



b- e c-tagging calibration, b cross section



Andrea Coccaro, Andrea Ferretto, Fabrizio Parodi,
Leonardo Rossi, Carlo Schiavi

V ATLAS-Italia Physics Workshop
Napoli, 18-19 Maggio 2011

Introduzione

La ricostruzione di mesoni B e D costituisce uno strumento essenziale per la misura delle sezioni d'urto di produzione di b e c e per la calibrazione del flavour tagging su campioni puri.

Si è scelto di usare i campioni di $b \rightarrow D^* \mu X$ e $b, c \rightarrow D^*$ per l'ottimo rapporto segnale/fondo nella differenza di massa $M(k\pi\pi) - M(k\pi)$ del decadimento $D^* \rightarrow \pi D^0 \rightarrow k\pi$.

- ▶ $D^{*\pm} \mu^\mp$ (dati 2010, mu6, 3.4 pb^{-1})
 - ▶ **misura della sezione d'urto di produzione di b -adroni** (paper di prossima circolazione).
- ▶ $D^{*\pm} \mu^\mp$ associati a jet (dati 2010, mu4_L1JXX, 35 pb^{-1}):
 - ▶ **misura dell'efficienza di b -tagging** (conf note in circolazione).
- ▶ $D^{*\pm}$ (dati 2010, MinBias, 1 nb^{-1}):
 - ▶ **misura del rapporto delle sezioni di produzione di b/c** (lavori in corso).
- ▶ $D^{*\pm}$ (dati 2010, JXX, 35 pb^{-1}):
 - ▶ **misura dell'efficienza di b e c -tagging** (lavori in corso).

Sezione d'urto differenziale di produzione di b -adroni

Richieste dell'analisi

- ▶ calcolo della sezione d'urto dello stato esclusivo, all'interno della regione cinematica "visibile" ($|\eta_{D^*}| < 2.5, |\eta_\mu| < 2.4, p_{T_{D^*}} > 4.5 \text{ GeV}, p_{T_\mu} > 6 \text{ GeV}$):

$$\frac{d\sigma(B \rightarrow D^* \mu X)}{dp_T(D^* \mu)} = \frac{f_b N^{D^* \mu} |_{\Delta p_T}}{2\epsilon \mathcal{B} \mathcal{L} \Delta p_T} \quad \frac{d\sigma(B \rightarrow D^* \mu X)}{d|\eta|(D^* \mu)} = \frac{f_b N^{D^* \mu} |_{\Delta|\eta|}}{2\epsilon \mathcal{B} \mathcal{L} \Delta|\eta|}$$

- numero N di coppie $D^* \mu$ ossevate, in bin di $p_T/|\eta|$
 - frazione f_b proveniente da singolo b , in bin di $p_T/|\eta|$
 - efficienza complessiva di ricostruzione e trigger ϵ in bin di $p_T/|\eta|$
 - luminosità di ATLAS
 - branching ratio totale $\mathcal{B} = \mathcal{B}(D^* \rightarrow D^0 \pi) \cdot \mathcal{B}(D^0 \rightarrow K \pi)$
(valori dal PDG2010)
 - $\Delta p_T / \Delta |\eta|$: larghezza dei bin
 - fattore 2: $N^{D^* \mu}$ comprende $D^{*+} \mu^-$ e $D^{*-} \mu^+$
- ▶ unfolding (utilizzando predizioni teoriche NLO) per ottenere sezioni d'urto differenziali in $p_T(B)$ e $|\eta(B)|$
 - ▶ correzioni di accettazione e branching ratio $\mathcal{B}(b \rightarrow D^* \mu X)$ per ottenere sezioni d'urto differenziali di b -adroni

Selezione del campione $D^*\mu$

Dati e trigger:

- ▶ Agosto-Ottobre 2010 ($\mathcal{L}=3.4 \text{ pb}^{-1}$)
- ▶ singolo muone con $p_T > 6 \text{ GeV}$

selezione sulle tracce:

- ▶ 5 hit sui rivelatori a silicio (almeno uno sui pixel) per K, π, π_s, μ
- ▶ $p_T > 1 \text{ GeV}$ per K, π ; $p_T > 250 \text{ MeV}$ per π_s
- ▶ $|\eta| < 2.5$ per K, π, π_s

selezione D^* :

