

Attività del gruppo LHCb Bologna

Fabio Ferrari

Assemblea di Sezione

Bologna, 28 Marzo 2022

Outline

- Overview generale sul gruppo e le sue attività
- Stato di LHCb per l'inizio del Run 3
- Attività di analisi dati
- Attività nel detector e R&D
- Conclusioni

Responsabilità del gruppo

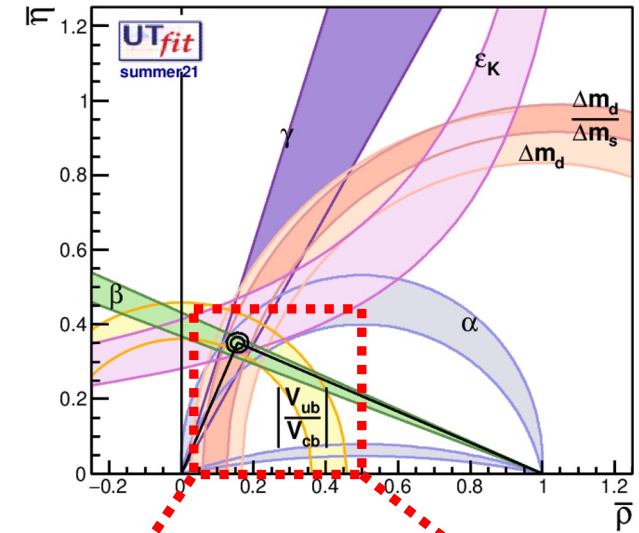
- **Stefano Perazzini:** convener del Charmless B decays and B to open charm WG e responsabile nazionale del calcolo per LHCb (fino a febbraio 2022)
- **Serena Maccolini:** liaison della simulazione per il Charm WG
- **Lorenzo Capriotti:** convener del Production, polarization and spectroscopy WG
- **Vincenzo Vagnoni:** membro del LHCb Upgrade 2 planning group e responsabile nazionale LHCb
- **Fabio Ferrari:** responsabile della caratterizzazione dei fotomoltiplicatori per il sub-detector PLUME
- **Angelo Carbone:** responsabile della DAQ per il sub-detector PLUME

Attività del gruppo

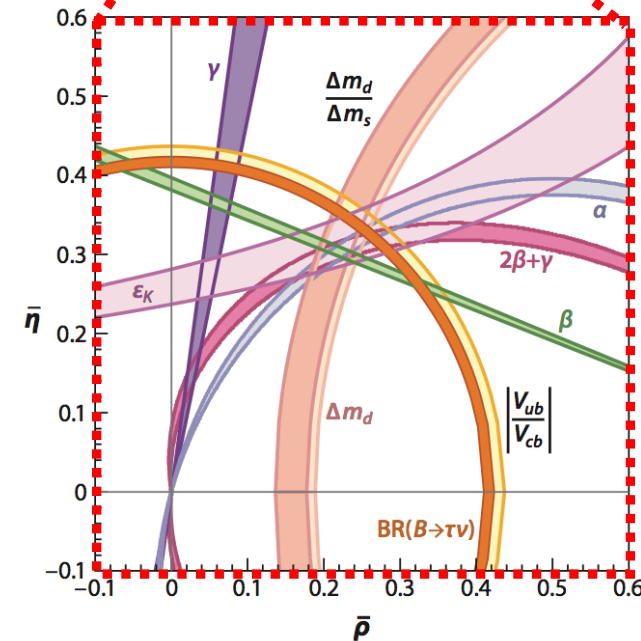
- **Attività di analisi**
 - Fisica del charm e decadimenti di mesoni B per misure di violazione di CP
- **Attività di servizio per l'esperimento**
 - Caratterizzazione dei PMT installati nel sub-detector PLUME
 - Sviluppo della DAQ per il sub-detector PLUME
 - Implementazione della geometria dei calorimetri nel framework DD4HEP
- **Attività di R&D**
 - Sviluppo di simulazioni GEANT 4 per per il calorimetro di LHCb Upgrade-2
 - Studio e caratterizzazione di rivelatori MCP-PMT per il loro impiego nella misura temporale per il calorimetro di LHCb Upgrade-2
 - Sviluppo di simulazioni ANSYS per lo studio delle performance temporali di rivelatori MCP-PMT
- **Terza missione**
 - Masterclass, notte dei ricercatori, PCTO INFN

Obiettivi di LHCb

- Osservare in maniera indiretta nuove particelle o nuove interazioni non previste nel Modello Standard:
 - Approccio complementare rispetto agli altri esperimenti di LHC
 - Invece di cercare nuove particelle prodotte direttamente nello scontro tra protoni o ioni si effettuano misure di precisione delle proprietà delle particelle note
- Nei plot a fianco, ogni banda colorata è la misura di un particolare parametro della matrice CKM ottenuto studiando le proprietà dei decadimenti di adroni con quark strange, charm e beauty



Oggi



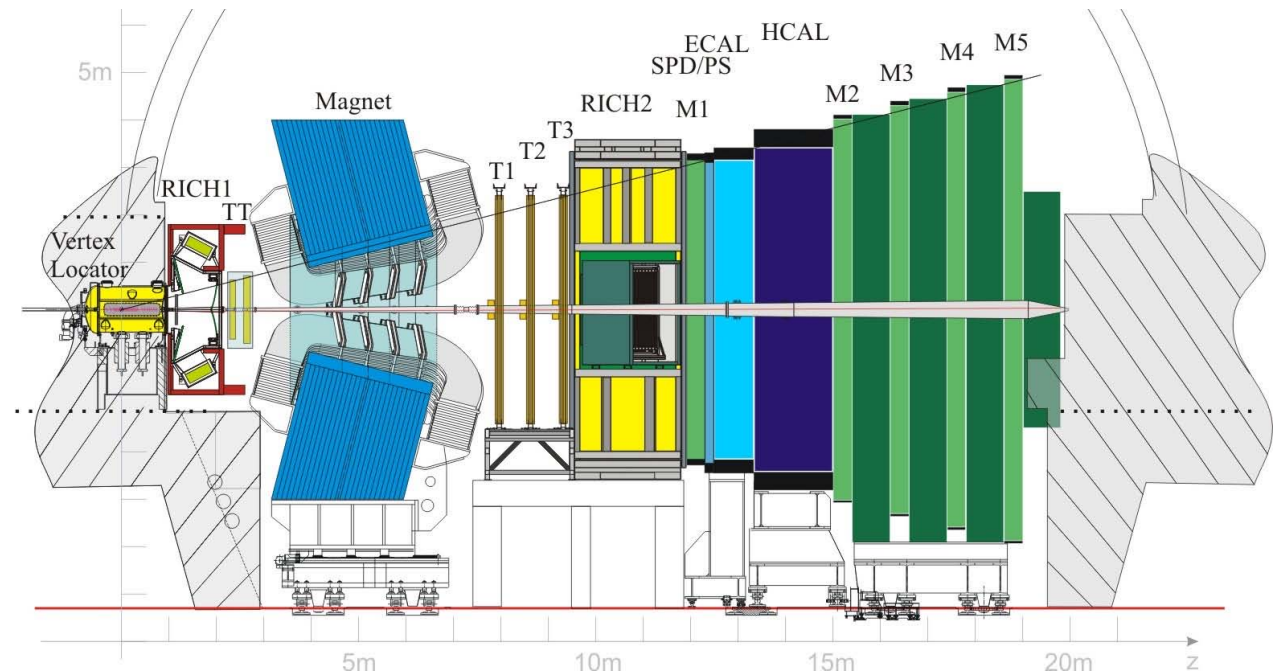
Domani?

Il rivelatore LHCb nel Run 2

- Il rivelatore LHCb è uno **spettrometro a singolo braccio in avanti**
 - Accettanza geometrica **ottimizzata** per sfruttare le **sezioni d'urto di produzione in avanti di adroni con quark beauty e charm**
 - $\sigma_{bb} = 144 \pm 1 \pm 21 \mu\text{b}$ in accettanza [PRL 118(2017)052002]
 - $\sigma_{cc} \sim 20 \times \sigma_{bb}$

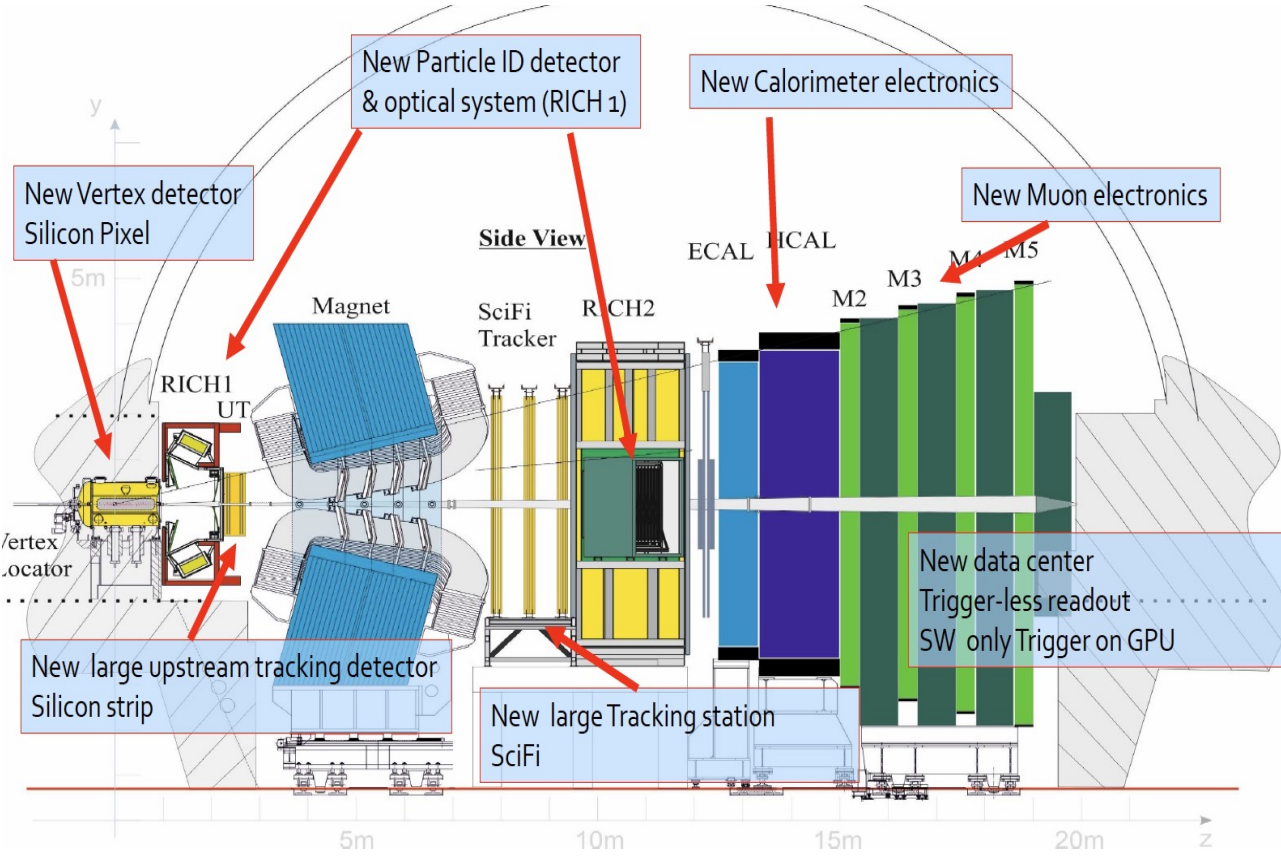
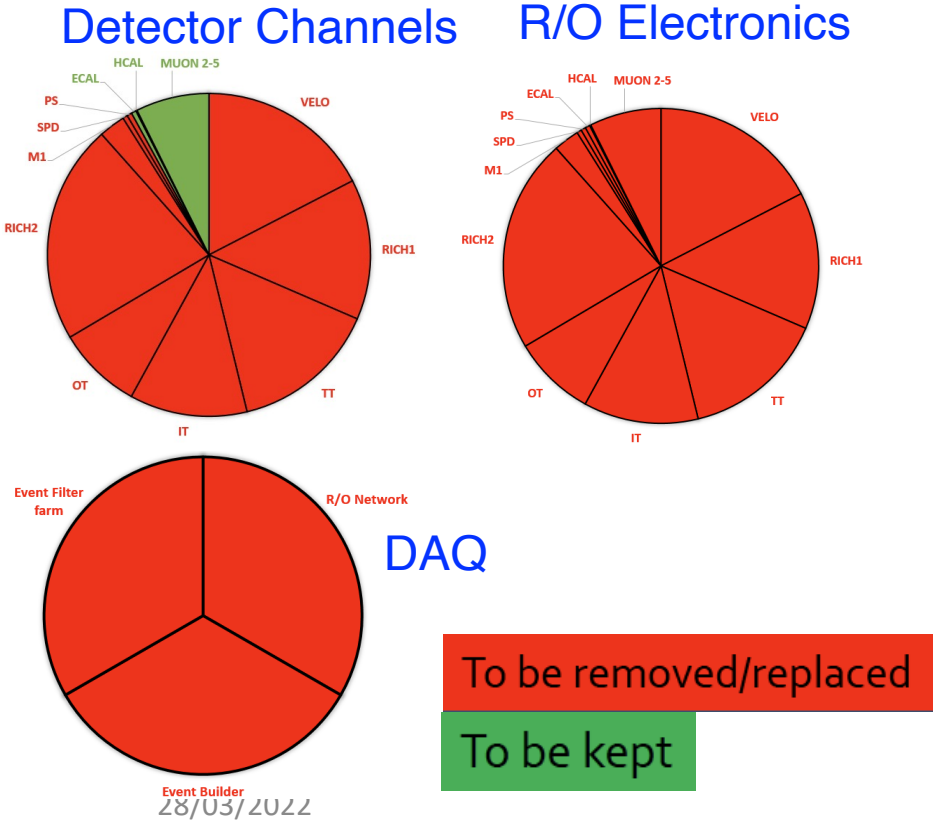
- **Caratteristiche fondamentali del rivelatore**

- Ottima risoluzione spaziale dei vertici primari e secondari
 - ➔ $\sigma_z \sim 100 \mu\text{m}$
- Ottima risoluzione in impulso
 - ➔ $\delta p/p \sim 0.4-0.6 \%$
- Eccellente identificazione delle particelle cariche



Il rivelatore LHCb nel Run ~~2~~ 3

- Di fatto un rivelatore (quasi) completamente nuovo
- Mantenuto meno del 10% dei canali del vecchio rivelatore
- 100% dell'elettronica di R/O rimpiazzata
- Nuovo Sistema di DAQ e nuovo datacenter



