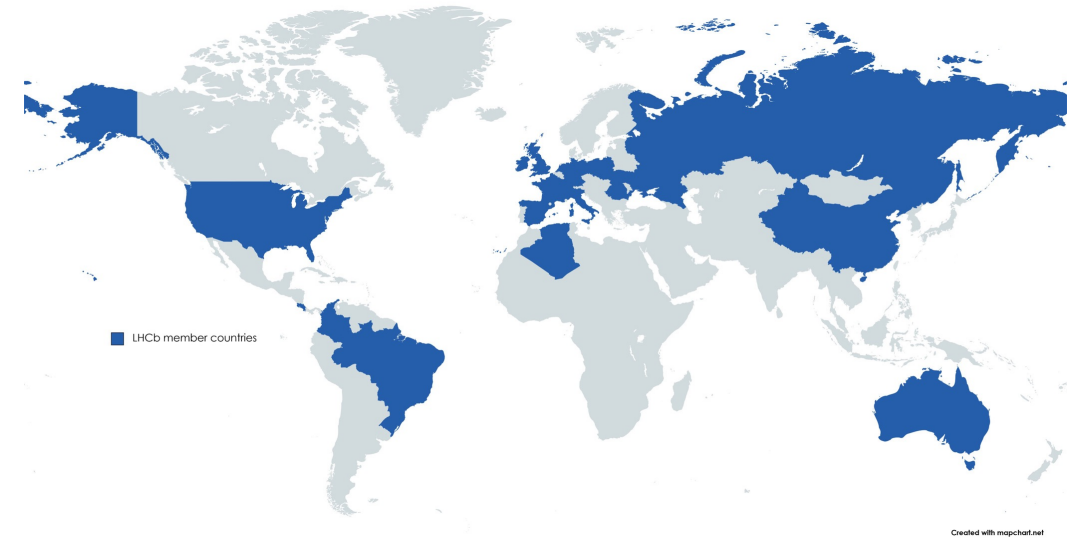


# Proposte di tesi di LM in LHCb



(part of the) LHCb Collaboration in June 2022

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

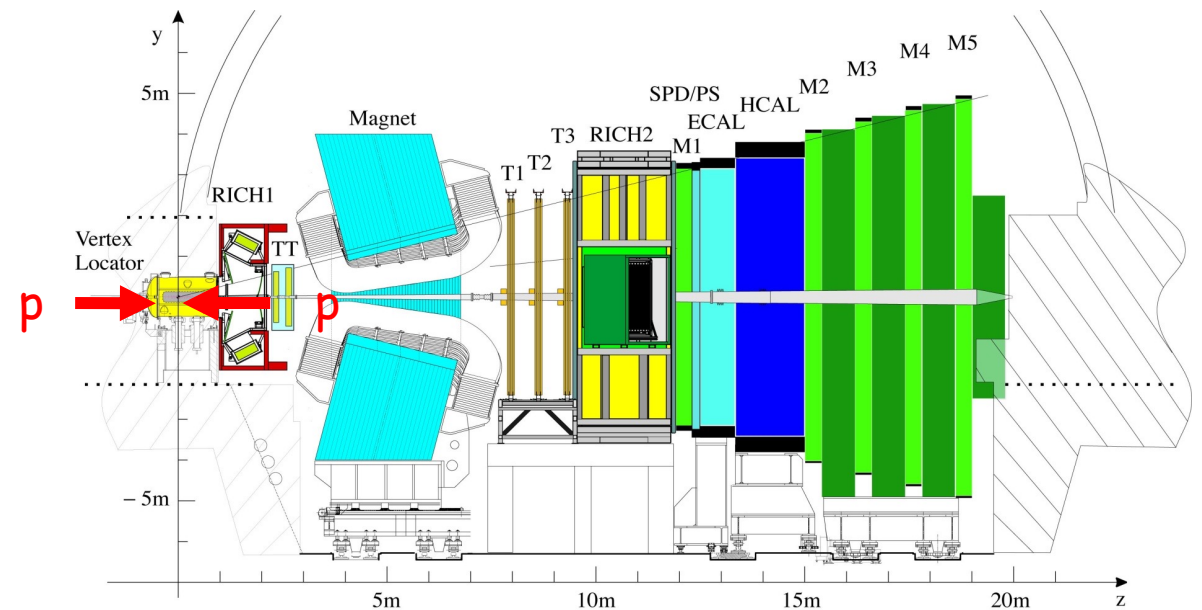


**LHCb @ Bicocca**

<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
- ....

