



STUDIO DI DECADIMENTI SEMILEPTONICI DI ADRONI B IN STATI
FINALI CONTENENTI LEPTONI TAU A LHCb
INFN E UNIVERSITÀ DI FERRARA

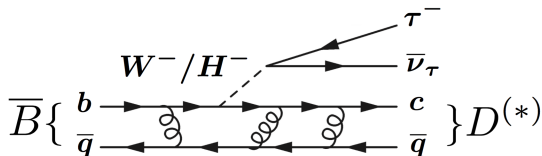
ON BEHALF OF LHCb COLLABORATION

BENEDETTO SIDDI

24 SETTEMBRE 2015

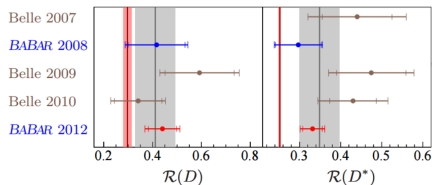
DECADIMENTI SEMILEPTONICI DEL MESONE B IN STATI FINALI CON τ

- L'universalità leptonica descritta nel modello standard, afferma l'uguaglianza nell'accoppiamento tra bosoni di gauge e le tre famiglie leptoniche.
- Estensioni del modello standard contengono interazioni aggiuntive che implicano un accoppiamento più forte con la terza generazione di leptoni.
- I decadimenti semileptonici in τ di adroni contenenti quark **b** possono essere una sonda sensibile a questo tipo di effetti di **nuova fisica**.
- La presenza di addizionali bosoni di Higgs carichi, richiesti spesso da questi modelli, possono avere effetti significativi nel rate dei decadimenti semitaucnici $\bar{B}^0 \rightarrow D^{*+} \tau^- \bar{\nu}_\tau$.



$R(D^*)$ A INIZIO 2015

I risultati sperimentali a inizio 2015 sono in tensione con la previsione dello SM di [Fajfer et al., 2012] in particolare, l'esperimento *BABAR* nel 2012 ha trovato una discrepanza rispetto al MS di $R(D^*)$ pari a 2.7σ



[Lees et al., 2012]
[Bozek et al., 2010]

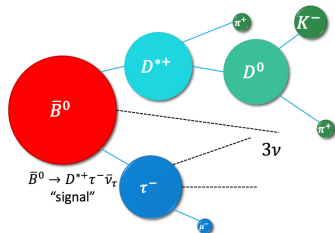
$$R(D^*) = \frac{\mathcal{B}(\bar{B}^0 \rightarrow D^{*+} \tau^- \bar{\nu}_\tau)}{\mathcal{B}(\bar{B}^0 \rightarrow D^{*+} \mu^- \bar{\nu}_\tau)}$$

e

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

DECADIMENTI SEMITAUCONICI IN LHCb

In LHCb la quantità $R(D^*)$ è stata misurata mediante il modo di decadimento $\tau^- \rightarrow \mu^- \nu_\tau \bar{\nu}_\mu$ usando i $3fb^{-1}$ di dati raccolti dall'esperimento nel 2011 e 2012.



○ Segnale e normalizzazione.

- $B \rightarrow D^* \mu \nu$
- $B \rightarrow D^* \tau \nu$

○ Background semileptonico

- $B \rightarrow (D^{**} \rightarrow D^* \pi)(\mu, \tau) \nu$ (B^0 e B^+)
- $B_s \rightarrow (D_s^{**} \rightarrow D^* K^0) \mu \nu$
- $B \rightarrow (D^{**} \rightarrow D^* \pi \pi) \mu \nu$ (B^0 e B^+)

○ Background dovuto a catene di decadimento

- $B \rightarrow D^* [X_c \rightarrow \mu \nu X] Y$ (B^0 e B^+)
- $B \rightarrow D^* [D_s \rightarrow \tau \nu] X$ (B^0 e B^+)

