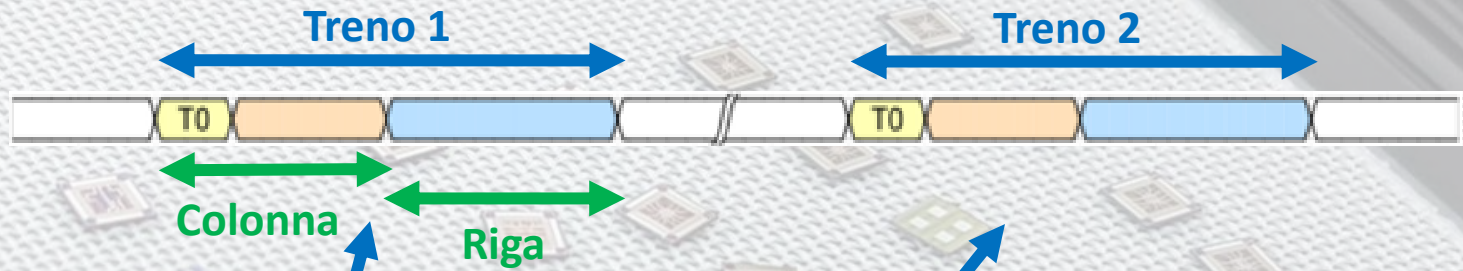
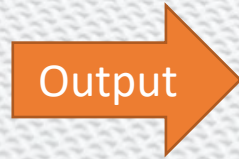
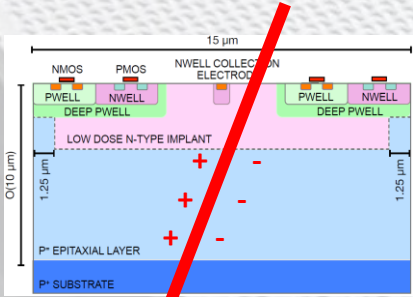