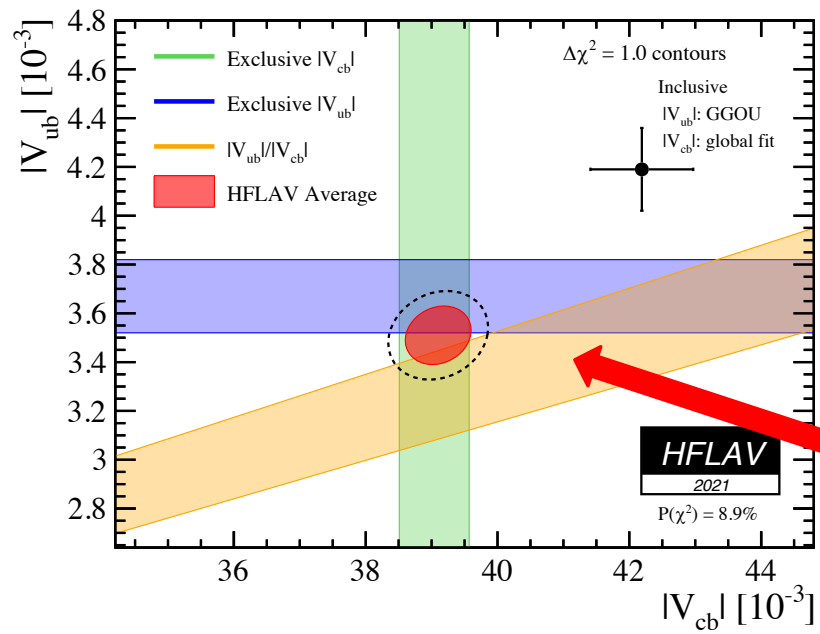
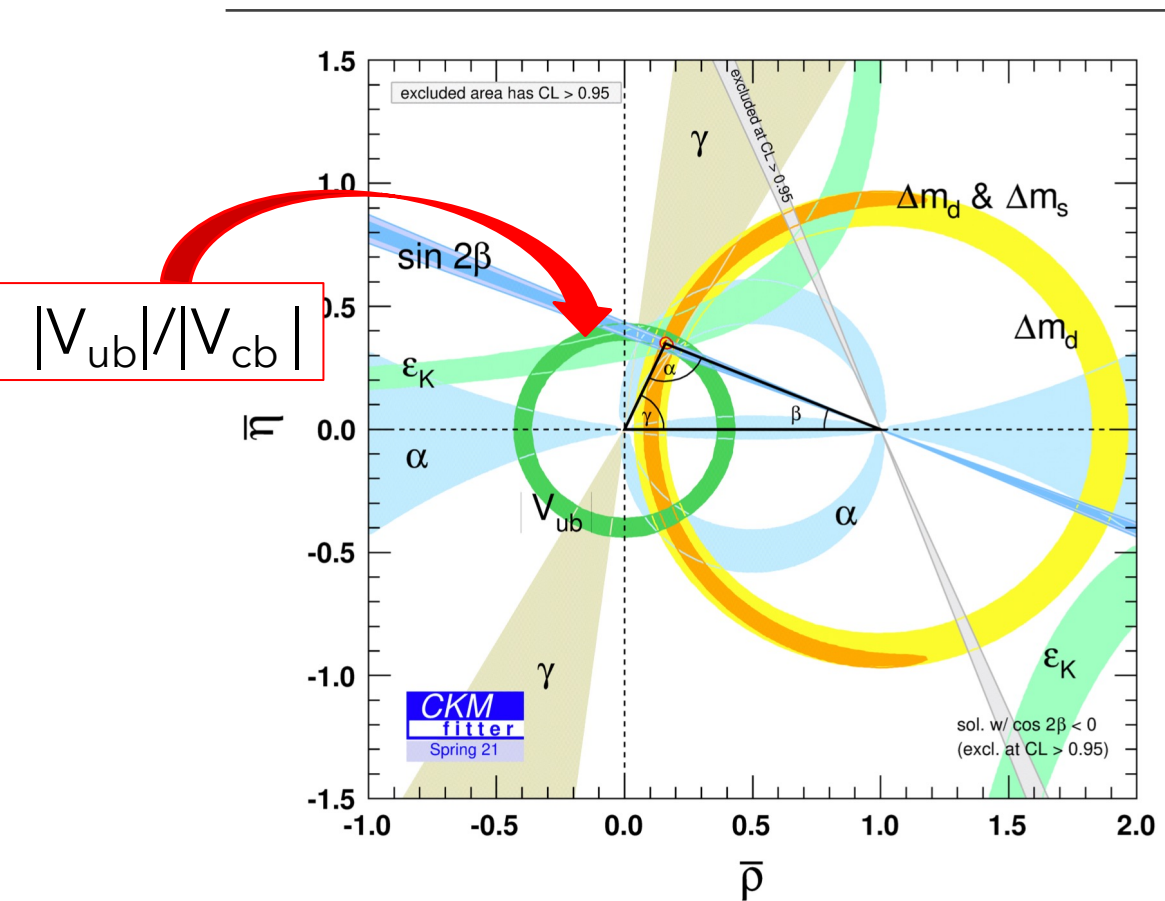


