

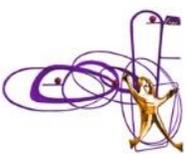
IFAE 2023 – Incontri di Fisica delle Alte Energie, Catania, 12-14 Aprile



Il rivelatore di muoni dell'esperimento LHCb ad Upgrade II

Francesco Debernardis
Università degli Studi di Bari e INFN Bari
Per la collaborazione LHCb

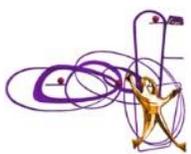
IFAE 2023



INDICE



- L'esperienza LHCb: dagli obiettivi di fisica all'apparato sperimentale
 - Il rivelatore di muoni oggi
- L'importanza di LHCb nell'era dell'alta luminosità
- Upgrade II del rivelatore di muoni

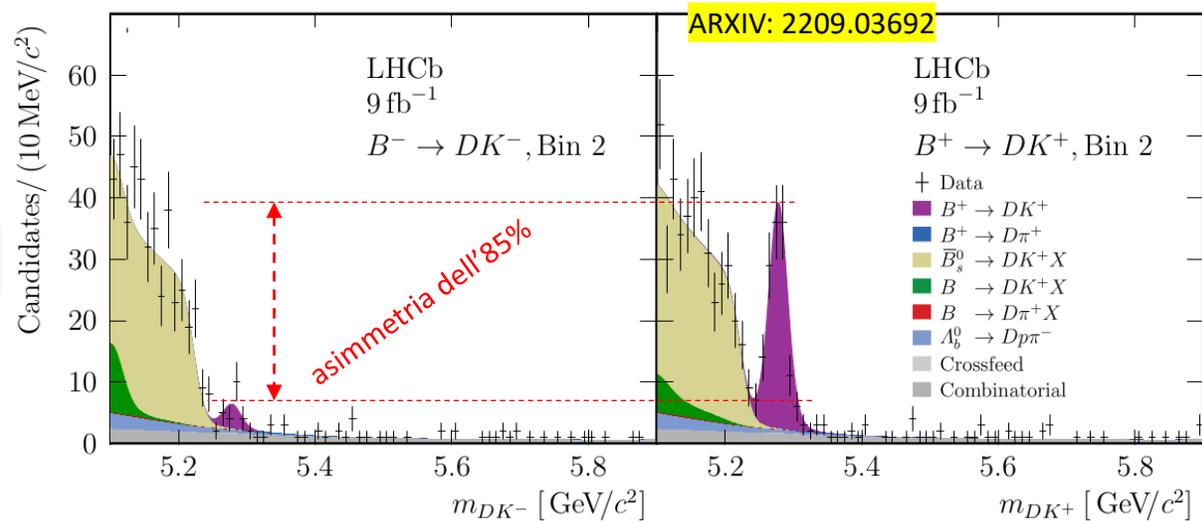


Obiettivi di fisica di LHCb

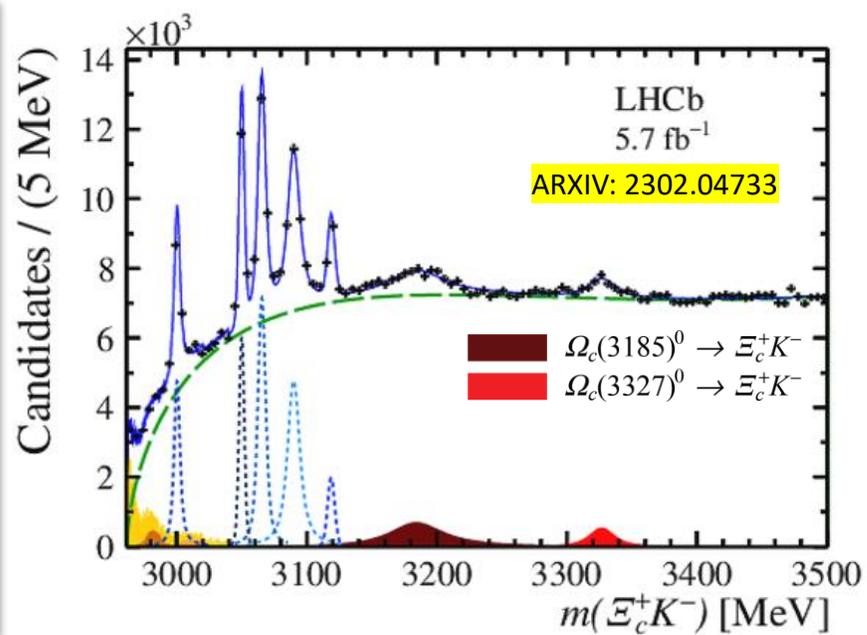


Progettato per studi di violazione di CP e decadimenti rari nel settore dei quark beauty e charm.

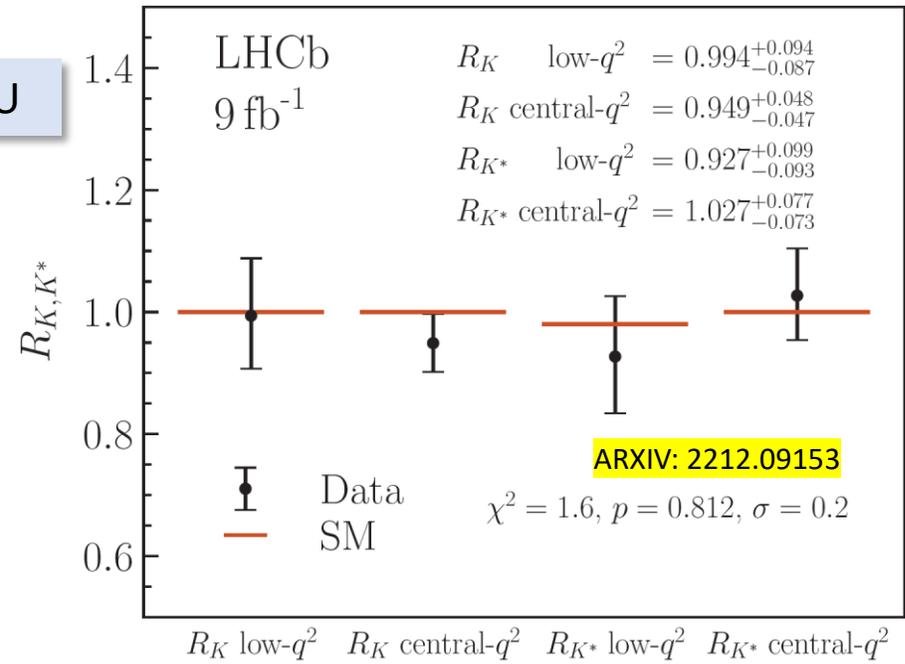
CPV



SPECTROSCOPY

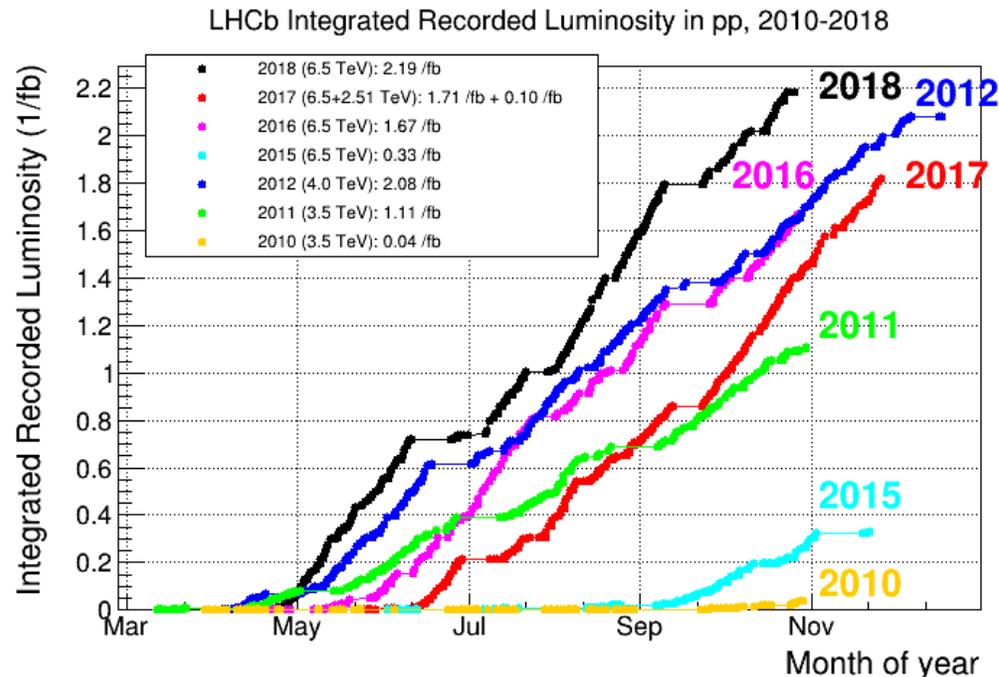
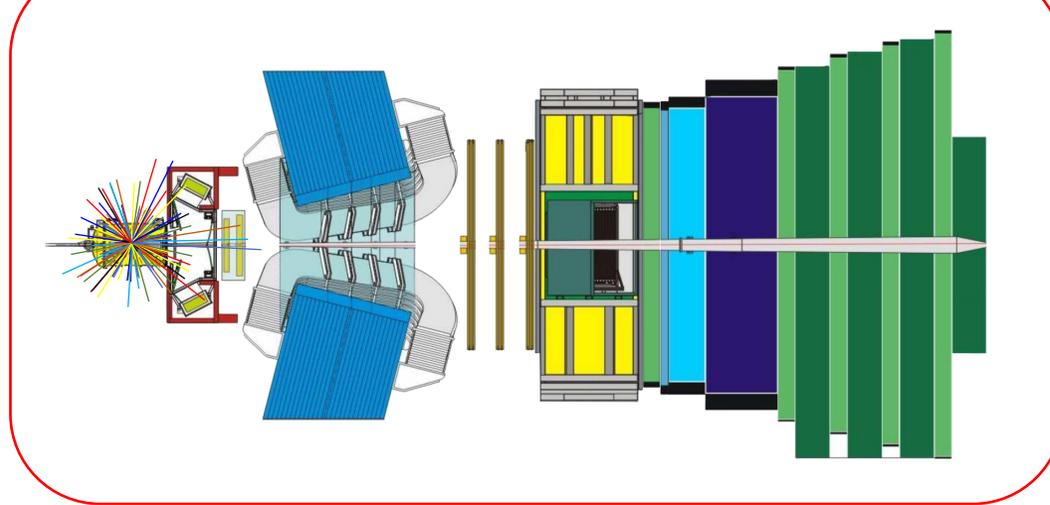


LU



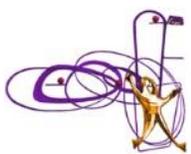
Performance eccellenti di LHCb a Run 1 e 2

- Risoluzione di impulso:
 $\Delta p/p \sim 0.5\%$ fino a 20 GeV/c
 $\Delta p/p \sim 1\%$ a 200 GeV/c
- Risoluzione di parametro di impatto:
 $IP \sim (15 + 29/pT [\text{GeV}]) \mu\text{m}$
- Risoluzione di tempo di decadimento:
 $\sigma_t \sim 45 \text{ fs}$ per $B_s \rightarrow J/\psi \phi$
- Efficienza di PID (mis-ID prob.):
 $e \sim 90\%$ ($e \rightarrow h \sim 5\%$),
 $K \sim 95\%$ ($\pi \rightarrow K \sim 5\%$)
 $\mu \sim 97\%$ ($\pi \rightarrow \mu \sim 1 \div 3\%$)



