

# Misure di Universalità Leptonica a LHCb



**Federico Betti per conto della  
Collaborazione LHCb**

Incontri di Fisica delle Alte Energie 2018

Milano – 05 Aprile 2018



- Nella lagrangiana del Modello Standard gli **accoppiamenti** tra i bosoni di gauge e le diverse famiglie leptoniche sono uguali
- i **rapporti di decadimento** dei decadimenti semileptonici del  $B$  in  $e$ ,  $\mu$  e  $\tau$  differiscono solo per spazio delle fasi e contributi a elicità soppressa
- Molti modelli di **Nuova Fisica** prevedono interazioni favorite con la terza famiglia leptonica
- **Violazione di UL** sarebbe un chiaro segnale di Nuova Fisica
- In questa presentazione: misure di  $\mathcal{R}(D^*)$  e  $\mathcal{R}(J/\psi)$  a LHCb

$$\mathcal{R}(D^{(*)}) = \frac{\mathcal{B}(\bar{B}^0 \rightarrow D^{(*)+} \tau^- \bar{\nu}_\tau)}{\mathcal{B}(\bar{B}^0 \rightarrow D^{(*)+} \mu^- \bar{\nu}_\mu)}$$

- Osservabili calcolate con **precisione** dal MS:

$$\mathcal{R}(D) = 0.300 \pm 0.008 \text{ [PRD92, 054510 (2015)]}$$

$$\mathcal{R}(D) = 0.299 \pm 0.001 \text{ [PRD92, 034506 (2015)]}$$

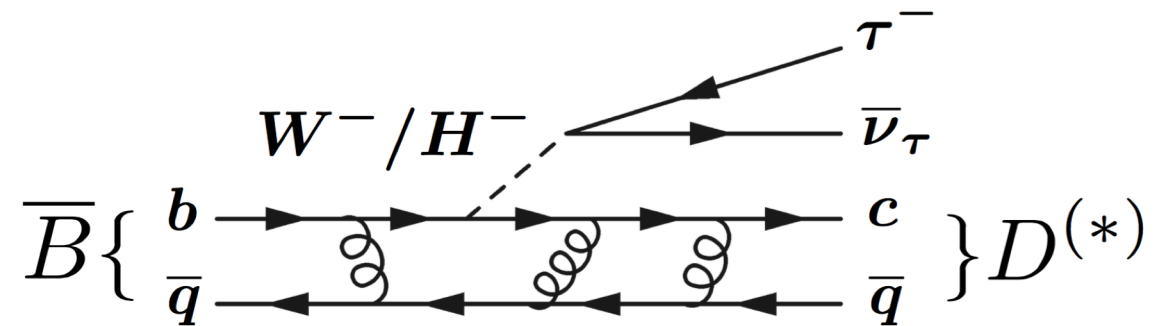
$$\mathcal{R}(D^*) = 0.252 \pm 0.003 \text{ [PRD85, 094025 (2012)]}$$

- Misurate a

- BaBar → discrepanza di  $3.4\sigma$  dal MS [PRL109, 101802 (2012)]

- Belle → consistente col MS [PRD92, 072014 (2015)]

- **Anomalia** da confermare o confutare



$\mathcal{R}(D^*)$  con decadimenti muonici del  $\tau$

- **Segnale:**  $\bar{B}^0 \rightarrow D^{*+} \tau^- \bar{\nu}_\tau$ , con  $\tau^- \rightarrow \mu^- \nu_\tau \bar{\nu}_\mu$
- **Normalizzazione:**  $\bar{B}^0 \rightarrow D^{*+} \mu^- \bar{\nu}_\mu \rightarrow$  è anche il fondo principale
- Altri **fondi:**  $B \rightarrow D^{**} \mu \nu$ ,  $B \rightarrow D^* H_c X$  con  $H_c \rightarrow \mu \nu_\mu X$ , decadimenti con particelle mal identificate
- Importante trovare variabili cinematiche **discriminanti** tra segnale e fondo

- **Approssimazione:**

$$\gamma \beta_{z,\text{reco}} = \gamma \beta_{z,\text{total}} \Rightarrow (p_B)_z = m_B / m_{\text{reco}} \cdot (p_{\text{reco}})_z$$

→ permette di calcolare  $q^2$ ,  $E_\mu^*$ ,  $m_{\text{miss}}^2$

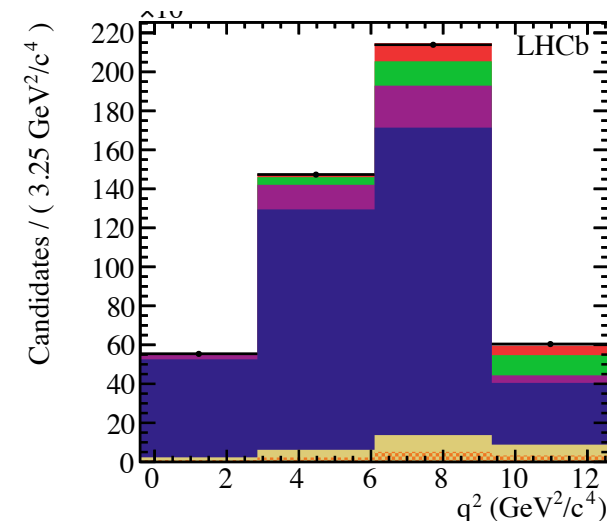
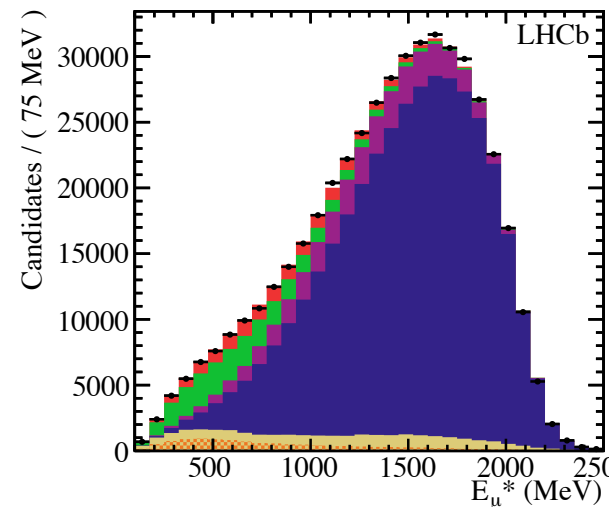
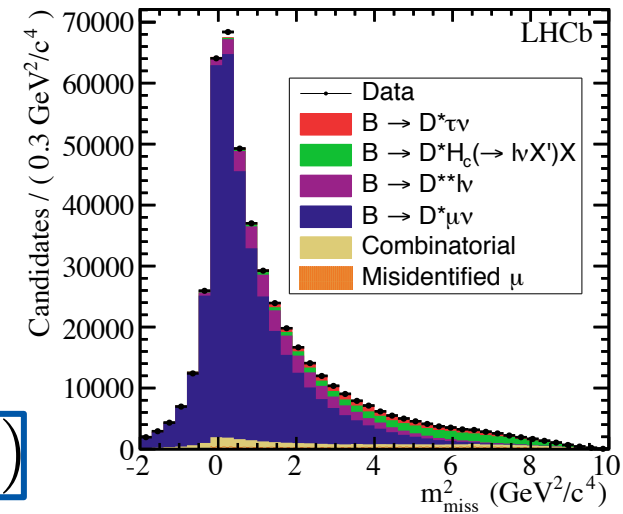
- Numero di eventi di segnale e normalizzazione ottenuti con **fit 3D** a distribuzioni di  $q^2$ ,  $E_{\mu}^*$ ,  $m_{\text{miss}}^2$  estratte da simulazioni e campioni di controllo