Stato del rivelatore

- Rivelatori **RICH, CALO, MUON e PLUME** in fase avanzata di commissioning
- **SciFi**
 - Installazione praticamente completata, in tempo per la chiusura della caverna
 - Side C in commissioning da Ottobre 2021
- **Vertex Locator**
 - Side C installato
 - Assemblaggio e test del side A in corso: installazione durante un Technical Stop dopo la chiusura della caverna
- **UT**
 - Non sarà installato prima della chiusura della caverna
 - Richiesta di Technical Stop esteso a Settembre per installazione side C
 - Side A verrà installato durante il YETS 2022/23
- Commissioning **in corso**
 - Il 2022 sarà un anno di commissioning
 - La luminosità attesa da LHCb per il 2022 è modesta rispetto al totale del Run 3

Attività di analisi

Violazione di CP nei decadimenti

$$B^0 \rightarrow K^+ \pi^-, B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-, B_S^0 \rightarrow \pi^+ K^-, B_S^0 \rightarrow K^+ K^-$$

- Stato finale senza quark $c \rightarrow$ i diagrammi di Feynman con loop sono rilevanti

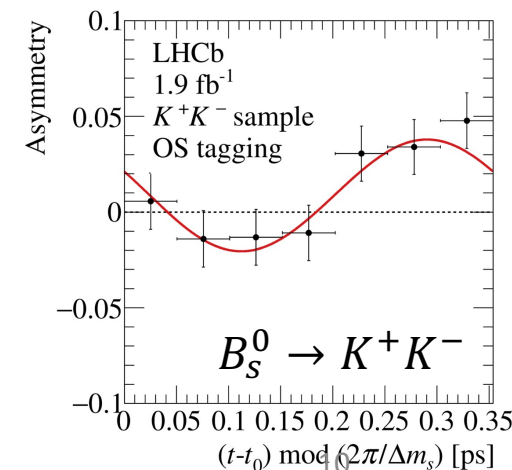
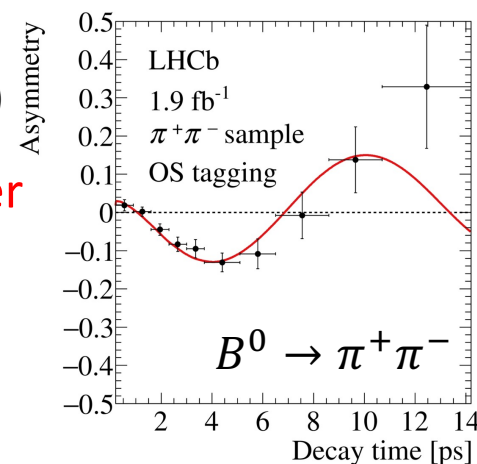
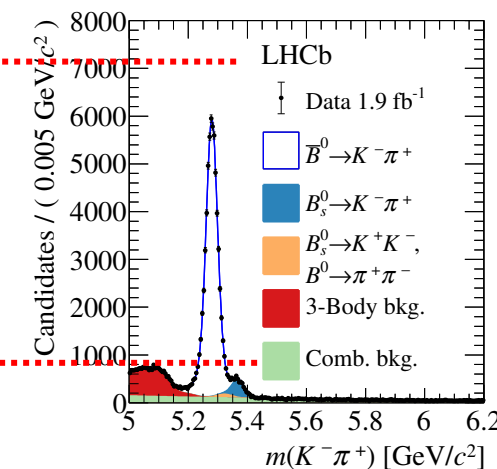
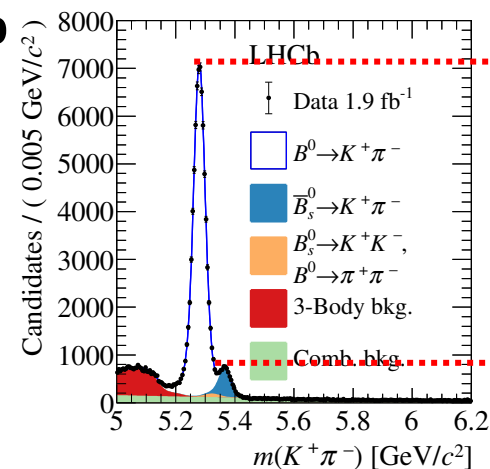
- Nuova fisica potrebbe emergere tramite contributi virtuali nei loop
- Incertezze dovute a interazione forte \rightarrow necessità di combinare misure relative a molteplici processi

- LHCb è leader nello studio di questi decadimenti

- Misure più precise al mondo per asimmetria integrata nel tempo e asimmetria dipendente dal tempo
- I risultati attuali coinvolgono i dati raccolti tra il 2011 e il 2016 (5 fb^{-1})

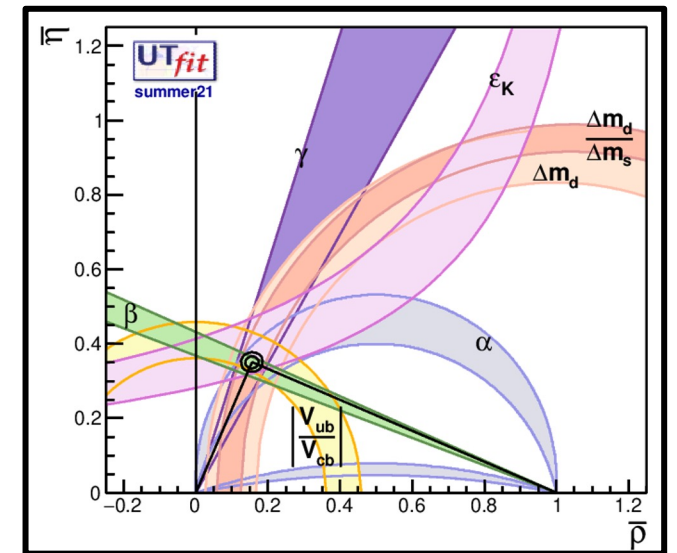
- Prima osservazione di violazione di CP dipendente dal tempo per il mesone B_S^0

- I dati raccolti tra 2017 e 2018 contengono ulteriori 4 fb^{-1} , attualmente in fase di analisi da parte del gruppo di Bologna



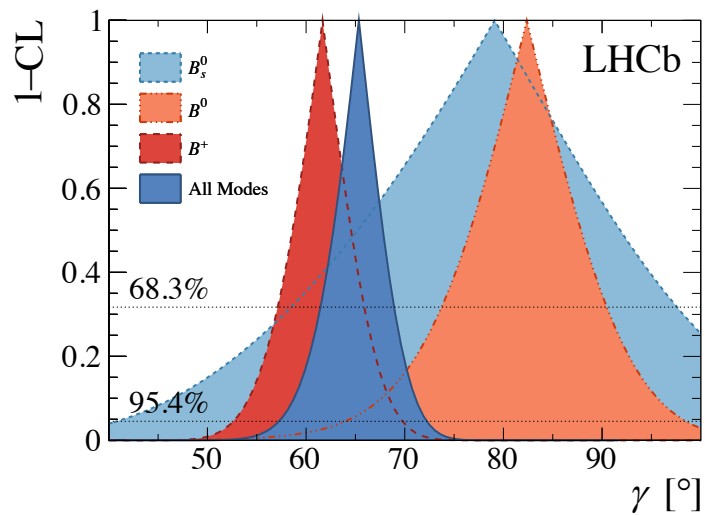
Determinazione simultanea dell'angolo γ della matrice CKM e dei parametri di mixing del charm

- Misure precise dei parametri della CKM possono **evidenziare discrepanze** rispetto alle predizioni del Modello Standard (MS) che rappresenterebbero un **chiaro segno di Nuova Fisica**
- Angolo γ è **l'unico parametro della CKM** che può essere determinato utilizzando **decadimenti tree-level** → **incertezza teorica trascurabile**
- Le **misure dirette** dell'angolo γ **non hanno ancora raggiunto** la precisione delle determinazioni ottenuti tramite **fit globali** ai parametri del MS
- LHCb: **combinazione simultanea** di molti osservabili misurati tramite decadimenti di **mesoni B e D** per ottenere la miglior precisione possibile



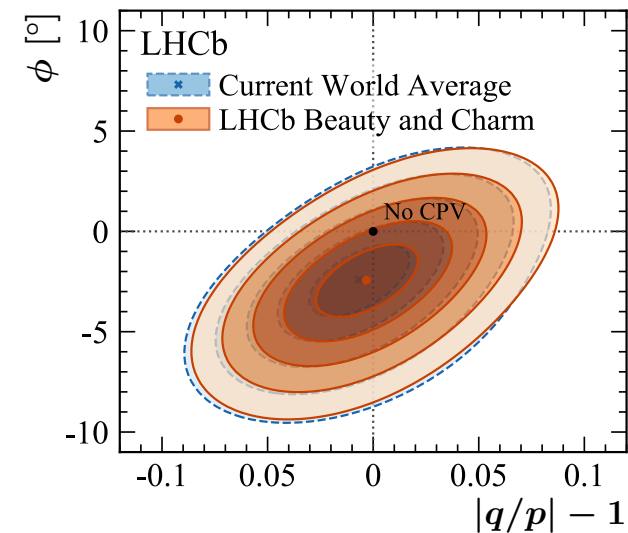
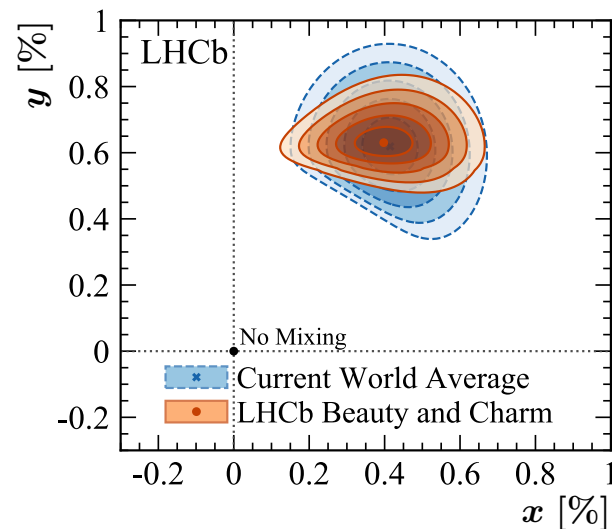
$$\gamma_{\text{UTfit}} = (65.8 \pm 1.9)^\circ$$

Determinazione simultanea dell'angolo γ della matrice CKM e dei parametri di mixing del charm



$$\gamma = (65.4^{+3.8}_{-4.2})^\circ$$

- Determinazione più precisa al mondo da singolo esperimento
- Misura quasi competitiva con le determinazioni indirette (UTfit e CKM fitter)



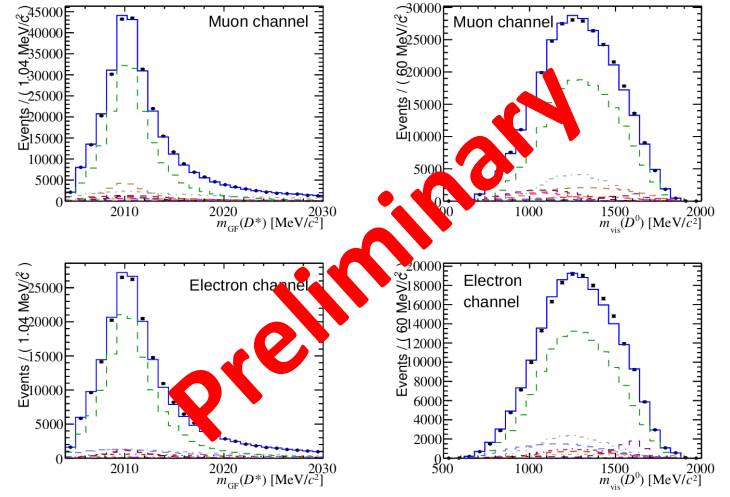
$$x = (0.400^{+0.052}_{-0.053})\%$$

$$y = (0.630^{+0.033}_{-0.030})\%$$

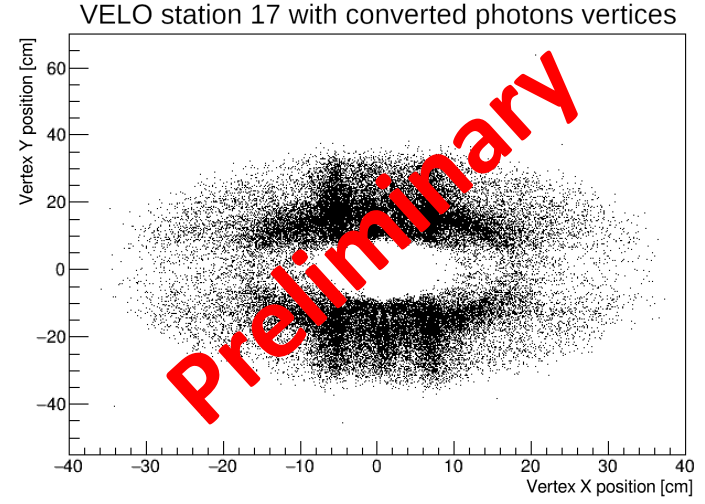
- Determinazioni più precise al mondo di x e y
- Incertezza su y diminuita di un fattore 2 rispetto alla media mondiale

Altre analisi in corso a Bologna

Test universalità leptonica in decadimenti $D \rightarrow Kl\nu$

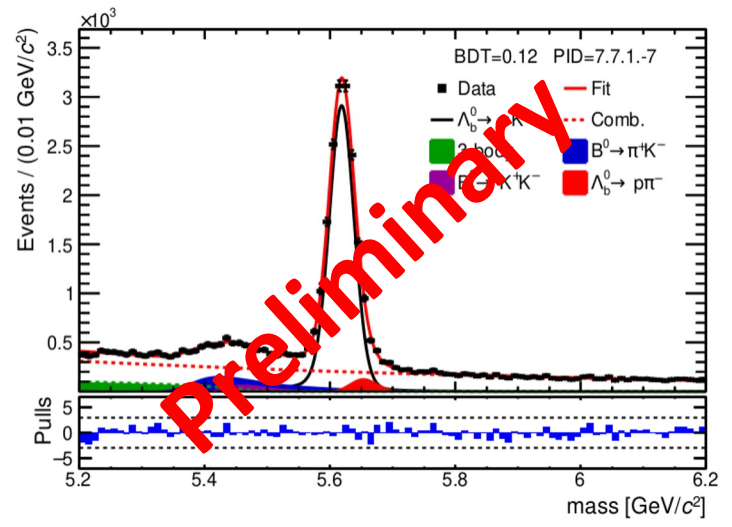


Ricerca di stati esotici prodotti dal vertice primario di interazione in stati finali $J/\psi\pi^+\pi^-\gamma$



