



# Studio dei decadimenti semileptonici del $B$

Maddalena Frosini

INFN Firenze

January 23, 2013

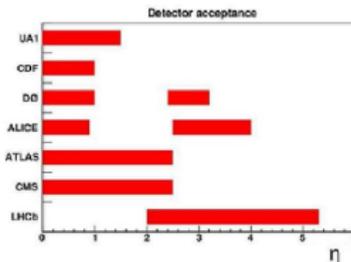
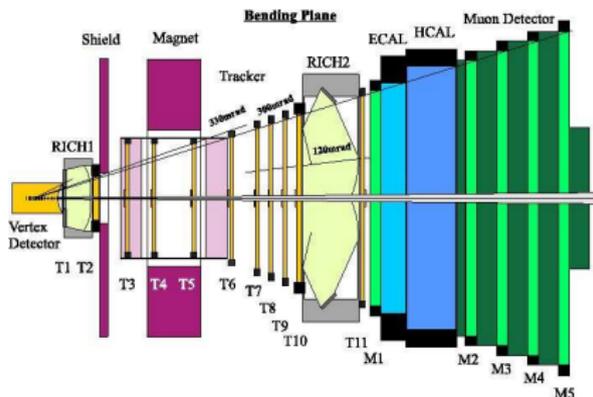
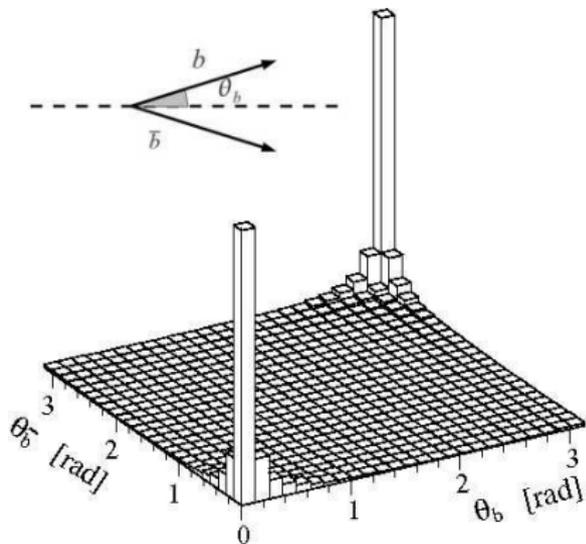
# Outline

- L'esperimento LHCb: rivelatore e condizioni di presa dati.
- Prospettive di misura nel canale  $B^0 \rightarrow D^{*-} \tau^+ \nu_\tau$ .
- Studio della tagging performance con il canale  $B^0 \rightarrow D^{*-} \mu^+ \nu_\mu$ .
- Conclusioni.

# L'esperienza LHCb

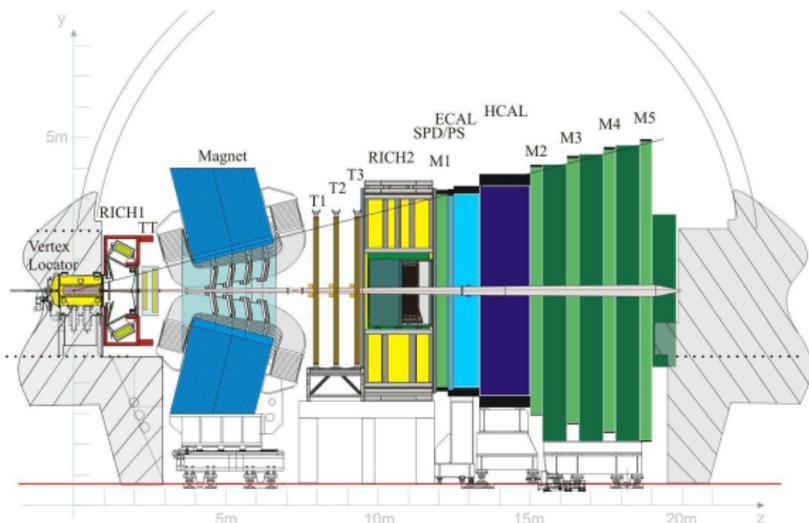
Spettrometro a braccio singolo con copertura angolare 10-300 mrad (piano di curvatura), 10-250 mrad (piano di non curvatura)

- copertura in pseudorapidità  $2 < \eta < 5$



- Esperimento dedicato alla fisica del quark  $b$ :  $b$  e  $\bar{b}$  prodotti nello stesso cono.

# L' esperimento LHCb: rivelatore



- Tracciatura: Vertex Locator, Silicon Tracker, Outer Tracker.
- Identificazione delle particelle: RICH1, RICH2, calorimetro elettromagnetico e adronico, rivelatore di muoni.
- Misura dell'impulso delle tracce: Magnete, polarità UP e DOWN.

