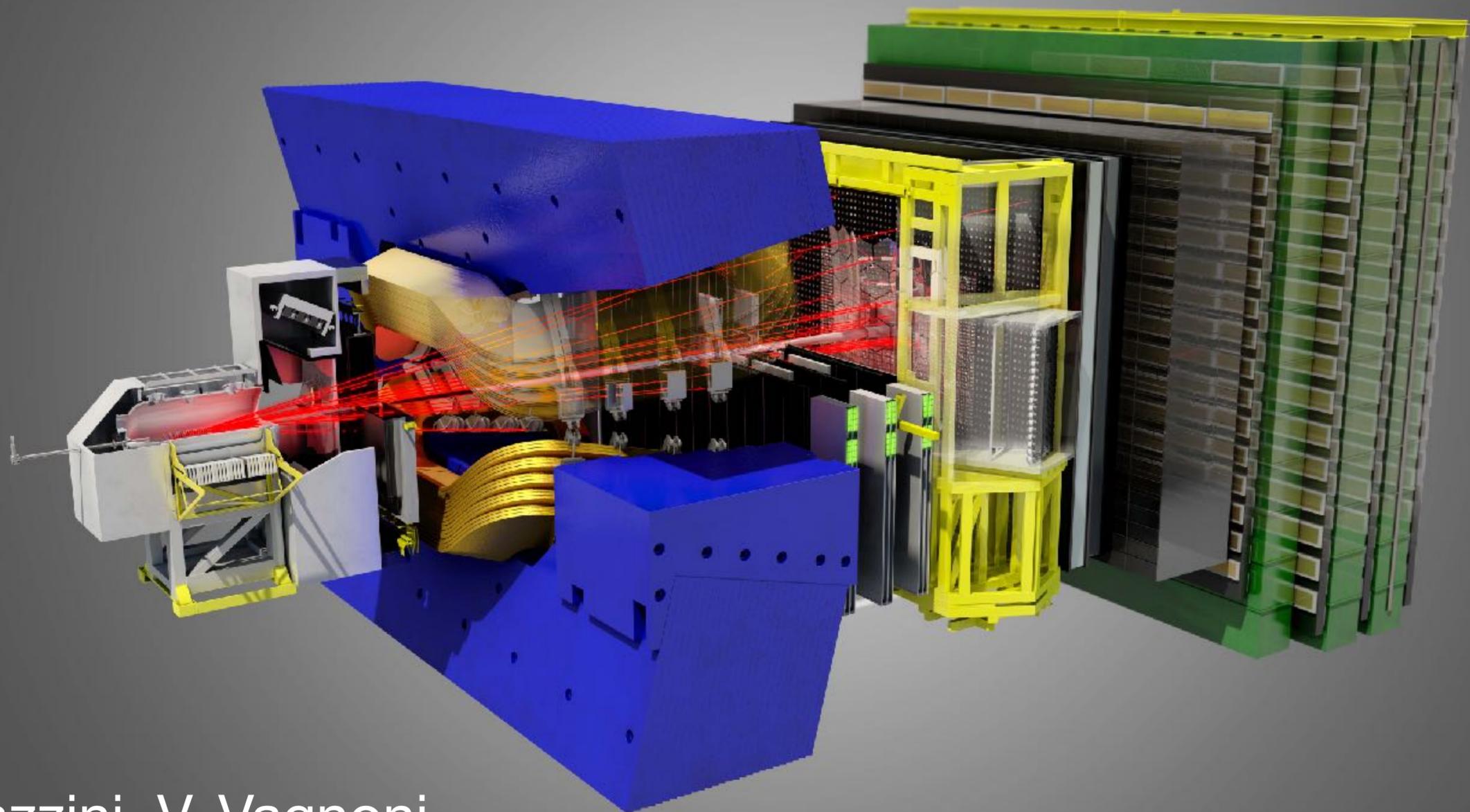


Un timing layer basato su MCP per l'Upgrade2 del calorimetro elettromagnetico di LHCb

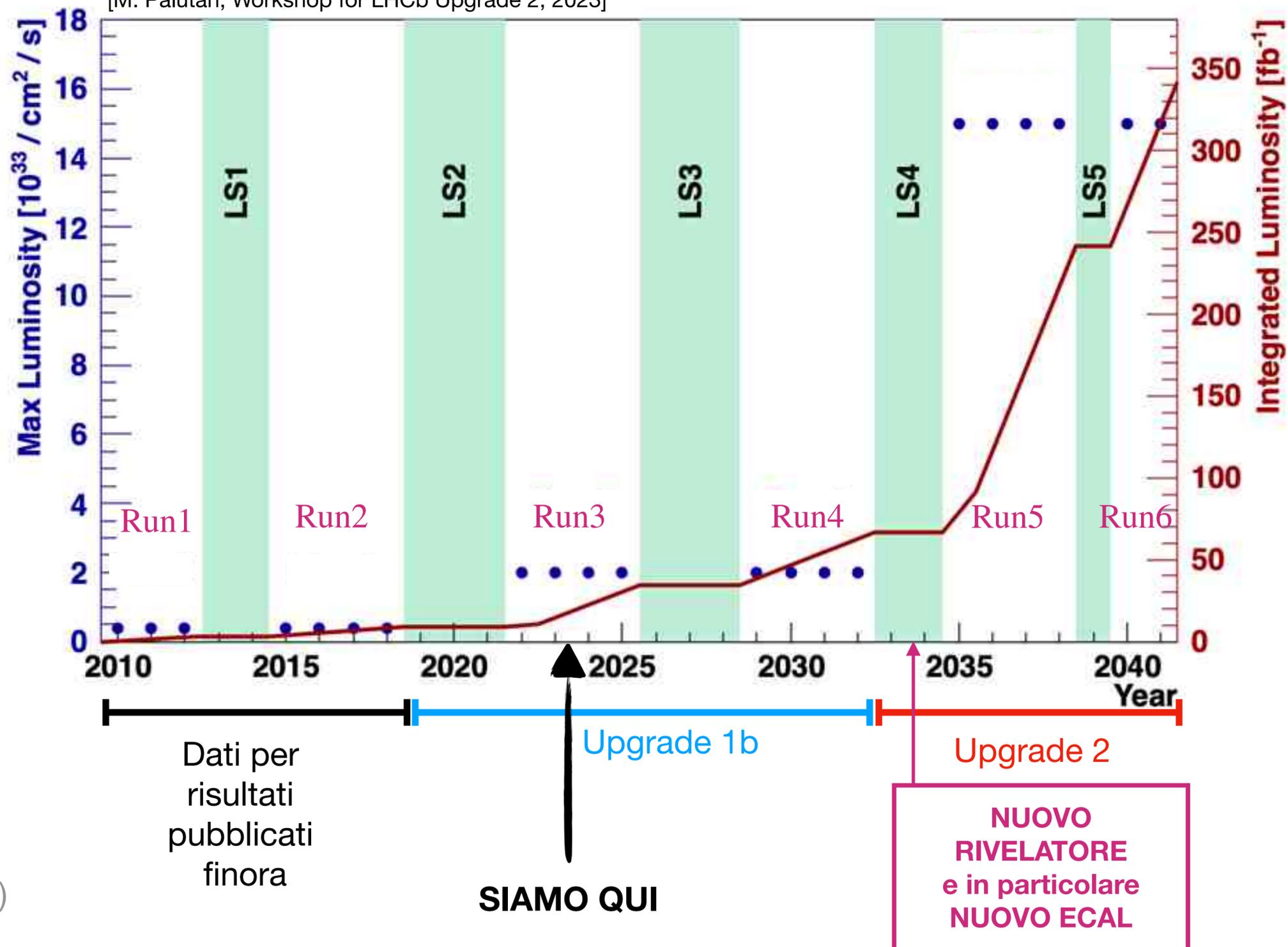
Incontri di Fisica delle Alte Energie
Catania, 13 Aprile 2023



F. Ferrari, D. Manuzzi, S. Perazzini, V. Vagnoni

Un luminoso futuro per LHCb

[M. Palutan, Workshop for LHCb Upgrade 2, 2023]



- Significativo sviluppo di tutto il rivelatore programmato per il **LS4**

- **Luminosità istantanea:** $\times 7$ rispetto ad ora

- **Luminosità integrata:** $\times 38$ rispetto ai dati già analizzati

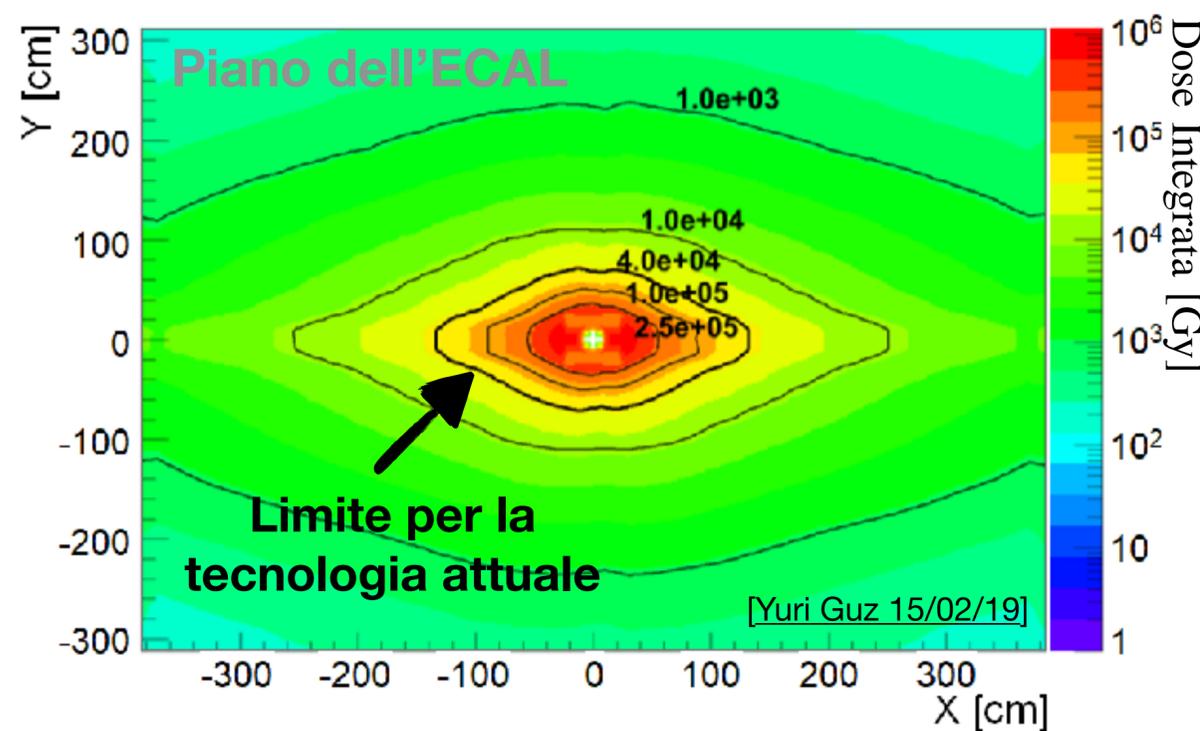
- **Nuovo ECAL** necessario per il programma di fisica

- ▶ CPV, FCNC, hadron spectroscopy, forward physics, fixed target, LFV, ...
- ▶ Dettagli:
 - [Physics Case for an LHCb Upgrade 2](#) (2018)
 - [FTDR for LHCb Upgrade 2](#) (2021)