Vertici $\gamma \rightarrow e^+e^-$ da interazioni col materiale del rivelatore di vertice

Ricerca di violazione di CP nei decadimenti $\Lambda_b^0 \rightarrow pK, p\pi$ coi dati del Run 2



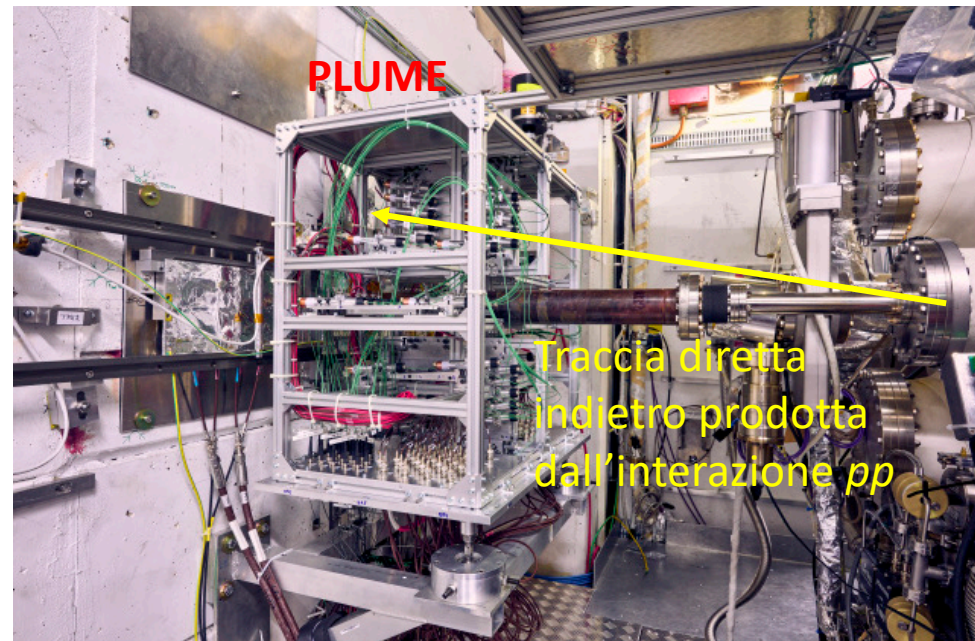
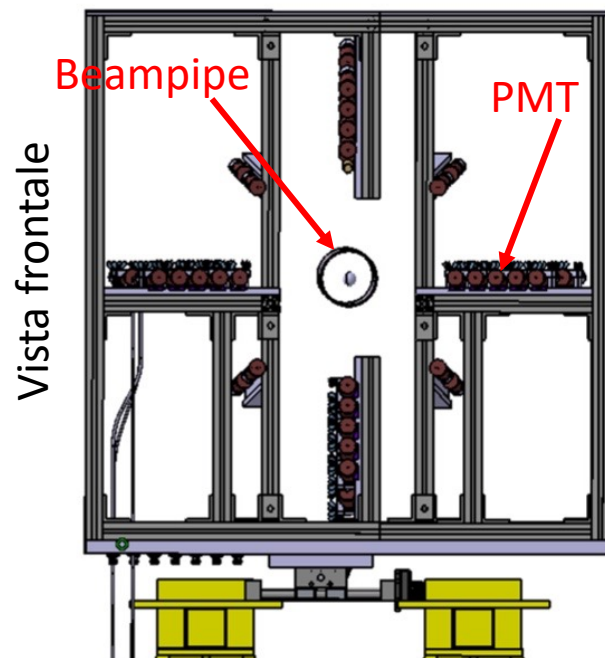
Attività di servizio per l'esperimento

PLUME: Probe for LUminosity MEasurement

- Ambienti con un'alta occupanza di tracce possono degradare le performance di tracking dei rivelatori
- Durante il Run 1 e 2 l'esperimento LHCb ha operato con una luminosità istantanea ridotta e mantenuta stabile riducendo la distanza tra i fasci di protoni durante il fill del LHC
- Nel Run 3 ci sarà un incremento della luminosità istantanea di un fattore 5
- Per questi motivi si è pensato di installare un detector appositamente dedicato per la misura online della luminosità: PLUME

PLUME: Probe for LUminosity MEasurement

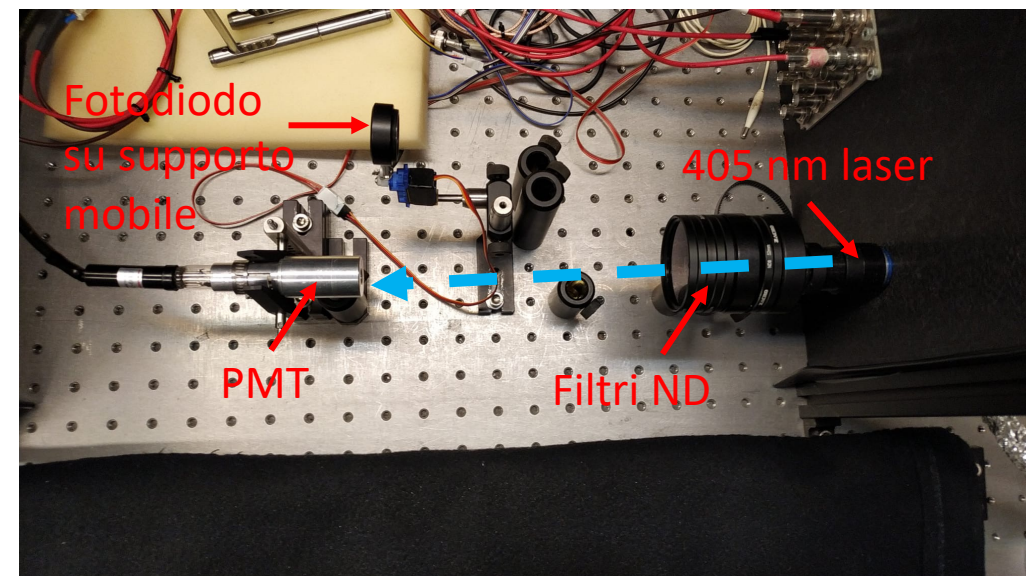
- PLUME è un **odoscopio formato da 48 PMT** disposti su **due piani** con una **geometria proiettiva**
- Ogni PMT è dotato di una tavoletta di quarzo incollata sulla finestra d'entrata del PMT stesso
 - Particelle provenienti dalla collisione pp generano **luce Cherenkov nel quarzo** che viene poi **rivelata dai PMT**
- Il rivelatore è installato a **monte del rivelatore di vertice di LHCb**, raccogliendo le tracce prodotte nella **direzione backward**



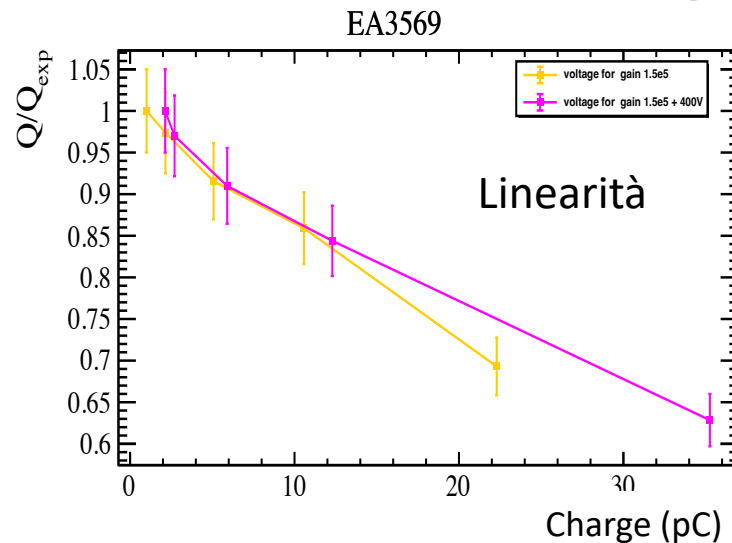
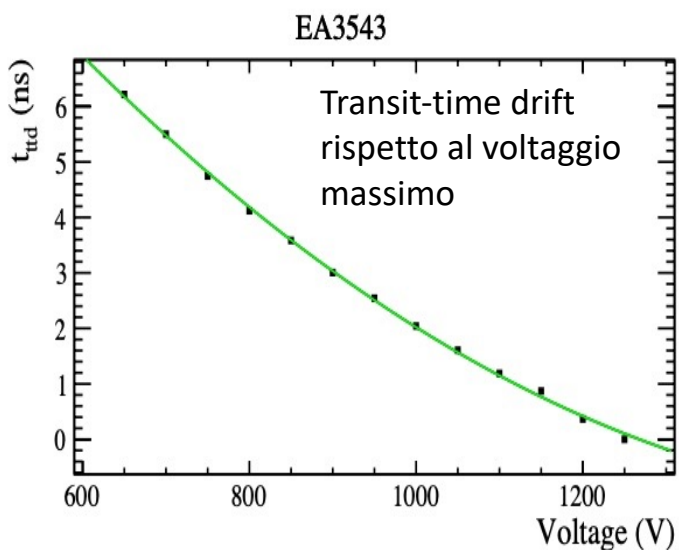
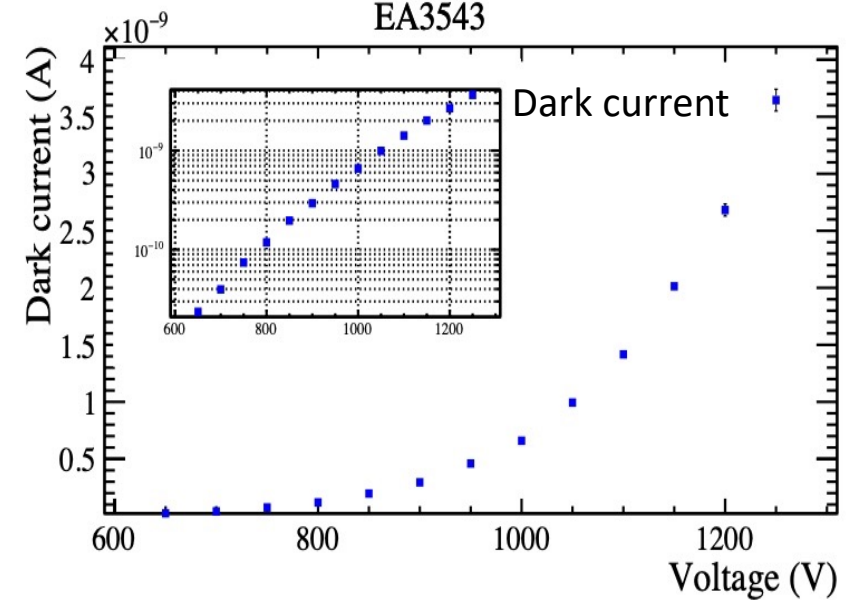
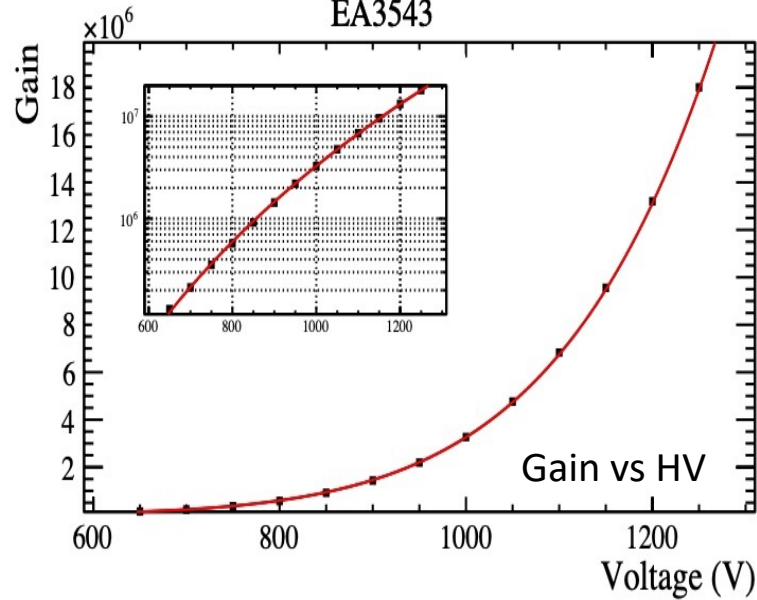
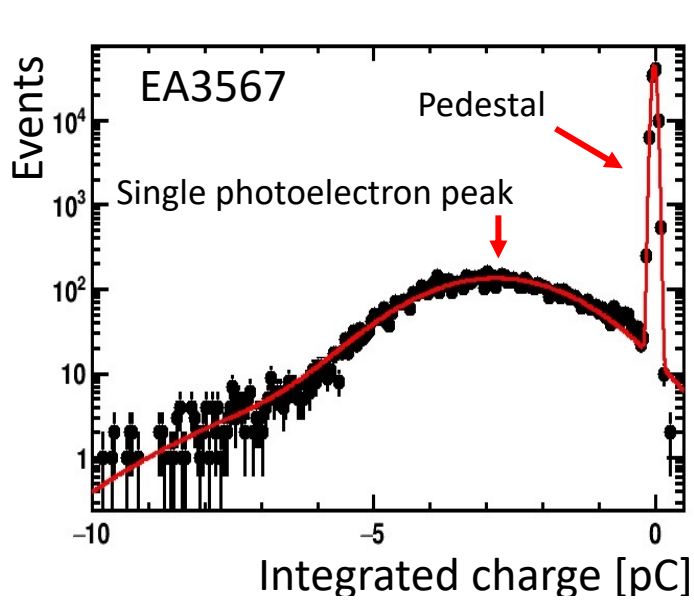
Caratterizzazione dei PMT

- Il gruppo di Bologna ha caratterizzato 30 PMT sui 48 totali installati in PLUME
- Eseguite misure di gain, dark current, transit-time drift e linearità per ognuno dei PMT
- Dati acquisiti con digitizer DRS4 (5 GS/s) e picoamperometro Keithley 6485 (un ringraziamento ai colleghi di ATLAS-LUCID per la loro disponibilità)