## Programma di presa-dati e upgrades del rivelatore di LHCb

Luminosità  
integrata



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

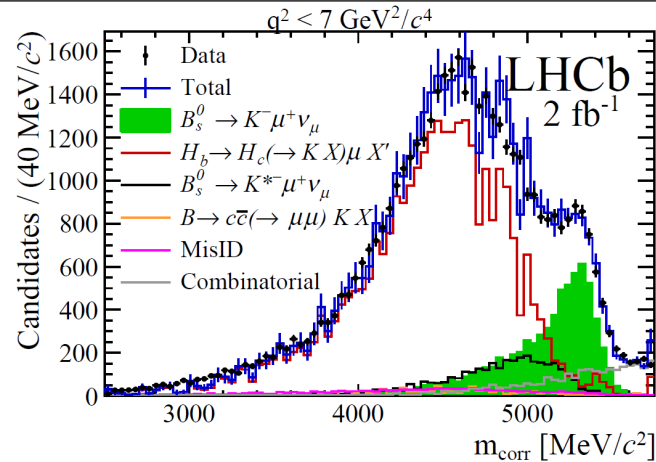


Misure di  $|V_{ub}|/|V_{cb}|$  di LHCb dai decadimenti  $\Lambda_b \rightarrow p\mu\nu$  e  $B_s \rightarrow K\mu\nu$

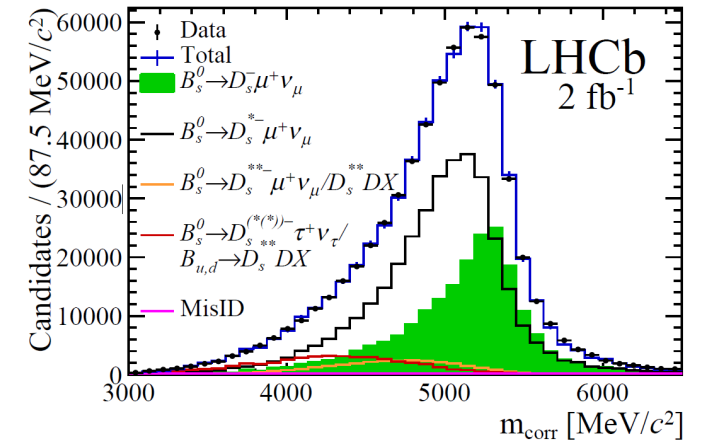
# Misura di $|V_{ub}|/|V_{cb}|$ da $B_s \rightarrow K\mu\nu$

- 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 ( $2\text{fb}^{-1}$ )

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

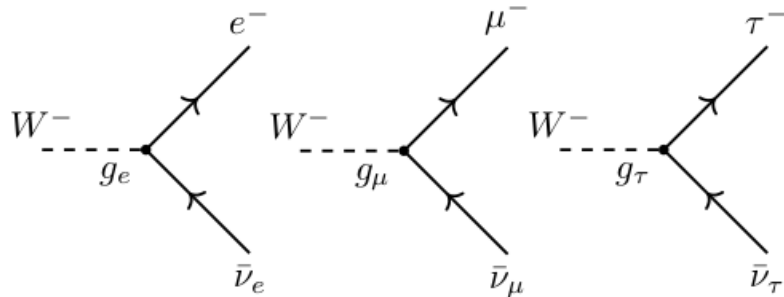


$B_s^0 \rightarrow D_s^- \mu^+ \nu_\mu$  ( $b \rightarrow c$ )



- Proposta di tesi: Nuova misura di  $|V_{ub}|/|V_{cb}|$  con i dati del Run 2 ( $6\text{fb}^{-1}$ )
- 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  $K^*$ .