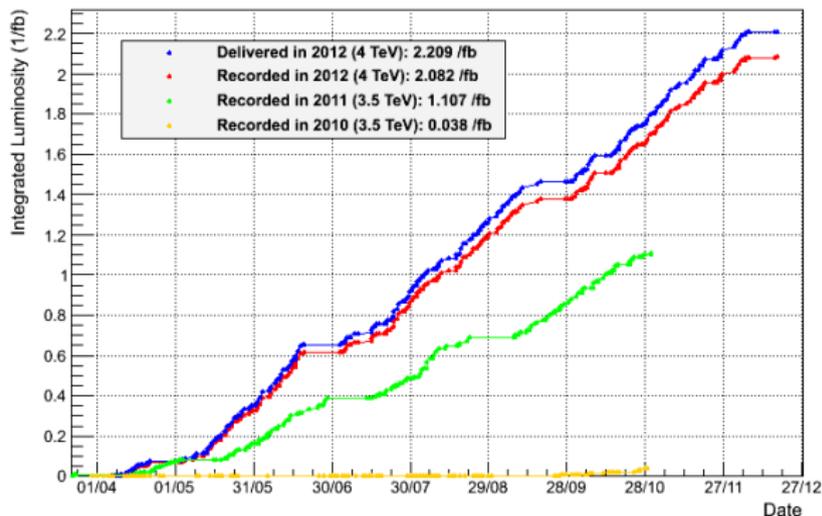
## Performance:

- Ricostruzione del vertice: risoluzione sulla misura di tempo proprio 30-50 fs.
- Identificazione dei muoni:  $\epsilon(\mu \rightarrow \mu) = 97\%$ .  $\epsilon(\pi \rightarrow \mu) = 2\%$ .
- Risoluzione sulla misura dell'impulso di tracce cariche  $\Delta p/p < 0.35\% - 0.55\%$ .

# Data taking

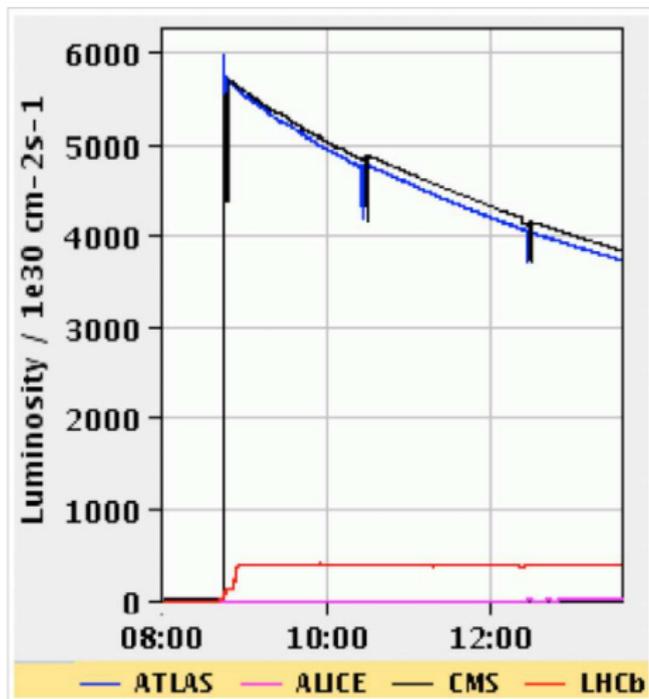
## Luminosità integrata in collisioni $pp$

LHCb Integrated Luminosity  $pp$  collisions 2010-2012



- Efficienza di presa dati  $\sim 94\%$ .
- $2.08 \text{ fb}^{-1}$  di collisioni a  $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$  (2012).
- Adesso: run  $p\text{Pb}$ .

# Luminosità

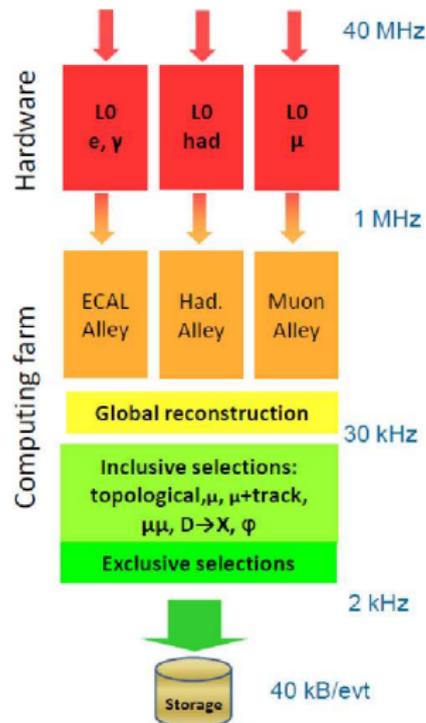


- Luminosità istantanea attuale  $\mathcal{L} \sim 4 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

# Trigger

## Struttura del trigger a LHCb

- **Level 0** trigger: trigger hardware per ridurre il flusso di dati a 1 MHz (informazioni dai calorimetri, rivelatore di muoni).
- **High Level Trigger**: trigger software in due livelli, HLT1 e HLT2. Riduce il flusso di dati a 2 kHz, per il salvataggio su disco.



