

A photograph of a statue of Galileo Galilei, seen from behind, standing on a pedestal. The statue is looking out over a cityscape, likely Milan, with a clear blue sky and some clouds. The text 'Ricerca dell'Higgs nella regione in avanti delle collisioni pp con LHCb' is overlaid in large yellow letters.

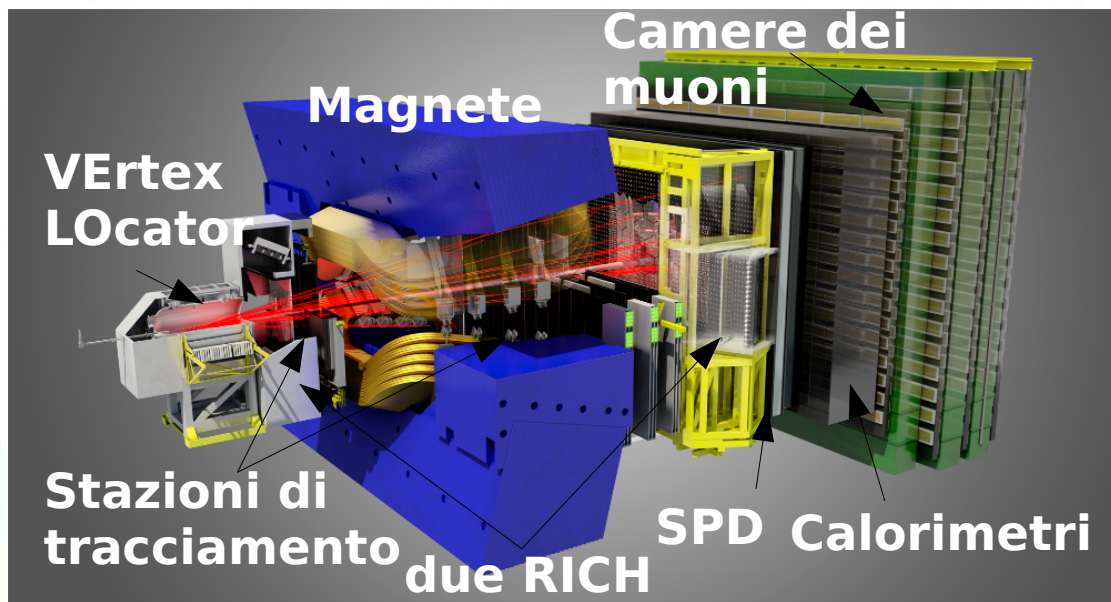
Ricerca dell'Higgs nella regione in avanti delle collisioni pp con LHCb

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



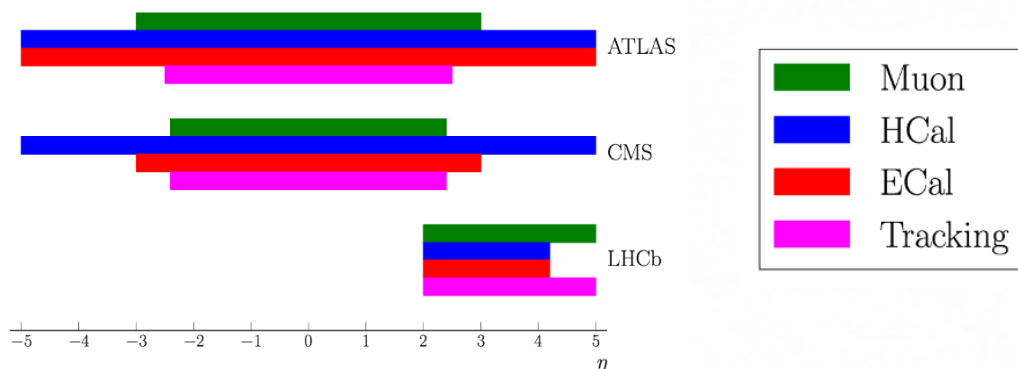
- Regione in avanti: **accettanza complementare** ($2 < \eta < 5$) rispetto ad ATLAS e CMS.

- **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.