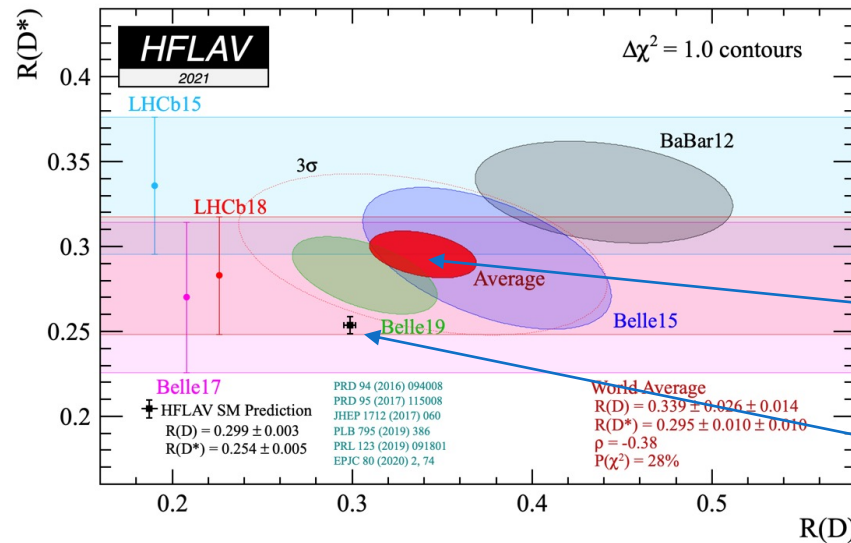
# Lepton Flavour Universality



- 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  $b \rightarrow c$

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



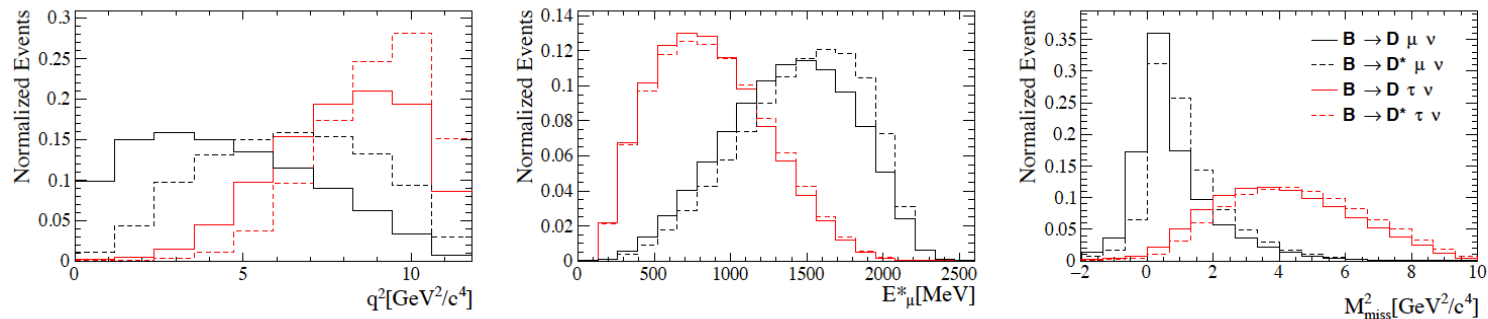
Media diversi esperimenti

$\sim 3\sigma$  dal MS

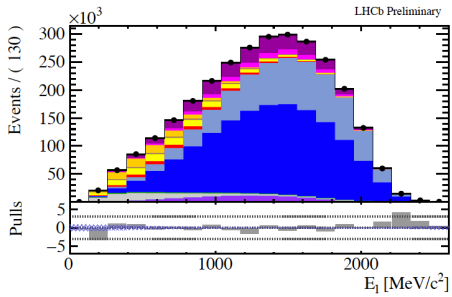
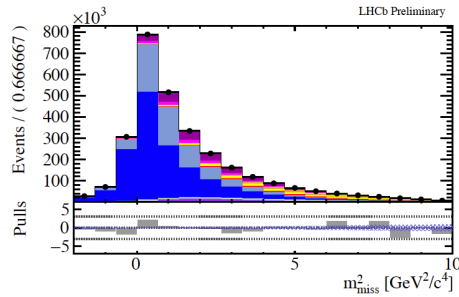
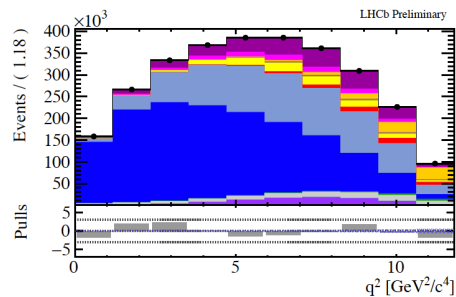
# Misura di $R(D^{(*)+})$ da $B^0 \rightarrow D^+ \tau \nu_\tau / B^0 \rightarrow D^+ \mu \nu_\mu$

- 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  $\tau/\mu$ /fondi grazie a variabili cinematiche ( $E_l$ ,  $m_{\text{miss}}^2$ ,  $q^2$ )