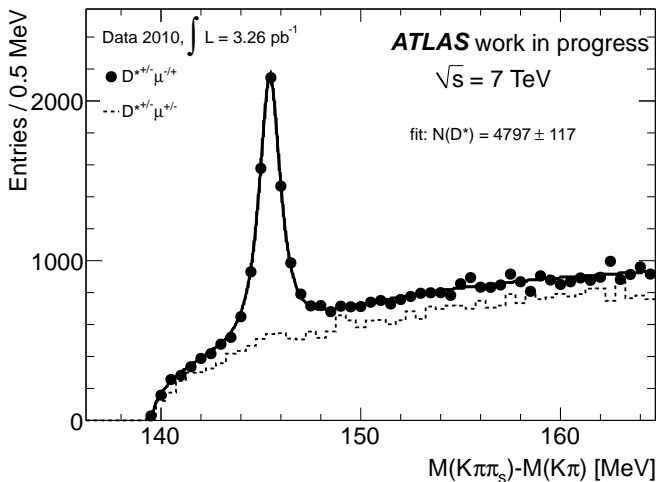
- ▶ $|M(K\pi) - M(D_{PDG}^0)| < 40 \text{ MeV}$
- ▶ $p_T(D^*) > 4.5 \text{ GeV}, |\eta(D^*)| < 2.1$

selezione $D^*\mu$:

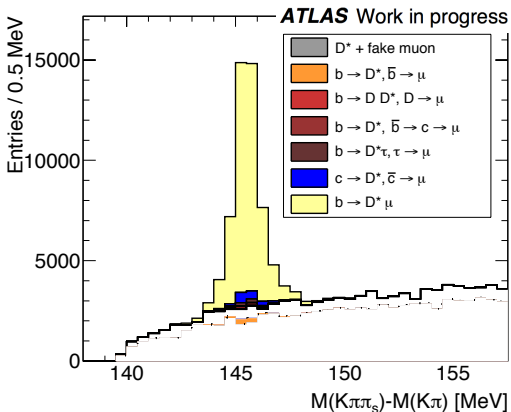
- ▶ muone combinato
- ▶ matching con muoni del trigger
- ▶ $p_T(\mu) > 6 \text{ GeV}, |\eta(\mu)| < 2.4$
- ▶ $2.5 \text{ GeV} < M(D^*\mu) < 5.4 \text{ GeV}$

Campione $D^*\mu$ sui dati

$|\eta_{D^*}| < 2.5, |\eta_\mu| < 2.4, p_{T_{D^*}} > 4.5 \text{ GeV}, p_{T_\mu} > 6 \text{ GeV}$



Composizione del campione di $D^*\mu$



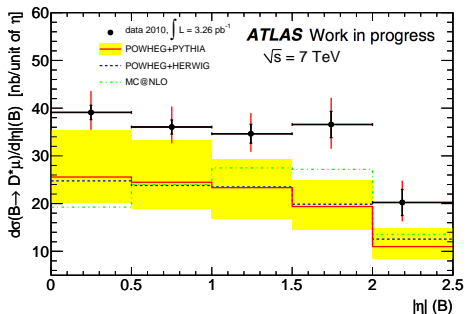
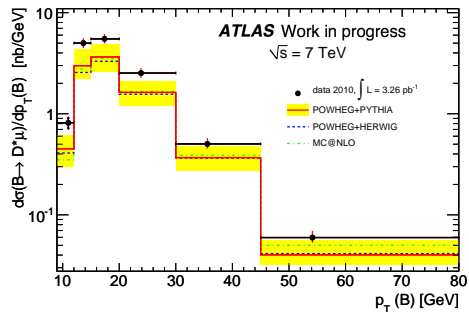
- $f(b \rightarrow D^* \mu) \sim 93\%$
- $f(c \rightarrow D^*, c \rightarrow \mu) \sim 4\%$
- $f(b \rightarrow D^* \tau, \tau \rightarrow \mu X) \sim 2\%$
- $f(b \rightarrow D^* D, D \rightarrow \mu) \sim 1\%$

Incertezze sistematiche della misura $\sigma(B)$

- ▶ incertezza legata alla procedura di fit:
 - variato il range ΔM di fit del segnale
 - diverso modello di parametrizzazione del fondo
- ▶ incertezza sulla frazione di segnale proveniente da singolo b : variato di un fattore 2 il rapporto b/c su MC ($\sim 2\%$)
- ▶ incertezza sul ricostruzione di tracce, muoni e trigger, calcolate da ATLAS indipendentemente da questa analisi ($\sim 8\%$)
- ▶ correzioni che tengano in conto differenze dati/MC degli spettri $p_T/\eta(D^*\mu)$ ($\sim 2\%$)
- ▶ correzioni che tengano in conto differenze dati/MC della risoluzione di massa del D^0 ($\sim 1\%$)
- ▶ incertezza della luminosità integrata del campione analizzato ($\sim 3.4\%$)
- ▶ incertezze dei relativi branching ratio ($\sim 7\%$)

