

Caratterizzazione su fascio del Dimostratore della collaborazione ENUBET

Giosuè Saibene

PhD student at Università degli Studi dell'Insubria - DiSAT
Associate - INFN - sezione di Milano Bicocca



Incontri di Fisica delle Alte Energie
(IFAE 2024)

Firenze, 03-05 aprile 2024

on behalf of the ENUBET Collaboration

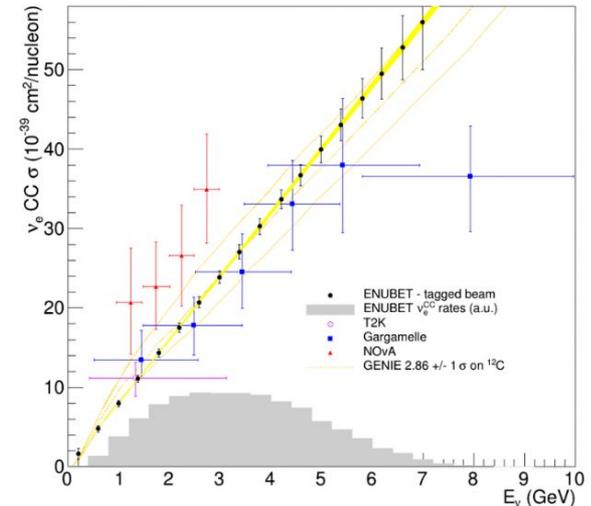
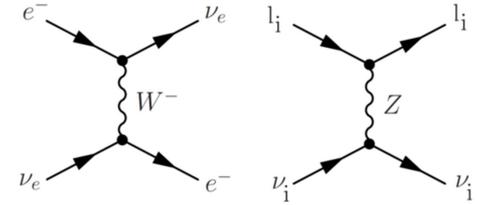
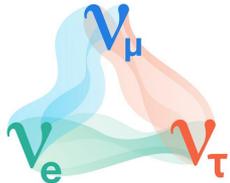
Sommario

1. Introduzione sulla **fisica del neutrino** e sul **progetto ENUBET**
2. Il **Dimostratore**
3. I **beamtest** presso il CERN-PS nel 2022 e 2023:
 - o Setup sperimentale
 - o Linearità e risoluzione energetica
 - o Analisi del crosstalk
 - o Test preliminari sulla Particle IDentification

Fisica del neutrino

- ❖ Nonostante la loro abbondanza, le loro caratteristiche non sono ancora conosciute completamente e fino in fondo
- ❖ I neutrini interagiscono solamente via interazione debole
- ❖ Le misure del rate di interazione dei neutrini hanno alcune sistematiche:
 - Il flusso di neutrini
 - La sezione d'urto di interazione
 - L'efficienza dei rivelatori

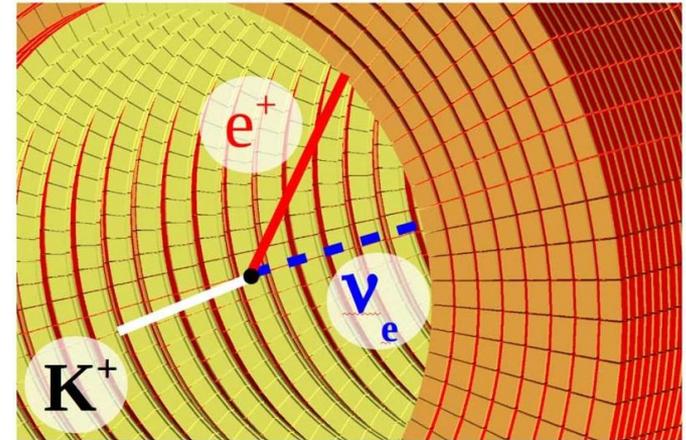
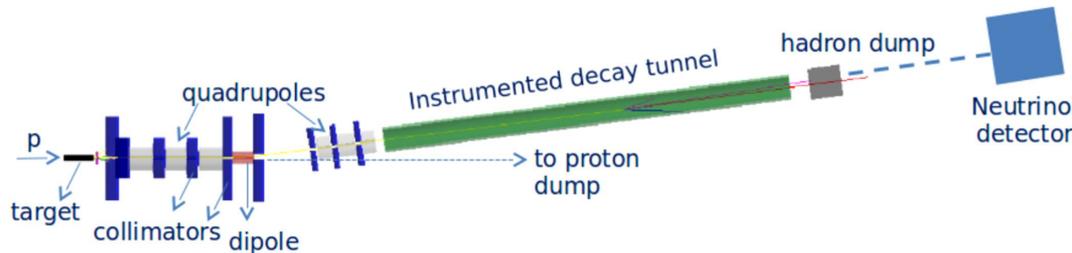
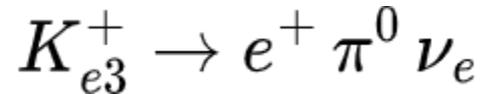
→ È necessario ridurre le sistematiche dal 10 % al ~ 1 %



Il progetto ENUBET (ERC-Consolidator Grant 2015)



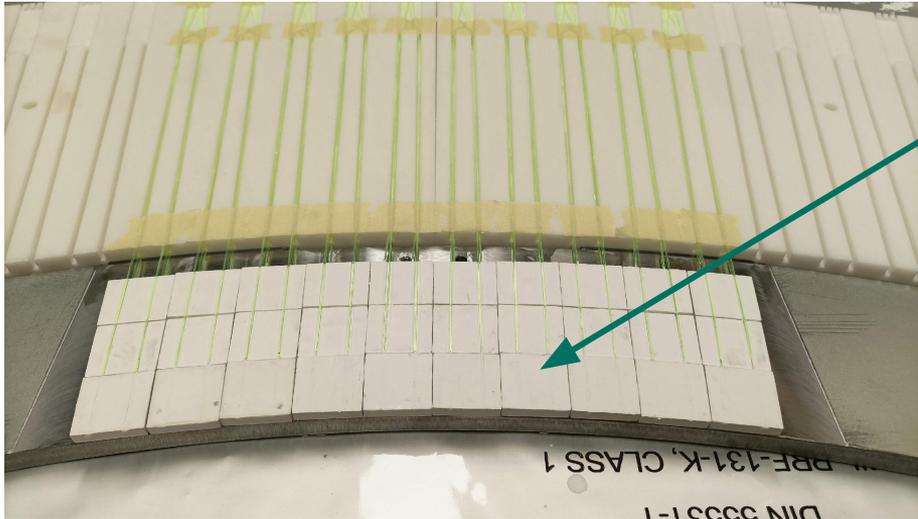
- ❖ Costruire una sorgente **pura** e **controllata** di neutrini elettronici
- ❖ Monitorare il **flusso di neutrini** direttamente all'interno della **zona di decadimento**
- ❖ Rivelare i leptoni generati a grandi angoli nel decadimento a tre corpi dei Kaoni:



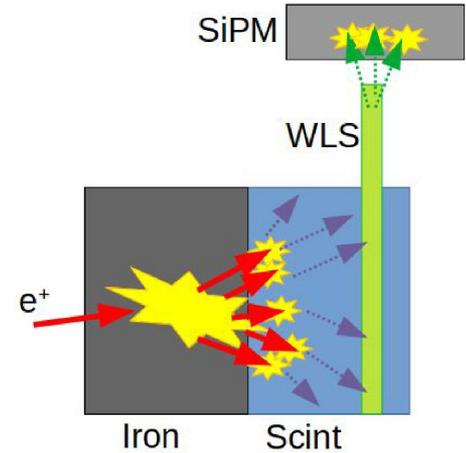
Il rivelatore: principi di rivelazione

Tile di **scintillatore plastico** intervallate da **materiale radiativo** (Fe):

- Uno sciame EM è prodotto negli archi di ferro
- Le particelle cariche prodotte dallo sciame, producono luce di scintillazione (UV) nelle tile
- La luce di scintillazione è convogliata verso l'esterno da fibre WLS
- La luce è letta da SiPM → il segnale è proporzionale al numero di fotoni incidenti



Area attiva di una
tile di scintillatore:
 $3 \times 3 \times 0.7 \text{ cm}^3$



Il rivelatore: discriminazione di particelle

Studio del deposito energetico e della topologia degli eventi → Discriminazione di particelle



Topologia e^+ (segnale)



Topologia $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ (background)



Topologia μ^\pm (segnale/background)