Interno della dark box utilizzata per la caratterizzazione



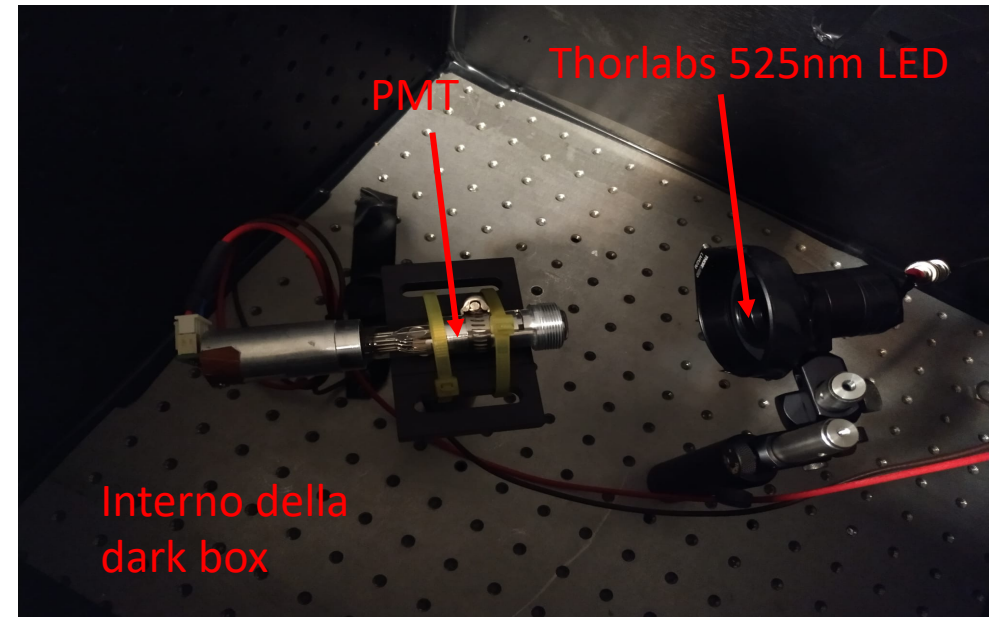
Caratterizzazione dei PMT



Tutti i PMT testati hanno mostrato caratteristiche conformi al loro utilizzo in PLUME e sono stati installati nel rivelatore

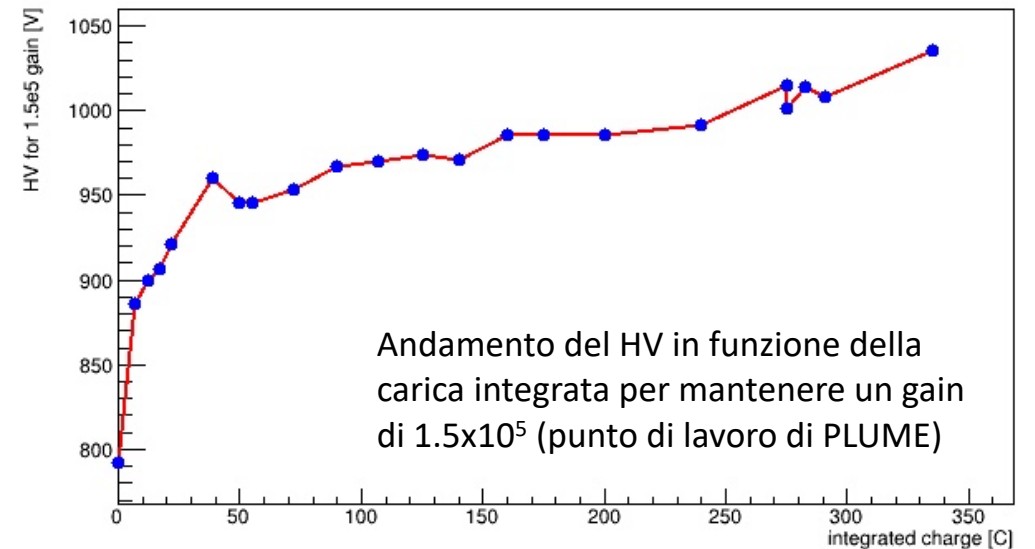
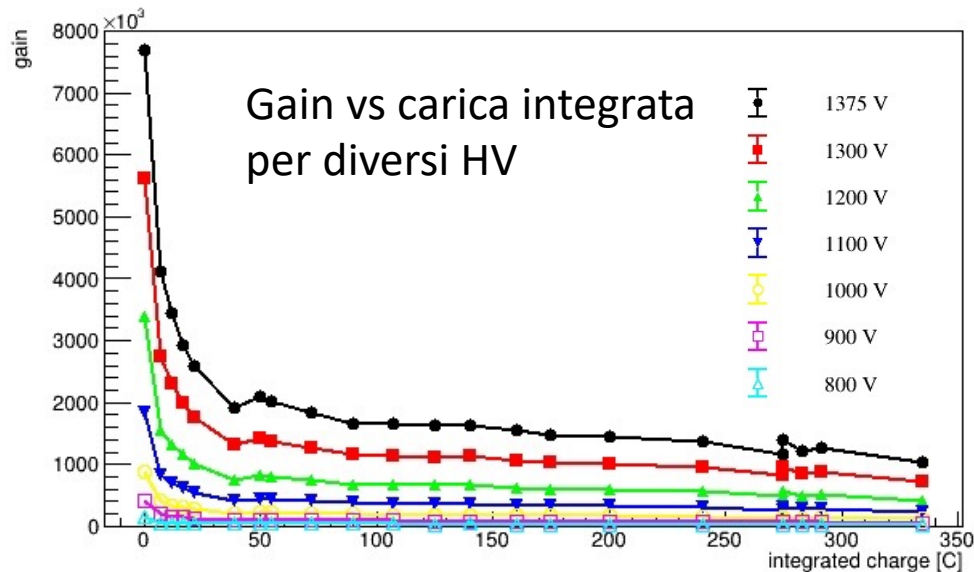
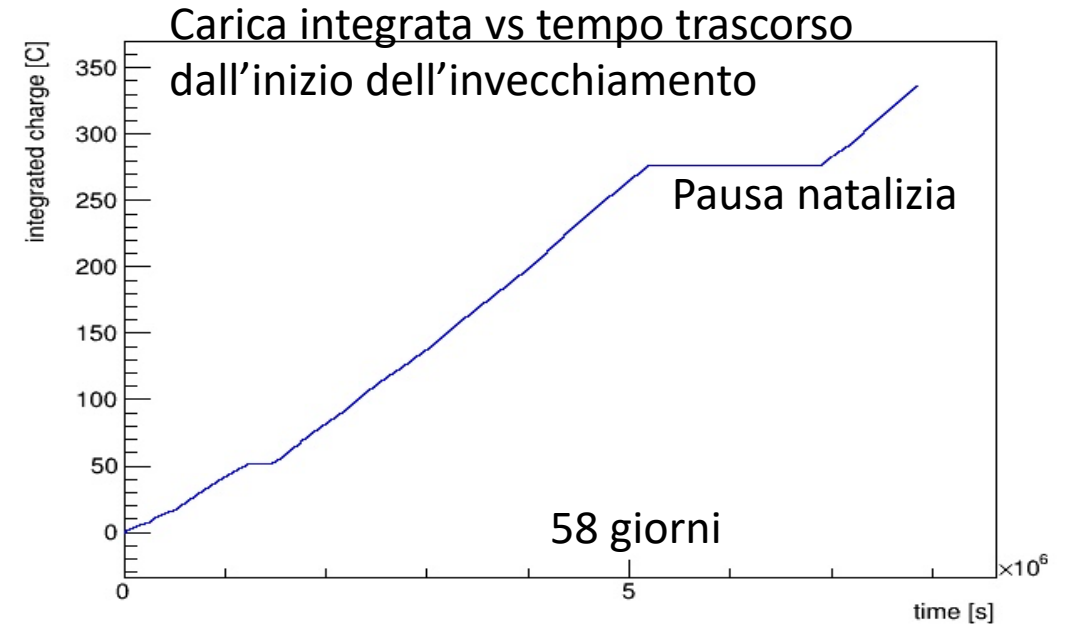
Studio dell'invecchiamento dei PMT dovuto alla carica integrata

- Necessità di studiare l'invecchiamento dei PMT con l'aumentare della carica integrata
 - Invecchiamento dovuto dalla fluenza di particelle già studiato in apposite facility
- Setup messo a punto a Bologna
 - Multimetro per misura continua della corrente anodica
 - Pulse generator per alimentazione LED e per misura del guadagno in regime di singolo fotoelettrone
 - DRS4 per acquisizione dati singolo fotoelettrone



Studio dell'invecchiamento dei PMT dovuto alla carica integrata

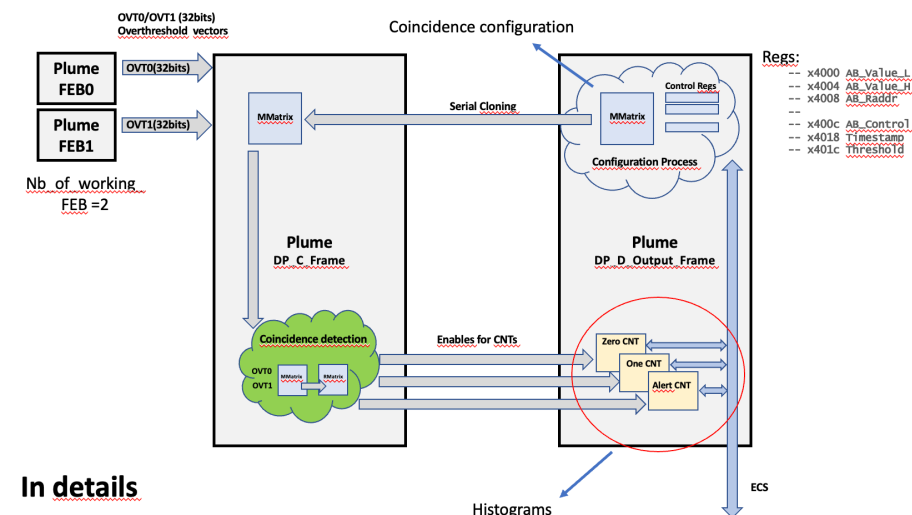
- Integrati circa 340 C
 - Attesi circa 70 C/anno per PLUME, quindi i PMT sono stati testati per circa 5 anni di operazione, oltre la durata del Run 3
- Misura del gain a diversi valori di carica integrata
 - Riduzione di un fattore ~ 4 nei primi ~ 15 C di carica, poi lenta e costante decrescita
- I PMT dovrebbero sopravvivere tranquillamente al Run 3



PLUME DAQ e firmware

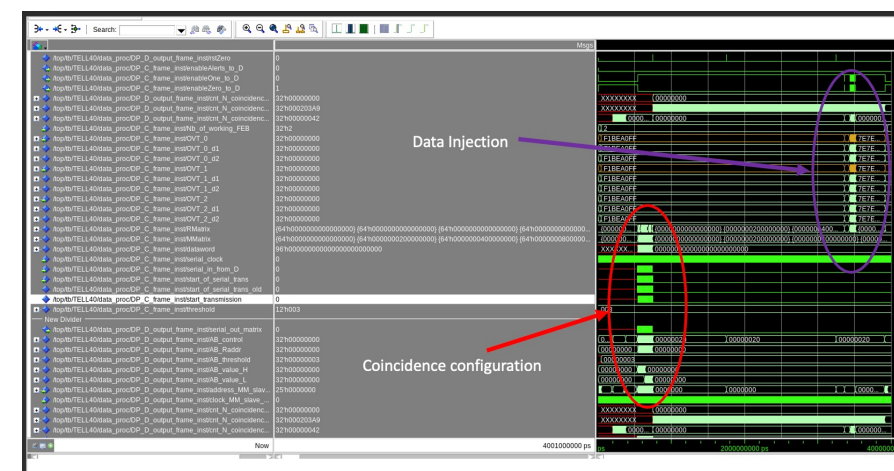
- Lo sviluppo del firmware è stato completato con il supporto (fondamentale!) del gruppo di elettronica dell'INFN
- Lo sviluppo consiste nell'adattare il firmware del calorimetro per:
 - Avere coincidenze tra i PMT
 - Avere contatori per misure in tempo reale di luminosità
- Il firmware è stato installato l'8 Febbraio scorso e dati di test sono stati acquisiti con successo
- Alcuni test riguardo l'integrazione con l'esperimento LHCb e con LHC sono in corso
 - PLUME fornirà misure precise di luminosità in tempo reale a LHC ogni 2/3 secondi

Firmware diagram



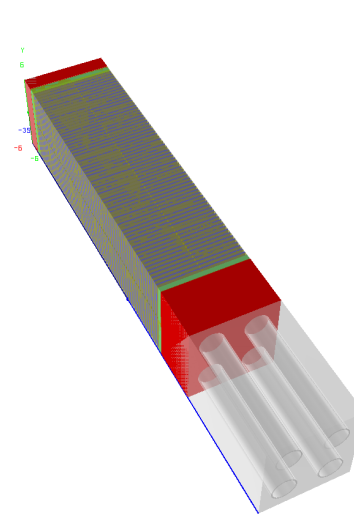
In details

Firmware simulation

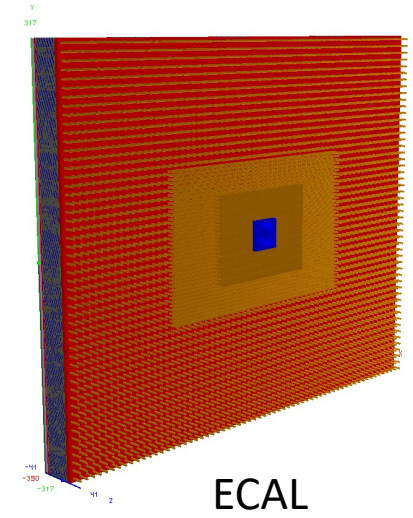


Implementazione della geometria dei calorimetri nel framework DD4HEP

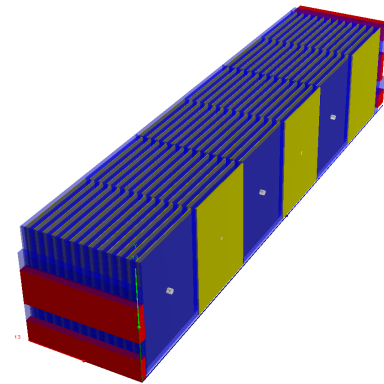
- **DD4HEP** è un pacchetto software utilizzato per **l'implementazione della geometria del detector e la sua simulazione**
 - Migrazione da **GEANT 4** decisa dalla collaborazione LHCb
- Implementazione delle geometrie dei calorimetri completata
- Prossimo passo: **simulazione della risposta del rivelatore**