Sezioni d'urto differenziali di $B \rightarrow D^* \mu X$

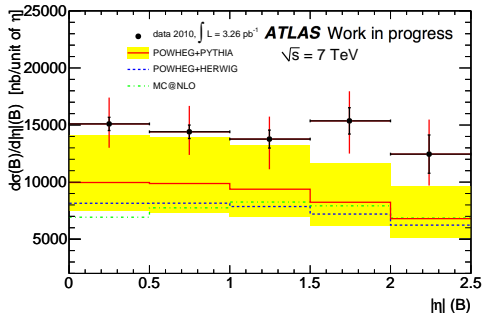
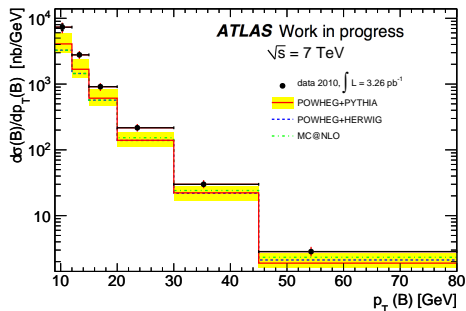
regione cinematica: $|\eta_{D^*}| < 2.5, |\eta_{\mu}| < 2.4, p_{T_{D^*}} > 4.5 \text{ GeV}, p_{T_{\mu}} > 6 \text{ GeV}$



valore integrato: $\sigma(B \rightarrow D^* \mu X) = 80.2 \pm 2.0|_{stat}^{+8.0}_{-8.6}|_{syst} \pm 1.2|_B \pm 2.7|_{\mathcal{L}}$ nb

Sezioni d'urto differenziali di B

regione cinematica: $|\eta_B| < 2.5, p_{T_B} > 9 \text{ GeV}$



valore integrato: $\sigma(B) = 33.9 \pm 1.0|_{stat}^{+3.4}_{-4.3}|_{syst} \pm 2.5|_B \pm 1.2|_{\mathcal{L}} \mu\text{b}$

Estrapolando all'intero spazio delle fasi

$$\sigma(B)_{extrap} = \gamma \sigma(B) = 373 \pm 11|_{stat}^{+37}_{-47}|_{syst} \pm 28|_B \pm 13|_{\mathcal{L}}^{+37}_{-41}|_{\gamma} \mu\text{b}$$

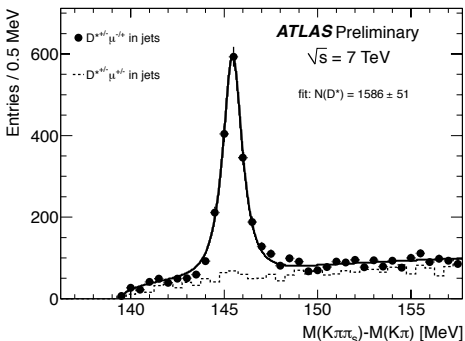
LHCb (arXiv:1009.2731v1):

$$\sigma(pp \rightarrow b\bar{b}X) = 284 \pm 20|_{stat} \pm 49|_{syst} \mu\text{b}$$

Misura dell'efficienza di b -tagging con $D^*\mu$ in jet

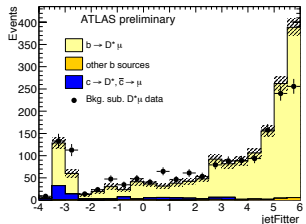
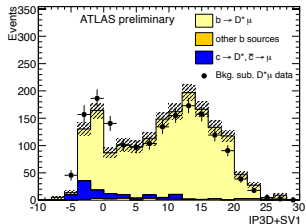
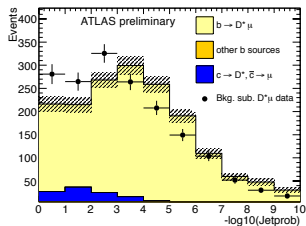
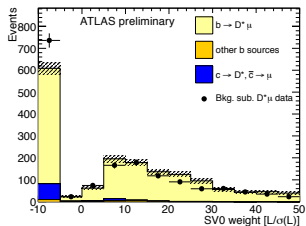
Campione di $D^*\mu$ associato con jet

