



Il rivelatore RICH dell' esperimento LHCb a LHC tra presente e futuro

Matteo Bartolini (Univ. and INFN Genova)

A nome di LHCb RICH UPGRADE GROUP

Incontri di Fisica delle Alte Energie 2019

Napoli, 8-10 Aprile 2019

I rivelatori RICH di LHCb (Run 1 e Run 2)

Luminosità attuale di lavoro (fino a fine 2018) $\sim 4 \times 10^{32} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

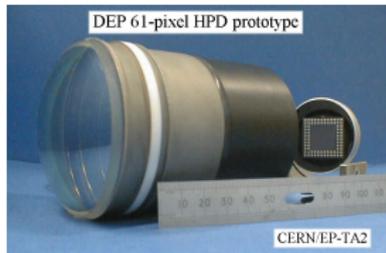
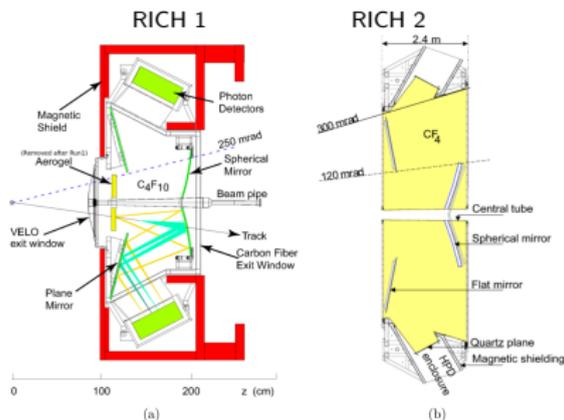
I 2 rivelatori RICH sono necessari per separare le particelle cariche nello stato finale π , K e p :

- RICH1
 - mezzo radiatore: C_4F_{10}
 - $p \in [1-65] \text{ GeV}/c$
- RICH2
 - mezzo radiatore: CF_4
 - $p \in [15-100] \text{ GeV}/c$

Fotorivelatori ibridi (HPD):

- Finestra di quarzo, fotocatodo, tubo a vuoto, matrice di pixel silicio

Elettronica di acquisizione incorporata e limitata a 1 MHz:
Maggiore limitazione

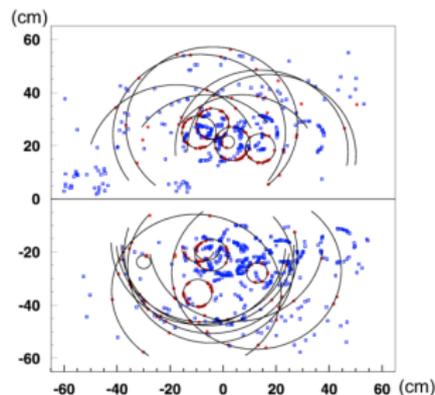
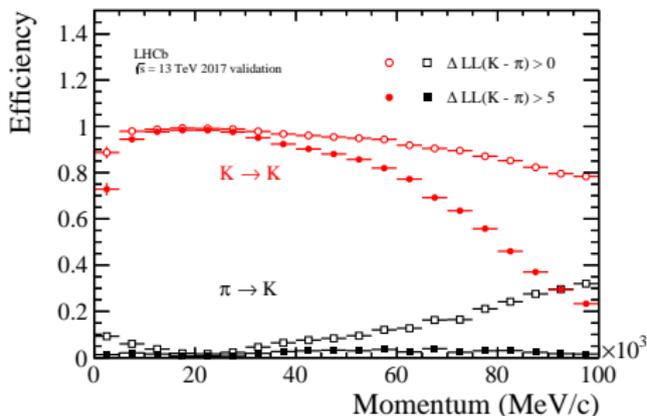


Dal 2021 LHCb:

- opererà ad una luminosità di $\sim 2 \times 10^{33} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$
- L0 verrà rimosso \rightarrow solo trigger di tipo software
- Acquisizione dati a 40 MHz

Modifiche ai rivelatori RICH:

- Utilizzo di fototubi multi-anodo al posto degli attuali fotorivelatori ibridi
- Nuova elettronica di acquisizione adeguata alle nuove prestazioni
- Lunghezza focale specchi sferici estesa (solo per RICH1) per mantenere l'occupanza media attuale
 - Per avere una PID efficiente l'occupanza media nella regione centrale deve restare sotto il 30%



Fototubi a multi anodo (MaPMT)