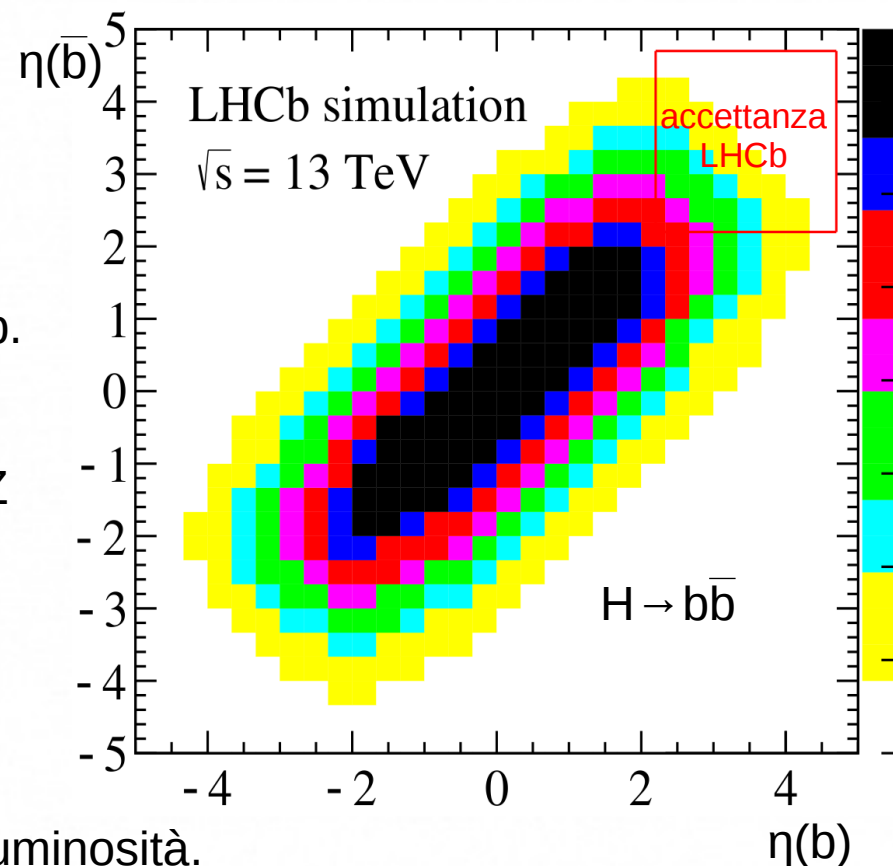
- **Eccellente ricostruzione dei vertici secondari**: identificazione dei getti da b e c.



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.



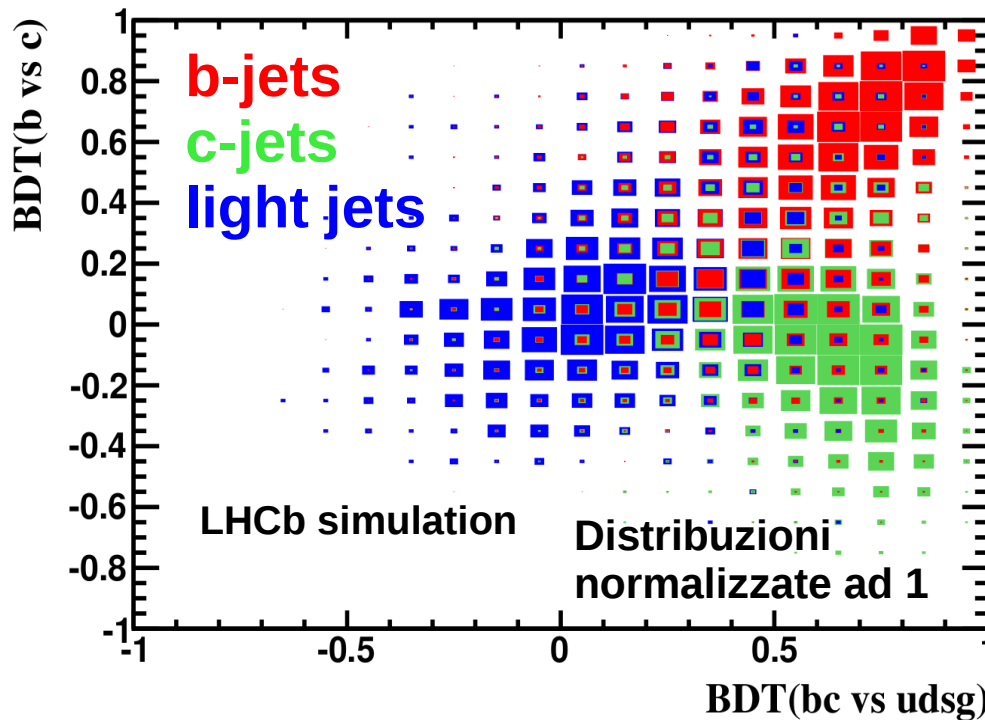
Identificazione del sapore dei getti

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!