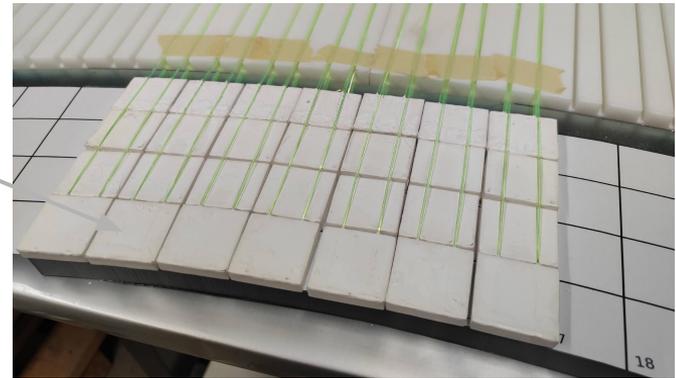
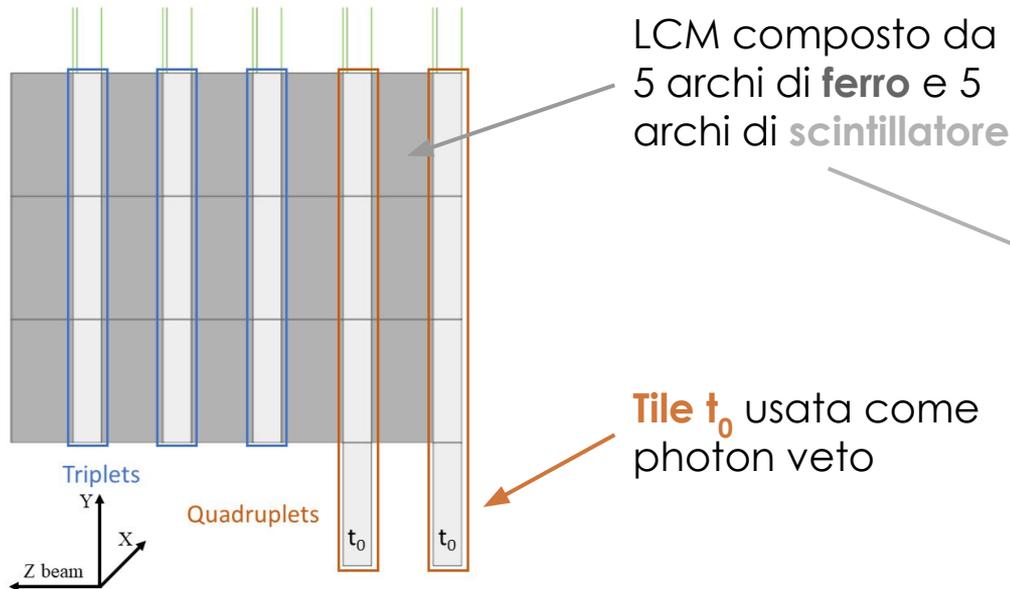
Topologia π^\pm (background)

- **Tile scintillanti**
- **Tile colpite** → energia depositata dalle particelle
- **Tile t_0 colpite** → photon veto tiles

Decay	BR (%)	Comment
$\pi^+ \rightarrow \mu^+\nu_\mu$	~ 100	Hadron dump
$K^+ \rightarrow \mu^+\nu_\mu$	63.56(11)	Background
$K^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-$	5.58(2)	Background
$K^+ \rightarrow e^+\pi^0\nu_e$	called K_{e3}^+	5.07(4) Signal
$K^+ \rightarrow \mu^+\pi^0\nu_\mu$	called $K_{\mu3}^+$	3.35(3) Signal
$K^+ \rightarrow \pi^+\pi^0\pi^0$	1.76(2)	Background

Il Dimostratore

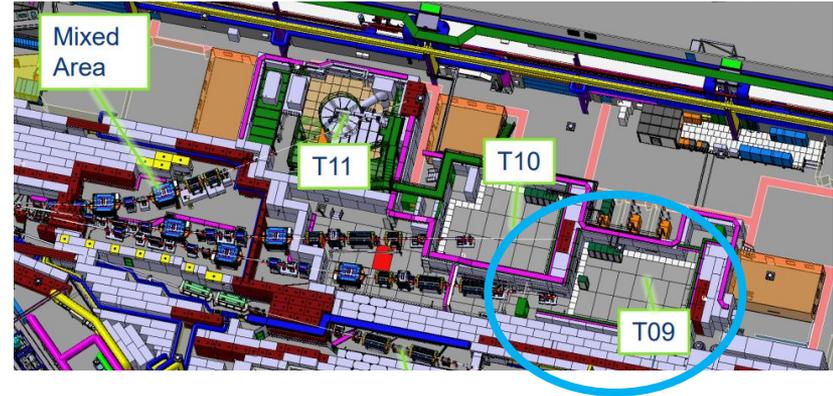
- ❖ Il **più grande prototipo** della collaborazione ENUBET
- ❖ Composto da 75 archi di ferro alternati ad altrettanti archi di scintillatore
 - Versione 2022 → **400 canali** letti da 400 SiPMs
 - Versione 2023 → **1200 canali** letti da 1200 SiPMs



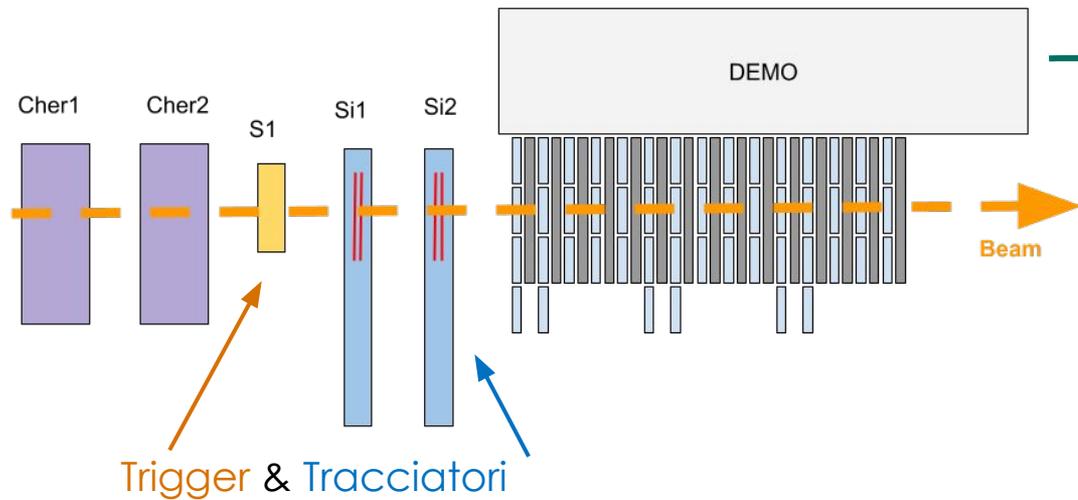
Beamtest del Dimostratore @ CERN-PS

Nel 2022 e nel 2023 sono stati effettuati due BT presso la **linea di fascio estratto T9** con i seguenti obiettivi:

- ❑ Verificare le **performance basi** del prototipo
- ❑ Misurare la **linearità** e la **risoluzione energetica** del più grande prototipo mai costruito, il **Dimostratore**
- ❑ Studiare il possibile effetto del **crosstalk**
- ❑ Effettuare dei test preliminari di **Particle Identification** (PID)



Setup sperimentale (2022 & 2023)



Dimostratore



Sistema di tracciamento:

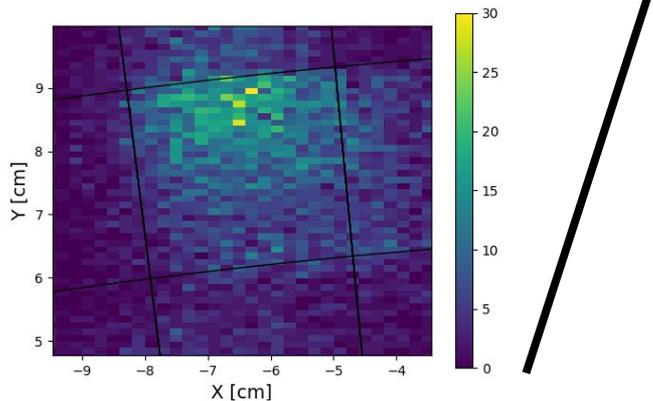
- 2 single side microstrip detectors
- Passo della strip: $242 \mu\text{m}$
- Area attiva: $9.5 \times 9.5 \text{ cm}^2$
- Risoluzione spaziale: $30 \mu\text{m}$



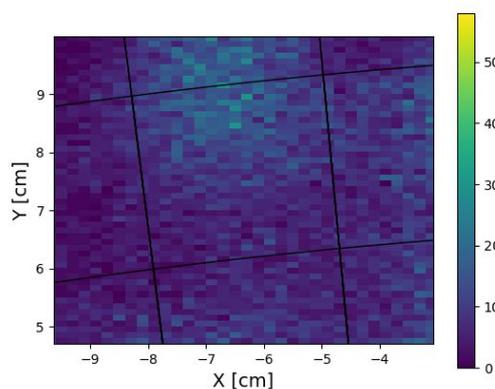
Mappa di efficienza

Rapporto tra il numero di **particelle rivelate** ed il numero di **particelle incidenti** sulle tile del Dimostratore