- Coordinate del pixel codificate negli intervalli di tempo tra incroci

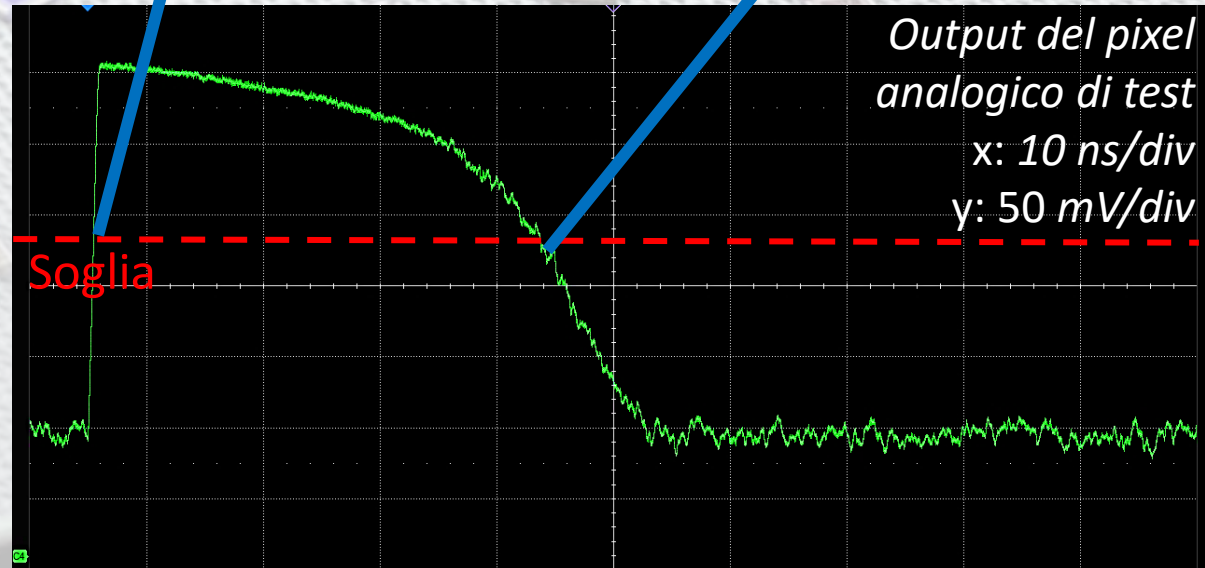


Il segnale di output dei DPTS

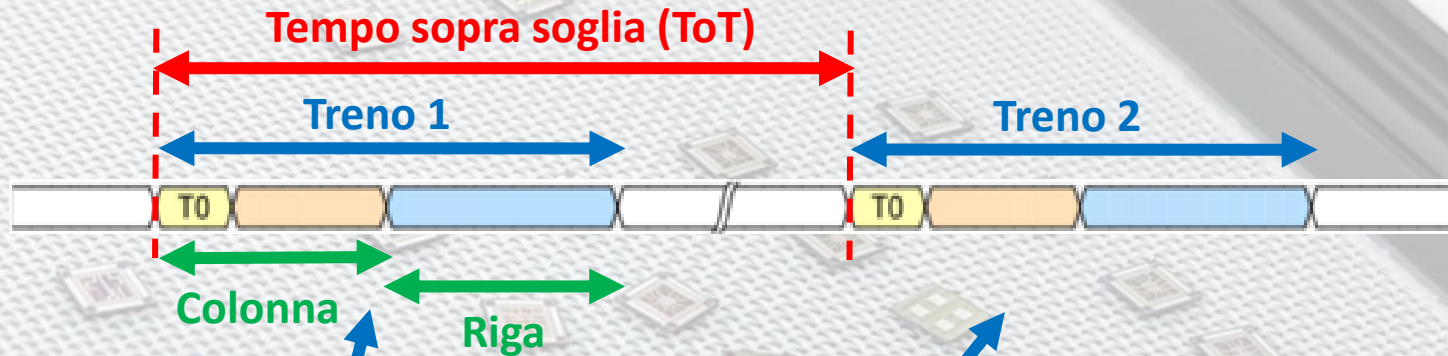
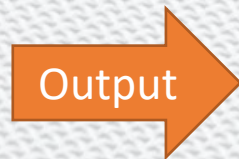