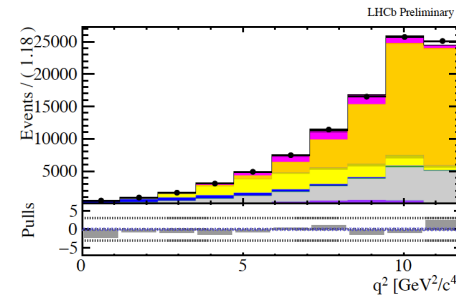
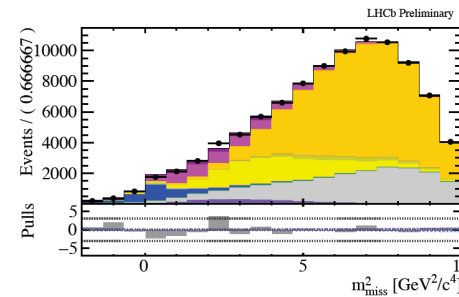
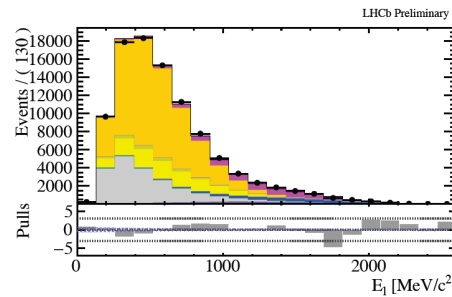
- Max Likelihood fit per determinare la componente di segnale, simultaneo in diverse regioni esclusive, sensibili alle diverse componenti
  - Uso di simulazioni veloci per costruire le templates MC, e campioni di controllo da dati

$E_1$  $m_{\text{miss}}^2$  $q^2$ 

Regione arricchita in  
segnale e normalizzazione

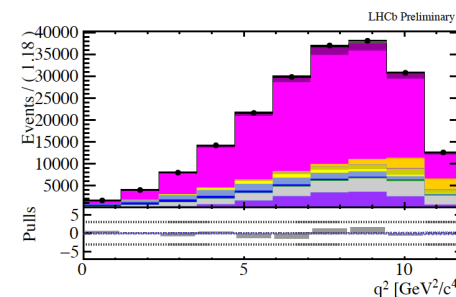
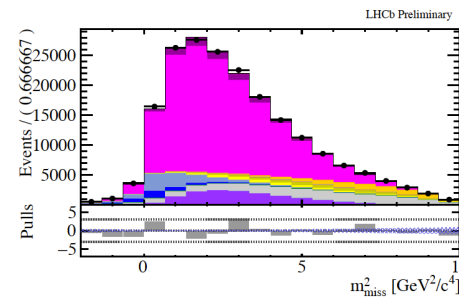
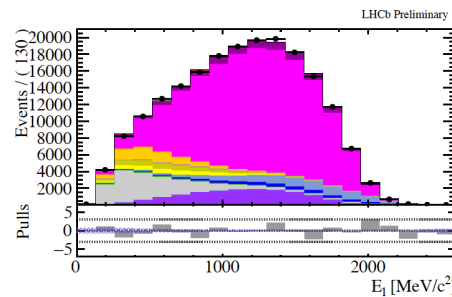
$$B^0 \rightarrow D^+ \tau \nu_\tau, B^0 \rightarrow D^{*+} \tau \nu_\tau$$

$$B^0 \rightarrow D^+ \mu \nu_\mu \text{ e } B^0 \rightarrow D^{*+} \mu \nu_\mu$$



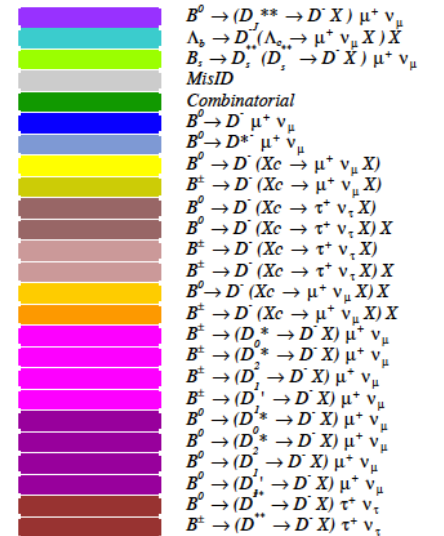
Regione arricchita in  
decadimenti a due  
mesoni charmati (1 K)

$$B^0 \rightarrow D^+ D^-$$



Regione arricchita in  
decadimenti a mesoni  
eccitati (1  $\pi$ )

$$B^0 \rightarrow D^{(*, **)} \chi$$



# Proposte di tesi

Misura di R ( $D^{(*)+}$ ) con  $6 \text{ fb}^{-1}$  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.

Variazione 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)