RUN 1
(2010-2012)
 3 fb^{-1}

RUN 2
(2015-2018)
 6 fb^{-1}

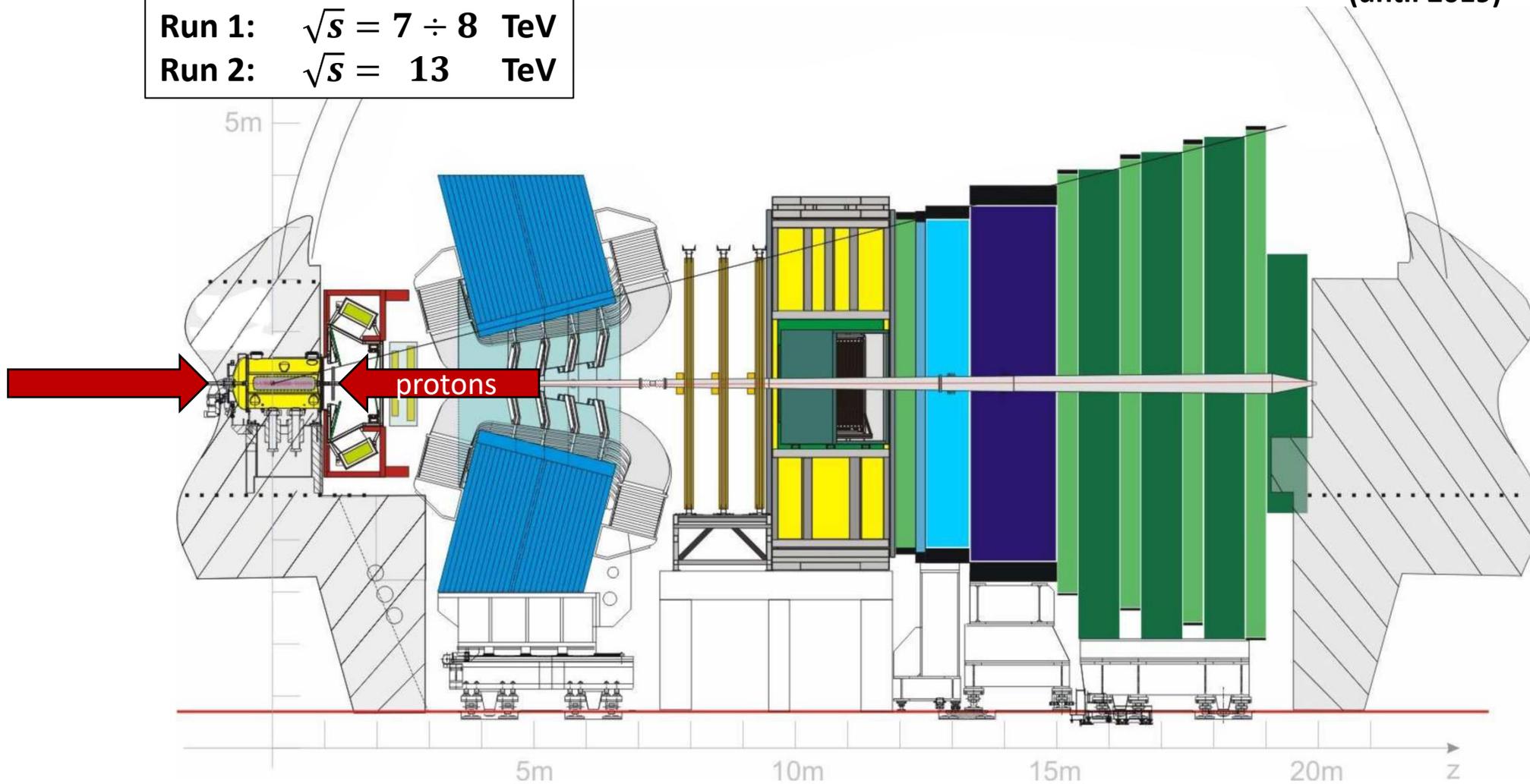


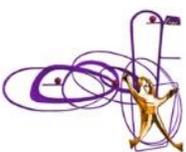
L'apparato LHCb a Run 1 e 2



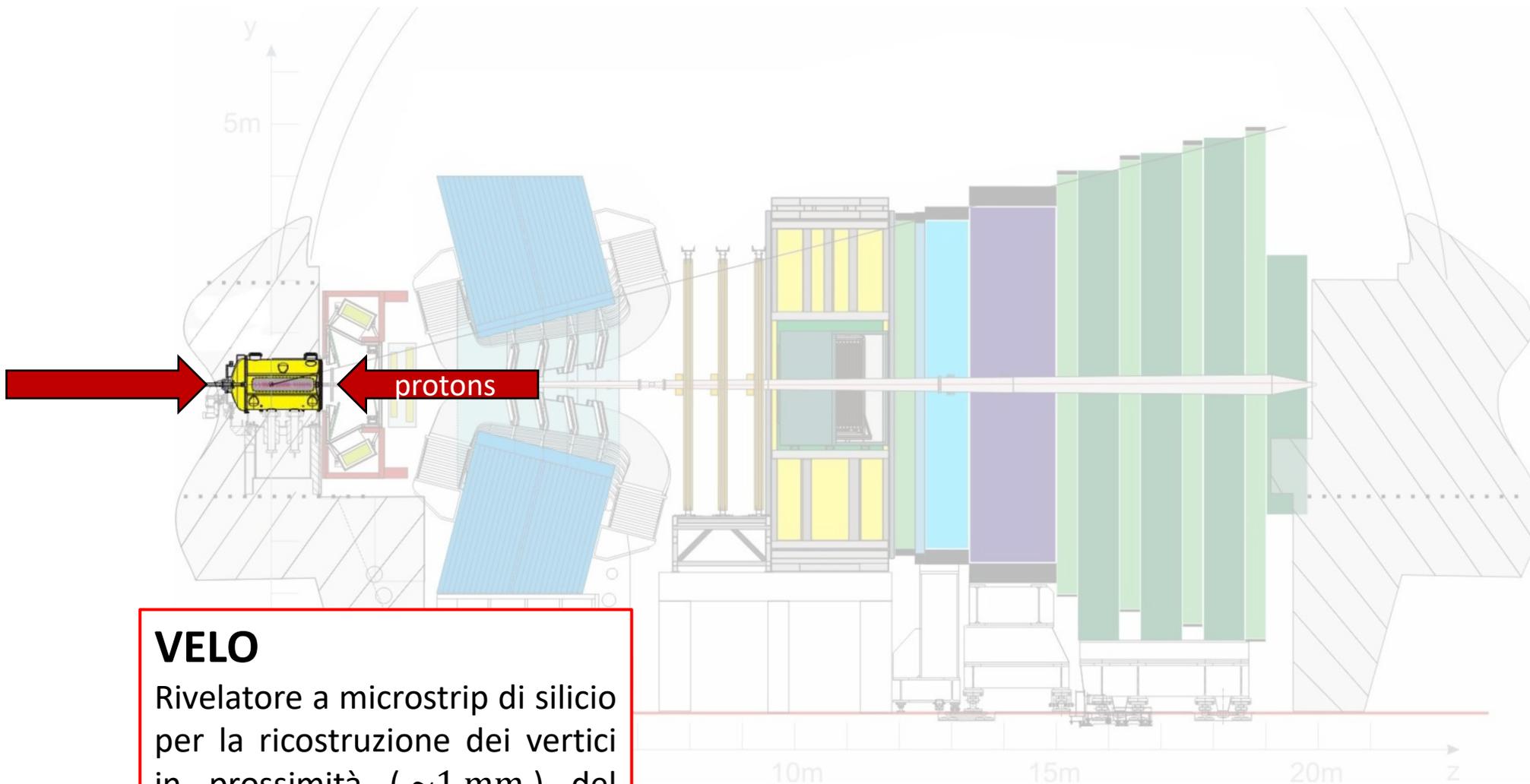
Run 1, Run 2
(until 2019)

Run 1: $\sqrt{s} = 7 \div 8$ TeV
Run 2: $\sqrt{s} = 13$ TeV

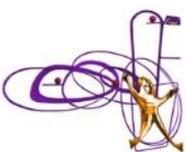




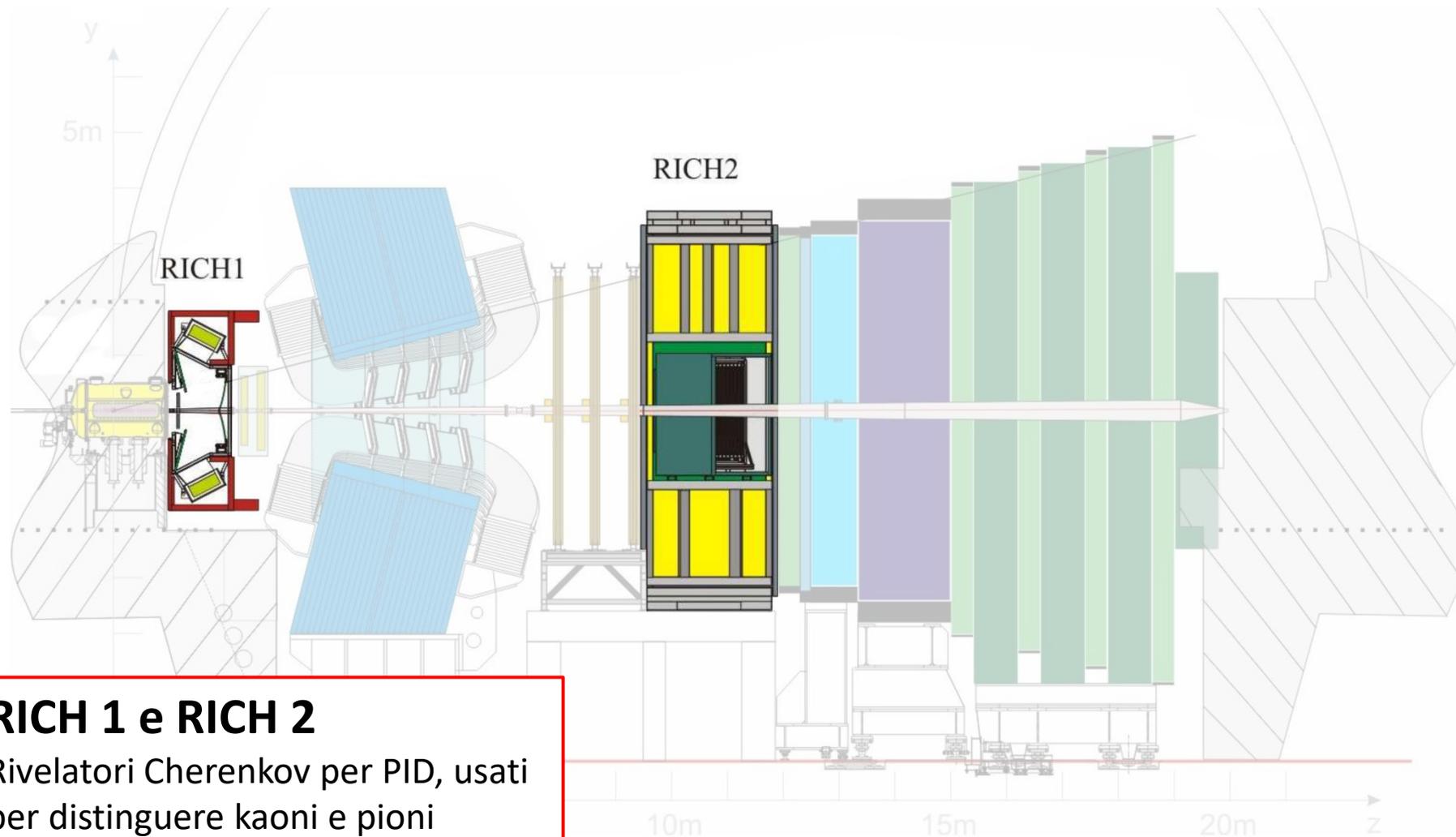
L'apparato LHCb a Run 1 e 2



VELO
Rivelatore a microstrip di silicio per la ricostruzione dei vertici in prossimità (~ 1 mm) del punto di collisione dei protoni