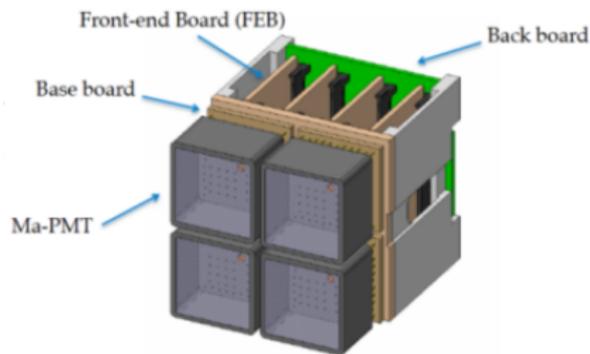
MaPMT Hamamatsu a 64 (8×8) canali:

- Tensione di lavoro 1000V
- 12 dinodi
- Guadagno $G \sim 10^6$
- Basso rumore di buio
- QE maggiore verso il verde (rispetto a HPD attuali)
→ ridotto errore cromatico

Fototubi ed elettronica di front end assemblati in celle elementari (EC):

- MaPMT inseriti in base-board
- CLARO8 ASIC chip installato sulle schede di front end (FEB)
- Cella elementare interfacciata tramite Back Board alla digital board (DB)
- Impacchettamento dati su DB e trasferimento verso il DAQ (TELL40)

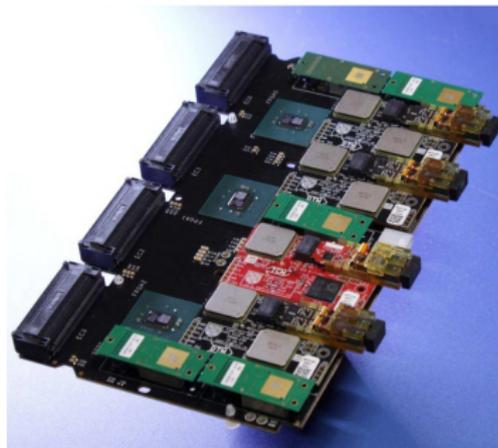
EC di tipo R



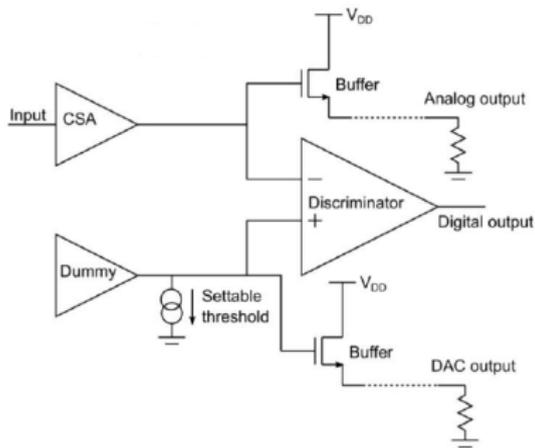
2 tipi di EC: tipo R e tipo H:

- R: Hamamatsu R13742 (64 canali $2.8 \times 2.8 \text{ mm}^2$) per equipaggiare RICH1 e regione centrale RICH2
- H: Hamamatsu R13743 (64 canali $5.6 \times 5.6 \text{ mm}^2$) per equipaggiare regione esterna RICH2

- 4 EC raggruppate insieme a formare 1 PDM
- PDM è interfacciato tramite BackBoard al PDMDB (digital board)
- Ogni PDMDB contiene 3 FPGA che impacchettano i dati e li inviano al sistema DAQ tramite cavi in fibra ottica



CLARO08 ASIC amplificatore/discriminatore a 8 canali progettato per rivelazione di singolo fotone



- Tecnologia CMOS $0.35 \mu m$
- Ritorno a zero del segnale entro 25 ns
- Consumo $\sim 1mW$ /canale
- Soglia e guadagno impostabili per ottimizzazione del rapporto segnale rumore del canale
 - Ottimizzazione della soglia iniettando un segnale costante

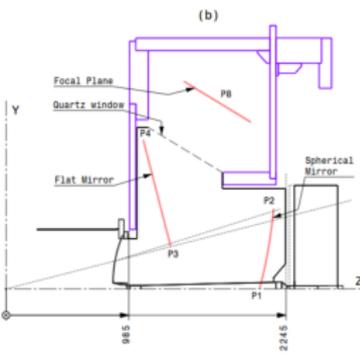
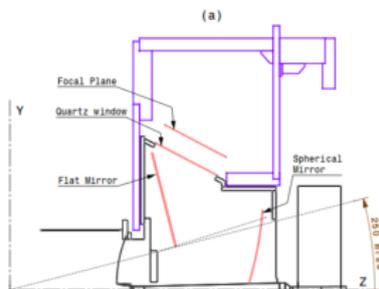
Modifica ottica RICH (Run 3)