• **Risultato:**  $\mathcal{R}(D^*) = 0.336 \pm 0.027(\text{stat}) \pm 0.030(\text{syst})$

valore  $2.1\sigma$  più alto del valore teorico

- **Sistematico** dominato da statistica della simulazione

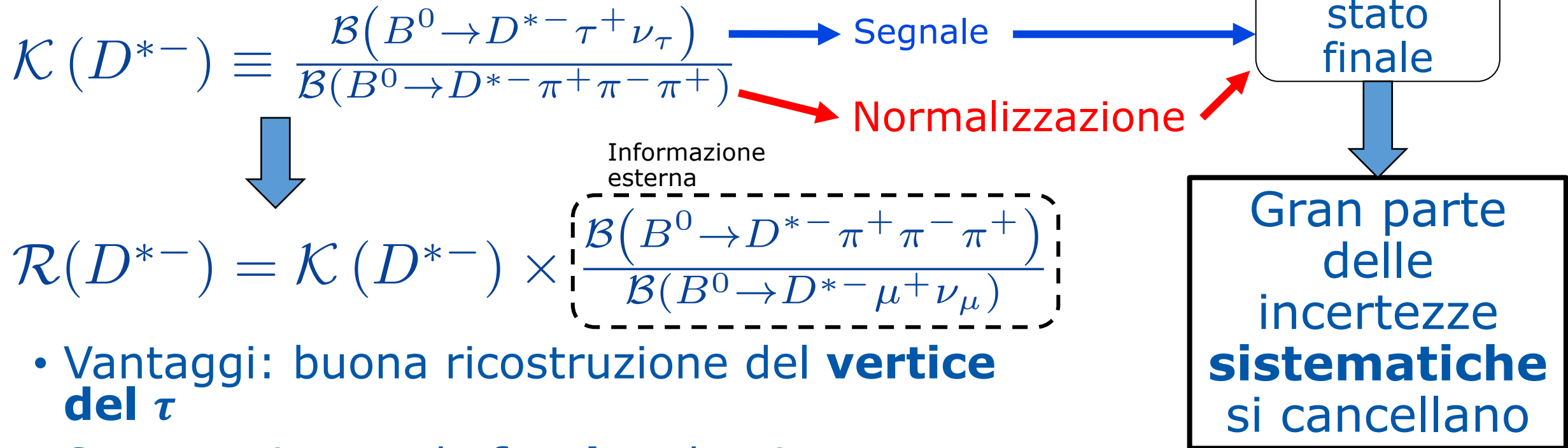
PRL **115**, 111803 (2015)



$\mathcal{R}(D^*)$  con decadimenti adronici del  $\tau$

Canale di decadimento  $\tau^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ (\pi^0) \bar{\nu}_\tau$

Sperimentalmente conviene misurare:

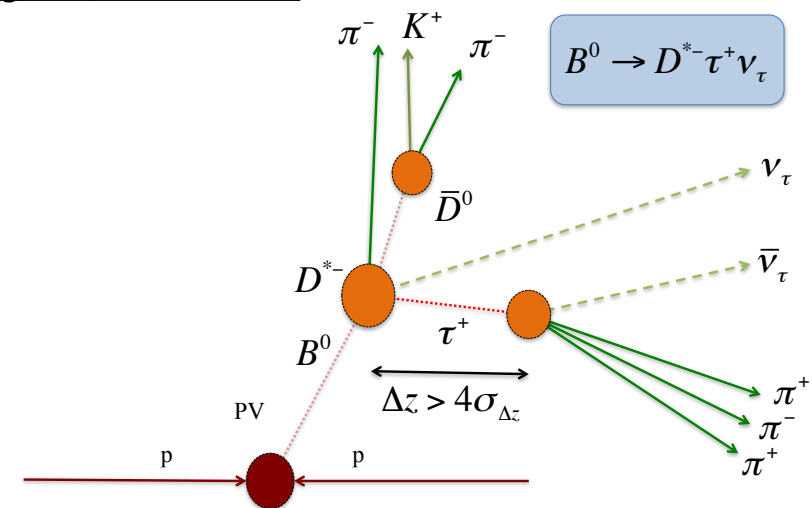


- Vantaggi: buona ricostruzione del **vertice del  $\tau$**
- Svantaggi: grande **fondo** adronico