Sfide per il nuovo ECAL

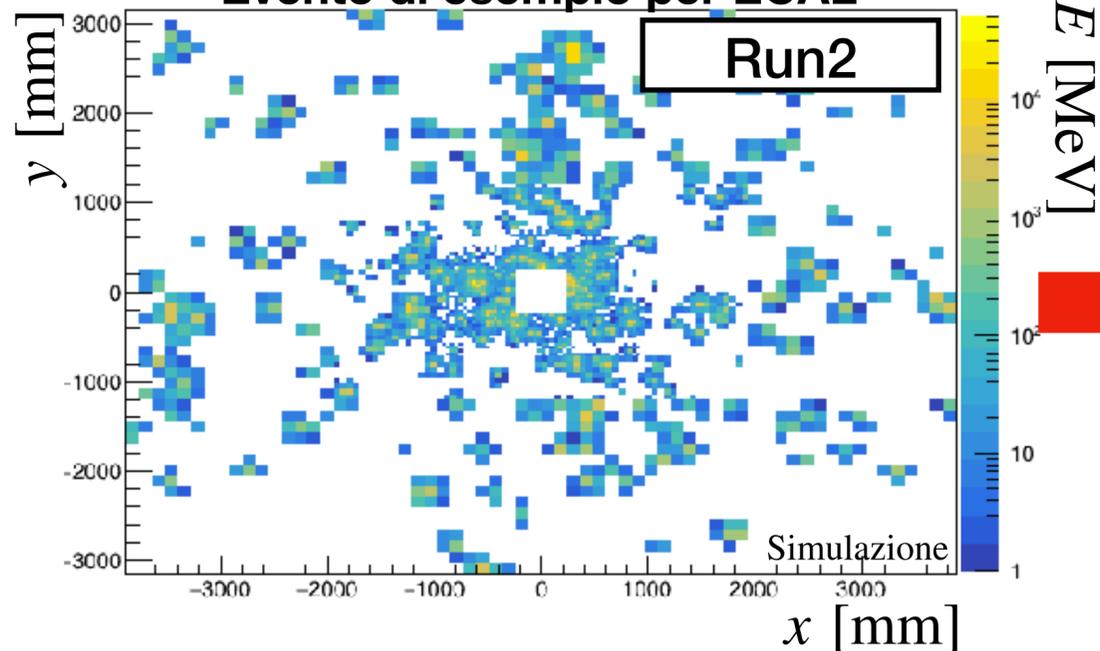
- Resistenza alla radiazione

Dose di radiazione attesa alla fine del Run6

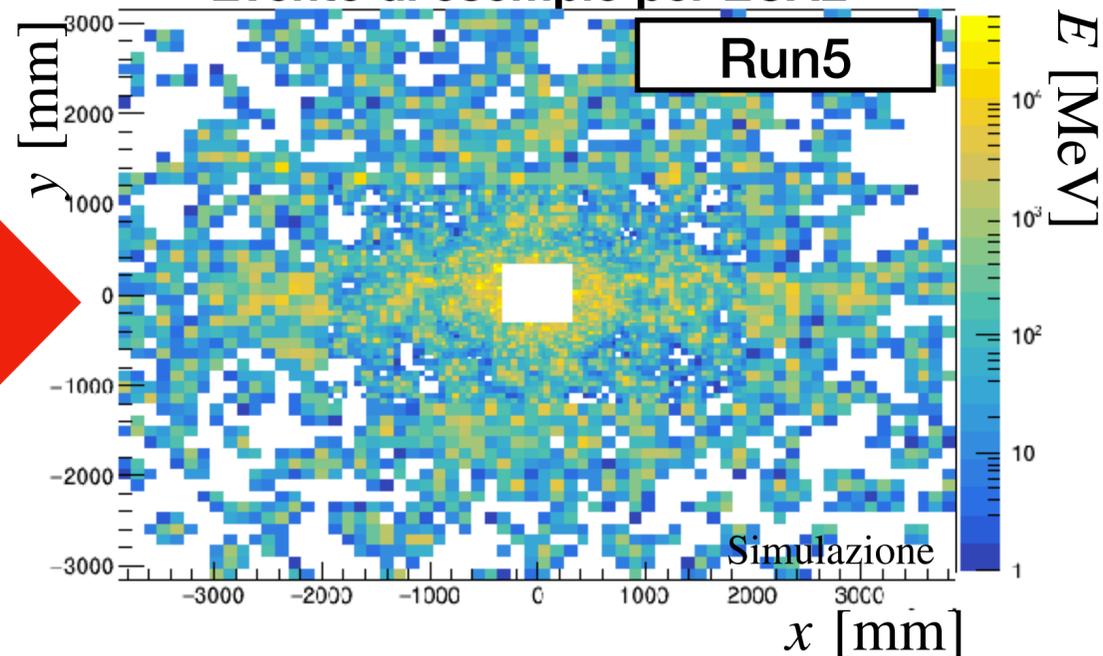


- Occupanza

Evento di esempio per ECAL

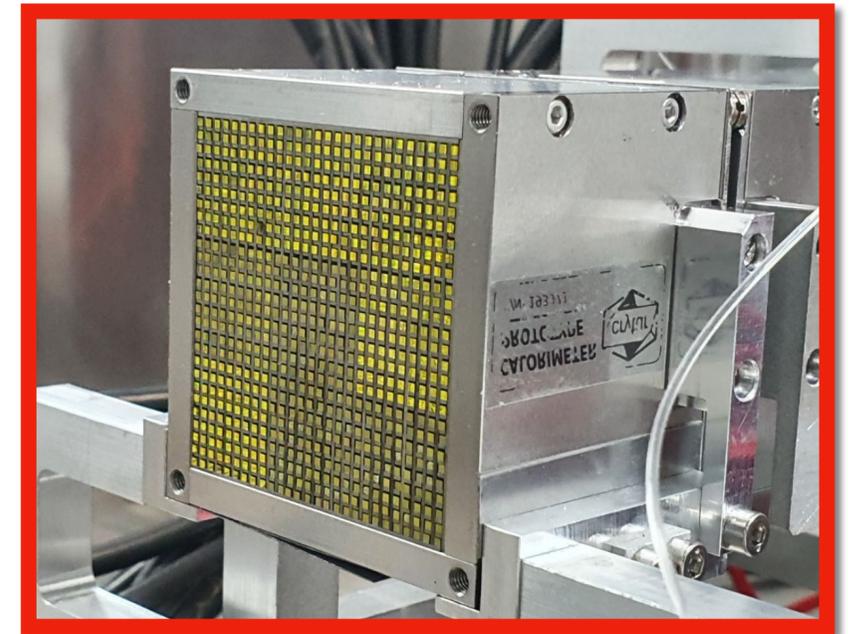


Evento di esempio per ECAL

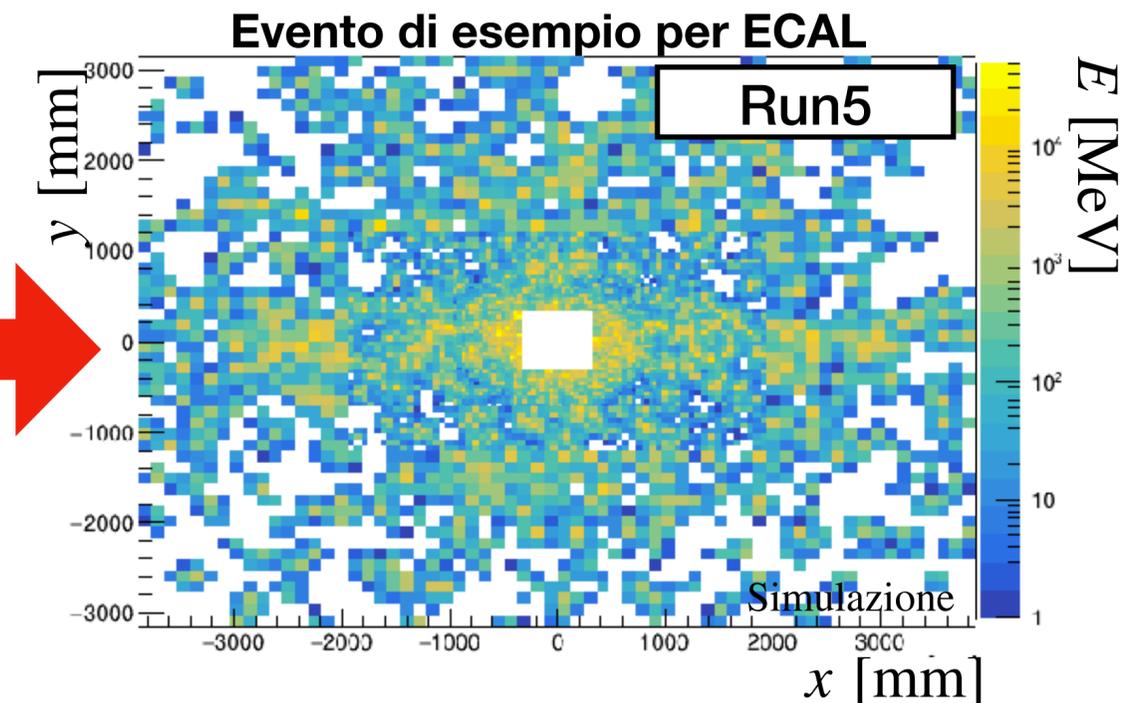
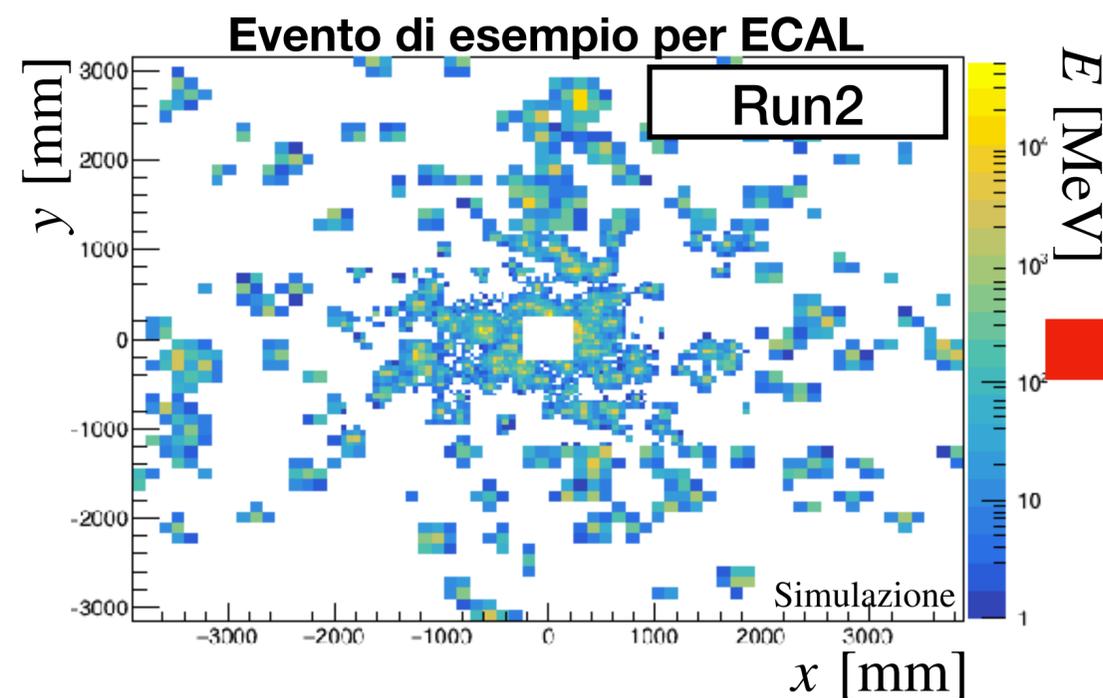


Sfide per il nuovo ECAL

- Resistenza alla radiazione
 - **SPACAL** per le regioni più interne
 - ▶ Assorbitore: W o Pb
 - ▶ Scintillatore: $Gd_3Al_2Gd_3O_{12}$ (GAGG)



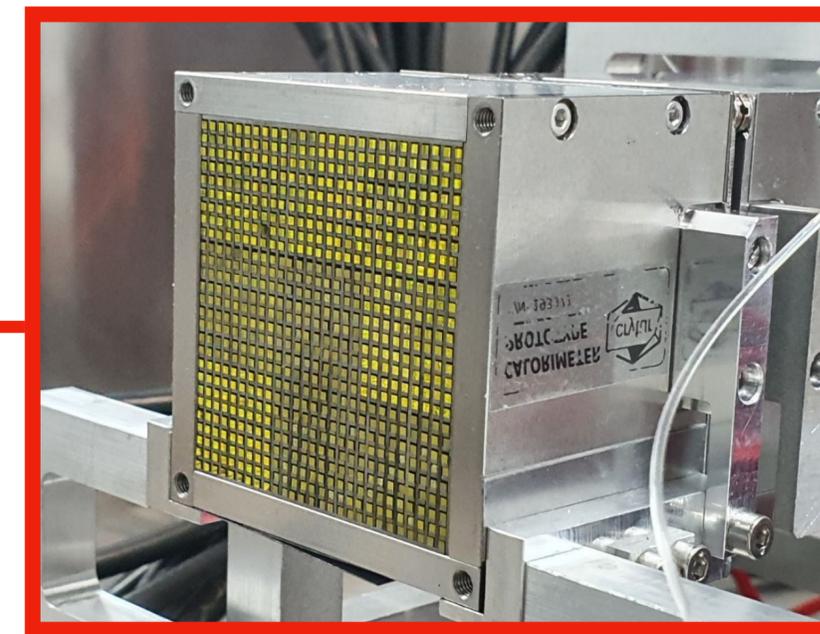
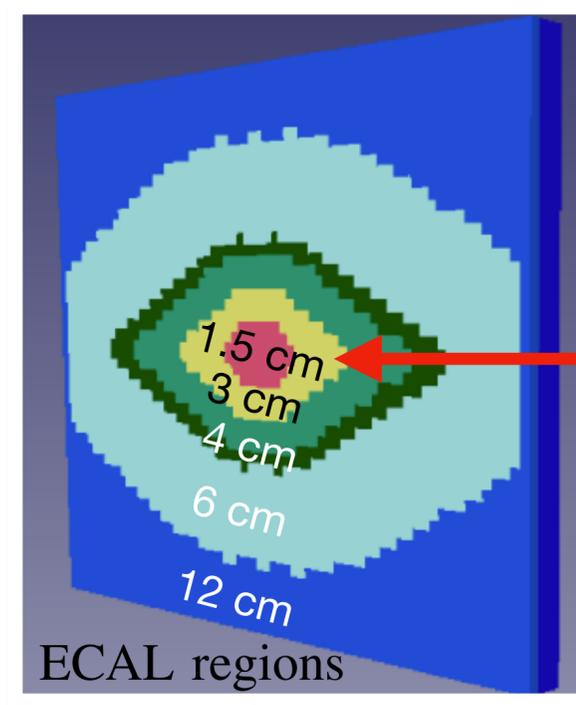
- Occupanza



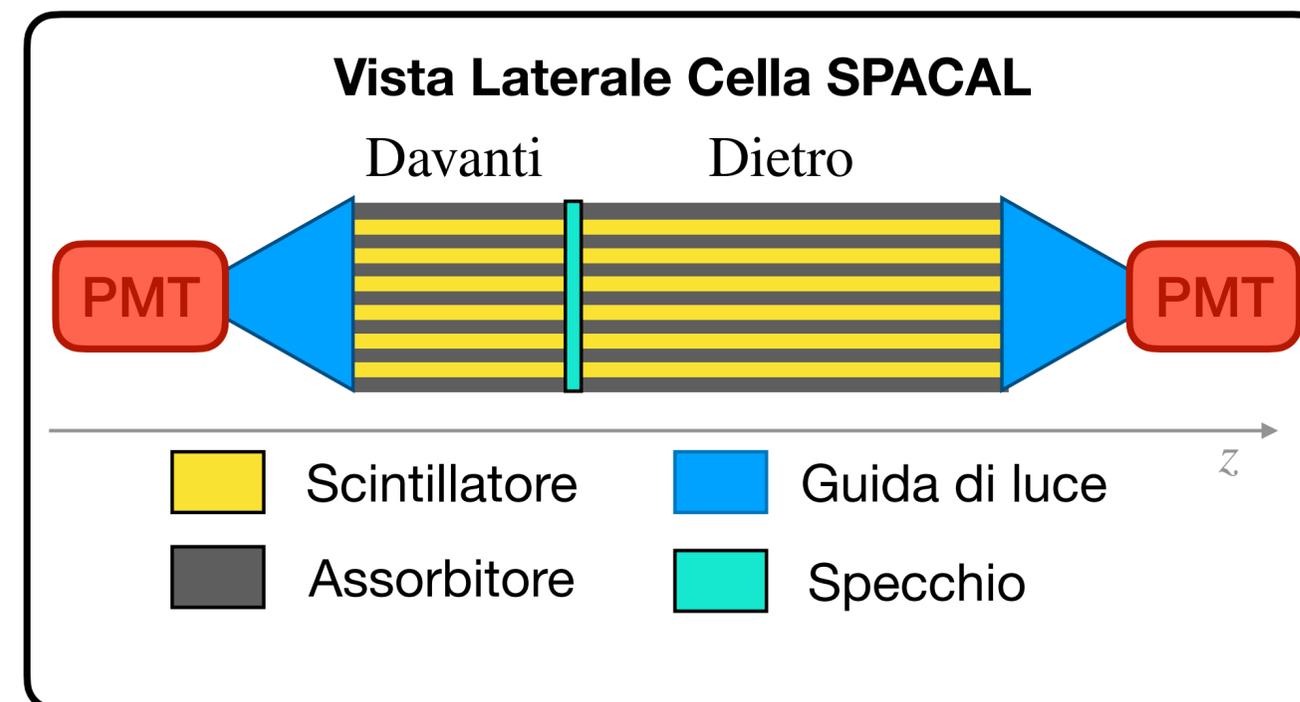
Sfide per il nuovo ECAL

- Resistenza alla radiazione
 - **SPACAL** per le regioni più interne

- ▶ Assorbitore: W o Pb
- ▶ Scintillatore: $Gd_3Al_2Gd_3O_{12}$ (GAGG)



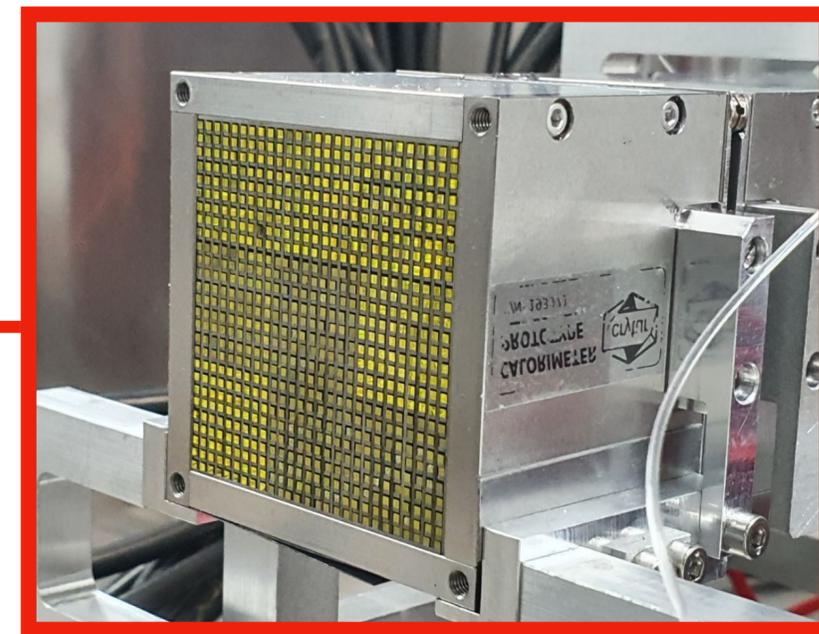
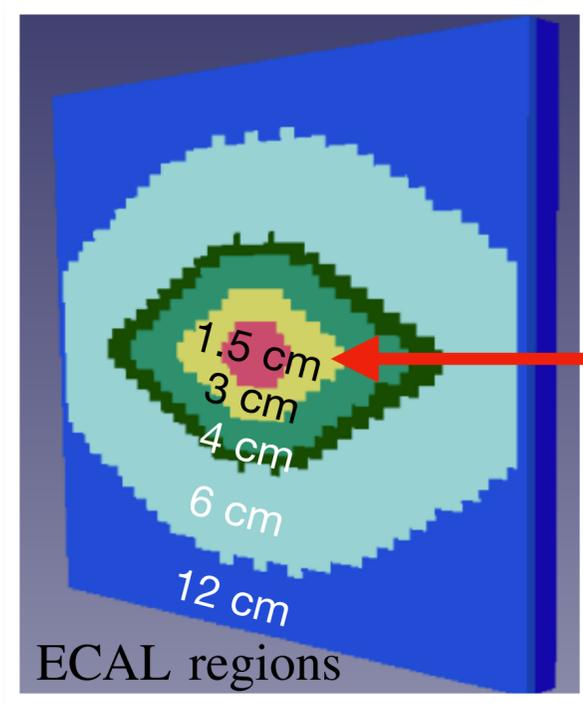
- Occupanza
 - Maggiore granularità
 - Segmentazione in z



