



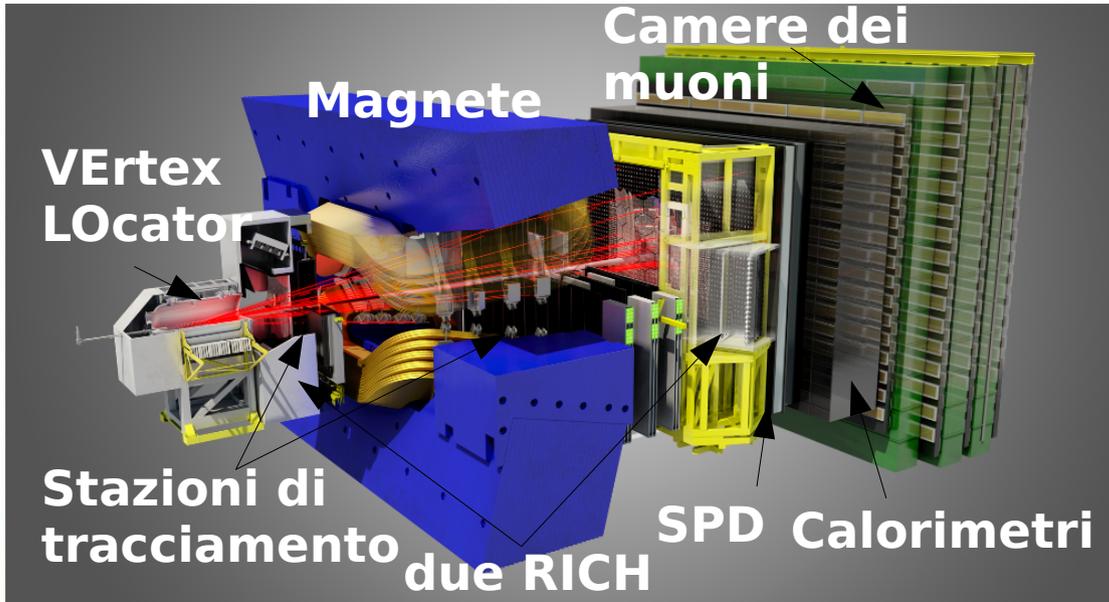
**Ricerca dell'Higgs nella regione  
in avanti delle collisioni pp con  
LHCb**

**Lorenzo Sestini per la Collaborazione LHCb  
(INFN e Università di Padova)**

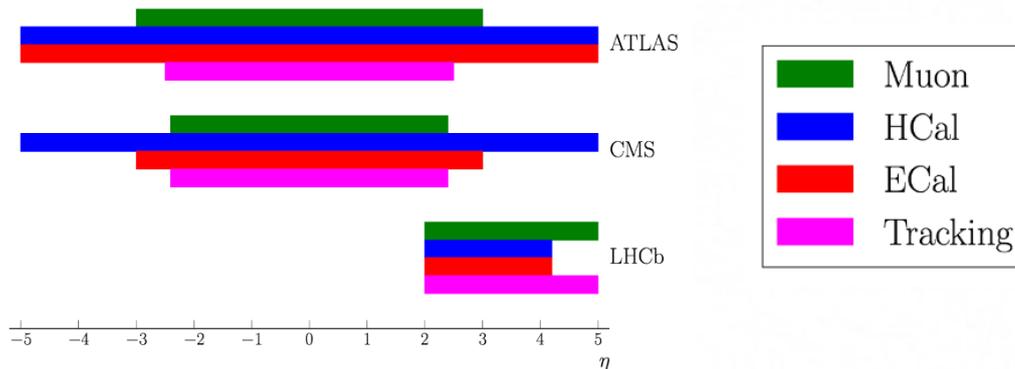
**IFAE 2018, 04-04-2018, Milano Bicocca**