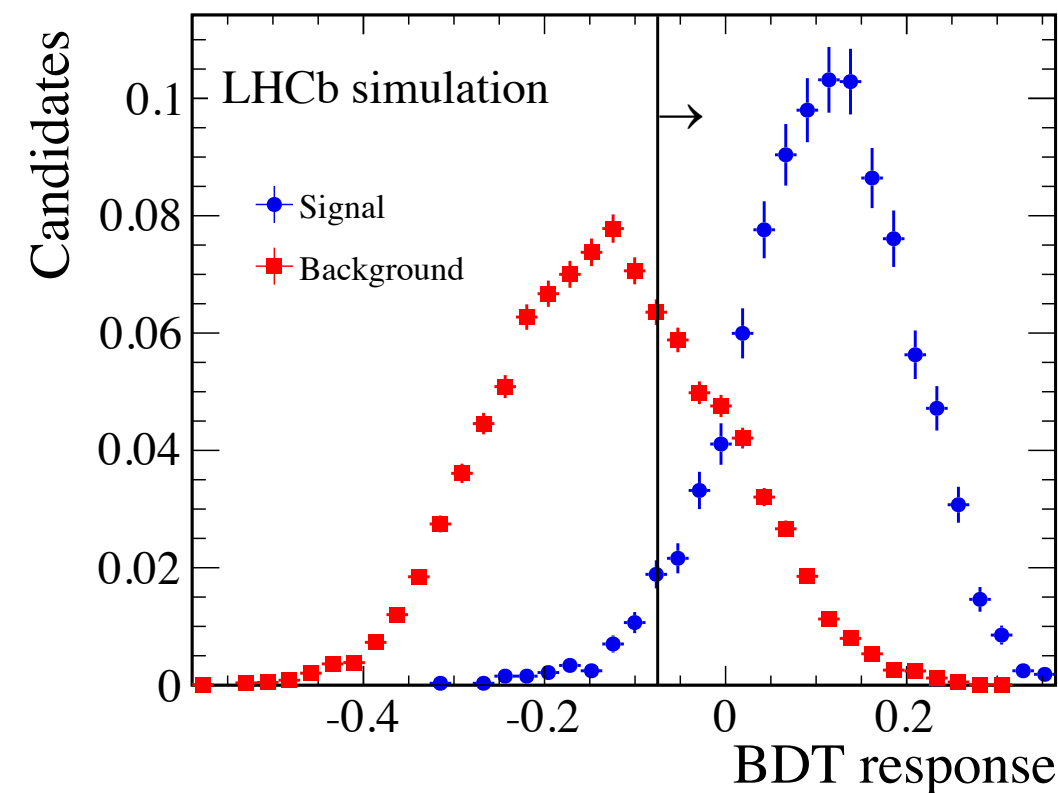


<https://arxiv.org/abs/1711.02505>

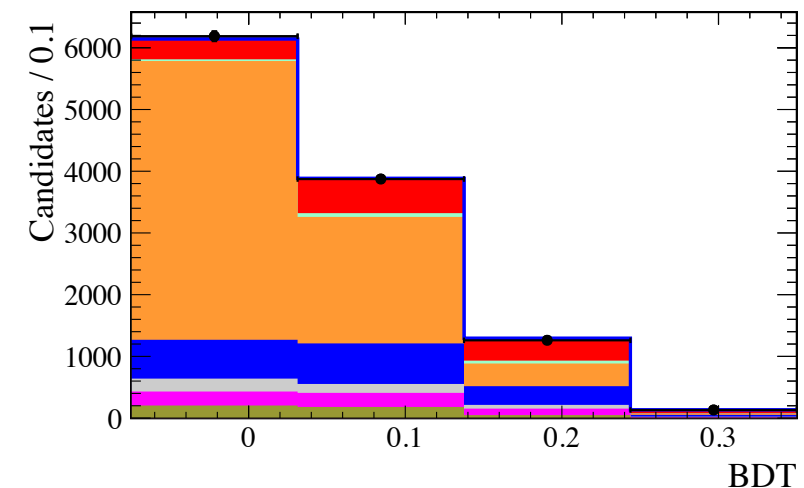
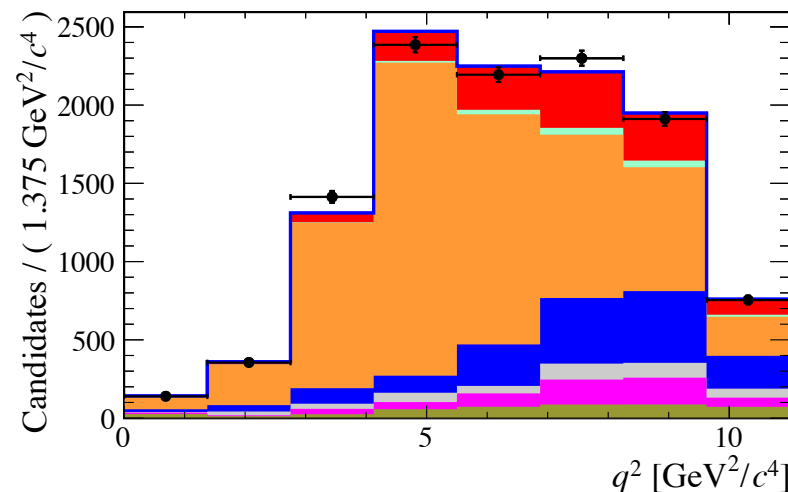
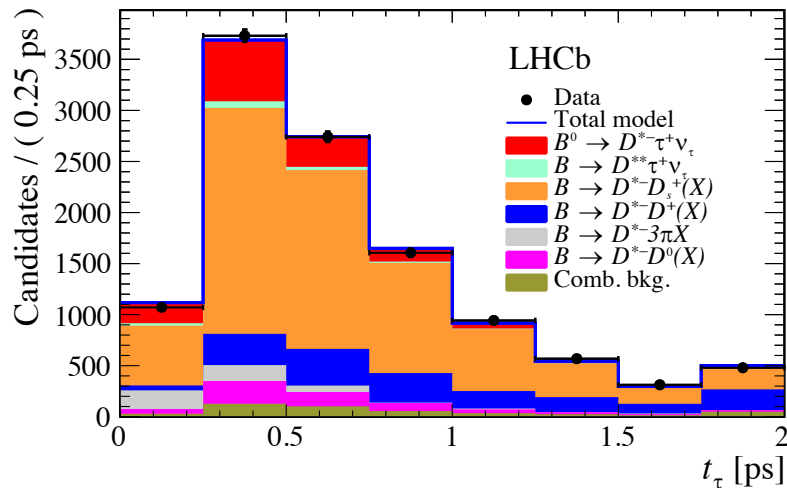
- **Fondo** dominante:  $H_b \rightarrow D^* 3\pi X$  ( $\mathcal{B} \sim 100$  volte più grande del segnale)
- soppresso richiedendo che il vertice del  $\tau$  sia **a valle** del vertice del  $B$  lungo la direzione del fascio
- Il fondo che sopravvive alla prima selezione è dominato da  $H_b \rightarrow D^* H_c X$ , con  $H_c \rightarrow 3\pi Y$   
→ esempio:  $\mathcal{B} \left( B^0 \rightarrow D^* D_s^{(*)} (\rightarrow 3\pi N) \right) \sim 4$  volte più grande del segnale
- Due diverse **ricostruzioni parziali** permettono di calcolare variabili **discriminanti** tra segnale e fondo, insieme a  $q^2$  e il **tempo di decadimento** del  $\tau$
- **Normalizzazione** ottenuta richiedendo che il vertice del  $\tau$  sia **a monte** del vertice del  $D^0$



- Segnale e fondo doppio-charm vengono discriminati addestrando una **BDT** che utilizza:
  - Variabili calcolate con le **ricostruzioni parziali**
  - Criteri di **isolamento** da tracce cariche e depositi di energia neutra
  - Dinamica del sistema  $3\pi$
- Regione ad **alta BDT** usata per estrarre il numero di eventi di segnale



- Forme **tridimensionali** di  $q^2$ , tempo di vita del  $\tau$  e risultato della BDT sono estratti da simulazioni e campioni di controllo
- Il numero di eventi di segnale è  $1273 \pm 85$ , ottenuto da un fit tridimensionale sui dati

