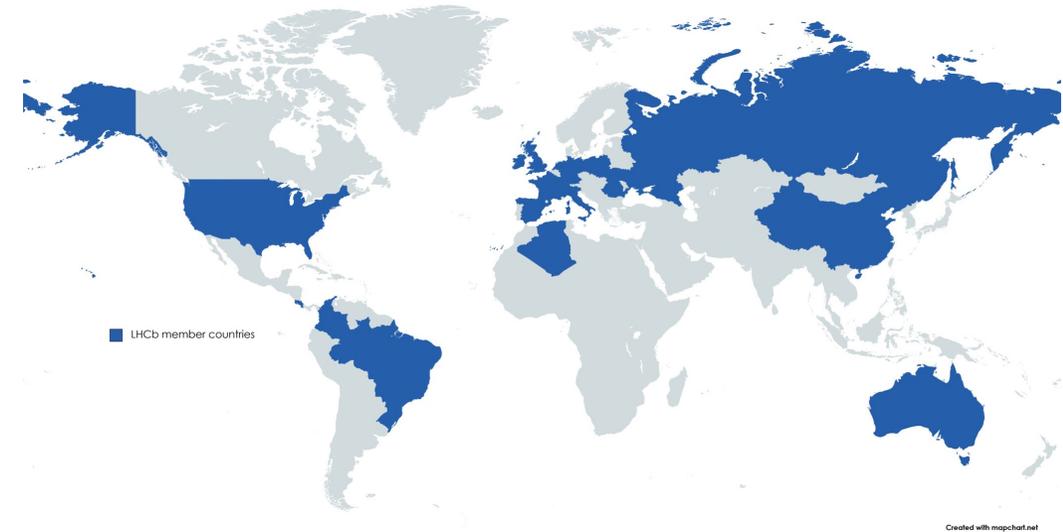


Proposte di tesi di LM in LHCb



(part of the) LHCb Collaboration in June 2022

The LHCb collaboration currently has 1587 members representing 20 countries across 95 institutes

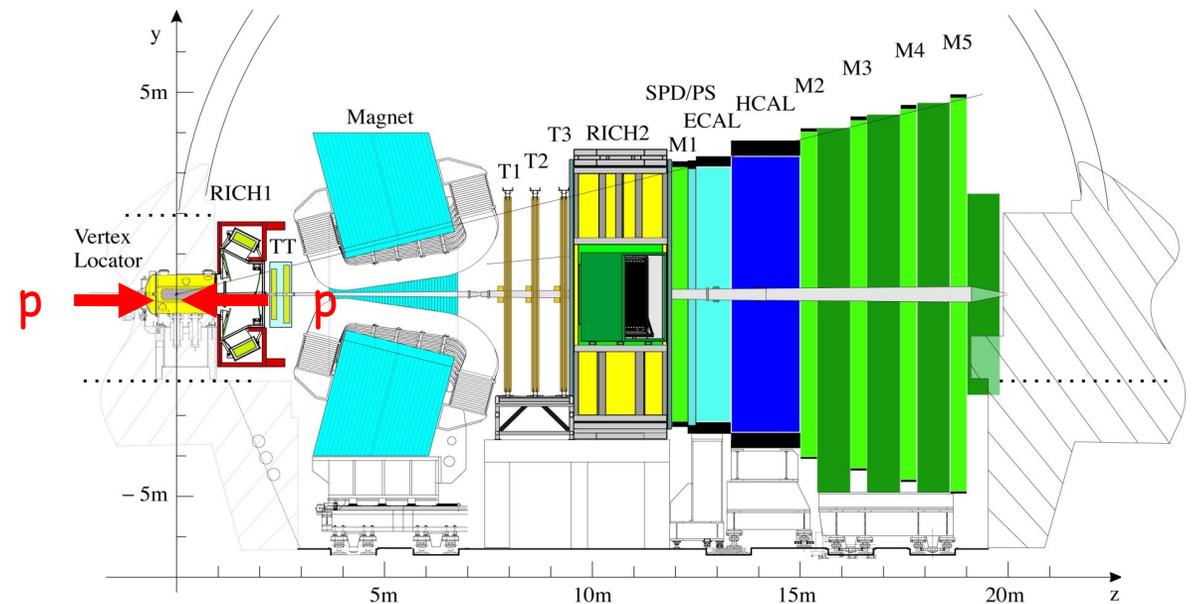


LHCb @ Bicocca

<https://sites.google.com/unimib.it/lhcbbicocca/home>

LHCb: spettrometro in avanti ad LHC (CERN)

- Fisica di beauty e charm quarks
- Ricerca eventi rari, violazione CP
- Test SM e fisica BSM
- QCD, EW
- Ioni pesanti
-