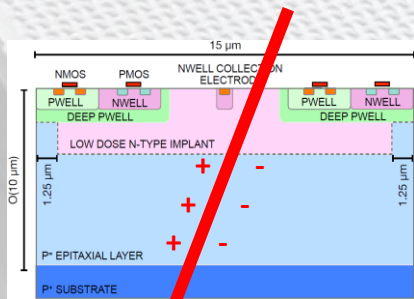
Due segnali in uscita con polarità opposta:



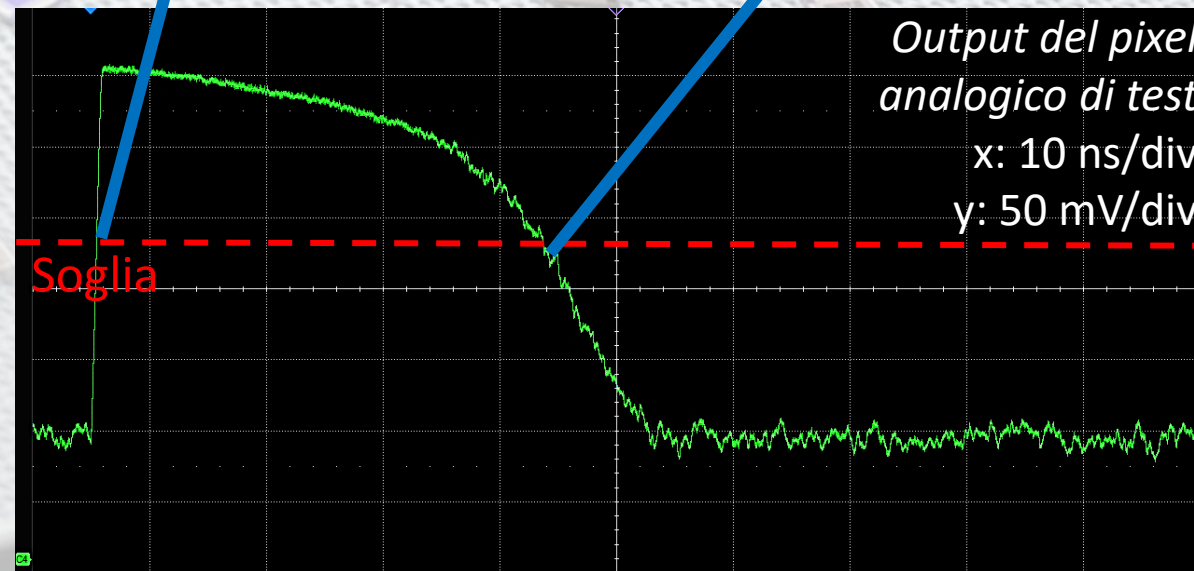
- Coordinate del pixel codificate negli intervalli di tempo tra incroci