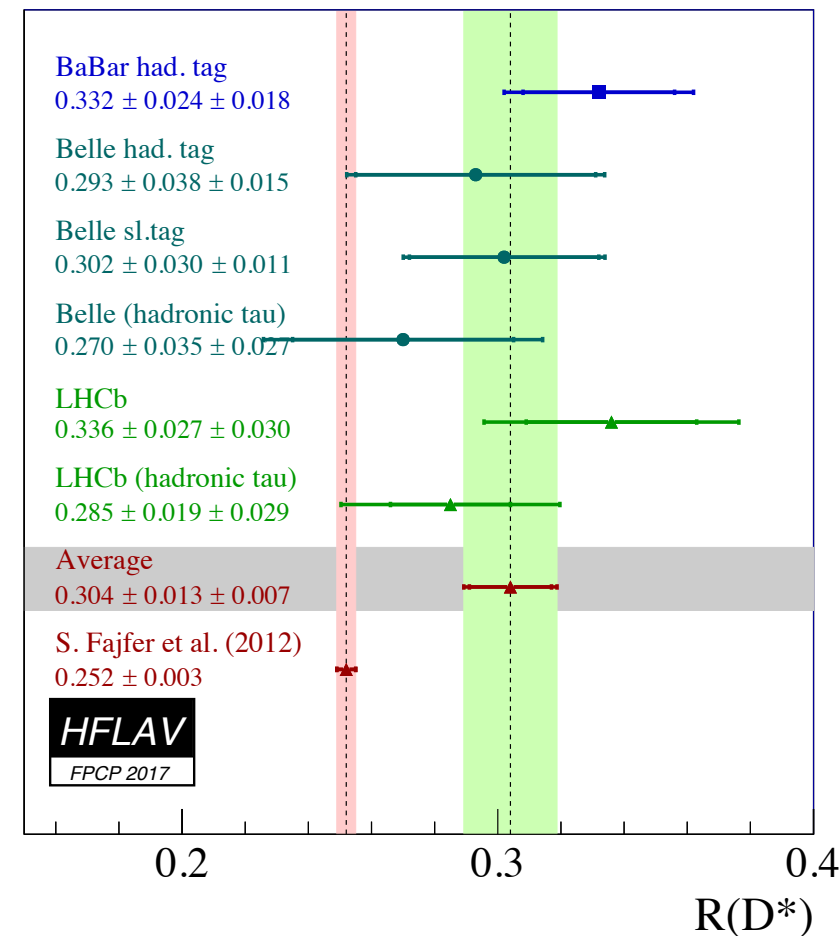


$$\mathcal{R}(D^*) = 0.286 \pm 0.019 \text{ (stat)} \pm 0.025 \text{ (syst)} \pm 0.021 \text{ (ext)}$$

<https://arxiv.org/abs/1711.02505>

$$\mathcal{B}(B^0 \rightarrow D^{*-} \tau^+ \nu_\tau) = (1.40 \pm 0.09 \text{ (stat)} \pm 0.12 \text{ (syst)} \pm 0.10 \text{ (ext)}) \times 10^{-2}$$

- **Sistematico** dominato da statistica del MC
- Una delle più **precise** singole misure di  $\mathcal{R}(D^*)$  eseguite fino a ora
- Media con la misura muonica di LHCb: consistente con la Media Mondiale e  $2.1\sigma$  sopra il MS

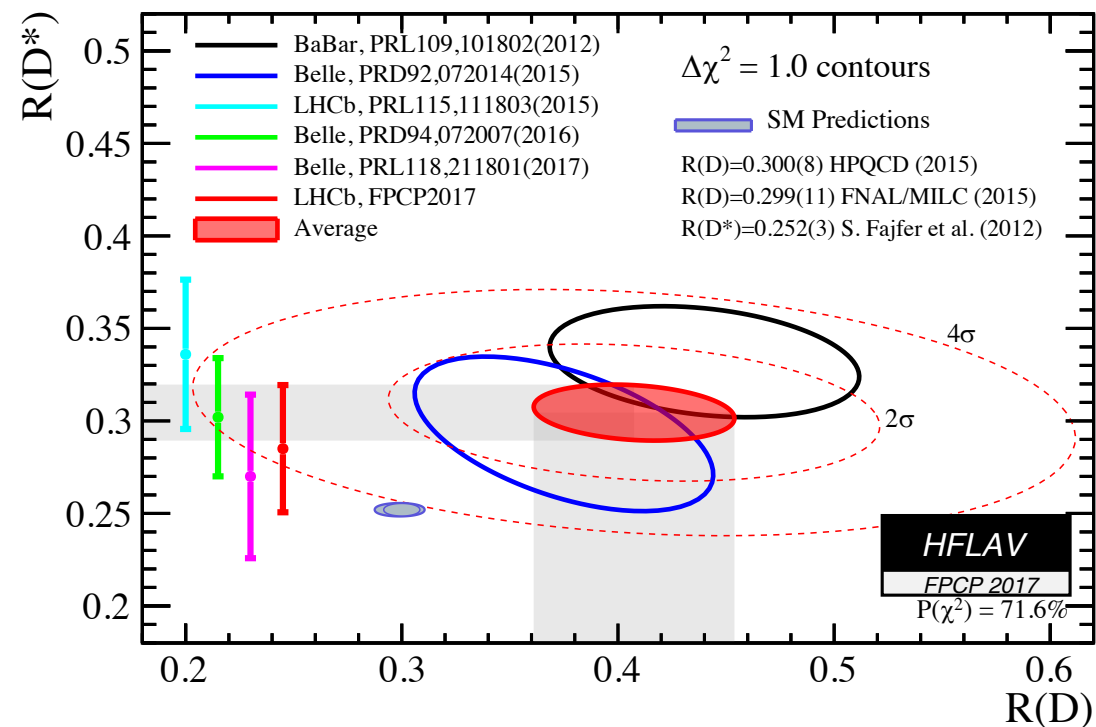


$$\mathcal{R}(D^*) = 0.286 \pm 0.019 \text{ (stat)} \pm 0.025 \text{ (syst)} \pm 0.021 \text{ (ext)}$$

<https://arxiv.org/abs/1711.02505>

$$\mathcal{B}(B^0 \rightarrow D^{*-} \tau^+ \nu_\tau) = (1.40 \pm 0.09 \text{ (stat)} \pm 0.12 \text{ (syst)} \pm 0.10 \text{ (ext)}) \times 10^{-2}$$