- ▶ stessi criteri di selezione di base usati per la misura di sezione d'urto
- ▶ candidati $D^*\mu$ associati con un jet con $|\eta| < 2.5$ e $p_T > 20$ GeV
- ▶ $\rho(D^*\mu)$ proiettato sull'asse del jet nel piano trasverso > 0.6
- ▶ selezione di trigger: singolo muone o associazioni jet-muoni (campione esteso a tutti i dati del 2010)



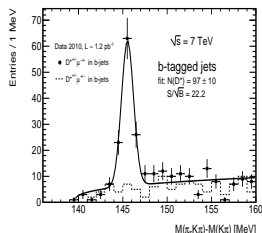
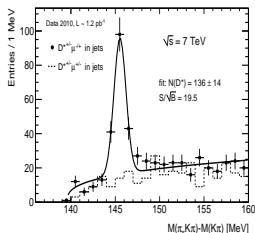
Cross-check dei tagger di vita media

Confronto MC-dati con fondo sottratto (dalla sideband di ΔM)



Calcolo dell'efficienza di b-tagging

- ▶ fit del numero di candidati $D^*\mu$ associati a un jet;
- ▶ b-tagging del jet \rightarrow fit del numero di candidati D^* nei jets taggati;



$$\epsilon_{D^*\mu} = \frac{N(D^*\mu)_{b\text{-taggati}}}{N(D^*\mu)}$$

$$\epsilon_{D^*\mu} = \frac{n_b \epsilon_b + n_{cc} \epsilon_{cc} + n_{bb} \epsilon_{bb}}{n_b + n_{cc} + n_{bb}}$$

$$\epsilon_b = \frac{\epsilon_{D^*\mu} \left(1 + \frac{n_{cc}}{n_b} + \frac{n_{bb}}{n_b}\right) - \frac{n_{cc}}{n_b} \epsilon_{cc}}{1 + \frac{n_{bb}}{n_b} \alpha}$$

$$[\epsilon_{bb} = \alpha \epsilon_b]$$

Incertezze sistematiche della misura di b -tagging

Incertezze sistematiche della misura:

- ▶ variato del 50% il rapporto n_{cc}/n_b
- ▶ variato del 100% il valore ϵ_c ottenuto da MC
- ▶ variato del 50% il rapporto $n_{b'}/n_b$ e α (assunto 1)
- ▶ fit simultaneo: libera la σ del picco D^*
- ▶ fit simultaneo: libera la forma del fondo

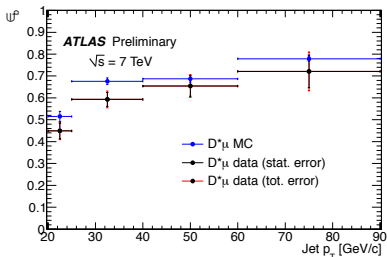
	$p_T \in [20,25]$ GeV	$p_T \in [25,40]$ GeV	$p_T \in [40,60]$ GeV	$p_T \in [60,90]$ GeV
$\epsilon_{Data} \pm \sigma(\epsilon_{Data})^{stat}$	0.449 ± 0.036	0.593 ± 0.032	0.654 ± 0.047	0.721 ± 0.075
$\sigma(\epsilon_{Data})^{syst}(n_{cc}/n_{bb})$	+0.009 -0.009	+0.014 -0.013	+0.016 -0.015	+0.018 -0.017
$\sigma(\epsilon_{Data})^{syst}(n_{b'}/n_{bb}, \alpha)$	+0.002 -0.005	+0.002 -0.007	+0.003 -0.008	+0.003 -0.008
$\sigma(\epsilon_{Data})^{syst}(\epsilon_c)$	+0.009 -0.009	+0.009 -0.009	+0.009 -0.009	+0.009 -0.009
$\sigma(\epsilon_{Data})^{syst}(D^* \text{ width})$	+0.012 -0.012	+0.01 -0.01	+0.011 -0.011	+0.009 -0.009
$\sigma(\epsilon_{Data})^{syst}(Bkg.param.)$	+0.002 -0.002	+0.007 -0.007	+0.003 -0.003	+0.042 -0.042 -0.042
$\sigma(\epsilon_{Data})^{syst}(total)$	+0.018 -0.018	+0.021 -0.021	+0.022 -0.022	+0.048 -0.048
$\epsilon_{MC} \pm \sigma(\epsilon_{MC})^{stat}$	0.515 ± 0.023	0.676 ± 0.015	0.687 ± 0.015	0.779 ± 0.012
Data/MC Scale Factor	0.872 ± 0.087	0.877 ± 0.060	0.952 ± 0.078	0.926 ± 0.115

L'incertezza statistica è ancora dominante.