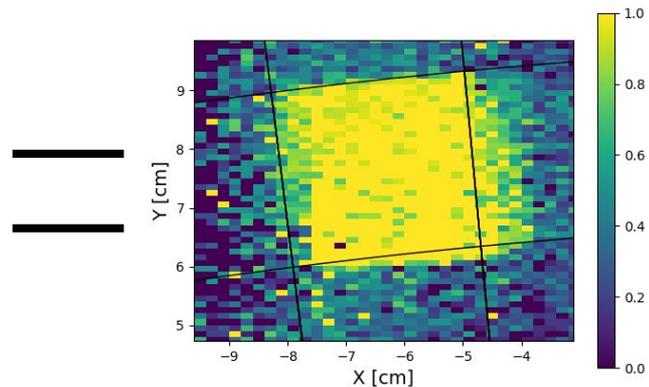
Particelle rivelate



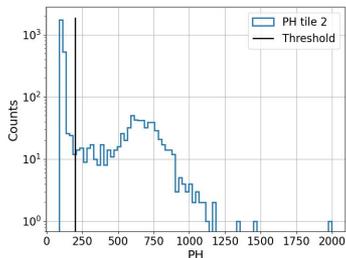
Particelle incidenti



Mappa di efficienza



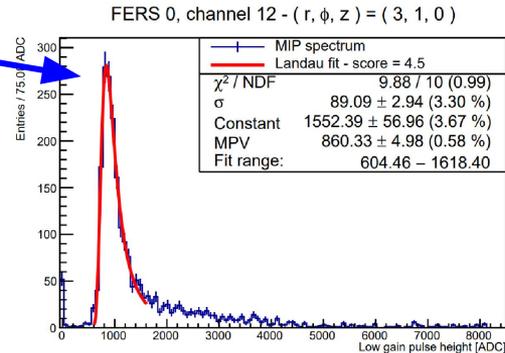
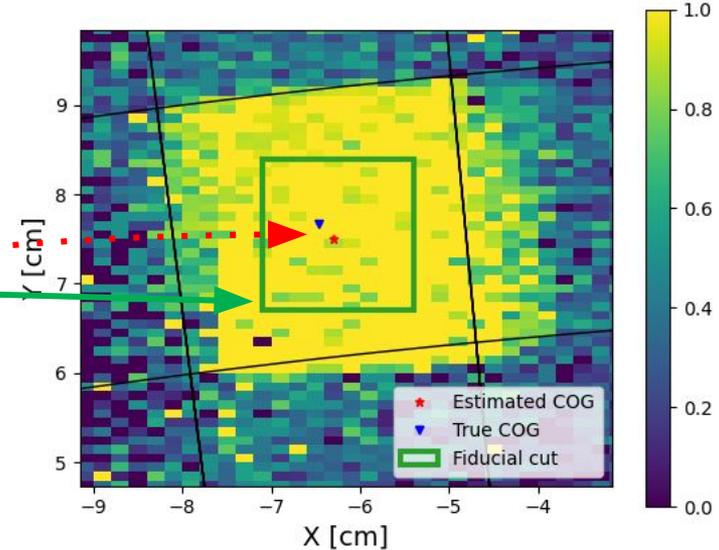
Particelle selezionate con un taglio in PH



Equalizzazione dei canali

- ❖ Le tile scintillanti del Dimostratore sono lette SiPMs:
 - Le tile calorimetriche sono i 2/3 del totale
 - Le tile di veto (t_0) sono 1/3 del totale
- ❖ Sono state selezionate le MIP, la cui traiettoria ricade nel **taglio fiduciale**
- ❖ Il **COG** è stato stimato dalla mappa di efficienza per ogni tile
- ❖ Fit del **picco** delle MIP ed equalizzazione di ogni canale:

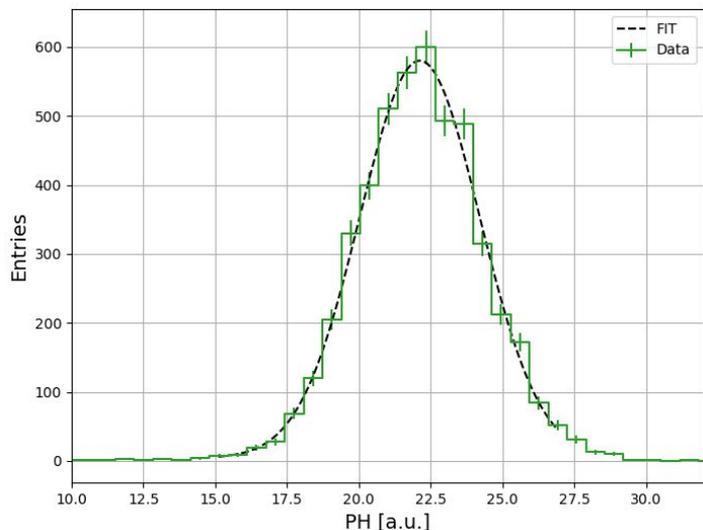
$$PH_{equ} = \frac{PH - baseline}{picco - baseline}$$



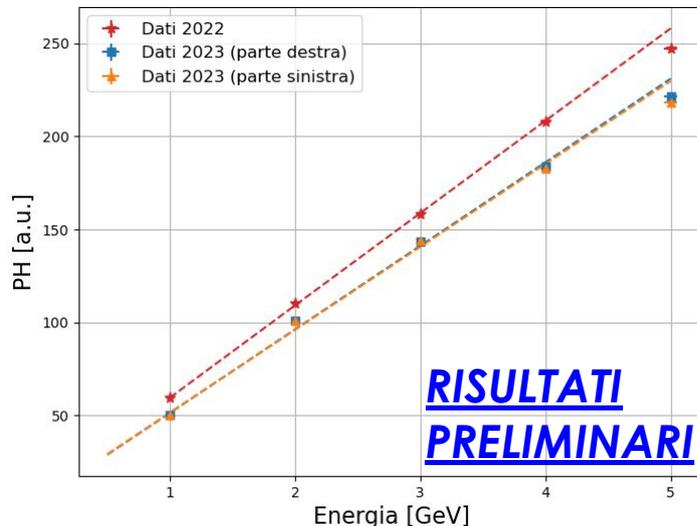
Calibrazione e linearità (2022 & 2023)

Dopo l'equalizzazione, è possibile sommare le risposte di tutti i canali e misurare l'**energia depositata** dalle particelle incidenti

→ Si trova una corrispondenza tra le PH (misurate in unità arbitrarie) e l'energia depositata (in GeV) dalle particelle incidenti



$$E_{\text{ADC}} \rightarrow E_{\text{GeV}}$$

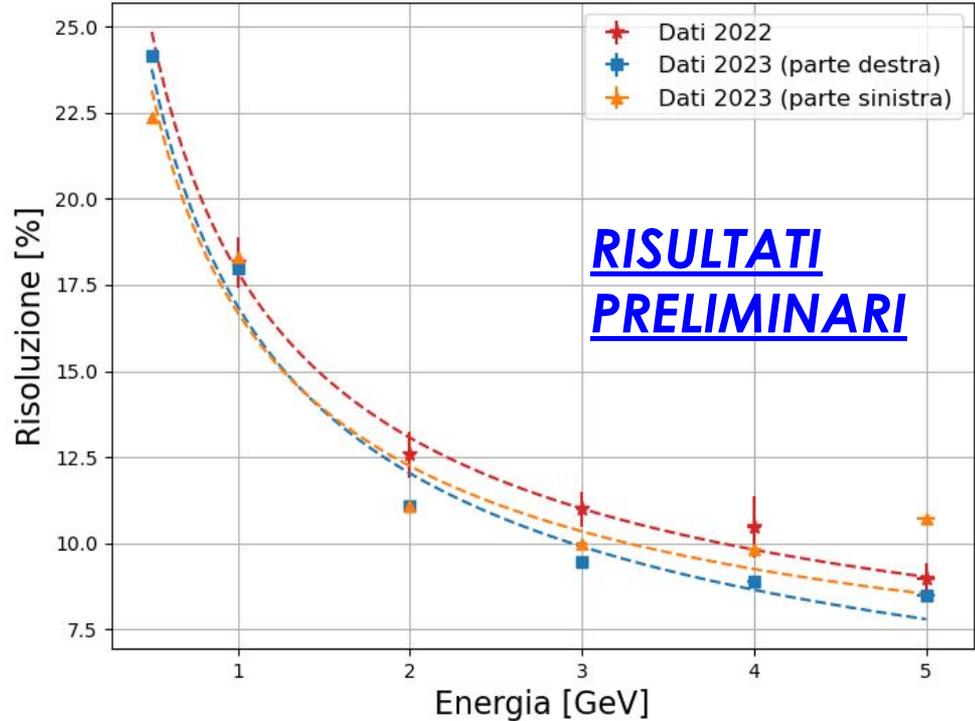


Risoluzione energetica (2022 & 2023)

$$R = \frac{\sigma_E}{E} = \frac{s}{\sqrt{E}} \oplus c$$

- **E**: energia calibrata in GeV
- σ_E : deviazione standard del fit
- **s**: termine stocastico
- **c**: termine costante