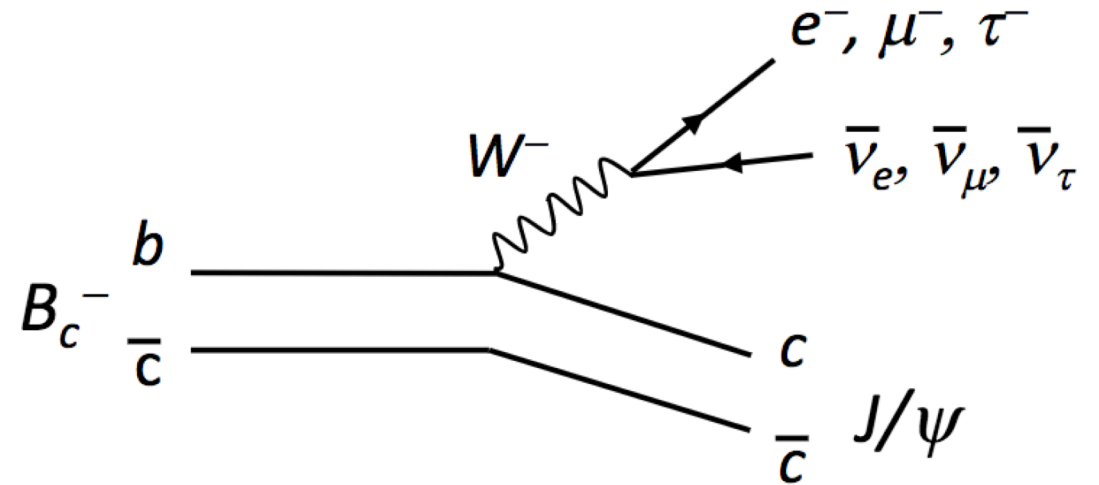
- **Sistematico** dominato da statistica del MC
- Una delle più **precise** singole misure di  $\mathcal{R}(D^*)$  eseguite fino a ora
- Combinazione di  $\mathcal{R}(D^*)$  e  $\mathcal{R}(D)$  **4.1 $\sigma$**  sopra il MS



$\mathcal{R}(J/\psi)$

$$\mathcal{R}(J/\psi) = \frac{\mathcal{B}(B_c^+ \rightarrow J/\psi \tau^+ \nu_\tau)}{\mathcal{B}(B_c^+ \rightarrow J/\psi \mu^+ \nu_\mu)}$$

- Analogo a  $\mathcal{R}(D^*)$  nel settore del  $B_c^+$
- Previsione teorica nell'intervallo **0.25-0.28** (a causa dell'incertezza sui fattori di forma) (PLB452 (2015) 129, arXiv:hep-ph/0211021, PRD73 (2006) 054024, PRD74 (2006) 074008)



PRL **120**, 121801 (2018)

- Strategia simile a  $\mathcal{R}(D^*)$  muonico
- **Segnale:**  $B_c^+ \rightarrow J/\psi \tau^+ \nu_\tau$ , con  $\tau^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu \bar{\nu}_\tau$  e  $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$
- **Normalizzazione:**  $B_c^+ \rightarrow J/\psi \mu^+ \nu_\mu \rightarrow$  è anche il fondo principale
- **Altri fondi:**
  - $B_c^+ \rightarrow J/\psi H_c$
  - $B_c^+ \rightarrow J/\psi (n\pi) \mu^+ \nu_\mu$
  - decadimenti con particelle mal identificate
  - combinatorio
- **Approssimazione** per ricavare l'impulso del  $B_c^+$

$$\gamma\beta_{z,\text{reco}} = \gamma\beta_{z,\text{total}} \Rightarrow (p_B)_z = m_B/m_{\text{reco}} \cdot (p_{\text{reco}})_z$$



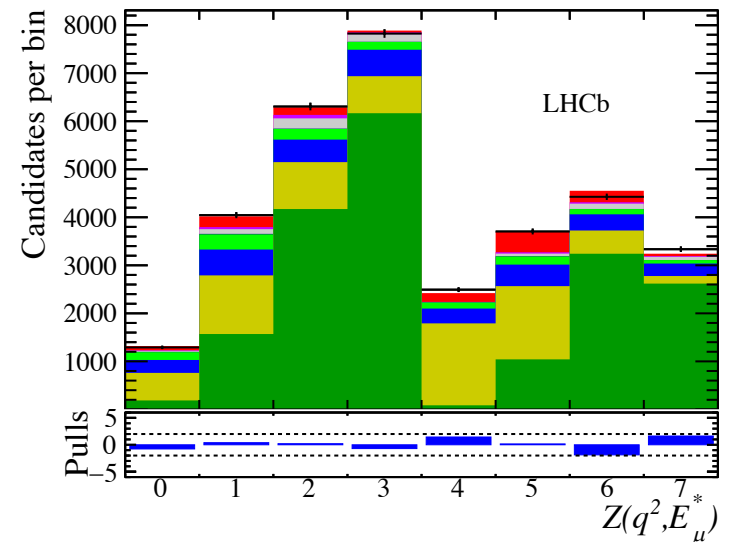
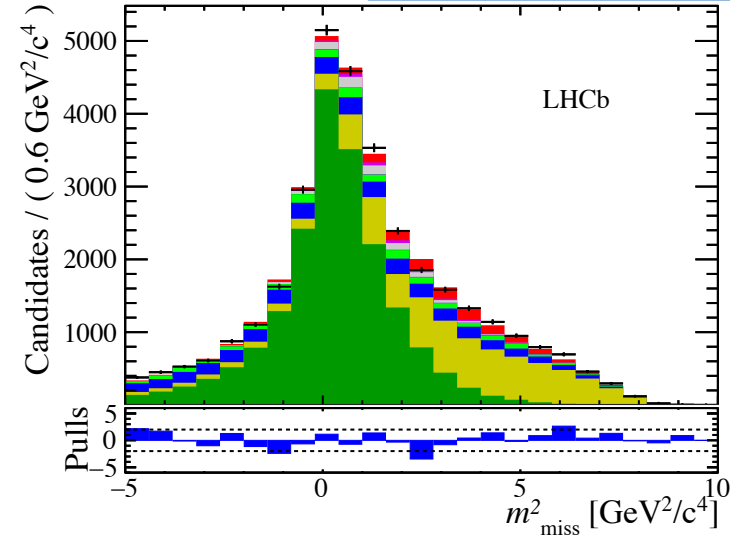
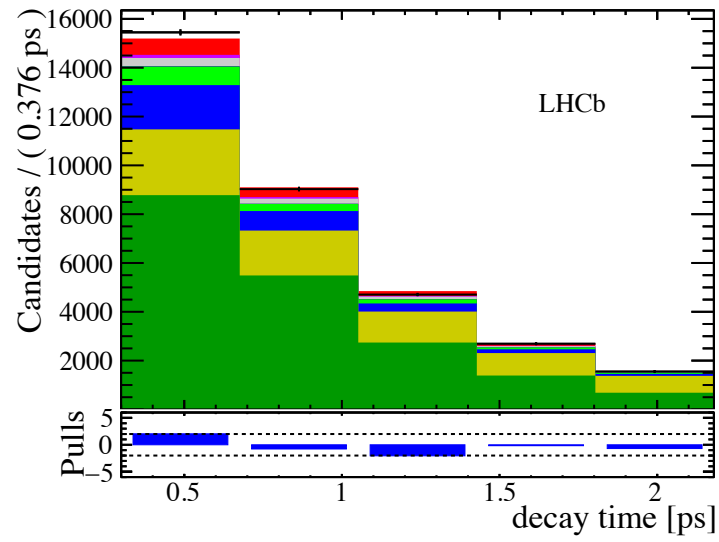
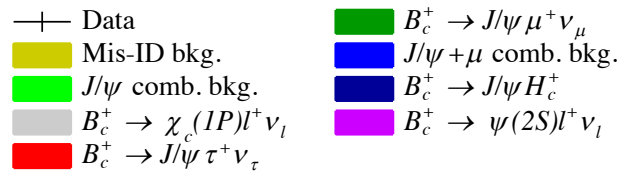
PRL **120**, 121801 (2018)