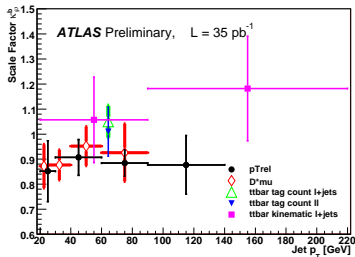
Efficienza di b -tagging: risultati e confronto con altri metodi

SV0 tagger a 50% di efficienza

b - tagging eff. da $D^*\mu$



ATLAS scale factors



Campione D^* : misura della frazione b/c

Perché ?:

- ▶ misura della frazione b/c per riduzione dell'errore sistematico nelle misure effettuate su campioni $D^* \mu$ (sezione d'urto B e efficienza b -tagging)
- ▶ misura del rapporto tra le sezioni d'urto b e c (**inclusivo e in jet**)
- ▶ misura delle efficienze di b e c -tagging (**in jet**)

Idea di base: separare b e c usando variabili correlate alla lunghezza di volo del D^* :

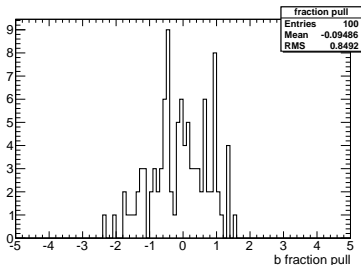
- ▶ diverse possibili variabili: parametro d'impatto trasverso del π_{soft} , parametro d'impatto trasverso del D^0 , lunghezza di volo del D^0 , lunghezza di volo del D^* ...
- ▶ lo **pseudo proper time del D^0** sembra essere il miglior candidato poichè permette di tenere sotto controllo effetti di risoluzione
- ▶ primo test sul campione inclusivo di Min. Bias del 2010 ($\sim 1nb^{-1}$)

Campione D^* : misura della frazione b/c (II)

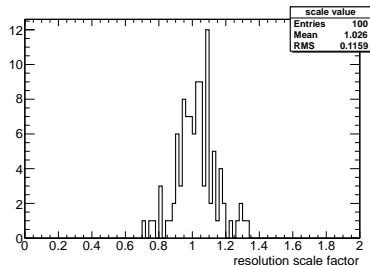
Prima di effettuare il fit su dati è stato verificato su MC che il fit dia una stima unbiased della frazione di D^* provenienti da b e dell' (eventuale) extra fattore di risoluzione data/MC.

Entrambe le quantità sono state estratte da fit su campioni MC indipendenti e sono state confrontate con il valore atteso.

Pull della frazione di b

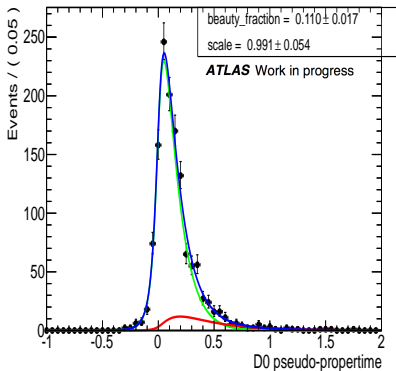


Fattore di scala

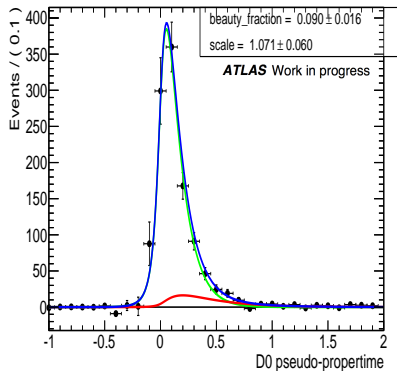


Campione D^* : misura della frazione b/c (III)