Sfide per il nuovo ECAL

- Resistenza alla radiazione
 - **SPACAL** per le regioni più interne

- ▶ Assorbitore: W o Pb
- ▶ Scintillatore: $Gd_3Al_2Gd_3O_{12}$ (GAGG)



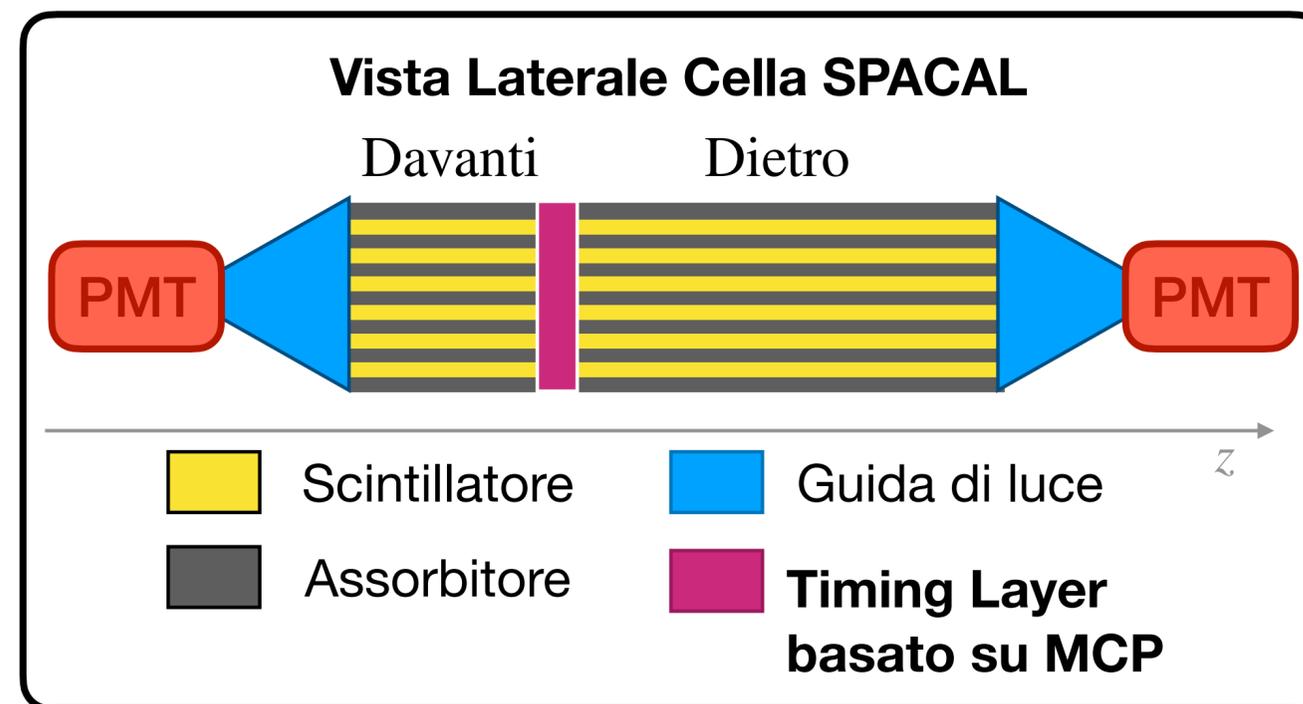
- Occupanza

- Maggiore granularità
- Segmentazione in z

- **Misura del tempo**

Efficace per ridurre fondo combinatorio

Necessaria precisione tra i 10 e i 20 ps



MicroChannel Plates

- Matrice di canali micrometrici capaci di moltiplicare elettroni

- ▶ Tradizionalmente prodotti a partire da agglomerati di fibre ottiche rivestite con vetro al piombo

- **Fotocatodo:**

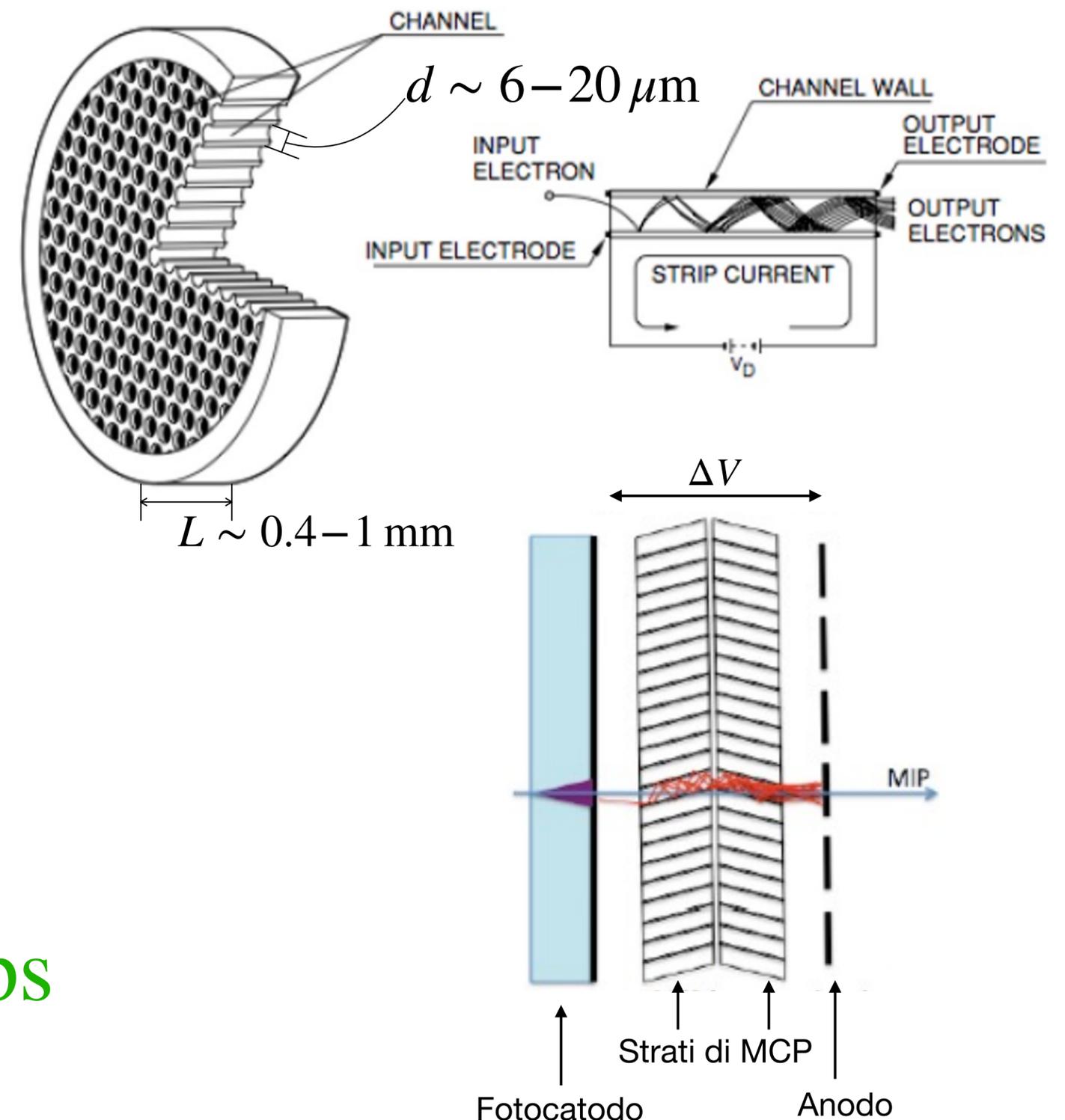
- ▶ Rivelazione di fotoni
- ▶ Buona efficienza con particelle singole

- Facile raggiungere guadagni dell'ordine di $10^6 - 10^7$ con due strati di MCP

- ▶ $\log(G) \propto L/d$

- Precisioni temporali tipiche: **10–15 ps**

- ▶ Svariati venditori disponibili



Limiti degli MCP

● Costo

○ Difficile produrre MCP di grande area con la tecnologia tradizionale

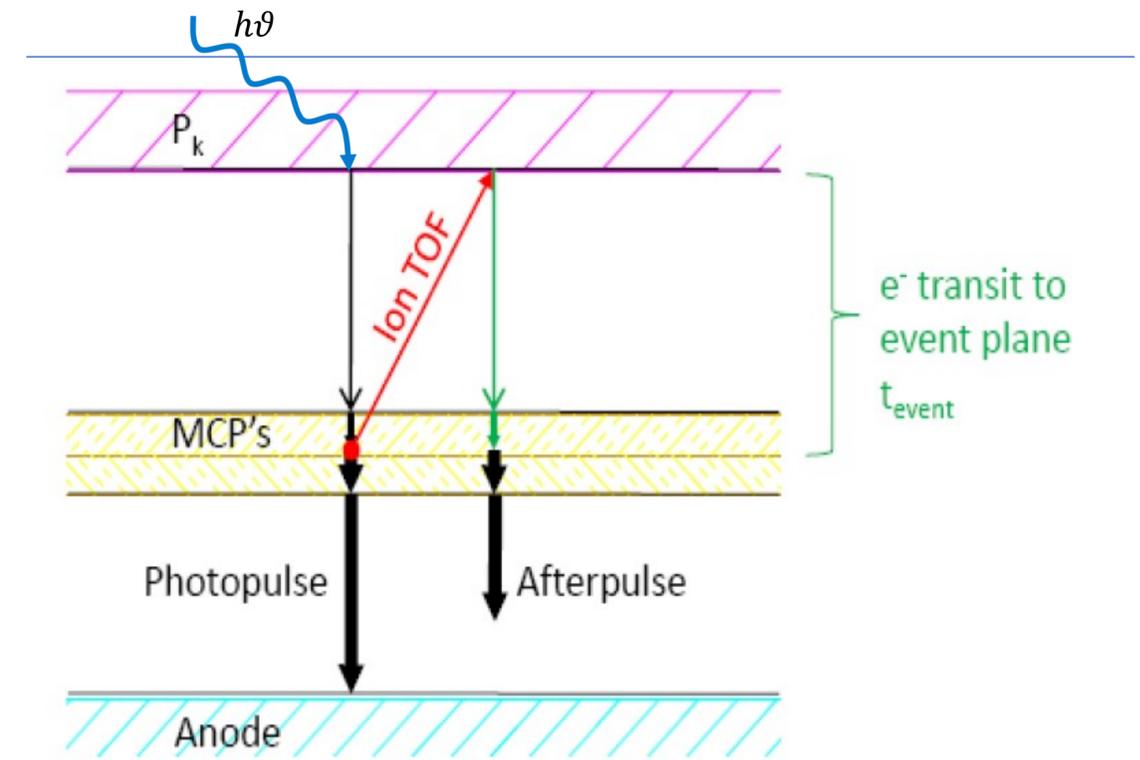
- ▶ Vetro al piombo
- ▶ Area ECAL: $\sim 45 \text{ m}^2$



● Fragilità del **fotocatodo**

○ Ion-feedback riduce efficienza quantica

- ▶ Carica integrata massima: $\sim 30 \text{ C/cm}^2$
- ▶ 10 volte inferiore alle necessità dell'ECAL di LHCb



Limiti degli MCP

● Costo

○ Difficile produrre MCP di grande area con la tecnologia tradizionale

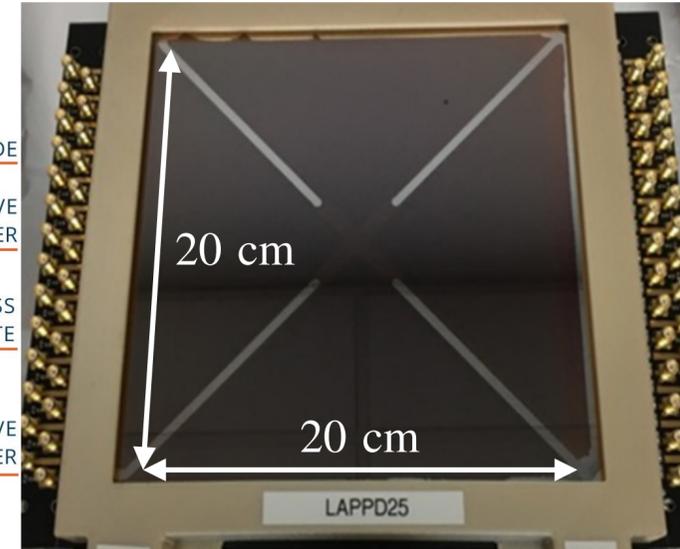
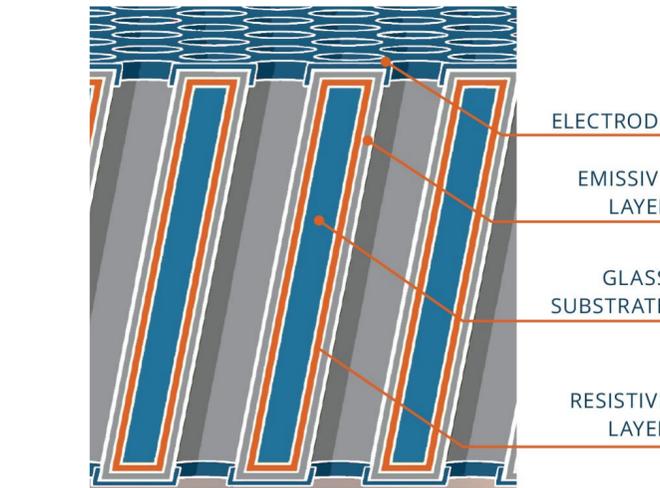
○ **Idea:** nuovi LAPPD prodotti da Incom®

- ▶ Struttura porosa degli MCP fatta con comuni borosilicati, poi attivati tramite deposizione di strati resistivi ed emissivi (“Atomic Layer Deposition”)