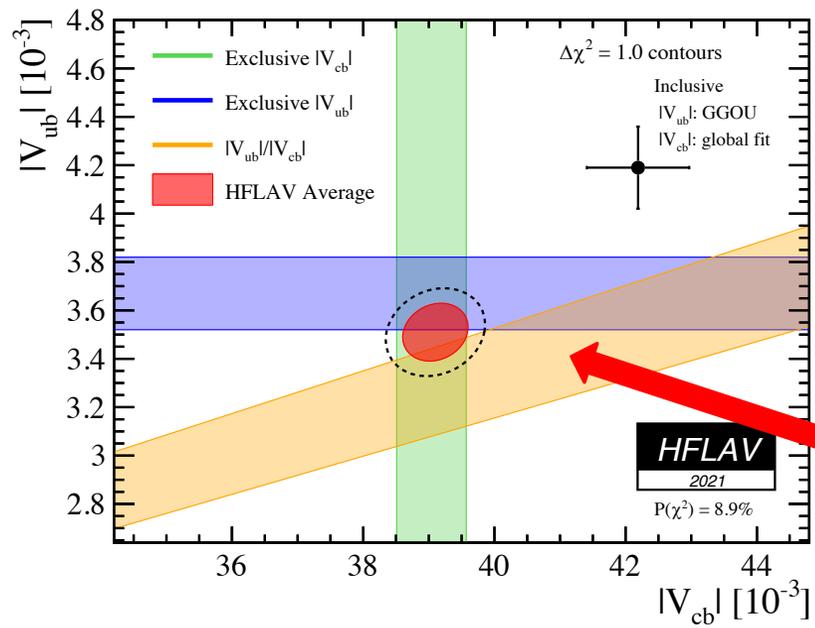
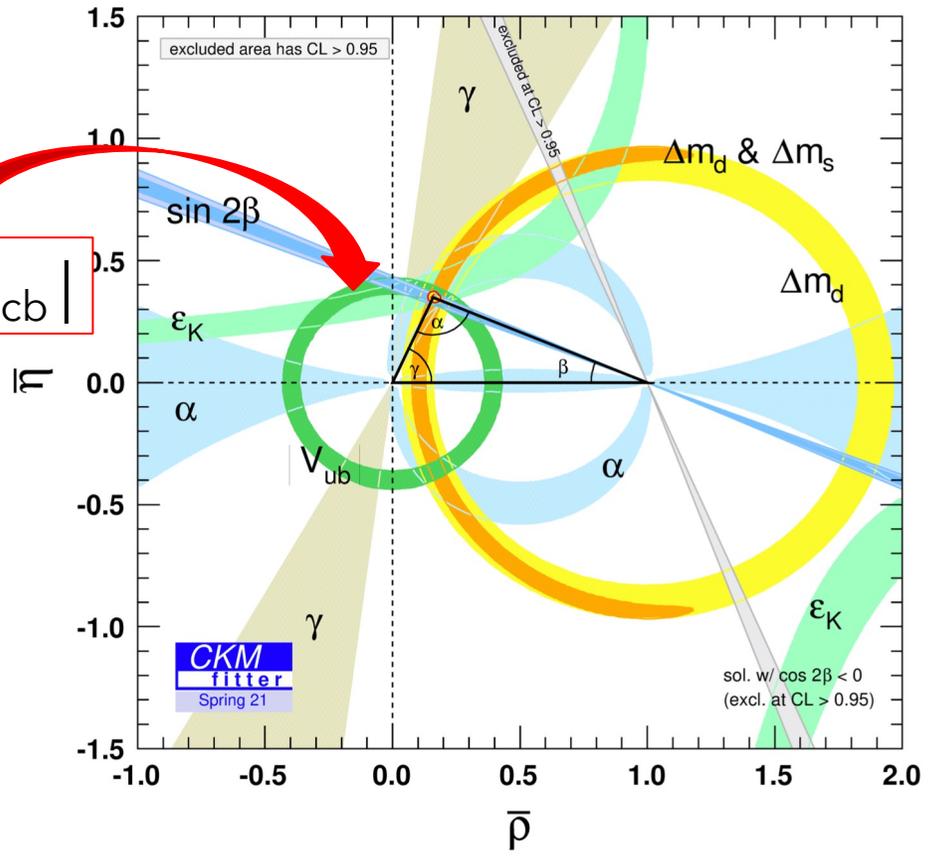
Programma di presa-dati e upgrades del rivelatore di LHCb

Luminosità
integrata



Misura di un elemento di matrice CKM: V_{ub}

$|V_{ub}|/|V_{cb}|$

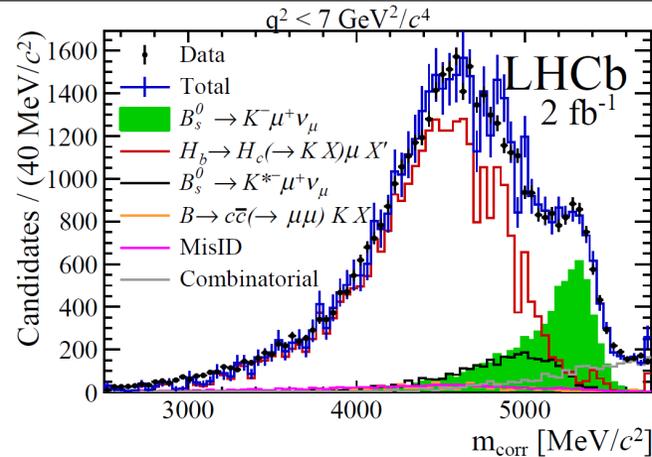


Misure di $|V_{ub}|/|V_{cb}|$ di LHCb dai decadimenti $\Lambda_b \rightarrow p\mu\nu$ e $B_s \rightarrow K\mu\nu$