- Numero di eventi di segnale e normalizzazione ottenuti con **fit 3D** a distribuzioni di tempo di decadimento del  $B_c^+$ ,  $m_{\text{miss}}^2$  e  $Z$  (quantità discreta che rappresenta 8 bin in  $(q^2, E_\mu^*)$ )
- Distribuzioni estratte da **simulazioni** e campioni di **controllo**
- **Fattori di forma** misurati su un sottocampione di eventi di normalizzazione

$$\mathcal{R}(J/\psi) = 0.71 \pm 0.17 \text{ (stat)} \pm 0.18 \text{ (syst)}$$

PRL **120**, 121801 (2018)

- Significatività del segnale:  $3\sigma$
- **Prima** misura di  $\mathcal{R}(J/\psi)$
- Entro  $2\sigma$  dalle previsioni del MS
- **Sistematico** dominato da statistica del MC e dall'incertezza sui fattori di forma



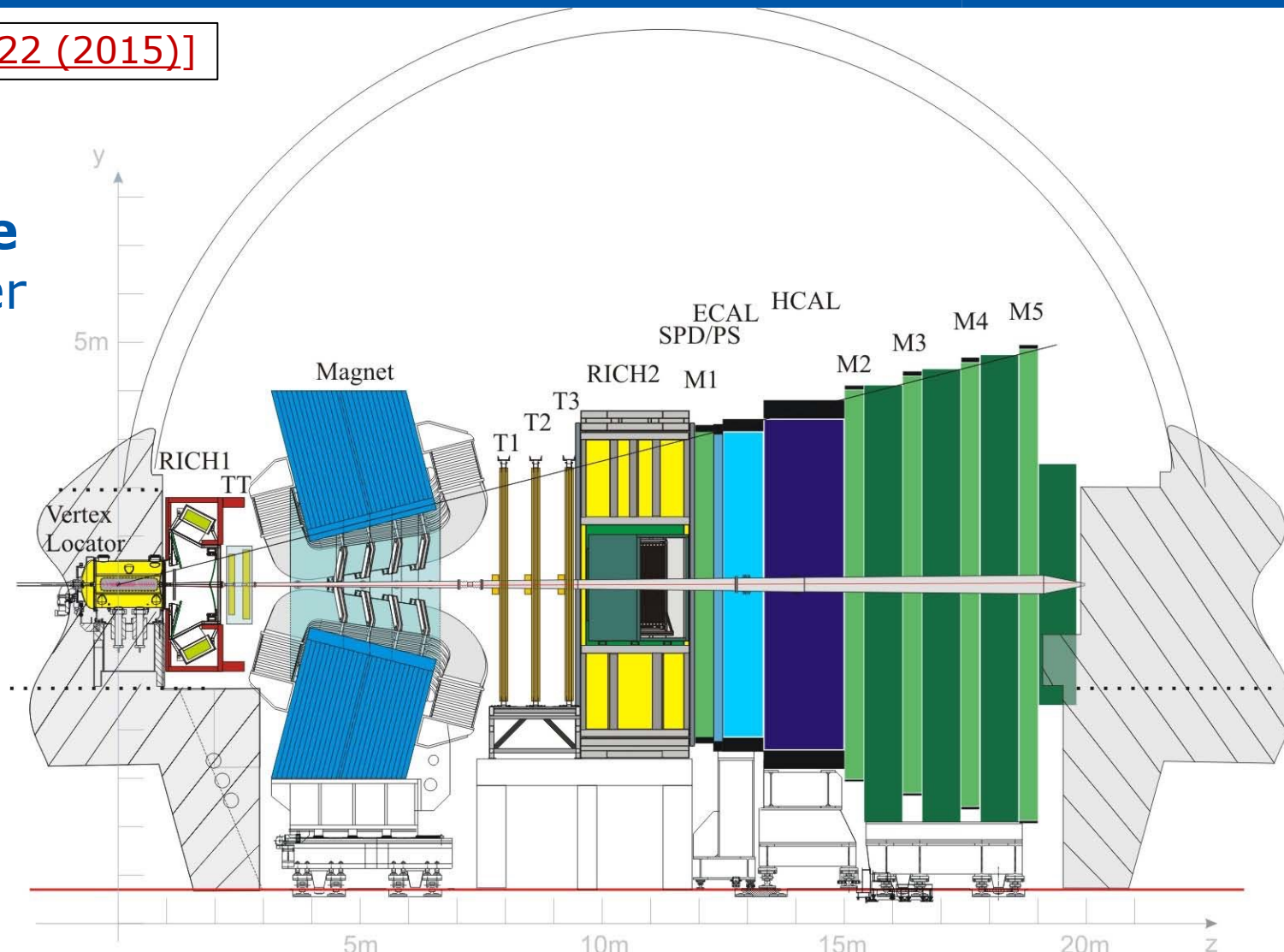
- I decadimenti **semitauonici** a LHCb sono un ottimo laboratorio per testare l'Universalità Leptonica
- Le misure di  $\mathcal{R}(D^*)$  (canale muonico e adronico del  $\tau$ ) portano la discrepanza di  $\mathcal{R}(D) - \mathcal{R}(D^*)$  a  $4.1\sigma$  dal MS
- Prima misura di  $\mathcal{R}(J/\psi)$ , compatibile con MS entro  $2\sigma$
- Nel prossimo futuro:
  - $\mathcal{R}(D^*)$  con i dati del **Run 2**  $\rightarrow$  obiettivo 3% di errore relativo statistico
  - $\mathcal{R}(D)$ ,  $\mathcal{R}(J/\psi)$ ,  $\mathcal{R}(D_s)$ ,  $\mathcal{R}(\Lambda_c)$  attualmente in corso, in entrambi i canali del  $\tau$

