



## LHCb e LHCb @ Genova Preventivi 2021

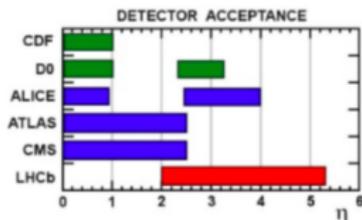
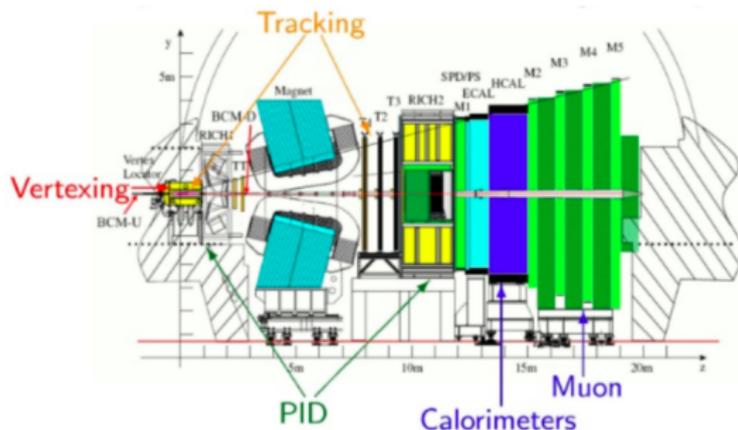
---

Roberta Cardinale per il gruppo LHCb@Genova  
Università degli studi di Genova & INFN

---

16 Luglio 2020

# Il rivelatore LHCb



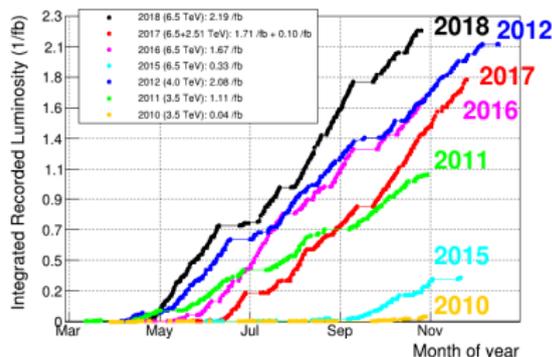
- LHCb è un rivelatore “general purpose” nella regione in avanti
- Performance
  - $\Delta p/p = 0.35\%-0.55\%$
  - Risoluzione massa =  $10-20 \text{ MeV}/c^2$
  - Risoluzione parametro impatto:  $20 \mu\text{m}$  per tracce con alto  $p_T$
  - ECAL:  $\sigma(E)/E = 10\%(E/\text{GeV})^{-1/2} \oplus 1\%$
  - Identificazione di particelle grazie ai rivelatori RICH e alle stazioni dei muoni

# Presenza dati: Run1 + Run2

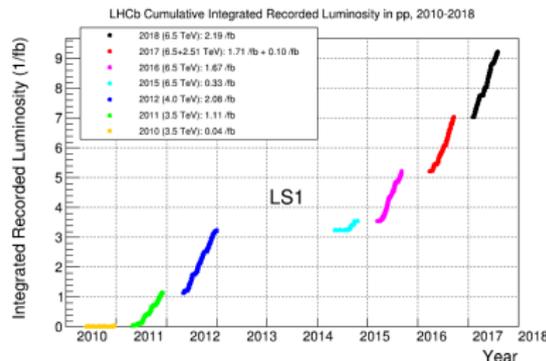
anno	fb <sup>-1</sup>	Energia [TeV]
2010	0.04	7
2011	1.11	7
2012	2.08	8
Run1	~ 3	
2015	0.33	13
2016	1.67	13
2017	1.71	13
2018	2.19	13
Run2	~ 6	
Run1 + Run2	~ 9	

- Presenza dati: 2010-2012 + 2015-2018
- Ora Long Shutdown 2
- Ripresa dati (Run3) in 2021: aumentare statistica per migliorare precisione su osservabili misurate e confermare possibili hint di tensioni con il modello Standard...