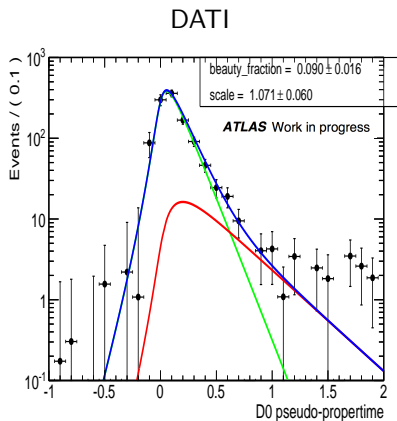
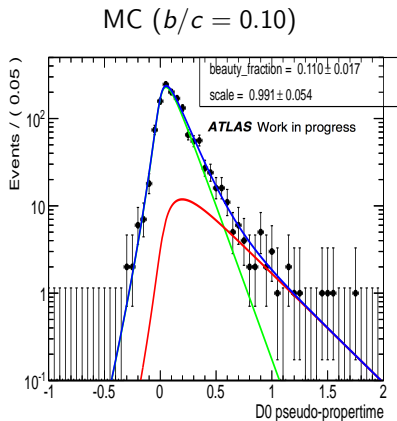
MC ($b/c = 0.10$)



DATI



Campione D^* : misura della frazione b/c (III)



Discrepanza nelle code dei dati dovuta, almeno in parte, a bins con valore negativo (prodotti dalla sottrazione).

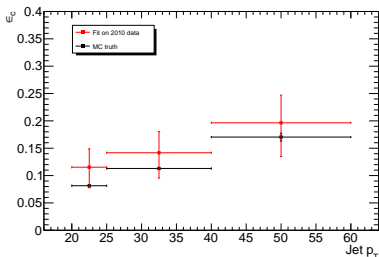
Campione D^* : misura di ϵ_b e ϵ_c

Due approcci possibili.

Efficienza di b -tagging su D^* associati a c -jets

Si usa il fit descritto in precedenza per stimare la frazione di b e il MC per l'efficienza di b -tagging su b -jets.

Primi risultati sui dati 2010 (periodi E-I, OR dei jet triggers), per il momento prendendo la frazione di b da MC:



Campione D^* : misura di ϵ_b e ϵ_c (II)

Determinazione contemporanea dell'efficienza di b -tagging su D^* associati a b -jets e c -jets

L'idea di base è quella di selezionare **due campioni** contententi una composizione di b **significativamente differente**. Questo può essere fatto richiedendo un jet b -taggato, lontano dal jet contente lo stato esclusivo, e separando il campione completo in due sottocampioni in base alla presenza di questo jet b -taggato: campione-1, arricchito in b -jet, e campione-2, impoverito in b -jet. Una volta selezionati i due campioni, si risolve il seguente sistema:

$$\begin{aligned}n_1^b &= \epsilon_b \cdot b_1 + \epsilon_c \cdot c_1 \\n_2^b &= \epsilon_b \cdot b_2 + \epsilon_c \cdot c_2\end{aligned}$$

dove b_1 , c_1 , b_2 e c_2 sono misurati usando un fit combinato massa/tempo proprio nei due campioni, mentre n_1^b e n_2^b sono il numero di jet b -taggati, stimati da un fit basato solo sulla distribuzione di massa.

La soluzione di questo sistema porta ad una misura pulita di ϵ_c ed ϵ_b , quindi alla **misura del punto di lavoro del b -tagging in termini di efficienza/rieiezione**.

Stato e prospettive (I)

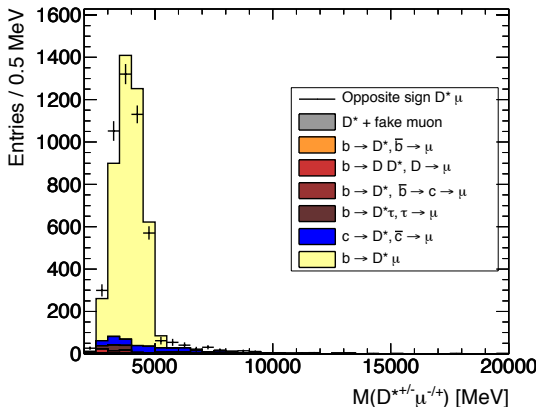
- ▶ sezione d'urto di produzione di b con $D^*\mu$:
 - ▶ paper, basato sui dati 2010 (μ_6 , 3.4 pb^{-1}), di prossima circolazione: unico ostacolo, che stiamo affrontando in questi giorni, un disaccordo dati/MC nella massa $M(D^*\mu)$ probabilmente causato dall'algorithmo di fit (cascade fitter);
 - ▶ non c'è interesse a ripetere la misura con i dati 2011 (trigger);
 - ▶ l'analisi potrebbe essere estesa, sui dati 2010, ad altre correlazioni $D\mu$ con lo scopo di misurare le frazioni di frammentazioni in B^+ , B_d , B_s .
 - ▶ ottima collaborazione con i nostri colleghi dei μ ; Elvira Rossi ha ricalcolato per noi le efficienze di EF_{μ_6} .
- ▶ misura dell'efficienza di b -tagging con $D^*\mu$ associati a jet
 - ▶ conf note in circolazione (dati 2010)
 - ▶ analisi dati 2011 in corso (obiettivo EPS conf)
 - ▶ necessario stimare il bias vs la misura semileptonica inclusiva o inclusiva tout court per mediare il risultato con gli altri metodi