Due segnali in uscita con polarità opposta:



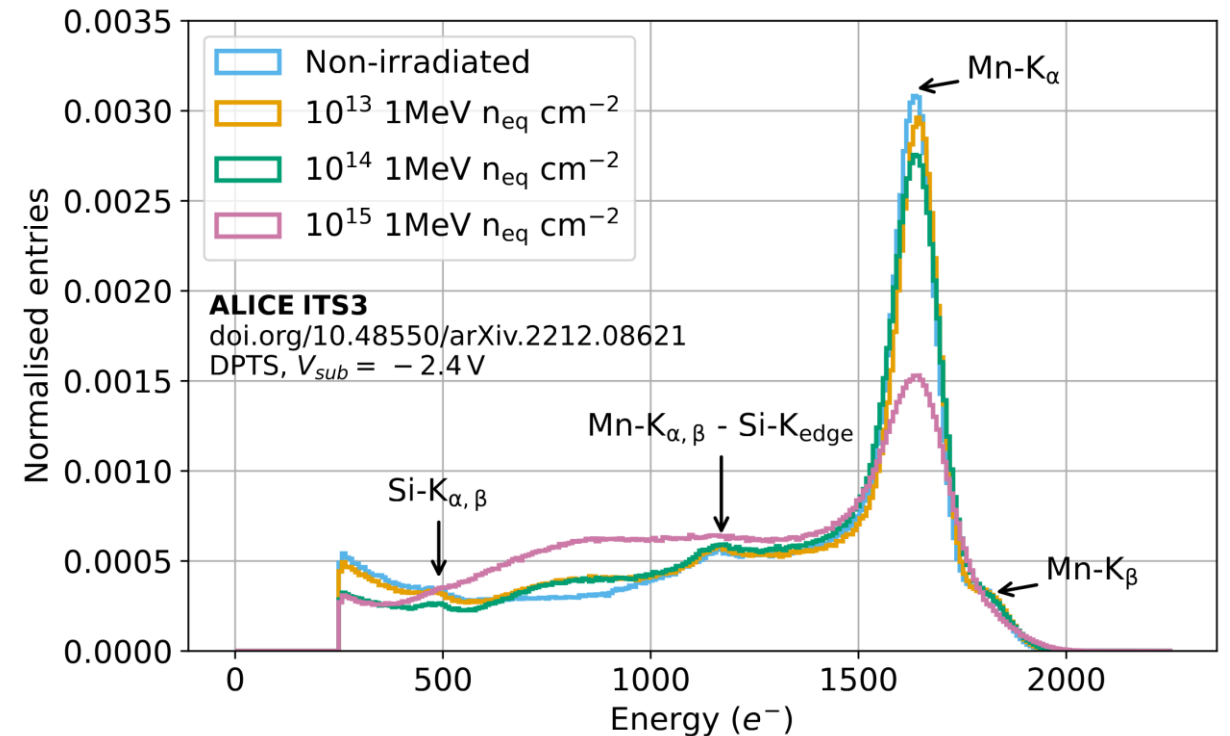
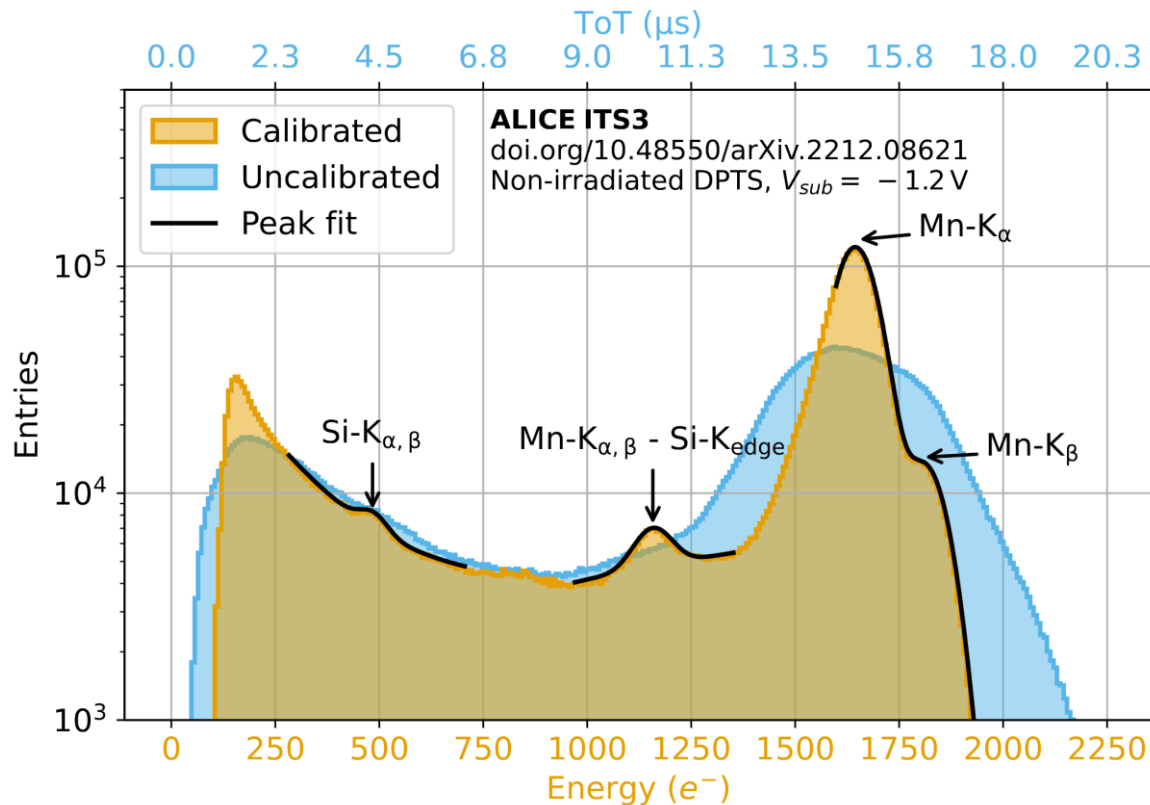
- Coordinate del pixel codificate negli intervalli di tempo tra incroci
- Misura del tempo sopra soglia del segnale analogico → quantità correlata all'ampiezza del segnale analogico