Luminosità totale per anno



Luminosità cumulata

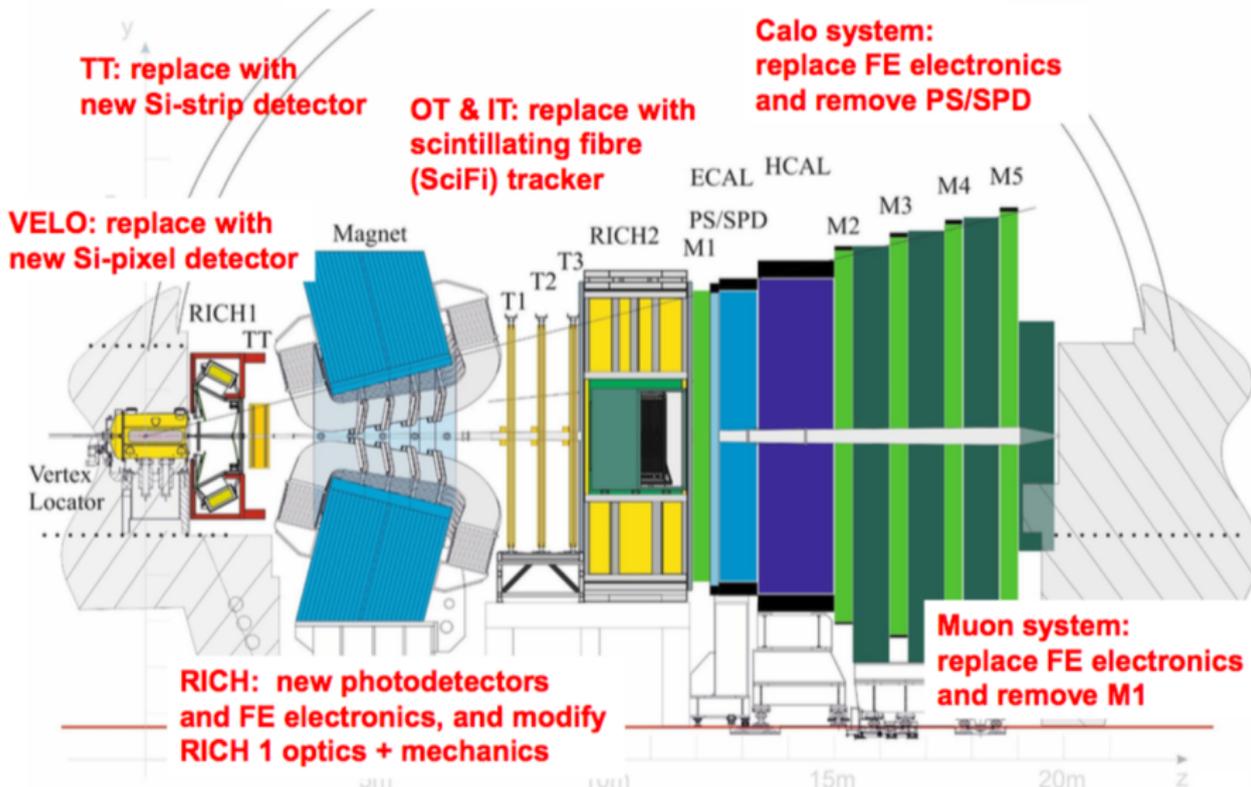


# LHCb Upgrade

- LHCb Upgrade per Run-3: necessità di riprogettare i sub-detectors e il readout
  - LHC aumenterà la luminosità: aumento della luminosità a cui LHCb opererà a  $2 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (attualmente  $4 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
  - Lettura del rivelatore a 40MHz (limitata attualmente a 1 MHz)
  - Trigger completamente software che permetterà di operare ad una luminosità più elevata e con un'efficienza più elevata nei modi adronici