Stato e prospettive (II)

- ▶ misura del rapporto delle sezioni di produzione di b/c con D^* :
 - ▶ lavoro in corso sulle sistematiche del fit;
 - ▶ concorrenza con analisi D^* nei jets (Iowa), diverso metodo di fit.
- ▶ misura dell'efficienza di b e c -tagging con D^* associati a jet
 - ▶ fit in comune con l'analisi precedente
 - ▶ obiettivo: fornire una prima misura della charm efficiency per EPS

Slide di back-up

Distribuzione $M(D^*\mu)$

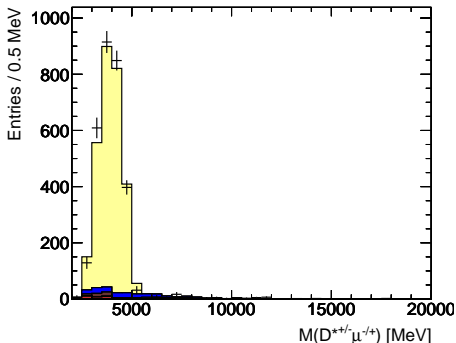


I dati sono ottenuti per sottrazione del fondo dalle sidebands.

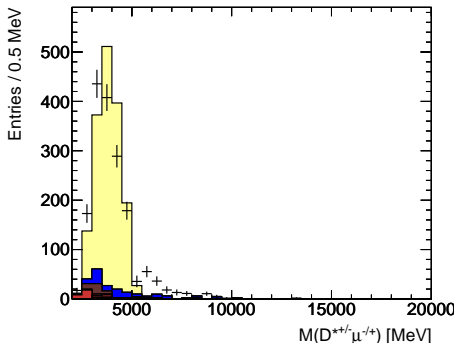
Effetto del “Cascade vertexing”

- ▶ il fit di vertice è fatto con VKal Cascade Fitter che fitta insieme l'intera cascata $B \rightarrow \mu D^* (\rightarrow \pi D^0 (\rightarrow K\pi))$
- ▶ il numero di gradi di libertà ritornato dal fit può essere 4 o 5: 4 se il fit riesce a fittare separatamente il D^0 , 5 altrimenti (in questo secondo caso tutte le tracce sono fittate al vertice del B).

ndof = 4

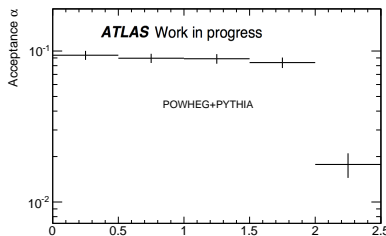
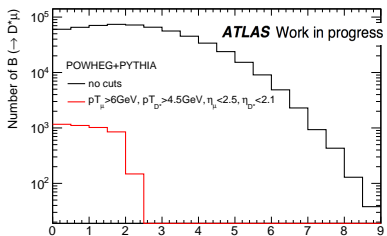
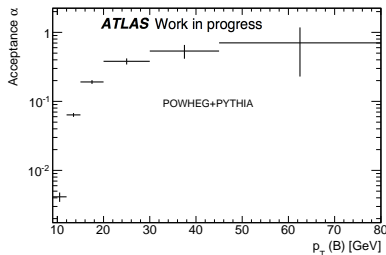
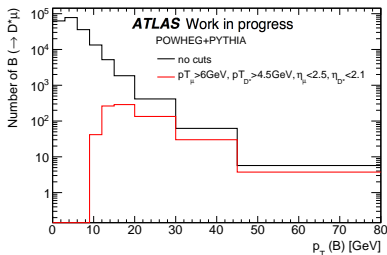


ndof=5



Accettanza

Fattore di accettazione α in funzione di p_T e η : conversione da regione cinematica D^*/μ a B