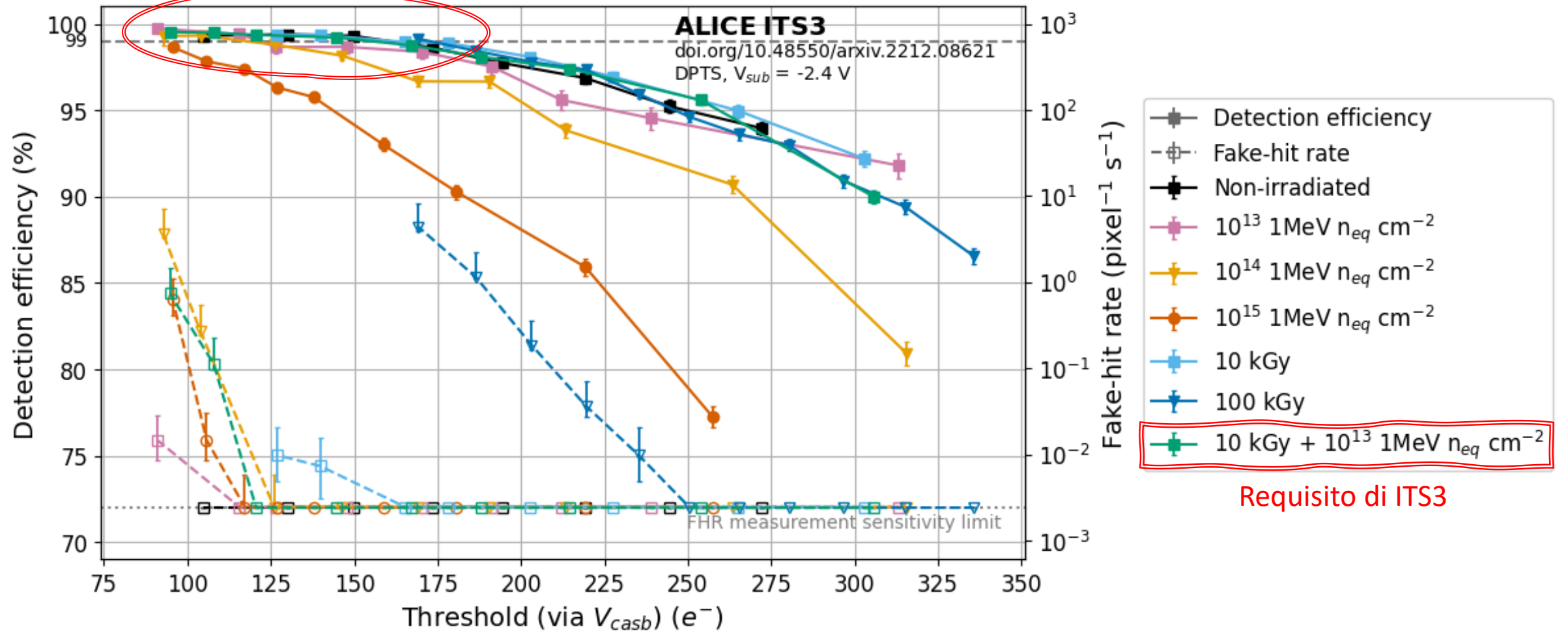
Risposta a sorgenti in laboratorio: ^{55}Fe