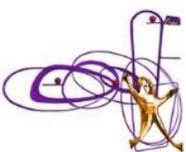


L'apparato **LHCb** a Run 1 e 2

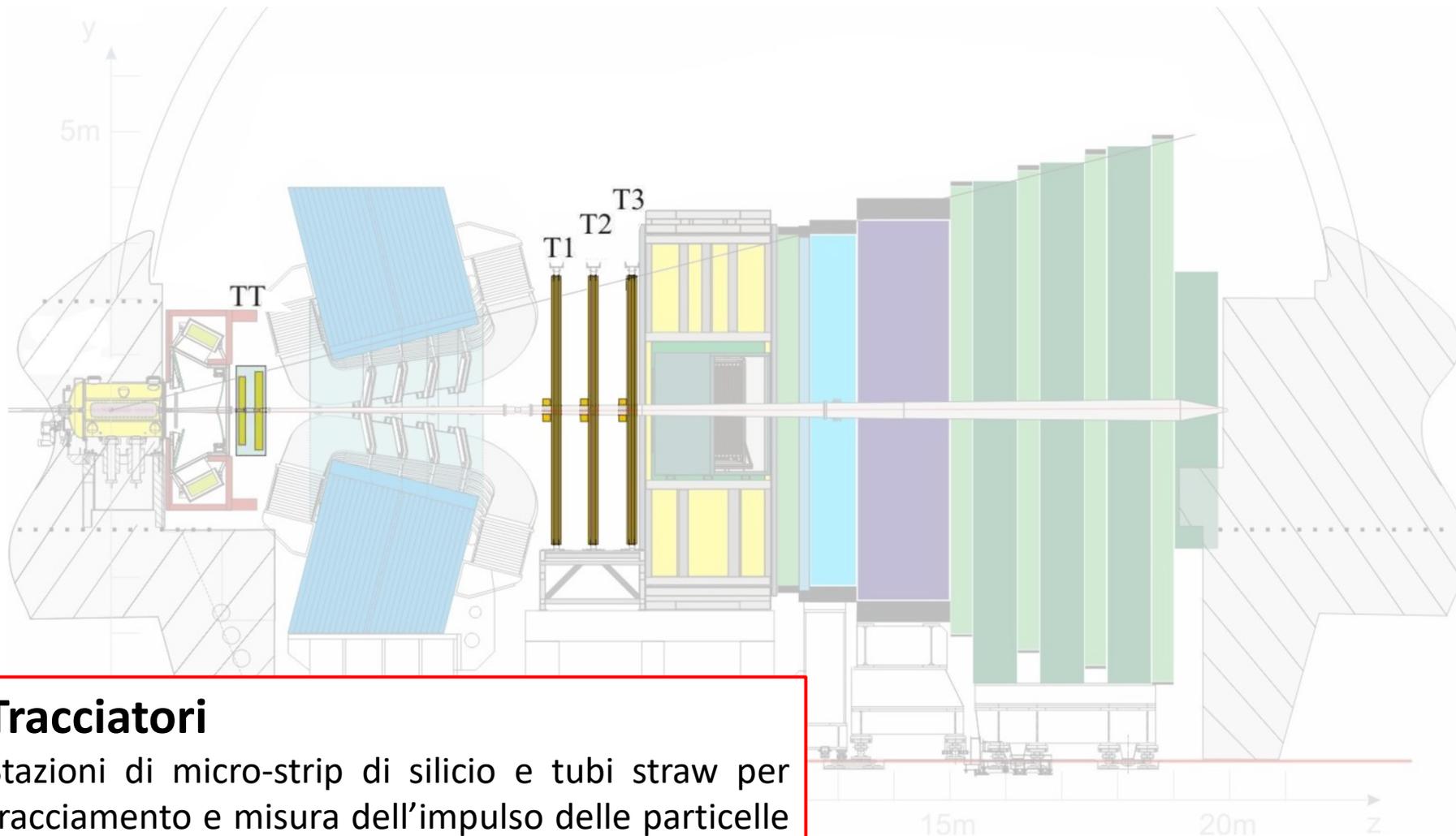


RICH 1 e RICH 2

Rivelatori Cherenkov per PID, usati per distinguere kaoni e pioni

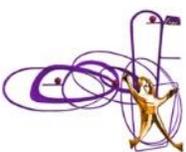


L'apparato **LHCb** a Run 1 e 2

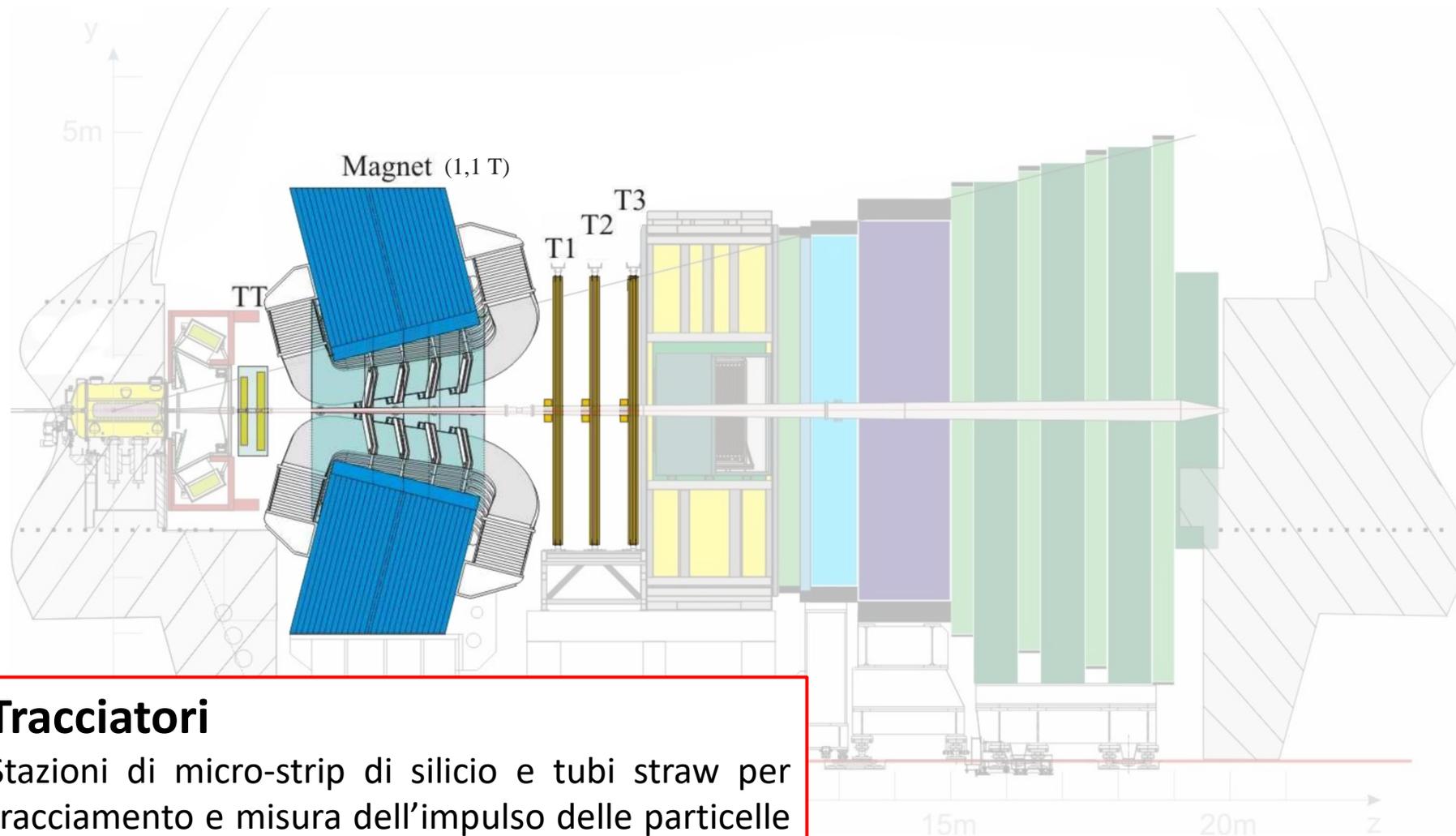


Tracciatori

Stazioni di micro-strip di silicio e tubi straw per tracciamento e misura dell'impulso delle particelle in campo magnetico

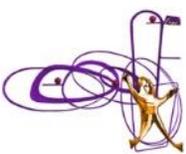


L'apparato LHCb a Run 1 e 2

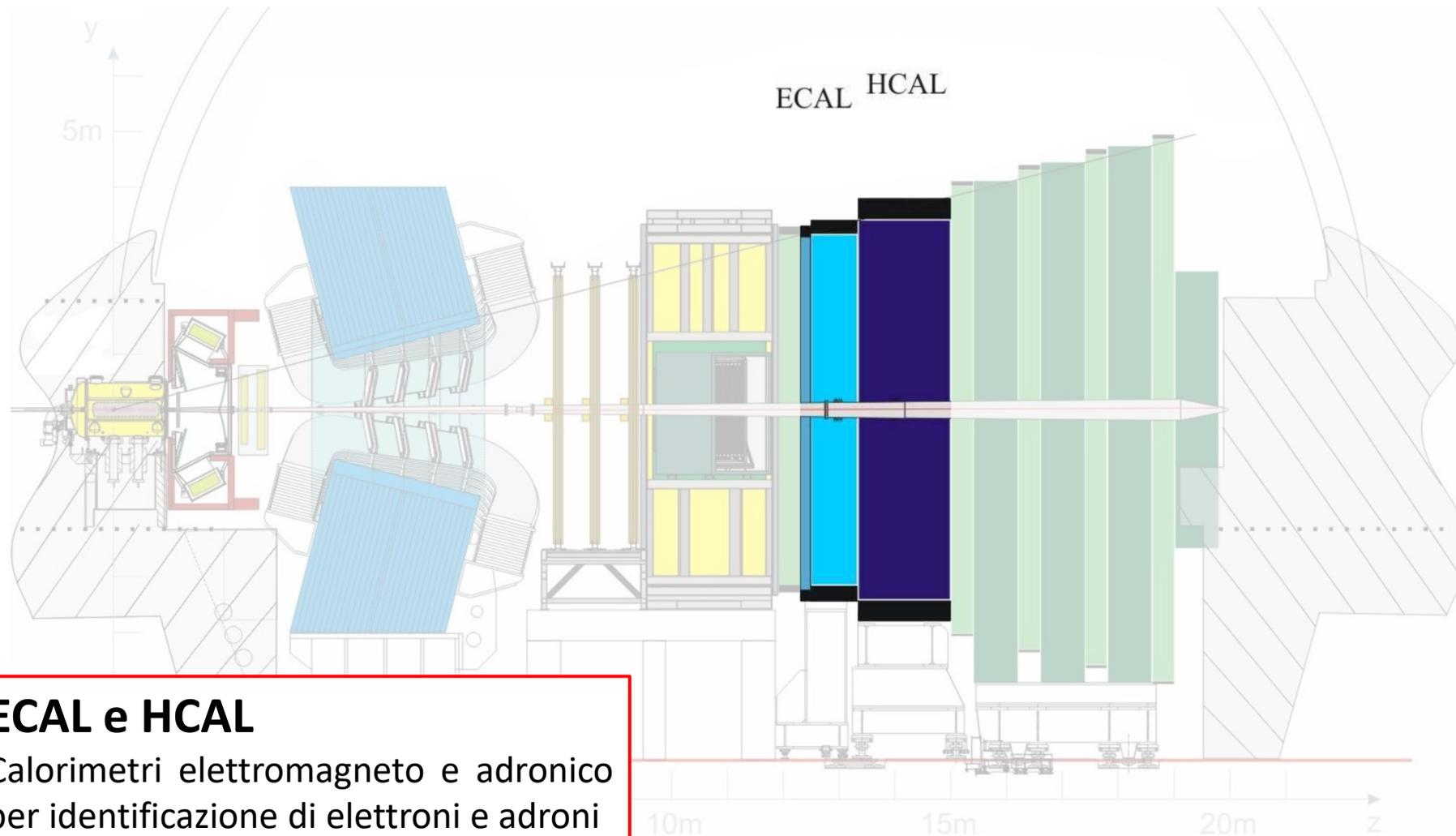


Tracciatori

Stazioni di micro-strip di silicio e tubi straw per tracciamento e misura dell'impulso delle particelle in campo magnetico