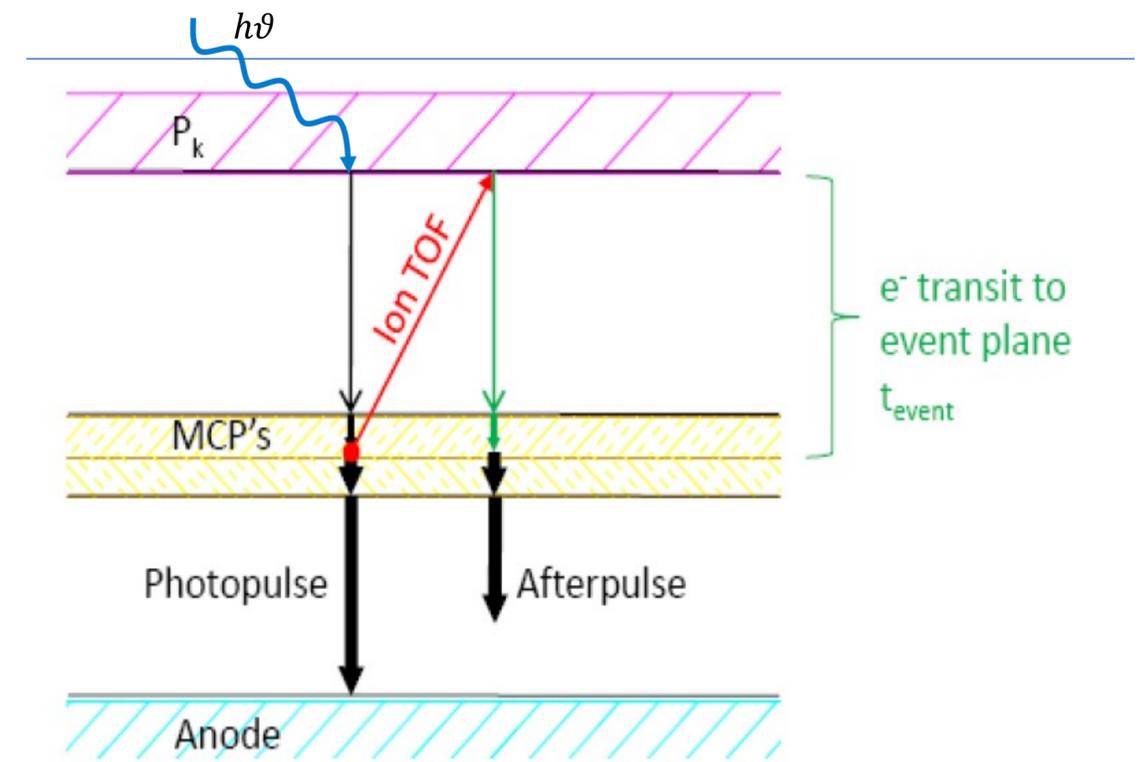
● Fragilità del **fotocatodo**

○ Ion-feedback riduce efficienza quantica

- ▶ Carica integrata massima: $\sim 30 \text{ C/cm}^2$
- ▶ 10 volte inferiore alle necessità dell’ECAL di LHCb



Diametro pori: $\sim 10 - 20 \mu\text{m}$



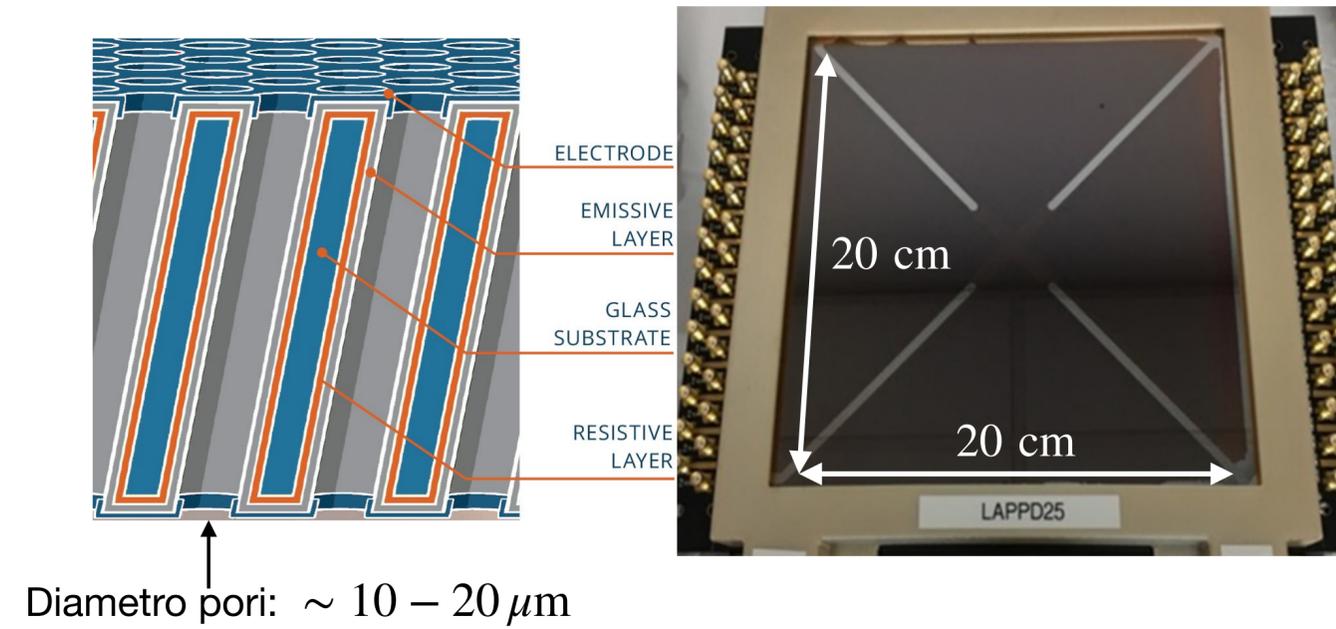
Limiti degli MCP

● Costo

○ Difficile produrre MCP di grande area con la tecnologia tradizionale

○ **Idea:** nuovi **LAPPD** prodotti da Incom®

- ▶ Struttura porosa degli MCP fatta con comuni borosilicati, poi attivati tramite deposizione di strati resistivi ed emissivi (“Atomic Layer Deposition”)



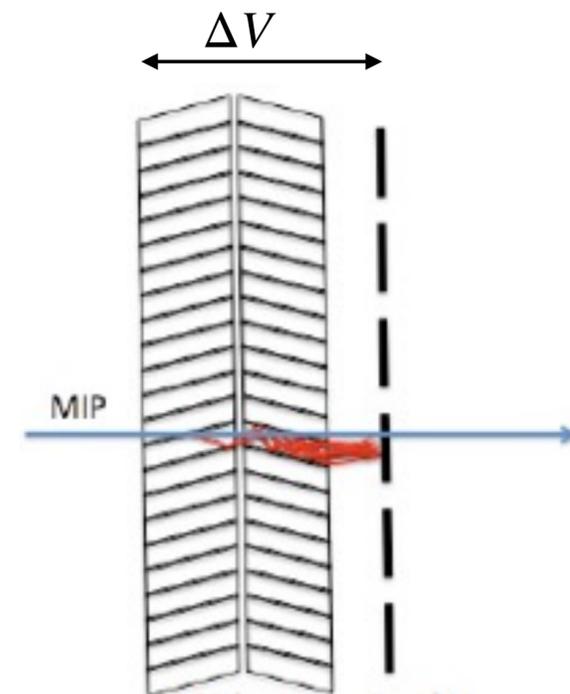
● Fragilità del **fotocatodo**

○ Ion-feedback riduce efficienza quantica

○ **Idea:** rimozione del fotocatodo

- ▶ **Non essenziale** perché, operando al massimo dello sciame EM, il numero di elettroni presenti è già alto

ulteriore
riduzione
dei costi



Strumenti e attività

● Prototipi di LAPPD:

Nome	d pori [μm]	Strati di MCP	Anodo
#69	20	2	strip
#89	10	2	strip
#87	20	2	pixel
Z-stack	10	3	pixel

● Agli acceleratori:

○ Elettroni

- ▶ DESY: 1–5.8 GeV
- ▶ SPS: 20–100 GeV

Risoluzione temporale

Risoluzione spaziale
Efficienza

[backup slide]

○ Protoni

- ▶ IRRAD: 24 GeV

Invecchiamento

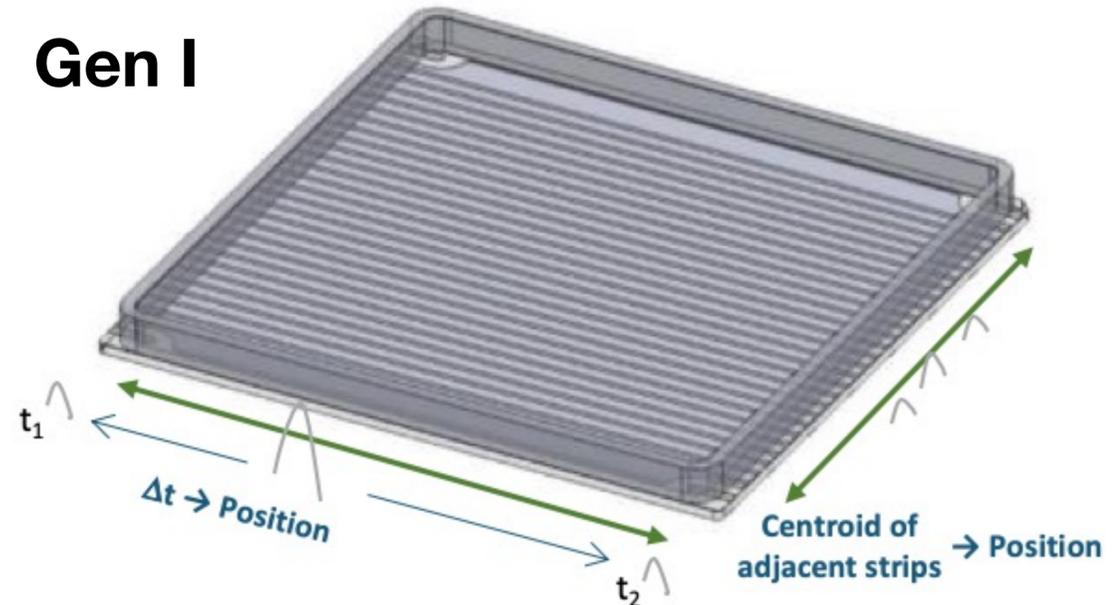
● In laboratorio

○ Laser da 405 nm

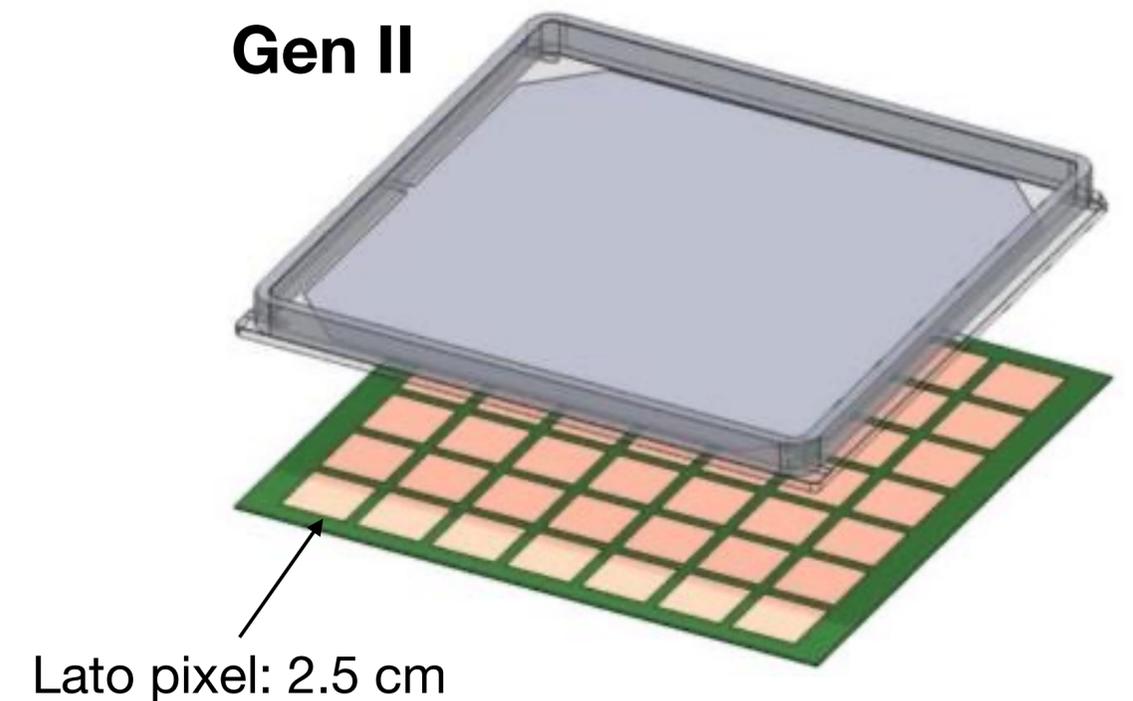
Studio effetto **alto flusso** incidente