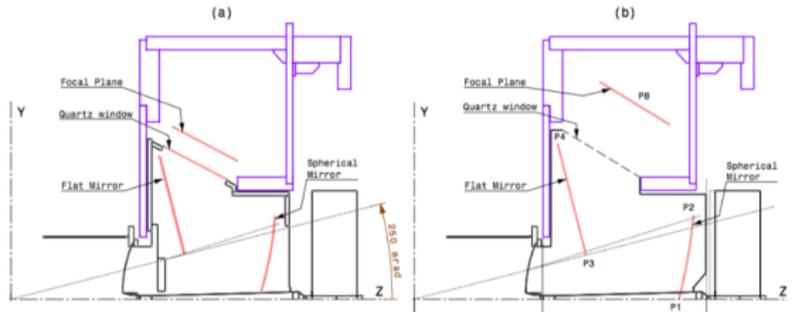
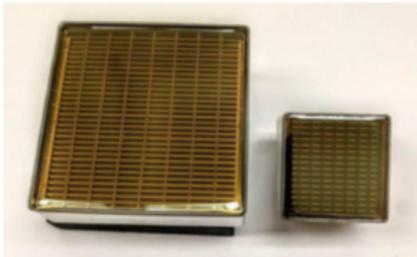
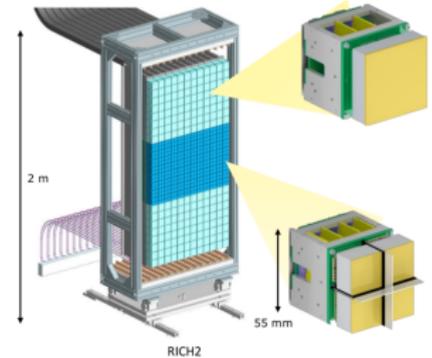


# The LHCb upgrade detector



# LHCb Upgrade - RICH

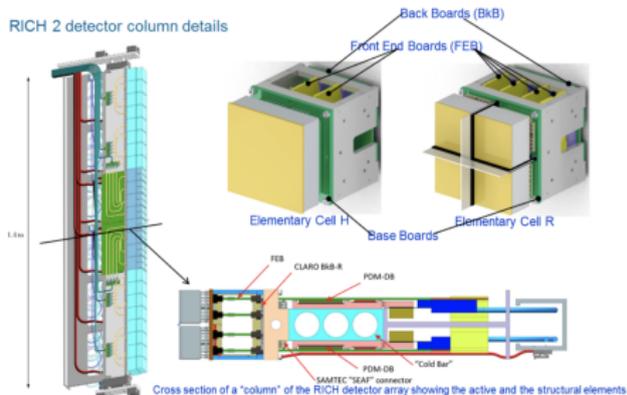
- Completo ridisegno del layout ottico di RICH1 per supportare l'elevata occupancy
- Sostituzione fotorivelatori (HPD) con nuovi fotosensori (MaPMT) e nuova catena opto-elettronica di acquisizione per lettura a 40MHz



# Stato dell'upgrade LHCb/RICH

- La produzione e i test dei diversi componenti che costituiscono il rivelatore (MaPMTs, Baseboards, Front End Boards, BackBoards, Digital Boards, EC) sono conclusi
- L'assemblaggio e commissioning delle colonne (prima dell'installazione nel rivelatore) in corso (RICH2 completato, RICH1 da iniziare)

RICH 2 detector column details



RICH 2 columns assembled

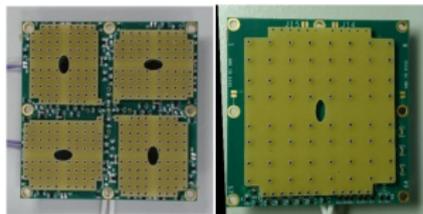
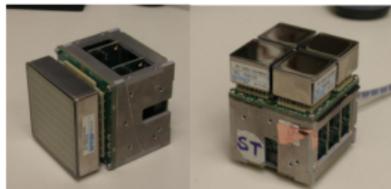


# LHCb/RICH Upgrade - contributo Genova

- Riprogettazione dell'ottica del rivelatore RICH1
- Responsabilità sviluppo ingegnerizzazione e realizzazione dell'alloggiamento dei fotosensori (MaPMT): BaseBoard
- Design e sviluppo del sistema HV
- Design del sistema ottico del test-beam
- Preparazione, conduzione e analisi dei test dei prototipi su fasci di particelle
- Sviluppo database per inventory, bookkeeping e connectivity del rivelatore RICH per l'upgrade
- Sviluppo del sistema di controllo ECS
- Sistema di calibrazione e monitoraggio dei fotorivelatori e dell'elettronica di lettura per le colonne durante il commissioning e del rivelatore durante la presa dati
- Partecipazione al commissioning delle colonne e del rivelatore al CERN