Slide aggiuntive

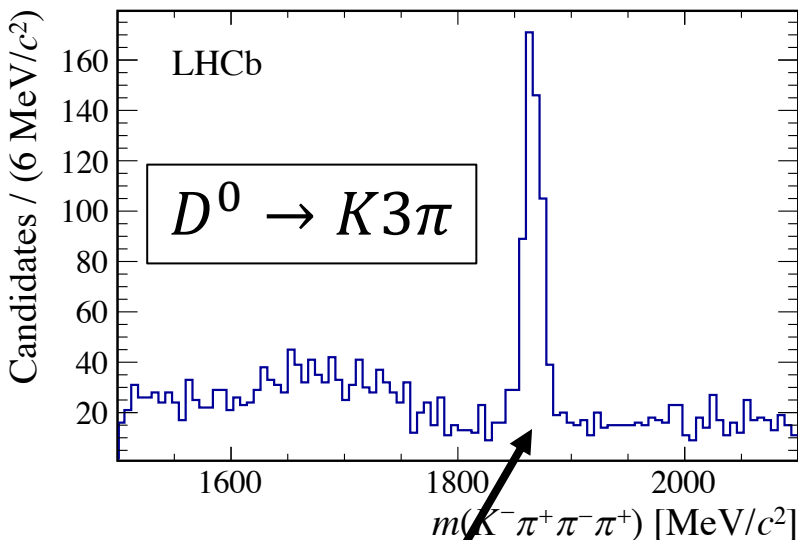
# Il rivelatore LHCb

[Int. J. Mod. Phys. A 30, 1530022 (2015)]

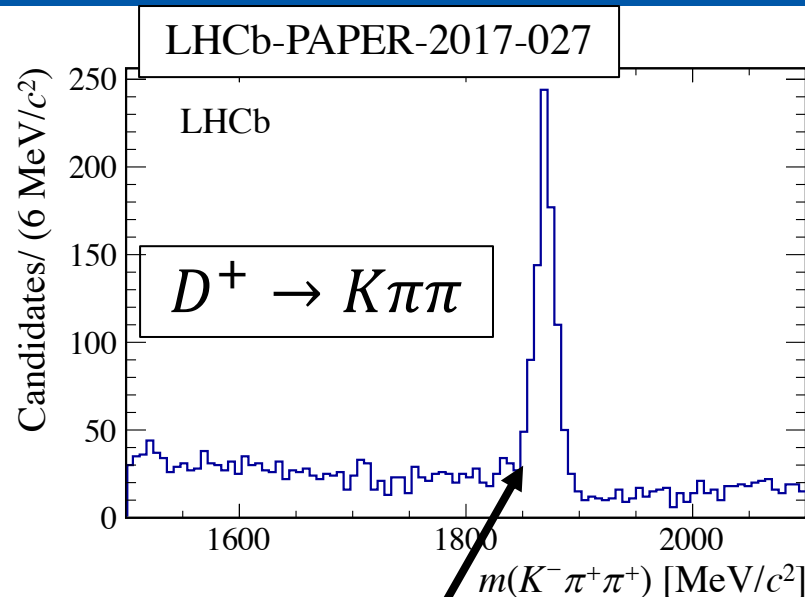
- Spettrometro a singolo braccio nel range  $2 < \eta < 5$
- Eccellente risoluzione di **vertice** ( $13 \mu\text{m}$  in nel piano trasverso per il vertice primario)
- Eccellente risoluzione di **parametro d'impatto** ( $\sim 13 \mu\text{m}$  nel piano trasverso)
- Ottima risoluzione d'**impulso** ( $\delta p/p \sim 0.5\% - 0.8\%$ )
- Eccellenti capacità di **identificazione** di particelle
- Ottima efficienza di **trigger** ( $\sim 90\%$ )



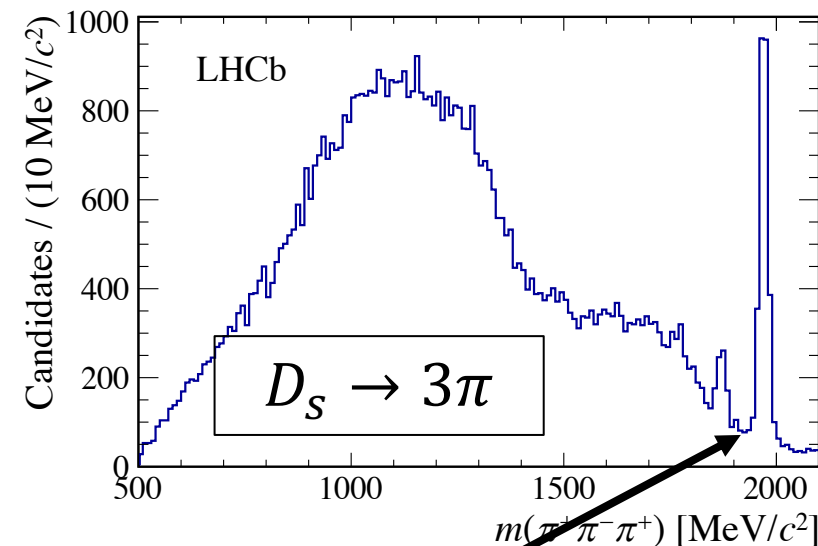
# Campioni di controllo



Taglio di **anti-isolamento**



Taglio di **anti-PID**



Puro **picco** di  $D_s$   
nello stato iniziale  
della selezione

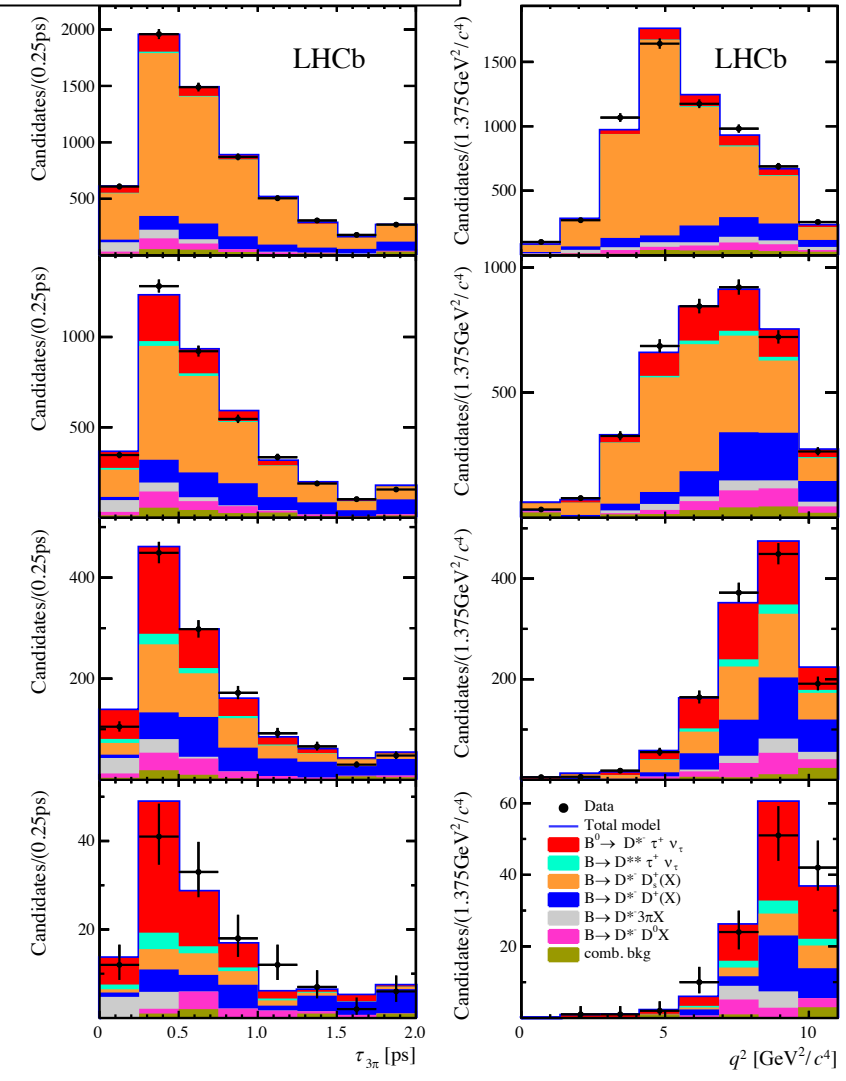
Usato per verificare **accordo** tra dati e MC