# Decadimenti $B^0 \rightarrow D^{*-} \tau^+ \nu_\tau$ e $B^0 \rightarrow D^{*-} \mu^+ \nu_\mu$

## Motivazioni

- Decadimenti semileptonici dei mesoni  $B$  ben descritti dal Modello Standard:
  - $B^0 \rightarrow D^{*-} \mu^+ \bar{\nu}_\mu$  misurato con buona precisione
  - $\mathcal{B}(B^0 \rightarrow D^{*-} \tau^+ \nu_\tau) / \mathcal{B}(B^0 \rightarrow D^{*-} l^+ \nu_l)$  e  $\mathcal{B}(B^0 \rightarrow D^- \tau^+ \nu_\tau) / \mathcal{B}(B^0 \rightarrow D^- l^+ \nu_l)$  calcolati con il Modello Standard con precisione del  $\sim 6\%$
- Stati finali in  $\tau$ : massa alta  $\Rightarrow$  possibili ampiezze aggiuntive nel decadimento (es. intermediazione con Higgs carico)
- Ricerca di NP: possibili contributi soppressi nelle transizioni con leptoni leggeri (Two Higgs Doublet Models, THDMs)
- Calibrazione degli algoritmi di flavour tagging sul canale  $B^0 \rightarrow D^{*-} \tau^+ \nu_\tau$

## Prima osservazione della transizione $b \rightarrow c\tau\nu_\tau$

- Belle 2007: prima osservazione di un decadimento esclusivo del  $B$  con transizione  $b \rightarrow c\tau\nu_\tau$  (Phys. Rev. Lett. 99 191807, 2007).
- $N_s = 60_{-11}^{+12}$  (significanza 5.2) eventi di segnale osservati nel decadimento  $B^0 \rightarrow D^{*-}(D^0\pi^-)\tau^+\nu_\tau$ <sup>1</sup> in un campione di  $535 \times 10^6$  coppie  $B\bar{B}$  prodotti ad un'energia  $\Upsilon(4S)$ .
- Misura del branching ratio

$$\mathcal{B}(B^0 \rightarrow D^{*-}\tau^+\nu_\tau) = [2.02_{-0.37}^{+0.40}(\text{stat}) \pm 0.37\text{syst}] \%$$

ottenuta combinando i canali

- $D^0 \rightarrow K^-\pi^+$ ,  $\tau \rightarrow e\bar{\nu}_e\nu_\tau$
- $D^0 \rightarrow K^-\pi^+\pi^0$ ,  $\tau \rightarrow e\bar{\nu}_e\nu_\tau$
- $D^0 \rightarrow K^-\pi^+$ ,  $\tau \rightarrow \pi^-\nu_\tau$
- Previsioni dal Modello Standard:  $\simeq 1.2\%$ .

<sup>1</sup>decadimenti coniugati per carica impliciti

## Misura di BaBar

- Misura del branching ratio del decadimento  $\bar{B} \rightarrow D^{*-} \tau^+ \nu_\tau$  rispetto a  $\bar{B} \rightarrow D^{*-} l^+ \nu_l$ .  $\tau$  ricostruito in  $\tau^+ \rightarrow e^+ \bar{\nu}_e$  e  $\tau^+ \rightarrow \mu^+ \bar{\nu}_{\mu}$ .
- $\mathcal{L} = 426\text{fb}^{-1}$  collisioni a  $\sqrt{s} = 10.58\text{GeV}/c^2$  (risonanza  $\Upsilon(4S)$ )
- Normalizzazione al  $B \rightarrow D^{*-} l^+ \nu_l$ : eliminazione di alcune sorgenti di incertezza (stesso stato finale).
- Separazione basata sulla massa mancante del  $\nu$ .

$$\mathcal{R}(D)^* = \frac{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow D^{*-} \tau^+ \nu_\tau)}{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow D^{*-} l^+ \nu_l)} = 0.332 \pm 0.024 \pm 0.018$$

$$\mathcal{R}(D) = \frac{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow D^- \tau^+ \nu_\tau)}{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow D^- l^+ \nu_l)} = 0.440 \pm 0.058 \pm 0.042$$