# RICH@Upgrade: attività a Genova (I)

- Responsabilità sviluppo ingegnerizzazione e realizzazione dell'alloggiamento dei fotosensori (MaPMT): BaseBoard
  - Design e sviluppo @ GE
  - Test su prototipi @ Ge, CERN lab, su fascio: OK
  - Setup per i test di QA sviluppato nel lab @ Ge per test sulla produzione e per la futura manutenzione
  - Produzione finale delle BB e QA: completata



# RICH@Upgrade: attività a Genova (II)

- Design e sviluppo del sistema HV
  - Design e QA delle “distribution boards”
  - Test schede CAEN HV
  - HV patch-panels: disegno pannello effettuato dalla progettazione meccanica, lavorazione fori in officina meccanica

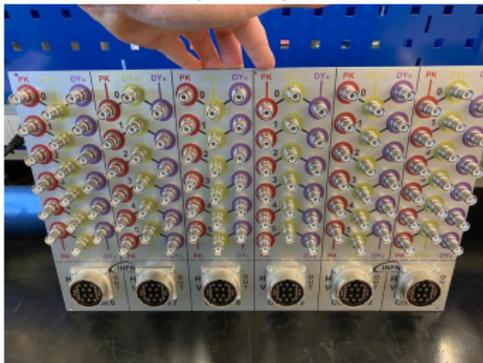
HV distribution board



Setup per i test schede CAEN

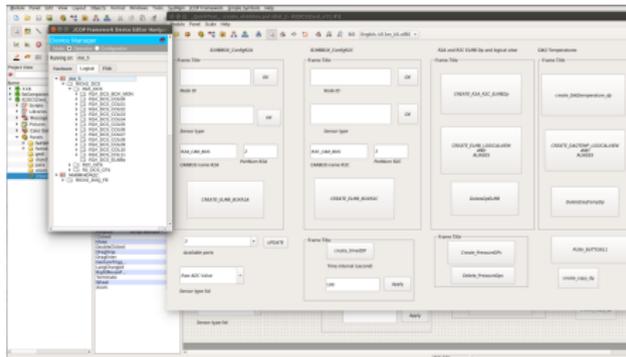


HV patch panel



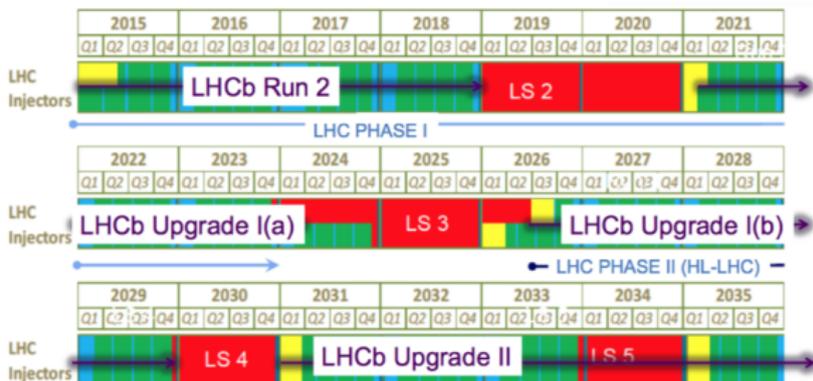
# RICH@Upgrade: attività a Genova (III)

- Sviluppo del sistema di controllo DCS (Detector Control System)
  - safety del rivelatore (allerte e azioni automatiche)
  - monitoraggio delle condizioni e stabilità del sistema (temperatura, umidità, pressione)



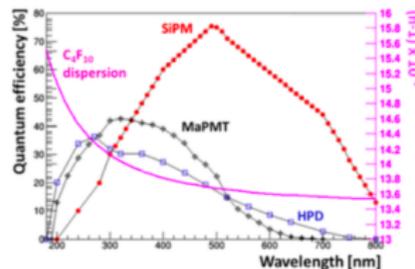
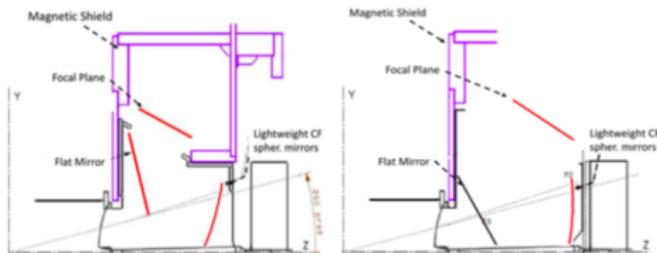
## Phase-2 Upgrade