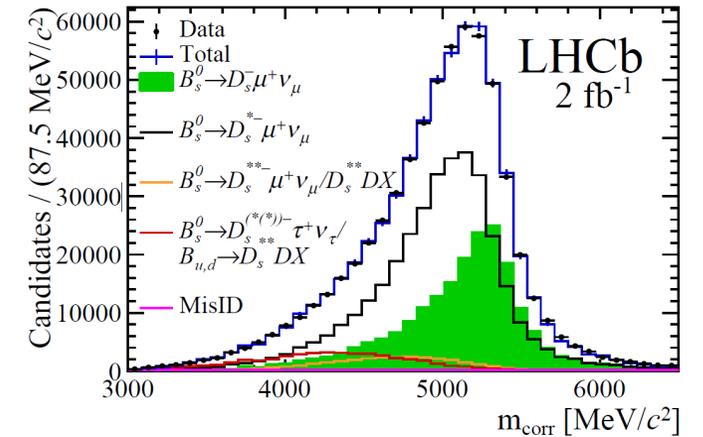
Misura di $|V_{ub}|/|V_{cb}|$ da $B_s \rightarrow K\mu\nu$

- Pubblicata (PRL 126(2021)081804): prima osservazione del decadimento $B_s \rightarrow K\mu\nu$ e misura di $|V_{ub}|/|V_{cb}|$
- Utilizza il rapporto con $B_s \rightarrow D_s\mu\nu$
- Dati del Run1 (2fb^{-1})

$B_s^0 \rightarrow K^- \mu^+ \nu_\mu$ ($b \rightarrow u$)

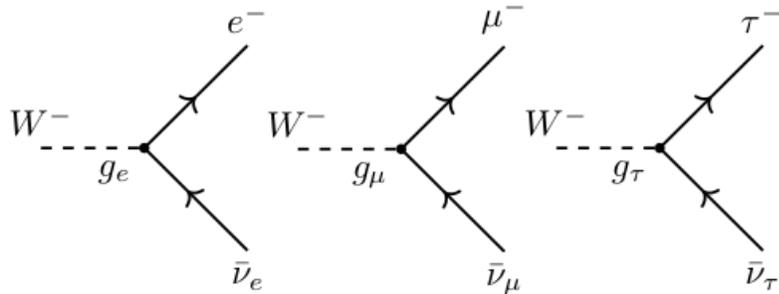


$B_s^0 \rightarrow D_s^- \mu^+ \nu_\mu$ ($b \rightarrow c$)



- Proposta di tesi: Nuova misura di $|V_{ub}|/|V_{cb}|$ con i dati del Run 2 (6fb^{-1})
- Aggiornamento della selezione dei candidati e della ricostruzione del neutrino (uso di tecniche di Machine Learning). Misura in bins di q^2 e determinazione dei fattori di forma (QCD non-perturbativa). Uso di simulazioni veloci. Studio del fondo da decadimenti con K^* .

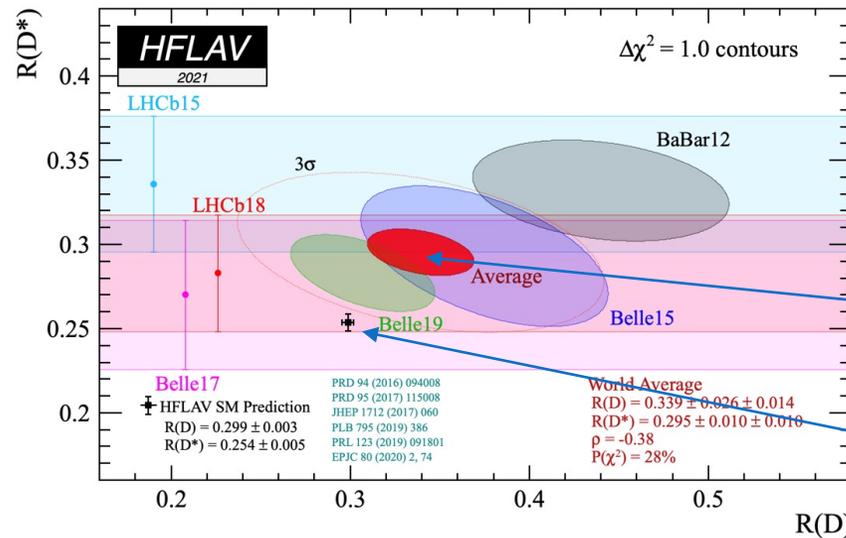
Lepton Flavour Universality



- Il MS prevede identici accoppiamenti dei bosoni di gauge alle diverse famiglie di leptoni ($g_e = g_\mu = g_\tau$).
- La LFU può essere violata in modelli di Nuova Fisica con accoppiamenti dipendenti dalla massa.