○ Lampada UV

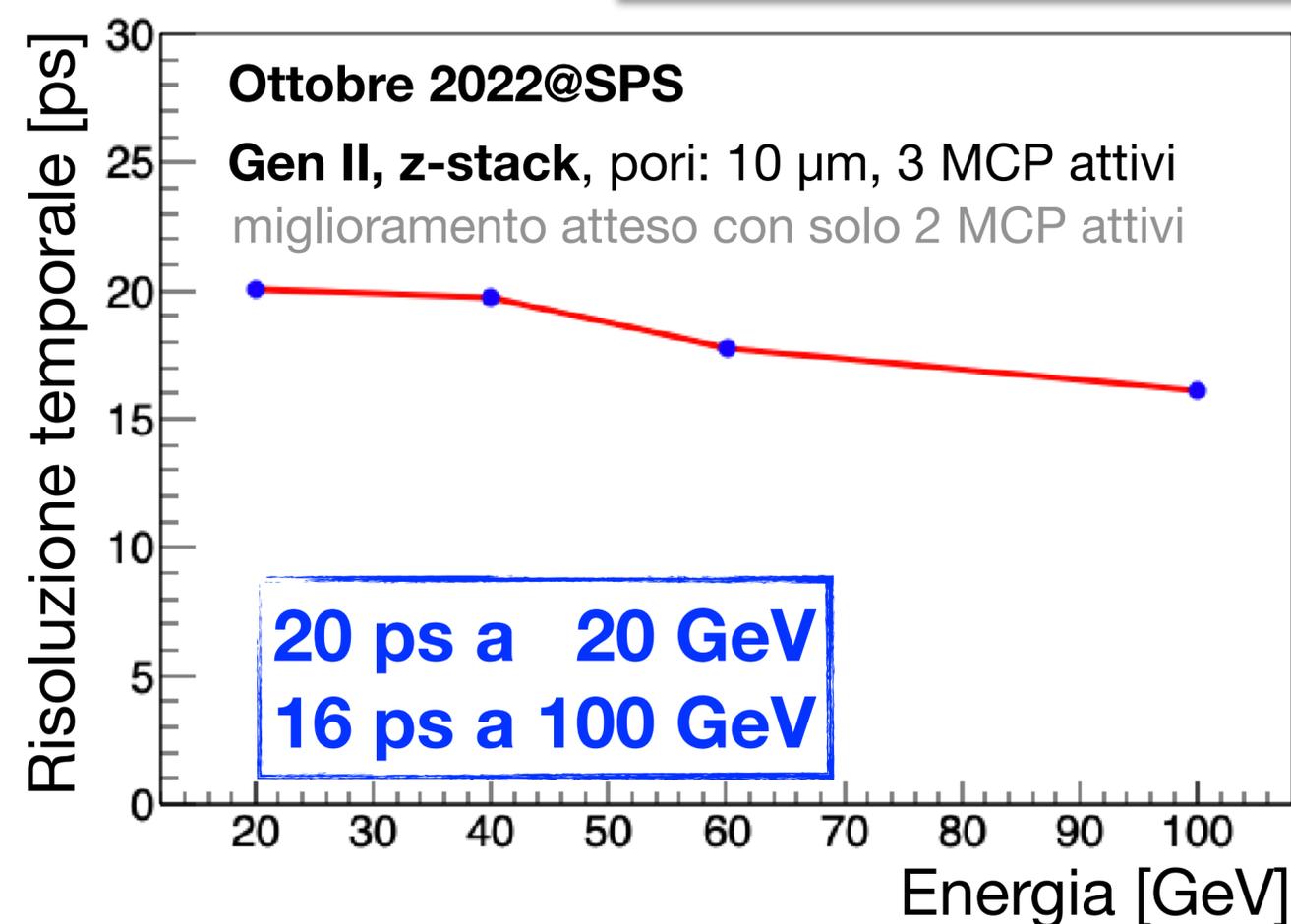
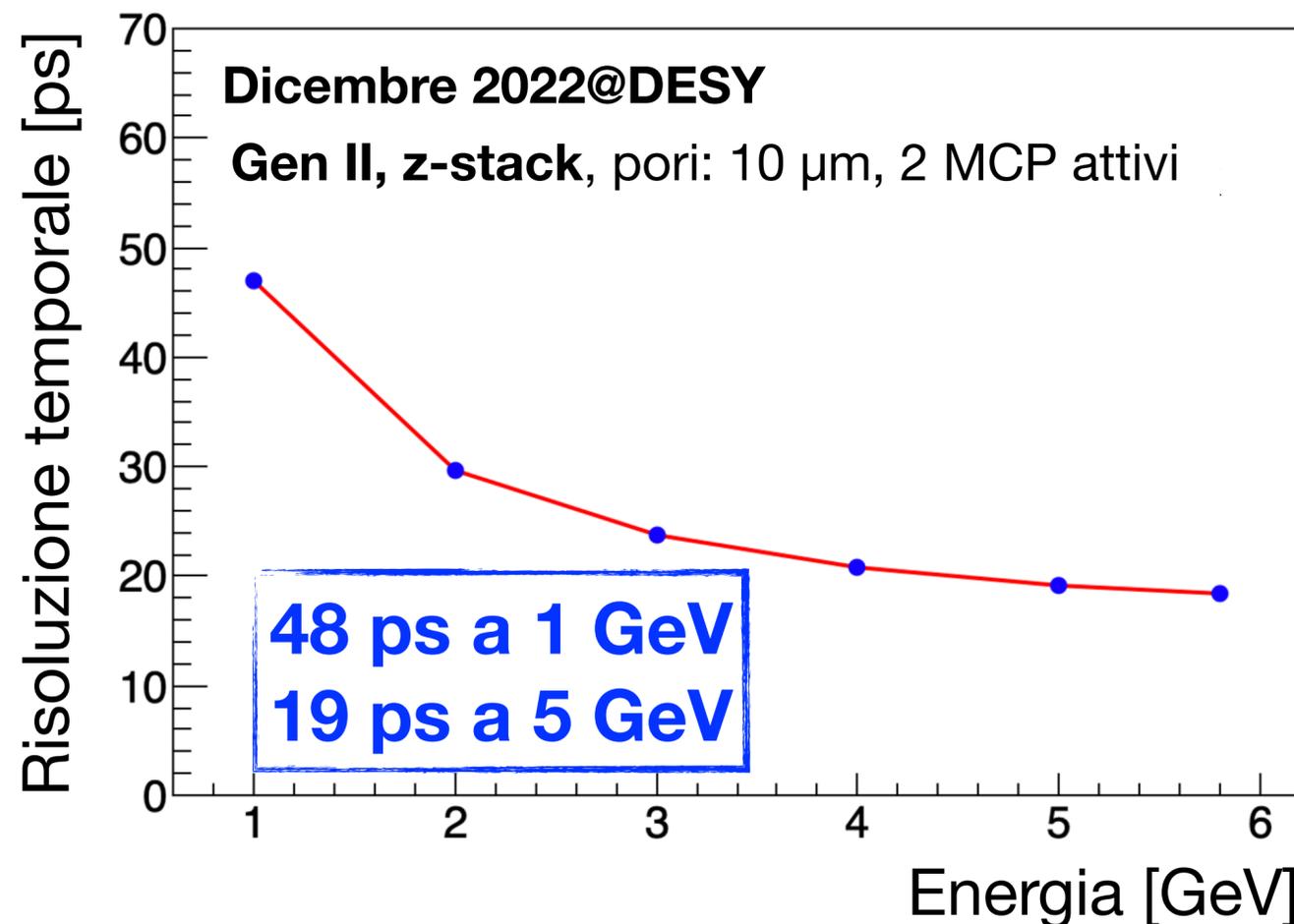
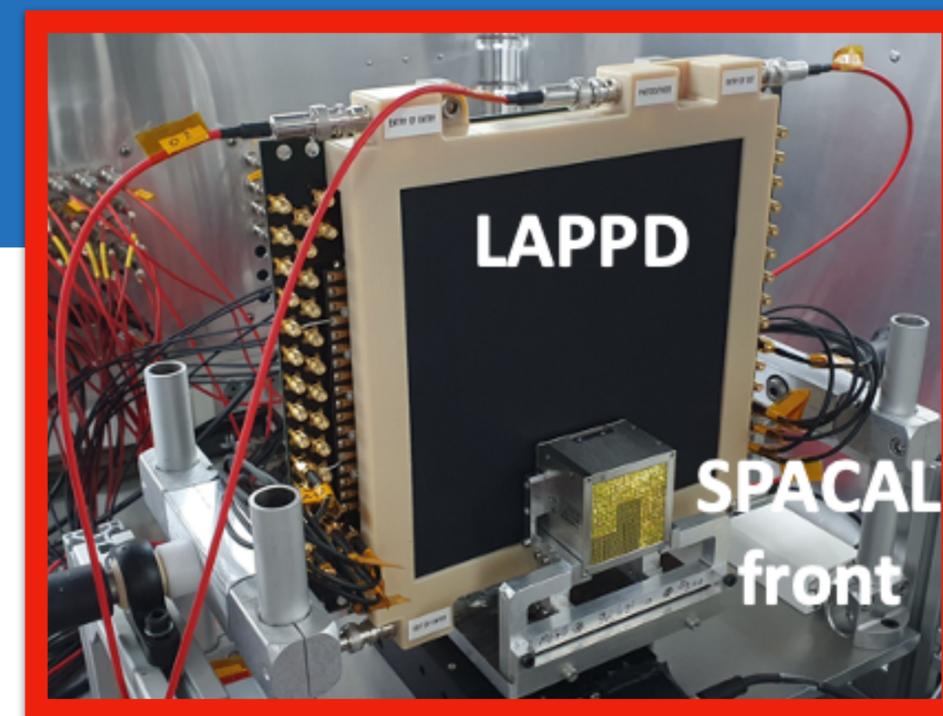
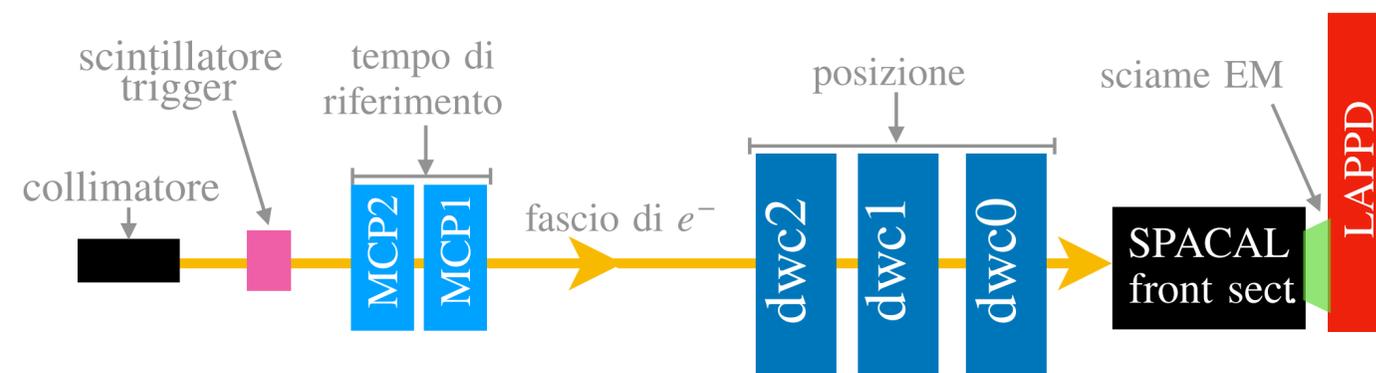
Invecchiamento



Gen II



Risoluzione temporale



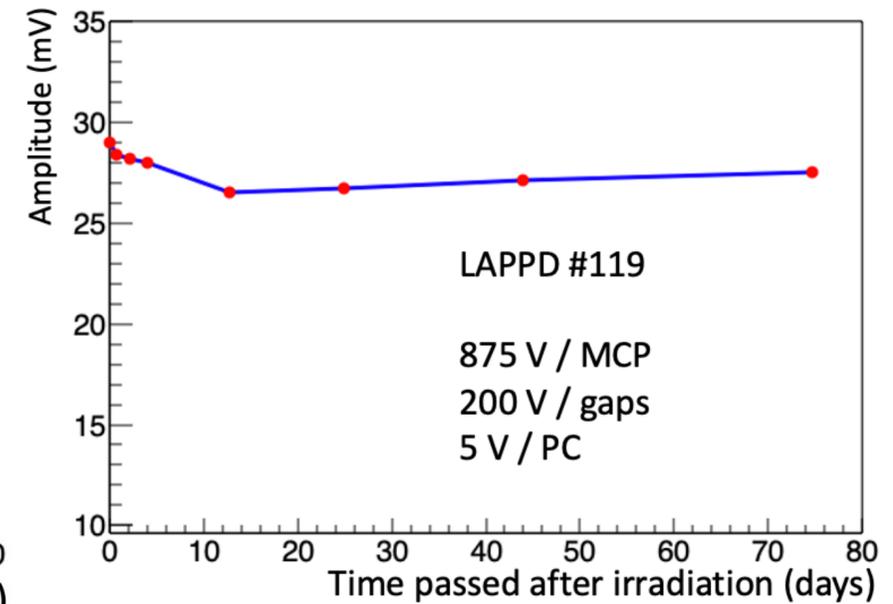
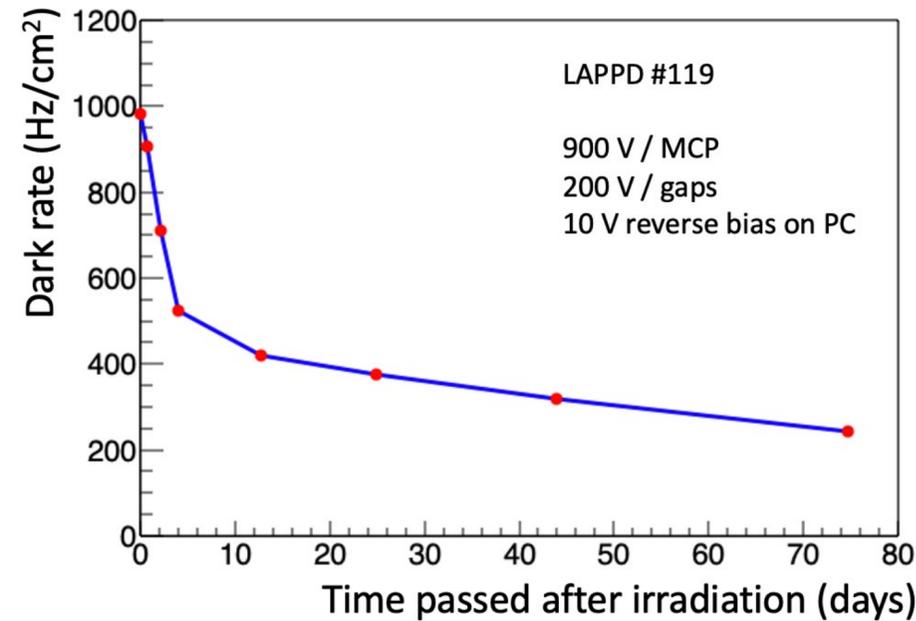
Random Forest Regressor usato per combinare le informazioni temporali da 4 pixel

Backup slides: prestazioni con prototipi Gen-I, risoluzione spaziale, efficienza

Invecchiamento

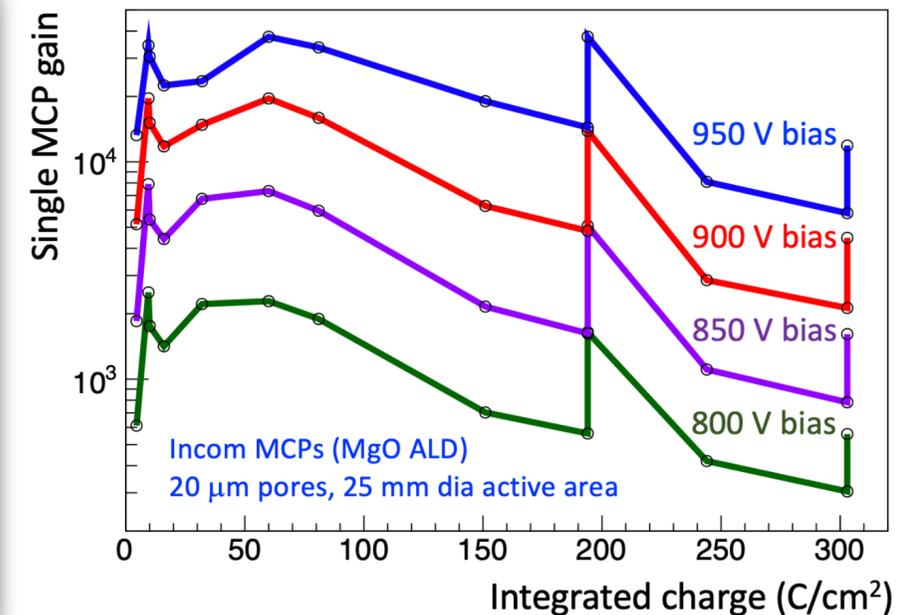
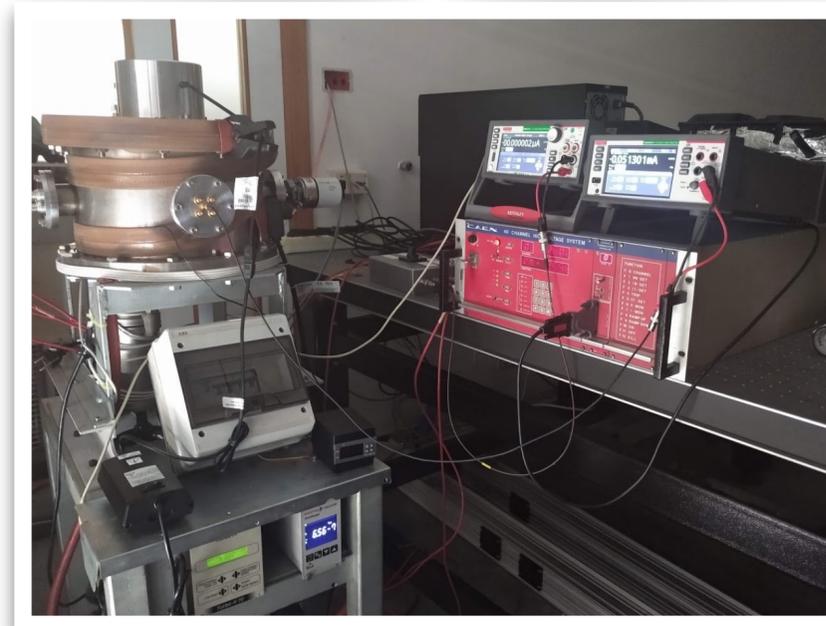
- Irraggiamento con **protoni** da 24 GeV presso IRRAD

- Dose accumulata: 10^{16} protoni/cm²
- Nessuna evidente degradazione delle prestazioni 



- Irraggiamento con **luce UV** di un MCP di Incom[®] in camera a vuoto

- Massima carica integrata: 300 C/cm²
- Riduzione del guadagno: fattore 7
- Recuperabile con +100 V 



Alta occupanza (work in progress)