- Stime dal Modello Standard (incertezza  $\sim 6\%$ )

$$\mathcal{R}(D)^* = 0.252$$

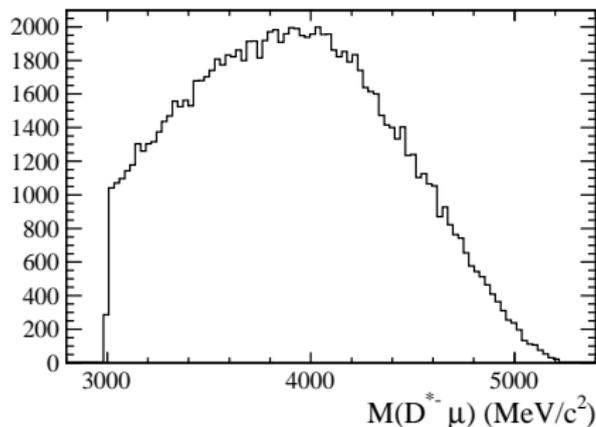
$$\mathcal{R}(D) = 0.296$$

## Prospettive di misura a LHCb

- Collider adronico: impossibile ricostruire la massa mancante del neutrino.
- $\tau$  ricostruito in  $\tau^+ \rightarrow \mu^+ \bar{\nu}_\mu \nu_\tau$ . Volo del  $\tau$  ignorato: distanza di volo paragonabile alla risoluzione del vertice

$$\begin{aligned}
 B^0 &\rightarrow D^{*-} \tau^+ \nu_\tau \\
 &\quad \hookrightarrow D^0 \pi^- \\
 &\quad \quad \hookrightarrow K^- \pi^+
 \end{aligned}$$

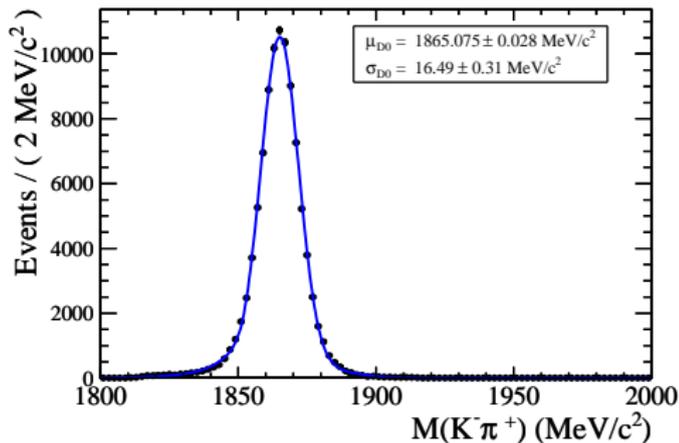
- Studio di variabili discriminanti per i  $\mu$  prodotti dal  $B^0$  e dal  $\tau$ .



# Ricostruzione del $D^0$

- Combinazione di due tracce identificate come un  $K$  e un  $\pi$ .
- Taglio sul momento e momento trasverso.
- Selezione sulla ricostruzione del vertice.