- La variabile di test per le transizioni $b \rightarrow c$

$$\mathcal{R}(D^{(*)}) = \frac{\mathcal{B}(B \rightarrow D^{(*)} \tau \nu)}{\mathcal{B}(B \rightarrow D^{(*)} \mu \nu)}$$



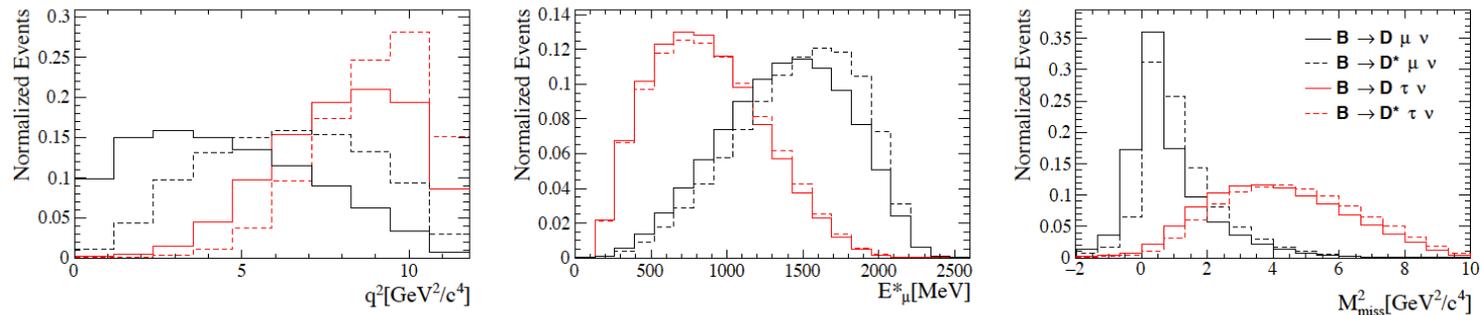
Media diversi esperimenti

$\sim 3\sigma$ dal MS

Misura di $R(D^{(*)+})$ da $B^0 \rightarrow D^+ \tau \nu_\tau / B^0 \rightarrow D^+ \mu \nu_\mu$

- Analisi con i dati LHCb del 2016 in fase di review interna (CERN-THESIS-2021-266)

- Si usa $\tau^- \rightarrow \mu^- \nu_\mu \nu_\tau$, $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$ (e $D^{*+} \rightarrow D^+ \bar{\pi}^0$)
lo stato finale ($K^- \pi^+ \pi^+ \mu^-$) è comune ai candidati segnale ($D \tau \nu_\tau$) e di normalizzazione ($D \mu \nu_\mu$).
- Separazione tra τ/μ /fondi grazie a variabili cinematiche (E_l , m_{miss}^2 , q^2)



- Max Likelihood fit per determinare la componente di segnale, simultaneo in diverse regioni esclusive, sensibili alle diverse componenti
 - Uso di simulazioni veloci per costruire le templates MC, e campioni di controllo da dati

Proposte di tesi

Misura di R ($D^{(*)+}$) con 6 fb^{-1} e ricerca di Nuova Fisica in $B^0 \rightarrow D^{(*)+} \tau \nu_\tau$

- Nuova misura di R ($D^{(*)+}$)

Nuovo campione di dati (3x). Aggiornamento della selezione (miglior separazione dai fondi) con uso di tecniche di ML. Fit alternativo con nuove variabili (output di BDT o NeuralNetworks).

- Misura dei Coefficienti di Wilson in $B^0 \rightarrow D^{(*)+} \tau \nu_\tau$

Descrizione generale dell'interazione utilizzando Hamiltoniana efficace: Coefficienti di Wilson e Operatori 4-fermioni.

Variatione delle templates MC in funzione del modello di Nuova Fisica. Fit ai contributi non presenti nel Modello Standard.