- Un alto flusso incidente può peggiorare le prestazioni

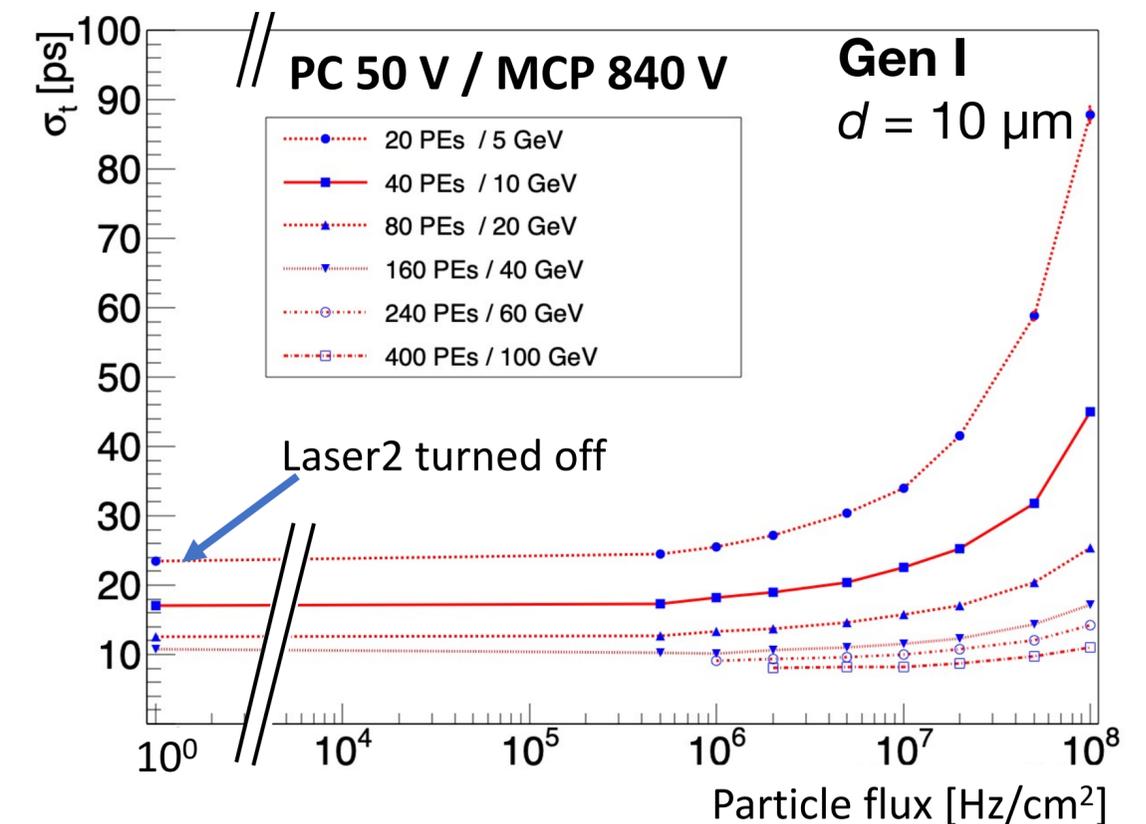
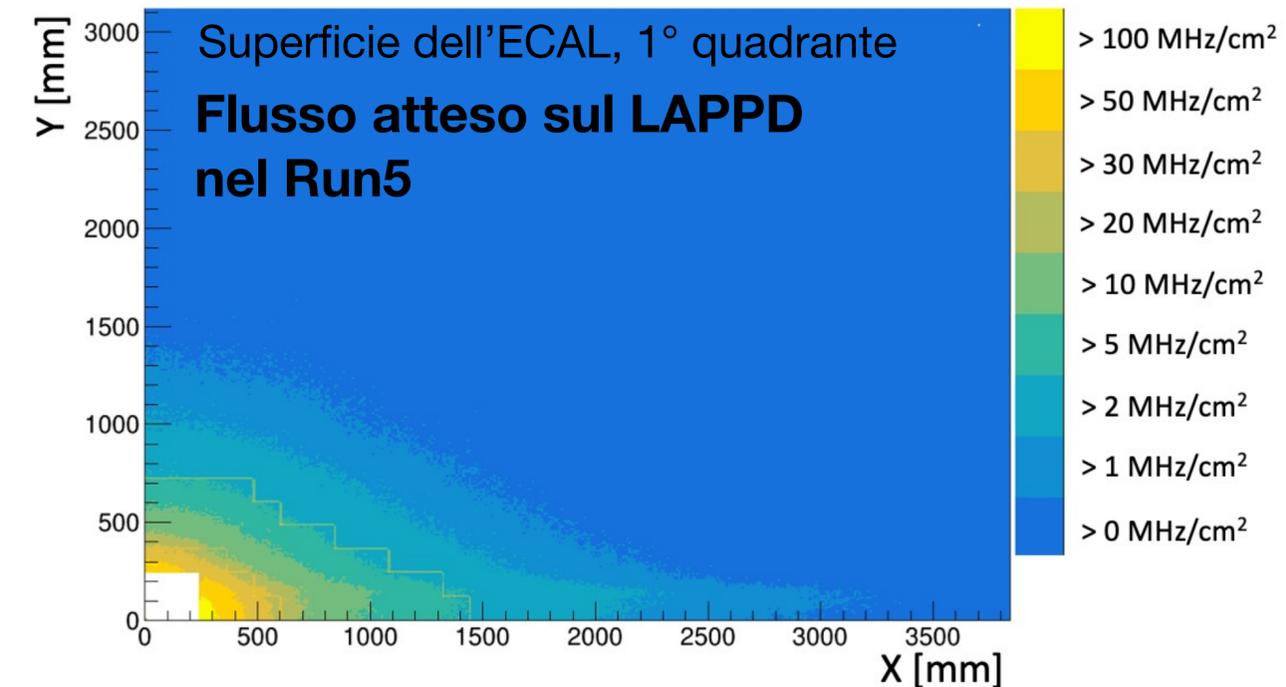
- ▶ Ogni moltiplicazione priva i pori di e^-
- ▶ Tempo morto

- Studio in laboratorio con 2 laser

- ▶ Intensità e frequenza degli impulsi aggiustate per riprodurre le condizioni del Run5 di LHCb
 - Laser1, defocused: segnale
 - Laser2, defocused: flusso di fondo
- ▶ Energia primario \leftrightarrow Molteplicità sciame da simulazione

- Degradazione della risoluzione temporale già sopra alcuni MHz/cm²

- Effetto mitigato ad alta energia
- Prossimo test: **LAPPD z-stack**



Conclusioni

- Un rivelatore di tempo basato su LAPPD è attualmente uno dei componenti candidati per l'Upgrade 2 dell'ECAL di LHCb
 - Possibilità di **ridurre i costi** rispetto agli MCP tradizionali
 - Svariati test già eseguiti, sia in laboratorio sia agli acceleratori
 - Efficace **resistenza alla radiazione** degli MCP
 - Buona **risoluzione temporale**, anche senza fotocatodo
- **Intenso lavoro di ricerca e sviluppo in corso**
 - Focus attuale: prestazioni ad alto flusso incidente
(z-stack, pixel più piccoli, pori più piccoli ...)
- ▶ Progetto LLMCP per R&D su fotocatodi più resistenti già attivato da INFN

Backup

Test su fascio a DESY: Novembre 2020 e Maggio 2021

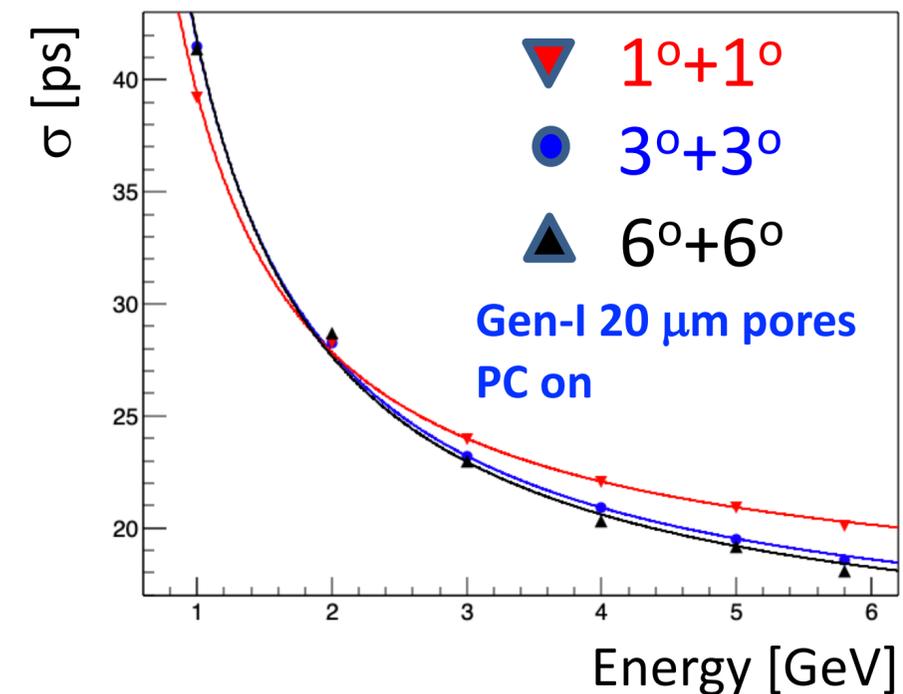
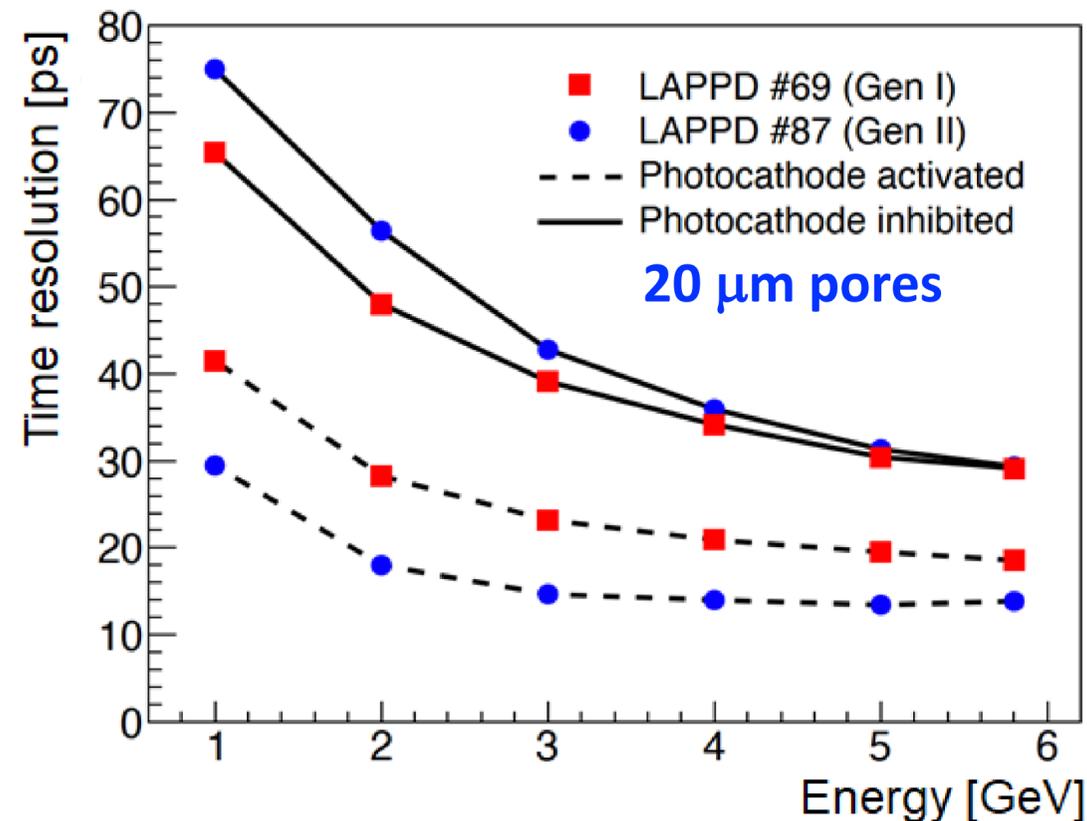
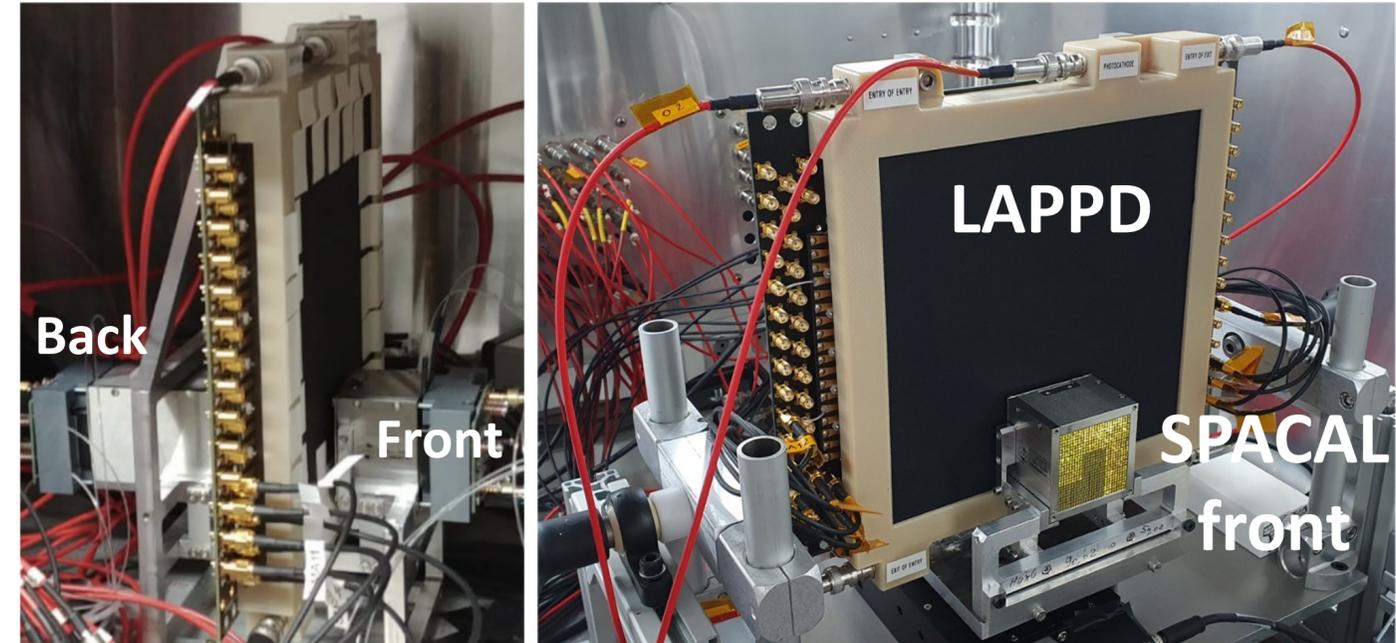
LAPPD di Gen. I e II con pori da 20 μm di diametro

Risoluzione temporale:

- Fotocatodo acceso: 23 ps (Gen-I) e 14 ps (Gen-II) a 5 GeV
- Fotocatodo spento: **~30 ps a 5 GeV**