# Il rivelatore LHCb

JINST 3 (2008) S08005



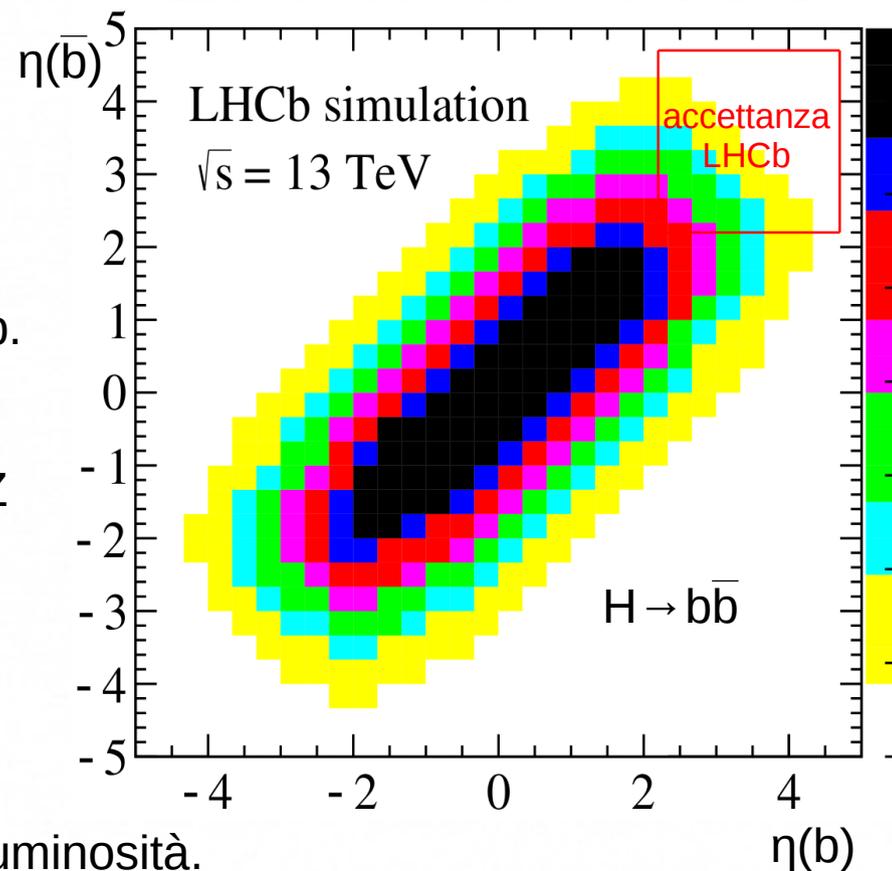
- Regione in avanti: **accettanza complementare** ( $2 < \eta < 5$ ) rispetto ad ATLAS e CMS.
- **Risoluzione in impulso:** 0.4% a 5 GeV e 0.6% a 100 GeV.
- **Efficienza di identificazione dei muoni:** 97% con una probabilità di mis-identificazione  $\mu \rightarrow \pi$  del 1-3%.
- **Ricostruzione degli elettroni:** Correzione per la bremsstrahlung e direzione ben misurata.
- **Eccellente ricostruzione dei vertici secondari:** identificazione dei getti da b e c.



**Negli ultimi anni LHCb ha dimostrato di poter effettuare misure di Fisica Elettrodebole e di Fisica dei getti adronici**

## In questo intervento si discute la possibilità di osservare i processi $H \rightarrow b\bar{b}$ e $H \rightarrow c\bar{c}$ ad LHCb:

- Luminosità e accettazione geometrica più bassi rispetto ad ATLAS e CMS.
- Circa il 5% degli eventi  $H \rightarrow b\bar{b}$  prodotti ad LHC hanno entrambi i b-getti nell'accettazione di LHCb.
- Nel caso della produzione associata, se i due getti sono in accettazione anche il leptone da W/Z tende ad esserlo (60%).
- **Alcuni vantaggi rispetto ad ATLAS e CMS:**
  - Trigger a soglie di  $p_T$  più basse.
  - Basso pile-up dovuto al “leveling” della luminosità.
  - Eccellente sistema di ricostruzione dei vertici, ottime performance di identificazione dei getti da b e c.