Modifica all'ottica del rivelatore necessaria per mantenere l'occupanza media ai livelli attuali

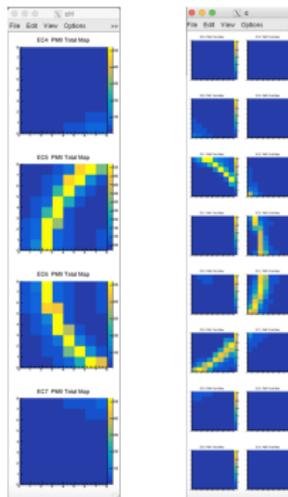
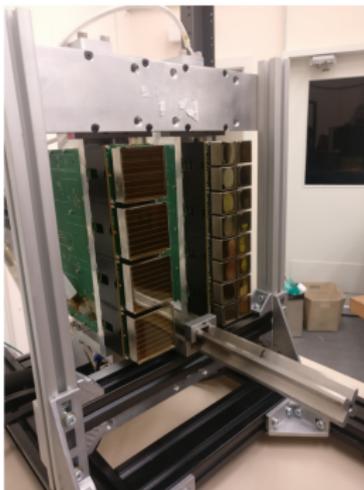
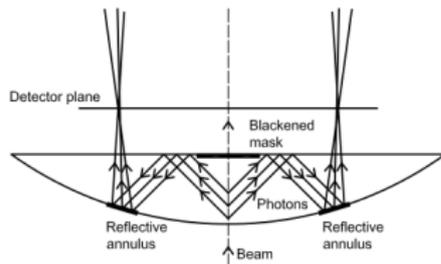
Condizione necessaria per mantenere alta l'efficienza di PID: $(\sigma_\theta \cdot f < \sqrt{A})$

- $\sigma_{\theta} = \sigma_{\text{cromatico}} + \sigma_{\text{emissione}} + \sigma_{\text{pixel}}$: errore angolo di emissione Cherenkov
- f = lunghezza focale
- A = dimensione del pixel

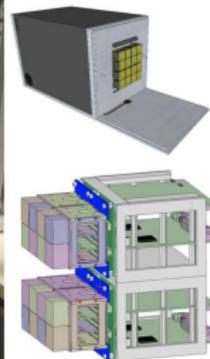
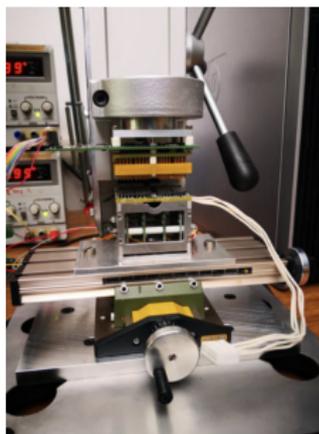
- Nuovi specchi
- Nuovo scudo magnetico
- Raggio di curvatura specchi sferici aumenterà di un fattore $\sqrt{2}$
- Il piano dei fotoregistratori verrà ulteriormente allontanato dalla linea dei fasci
- Inclinazione degli specchi sferici ridotta \rightarrow ridotto $\sigma_{\text{emissione}}$
- $\sigma_\theta = 0.8\text{mrad}$ metà rispetto a configurazione di Run 2



- Test di tutta la catena opto-elettronica su fascio al CERN
- 2 colonne: 1 con EC tipo R e 1 con EC tipo H
- Mezzo radiatore: lenti piano convesse di vetro borosilicato



- I rivelatori RICH subiranno modifiche sostanziali
- I rivelatori RICH attuali sono in fase di smantellamento
- Prototipo del PDM funzionante e testato con successo su fascio
- Stazioni di collaudo per verificare la qualità delle EC a regime e automatizzate
- Pronti per iniziare la fase di commissioning



Nuove opportunità di fisica per LHCb con l'inizio di HL-LHC nel 2027:

- Incremento luminosità a $\sim 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Ulteriore aggiornamento dei fotoregistratori necessario. Sfide per il RICH:

- Improbabile aumento di $f \rightarrow$ pixel più piccoli per limitare l'occupazione ($1 \times 1 \text{ mm}^2$)
- Ulteriore riduzione errore cromatico \rightarrow spostamento della QE verso il verde
- Possibilità di usare il tempo di arrivo dei fotoni Cherenkov per ridurre il fondo e aiutare la ricostruzione

Miglioramenti necessari per contenere l'occupazione (risultati delle simulazioni):

Radiator	C ₄ F ₁₀			CF ₄	
	RICH 1 Current (HPD)	RICH 1 UPG1	RICH 1 UPG2	RICH 2 UPG1	RICH 2 UPG2
Average Photoelectron Yield	30	40	60–30	22	30
Single Photon Errors (mrad)					
Chromatic	0.84	0.58	0.24–0.12	0.31	0.1
Pixel	0.9	0.44	0.15	0.20	0.07
Emission Point	0.8	0.37	0.1	0.27	0.05
Overall	1.47	0.82	0.3–0.2	0.46	0.13

Caratterizzazione di alcuni dispositivi commerciali iniziata:

SiPM:

- Dimensione pixel $1 \times 1 \text{ mm}^2$
- QE migliore di MA-PMT con picco nel verde
- ~ 300 ps risoluzione temporale di singolo fotone
- Rumore di buio elevato: raffreddamento a temperature criogeniche necessario
- Bassa resistenza alla radiazione (fluenza di neutroni prevista $\sim 10^{14} \text{ n}_{eq}/\text{cm}^2$)

MCP-PMT:

- Dimensioni pixel fino a $1 \times 1 \text{ mm}^2$
- QE come MA-PMT
- Risoluzione temporale di $\sim 70 \text{ ps}$ per singolo fotone
- Invecchiamento ad alta luminosità: precoce riduzione del guadagno



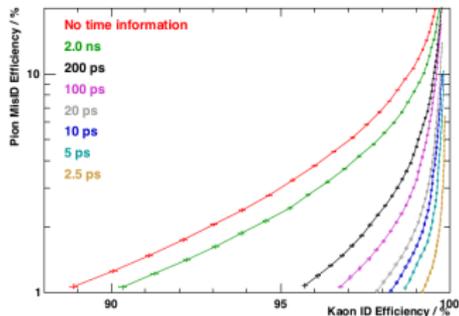
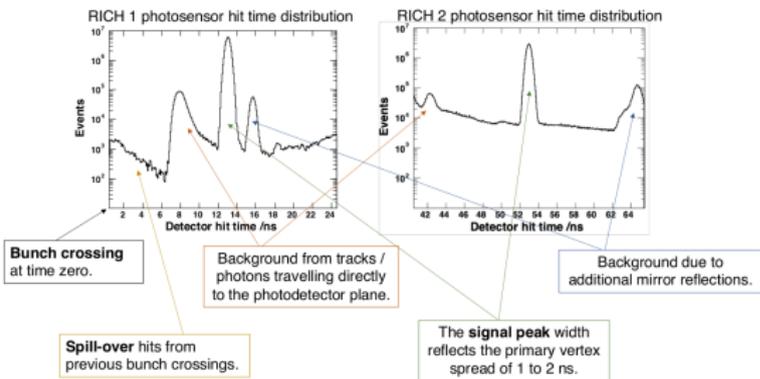
Attualmente l'algoritmo di ricostruzione degli anelli Cherenkov utilizza le informazioni provenienti da:

- Posizione spaziale dei pixel colpiti dal fotone
- Tutte le tracce ricostruite dal sistema tracciante

PID eccellente per eventi a bassa molteplicità (condizioni attuali di LHCb), ma probabilmente non sufficiente per eventi ad alta molteplicità (HL-LHC)

E' possibile ottenere un miglioramento del PID integrando nell'algoritmo misure di tempo fornite dai rivelatori:

- Soppressione di fotoni di fondo dovuti a riflessioni multiple, rumore elettronico e conteggi di buio



Operare i rivelatori RICH ad una luminosità di $\sim 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ non è banale, ma studi di fattibilità già in corso per:

- Utilizzo delle informazioni di tempo dei fotorivelatori e integrazione in algoritmi di PID
- Utilizzo di fotorivelatori commerciali in grado di lavorare ad alte dosi di radiazione:
 - Caratterizzazione già iniziata
- Lancio di un programma R&D di nuovi fotorivelatori ibridi che resistono ad alte dosi di radiazione