- Per sfruttare il potenziale della macchina LHC nell'era HL-LHC, si è iniziato a lavorare al progetto di phase-2 Upgrade ( $\sim 2030$ )
- Expression of Interest + “Physics case document” sottomesso a LHCC
  - Installazione durante LS4 ( $\sim 2030$ ) dopo la Phase-1 Upgrade, possibilità di pre-installazione di qualche componente (elettronica di lettura) durante LS3 ( $\sim 2025$ )
  - Operare il rivelatore a  $\sim 2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
  - Raccogliere più di  $300 \text{ fb}^{-1}$



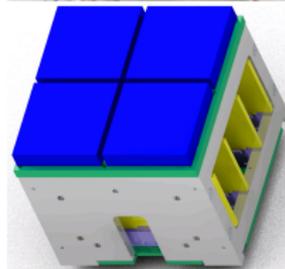
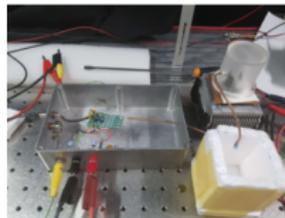
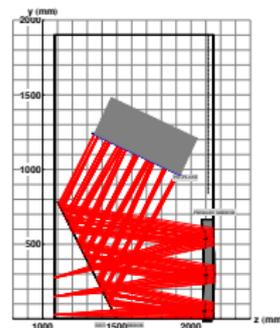
# LHCB RICH @ Upgrade 1b/2

- Per mantenere elevata performance del RICH nella fase di Upgrade2
  - Nuovi fotorivelatori (SiPM/MCP/...) con elevata granularità e elevata QE e elettronica di front-end con possibilità di timing del fotone
  - Ridisegno del layout ottico per ridurre gli errori di focusing (specchi in accettazione)



# RICH@Upgrade2: Attività a Genova

- Simulazioni del layout ottico usando un CAD ottico (Optica [<http://www.opticasoftware>] and Wolfram Mathematica)
- Caratterizzazione e ottimizzazione dei fotorivelatori (SiPM) in laboratorio a diverse temperature
  - Miglioramenti nel setup (nuovo laser con elevata stabilità e impulsi ps), nuovo sistema di acquisizione CAEN (amplificatore veloce, digitizer, ...)
- Simulazione dei fotorivelatori per verificare le performance di identificazione del RICH (tenendo conto degli effetti di rumore come afterpulses, dark counts, ...)
- Simulazioni di fisica per verificare la performance dei RICH con il nuovo rivelatore
- Disegno della nuova scheda per l'alloggiamento (upg2-Baseboard) dei nuovi fotorivelatori con cooling attivo integrato
- Partecipazione (con MIB+Fe) allo sviluppo della nuova elettronica di lettura



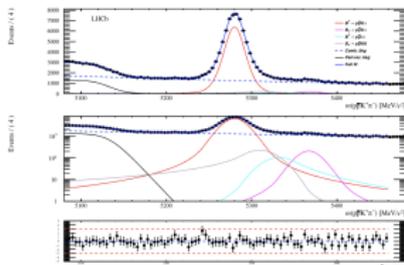
- Più di 500 paper pubblicati
- Risultati molto interessanti, qualche tensione con il MS
  - Spettroscopia convenzionale con l'osservazione di nuovi barioni eccitati e spettroscopia esotica con l'osservazione di tetraquark e pentaquark!
  - Test dell'universalità leptonica ( $R_K$ , con barioni  $R_{pK}$ , ...)
  - Violazione di CP (in charm, negli adroni beauty,  $\phi_s$ ,  $B \rightarrow hh$ , ...)
  - Decadimenti rari ( $B_s^0 \rightarrow \bar{K}^{*0} \mu^+ \mu^-$ , ...)