Ripesamento dinamico delle templates del MC con Hammer (JINST 17 T04006)

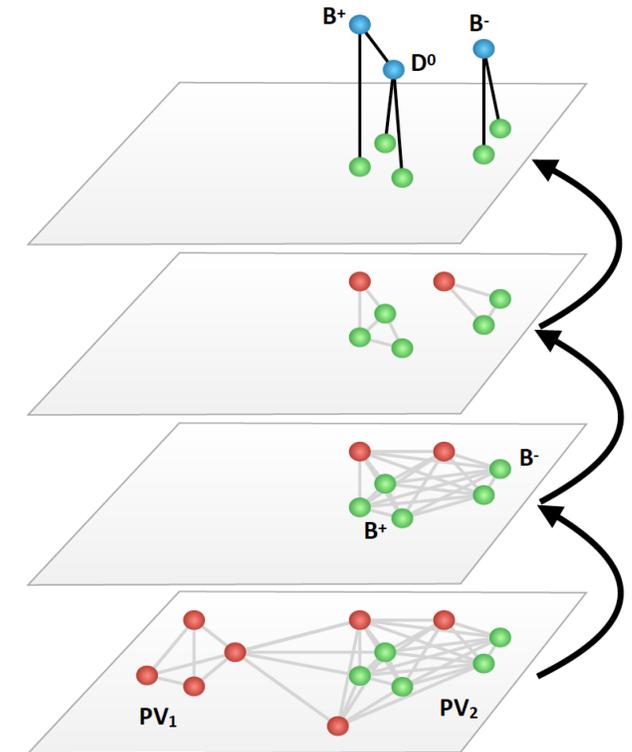
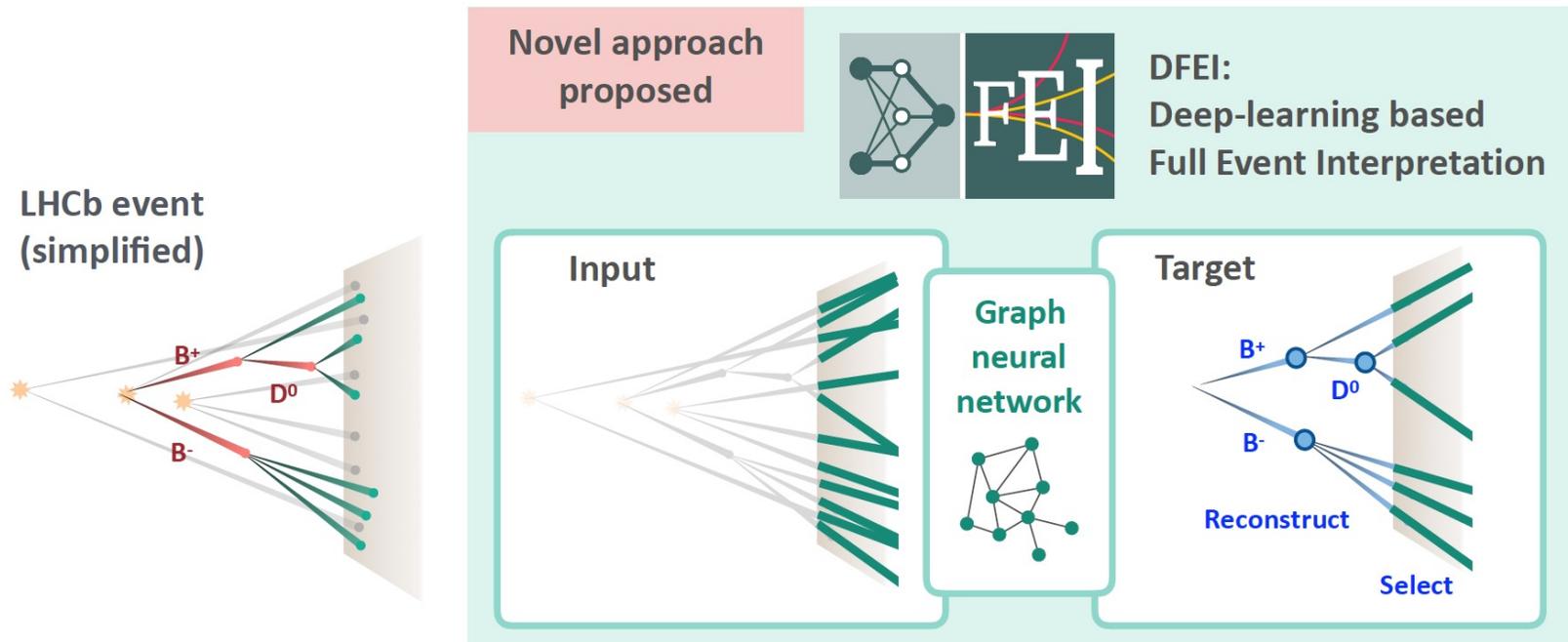
$$H_{SM} = \frac{4G_F}{\sqrt{2}} V_{cb} (\bar{c}_L \gamma^\mu b_L) (\bar{\ell}_L \gamma_\mu \nu_{\ell L})$$