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

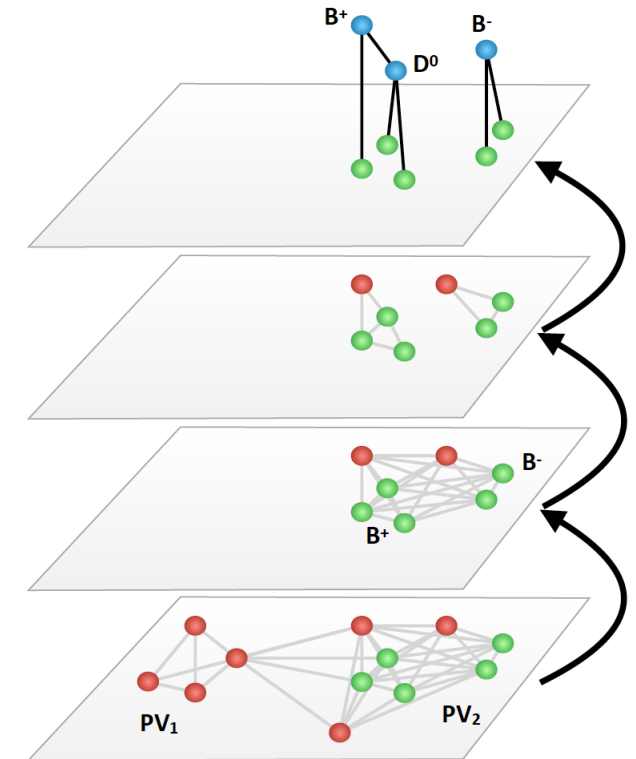
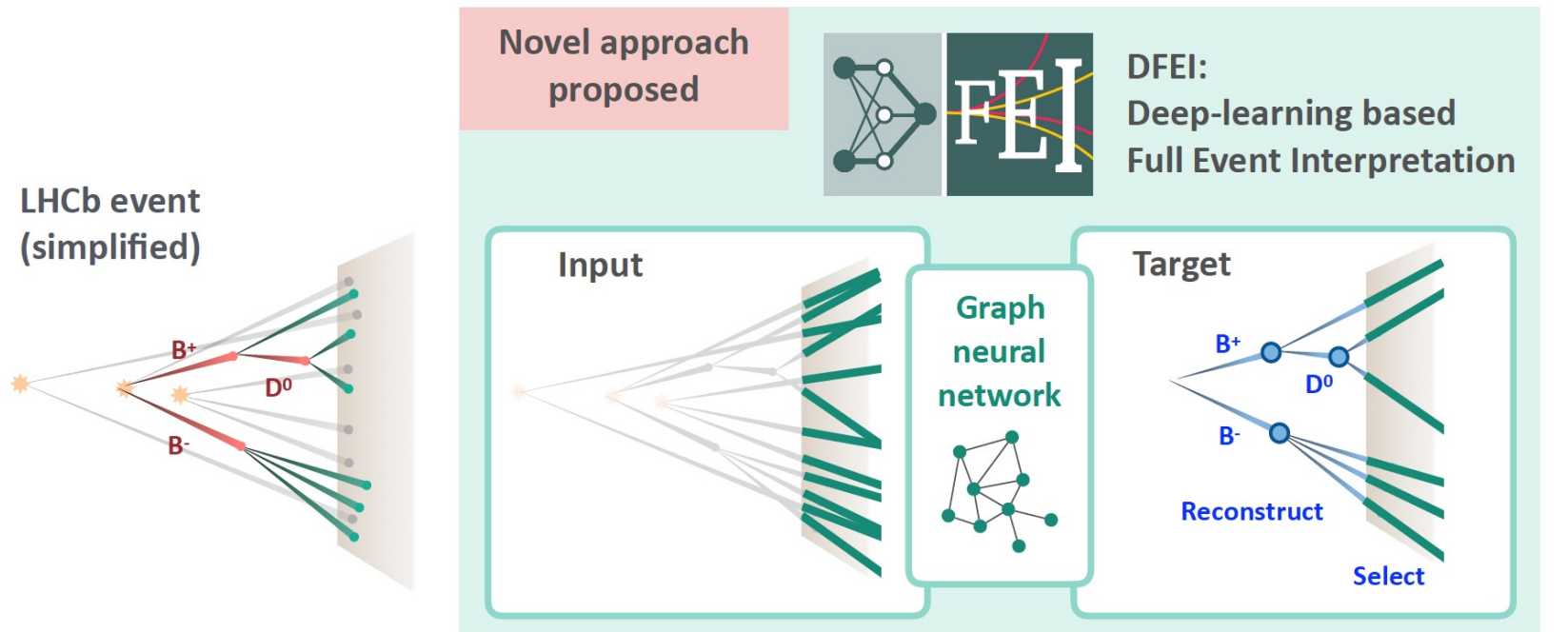
$$H_{EFT} = \frac{4G_F}{\sqrt{2}} V_{cb} \sum_i C_i \mathcal{O}_i$$

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.