# Analisi dati LHCb@Genova

- Studio di decadimenti di adroni  $b$  con barioni nello stato finale per misure di violazione di CP in decadimenti senza charm e ricerca di stati di charmonium/charmonium-like/esotici
- Attività teorica gruppo di Elena Santopinto per predizioni di nuovi stati in spettroscopia

## Analisi in corso

- Studio della violazione di CP usando le osservabili T-odd nei decadimenti a 4 corpi senza charm in particolare nel canale  $B^0 \rightarrow p\bar{p}K^+\pi^-$
- Sistematiche piccole: osservabili non sensibili ad asimmetrie di produzione e ricostruzione
- L'analisi è attualmente in fase di review interna alla collaborazione prima della pubblicazione



- Studio dello stato  $h_c(1P)$ : seguendo l'approccio degli studi recenti del decadimento  $\chi_{c1,2} \rightarrow J/\psi\mu^+\mu^-$  [PRL 119 (2017) 22, 221801], idea di ricercare il corrispondente decadimento di Dalitz dell' $h_c(1P) \rightarrow (\eta_c(1P) \rightarrow (p\bar{p}, 4K)\mu^+\mu^-$ 
  - Non molte informazioni sullo stato di singoletto  $h_c(1P)$

## LHCb@Genova - responsabilità

- BnoC physics WG convener (Roberta Cardinale)
- BnoC stripping liaison (Matteo Bartolini)
- HV system (Flavio Fontanelli)
- WP Elementary Cell + responsabile case meccanica cella + responsabile BaseBoard (Alessandro Petrolini)
- Sviluppo sistema di controllo del rivelatore (DCS) (Alessandro Petrolini)

## Personale LHCB@Genova per 2021

Matteo Bartolini	Dottorando	100%
Roberta Cardinale	RTDA	100%
Flavio Fontanelli	PA	70%
Saverio Minutoli	Tecnologo	30%
Alessandro Petrolini	PO	100%
Elena Santopinto	Ricercatore	15%
Antonino Sergi	RTDB	100%

Dopo il pensionamento di Minì: necessità di un nuovo tecnico al  
100%

# Richieste supporto da servizi di sezioni

- Progettazione meccanica
  - progettazione per HV patch panel - completata
  - progettazione meccanica per piccoli apparati che si rendessero necessari per test nuovi fotorivelatori/sviluppo e test nuova Baseboard/nuovo sistema di calibrazione: 1MU
- Officina meccanica
  - produzione pre-lavorati piastre per upgrade fase-1 completata
  - produzione HV patch panel - completata
  - produzione piccoli apparati che si rendessero necessari per test nuovi fotorivelatori/sviluppo e test nuova Baseboard/nuovo sistema di calibrazione: 1 MU
- Progettazione elettronica
  - sviluppo/progettazione nuova scheda (e componenti accessori) per la lettura di nuovi fotorivelatori (Baseboard per SiPM, ...): 3 MU
- Ringraziamento per l'ottimo lavoro e per il supporto!

## Richieste fondi 2021: LHCb @ Ge

- Altri consumi: 5 k€ per adattamento Baseboard per SiPM
- Altri consumi: 3 k€ per storage calcolo (rinnovo macchine obsolete)
- Missioni: standard (criteri CNS1)
- Consumo metabolismo: criteri standard CNS1/LHCb
- MOF-B del RICH

Spare Slides

## LHCb upgrade - iter del progetto

- 26/09/2012: LHCC approva l'upgrade (CERN/LHCC 2012-017rev, LHCC-111).
- 28/11/2012: CERN Research Board approva l'upgrade (CERN-DG-Research Board-2012-433 Minutes-202, 21 December 2012).
- European Strategy Group report: LHCb appare come: "exploitation of the full LHC potential, including the HL-LHC upgrade for further exciting opportunities for the study of avor physics"
- RRB Ottobre 2012: sottomesso alle FA il FTDR ed una proposta di MoU per i Common Items.
- RRB Aprile 2013: presentazione prima money matrix con indicazioni dalle FA e primo feedback sull'MoU Common Items.
- RRB Aprile 2014: consolidamento money matrix e presentazione MoU common fund.
- Autunno 2014: approvazione TDR rivelatori e online.
- RRB Ottobre 2014: presentazione MoU sottosistemi.