$$H_{EFT} = \frac{4G_F}{\sqrt{2}} V_{cb} \sum_i C_i \mathcal{O}_i$$

Current	Label	Wilson Coefficient, c_{XY}	Operator
SM	SM	1	$[\bar{c}\gamma^\mu P_L b] [\bar{\ell}\gamma_\mu P_L \nu]$
Vector	V_qL1L	V_{qL1L}	$[\bar{c}\gamma^\mu P_L b] [\bar{\ell}\gamma_\mu P_L \nu]$
	V_qR1L	V_{qR1L}	$[\bar{c}\gamma^\mu P_R b] [\bar{\ell}\gamma_\mu P_L \nu]$
	V_qL1R	V_{qL1R}	$[\bar{c}\gamma^\mu P_L b] [\bar{\ell}\gamma_\mu P_R \nu]$
	V_qR1R	V_{qR1R}	$[\bar{c}\gamma^\mu P_R b] [\bar{\ell}\gamma_\mu P_R \nu]$
Scalar	S_qL1L	S_{qL1L}	$[\bar{c}P_L b] [\bar{\ell}P_L \nu]$
	S_qR1L	S_{qR1L}	$[\bar{c}P_R b] [\bar{\ell}P_L \nu]$
	S_qL1R	S_{qL1R}	$[\bar{c}P_L b] [\bar{\ell}P_R \nu]$
	S_qR1R	S_{qR1R}	$[\bar{c}P_R b] [\bar{\ell}P_R \nu]$
Tensor	T_qL1L	T_{qL1L}	$[\bar{c}\sigma^{\mu\nu} P_L b] [\bar{\ell}\sigma_{\mu\nu} P_L \nu]$
	T_qR1R	T_{qR1R}	$[\bar{c}\sigma^{\mu\nu} P_R b] [\bar{\ell}\sigma_{\mu\nu} P_R \nu]$

DFEI (Deep Full Event Reconstruction)

- Uso di Deep Neural Networks per un trigger inclusivo di LHCb nella fase di Upgrade 2.

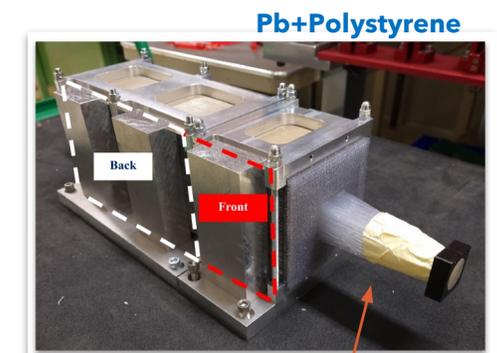
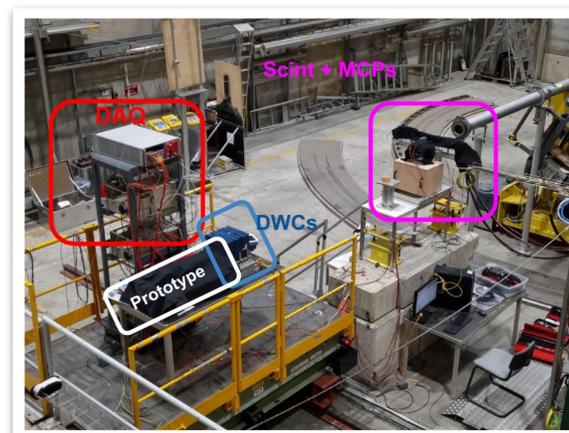
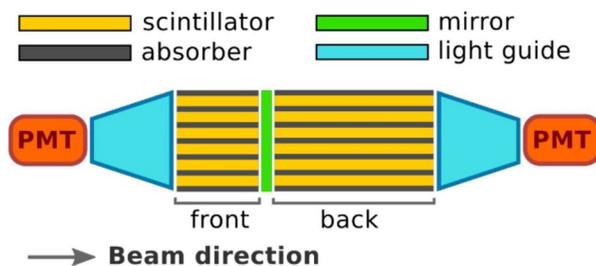


Proposta di tesi: sviluppo e test di Graph Neural Networks su simulazione MC di decadimenti di b e c quarks. Applicazione ai decadimenti semileptonici per la selezione e riduzione dei fondi.

Calorimetro elettromagnetico

Sviluppo di **Spaghetti Calorimeters (SPACAL)** basato su fibre scintillanti, per l'Upgrade II di LHCb

- Sviluppo e caratterizzazione di **nuovi prototipi**:
 - Campagne di test su fascio a SPS-CERN e DESY con prototipi con diverse combinazioni di materiali assorbitori e scintillanti
 - Analisi dati per misura risoluzione energetica e spaziale
 - Simulazioni Monte Carlo per ottimizzare la performance dei prototipi
- Studio di **nuovi materiali** scintillanti resistenti alla radiazione
- Studio e sviluppo di **nuove tecniche** per la misura dell'informazione temporale con precisione nell'ordine del picosecondo