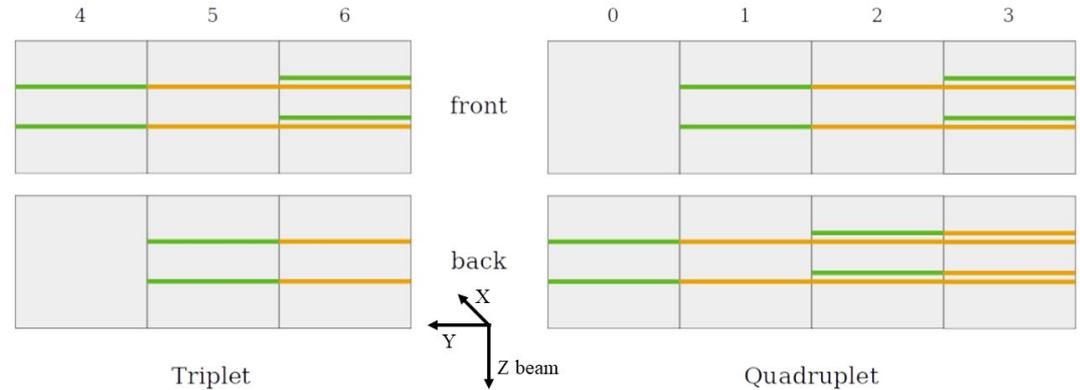
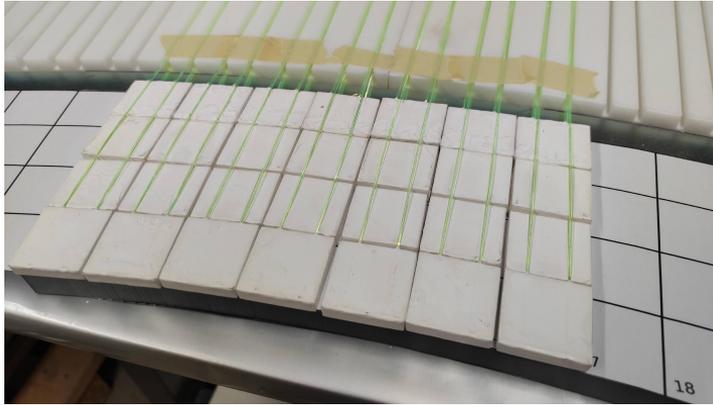
Risoluzione energetica: $\sigma(E)/E = s/\sqrt{E} \oplus c$



→ Valori di **linearità** e **risoluzione energetica** compatibili con precedenti prototipi

Analisi del crosstalk (2022 & 2023)

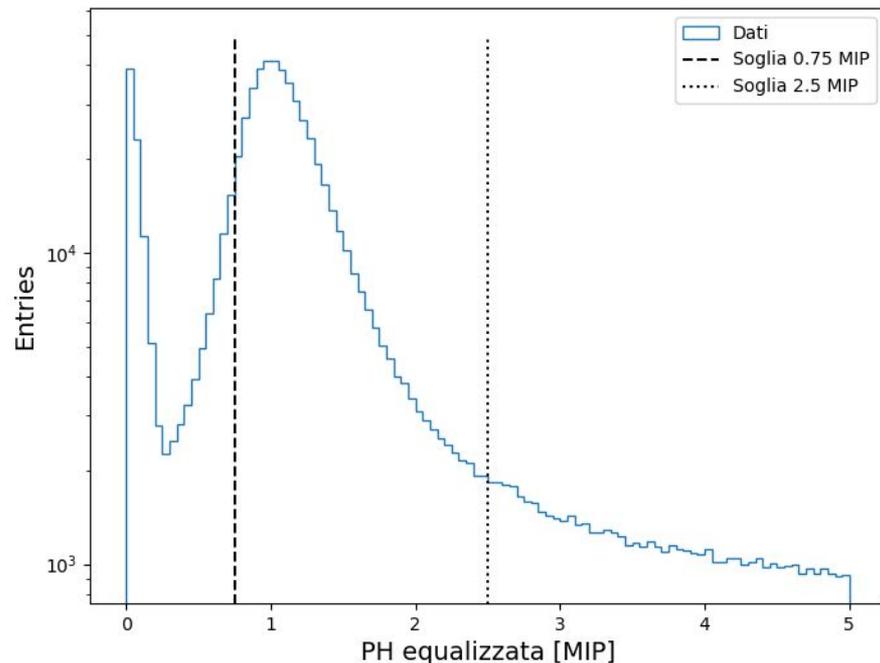
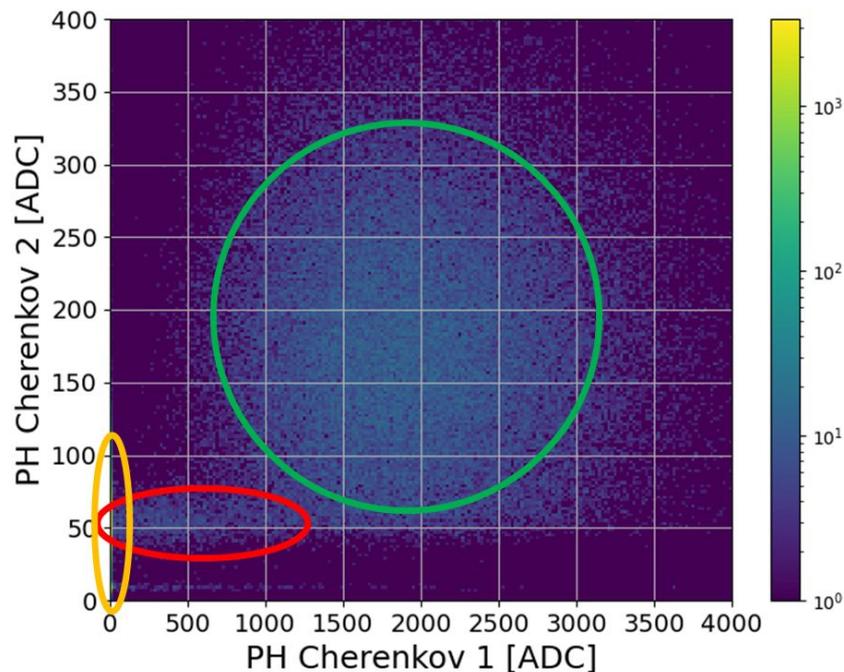
- ❖ Il crosstalk è stato studiato solamente per il primo layer del Dimostratore
- ❖ Le fibre WLS devono attraversare le tile superiori → si può perdere del segnale