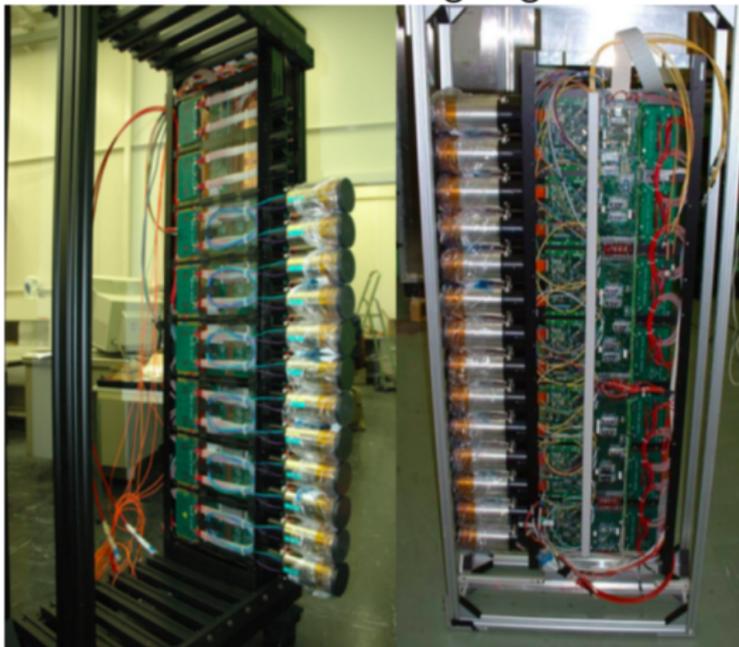
## LHCb upgrade - il progetto in Italia

- 28/05/2012: prima presentazione in CSN1.
- 03/06/2013: via libera della CSN1 alla sottomissione al CTS.
- Approvazione CD INFN: 29 Gennaio 2014, su proposta CTS. The only warning is that other major Funding Agencies (CERN, France, Germany, Netherlands, Russia, Switzerland, UK, US) involved in the upgrade, will also agree to finance it.
- CD approva a Maggio 2017 MoU lhcb-infn
  
- Il costo complessivo dell'upgrade di LHCb 50 M€
- Il costo complessivo dell'upgrade di LHCb/RICH 10 M€
- Il contributo INFN di  $\sim 5.56$  M€, 15% contingency inclusa, pari 11% del totale.
- La componente italiana pesa, in termini di FTE,  $\sim 18\%$ .

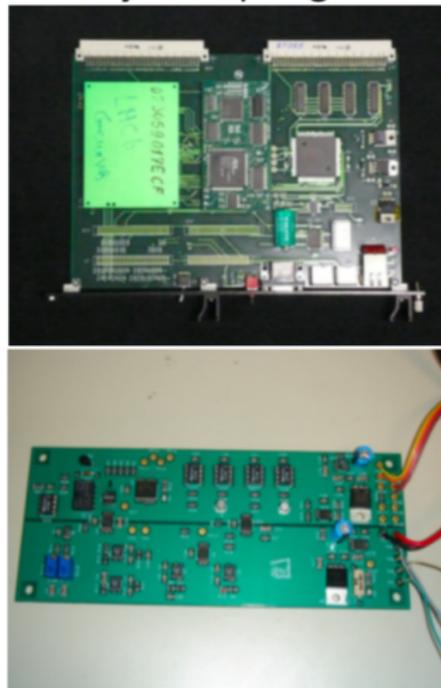
# Responsabilità di LHCb@Genova nella costruzione del RICH di LHCb

- Progetto e realizzazione della meccanica di housing dei rivelatori di RICH2, riutilizzata dagli inglesi in RICH2, con interventi dei nostri tecnici meccanici
- Sviluppo dell'interfaccia tra bus PCI e schede di acquisizione L1 (Tell1)
- Sviluppo, realizzazione e manutenzione del sistema alta tensione (20 kV) per l'alimentazione dei fotorivelatori Hybrid Photon Detector (HPD):
  - hardware;
  - sviluppo di tutto il software di controllo.
- Coordinamento e sviluppo del sistema di controllo ECS = (DCS + DAQ):
  - coordinamento DCS;
  - coordinamento ECS;
  - sviluppo di vari componenti ECS (HV software, interfaccia DSS, interfaccia Configuration e Condition DB, controllo infrastruttura, allarmi, ...)
  - Sviluppo e realizzazione del sistema di monitoraggio del campo magnetico in RICH2
  - Partecipazione al commissioning di RICH e alla presa dati di LHCb