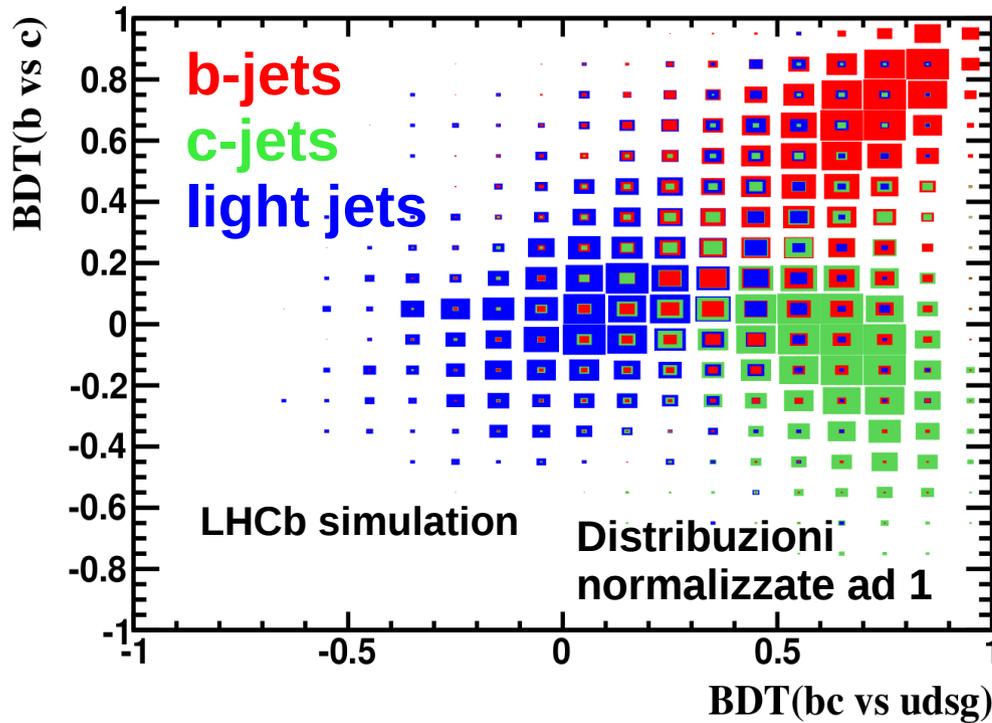


# Identificazione del sapore dei getti

## JINST 10 (2015) P06013

- Ad LHCb i getti sono “heavy flavour tagged” se un Vertice Secondario (SV) compatibile con il decadimento di un adrone b o c viene ricostruito con una distanza  $\Delta R < 0.5$  dall'asse del getto.
  - Efficienza di identificazione di un SV: **60% per i b-getti**, **25% per i c-getti**, **0.3% per i getti leggeri**

- Due Boosted Decision Trees (BDT) sono allenati per



BDT(bc|udsg)  
separare **getti pesanti** dai **getti leggeri**

BDT(b|c)  
Per separare i **b-getti** dai **c-getti**

**Si ottiene un buon potere di discriminazione!**

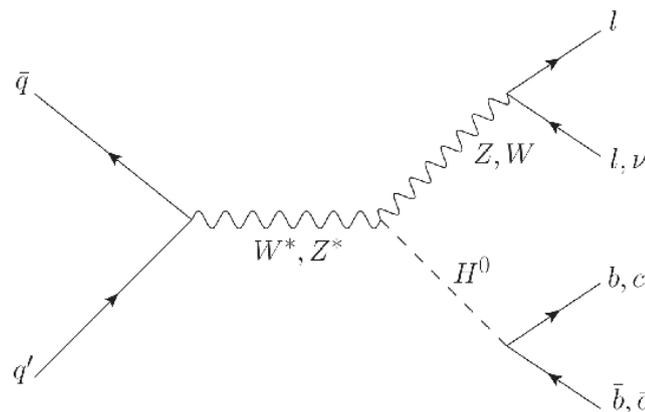
- Segnale: due getti “heavy flavour tagged” e un leptone ad alto  $p_T$  (elettrone o muone).