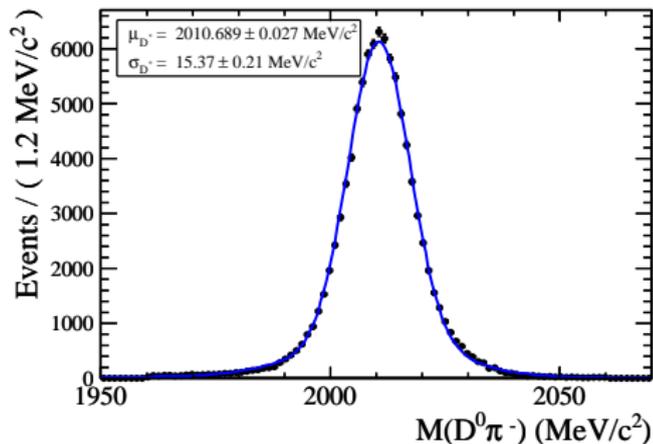
**Gauss + Crystal Ball**



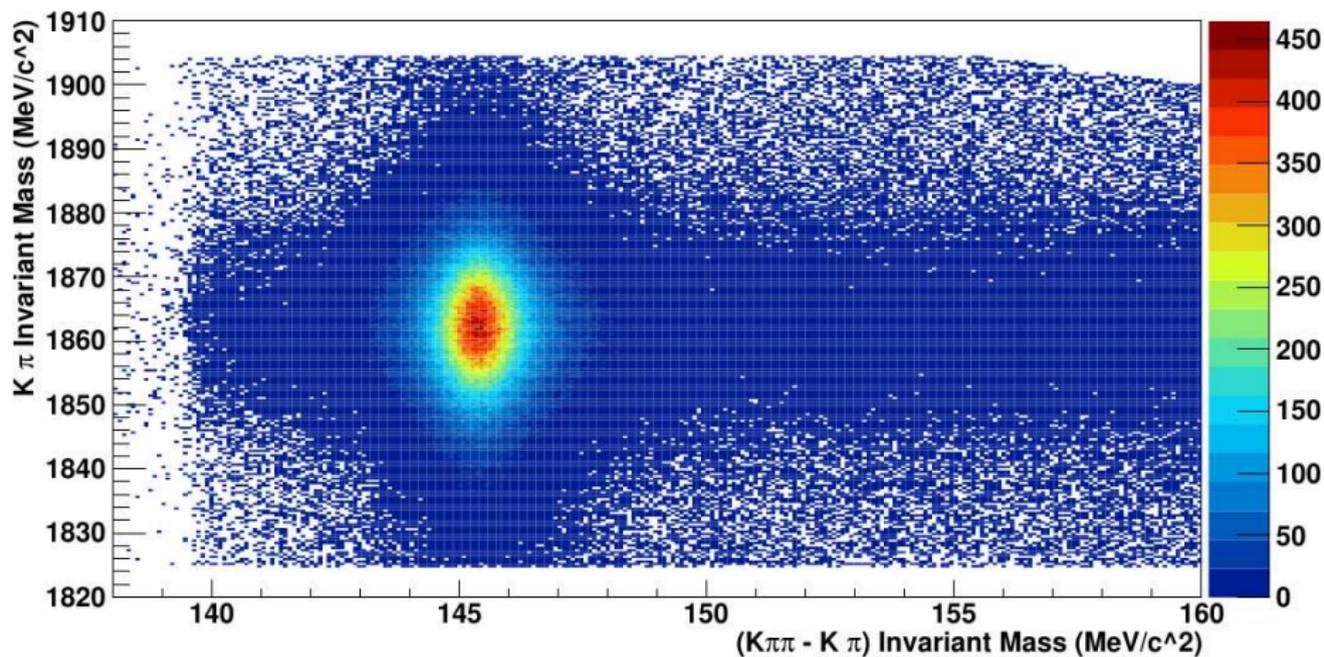
# Ricostruzione del $D^*$

- Combinazione della traccia del  $D^0$  con una traccia del  $\pi$  soffice (impulso limitato dalla differenza di massa  $D^* - D^0$ ).
- Selezione sulla ricostruzione del vertice.

Gauss + Crystal Ball



# Massa $D^* - D^0$



## Prospettive di misura a LHCb

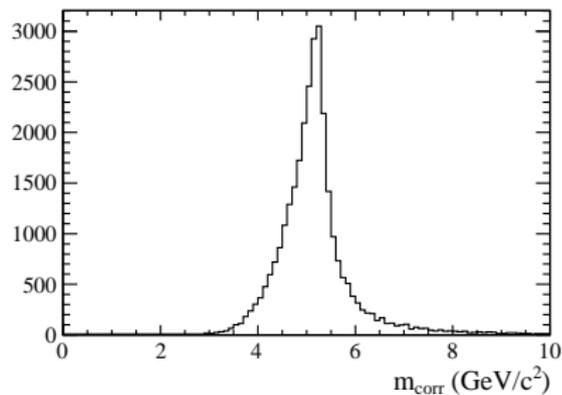
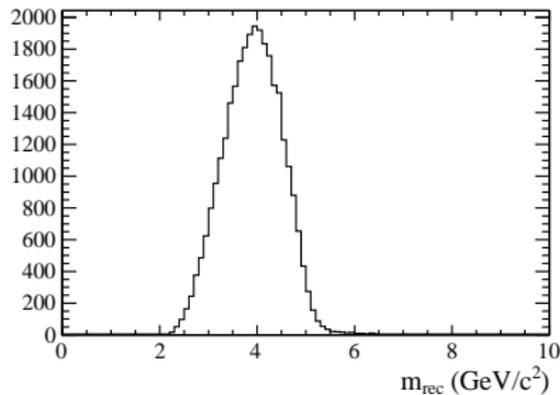
- Stima della direzione di volo del  $B \Rightarrow$  misura del momento trasverso mancante.
- Possibilità di combinare la massa trasversa mancante con la informazioni sulla cinematica del muone per costruire la massa corretta