○ Altre fonti di background

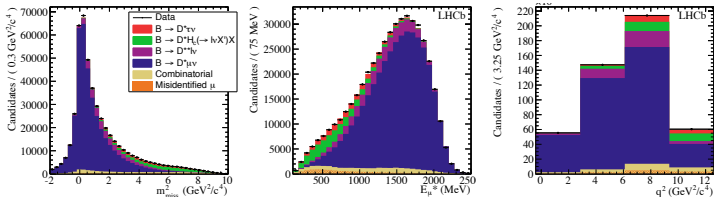
- fondo combinatorio
- misidentificazione del muone in decadimenti adronici parzialmente ricostruiti

○ Evento ricostruito nel sistema di riferimento in cui il B è a riposo, assumendo $\gamma_{\beta_z, D^* \mu} = \gamma_{\beta_z, B}$, per avere accesso alle variabili cinematiche m_{missing}^2 , E_μ , q^2

○ Un'analisi multivariata rimuove il fondo generato da tracce cariche extra



DECADIMENTI SEMITAUCONICI IN LHCb: $\bar{B}^0 \rightarrow D^{*+} \tau^- \bar{\nu}_\tau$ CON $\tau^- \rightarrow \mu^- \nu_\tau \bar{\nu}_\mu$



LHCb ha misurato:

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

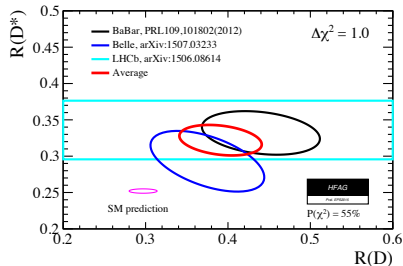
[Aaij et al., 2015]

Una nuova misura di Belle è stata rilasciata nel 2015 e fornisce un valore di

$$R(D^*) = 0.293 \pm 0.038(\text{stat.}) \pm 0.015(\text{syst.})$$

[Huschle et al., 2015]

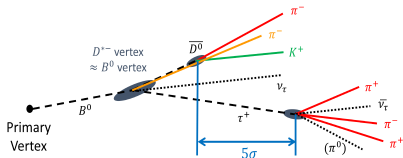
La fonte maggiore di errore sistematico è dovuta alla statistica Monte Carlo relativamente povera e alla parametrizzazione dei muoni misidentificati (rispettivamente 2% e 1.6%).



$$B^0 \rightarrow D^{*-} \tau^+ \nu_\tau \text{ CON } \tau^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \bar{\nu}_\tau$$

Un altro metodo per misurare $R(D^*)$ è attraverso il canale di decadimento del leptone τ in adroni con tre pioni carichi nello stato finale ($\tau^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \bar{\nu}_\tau$).

- Consente la ricostruzione del vertice di decadimento del τ ; questo fornisce un potente strumento per la discriminazione del fondo dovuto ai decadimenti adronici del B .
 - $B \rightarrow D^* 3\pi X$
 - $B \rightarrow D^*(D_s \rightarrow 3\pi)X$
- $\frac{BR(B^0 \rightarrow D^* 3\pi + N)}{BR(B^0 \rightarrow D^* \tau \nu)_{SM}} \sim 100$
- Il fondo da decadimenti del B in $D^* 3\pi$ è soppresso (di un fattore 10^4) richiedendo che il vertice dei 3 pioni sia significativamente (5σ) a valle del vertice del D^0 .
- Evita il difficile compito di discriminare gli eventi di segnale $B^0 \rightarrow D^{*-} \tau \nu_\tau$ quando il τ decade leptonicamente.
- Background derivante soprattutto da:

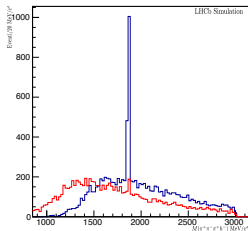
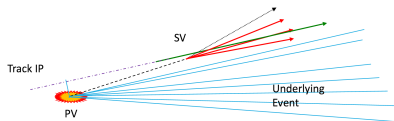


$$B^0 \rightarrow D^{*-} \tau^+ \nu_\tau \text{ CON } \tau^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \bar{\nu}_\tau$$

- I fondi rimanenti sono dovuti a decadimenti del B in cui il vertice dei 3 pioni viene “trasportato” da un mesone con charm (D_s , D^+ o D^0) che decade in $3\pi + X$.