- I fondi principali sono:

→  $W+b\bar{b}$

→  $W+c\bar{c}$

→  $t\bar{t}$



- I fondi sono stati studiati con un'analisi ad hoc ( $2 \text{ fb}^{-1}$  ad 8 TeV):

- $p_T(\mu/e) > 20 \text{ GeV}$

- $p_T(\text{jet}_{1,2}) > 12.5 \text{ GeV}$ ,  $2.2 < \eta(\text{jet}_{1,2}) < 4.2$

- $\text{BDT}(bc|udsg) > 0.1$  per entrambi i getti

- $\Delta R(\text{jet}_{1,2}, \mu/e) > 0.5$ ,  $\Delta R(\text{jet}_1, \text{jet}_2) > 0.5$

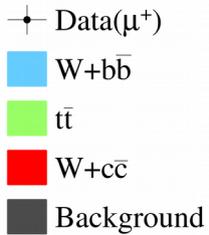
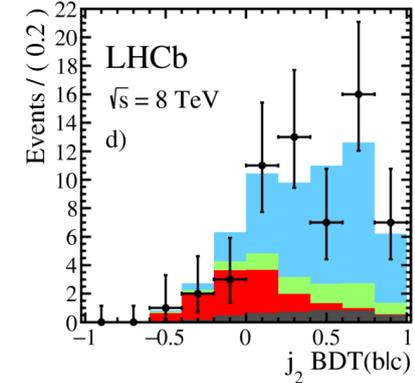
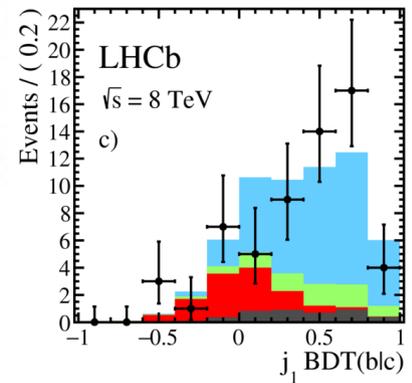
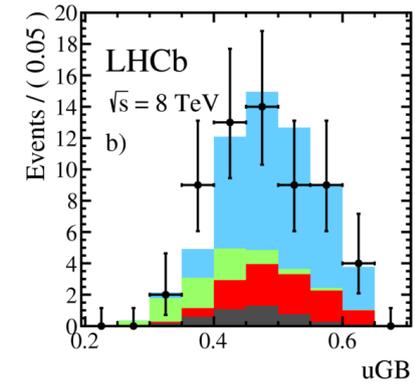
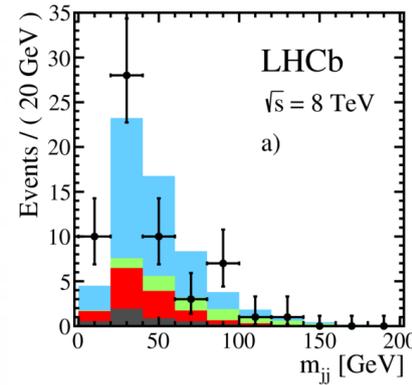
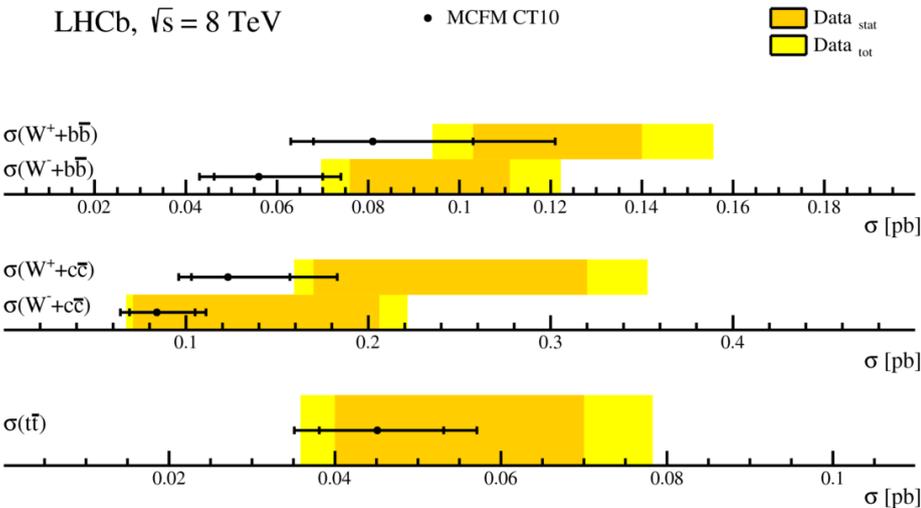
# Misura di $W+b\bar{b}$ , $W+c\bar{c}$ e $t\bar{t}$ ad 8 TeV