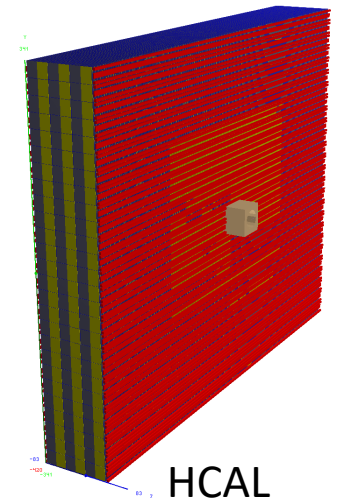
Modulo di ECAL



ECAL



Modulo di HCAL

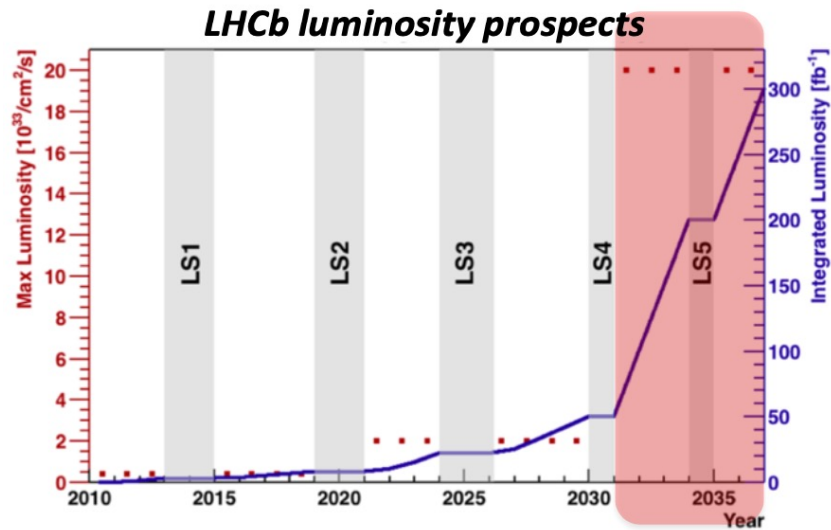


HCAL

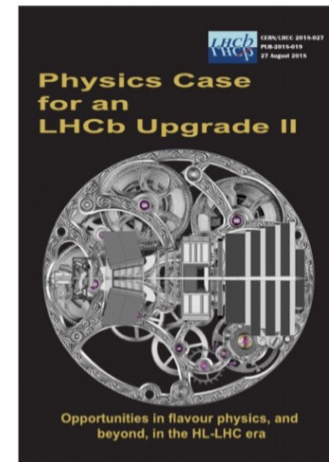
Attività di R&D

R&D su rivelatori

- Studi dedicati **alla ricerca di soluzioni per la fase di Upgrade 2 di LHCb**
 - Aumento di luminosità istantanea a $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ → x10 luminosità istantanea Upgrade1



CERN-LHCC-2017-003



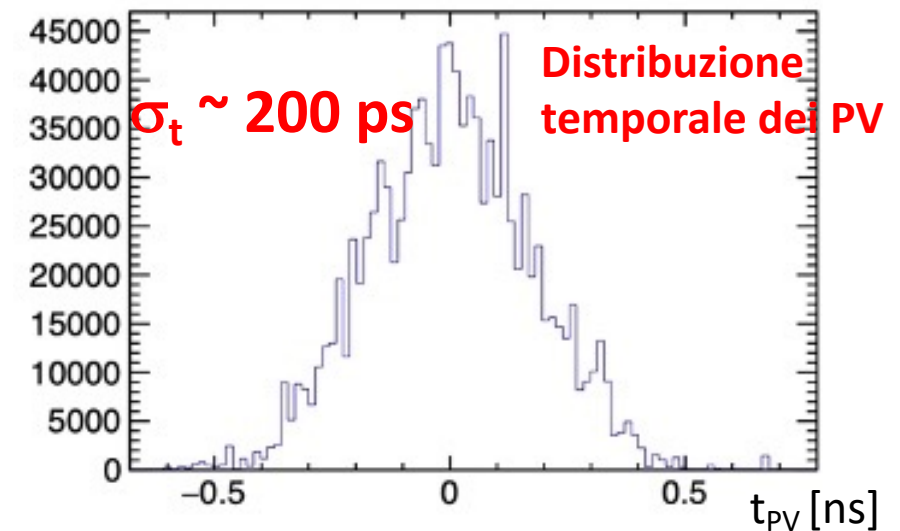
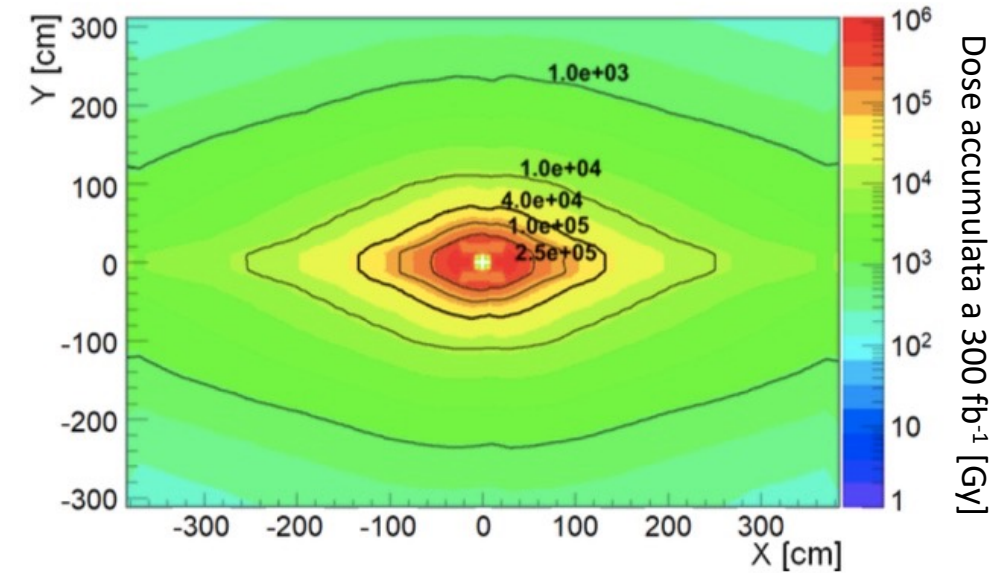
CERN-LHCC-2018-027
arXiv:1808.08865



CERN-LHCC-2021-012

R&D per il calorimetro elettromagnetico (ECAL) di LHCb Upgrade 2

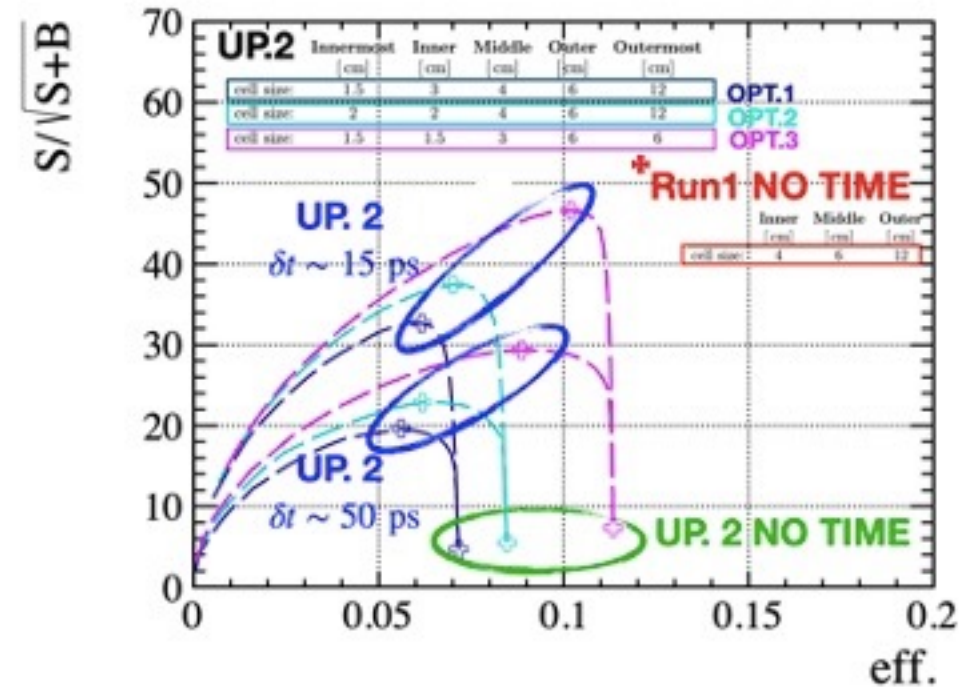
- **Obiettivo: costruire un rivelatore con le stesse performance di quello attuale che sopporti dosi ~ 1 MGy**
 - Misura del tempo di arrivo delle particelle di **fondamentale importanza** per risolvere il pile-up
- **Attività di LHCb Bologna**
 - **Sviluppo di simulazione veloce per stabilire i parametri necessari in termini di granularità e risoluzione temporale**
 - **Caratterizzazione e sviluppo di un timing layer basato su microchannel plates (MCPs)**



Simulazione di ECAL per LHCb Upgrade 2

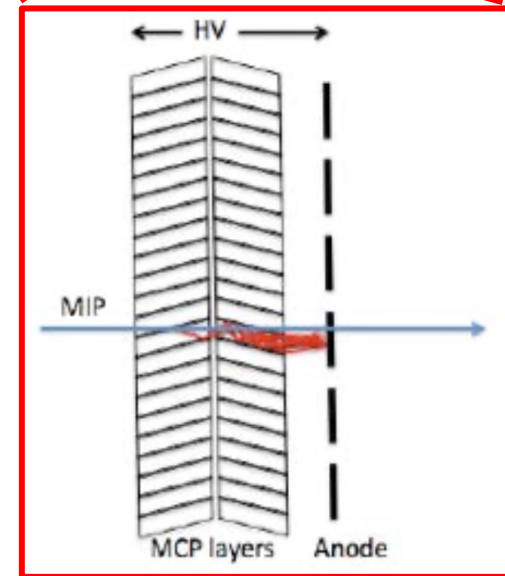
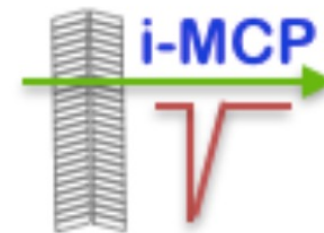
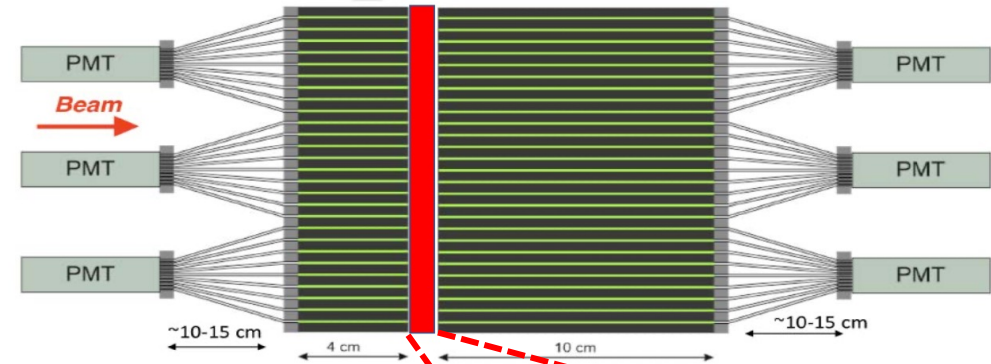
- **Obiettivo:** stabilire le risoluzioni spaziale, energetica e **temporale** necessarie all'ECAL per operare nelle condizioni di alta occupanza previste nel Run5 ad LHCb
- Sviluppo di una **simulazione di veloce e flessibile** per stimare le performance del detector su processi rilevanti per il programma di fisica dell'esperimento
- **Risoluzione temporale tra 10 e 20 ps attualmente assunta come target** per R&D del nuovo hardware

SIG: $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$, BKG: *Combinatorial*



Timing layer di ECAL per LHCb Upgrade 2

- Possibile soluzione: inserire **un timing layer nell'ECAL per misurare il tempo di arrivo degli sciami elettromagnetici** con risoluzioni temporali di 10-20 ps
- Tecnologia investigata: MCP-PMTs
- Possibile utilizzo anche con fotocatodo spento (problemi di **invecchiamento precoce**): la valanga viene iniziata dalla **ionizzazione prodotta all'interno del MCP**
- Idea già investigata in passato all'interno dell'INFN con il progetto di CSN5 i-MCP per Phase-2 HL-LHC



LLMCP: Long Live the Micro Channel Plate!

- Progetto finanziato dal Gruppo 5 INFN
- Obiettivi principali del progetto
 - **Caratterizzazione e ottimizzazione di rivelatori MCP di recente costruzione** (LAPPD: Large Area Picosecond PhotoDetectors prodotto da Incom)
 - **Sviluppo e test di nuove idee** indirizzate a risolvere il problema legato all'invecchiamento precoce dei rivelatori MCP per poterli impiegare in ambienti ad alta rate di interazione

LLMCP - Long Live Micro Channel Plate

Responsabile Locale: Vincenzo Vagnoni

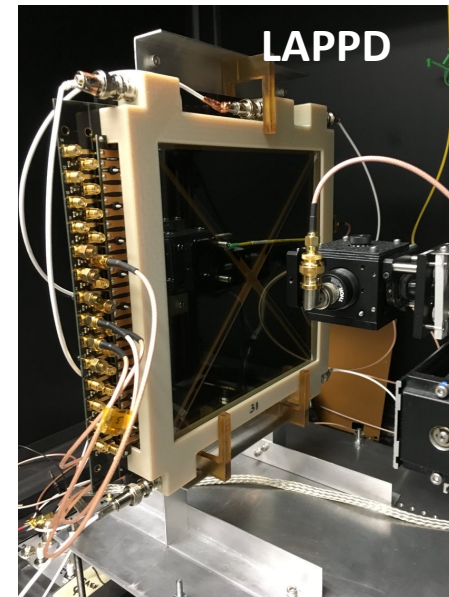
Responsabile Nazionale: Vincenzo Vagnoni

Unità di Ricerca: BO, LNF

Durata: 2021 -2023

Gruppo locale:

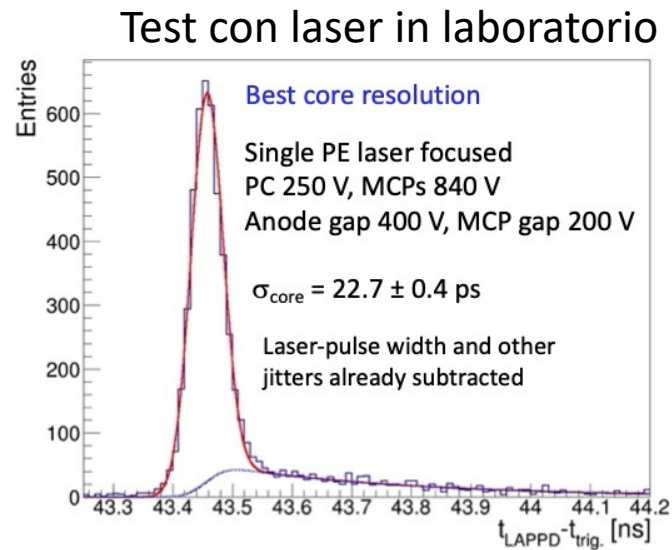
V. Vagnoni, G. Bruni, L. Capriotti, F. Ferrari, D. Manuzzi, S. Perazzini, V. Vagnoni



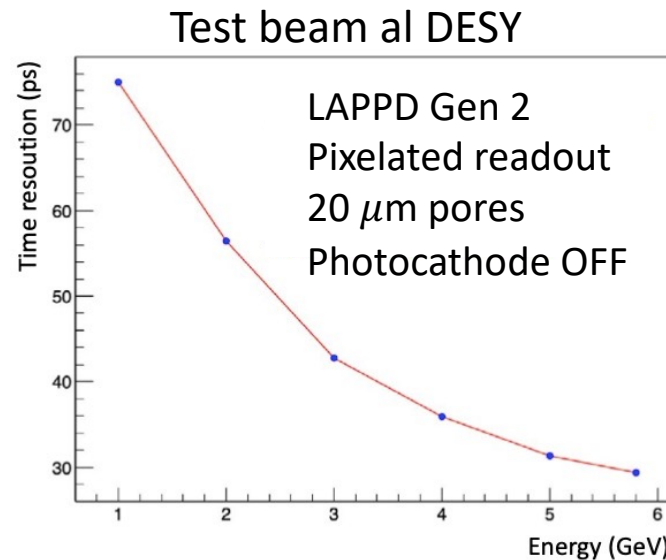
Fondamentale il supporto e la disponibilita' da parte dei servizi officina meccanica, progettazione meccanica e elettronica della Sezione!