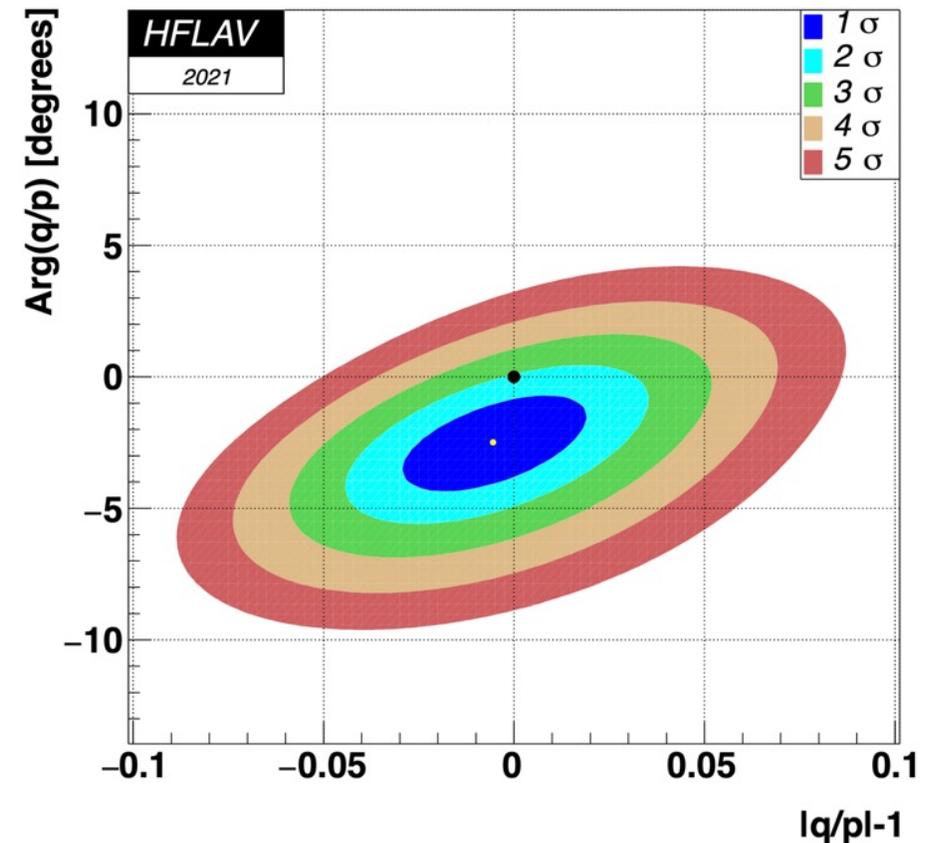


Fisica del charm

Affascinanti Asimmetrie alla ricerca di fenomeni oltre il Modello Standard

- Grande impulso agli studi di precisione da LHCb
 - [2013](#): Prima osservazione (5σ) del Mixing D^0 - \bar{D}^0 da singolo esperimento [$D^0 \rightarrow K^+\pi^-$]
 - [2019](#): Prima osservazione (5σ) Violazione CP (ΔA_{CP}) [$D^0 \rightarrow K^+K^-$, $D^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$]
 - [2021](#): Misura della differenza (5σ) tra gli autovalori di massa dei mesoni D^0 neutri ($D^0 \rightarrow K_S^0\pi^+\pi^-$)
 - [2022](#): Prima evidenza (3σ) di Violazione CP in singolo decadimento [$D^0 \rightarrow K^+K^-$] (Preliminary)

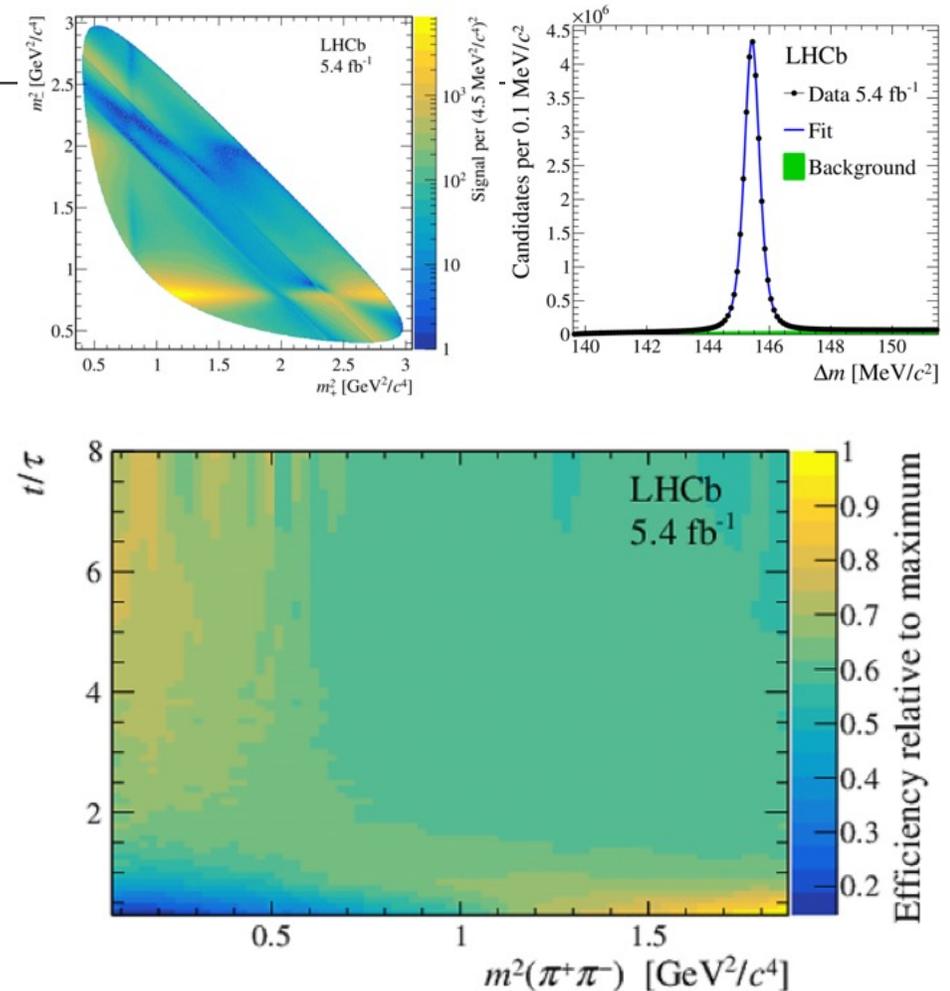
LHCb Upgrade: Violazione di CP nel Mixing?
([potenziale Nuova Fisica...](#))