Phys. Lett. B767 (2017) 110

- Una BDT è stata allenata per separare  $W+b\bar{b}$  da  $t\bar{t}$ : la tecnica “uniform Gradient Boost” è stata applicata per ottenere una bassa correlazione con la massa invariante dei due getti ( $m_{jj}$ ).

JINST 10 (2015) T03002

- Un fit alle osservabili  $m_{jj}$ ,  $BDT(b|c)$  per entrambi i getti e  $uGB(W+b\bar{b}|t\bar{t})$  è stato impiegato per misurare le sezioni d'urto.



- Le misure sono compatibili al NLO.
- Oltre a dimostrare che abbiamo sotto controllo i fondi dell'Higgs, queste misure sono importanti per studiare le PDF (Parton Distribution Functions) nella regione in avanti.

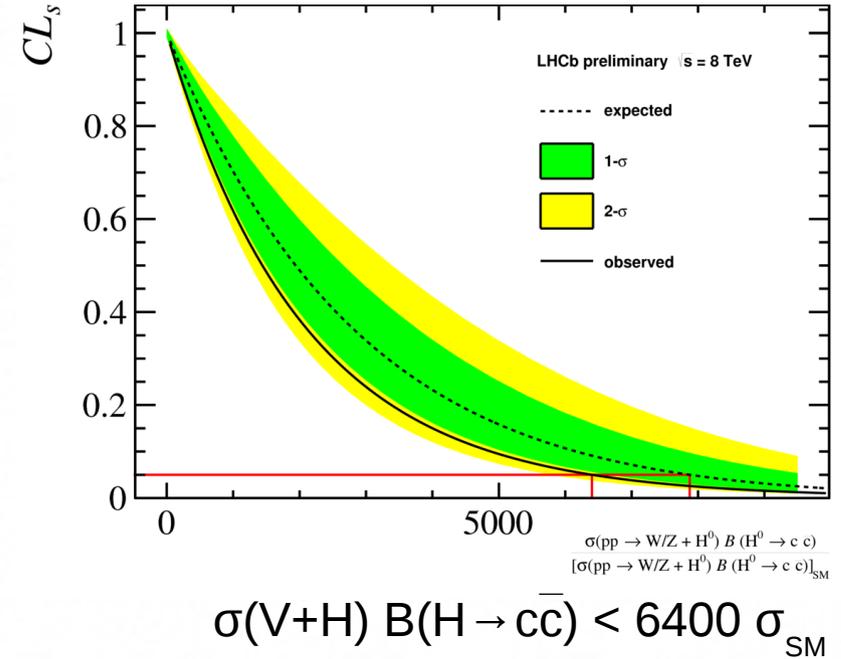
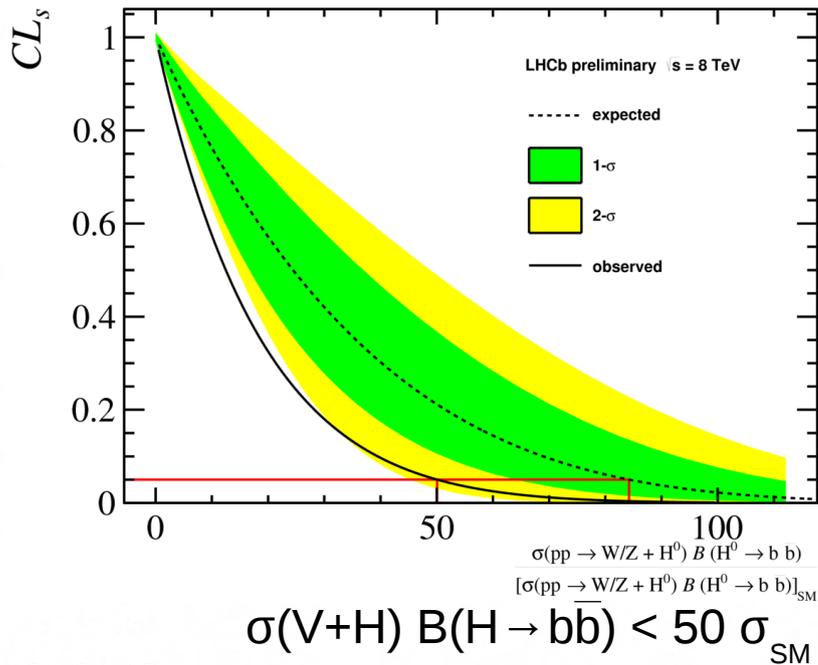
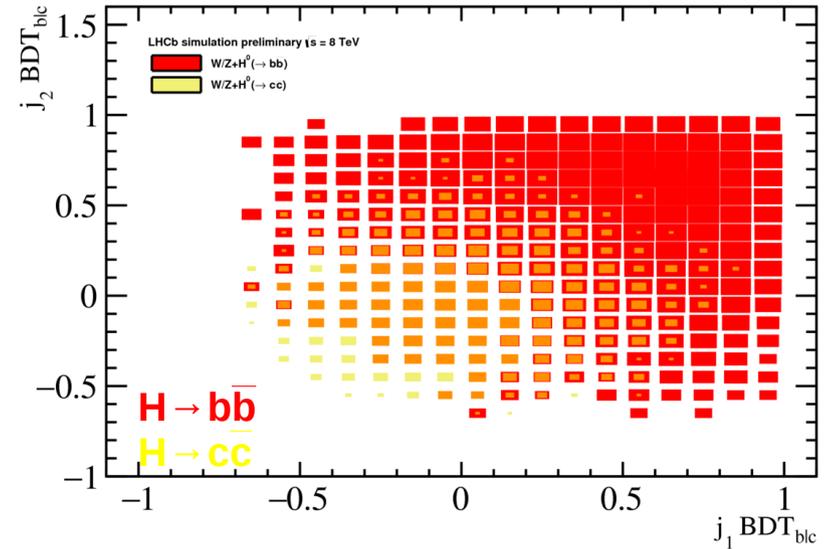


# Ricerca di $W/Z+H(\rightarrow b\bar{b}$ o $c\bar{c})$ ad 8 TeV

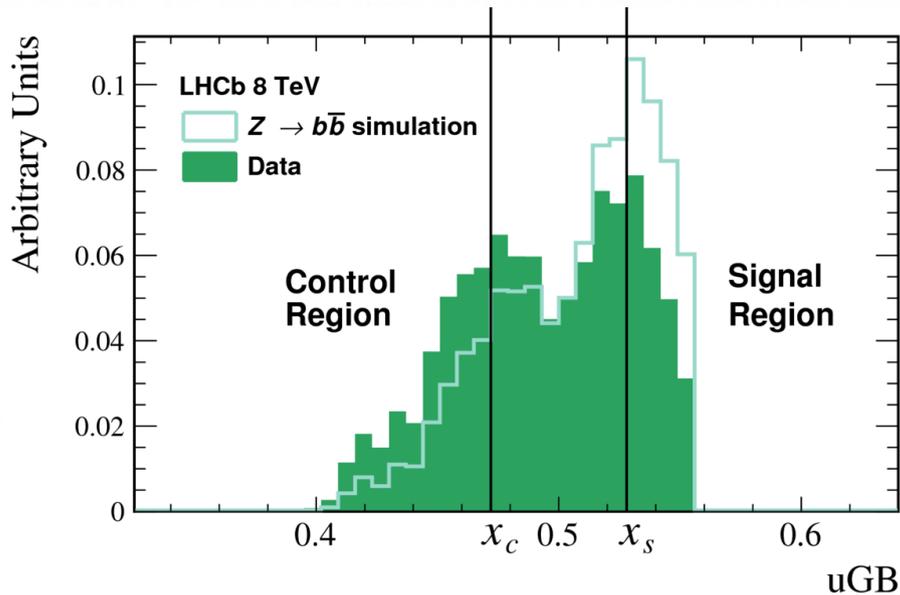


## LHCb-CONF-2016-006

- Lo stesso campione di dati è stato utilizzato per calcolare i limiti superiori sulla produzione di  $V+H(\rightarrow b\bar{b})$  e  $V+H(\rightarrow c\bar{c})$ .
- Osservabili studiate: massa invariante dei due getti, BDT(WH vs  $Wb\bar{b}$ ), BDT(WH vs  $t\bar{t}$ ).
- Taglio addizionale sulla variabile di tagging BDT( $b|c$ )  $< 0.2$  per il limite su  $H \rightarrow c\bar{c}$ .