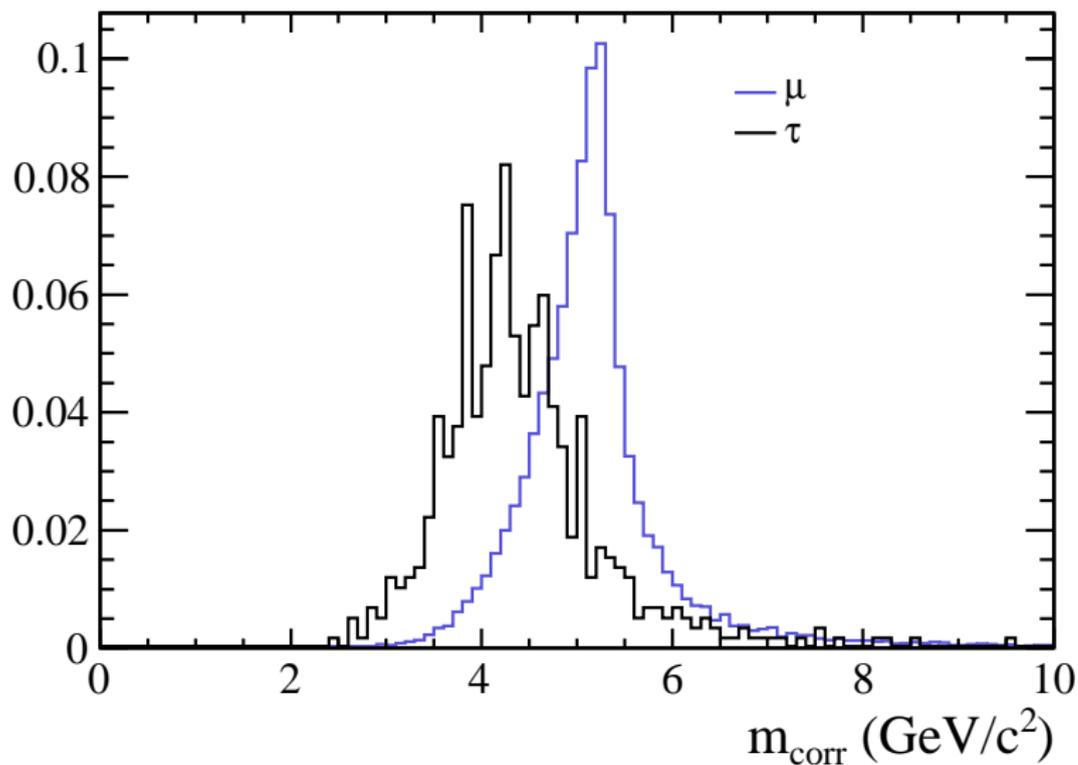
$$m_{corr} = \sqrt{m^2 + p_T^2} + |p_T|$$

- $m, p_T$  massa e impulso trasverso della somma delle tracce cariche ricostruite ( $D^{*-} \mu^+$ ).
- $m_{corr}$ : minima correzione alla massa ricostruita usando il momento trasverso (acollinearità tra la direzione di volo e il momento del vertice secondario).
- $m_{corr}$  diventa la massa della particella madre nell'ipotesi in cui la particella figlia mancante sia priva di massa.

# Massa corretta

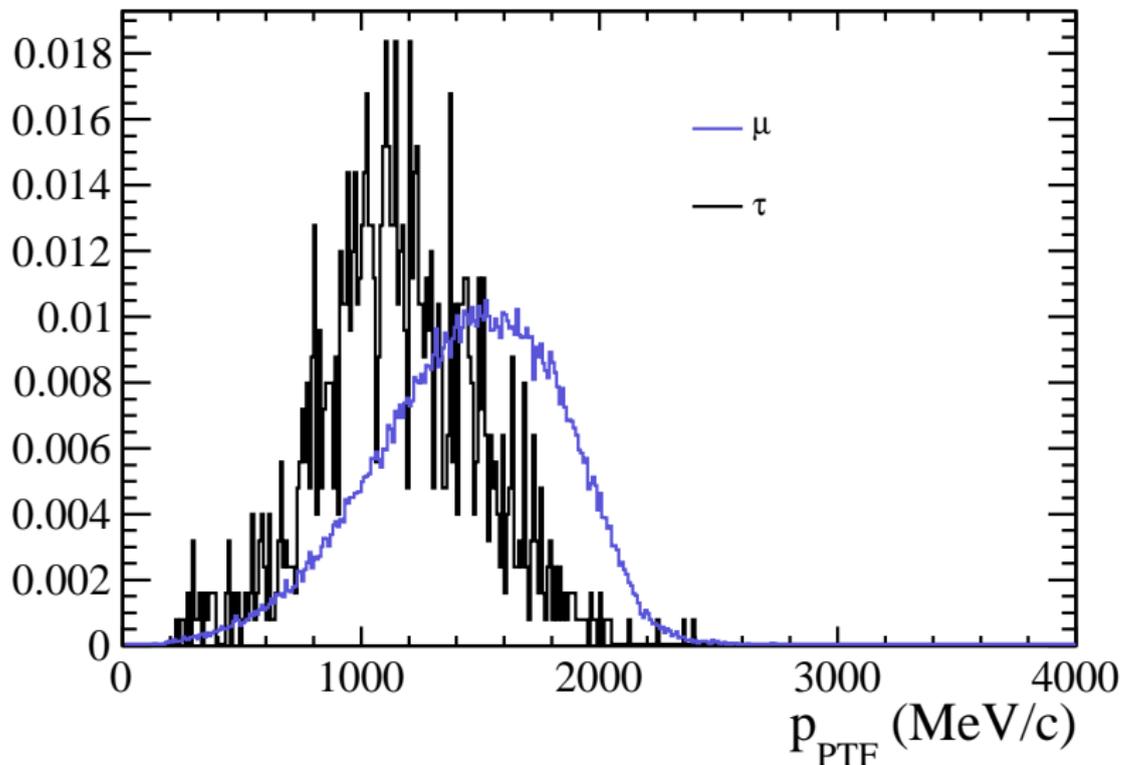
- Massa ricostruita e corretta del  $B_0 \rightarrow D^{*-} l^+ \bar{\nu}_l$