Caratterizzazione del LAPPD

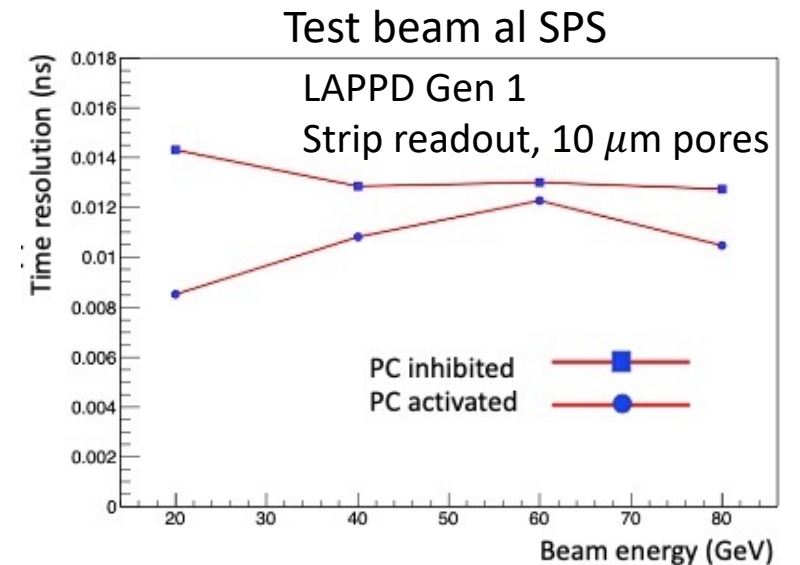
- Svareti test in **laboratorio** e su **fascio di elettroni (DESY, SPS)**
- **Risoluzioni temporali** nell'ordine dei **30 ps per elettroni da 5.8 GeV** con il fotocatodo spento, che scendono fino a **~ 14 ps a 20 GeV**
- **Ad alte energie, risoluzione temporale con fotocatodo acceso comparabile a quella ottenuta con fotocatodo spento**



28/03/2022

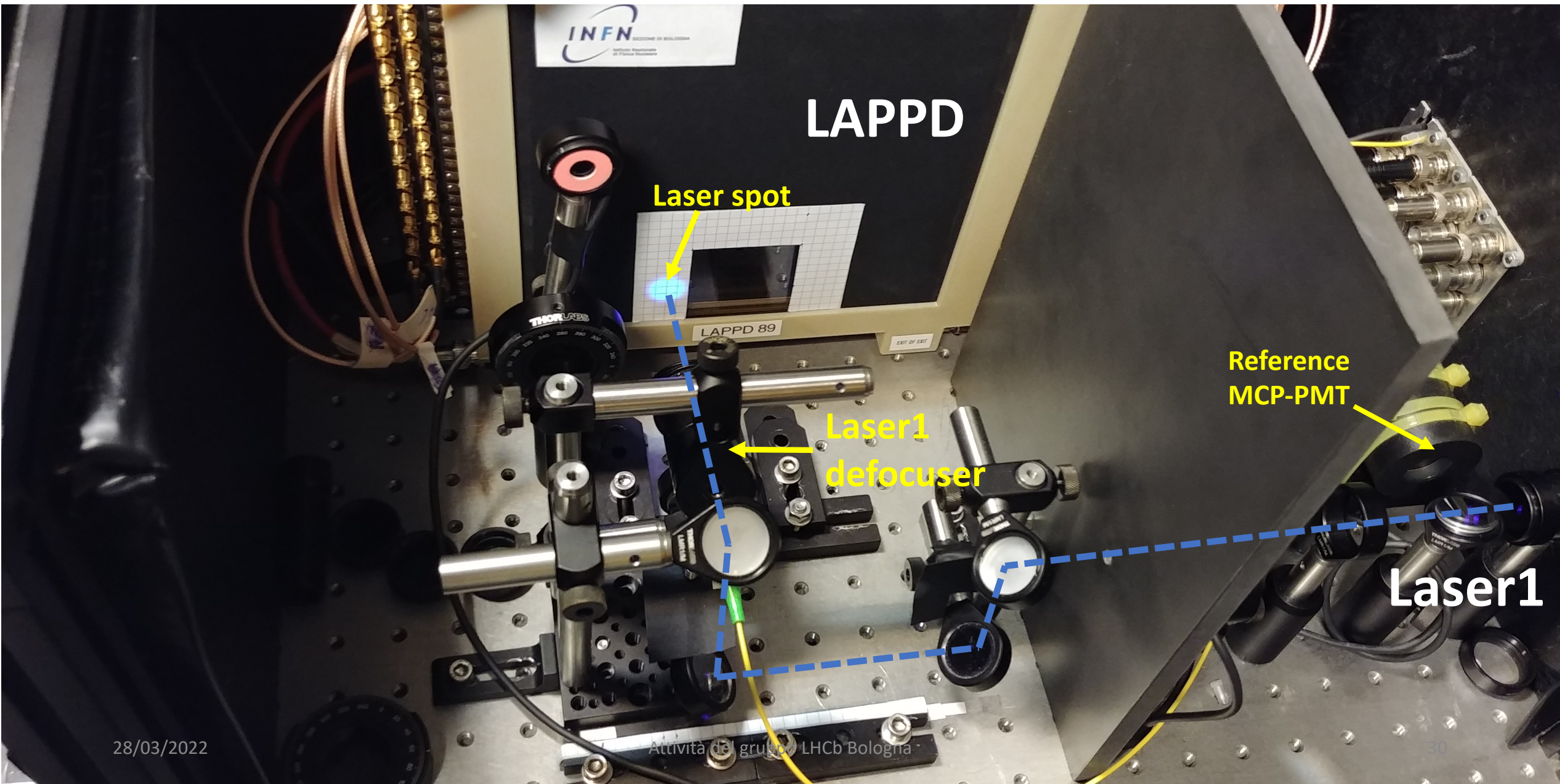


Attività del gruppo LHCb Bologna

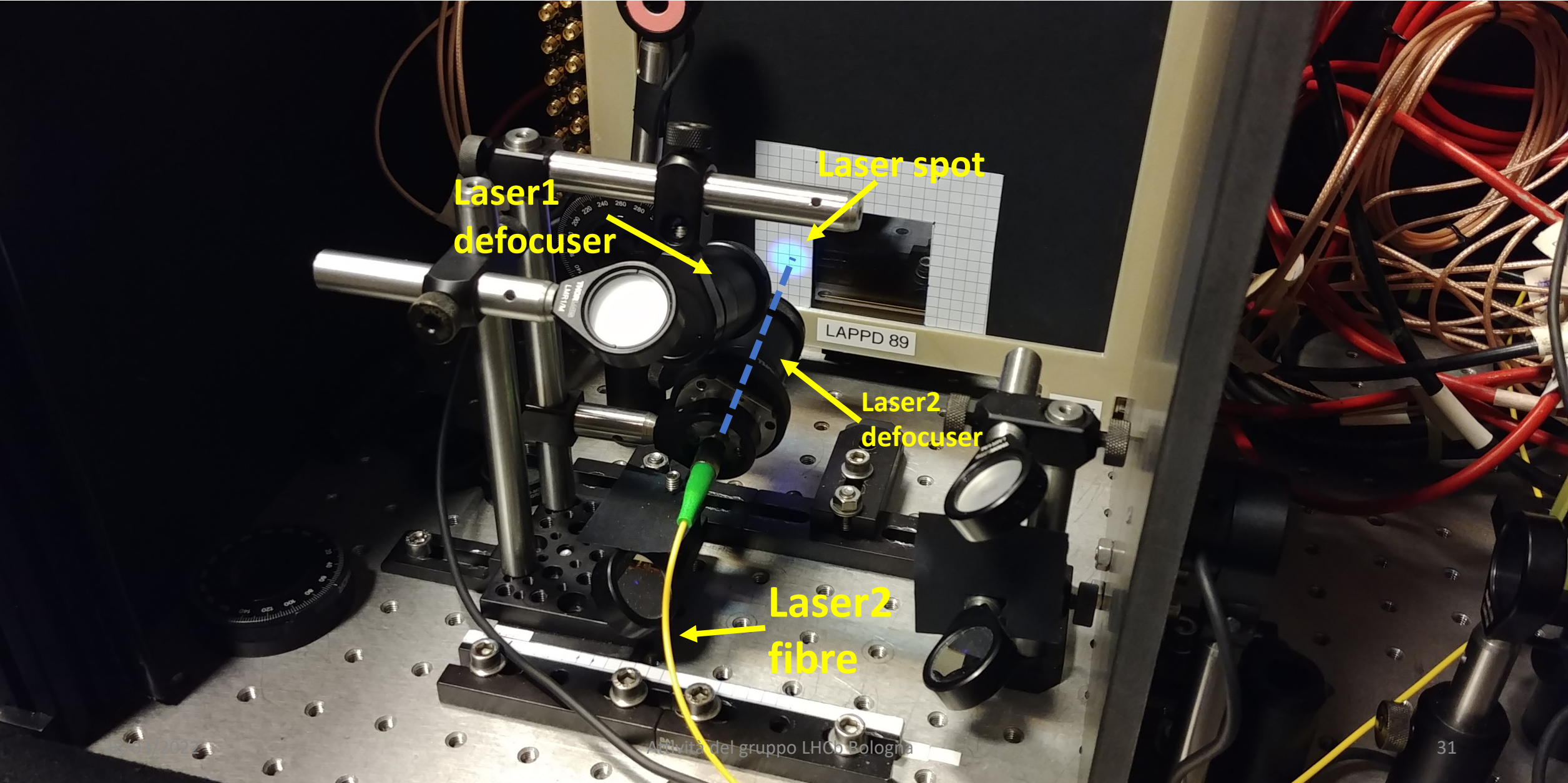


29

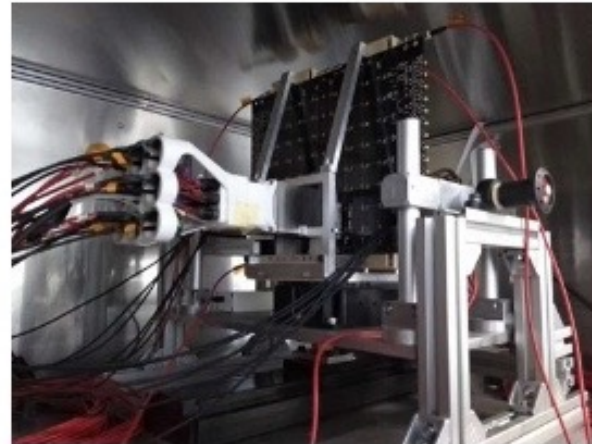
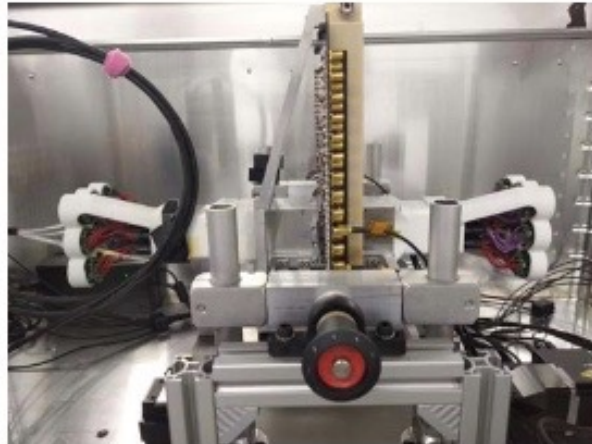
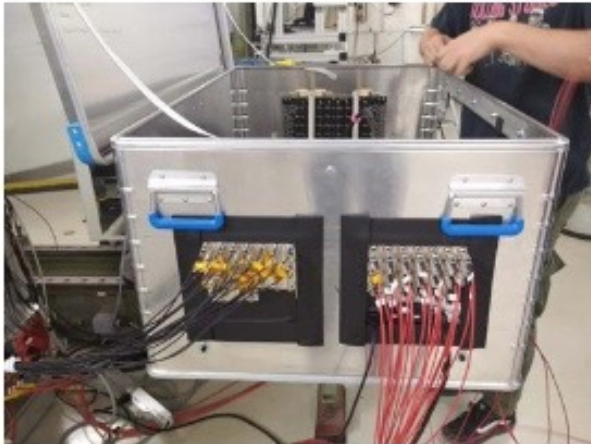
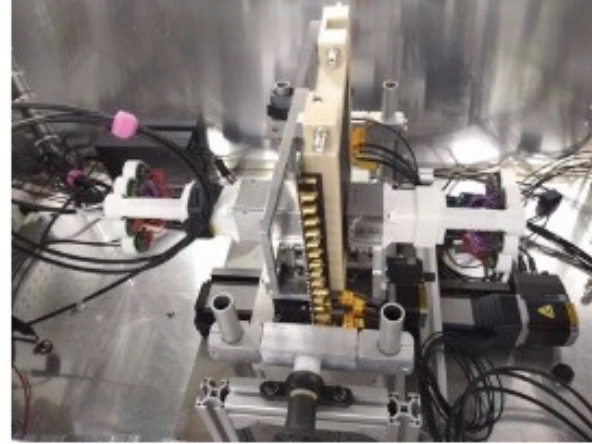
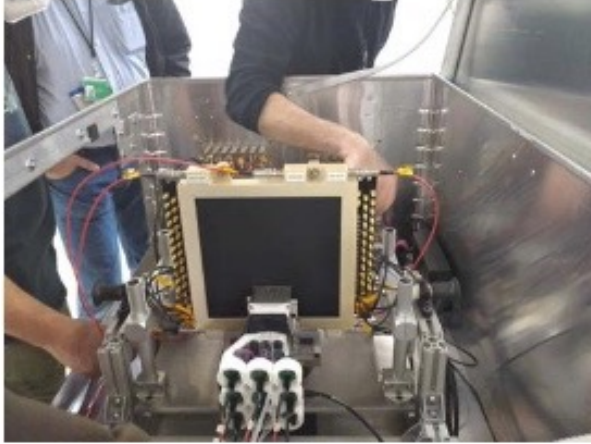
Esempio di setup messo a punto a Bologna