$$\frac{BR(B^0 \rightarrow D^* D_{(s)}^{(*)}; D_{(s)}^{(*)} \rightarrow 3\pi + X)}{BR(B^0 \rightarrow D^* \tau \nu)_{SM}} \sim 10$$

- Questo fondo viene soppresso andando a cercare tracce cariche o neutre aggiuntive in un cono di data apertura attorno alla direzione di volo dei tre pioni



- Esempio di massa invariante in eventi in cui è stato trovato un K (blu) o un π (rosso) aggiuntivo. Gli eventi compresi in una finestra di massa $\pm 20 \text{ MeV}/c^2$ attorno alla massa del D^0 sono scartati.

RICOSTRUZIONE DEL DECADIMENTO $B^0 \rightarrow D^* \tau \nu$.

- In LHCb, la direzione del leptone $\tau (\rightarrow 3\pi)$ può essere ricostruita approssimativamente a partire dal vertice comune dei tre pioni carichi e l'intersezione della direzione del D^{*-} .
- Ipotizzando che i tre pioni carichi derivino dal decadimento del τ , l'impulso del leptone può essere calcolato in questo modo:

$$|\vec{p}_\tau| = \frac{(m_{3\pi}^2 + m_\tau^2) |\vec{p}_{3\pi}| \cos\theta \pm E_{3\pi} \sqrt{(m_\tau^2 - m_{3\pi}^2)^2 - 4m_\tau^2 |\vec{p}_{3\pi}|^2 \sin^2\theta}}{2(E_{3\pi}^2 - |\vec{p}_{3\pi}|^2 \cos^2\theta)}$$

with θ : angle between τ and 3π

- Esiste un punto cinematico dove la radice quadrata scompare, e questo punto è dato dall'angolo θ_{max} .

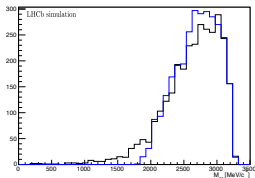
$$\theta_{max} = \arcsin \left(\frac{m_\tau^2 - m_{3\pi}^2}{2m_\tau |\vec{p}_{3\pi}|} \right)$$

- Una volta ricostruito l'impulso del τ è possibile applicare lo stesso metodo per ricostruire il momento del B^0 di segnale e quello dovuto al fondo $D^* 3\pi + \dots$ e $D^* D_{(s)}^{(*)}$.

RICOSTRUZIONE DEL DECADIMENTO $B^0 \rightarrow D^* \tau \nu$.

- Questo metodo ci consente di ricostruire l'impulso del τ e del B^0 . Questo ci permette inoltre di ricostruire il **tempo di decadimento del τ** e la **massa del W virtuale**.

Massa W virtuale



τ Decay Time

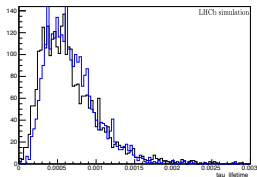
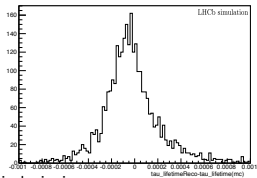
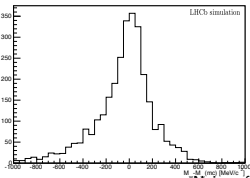


Figura: In nero la massa del W virtuale ricostruita e in blu la verità Monte Carlo.

Figura: In nero il tempo di decadimento ricostruito e in blue la verità Monte Carlo.



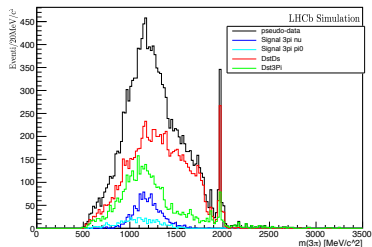
Nei grafici in basso sono mostrate le risoluzioni.

PSEUDO-DATI MONTE CARLO

Per testare la nostra capacità di estrazione del segnale è stato costruito un campione Monte Carlo che fosse il più possibile simile ai dati reali.