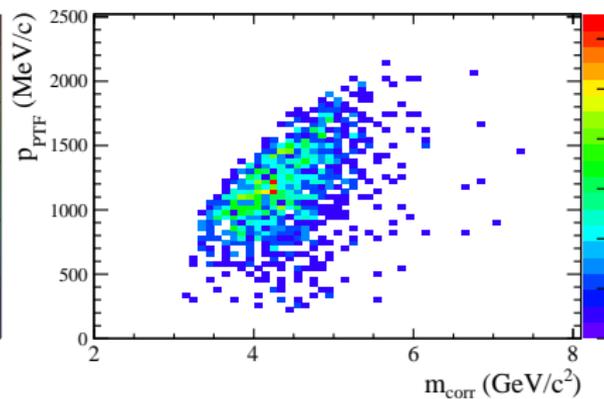
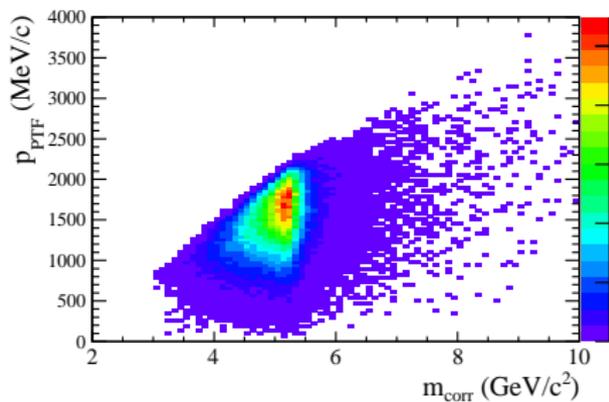
Separazione  $\tau/\mu$ 

# Impulso trasverso

Impulso trasverso alla direzione di volo del  $B$  ( $\mu/\tau$ )



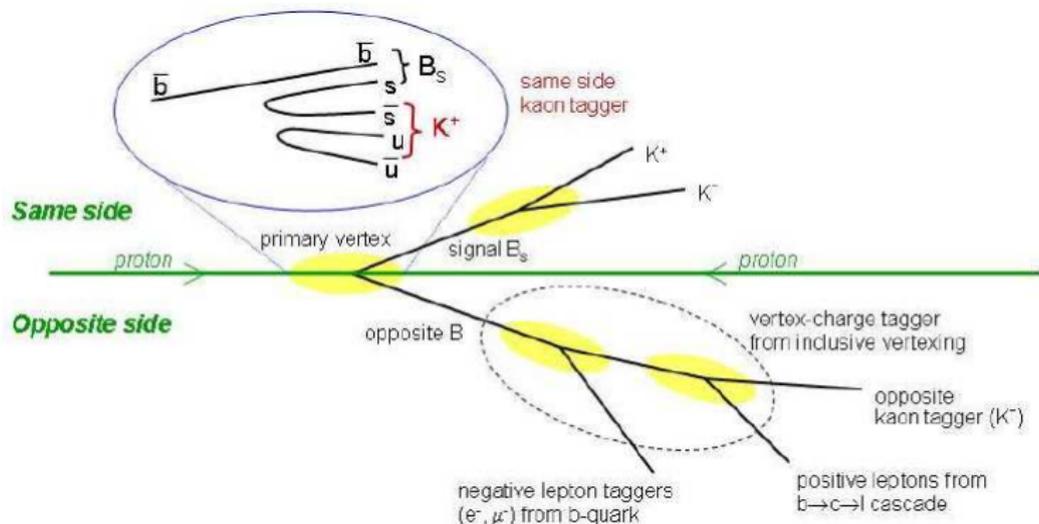
# Massa corretta vs $p_{PTF}$



# Flavour tagging

Identificazione del flavour iniziale del candidato  $B$  mediante due tipi di algoritmi:

- *opposite-side taggers*, basati su  $\mu$ ,  $\pi$ ,  $K$  e vertici secondari;
- *same-side taggers*, basati su  $K$  e  $\pi$



## Tagging performance con i canali semileptonici

Canale semileptonico  $B^0 \rightarrow D^{*-} \mu^+ \nu_\mu$

- complementare ai canali di controllo del  $B^+$  (es.  $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$ );
- alto branching ratio che permette studi più accurati

Tagging power (effettiva riduzione statistica del campione di eventi, legata alla sensibilità nelle misure di violazione di  $CP$ )

$$\varepsilon_{eff} = \varepsilon_{tag} D^2 = \varepsilon_{tag} (1 - 2\varepsilon)^2$$

- $\varepsilon_{tag}$  efficienza di tagging,  $D$  fattore di diluizione.
- mistag

$$\omega = \frac{W}{W + R}$$

frazione di eventi taggati non correttamente. Determinata paragonando la decisione dell'algoritmo di tagging (tag alla produzione) con la carica del  $\mu$ .