- Fibre di lettura
- Fibre di transito

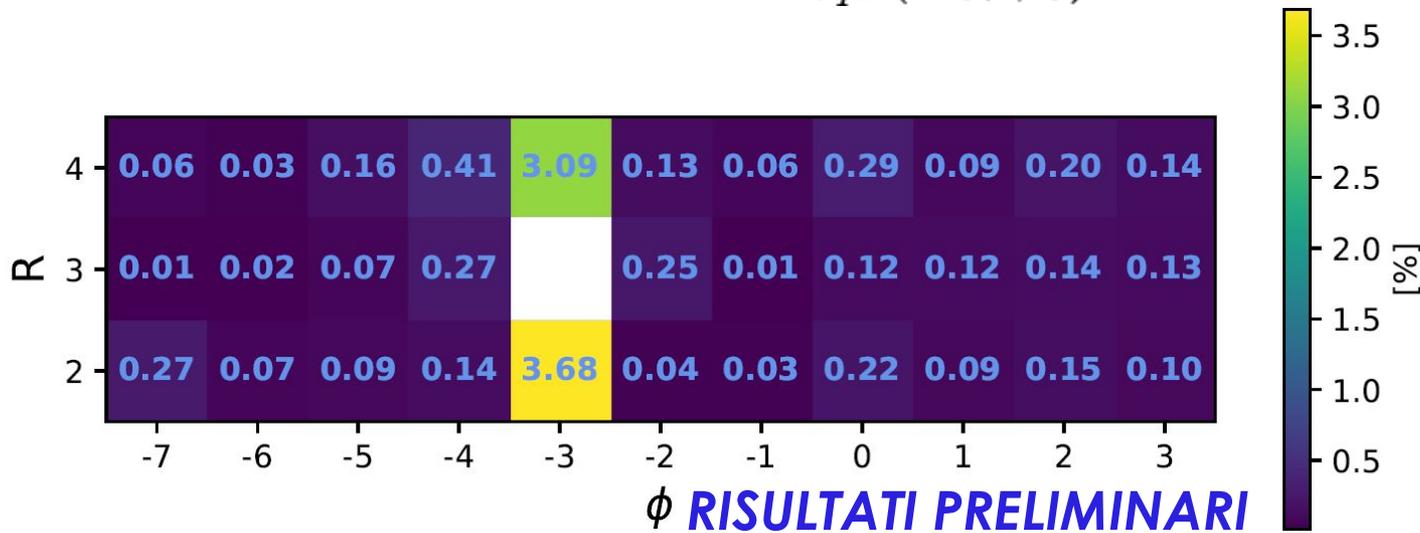
Sono stati selezionati gli eventi che hanno un comportamento da MIP utilizzando i rivelatori Cherenkov:

- **Muoni**
- **Elettroni** e **pioni** con una $PH_{equ} \sim 1$ MIP



Per ogni tile (R, Φ) del primo layer è stato valutato il crosstalk come rapporto tra il segnale nelle tile adiacenti ed il segnale della tile di riferimento (R_0, Φ_0) :

$$ratio(R, \phi) = \frac{PH_{equ}(R, \phi)}{PH_{equ}(R_0, \phi_0)}$$



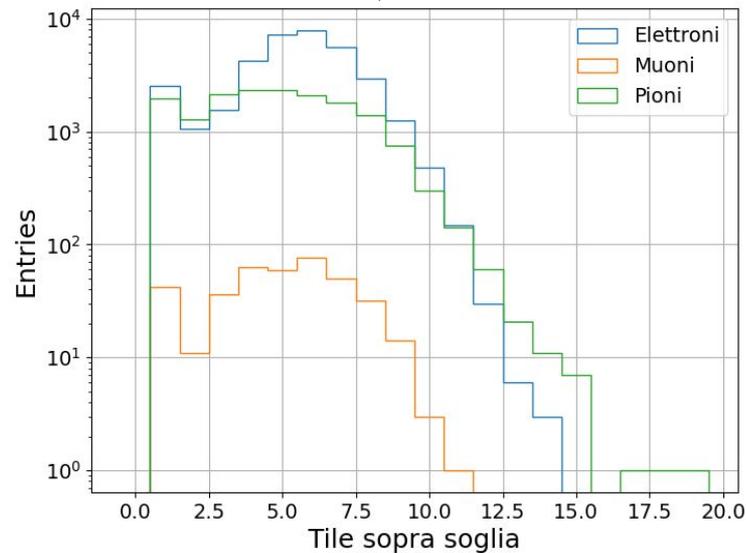
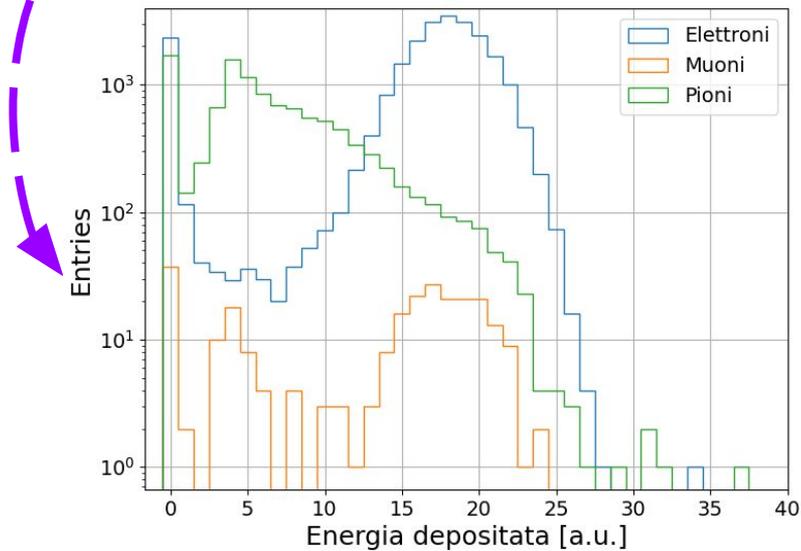
→ **Crosstalk < 5%** per tutte le tile del primo layer in entrambi gli anni

Test preliminari Particle IDentification (2022)

L'obiettivo dell'analisi è di distinguere gli elettroni dalle altre particelle

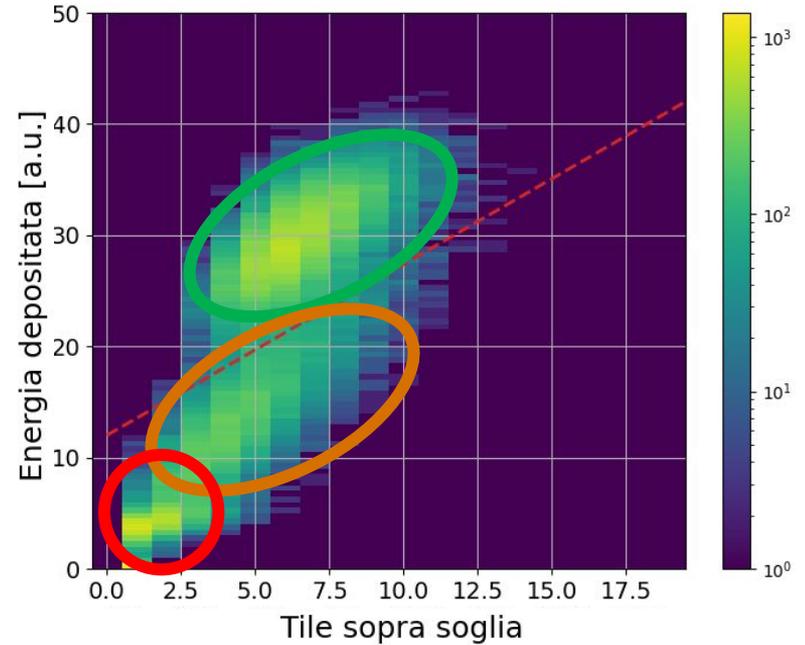
Per ogni evento sono stati valutati due parametri:

- Numero totale di **file sopra una certa soglia**
- **Energia depositata** nel Dimostratore



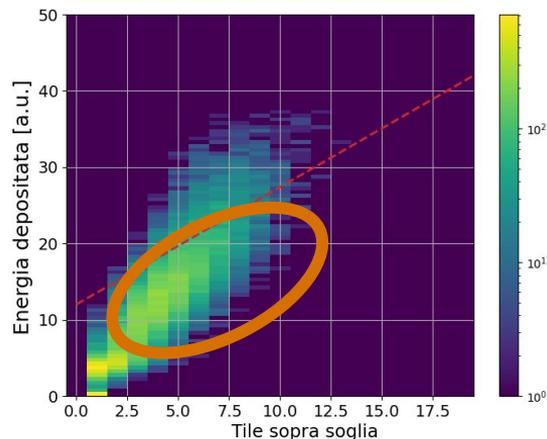
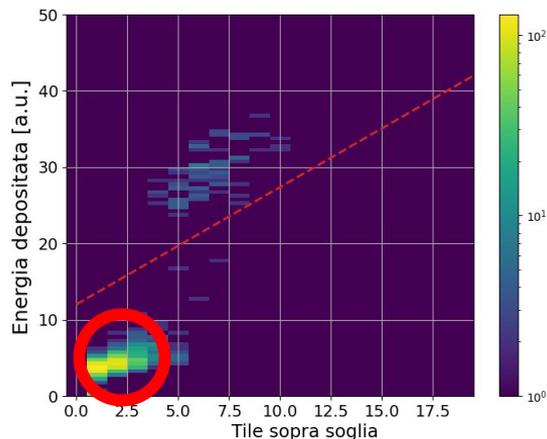
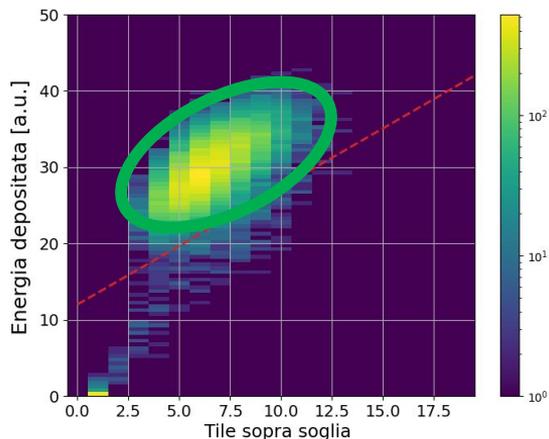
Valori predetti:

- Eventi sopra soglia → **elettroni**
- Eventi sotto soglia → **muoni** ed **adroni**



Valori veri ottenuti dai rivelatori Cherenkov:

- Segnale in entrambi i rivelatori → **elettroni**
- Segnale solo nel primo rivelatore → **muoni**
- Nessun segnale in entrambi → **adroni**



Accuratezza → frazione degli eventi correttamente classificati: $(TP + TN) / (TP + TN + FP + FN)$
 ~ 78 % nella classificazione di **elettroni**
 ~ 76 % nella classificazione di **muoni** e **adroni**

Precisione → frazione degli eventi correttamente predetti: $TP / (TP + FP)$
 ~ 73 % nella classificazione di **elettroni**
 ~ 87 % nella classificazione di **muoni** e **adroni**

RISULTATI PRELIMINARI

- TP true positive
- TN true negative
- FP false positive
- FN false negative

Conclusioni e progetti futuri

I risultati preliminari dei BT 2022 e 2023 della **collaborazione ENUBET** hanno mostrato:

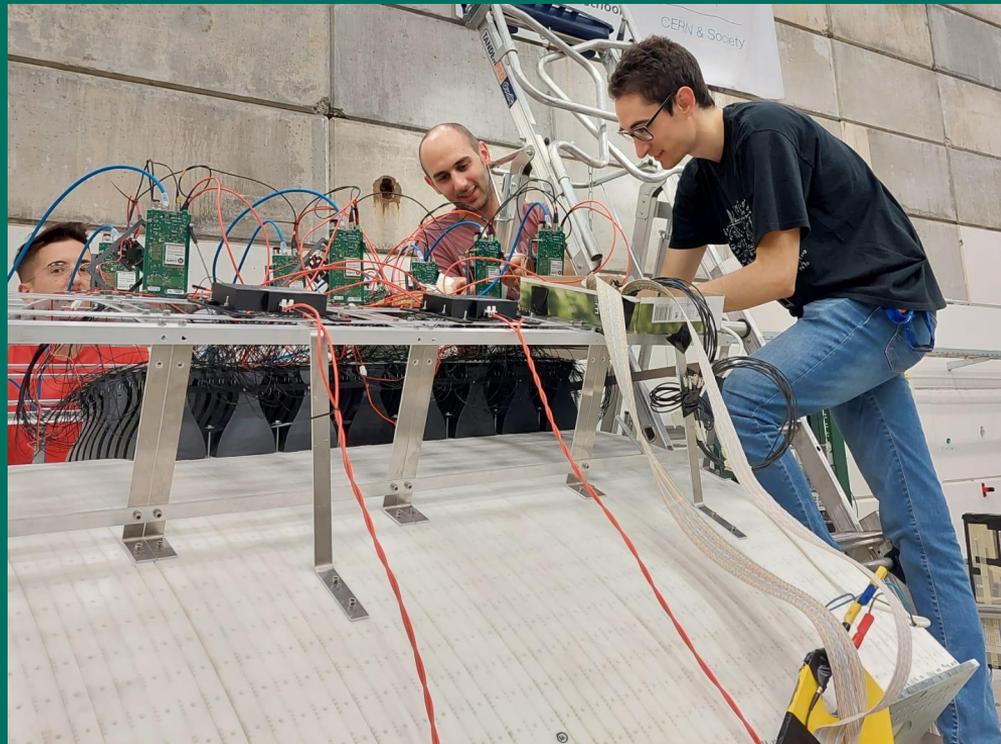
- ✓ **Performance basi** del Dimostratore
- ✓ Linearità e risoluzione energetica in accordo con i precedenti prototipi più piccoli
- ✓ Crosstalk $< 5\%$ per tutte le tile del primo layer. Ciò ha permesso di **validare lo schema di lettura verso l'esterno** della luce di scintillazione
- ✓ **Buoni risultati preliminari di PID** (2022)

Progetti futuri:

- ❑ Migliorare l'algoritmo di PID e analizzare i dati del 2023
- ❑ Verifica dei risultati presentati con le simulazioni (Toolkit GEANT4)
- ❑ Pubblicazione dei risultati ottenuti nei BT del 2022 e 2023
- ❑ Studio di fattibilità per implementare un esperimento presso CERN

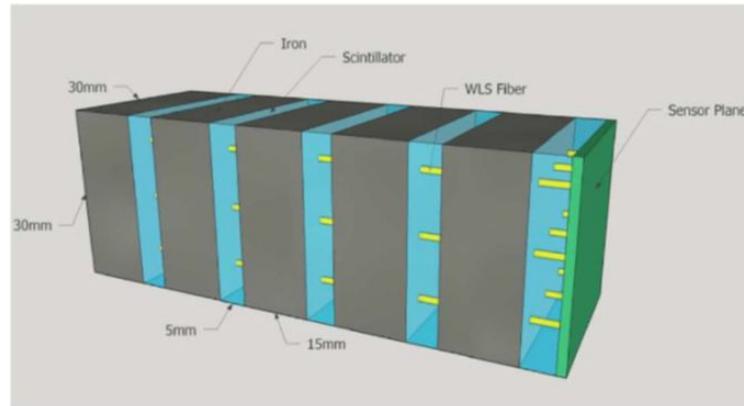
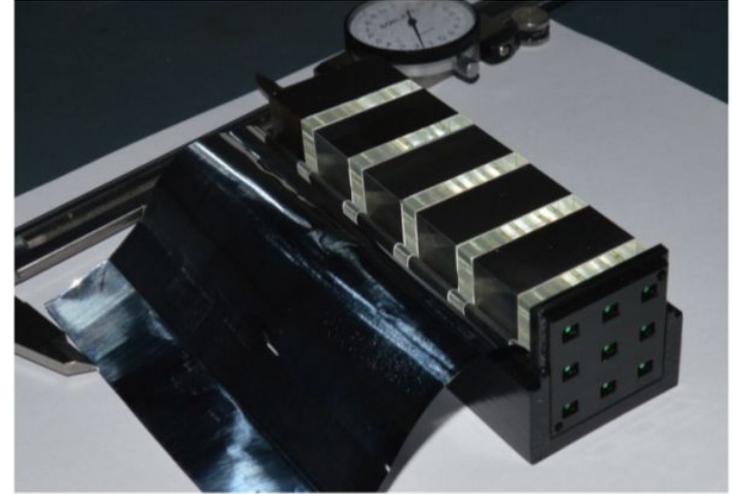
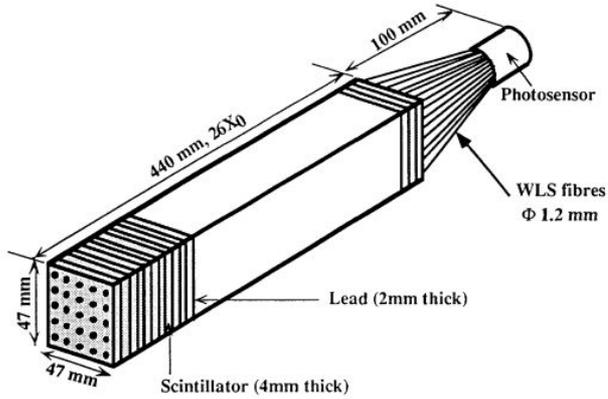


Grazie per l'attenzione!