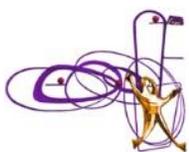


L'apparato LHCb a Run 1 e 2

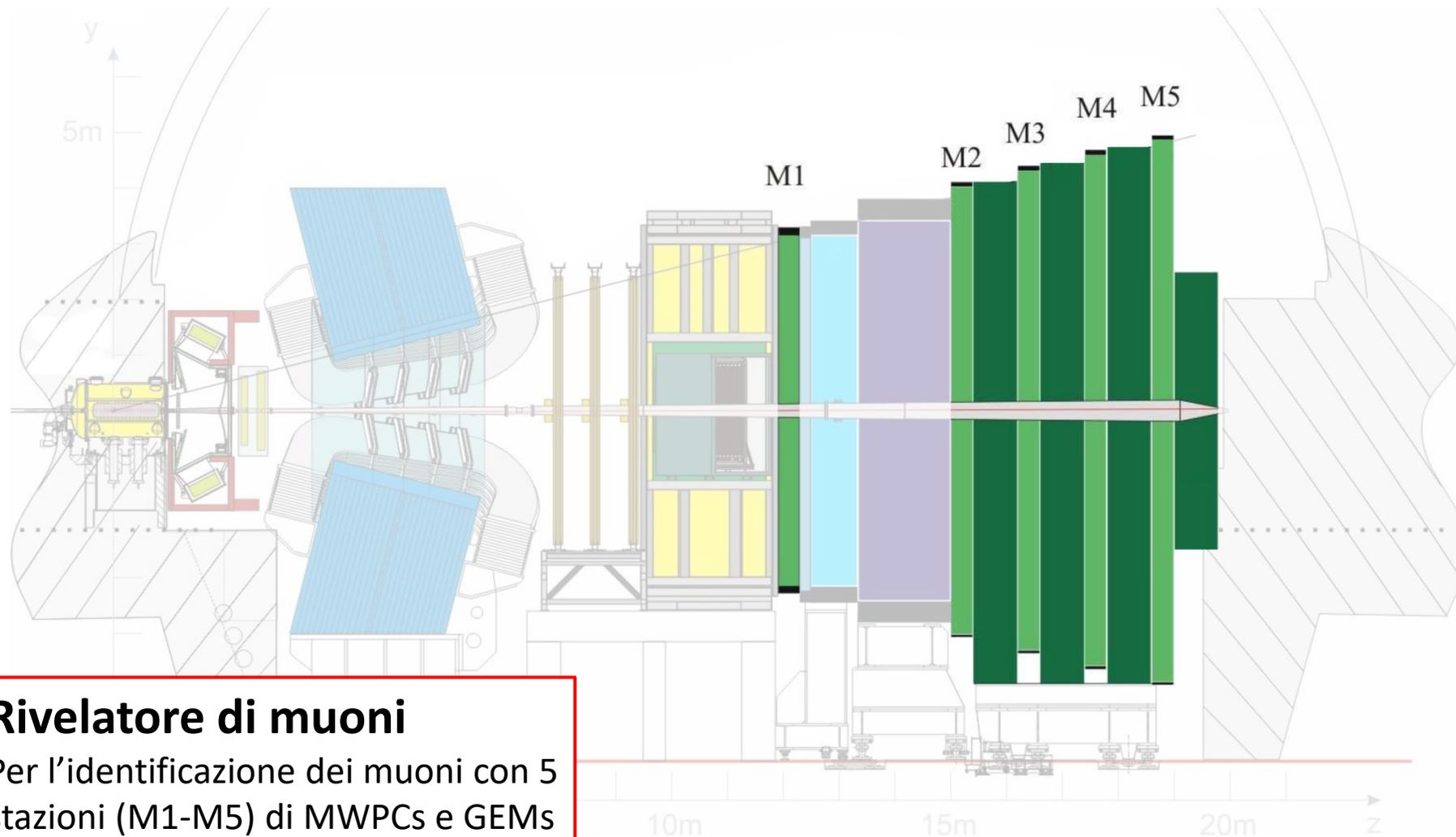


ECAL e HCAL

Calorimetri elettromagneto e adronico per identificazione di elettroni e adroni

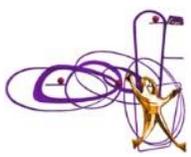


L'apparato LHCb a Run 1 e 2

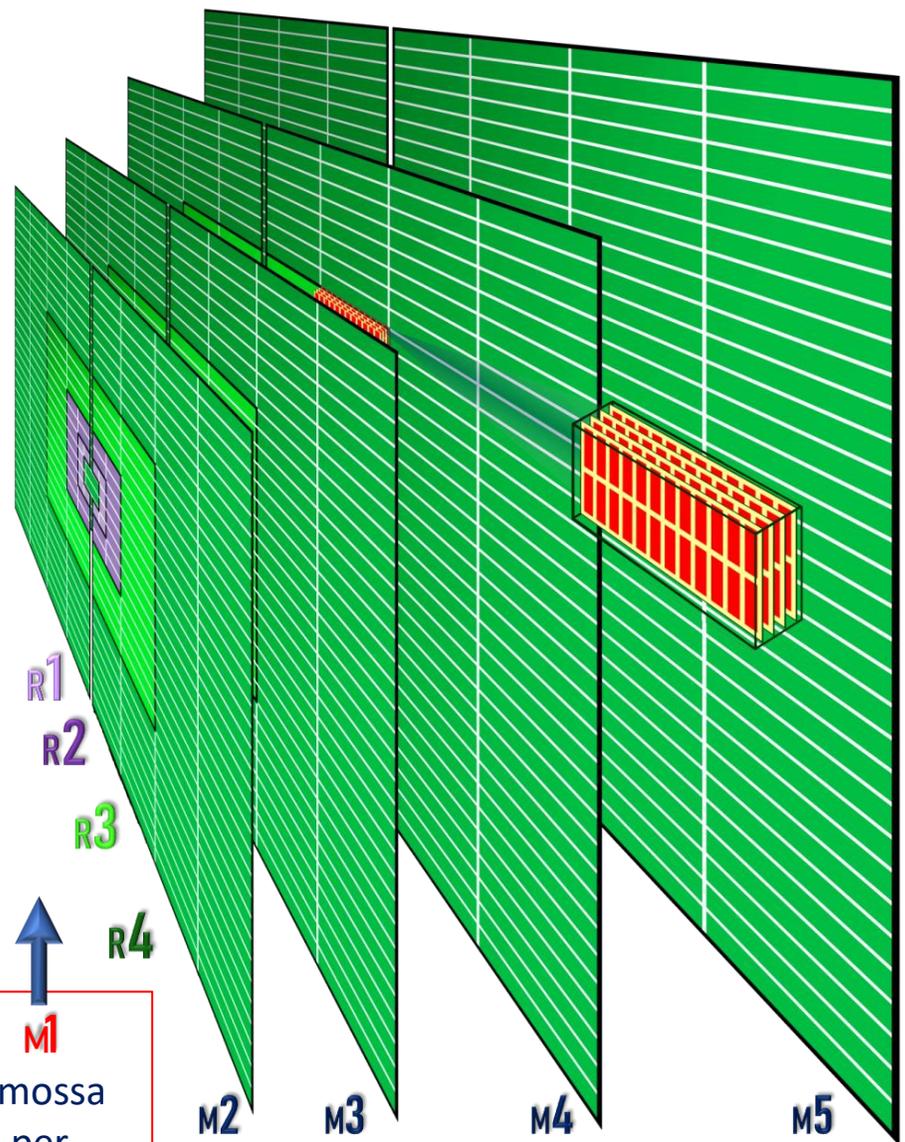


Rivelatore di muoni

Per l'identificazione dei muoni con 5 stazioni (M1-M5) di MWPCs e GEMs

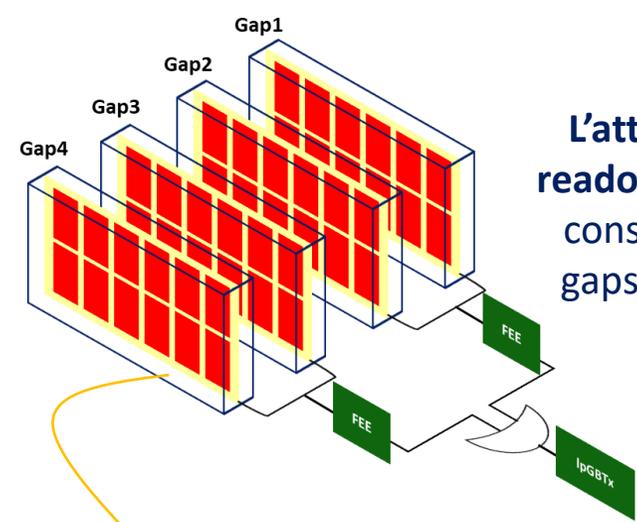
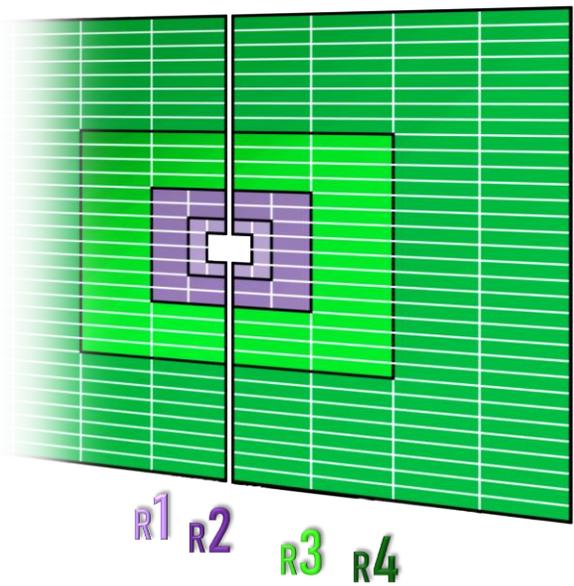


Il rivelatore di muoni (oggi) di LHCb

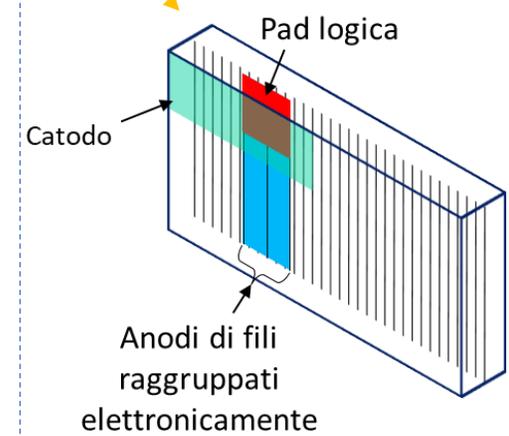


M1
rimossa per Upgrade I

4 stazioni di camere con 4 gap proporzionali a multifili (MWPC), con miscela Ar:CO₂:CF₄ (40:55:5). Le stazioni sono interposte tra assorbitori di ferro spessi 80 cm



L'attuale schema di readout di una camera consiste nell'OR di 2 gaps, in OR di nuovo con le FEE

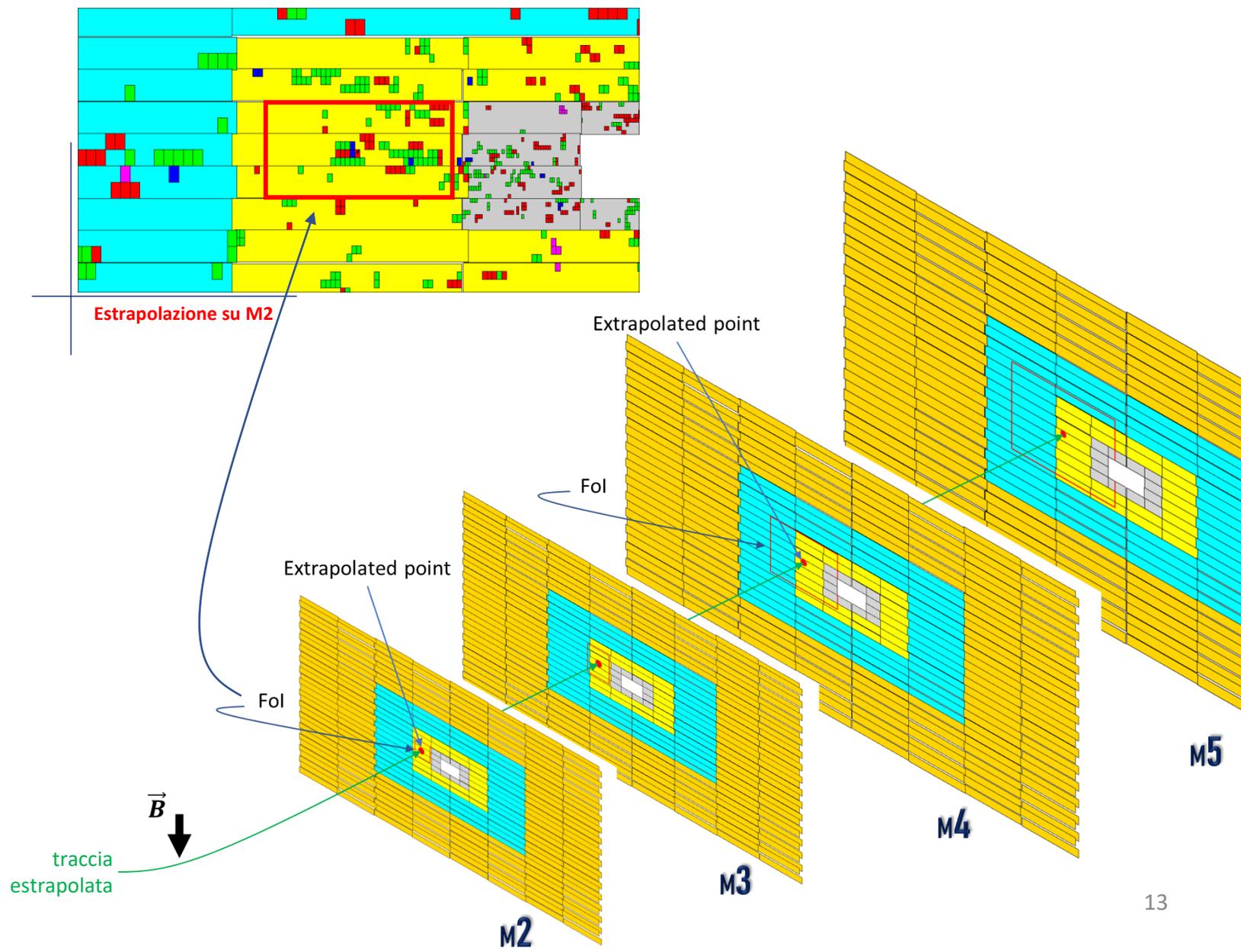


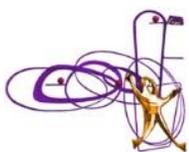
In ciascuna gap, le pad logiche sono AND logici tra fili anodici raggruppati e pad catodiche

L'**identificazione dei muoni** agisce a diversi step. Lo step fondamentale è la richiesta *IsMuon* con cui, data una traccia estrapolata:

1. Si cerca l'hit della traccia su ogni stazione in una Fol: regione intorno al punto di estrapolazione
2. Si richiede la presenza degli hit sulle stazioni, secondo l'impulso della particella:

p [GeV/c]	La traccia è un muone:
$p < 3$	mai
$3 < p < 6$	M2 & M3
$6 < p < 10$	M2 & M3 & (M4 M5)
$p > 10$	M2 & M3 & M4 & M5