Incertezze statistiche e sistematiche di $\sigma(B)$

Incertezze in funzione dei bin in p_T

error \ p_T bin (GeV)	9-12	12-15	15-20	20-30	30-45	45-80
stat	11.5%	5.2%	3.3%	2.8%	3.7%	6.0%
$\sigma(D^* \mu X)$ and $\sigma(B)$ systematics						
$D^* \mu$ fit	+1.1% -1.6%	+0.4% -1.1%	+0.1% -1.5%	+0.1% -1.8%	+0.2% -1.1%	+2.3% -0.3%
f_b	+2.2% -1.3%	+2.1% -0.8%	+1.8% -0.5%	+1.6% -0.5%	+1.5% -0.7%	+1.7% -1.2%
trk+ μ rec	+9.0% -8.1%	+9.0% -8.1%	+8.9% -8.0%	+8.7% -7.9%	+8.6% -7.8%	+8.4% -7.6%
μ 6trig	+2.6% -2.7%	+2.9% -2.9%	+4.5% -3.1%	+7.1% -3.2%	+9.4% -3.1%	+11.7% -3.2%
MC p_T/η reweight	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
D^0 mass correct	1%	1%	1%	1%	1%	1%
lumi	3.4%	3.4%	3.4%	3.4%	3.4%	3.4%
$BR_{D^* \rightarrow D^0 \pi}$	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%
$BR_{D^0 \rightarrow K \pi}$	1.3%	1.3%	1.3%	1.3%	1.3%	1.3%
tot syst $\sigma(b \rightarrow D^* \mu)$	+10.5% -9.7%	+10.5% -9.6%	+10.9% -9.6%	+12.1% -9.7%	+13.5% -9.4%	+15.2% -9.3%
$\sigma(B)$ only systematics						
$BR_{b \rightarrow D^* \mu X}$	7%	7%	7%	7%	7%	7%
acceptance (α)	+0% -10%	+4.6% -1.5%	+0% -6.8%	+0% -1.9%	+2.0% -3.6%	+3.5% -7.9%
tot syst $\sigma(b)$	+12.6% -15.6%	+13.4% -12.0%	+13.0% -13.7%	+14.0% -12.1%	+15.3% -12.3%	+17.1% -14.1%

Incertezze statistiche e sistematiche di $\sigma(B)$

Incertezze in funzione dei bin in η

error \ η bin	0-0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2	2-2.5
stat	3.8%	4.1%	5.7%	7.5%	13.5%
$\sigma(D^* \mu X)$ and $\sigma(B)$ systematics					
$D^* \mu$ fit	+0.0% -1.5%	+0.0% -0.7%	+1.1% -0.6%	+0.8% -0.3%	+6.4% -2.2%
f_b	+1.6% -0.5%	+2.0% -0.5%	+1.5% -0.6%	+1.5% -0.6%	+1.3% -0.9%
trk+ μ rec	+7.0% -6.5%	+7.2% -6.6%	+8.7% -7.8%	+11.2% -10.0%	+15.8% -13.1%
μ 6trig	+6.9% -3.3%	+7.2% -3.3%	+5.3% -2.8%	+4.9% -2.8%	+4.4% -2.7%
MC p_T/η reweight	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
D^0 mass correct	1%	1%	1%	1%	1%
lumi	3.4%	3.4%	3.4%	3.4%	3.4%
$BR_{D^* \rightarrow D^0 \pi}$	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%
$BR_{D^0 \rightarrow K \pi}$	1.3%	1.3%	1.3%	1.3%	1.3%
tot syst $\sigma(b \rightarrow D^* \mu)$	+10.8% -8.5%	+11.2% -8.5%	+11.1% -9.3%	+13.0% -11.2%	+18.1% -14.2%
$\sigma(B)$ only systematics					
$BR_{b \rightarrow D^* \mu X}$	7%	7%	7%	7%	7%
acceptance (α)	+7.3% -7.5%	+7.6% -7.8%	+0.4% -14%	+1.5% -10.3%	+5.8% -7.6%
tot syst $\sigma(b)$	+14.8% -13.3%	+15.2% -13.5%	+13.1% -18.2%	+14.8% -16.7%	+20.2% -17.6%