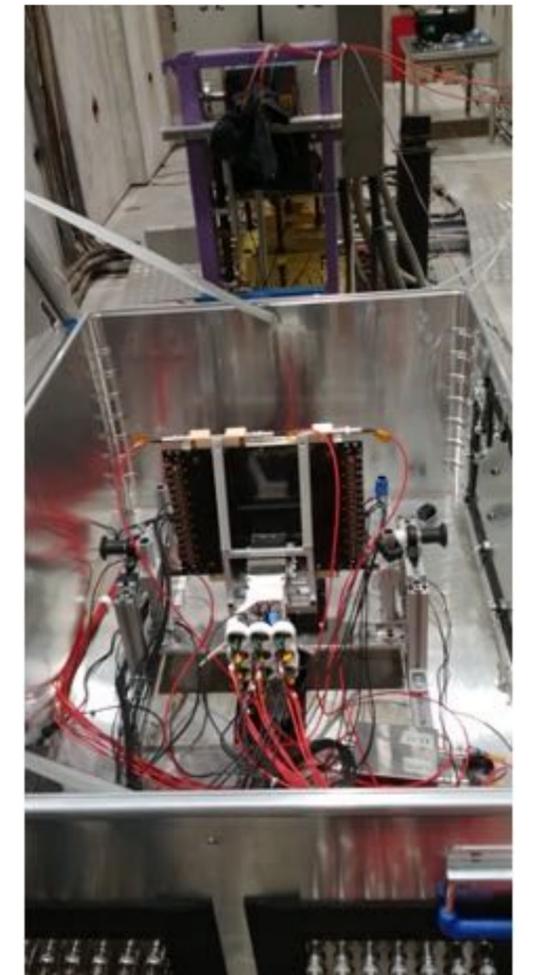
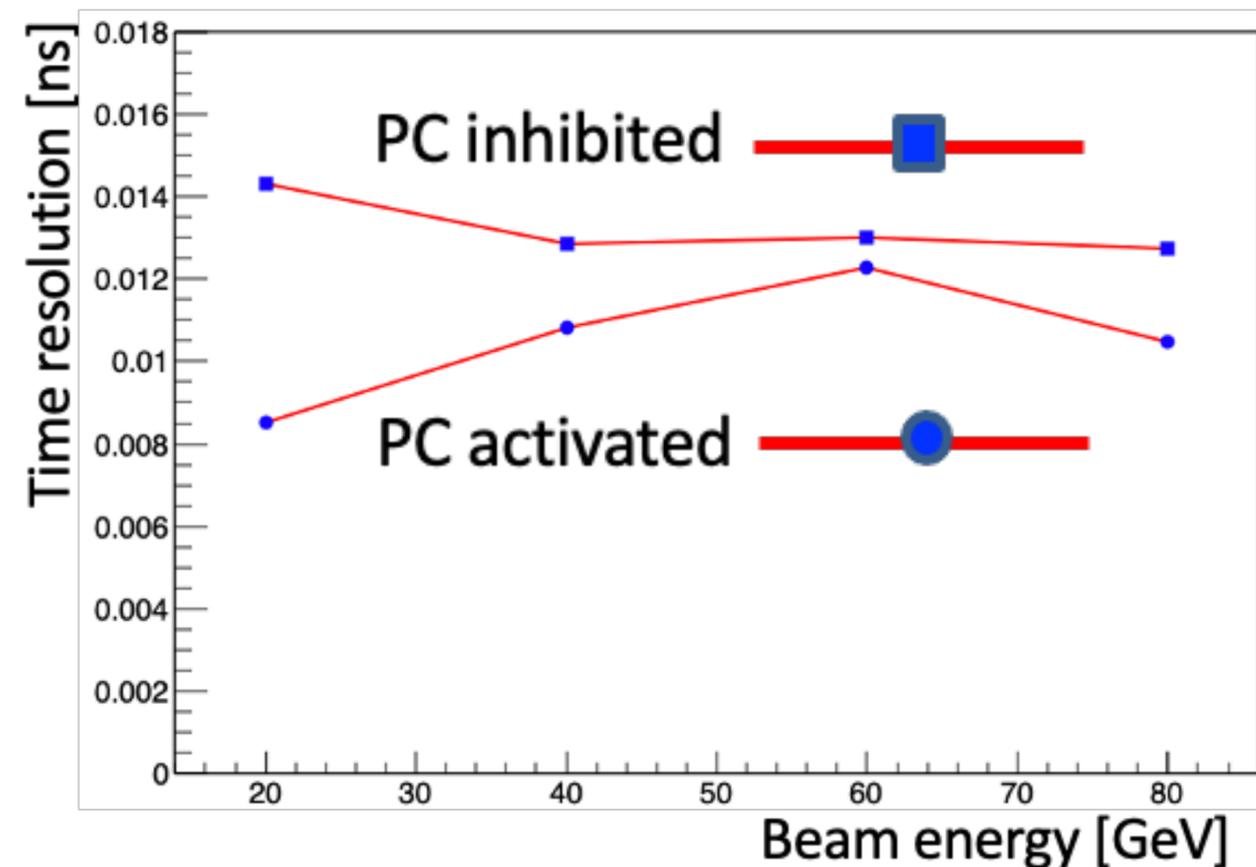
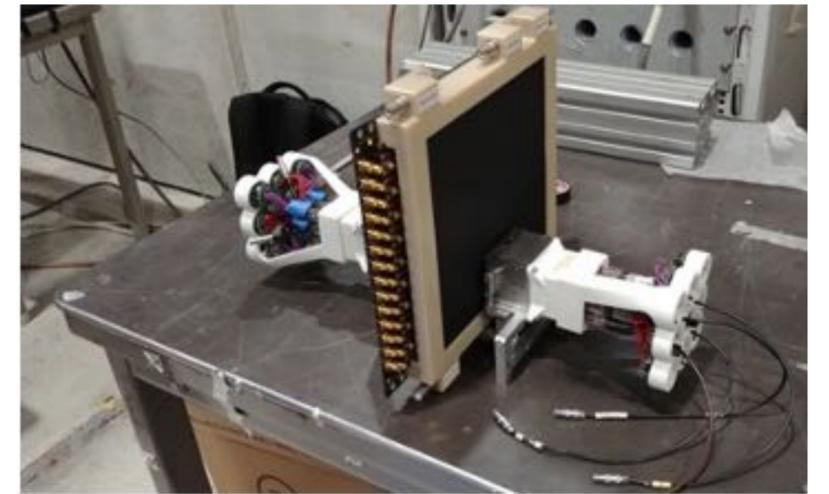
Piccole differenze a seconda dell'orientamento dell'asse del fascio

- effetto dovuto a geometria SPACAL

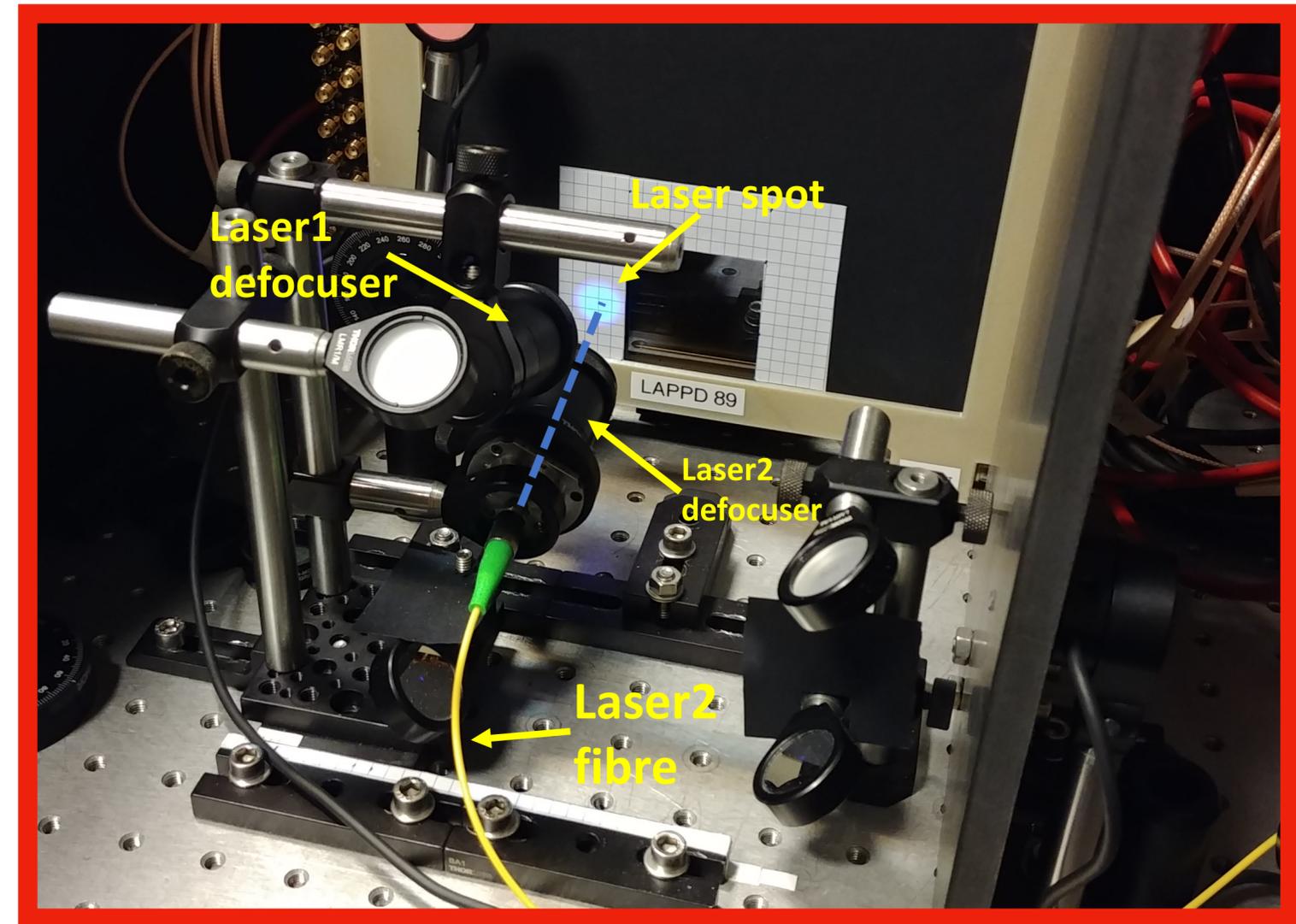
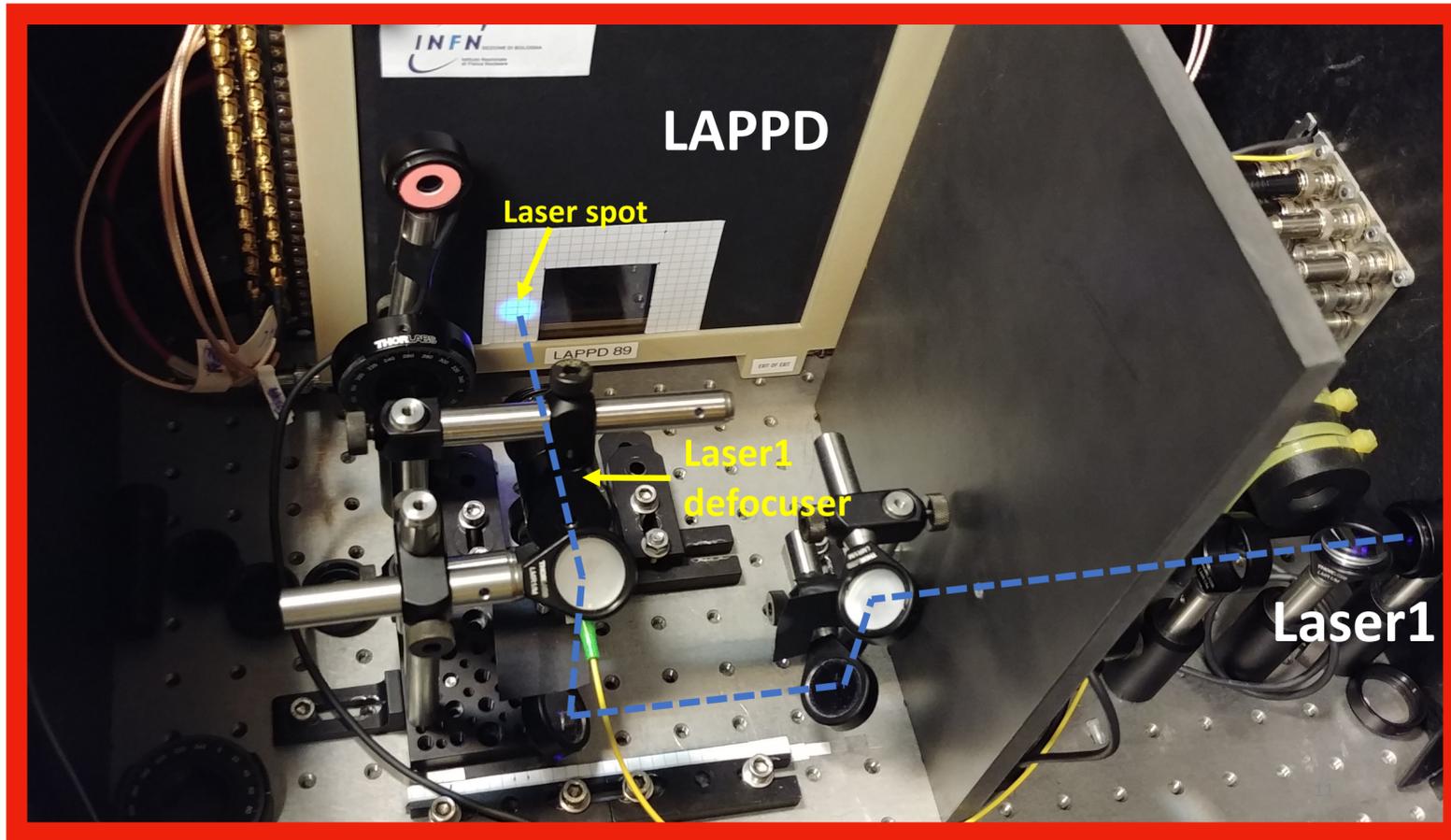


Test su fascio a SPS: Novembre 2021

- LAPPD Gen-I con pori da $10\ \mu\text{m}$
- Risoluzione temporale con fotocatodo inibito comparabile con quella con fotocatodo attivo:
 - Fotocatodo acceso: 8 - 12 ps
 - Fotocatodo spento: 13-14 ps