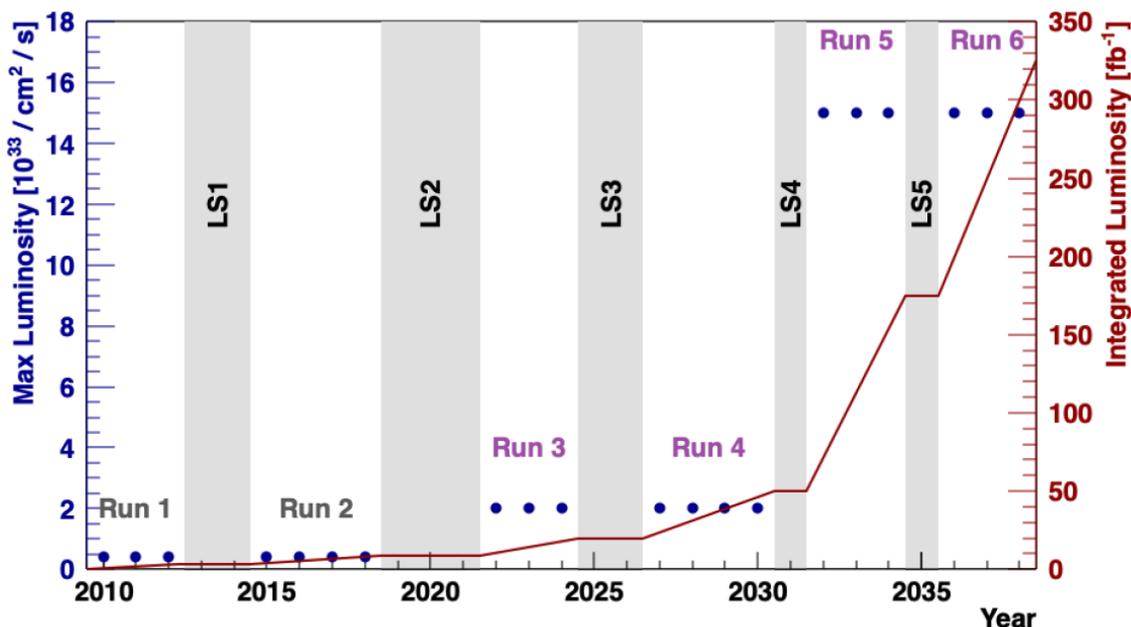




Gli Upgrades di LHCb



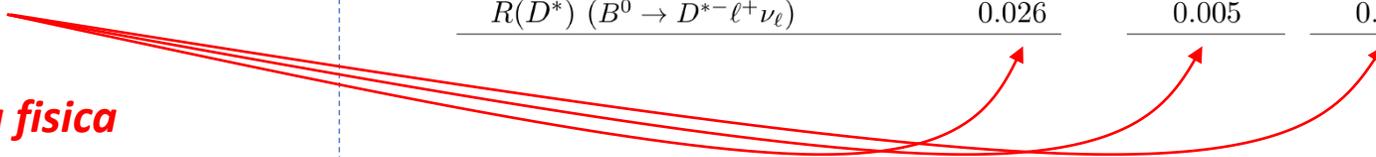
Sono un'opportunità per usufruire dell'incremento di luminosità di LHC ($1.5 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1} @ \text{U2}$)

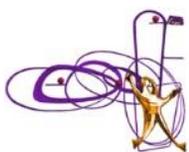


- L'incremento della statistica permette di **migliorare la precisione**
- Si aumenta la sensibilità a fenomeni di **nuova fisica**

LHCb-TDR-023

Observable	Current LHCb (up to 9 fb^{-1})	Upgrade I (50 fb^{-1})	Upgrade II (300 fb^{-1})
CKM tests			
$\gamma (B \rightarrow DK, \text{ etc.})$	4°	1°	0.35°
$\phi_s (B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi)$	32 mrad	10 mrad	4 mrad
$ V_{ub} / V_{cb} (A_b^0 \rightarrow p\mu^-\bar{\nu}_\mu, \text{ etc.})$	6%	2%	1%
$a_{\text{sl}}^d (B^0 \rightarrow D^-\mu^+\nu_\mu)$	36×10^{-4}	5×10^{-4}	2×10^{-4}
$a_{\text{sl}}^s (B_s^0 \rightarrow D_s^-\mu^+\nu_\mu)$	33×10^{-4}	7×10^{-4}	3×10^{-4}
Charm			
$\Delta A_{CP} (D^0 \rightarrow K^+K^-, \pi^+\pi^-)$	29×10^{-5}	8×10^{-5}	3.3×10^{-5}
$A_\Gamma (D^0 \rightarrow K^+K^-, \pi^+\pi^-)$	11×10^{-5}	3.2×10^{-5}	1.2×10^{-5}
$\Delta x (D^0 \rightarrow K_s^0\pi^+\pi^-)$	18×10^{-5}	4.1×10^{-5}	1.6×10^{-5}
Rare Decays			
$\mathcal{B}(B^0 \rightarrow \mu^+\mu^-)/\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-)$	69%	27%	11%
$S_{\mu\mu} (B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-)$	—	—	0.2
$A_\Gamma^{(2)} (B^0 \rightarrow K^{*0}e^+e^-)$	0.10	0.043	0.016
$A_\Gamma^{\text{Im}} (B^0 \rightarrow K^{*0}e^+e^-)$	0.10	0.043	0.016
$\mathcal{A}_{\phi\gamma}^{\Delta\Gamma} (B_s^0 \rightarrow \phi\gamma)$	$^{+0.41}_{-0.44}$	0.083	0.033
$S_{\phi\gamma} (B_s^0 \rightarrow \phi\gamma)$	0.32	0.062	0.025
$\alpha_\gamma (A_b^0 \rightarrow A\gamma)$	$^{+0.17}_{-0.29}$	0.097	0.038
Lepton Universality Tests			
$R_K (B^+ \rightarrow K^+\ell^+\ell^-)$	0.044	0.017	0.007
$R_{K^*} (B^0 \rightarrow K^{*0}\ell^+\ell^-)$	0.12	0.022	0.009
$R(D^*) (B^0 \rightarrow D^{*-\ell^+\nu_\ell})$	0.026	0.005	0.002





Upgrade 2 del rivelatore di muoni



LHCB-TDR-023

- **Il rivelatore di muoni attuale è soggetto a diverse limitazioni nelle condizioni di alta luminosità :**
 - Granularità delle camere insufficiente per i rates elevati (fino a 1MHz)
 - Tempo morto delle FEE
 - Elevata mis-identificazione dei muoni, considerando il contributo elevato sui rates delle particelle di fondo
- Tre possibili “soluzioni”:
 - **Migliorare la granularità del rivelatore**
 - **Introdurre un nuovo schema di readout**
 - **Assorbitore davanti M2**

- ❖ Sostituzione del calorimetro adronico (HCAL) con un opportuno **assorbitore**
(L'inefficienza di HCAL a Run 5 è in fase di studio)
- ❖ **In R1-R2** (rates fino a ~ 1 MHz/cm²):
 - ✓ Rivelatori **μ -RWELL** con elevate granularità e **nuovo sistema di readout**
- ❖ **In R3-R4** (rates ≤ 50 kHz/cm²):
 - ✓ Mantenere le camere **MWPCs attuali** con **nuovo sistema di readout**

Riduzione dei rates

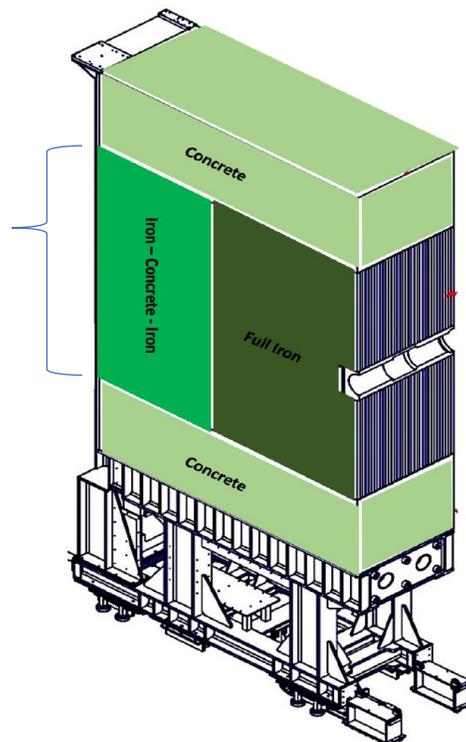
(~80% dei quali è da fondo):

- M2R1: -42%
- M2R2: -69%
- M2R3: -64%

Perdita di efficienza di μ -ID trascurabile.

Valutato con eventi $K_S^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$

ferro-calcestruzzo-ferro
($6.2 \lambda_I$), agente su R4 di M2



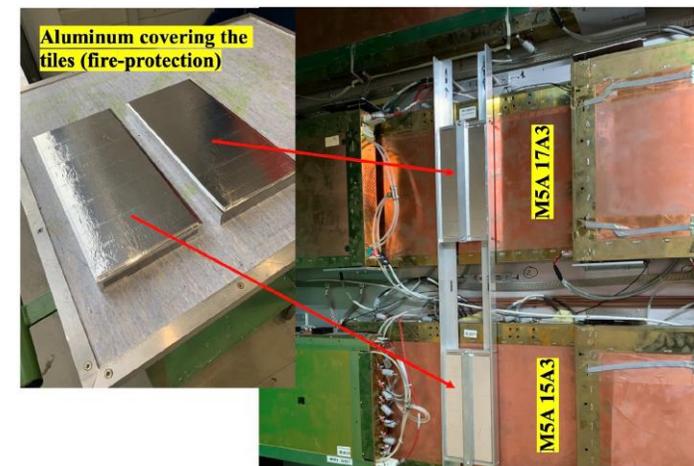
LHCB-INT-2019-008

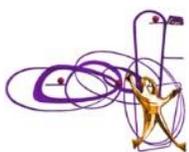
solo ferro ($10.1 \lambda_I$),
agente su R1-R3 di M2

Calcestruzzo ($4 \lambda_I$), agente su
R4 di M2

	HCAL	Shielding
1μ , all regions	$97.5 \pm 0.2\%$	$97.7 \pm 0.2\%$
R1	$93.1 \pm 0.9\%$	$93.4 \pm 0.8\%$
R2	$98.2 \pm 0.3\%$	$98.7 \pm 0.2\%$
R3	$99.1 \pm 0.2\%$	$97.4 \pm 0.3\%$
R4	$96.9 \pm 0.4\%$	$98.8 \pm 0.2\%$
2μ , all regions	$94.8 \pm 0.4\%$	$95.4 \pm 0.3\%$

L'uso di Mirrorbor
(in fase di studio)
per assorbire
neutroni termici





Stima dei rates per Upgrade 2

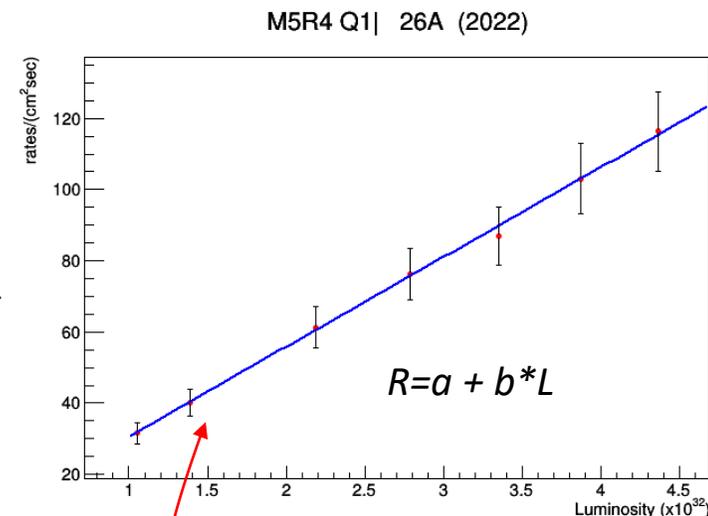


Con l'avvio di Run 3 si effettuano misure di rates delle singole gap a sette diversi valori di luminosità.