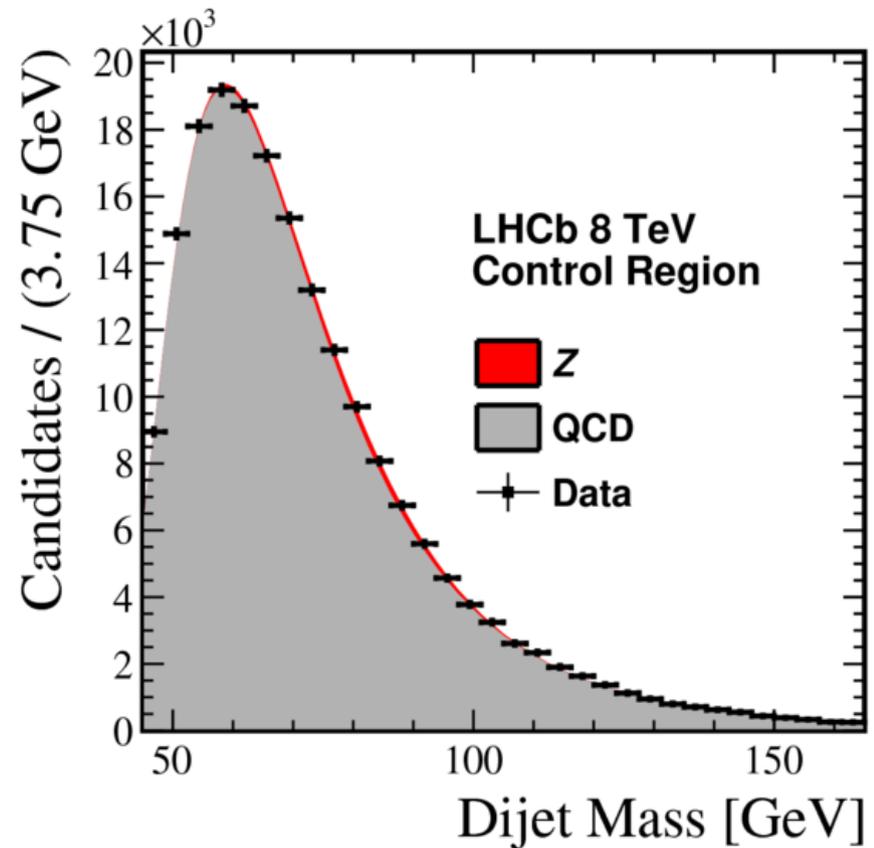
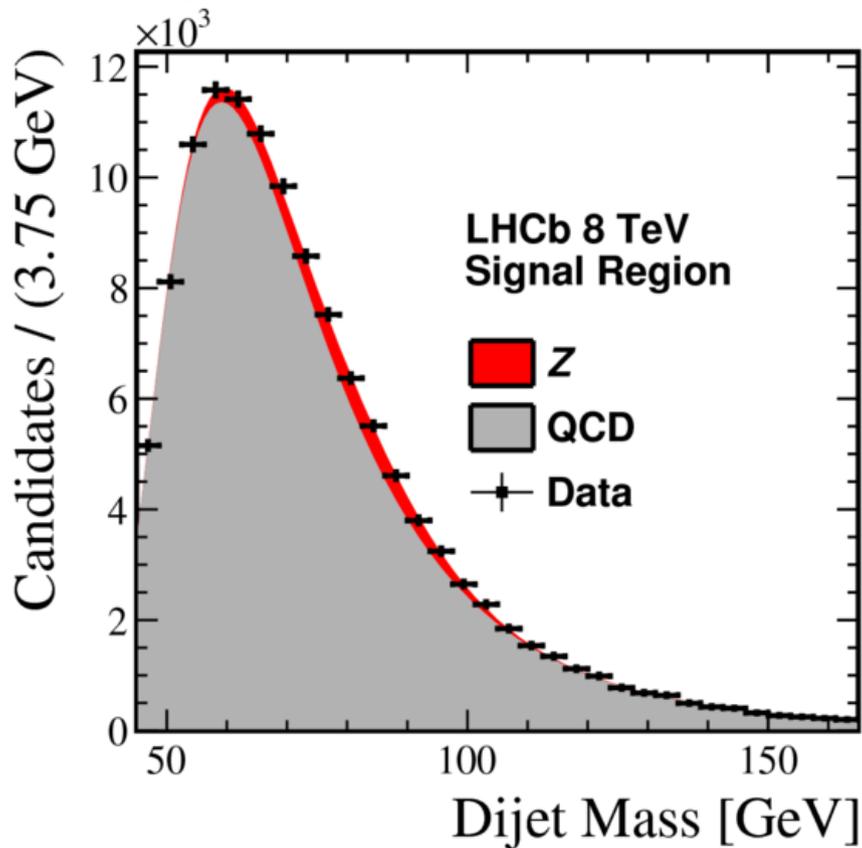