Esempio di setup messo a punto a Bologna

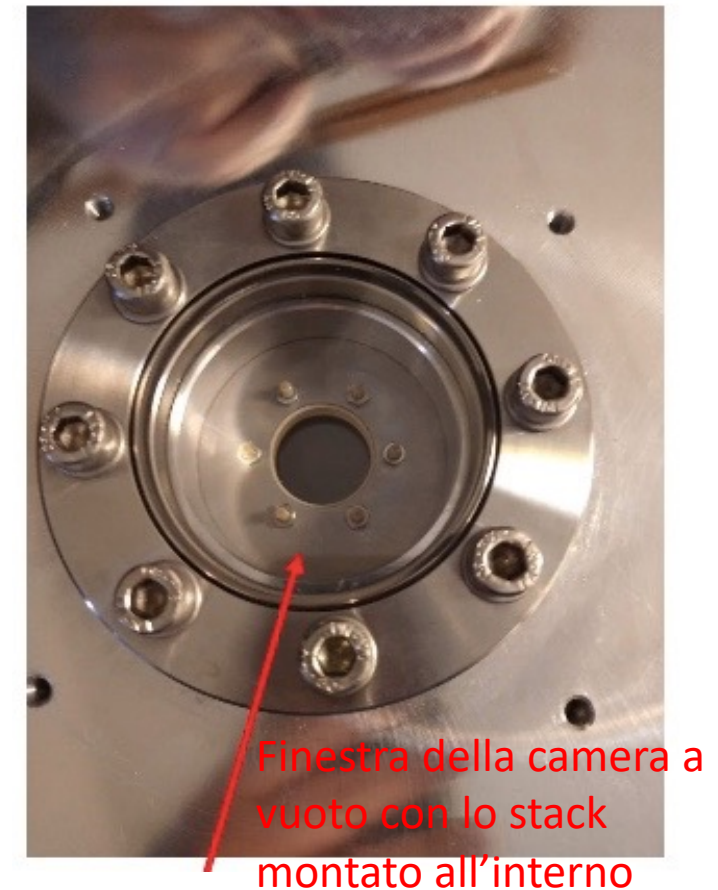
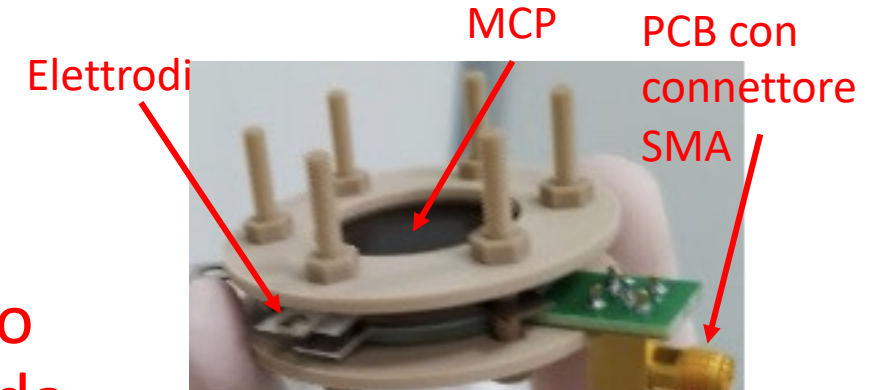


Alcune foto dai testbeam



Studi sulla lifetime degli MCP

- **Stack di MCP** posti all'interno di una **camera a vuoto** e **invecchiati tramite l'illuminazione con una lampada al mercurio**
- Studio eseguito su due set di MCP: Baspik lead-glass MCPs (MCP 'tradizionali') e Incom MCPs (simili a quelli utilizzati per costruire il LAPPD)
- **Un ringraziamento all'officina meccanica per i supporti e le flange e al centro di elettronica per voltage divider e PCB**



Setup sperimentale

Lampada al mercurio inserita nel cappello superiore

Flangia superiore con finestra

Camera a vuoto

Fascia riscaldante

Flangia per HV

Flangia per cavi di segnale

Alimentatore della lampada al mercurio

Controller della pompa

Misuratore di vuoto

Selettore per passare dalle misure di guadagno ai settaggi ad alta corrente

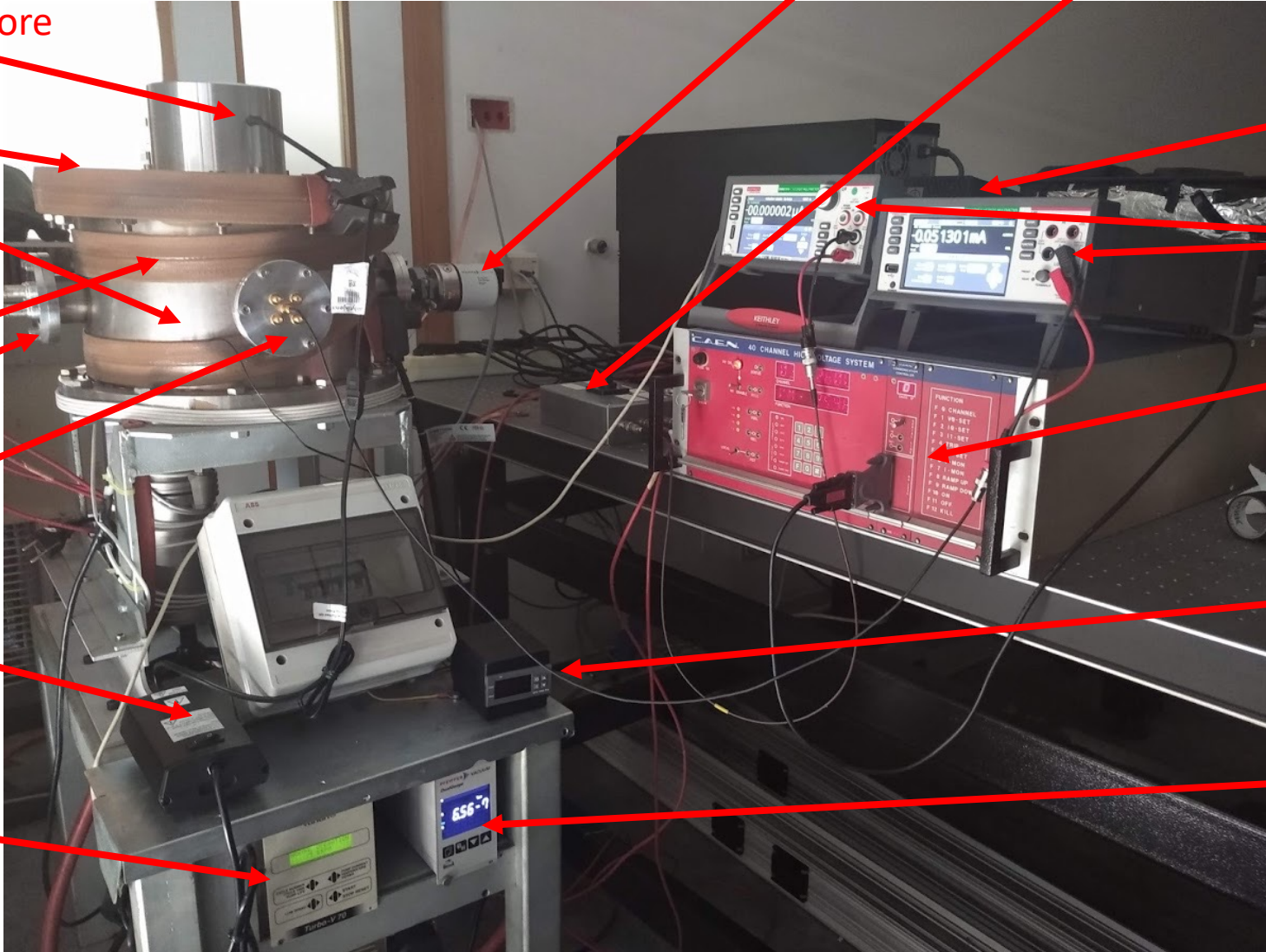
Mini PC per acquisizione dati e controllo

Multimetri

Aimentatore HV

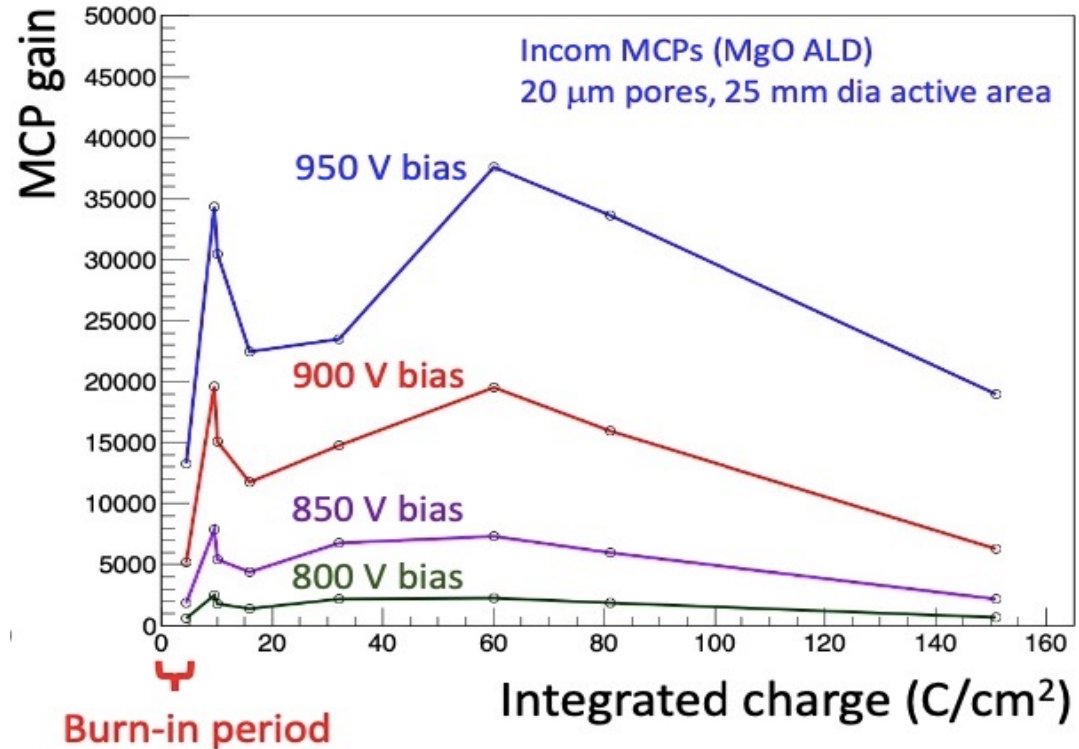
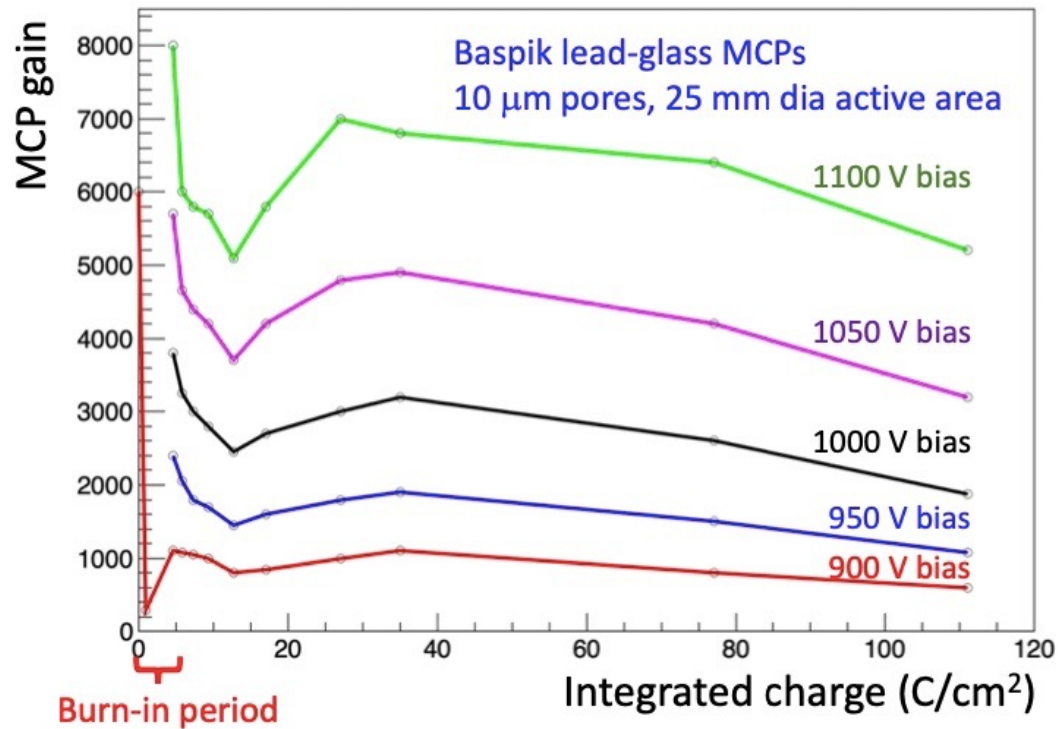
Termostato per la fascia riscaldante