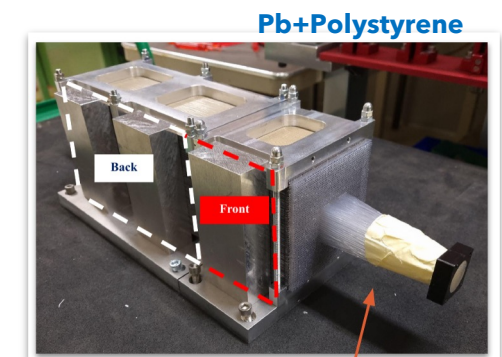
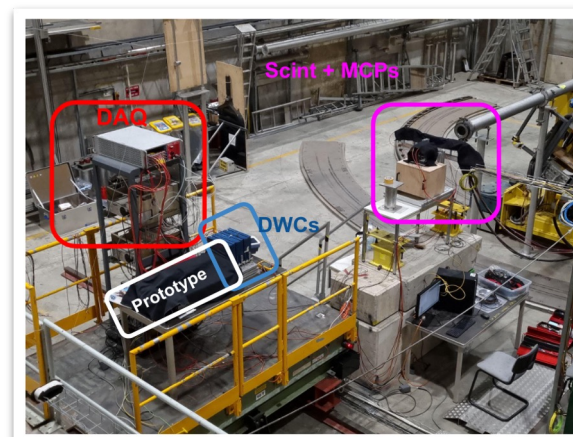
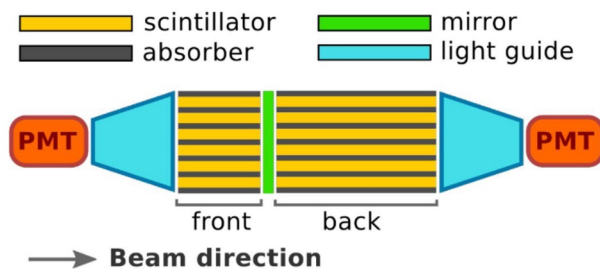


**Proposta di tesi:** sviluppo e test di Graph Neural Networks su simulazione MC di decadimenti di b e c quarks. Applicazione ai decadimenti semileptonici per la selezione e riduzione dei fondi.