- Misura preliminare per la ricerca della produzione inclusiva di  $H \rightarrow b\bar{b}$ .
- Vogliamo dimostrare di poter estrarre una risonanza  $b\bar{b}$  dal fondo di QCD.
- Prima misura di  $Z \rightarrow b\bar{b}$  nella regione in avanti delle collisioni pp!
- Segnale: due getti “heavy flavour tagged”.
- Regione fiduciale:  $p_T(\text{jet}_{1,2}) > 20 \text{ GeV}$ ,  $2.2 < \eta(\text{jet}_{1,2}) < 4.2$ ,  $45 < m_{jj} < 165 \text{ GeV}$



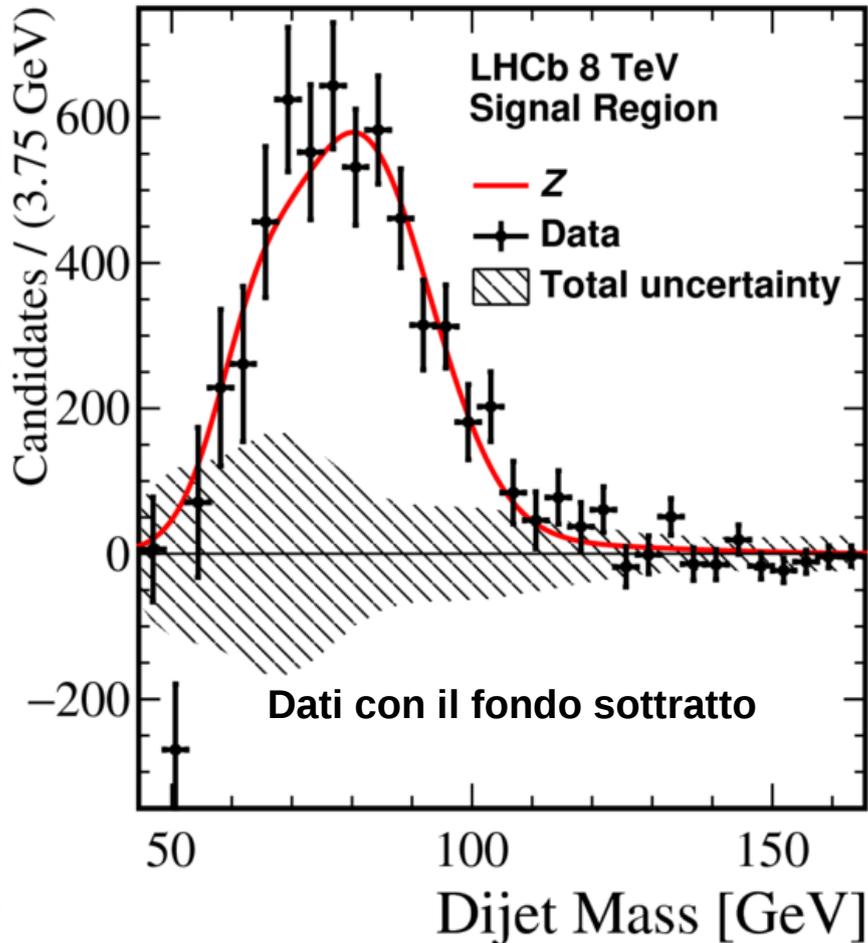
- Un **getto di rinculo** ( $\text{jet}_3$ ) addizionale che rende  $p_T(Z+\text{jet}_3)$  minimo nell'evento viene selezionato per separare  $Z \rightarrow b\bar{b}$  da QCD.
- Una BDT (uGB) viene allenata per separare  $Z \rightarrow b\bar{b}$  dal fondo di QCD, le osservabili utilizzate sono quelle relative alla cinematica del sistema dei 3 getti.

- Fit simultaneo alla massa invariante nelle regioni di segnale e di controllo per estrarre il segnale.
- Il modello della  $Z \rightarrow b\bar{b}$  è ottenuto dalla simulazione, ma la scala di energia dei getti ( $E_{\text{data}}/E_{\text{MC}}$ ) viene misurata nel fit.



# Misura del processo $Z \rightarrow b\bar{b}$ ad 8 TeV

Phys. Lett. B776 (2017)



- L'incertezza sistemática sulla misura della sezione d'urto è dominata dall'incertezza sul tagging (~17%)
- La misura della sezione d'urto  $Z \rightarrow b\bar{b}$  è compatibile con la predizione al NLO.