Proposte di tesi

Misura di mixing e violazione di CP in $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$

- Sviluppo di una tecnica innovativa per correggere l'accettanza dello spazio delle fasi al variare del tempo di decadimento con tecniche di ML su dati e campioni simulati
- Il machine learning viene utilizzato per trovare i pesi con cui correggere il campione simulato perché rispecchi perfettamente i dati. Tale procedura viene sviluppata su un campione di controllo $D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ e poi applicata alla simulazione $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$
- Per validare la tecnica si ripete la misura di [PRL127.111801](#) e si verificano che le incertezze sistematiche si riducono sensibilmente
- Se verificata, la tecnica sarà alla base della misura del Run3 di LHCb



Proposte di tesi

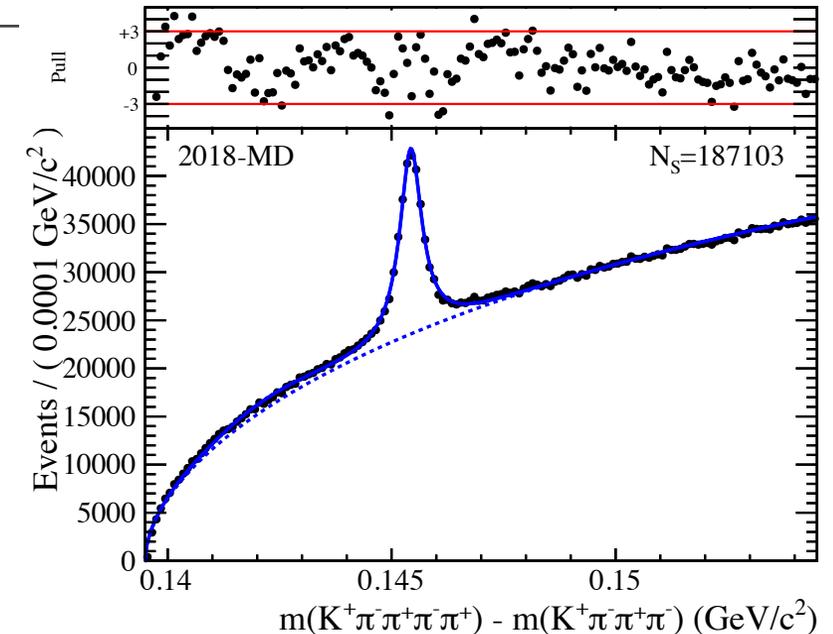
Due canali ancora inesplorati ad LHCb

Misura di Mixing e Violazione di CP in $D^0 \rightarrow K^+ \mu^- \nu$

- Complessità nella ricostruzione del momento mancante del ν . Nel lavoro di tesi si propone di utilizzare i metodi cinematici "classici" e sviluppare algoritmi di machine learning per ricostruire il momento del D^0 .
- Studio dei fondi dovuti ai mesoni K^*
- Misura del rapporto di mixing integrato nel tempo e misura di CP e mixing tramite la separazione dei due campioni D^0 e \bar{D}^0

Misura di violazione di CP nei decadimenti $D^0 \rightarrow K^+ \pi^- \pi^+ \pi^-$

- Decadimento doppio Cabibbo soppresso \Rightarrow CPV = 0 nel Modello Standard
- Si propone di utilizzare la tecnica dei tripli prodotti su cui un'analisi è in corso nel nostro gruppo su $D^0 \rightarrow K^+ K^- \pi^+ \pi^-$ e $D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^-$
- Tecniche di analisi per lo più già sviluppate. Il vantaggio è che potrebbe portare ad un'analisi "completa" nell'arco di tempo richiesto dalla tesi



$N(6/\text{fb}) \sim 1\text{M} \Rightarrow \text{sensitivity} = 10^{-3}$