Controller del misuratore di vuoto



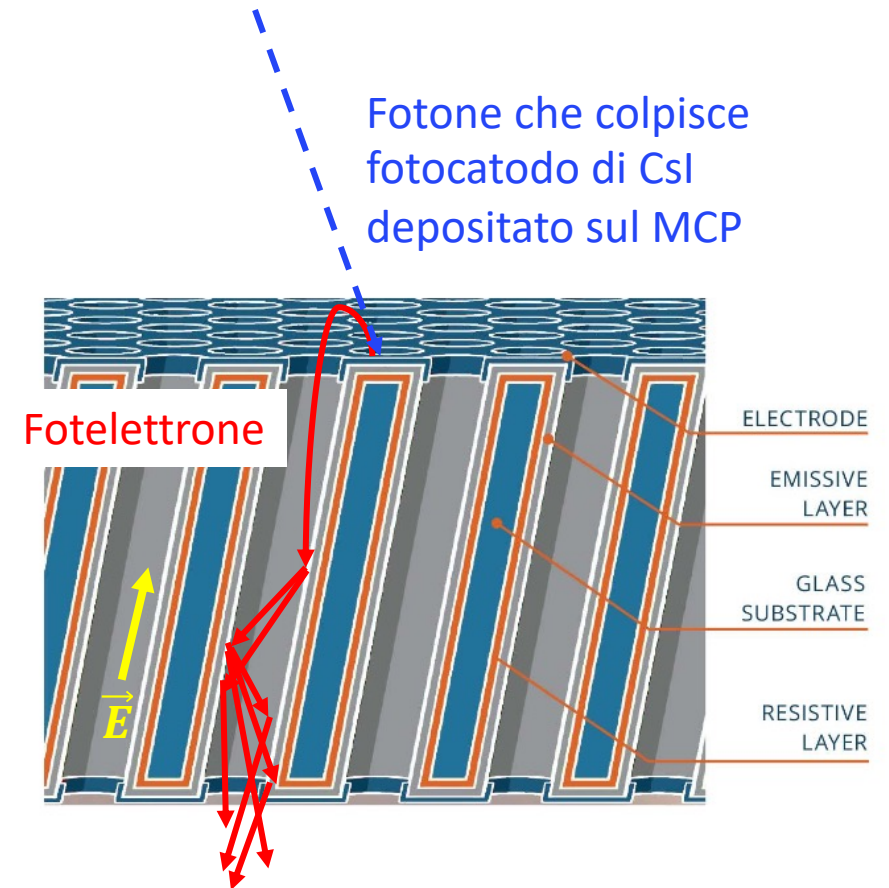
Studi sulla lifetime degli MCP

- Risultati preliminari: perdita di gain non sembra essere un problema per cariche integrate $\sim 100 \text{ C/cm}^2$



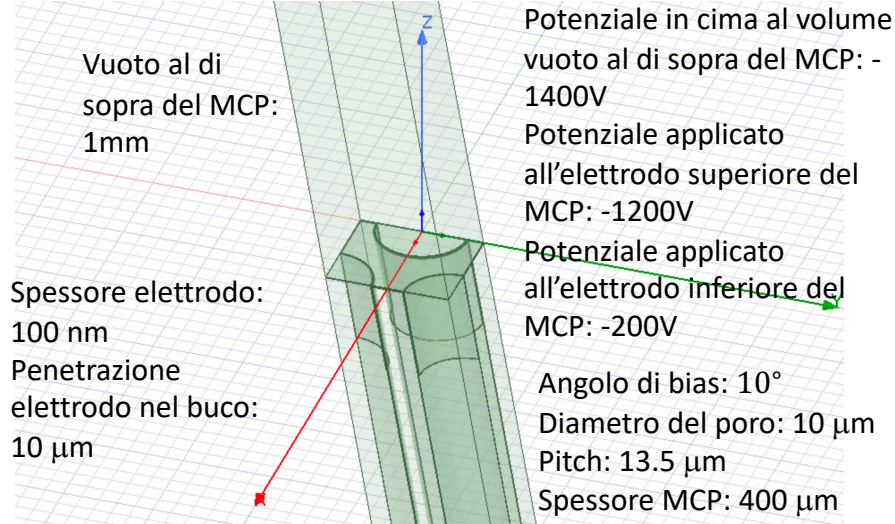
Simulazione di un MCP

- Sviluppata una **simulazione per studiare il comportamento degli elettroni emessi da un fotocatodo opaco depositato su una faccia del MCP**
- Campo elettrico ottenuto da una **simulazione agli elementi finiti tramite ANSYS**
- **Tracciamento degli elettroni implementato utilizzando classi sviluppate per Garfield++**

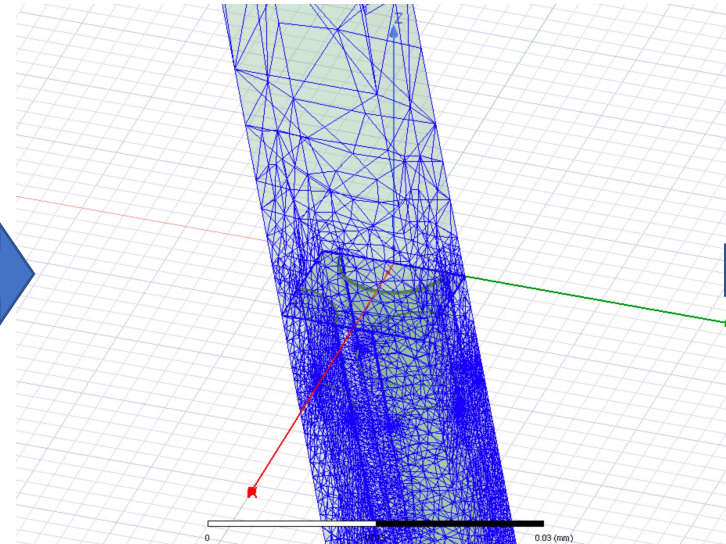


Simulazione di un MCP

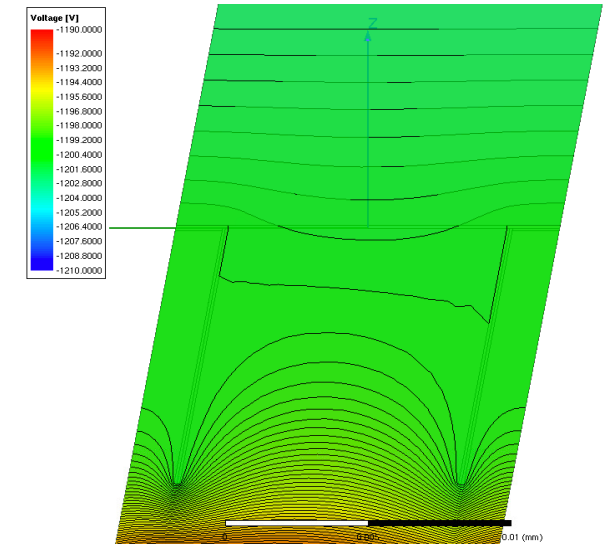
Elemento minimo: condizioni al contorno riflesse in X e periodiche in Y (MCP infinito)



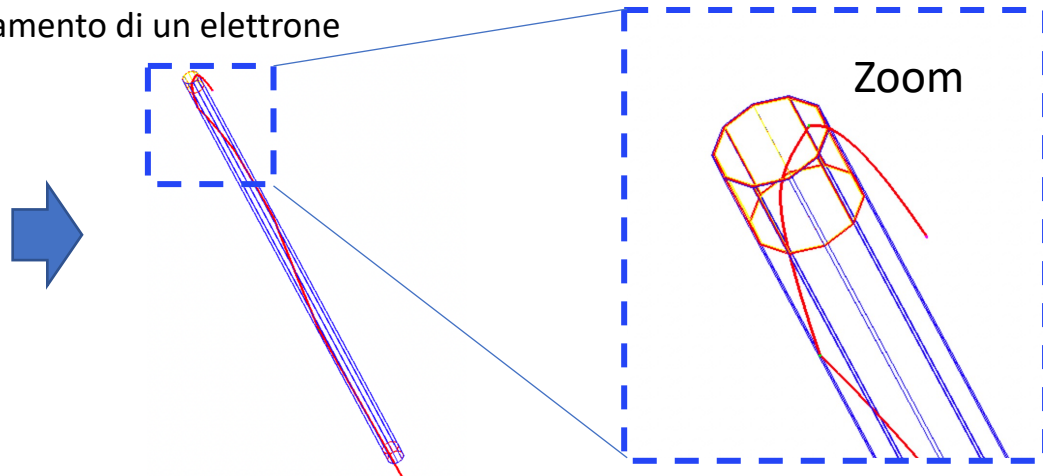
~5M di mesh tetraedriche



Linee equipotenziali all'entrata del poro



Tracciamento di un elettrone



Attività di terza missione



SOCIETYnext - Notte Europea dei Ricercatori



Quasi come essere al CERN
Misura della violazione di CP in decadimenti $B^0 \rightarrow K^+ \pi^-$ ad LHCb
PCTO 07-11 giugno 2021



INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
LHCb
ALMA MATER STUDIORUM UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

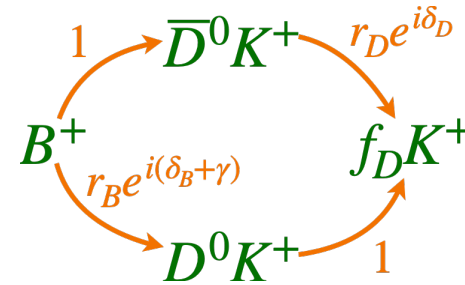


Backup

Determinazione simultanea dell'angolo γ della matrice CKM e dei parametri di mixing del charm

Input sperimentali utilizzati

<i>B</i> decay	<i>D</i> decay	Ref.	Dataset	Status since Ref. [17]
$B^\pm \rightarrow Dh^\pm$	$D \rightarrow h^+h^-$	[20]	Run 1&2	Updated
$B^\pm \rightarrow Dh^\pm$	$D \rightarrow h^+\pi^-\pi^+\pi^-$	[21]	Run 1	As before
$B^\pm \rightarrow Dh^\pm$	$D \rightarrow h^+h^-\pi^0$	[22]	Run 1	As before
$B^\pm \rightarrow Dh^\pm$	$D \rightarrow K_S^0 h^+h^-$	[19]	Run 1&2	Updated
$B^\pm \rightarrow Dh^\pm$	$D \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^\mp$	[23]	Run 1&2	Updated
$B^\pm \rightarrow D^*h^\pm$	$D \rightarrow h^+h^-$	[20]	Run 1&2	Updated
$B^\pm \rightarrow DK^{*\pm}$	$D \rightarrow h^+h^-$	[24]	Run 1&2(*)	As before
$B^\pm \rightarrow DK^{*\pm}$	$D \rightarrow h^+\pi^-\pi^+\pi^-$	[24]	Run 1&2(*)	As before
$B^\pm \rightarrow Dh^\pm \pi^+ \pi^-$	$D \rightarrow h^+h^-$	[25]	Run 1	As before
$B^0 \rightarrow DK^{*0}$	$D \rightarrow h^+h^-$	[26]	Run 1&2(*)	Updated
$B^0 \rightarrow DK^{*0}$	$D \rightarrow h^+\pi^-\pi^+\pi^-$	[26]	Run 1&2(*)	New
$B^0 \rightarrow DK^{*0}$	$D \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$	[27]	Run 1	As before
$B^0 \rightarrow D^\mp \pi^\pm$	$D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$	[28]	Run 1	As before
$B_s^0 \rightarrow D_s^\mp K^\pm$	$D_s^+ \rightarrow h^+ h^- \pi^+$	[29]	Run 1	As before
$B_s^0 \rightarrow D_s^\mp K^\pm \pi^+ \pi^-$	$D_s^+ \rightarrow h^+ h^- \pi^+$	[30]	Run 1&2	New
<i>D</i> decay	Observable(s)	Ref.	Dataset	Status since Ref. [17]
$D^0 \rightarrow h^+h^-$	ΔA_{CP}	[31–33]	Run 1&2	New
$D^0 \rightarrow h^+h^-$	y_{CP}	[34]	Run 1	New
$D^0 \rightarrow h^+h^-$	ΔY	[35–38]	Run 1&2	New
$D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$ (Single Tag)	$R^\pm, (x'^\pm)^2, y'^\pm$	[39]	Run 1	New
$D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$ (Double Tag)	$R^\pm, (x'^\pm)^2, y'^\pm$	[40]	Run 1&2(*)	New
$D^0 \rightarrow K^\pm \pi^\mp \pi^+ \pi^-$	$(x^2 + y^2)/4$	[41]	Run 1	New
$D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$	x, y	[42]	Run 1	New
$D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$	$x_{CP}, y_{CP}, \Delta x, \Delta y$	[43]	Run 1	New
$D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$	$x_{CP}, y_{CP}, \Delta x, \Delta y$	[44]	Run 2	New



- Modi di decadimento più sensibili: $B^\pm \rightarrow DK^\pm$
 - Combinazione di molti canali per ottenere la miglior precisione possibile
- I decadimenti $B^\pm \rightarrow D(\rightarrow K^\mp \pi^\pm)K^\pm$ sono sensibili alla differenza di fase forte tra $D \rightarrow K^- \pi^+$ e $D \rightarrow K^+ \pi^-$ se i parametri di mixing del charm sono presi come input
- Per questo motivo, LHCb ha eseguito un'analisi simultanea

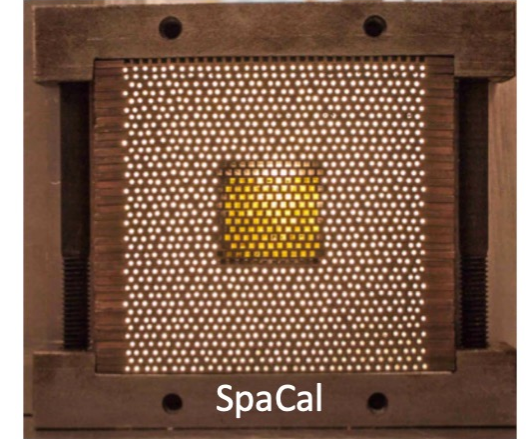
R&D per il calorimetro elettromagnetico di LHCb Upgrade 2

- Opzioni tecnologiche
 - Shashlik: tecnologia nota, ma inadatta alle zone a più alta radiazione
 - SPACAL: ottimo dal punto di vista della resistenza alla radiazione e della ottimizzazione della granularità

Risoluzione temporale ancora non ottimale (migliorabile)

Prototype	Bias [V]	Time Res. [ps]
SpaCal	630	85 [◇]
	730	78 [◇]
Shashlik	800	69
Small Shashlik	1000	66 [†]
	1000	177 ^{◇ †}

[◇] Beam entering from the PMTs' side. [†] Noisy PMTs.



- **LHCb Bologna**
 - Studi con simulazioni veloci per stabilire i parametri necessari in termini di granularità e risoluzione temporale
 - Risoluzioni temporali dell'ordine di 10-20 ps sembrano necessarie per ridurre il fondo combinatorio a livello di Run1