**Misura:**

$$\sigma(pp \rightarrow Z)\mathcal{B}(Z \rightarrow b\bar{b}) = 332 \pm 46(\text{stat.}) \pm 59(\text{syst.}) \text{ pb}$$

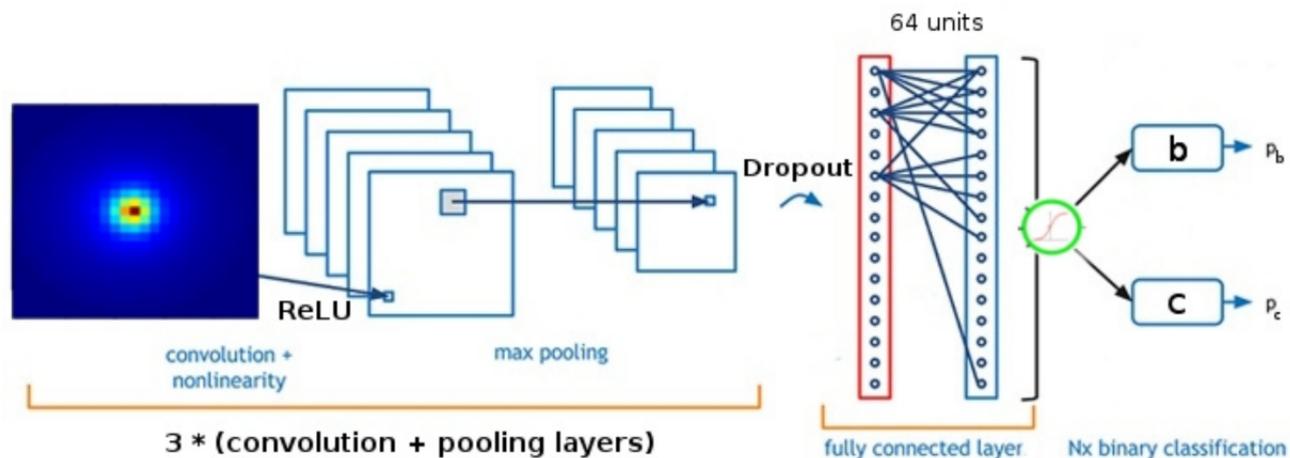
**Predizione:**

$$\sigma(pp \rightarrow Z)\mathcal{B}(Z \rightarrow b\bar{b}) = 272_{-12}^{+9}(\text{scale}) \pm 5(\text{PDFs}) \text{ pb}$$

- **Lo studio della sensibilità di LHCb per l'osservazione della produzione inclusiva di  $H \rightarrow b\bar{b}$  è attualmente in corso!**

- LHCb si prospetta di raccogliere una luminosità integrata pari a  $300 \text{ fb}^{-1}$  nella fase HL-LHC.
- Partendo dal limite superiore su  $V+H(\rightarrow b\bar{b})$  misurato nel Run I si può estrapolare il limite che si avrebbe con  $300 \text{ fb}^{-1}$  a 14 TeV (**senza assumere miglioramenti nel detector o nella ricostruzione!**) ottenendo **1.9 volte la sezione d'urto SM**.
- Ci aspettiamo diversi miglioramenti:
  - Nuovo rivelatore di vertice (programmato nell'upgrade del 2020).
  - Nuovi e più efficienti algoritmi di tagging.
  - Nuove linee di trigger ottimizzate per i b- (c-) getti (già in uso nel Run II).
- L'osservazione di  $H \rightarrow b\bar{b}$  potrebbe essere nelle possibilità future di LHCb!
- Considerando miglioramenti nel tagging dei c-getti e il nuovo rivelatore, con  $300 \text{ fb}^{-1}$  di dati potremmo ridurre il limite sull'  $H \rightarrow c\bar{c}$  tra 5 e 10 volte la sezione d'urto SM.

- Stiamo studiando nuove tecniche basate su Deep Neural Network per migliorare le performance degli algoritmi di tagging.
- Test su diversi tipi di variabili di input:
  - Immagini dei getti (distribuzione di energia nei rivelatori)
  - Matrici con informazioni sui costituenti dei getti (tracce, cluster calorimetrici, informazioni del RICH).



- **Primi risultati promettenti!**



# Conclusioni



- Negli ultimi anni LHCb ha fatto grandi passi in avanti nella fisica dei getti adronici.
- **Nel Run I abbiamo effettuato diverse misure propedeutiche alla ricerca dell'Higgs nella regione in avanti:**
  - Misura della sezione d'urto di  $W+b\bar{b}$ ,  $W+c\bar{c}$ ,  $t\bar{t}$ .
  - Misura della sezione d'urto  $Z \rightarrow b\bar{b}$ .
  - Misura della sensibilità nell'osservazione di  $W/Z+H(\rightarrow b\bar{b})$  e  $W/Z+H(\rightarrow c\bar{c})$ .
- Diversi studi sono in preparazione:
  - Sensibilità nell'osservazione della produzione inclusiva di  $H \rightarrow b\bar{b}$ .
  - Nuovi algoritmi di tagging basati su DNN.
- **LHCb, nella fase HL-LHC, può ambire ad essere il terzo esperimento a misurare le proprietà dell'Higgs, in uno spazio delle fasi complementare ad ATLAS e CMS!**



**Grazie per l'attenzione!**