Con un fit lineare si estrapolano i rates di ciascuna gap alla luminosità di Run 5: $L = 1.5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$

Protons colliding per bunch (μ real):

$\mu = 1.10$	$L = 1.05 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
$\mu = 1.45$	$L = 1.39 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
$\mu = 2.29$	$L = 2.19 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
$\mu = 2.92$	$L = 2.79 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
$\mu = 3.50$	$L = 3.35 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
$\mu = 4.05$	$L = 3.87 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
$\mu = 4.56$	$L = 4.36 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$



Fit lineare sui rates/cm² misurati in Run 3, per la camera 24D_Q1 di M5R4

Rates massime (M2) in Run 3:

$$L = 4.36 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

R1 _{max} :	33	kHz/cm ²
R2 _{max} :	12	kHz/cm ²
R3 _{max} :	3	kHz/cm ²
R4 _{max} :	0.4	kHz/cm ²

Rates massime estrapolate per regione in Run 5, in cui si mostra la riduzione aggiungendo l'assorbitore

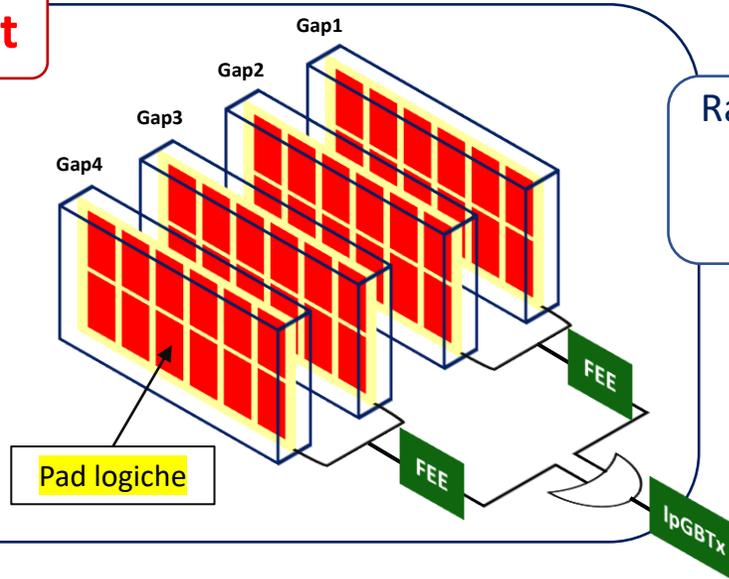
Maximum chamber rate (kHz/cm ²)				
	M2	M3	M4	M5
R1	594.0 -> 344.5	274.5	203.5	232.7
R2	255.6 -> 79.2	64.2	34.1	39.0
R3	53.4 -> 19.2	8.9	6.2	8.9
R4	9.9	3.0	1.7	6.8

$$\left\langle \frac{\sigma_R}{R} \right\rangle \%$$

29%
17%
27%
12%

Attuale schema di readout

Quando una particella carica attraversa una sola gap, il segnale è generato



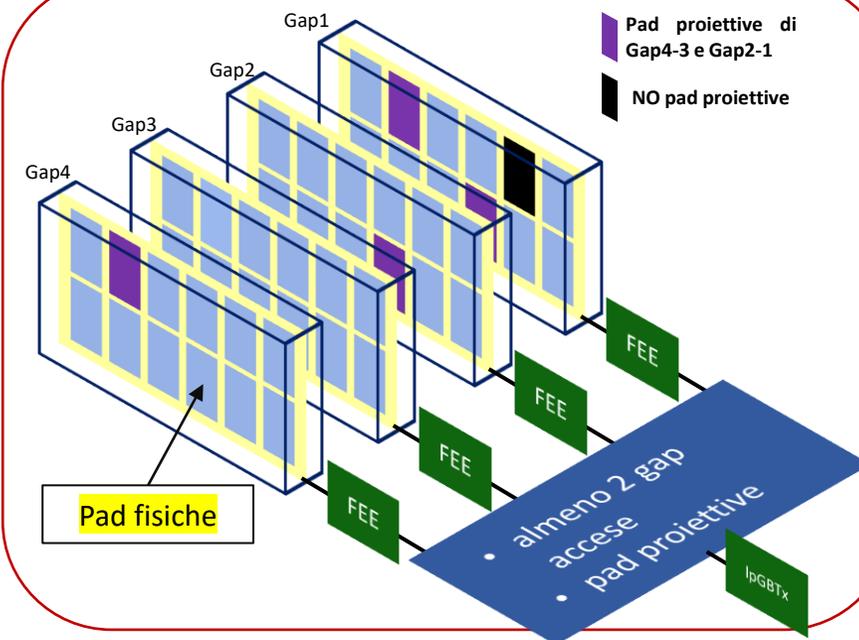
Rates da particelle di fondo
con hit su singola gap
fino all'80%

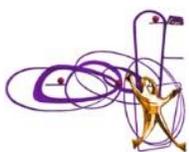
- Incremento della granularità considerando solo anodi/catodi
- Ciascuna gap è letta separatamente e si richiede:
 - segnale in almeno 2 gap contemporaneamente
 - almeno due pad fisiche proiettive accese nelle gap

Quale è l'effetto sulla efficienza di μ -ID?



Nuovo schema di readout





Studio del nuovo schema di readout



$J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$:

Produzione effettuata con le macchine di LNF

- Eventi $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$ analizzati: **216 000**

Le MWPCs sono simulate in tutte le regioni del rivelatore. Nelle regioni interne, la granularità rispetta quelle delle μ RWELL.

- Simulazione delle pad fisiche
- Simulazione del crosstalk tra pad fisiche
- Simulazione dell'inefficienza temporale delle MWPCs (85%) e delle μ RWELL (96%)
- Simulazione della richiesta di proiettività
- **Non si tiene conto dell'effetto del tempo morto e della mis-ID**

Stima della perdita di efficienza di identificazione (IsMuon) dei singoli muoni da J/ψ

p [GeV/c]	perdita di efficienza
$3 < p < 6$ (M2 & M3)	1.10% \pm 0.08%
$6 < p < 10$ (M2 & M3 & (M4 M5))	1.07% \pm 0.06%
$p > 10$ (M2 & M3 & M4 & M5)	2.17% \pm 0.04%

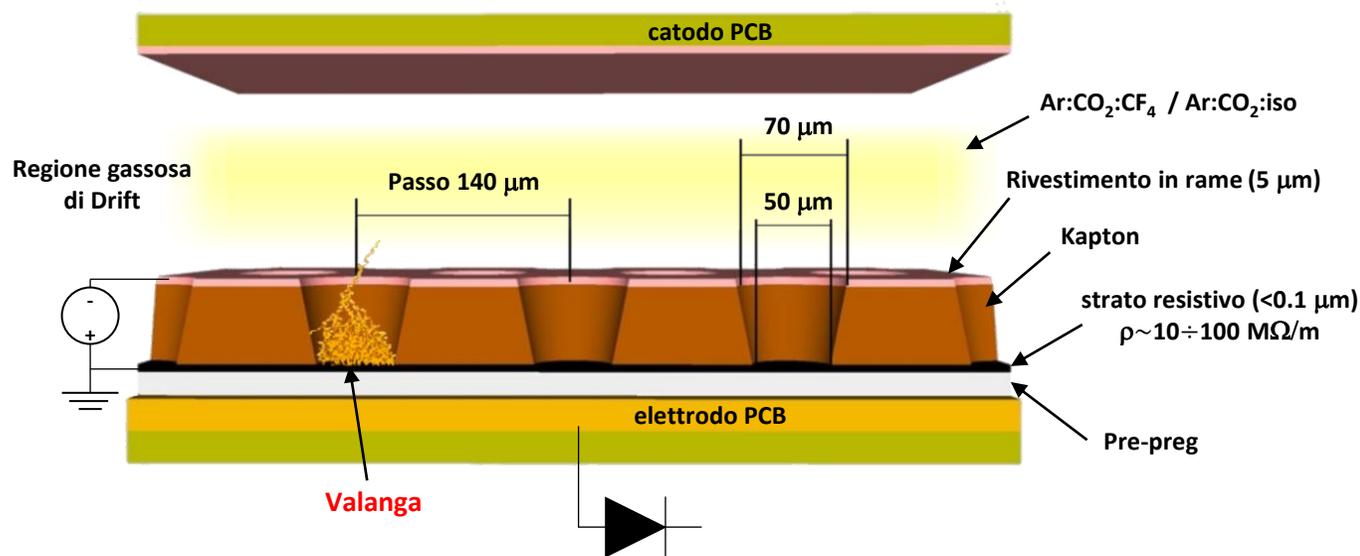
$\leq 2\%$
perdita minima rispetto alla riduzione degli hit di fondo (fino all'80%)

Le μ RWELL

JINST (2019) 289 14 P05014

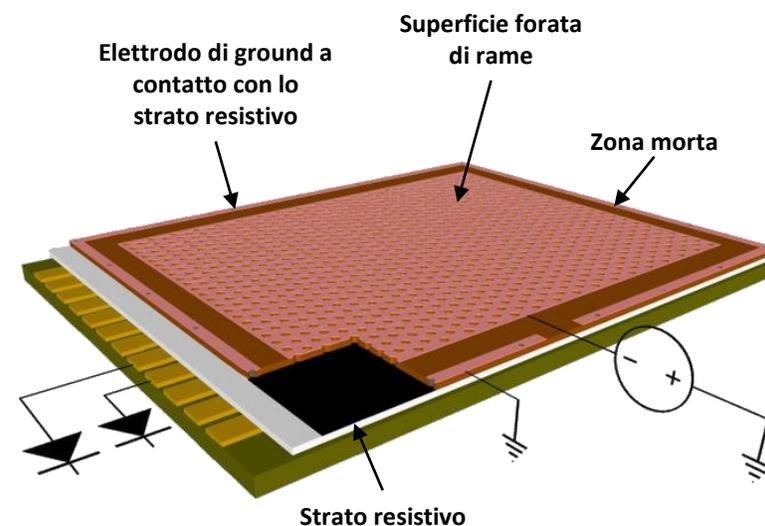
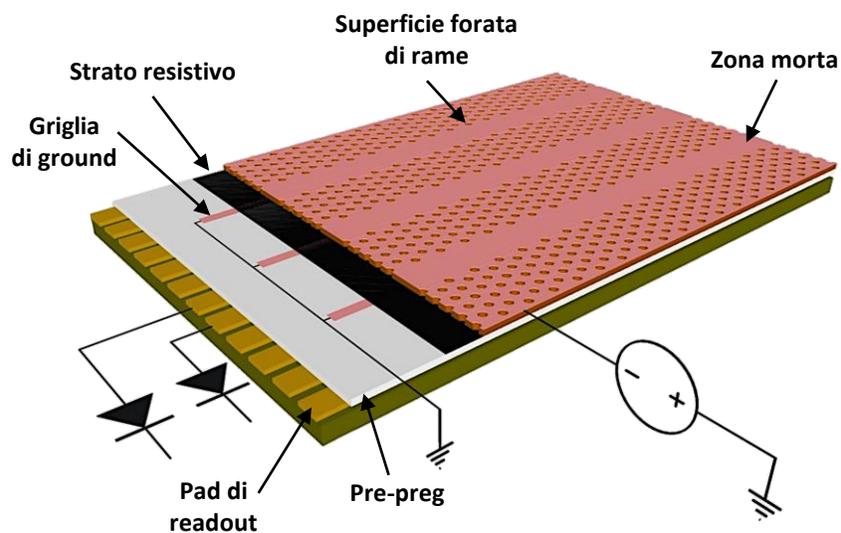
Un rivelatore μ RWELL è un MicroPattern Gas Detector (MPGD) che consiste principalmente dei seguenti elementi:

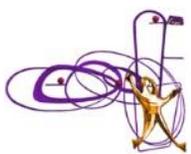
- Piano catodico
- Regione di deriva
- Scheda μ RWELL, compattata con:
 - foglio di kapton forato e rivestito in rame
 - Strato resistivo
 - PCB di readout con segmentazione a pad/stip



La ionizzazione a valanga, generata nella regione di drift, è amplificata nei fori ed è controllata grazie allo strato resistivo.

La perdita di efficienza ad alti rates (Run 5) è risolta con una fitta rete di elettrodi di messa a terra che evacuoano rapidamente le valanghe.





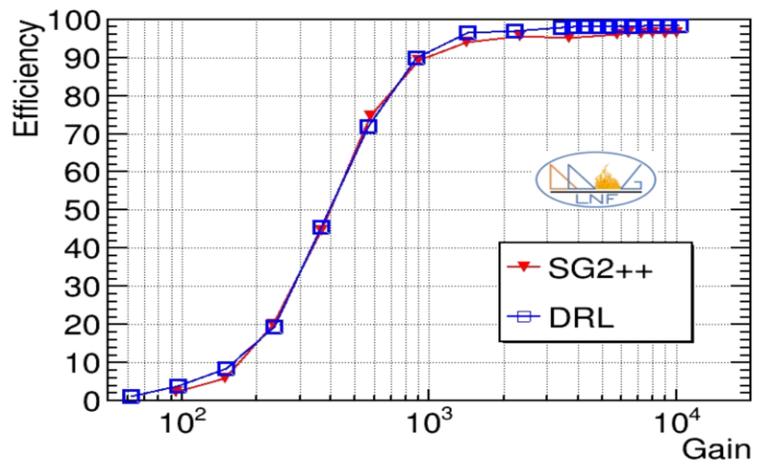
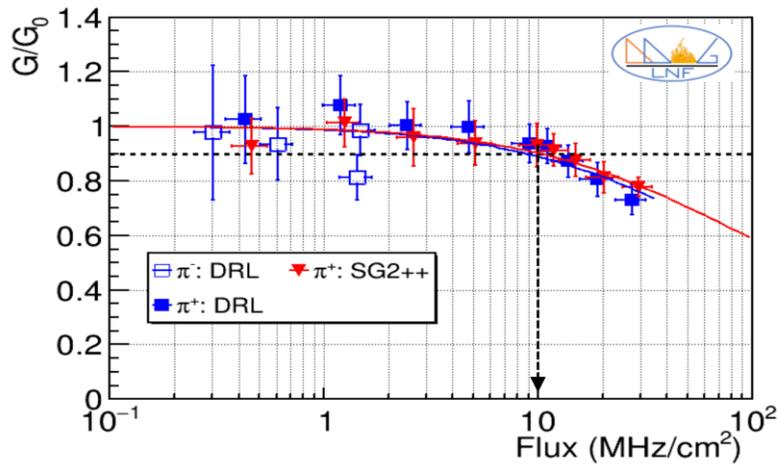
Le μ RWELL



JINST (2019) 289 14 P05014

Prestazioni:

- elevata rate capability (**fino a 1 MHz**)
- elevata efficienza in risposta temporale
 $\epsilon = 96\%$ con miscela Ar:CO₂:CF₄ = 45:15:40
 in fase di studio con miscela Ar:CO₂:iso = 68:30:02
- Dimensioni fino a 1.2x0.5 m
- elevata granularità**
 che ha un effetto molto significativo
 sull'inefficienza da tempo morto (dopo ->)



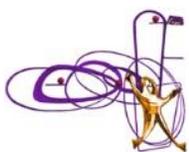
Confronto tra le dimensioni (mm²):

- Pads fisiche attuali delle MWPCs
- Pad delle μ RWELL (in rosso)



Reg / Sta	M2	M3	M4	M5
R1	38x31 -> 9x9	41x34 -> 10x10	29x36 -> 11x10	31x39 -> 12x11
R2	76x31 -> 9x18	82x34 -> 10x19	58x73 -> 11x21	62x77 -> 12x22
R3	25x125	27x135	58x145	62x155
R4	50x250	54x270	58x290	62x309

LHCb-TDR-023



Inefficienze da tempo morto



Dai rates estrapolati, per ciascuna camera, si stima l'inefficienza da tempo morto

- Si assume conservativamente, un tempo morto delle FEE di 100 nsec

JINST (2016) 11 P04010

Maximum deadtime inefficiency % HCAL - MWPC				
	M2	M3	M4	M5
R1	17.14	6.65	7.50	8.66
R2	17.81	4.62	5.69	7.34
R3	7.21	1.72	3.49	5.68
R4	8.24	3.37	2.30	8.55

Maximum deadtime inefficiency % HCAL - μ RWELL				
	M2	M3	M4	M5
R1	1.18	0.48	0.79	0.95
R2	1.22	0.32	0.31	0.41
R3	7.21	1.72	3.49	5.68
R4	8.24	3.37	2.30	8.55

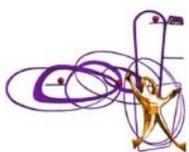
Moving to high-granularity μ RWell chambers

Si stima l'effetto delle inefficienze da tempo morto sulla rivelazione di eventi rari.

- Se almeno un muone non supera la condizione IsMuon, l'evento è considerato perso

Scenario	$B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$		$D^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$		$K_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$		$B_s^0 \rightarrow J/\psi(\mu^+\mu^-) \phi(K^+K^-)$	
	1- ϵ (MWPC)	1- ϵ (μ Rwell)	1- ϵ (MWPC)	1- ϵ (μ Rwell)	1- ϵ (MWPC)	1- ϵ (μ Rwell)	1- ϵ (MWPC)	1- ϵ (μ Rwell)
HCAL	24.7 %	10.3 %	25.9 %	9.4 %	20.0 %	8.4 %	24.9 %	9.5 %
ASSORBITORE	19.0 %	8.6 %	19.4 %	7.6 %	13.9 %	6.3 %	18.7 %	7.8 %
w/o M2	13.4 %	6.0 %	13.7 %	5.3 %	8.3 %	3.2 %	13.1 %	5.3 %

Anche la rimozione di M2 è presa in considerazione



Studi sulla mis-ID dei muoni in Run 5



...in corso

L'identificazione dei muoni agisce a diversi step:

- Per ogni traccia candidata IsMuon, si valuta χ^2_{corr} quantificando la separazione spaziale della traccia dai punti estrapolati sulle stazioni, per le collisioni multiple con i filtri di ferro.

JINST 15 (2020) T12005

- Quindi si applica un taglio sul valore χ^2_{corr}

La concentrazione degli hit sulle stazioni a Run 5 è la causa principale di mis-ID dei muoni.

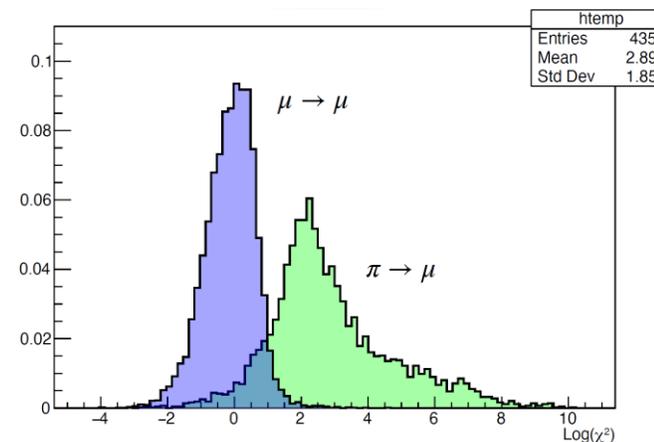
È difficile distinguere gli hit dei muoni da quelli di fondo.



Estrapolazione su M2

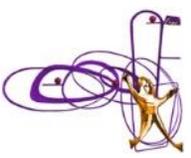
Fol

Distribuzione di $\text{Log}(\chi^2_{corr})$ da eventi minimum bias sovrapposti ad eventi $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$



Ad un primo livello, si sta valutando il valore ottimale del χ^2_{corr} che ottimizzi l'identificazione dei muoni, minimizzando la mis-ID dei pioni.

PID cut	Kinematics	MuonID eff U2	Pion misID 2018	Pion misID U2
isMuon	R1	100.00 +- 0.00 %	2.88 +- 0.40 %	81.35 +- 0.93 %
isMuon	R2	100.00 +- 0.00 %	3.84 +- 0.39 %	56.62 +- 1.02 %
isMuon	R3	100.00 +- 0.00 %	3.24 +- 0.33 %	36.92 +- 0.91 %
isMuon	R4	100.00 +- 0.00 %	2.86 +- 0.36 %	24.51 +- 0.94 %
isMuon && Chi2<7	R1	99.75 +- 0.12 %	0.40 +- 0.15 %	34.66 +- 1.14 %
isMuon && Chi2<7	R2	99.54 +- 0.13 %	1.52 +- 0.25 %	17.66 +- 0.78 %
isMuon && Chi2<7	R3	99.70 +- 0.10 %	1.92 +- 0.26 %	8.12 +- 0.52 %
isMuon && Chi2<7	R4	99.39 +- 0.16 %	2.24 +- 0.32 %	5.38 +- 0.49 %
isMuon && Chi2<2	R1	91.91 +- 0.68 %	0.12 +- 0.08 %	7.37 +- 0.63 %
isMuon && Chi2<2	R2	92.50 +- 0.51 %	1.10 +- 0.21 %	3.96 +- 0.40 %
isMuon && Chi2<2	R3	88.08 +- 0.60 %	1.42 +- 0.22 %	2.46 +- 0.29 %
isMuon && Chi2<2	R4	85.51 +- 0.73 %	1.67 +- 0.28 %	1.95 +- 0.30 %



CONCLUSIONI



Il tempo morto delle FEE induce un'inefficienza di identificazione dei muoni fino al $\sim 30\%$, a causa degli alti rates in Run 5. Pertanto:

- **Assorbitore** al posto di HCAL per ridurre i rates in R1-R3
- Nelle regioni interne (R1-R2): **MWPCs** \rightarrow **μ RWELL**
al fine di aumentare la granularità e migliorare l'efficienza temporale
- Nelle regioni esterne si possono mantenere le MWPCs attuali ma con un **nuovo schema di readout** (valido anche in R1-R2)

NEXT

Risultati promettenti, tuttavia gli studi sono tuttora in corso.

BACKUP

LHCb Upgrade I outline

VELO:

- Si-strips measuring r and ϕ . -> Hybrid Pixel Silicon detector
- Two movable halves: get closer to beam [50mm to 5mm] -> [5mm to 3.5mm]
- New ASIC VeloPix

TRACKERS:

- Upstream Tracker (UT):
 - Silicon micro-strip planes with finer granularity and closer to beam
 - New readout ASIC
- T1-T3:
 - Silicon microstrips near beam pipe (Inner Tracker) + straw tubes outer (Outer Tracker) -> (Too high occupancy in central region) -> New detector based on Scintillating Thin Fibers

RICH:

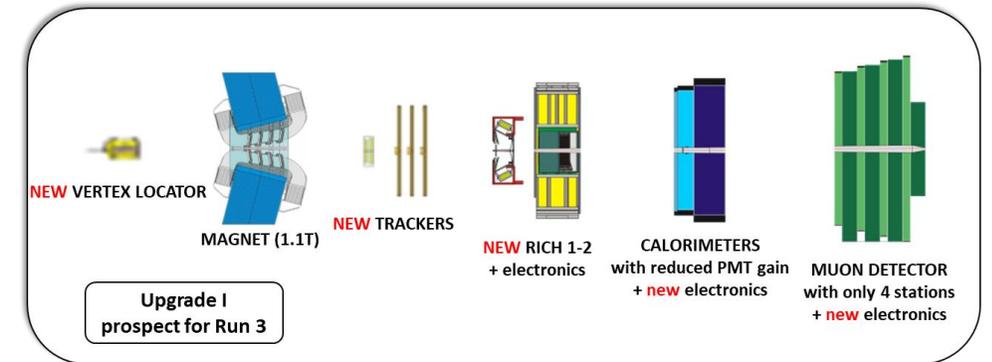
- RICH 1 change everything but the magnetic shielding:
 - Mirrors, gas enclosure, quartz windows
 - Photon detectors, electronics, detector mechanics
- RICH 2 change only detectors:
 - Photon detectors, electronics, detector mechanics

CALORIMETERS:

- Present Calorimeters (ECAL, HCAL) detectors will be kept
- PMT gain will be reduced by a factor 5 to reduce ageing due to higher luminosities
- New front-end electronics to be compatible with the reduced gain and the trigger-less readout

MUON DETECTOR:

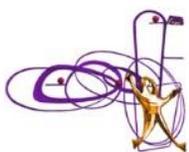
- Present Muon detector (M1 removed) will be kept with MWPCs
- Front-End electronics will be redeveloped to be compatible with trigger-less readout



CERN-LHCC-2012-007

CERN-LHCC-2014-001

CERN-LHCC-2013-022



Assorbitore al posto di HCAL



LHCB-TDR-023

HCAL ha avuto un ruolo importante durante la presa dati di Run 1-2, contribuendo al trigger L0.

Ma non solo!

Selezione di eventi caratterizzati da clusters di tipo adronico, $E_t > 3.5$ GeV

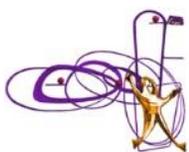
HCAL ha un ruolo significativo sulla ricostruzione dei jet e l'identificazione degli elettroni ad alto P_T (selezionando i contributi di fondo adronico).

L'eliminazione di HCAL comporta:

- Incremento risoluzione della misura di energia dei jet (+20% ÷ 50%; $p_t > 30$ GeV)
- Efficienza di ricostruzione dei jet ~32.1% con HCAL; 28.9% con IronWall
- Incremento del fondo nella identificazione di elettroni ad alto p_t (S/B ratio= 11.8 (HCAL) -> 1.8 (IronWall))

La rimozione di HCAL avrebbe effetti sullo studio di alcuni canali di fisica:

- Misura della massa della W ($W \rightarrow e \nu$)
- Misura della misura di angolo di mixing elettrodebole ($Z \rightarrow ee$)
- ...