Meccanica di housing degli HPD



VHV system per gli HPD



# LHCb Upgrade

- Misure precise e studio di processi soppressi nel settore del sapore stanno diventando sempre più attraenti dall'esperienza che segnali diretti dai dati di LHC sono elusivi...
- Necessario aumentare la precisione sulle misure per raggiungere l'incertezza teorica

Type	Observable	Current precision	LHCb 2018	Upgrade (50 fb <sup>-1</sup> )	Theory uncertainty
$B_s^0$ mixing	$2\beta_s(B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi)$	0.10 [139]	0.025	0.008	~0.003
	$2\beta_s(B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980))$	0.17 [219]	0.045	0.014	~0.01
	$a_{sl}^s$	$6.4 \times 10^{-3}$ [44]	$0.6 \times 10^{-3}$	$0.2 \times 10^{-3}$	$0.03 \times 10^{-3}$
Gluonic penguins	$2\beta_s^{\text{eff}}(B_s^0 \rightarrow \phi\phi)$	–	0.17	0.03	0.02
	$2\beta_s^{\text{eff}}(B_s^0 \rightarrow K^{*0}\bar{K}^{*0})$	–	0.13	0.02	< 0.02
	$2\beta_s^{\text{eff}}(B^0 \rightarrow \phi K_S^0)$	0.17 [44]	0.30	0.05	0.02
Right-handed currents	$2\beta_s^{\text{eff}}(B_s^0 \rightarrow \phi\gamma)$	–	0.09	0.02	< 0.01
	$\tau^{\text{eff}}(B_s^0 \rightarrow \phi\gamma)/\tau_{B_s^0}$	–	5 %	1 %	0.2 %
Electroweak penguins	$S_3(B^0 \rightarrow K^{*0}\mu^+\mu^-; 1 < q^2 < 6 \text{ GeV}^2/c^4)$	0.08 [68]	0.025	0.008	0.02
	$s_0 A_{\text{FB}}(B^0 \rightarrow K^{*0}\mu^+\mu^-)$	25 % [68]	6 %	2 %	7 %
	$A_1(K\mu^+\mu^-; 1 < q^2 < 6 \text{ GeV}^2/c^4)$	0.25 [77]	0.08	0.025	~0.02
	$B(B^+ \rightarrow \pi^+\mu^+\mu^-)/B(B^+ \rightarrow K^+\mu^+\mu^-)$	25 % [86]	8 %	2.5 %	~10 %
Higgs penguins	$B(B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-)$	$1.5 \times 10^{-9}$ [13]	$0.5 \times 10^{-9}$	$0.15 \times 10^{-9}$	$0.3 \times 10^{-9}$
	$B(B^0 \rightarrow \mu^+\mu^-)/B(B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-)$	–	~100 %	~35 %	~5 %
Unitarity triangle angles	$\gamma(B \rightarrow D^{(*)}K^{(*)})$	~10-12° [252, 266]	4°	0.9°	negligible
	$\gamma(B_s^0 \rightarrow D_s K)$	–	11°	2.0°	negligible
	$\beta(B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0)$	0.8° [44]	0.6°	0.2°	negligible
Charm CP violation	$A_\Gamma$	$2.3 \times 10^{-3}$ [44]	$0.40 \times 10^{-3}$	$0.07 \times 10^{-3}$	–
	$\Delta\mathcal{A}_{CP}$	$2.1 \times 10^{-3}$ [18]	$0.65 \times 10^{-3}$	$0.12 \times 10^{-3}$	–

Eur. Phys. J. C (2013) 73:2373

# LHCb/RICH upgrade - contributo italiano all'upgrade dei rivelatori RICH

- Alloggiamento dei fotosensori (MaPMT), la Elementary Cell (GE)
- Caratterizzazione MaPMT (MiB)
- ECS e DCS (GE)
- Front-End chip e boards (MiB e FE)
- Meccanica di supporto del Photo-Detector Assembly (PD)
- Quality assurance (FE, GE, MiB, PD)
- Sistema HV (GE)
- ...