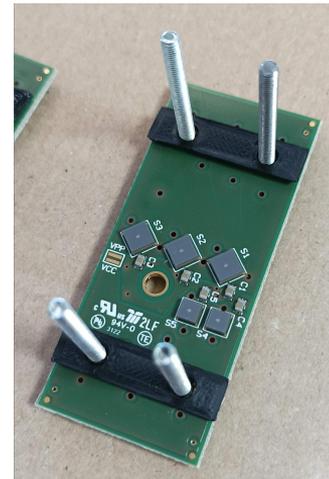
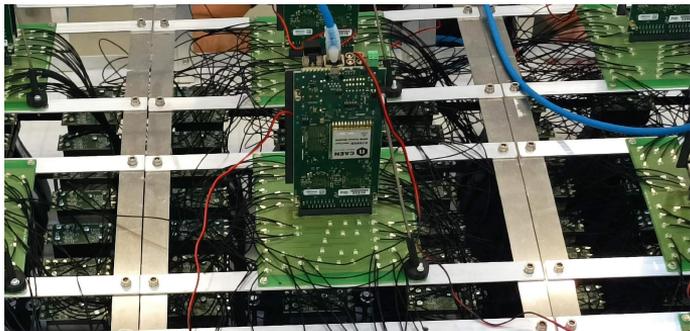
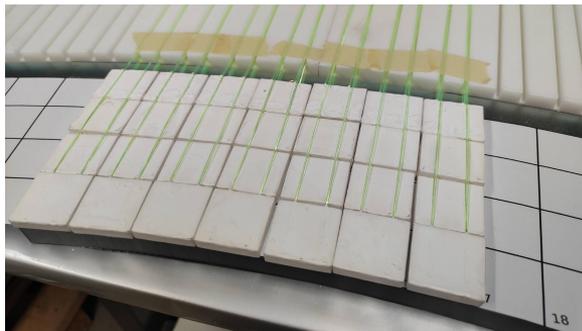


Configurazione shashlik

Shashlik Tower



Costruzione



Informazioni sui SiPMs

Tile calorimetriche lette da Hamamatsu

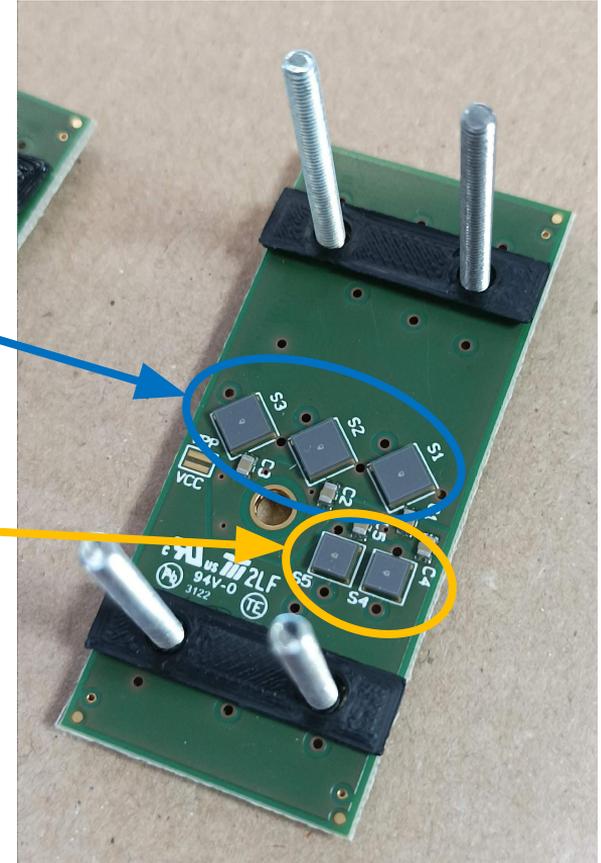
S14160-4050HS SiPMs:

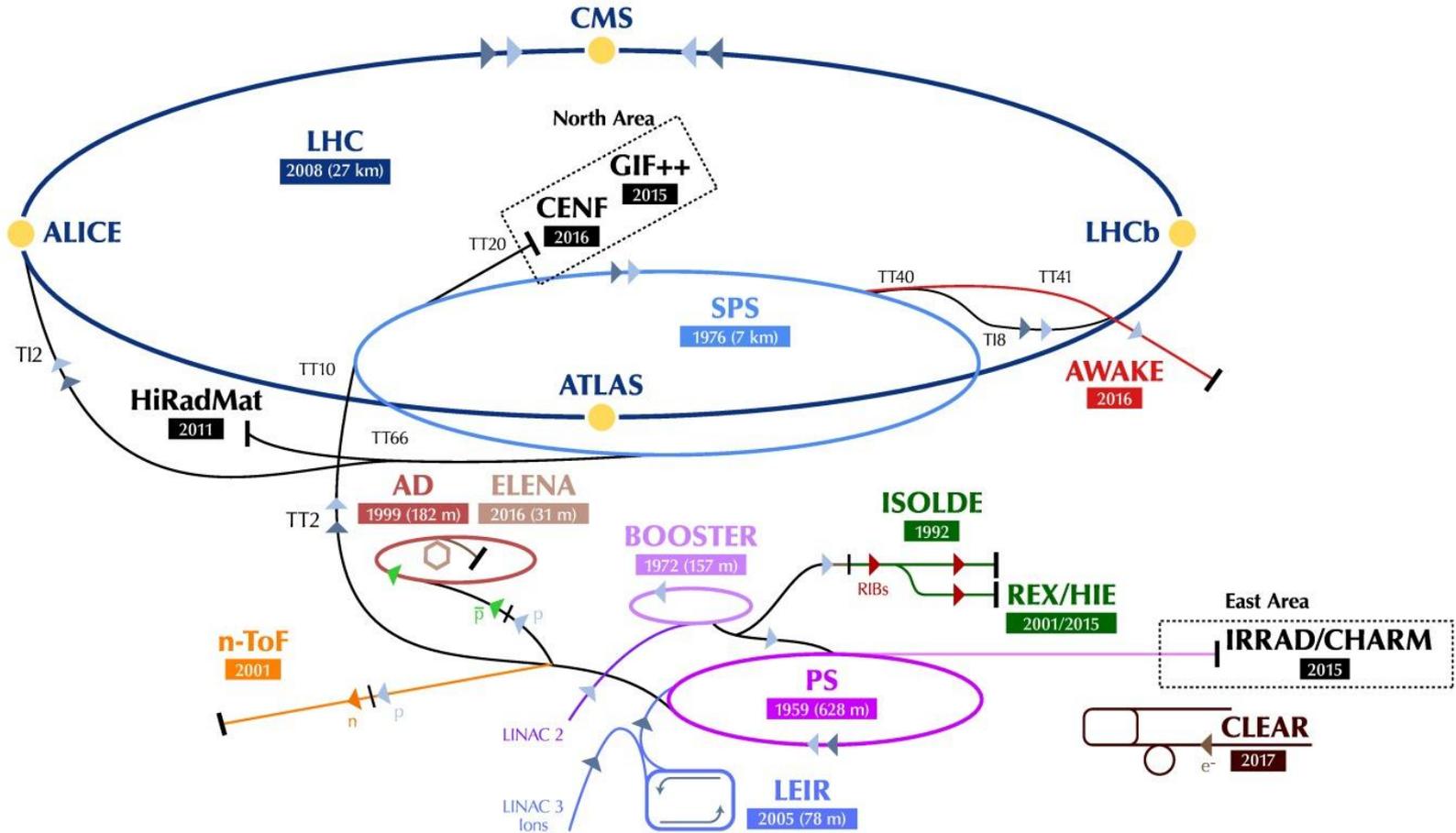
- Area attiva: $4 \times 4 \text{ mm}^2$
- Passo dei pixel: $50 \mu\text{m}$

t₀ tiles aclette da Hamamatsu S14160-3050HS

SiPMs:

- Area attiva: $3 \times 3 \text{ mm}^2$
- Passo dei pixel: $50 \mu\text{m}$





Dimostratore 2023

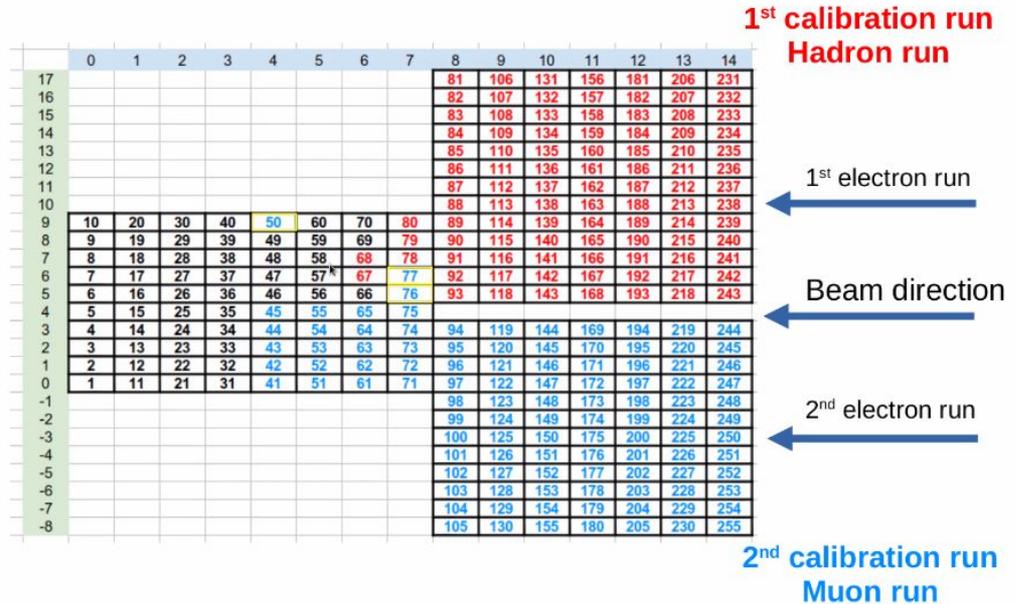


Conc. 154

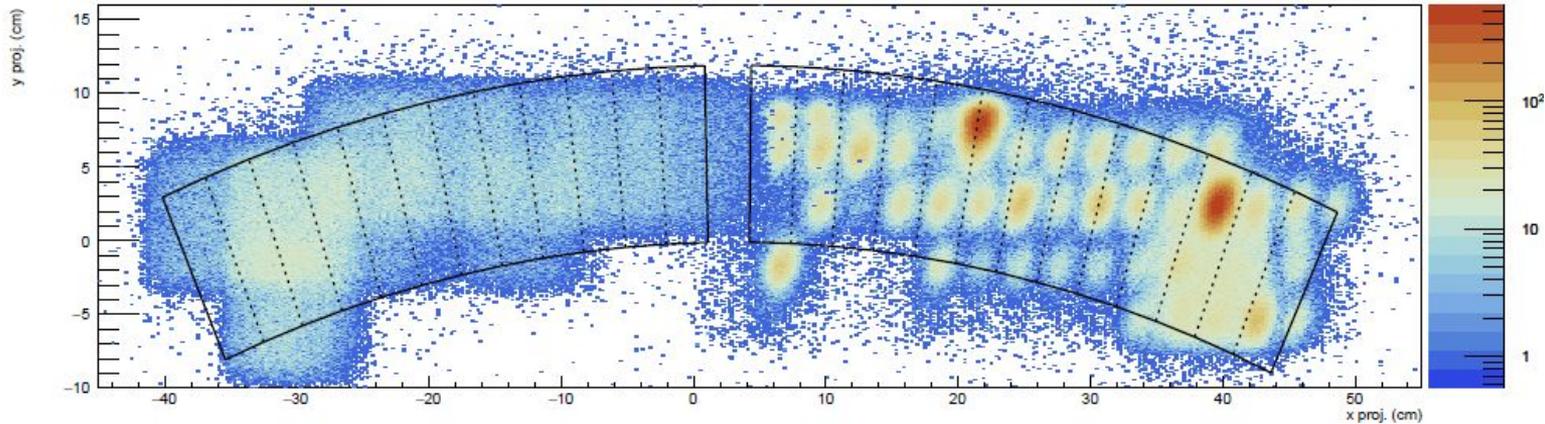
Anode
25



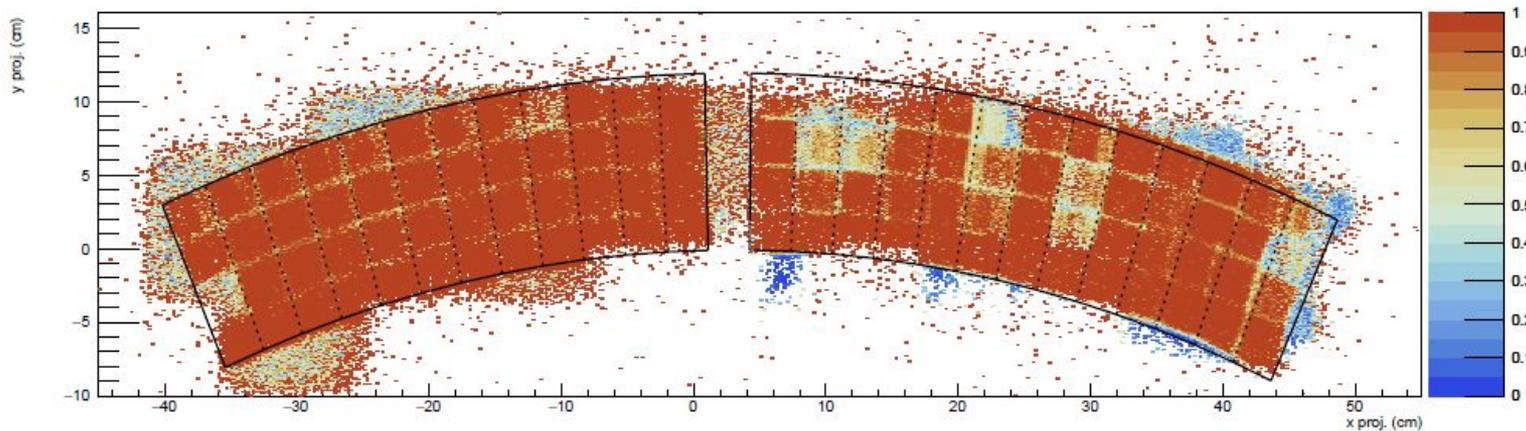
Anode
26



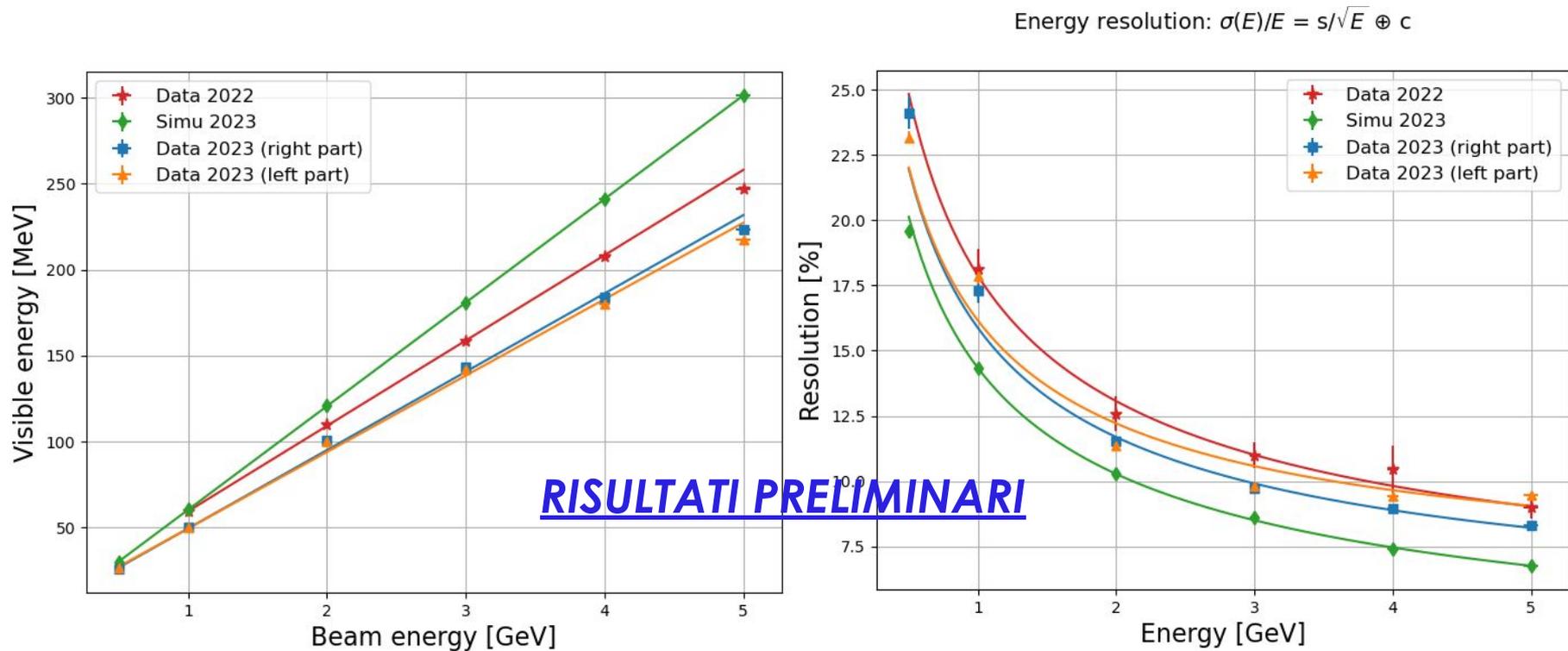
Mappa di efficienza 2023



RISULTATI PRELIMINARI



Linearità & Risoluzione energetica - Simulazione



Accuratezza e precisione

- **Accuracy:** degree of closeness of the measured quantity to its true value, defined as:

$$(TP + TN)/(TP + TN + FP + FN)$$

- **Precision:** how close the measurements are to each other, define as:

$$TP/(TP + FP)$$

Where:

- TP true positive
- TN true negative
- FP false positive
- FN false negative

Allineamento del sistema