# 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

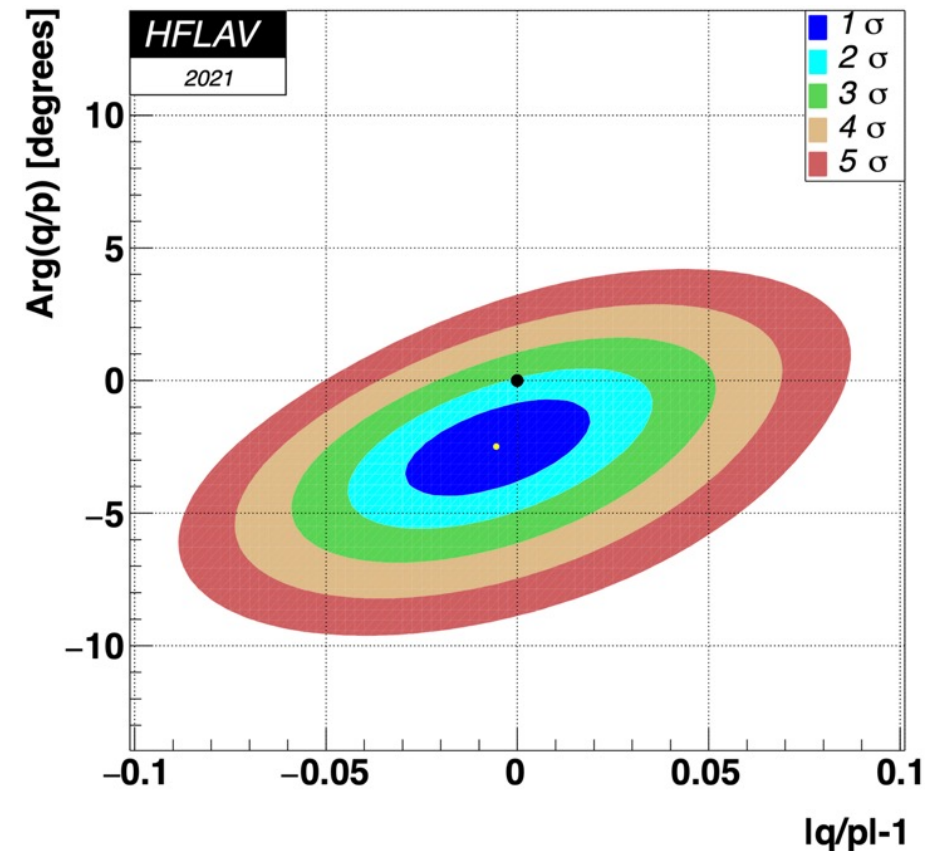


# Fisica del charm

## Affascinanti Asimmetrie alla ricerca di fenomeni oltre il Modello Standard

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

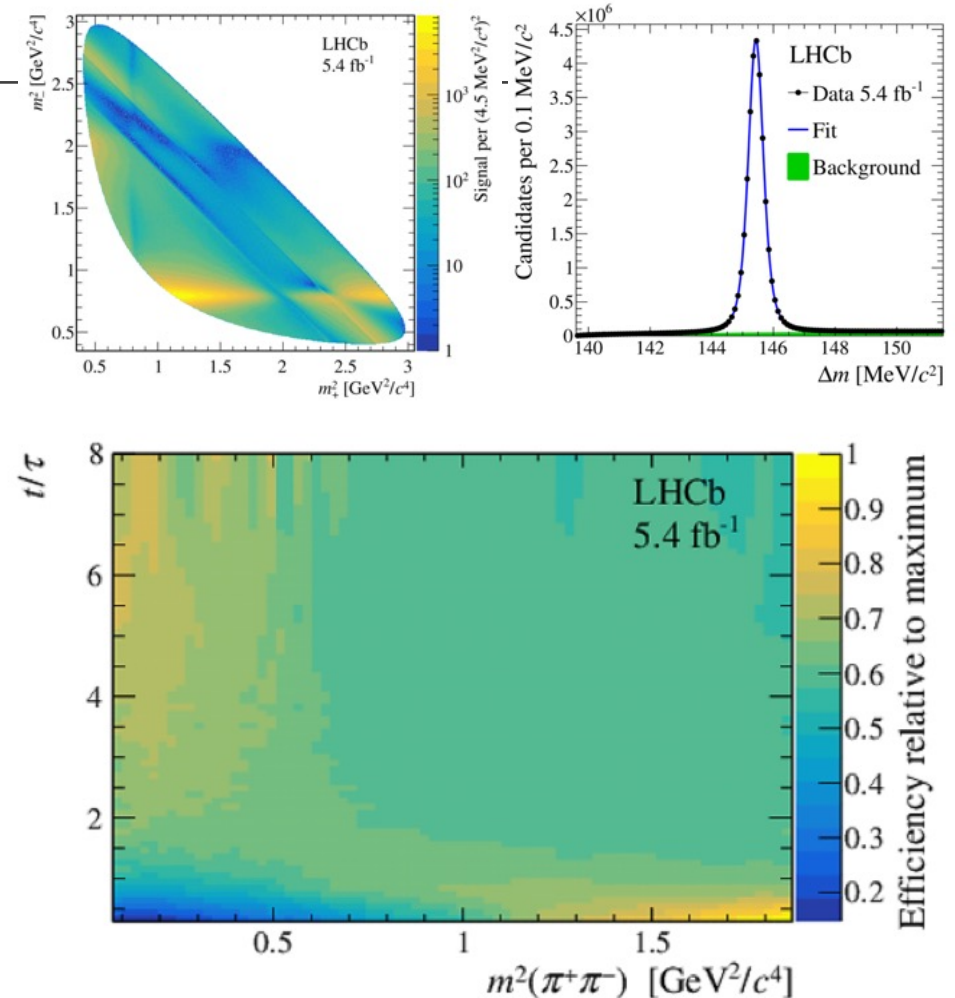
LHCb Upgrade: Violazione di CP nel Mixing?  
([potenziale Nuova Fisica...](#))



# 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

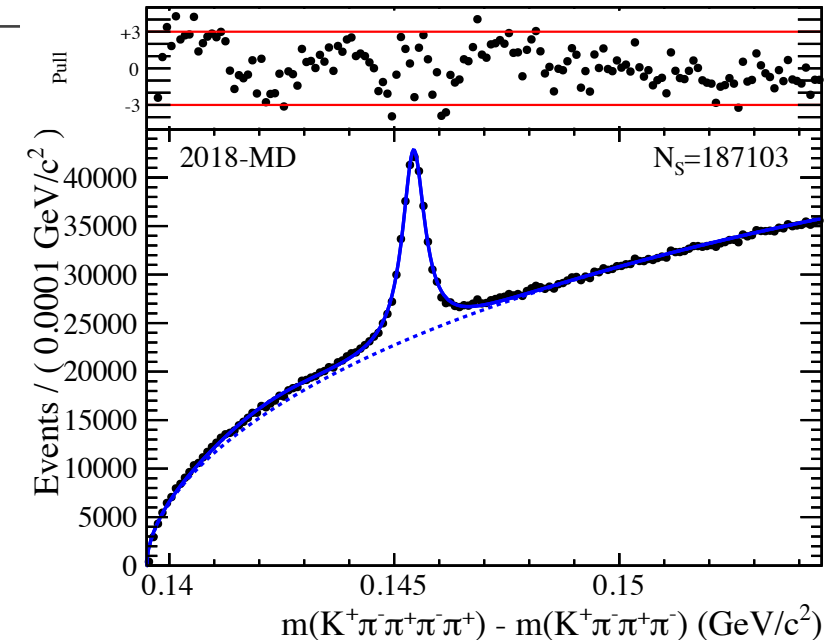
## Due canali ancora inesplorati ad LHCb

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

- Complessità nella ricostruzione del momento mancante del  $\nu$ . 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



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