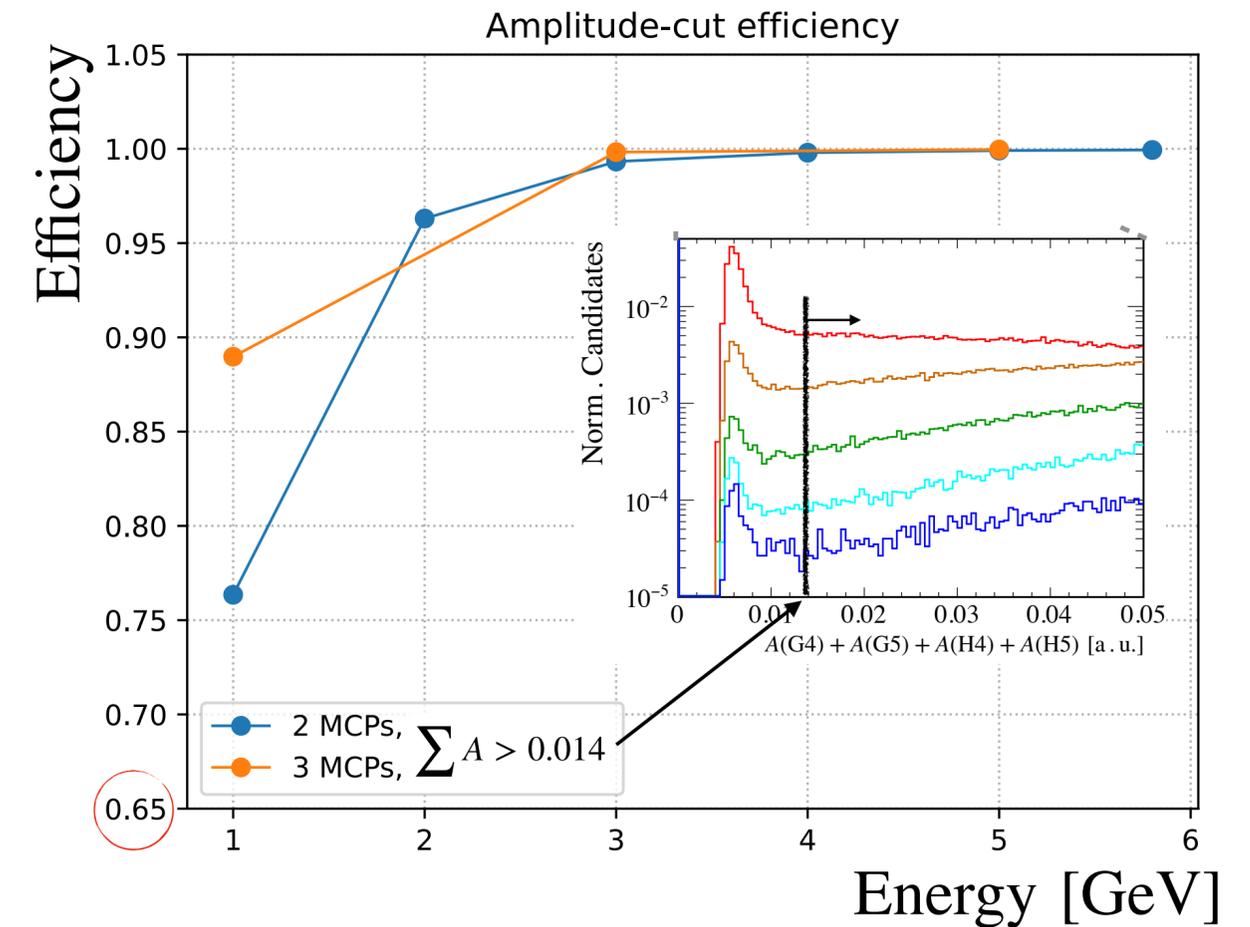
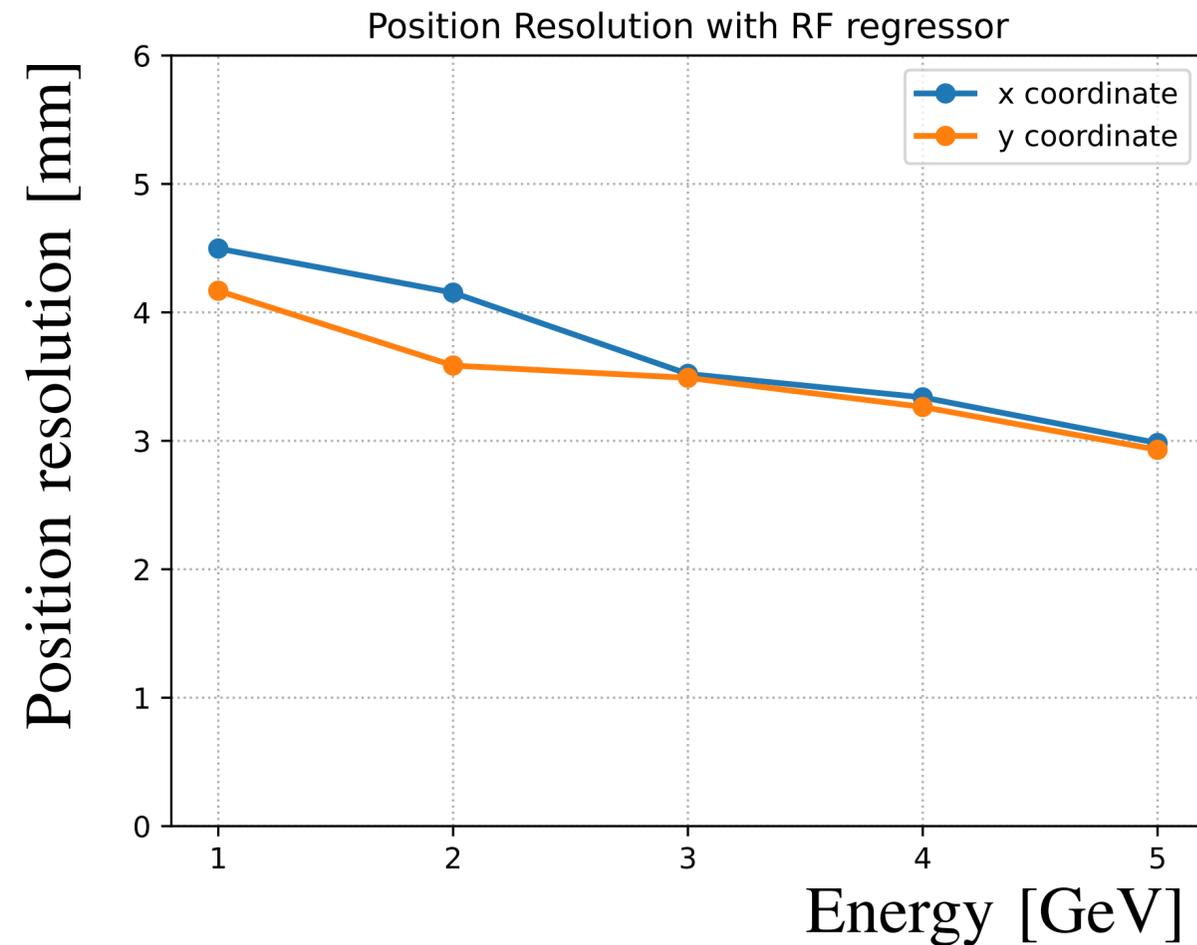


Configurazione per test ad alto rate



Risoluzione spaziale e efficienza

- DESY, Dicembre 2022
- LAPPD: Gen-II, z-stack, diametro pori: $10\ \mu\text{m}$

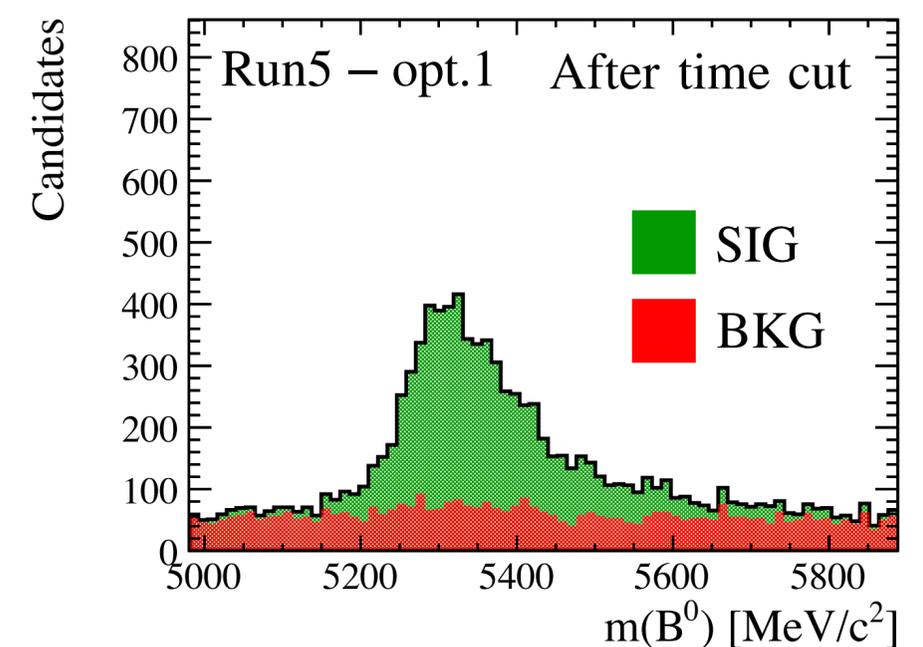
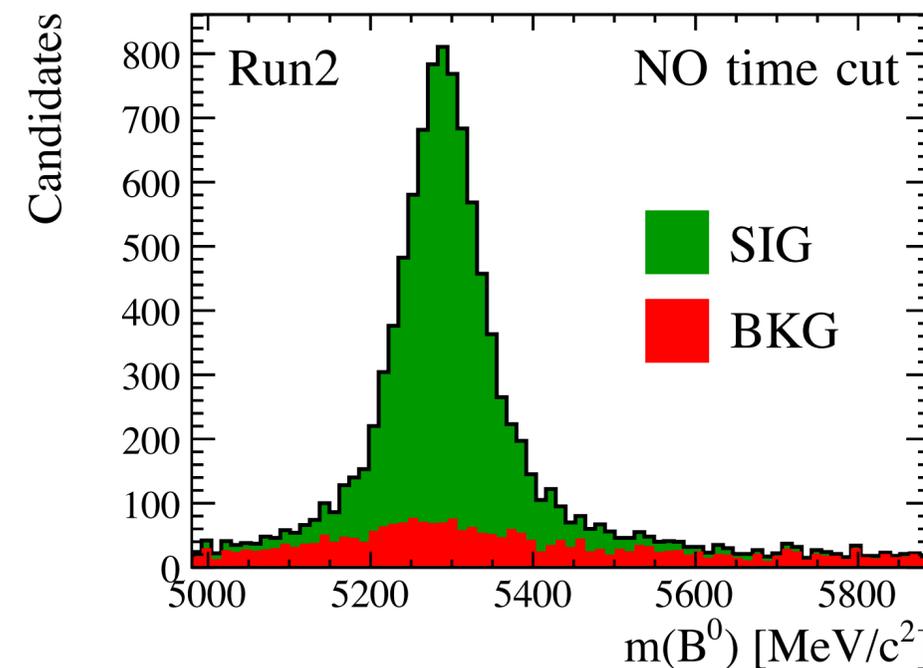
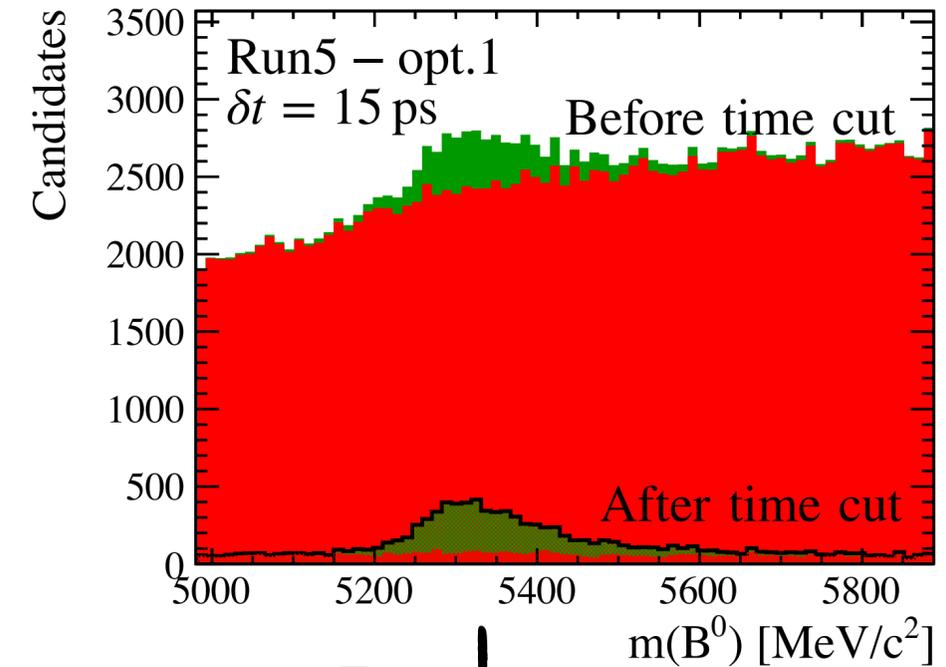
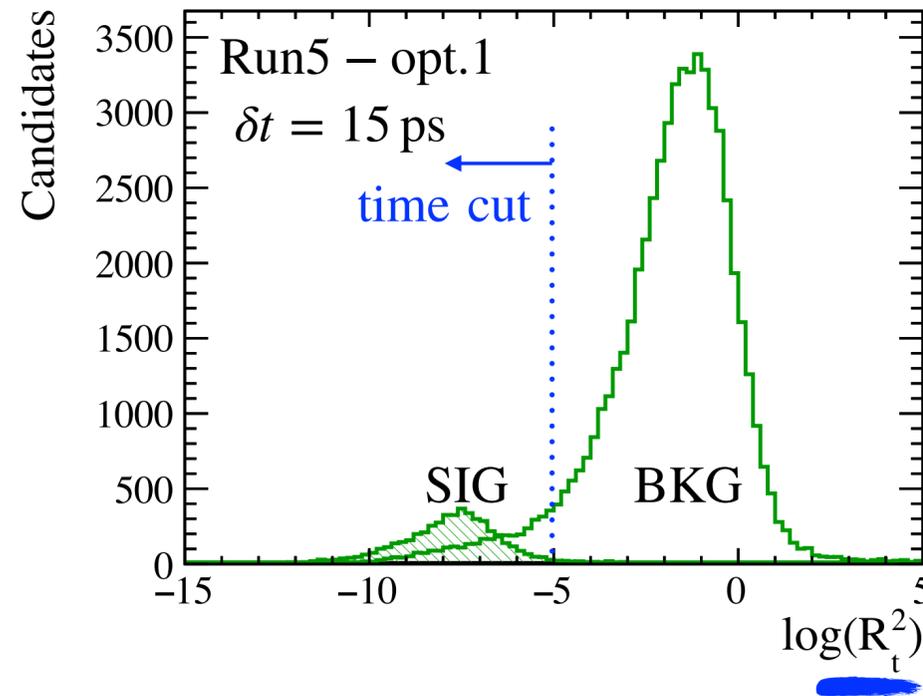


Random forest regressor: allenato con a posizione fornita da DWC

Efficienza di selezione

Importanza del tempo: simulazione di $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$

- Informazione vera per $\pi^+ \pi^-$
 - “perfect tracking”
- Solo fondo derivante da π^0
- Info temporale usata per rigettare il fondo nel Run5
 - $R_t^2 \equiv (t_1 - t_1^{\text{exp}})^2 + (t_2 - t_2^{\text{exp}})^2$
 - Resto della selezione nel backup
- Prestazioni **Run5** valutate in maniera comparativa con **Run2**
 - Ipotesi sul resto del rivelatore si semplificano nel confronto



Long Live the MCP

Long live the MCP! (LLMCP)

Graziano Bruni, Lorenzo Capriotti, Fabio Ferrari, Daniele Manuzzi,
Stefano Perazzini and Vincenzo Vagnoni
INFN Sezione di Bologna

Antonella Antonelli, Silvia Martellotti and Tommaso Spadaro
INFN Laboratori Nazionali di Frascati

July 2020

Abstract

Microchannel plate (MCP) photomultipliers (PMTs) are attractive devices that can provide excellent spatial and time resolutions with very compact form factors. However they have well-known relevant limitations which makes their use difficult to develop large area detectors in high-rate environments, mainly cost, lifetime and deadtime issues. This project aims at investigating how to characterise and possibly overcome such limitations. A first part of the project is devoted to the characterisation of recently developed large-area MCP-PMTs, namely LAPPD devices in their forthcoming Generation-II incarnation, whose construction relies entirely on inexpensive materials, thus addressing the problem of cost. The second part aims at developing and testing a novel concept of MCP-PMT, based on an original idea that is expected to overcome known ageing limitations allowing for prolonged use in high-rate environments. Potential applications of interest for the LHCb and NA62 experiments are briefly discussed.

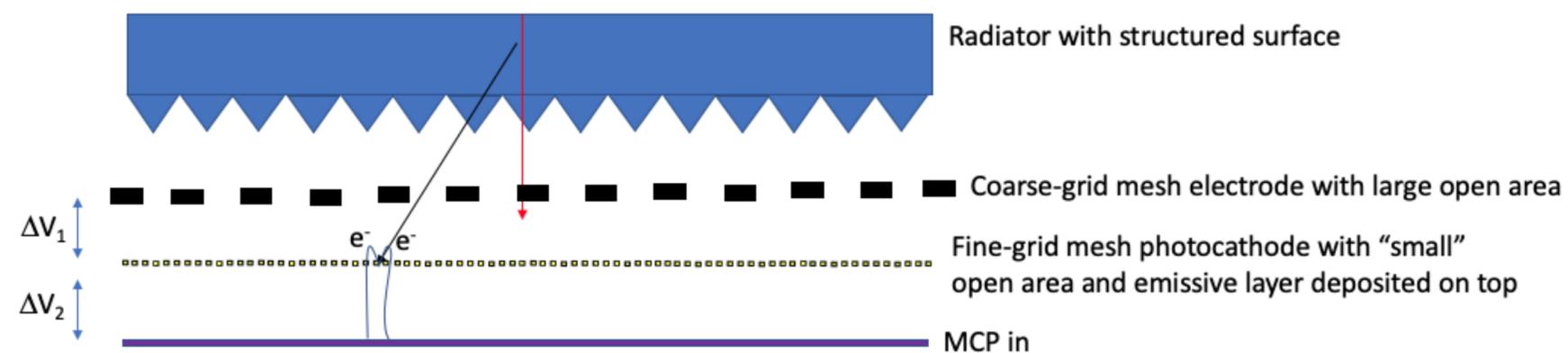


Figure 2: Simplified sketch of the proposed setup for the new MCP-based detector.