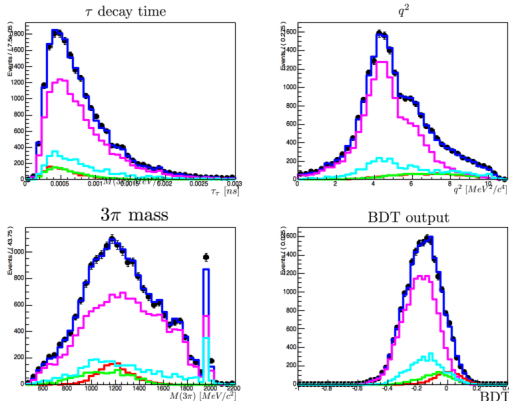
In questo sono inclusi:

- $B^0 \rightarrow D^* \tau (\rightarrow 3\pi \nu_\tau) \bar{\nu}_\tau$
- $B^0 \rightarrow D^* \tau (\rightarrow 3\pi \pi^0 \nu_\tau) \bar{\nu}_\tau$
- $B^0 \rightarrow D^* D_{(s)}^{(*)} X$ con $D_{(s)}^{(*)} \rightarrow 3\pi X$
- $H_b \rightarrow D^* 3\pi X$



Il campione corrisponde a circa $2fb^{-1}$ di luminosità equivalente ai dati.

RISULTATI SUI PSEUDO-DATI



Fit simultaneo eseguito su:

- Tempo di decadimento del tau
- q^2 (GeV^2/c^4)
- BDT3pi che è la risposta della BDT¹ con segnale $D^* \tau (\rightarrow 3\pi) \nu$ e background $D^* D_{(s)}$ e $D^* 3\pi$ inclusivo.
- La frazione di segnale ($3\pi + 3\pi\pi^0$) risultante dal fit ha un'incertezza del 5.0%.

Nel fit sono presenti 4 componenti: Segnale con $\tau \rightarrow 3\pi$, Segnale con $\tau \rightarrow 3\pi\pi^0$, $D^* D_{(s)}^{(*)}$ e $D^* 3\pi$ MC inclusivo

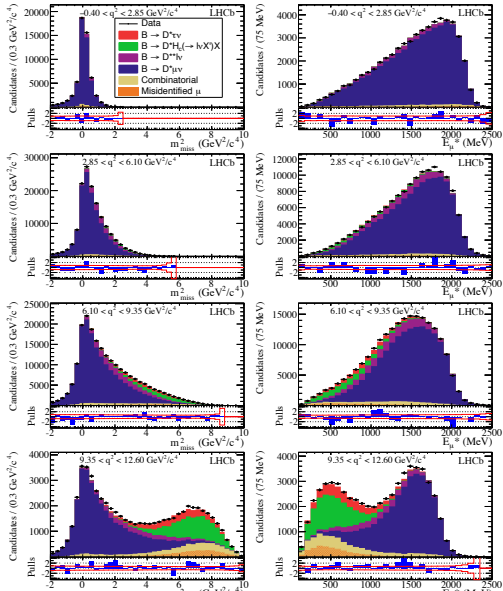
¹le variabili in ingresso alla BDT sono calcolate a partire dalla ricostruzione del decadimento e dall'energia carica e neutra misurata in coni di apertura variabile attorno alla direzione dei 3 pioni.

CONCLUSIONI

- I decadimenti semileptonici in τ di mesoni B sono una sonda per la misura di effetti di nuova fisica.
- LHCb riesce a misurare il decadimento semileptonico $B \rightarrow D^* \tau (\rightarrow \mu \nu \nu) \nu$ con una deviazione dal modello standard pari a circa 3σ e con una precisione del 12%, paragonabile a quanto ottenuto alle B Factories;
- La combinazione di tutti i risultati su $R(D)$ e $R(D^*)$ è a 3.9σ dalle previsioni del modello standard;
- L'analisi in corso a LHCb con decadimenti del tau in tre pioni carichi ha un'accuratezza statistica prevista del 5%. L'obiettivo è di mantenere le sistematiche ad un livello di precisione confrontabile.