Ottima risposta in energia attraverso il ToT:

- Risoluzione dello spettro di ^{55}Fe anche in seguito a irraggiamento



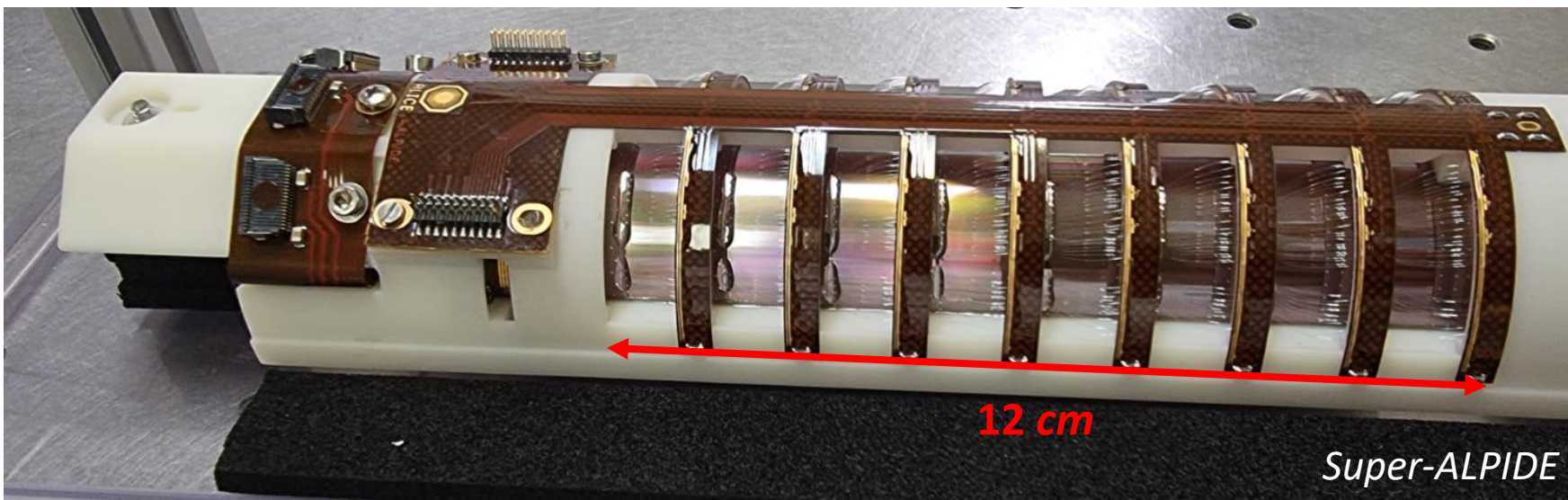
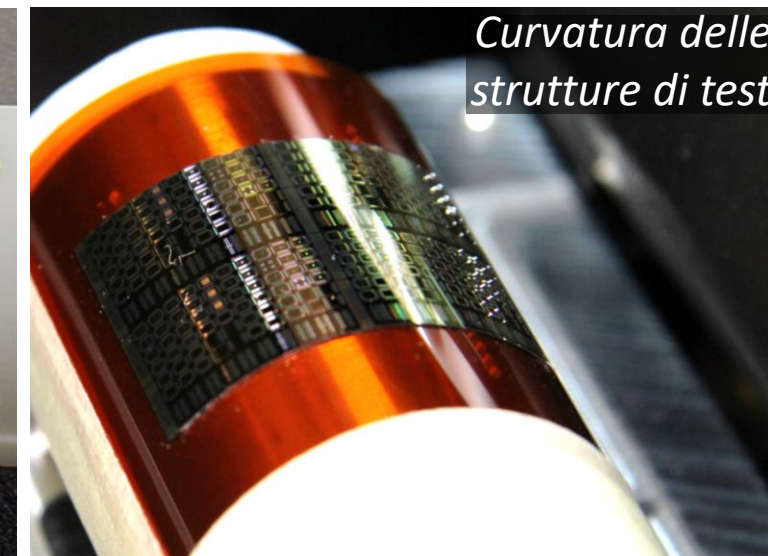
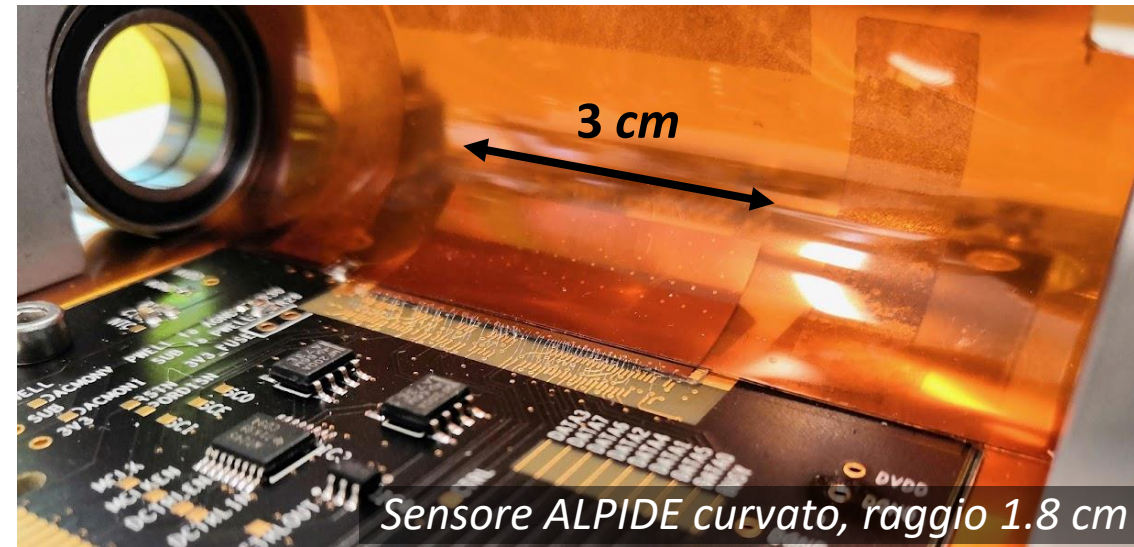
Maggiore del 99% in un largo intervallo di valori della soglia applicata



Requisito di ITS3

Curvatura dei sensori MAPS

- **2021**: “First demonstration of in-beam performance of bent Monolithic Active Pixel Sensors” [doi:10.1016/j.nima.2021.166280]
- **2022-2023**: Sviluppo di prototipo per meccaniche e interconnessioni di un singolo strato curvato
- **2023**: Curvatura e caratterizzazione delle strutture di test CMOS 65 nm curvate