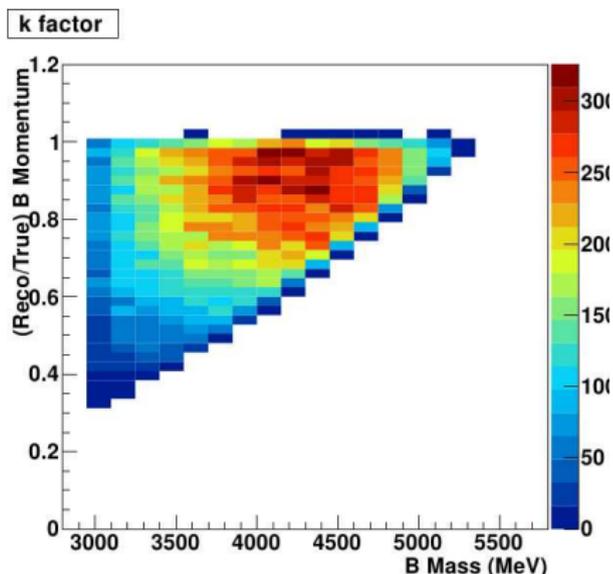
# Misura della mistag

- $\omega$  determinata in funzione del tempo di decadimento del  $B^0$  (oscillazioni del  $B^0$ )  
 $t = L_B \cdot m_B / p_{BC}$

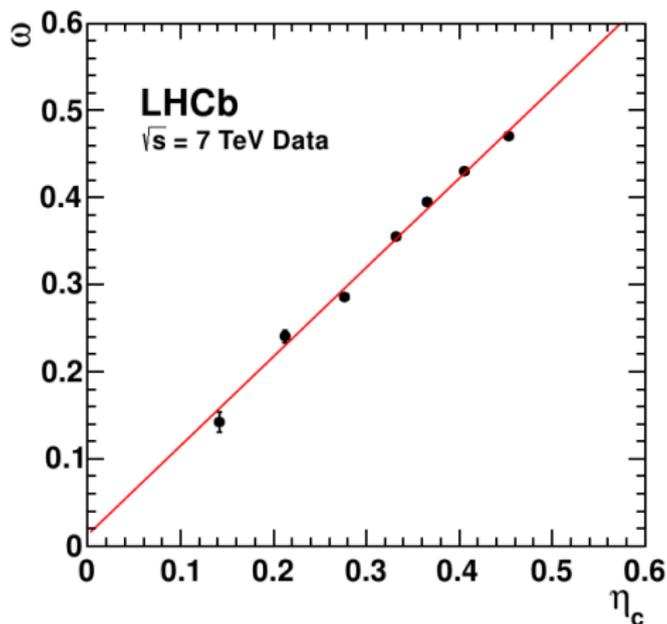
- Correzione statistica all'impulso ricostruito determinata dal MC (per considerare il momento mancante del neutrino)

$$k = \frac{p(D^{*-} \mu^+)}{p_B^{true}}$$

- $p(D^{*-} \mu^+)$  impulso misurato delle tracce cariche rivelate (ricostruito).
- $p_B = p(D^{*-} \mu^+) / k$  impulso corretto.



# Probabilità di mistag



- Mistag misurata  $\omega$  vs probabilità di mistag (probabilità che la decisione di tag presa dagli algoritmi non sia corretta, valutata con una rete neurale sul MC utilizzando le proprietà cinematica dell'evento).

# Conclusioni

- Studio dei decadimenti semileptonici  $B^0 \rightarrow D^{*-} \mu^+ \nu_\mu$  e  $B^0 \rightarrow D^{*-} \tau^+ \nu_\tau$ : possibili evidenze di nuova fisica.
- Misura del rapporto di branching ratio  $\mathcal{B}(B^0 \rightarrow D^{*-} \tau^+ \nu_\tau) / \mathcal{B}(B^0 \rightarrow D^{*-} l^+ \nu_l)$ .
- Variabili  $m_{corr}$  e  $p_{PTF}$ : promettenti per la separazione del  $\mu$  prodotto direttamente e da  $\tau$ . Altre variabili sotto studio (vertice  $D^0 \mu$ ) per la costruzione di un'analisi multivariata.
- Calibrazione degli algoritmi di flavour tagging tramite il canale  $B^0 \rightarrow D^{*-} \mu^+ \nu_\mu$ : misura della  $\varepsilon_{eff}$  e della mistag  $\omega$  (effetti del fondo di  $B^+$ , sistematico sulla risoluzione temporale).