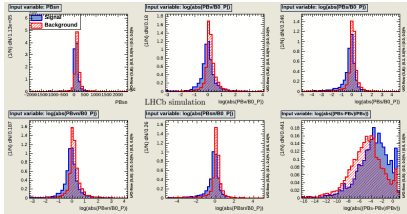
BACKUPS

Esperimento	R_D^*	R_D
<i>BABAR</i>	$0.332 \pm 0.024 \pm 0.018$	$0.440 \pm 0.058 \pm 0.042$
Belle	$0.293 \pm 0.038 \pm 0.015$	$0.375 \pm 0.064 \pm 0.026$
LHCb	$0.336 \pm 0.027 \pm 0.030$	–
Media	$0.322 \pm 0.018 \pm 0.012$	$0.391 \pm 0.041 \pm 0.028$
SM	0.252 ± 0.003	0.297 ± 0.017

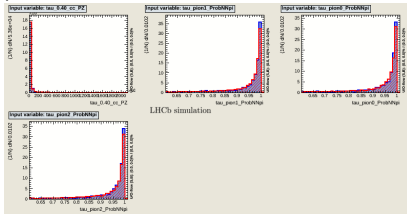


BDT APPROACH

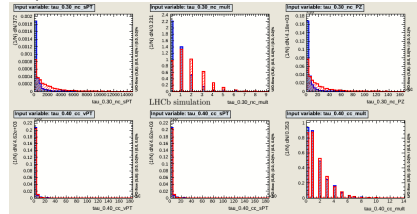
Combinations of the variables coming out from the algebraic B0 momentum reconstruction:



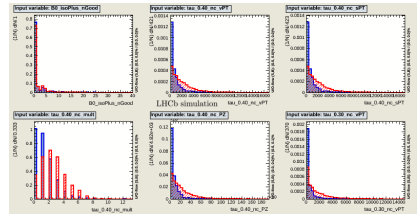
One charged cone variables + ProbNNpi of three pions:



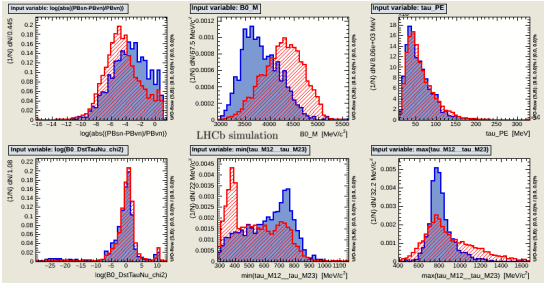
Various neutral and charged cones info (0.3 and 0.4):



Another neutral cones + isolation:



Another variables from partial reconstruction + dynamical info on pion system and B0





Aaij, R. et al. (2015).

Measurement of the ratio of branching fractions $\mathcal{B}(\bar{b}^0 \rightarrow D^{*+} \tau^- \bar{\nu}_\tau) / \mathcal{B}(\bar{b}^0 \rightarrow D^{*+} \mu^- \bar{\nu}_\mu)$.
Phys. Rev. Lett., 115:111803.



Bozek, A. et al. (2010).

Observation of $B^+ \rightarrow \bar{D}^{*0} \tau^+ \nu_\tau$ and Evidence for $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 \tau^+ \nu_\tau$ at Belle.
Phys. Rev., D82:072005.



Fajfer, S., Kamenik, J. F., and Nisandzic, I. (2012).

On the $B \rightarrow D^* \tau \bar{\nu}_\tau$ Sensitivity to New Physics.
Phys. Rev., D85:094025.



Huschle, M. et al. (2015).

Measurement of the branching ratio of $\bar{B} \rightarrow D^{(*)} \tau^- \bar{\nu}_\tau$ relative to $\bar{B} \rightarrow D^{(*)} \ell^- \bar{\nu}_\ell$ decays with hadronic tagging at Belle.



Lees, J. P. et al. (2012).

Evidence for an excess of $\bar{B} \rightarrow D^{(*)} \tau^- \bar{\nu}_\tau$ decays.
Phys. Rev. Lett., 109:101802.