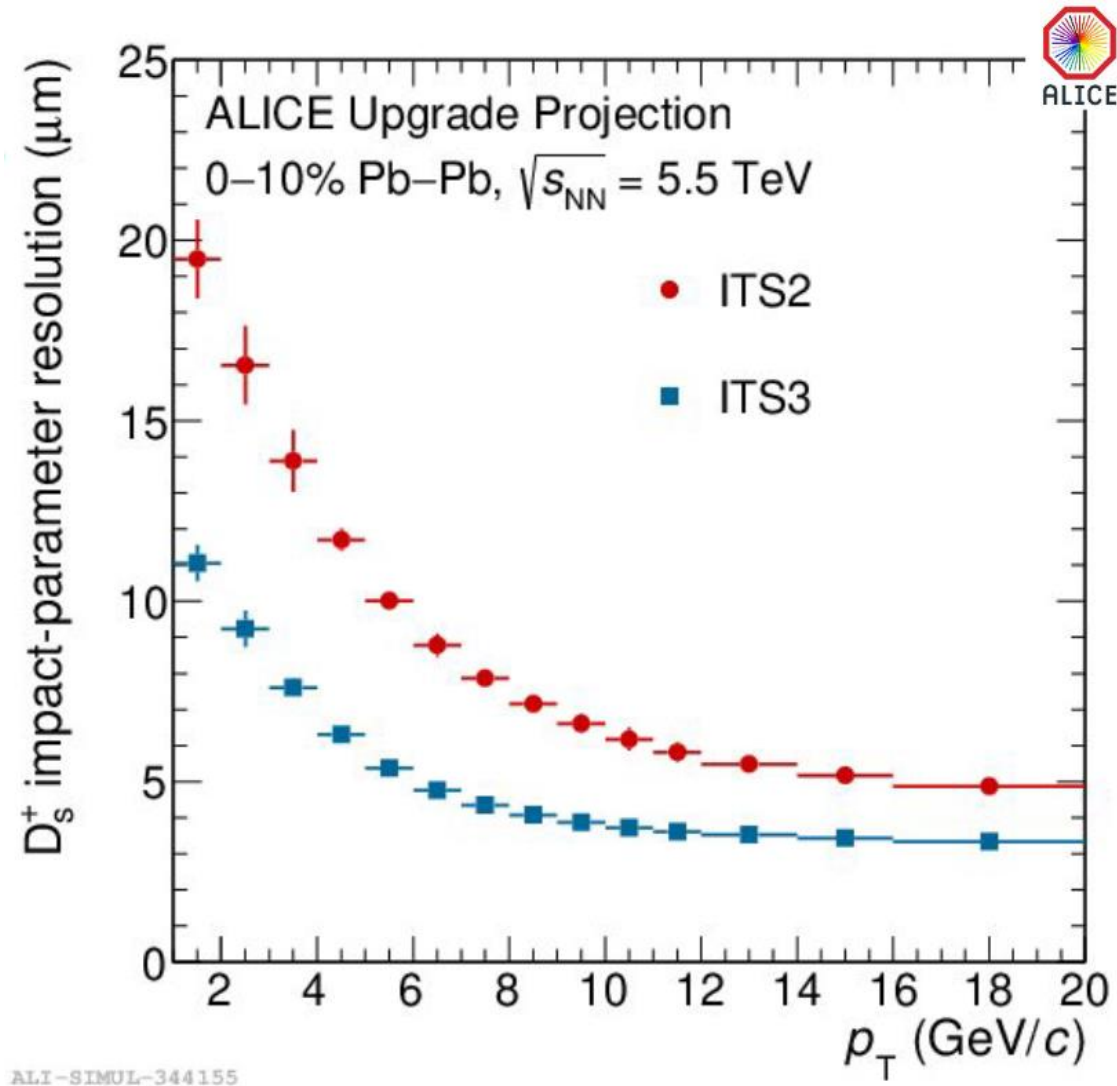
- Per il 2026 sarà installato un **innovativo tracciatore di vertice** per l'esperimento ALICE. Sarà composto da **sensori MAPS** di grande area, flessibili e curvati
- Le attività per la realizzazione dell'ITS3 procedono secondo il programma:
 - Il **processo CMOS a 65 nm** è stato **validato**
 - La **resistenza alle radiazioni** sia **TID** (fino a 100 kGy) che **NIEL** (fino a 10^{14} 1 MeV n_{eq} cm^{-2}) è stata verificata per le prime strutture di test
 - È stata ottenuta una **risposta eccellente** in termini di risoluzione dello **spettro energetico** da sorgente radioattiva e di **efficienza di rivelazione**
 - I test fatti finora sui **sensori curvati** hanno dato **risultati promettenti**
- La tecnologia **ITS3** costituirà il **punto di partenza** per lo sviluppo del tracciatore del futuro esperimento **ALICE 3**, proposto per i run 5 e 6 di LHC

S. Strazzi, Studio di rivelatori al silicio avanzati per l'esperimento ALICE 3 nel Run 5 e 6 di LHC, IFAE 2023



Backup

Mesone D



Efficienza di tracciamento