Stima dei rates ad Upgrade 2



Rates delle gaps di M2 (Hz/cm²)

1001	910	1247	1893	2512	1403	1025	1096
917	804	1165	1776	2110	1280	849	1036
1389	784	1307	1931	2106	1299	841	1533
1559	747	1322	2153	2456	1378	811	1743
2347	911	1878	3049	3357	1832	1028	2520
2149	964	2212	3923	4169	2213	1117	2377
3008	1346	3158	6023	6585	3145	1505	3162
2771	1266	3808	8021	9170	3855	1686	2988
3612	2057	5441	12527	13263	5342	2258	3656
6452	2411	6748	17733	20786	7056	2598	3711
4870	3228	10223	29439	32666	10271	3561	6056
4546	3825	12713	47328	53362	12902	4084	4784
6446	5028	17773	66493	77788	19378	5429	6676
5886	5787	23113	99470	120583	255560	107048	6244
8355	7272	31962	147585	321062	538980	170105	8502
7282	7473	34047	187623	594044	808077	205862	7647
9783	7957	39218	193571	496249	573691	217988	9938
6942	6921	30431	143561	341093	546084	152596	7299
7764	6280	25658	103585	209874	54591	114114	8103
5358	4802	17515	65005	122387	135696	73421	5503
5779	4111	14025	49121	48987	14323	4421	5783
3889	3116	9532	30130	31072	9905	3232	4095
4183	2858	8154	19704	21454	8021	2835	4469
5035	1872	4899	12240	13814	5210	2104	3253
3301	1674	2757	9149	9554	4351	1880	3542
2431	1283	2943	5789	6430	2771	1397	2646
2470	1138	2533	4445	4789	2448	1250	2568
1776	891	1725	2909	3107	1702	927	1901
1861	821	1525	2350	2474	1492	876	2060
1200	719	1195	1661	1873	1173	760	1451
1210	864	1387	1765	1854	1316	922	1351
1009	1161	1857	2117	2322	1755	1168	1094

Rates delle gaps di M2 R1-R2 (Hz/cm²)

66493	120583	148811	77788
99470	217584	255560	107048
147585	321062	538980	170105
187623	594044	808077	205862
193571	496249	573691	217988
143561	341093	546084	152596
103585	209874	54591	114114
65005	122387	135696	73421

Rates massime (M2) a **Run 3**:

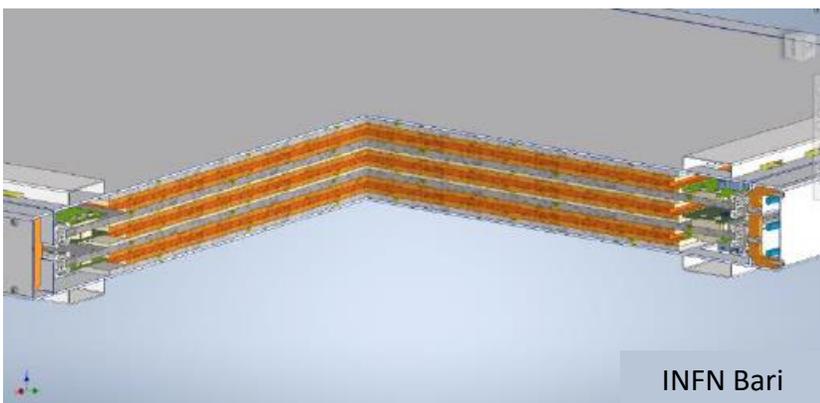
$$L = 4.36 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

R1 _{max} :	33	kHz/cm ²
R2 _{max} :	12	kHz/cm ²
R3 _{max} :	3	kHz/cm ²
R4 _{max} :	0.4	kHz/cm ²

Rates massime per regione a **Run 5**, in cui si mostra la riduzione aggiungendo l'assorbitore

Maximum chamber rate (kHz/cm ²)				
	M2	M3	M4	M5
R1	594.0 -> 344.5	274.5	203.5	232.7
R2	255.6 -> 79.2	64.2	34.1	39.0
R3	53.4 -> 19.2	8.9	6.2	8.9
R4	9.9	3.0	1.7	6.8

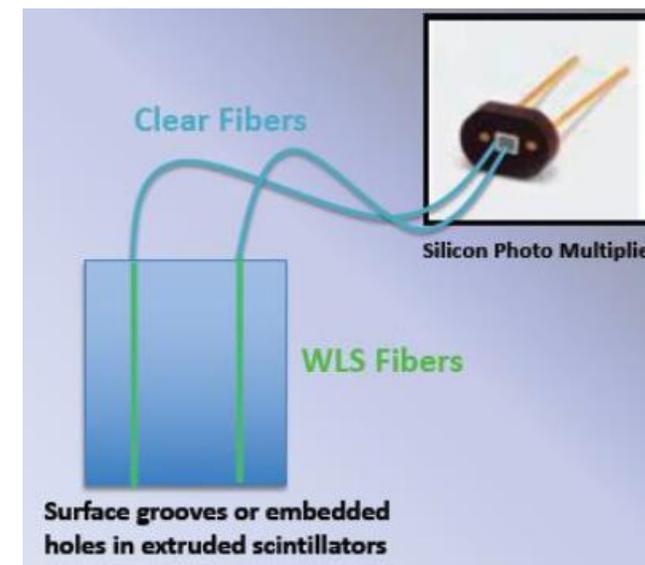
RPC di nuova generazione



Attività intensa di ricerca e sviluppo:

- Per migliorare la rate capability (fino a molti kHz/cm^2) -> riducendo la resistività degli elettrodi e lo spessore, e riducendo la carica media per evento
- Per studiare ed ottimizzare le performance del detector con miscela eco-compatibile

SCINTILLATORI

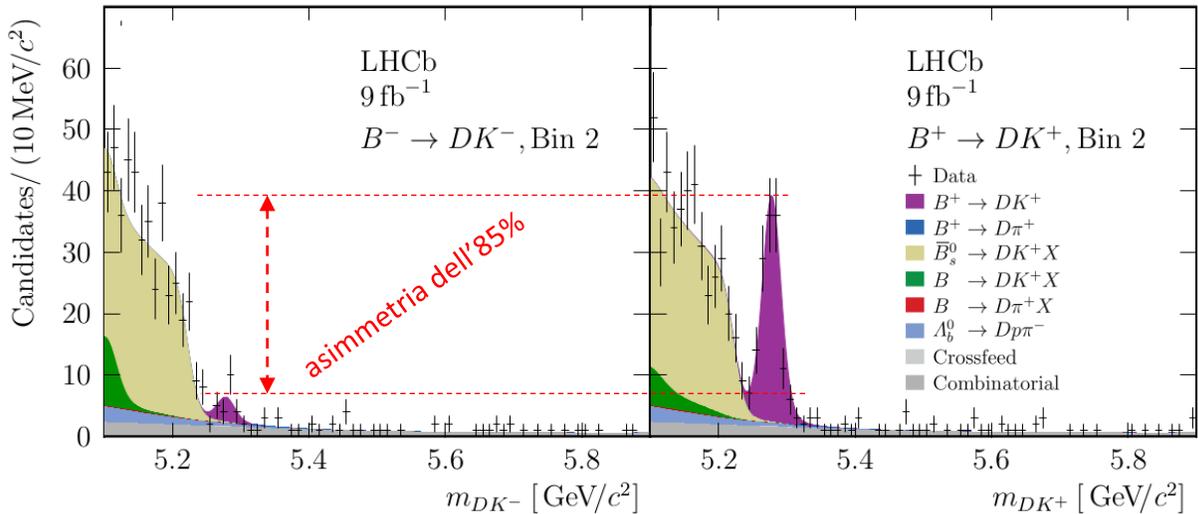


Scintillatori di spessore 1-2 cm con sistema di readout a fibre WLS e SiPM:

- Compatte, facili da installare
- Richiedono però un assorbitore di neutroni per ovviare al danneggiamento dei SiPM



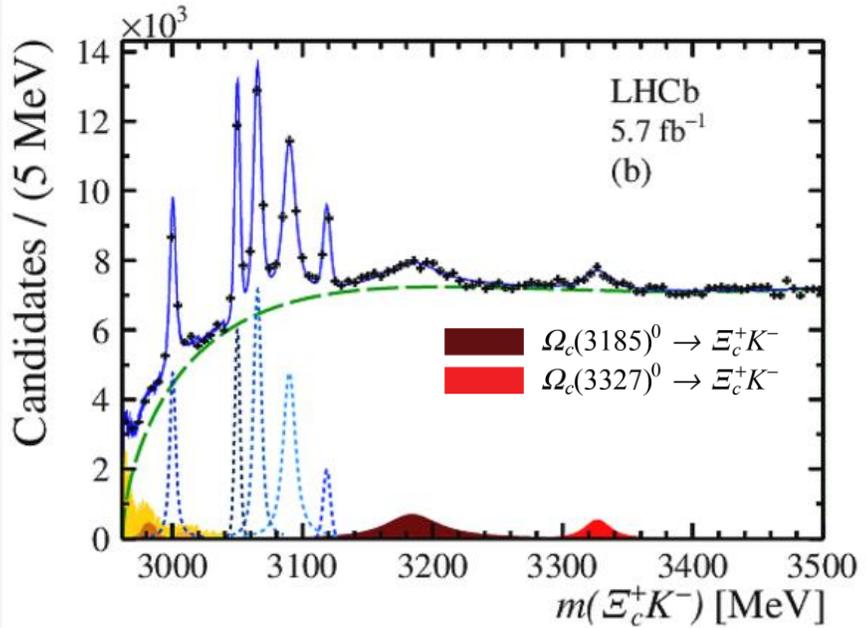
Obiettivi di fisica di LHCb



Asimmetria rivelata (Run 1-2) nel decadimento ($B \rightarrow DK^-; D = D^0, \bar{D}^0$), in un'opportuna regione dello spazio delle fasi (Bin 2) dove si prevede una migliore sensitività alla CPV [ARXIV: 2209.03692]

CPV

S
P
E
C
T
R
O
S
C
O
P
Y



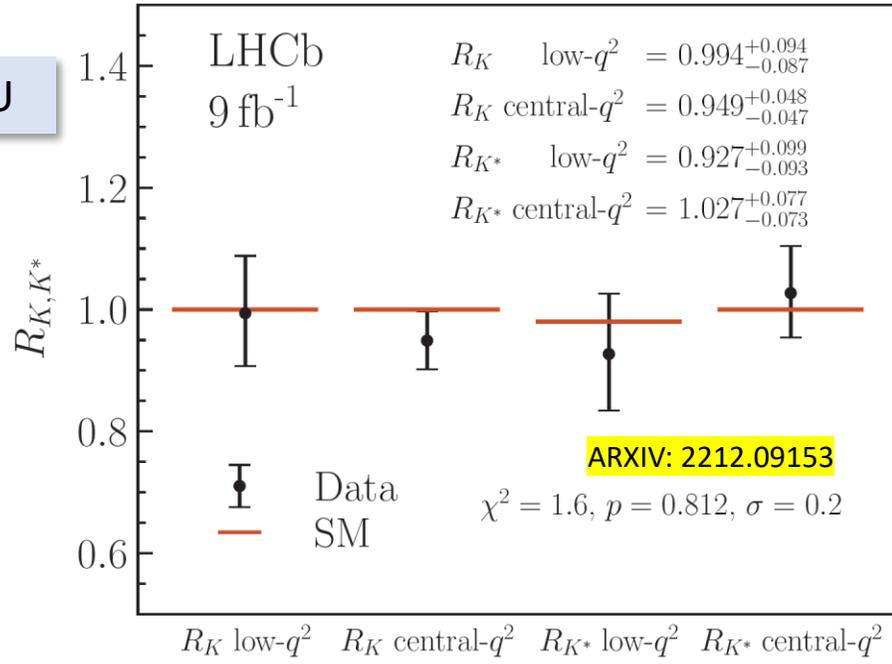
Osservazione di due nuovi barioni ($\Omega_c \rightarrow \Xi_c^+ K^-$): $\Omega_c(3185)^0, \Omega_c(3327)^0$
La maggior parte dei modelli teorici interpreta questi stati come eccitazioni di sistemi barionici. Tuttavia, alcuni modelli ipotizzano che si trattino di sistemi molecolari $\Xi_c K$ o sistemi $sscq\bar{q}$. [ARXIV: 2302.04733]

LU

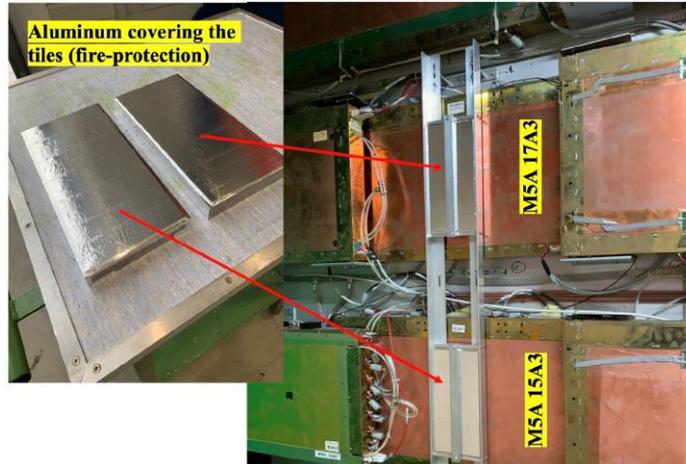
$$B^+ \rightarrow K^+ l^+ l^-, \quad B^0 \rightarrow K^{*0} l^+ l^-$$

Dove: $K^{*0} = K^*(892)^0$

$$R_{K,K^*}(q_a^2, q_b^2) = \frac{\int_{q_a^2}^{q_b^2} \frac{d\Gamma(B^{(+,0)} \rightarrow K^{(+,*)0} \mu^+ \mu^-)}{dq^2} dq^2}{\int_{q_a^2}^{q_b^2} \frac{d\Gamma(B^{(+,0)} \rightarrow K^{(+,*)0} e^+ e^-)}{dq^2} dq^2}$$



L'uso di Mirrorbor
(in fase di studio)
per assorbire
neutroni termici



Neutron Shielding: Mirrorbor™

The most efficient neutron shielding for low price!

- Boron-carbide mass content: $B_4C = 80\%$
- Boron isotope distribution: 20% ^{10}B ; 80% ^{11}B
- Content of the glue (20%): C 70%, O 25%, H 5%
- Calculated ^{10}B content: 9.4×10^{21} atoms/cm³
- Hydrogen atom density: $1E22$ atoms/cm³
- Self - adhesive option available (radiation & vacuum tested)
- Thickness: 2 & 5mm
- Density: 1.36 g/cm³
- Pore volume ratio < 30%
- Rubber-like flexibility
- Textile insert to increase tensile stress possible
- Vacuum-friendly - no emission in well cured state
- Very easy to cut/drill
- Easy to glue or fix mechanically
- Good adhesiveness by using glue to glass/metal/concrete



<https://mirrotron.com/en/products/radiation-shielding>