# Proiezioni del fit

LHCb-PAPER-2017-027

- Proiezioni del fit nei 4 bin di BDT
- Purezza del segnale (ross) aumenta con la BDT
- Fondo dominante ad alto BDT  $\rightarrow$  componente  $D^+$  (blu)

Bin di valori BDT sempre più alti

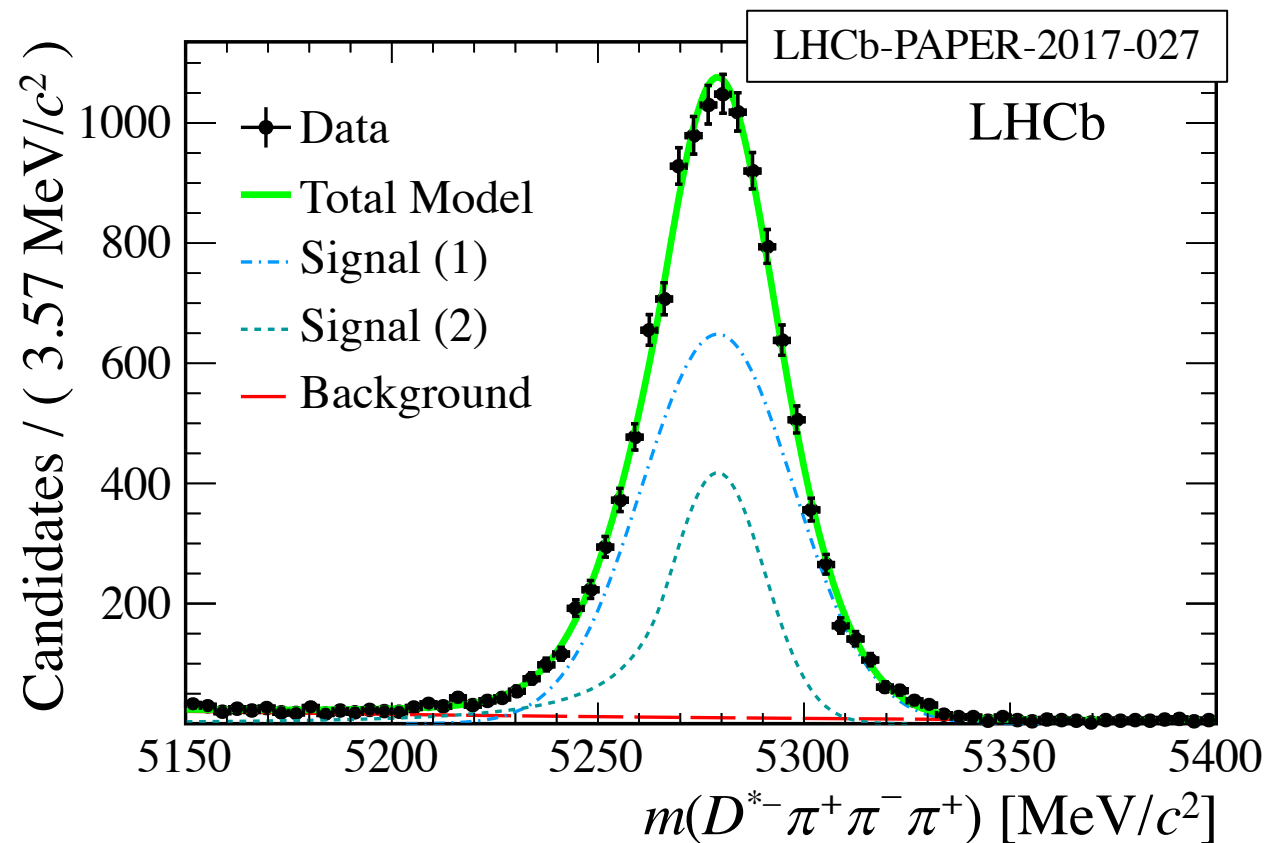


Eventi di segnale:  
 $1300 \pm 85$  candidati

$$\mathcal{K}(D^{*-}) = 1.93 \pm 0.13 \text{ (stat)} \pm 0.17 \text{ (syst)}$$



- **Normalizzazione** ottenuta richiedendo che il vertice del  $\tau$  sia a valle rispetto al vertice del  $D^0$
- Molto simile al segnale  $\rightarrow$  **sistematici** relative a trigger, identificazione di particelle e selezione si elidono
- Piccoli effetti residui sui rapporti di efficienze dovuti a diversa cinematica di  $D^*$  e  $\pi$  morbido



Fit al picco di massa del  $B^0 \rightarrow D^* 3\pi$  per estrarre il numero di eventi di normalizzazione

$\rightarrow 17657 \pm 142$  (stat)  $\pm 68$  (syst)

# $\mathcal{R}(D^*)$ adronico - sistematici

Sorgente	Errore relativo [%]
Dimensione del campione simulato	4.7
Bin vuoti nelle distribuzioni	1.3
Modello di decadimento del segnale	1.8
Presenza di $D^{**}\tau\nu$ e $D_s^{**}\tau\nu$	2.7
Modello di decadimento di $D_s \rightarrow 3\pi X$	2.5
Fondi doppio charm	3.9
Fondo combinatorio	0.7
Fondo $B \rightarrow D^{*-} 3\pi X$	2.8
Rapporto di efficienze	3.9
Efficienza del canale di normalizzazione	2.0
<b>Incertezza totale</b>	<b>9.1</b>