Ricerca di $W/Z + H (\rightarrow b\bar{b} \text{ o } c\bar{c})$

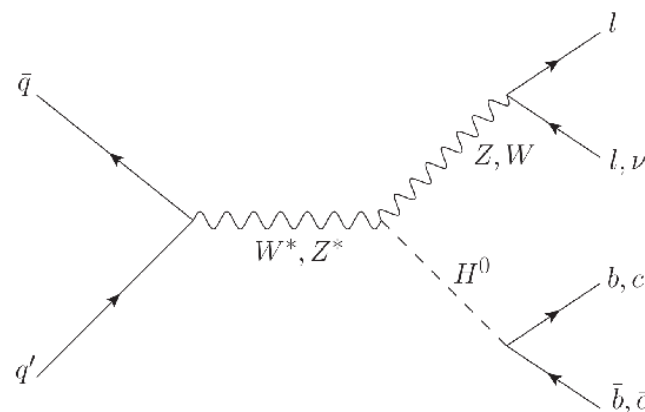
- Segnale: due getti “heavy flavour tagged” e un leptone ad alto p_T (elettrone o muone).

- 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 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

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

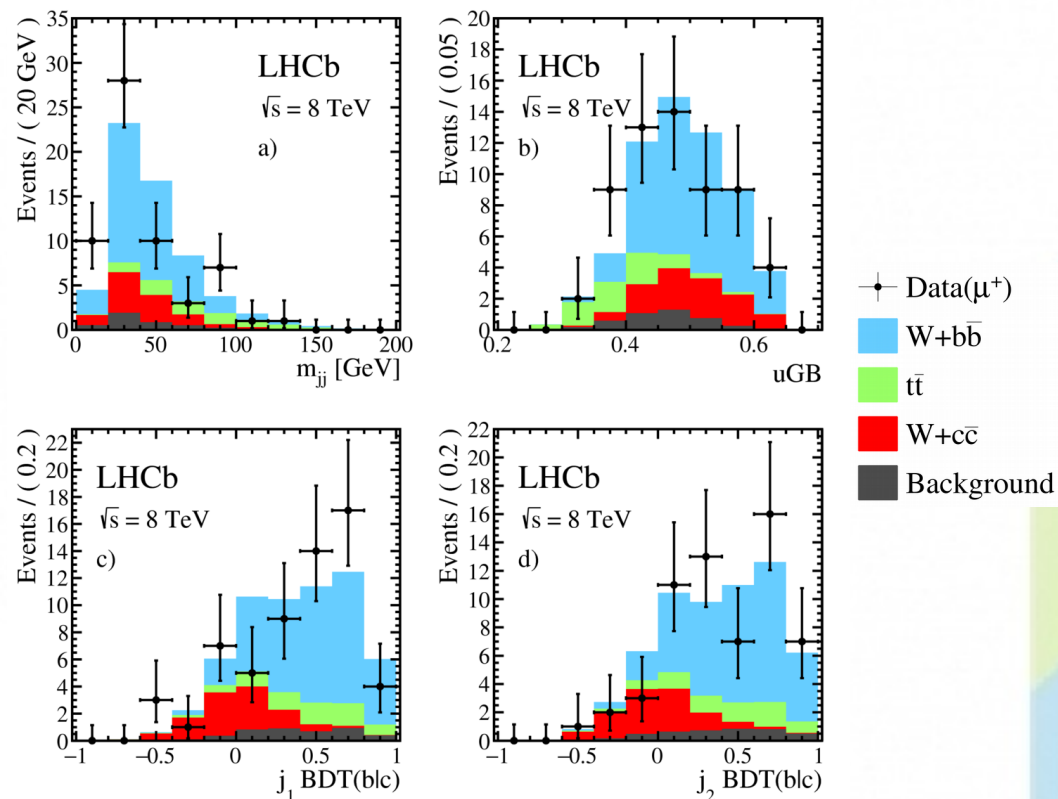
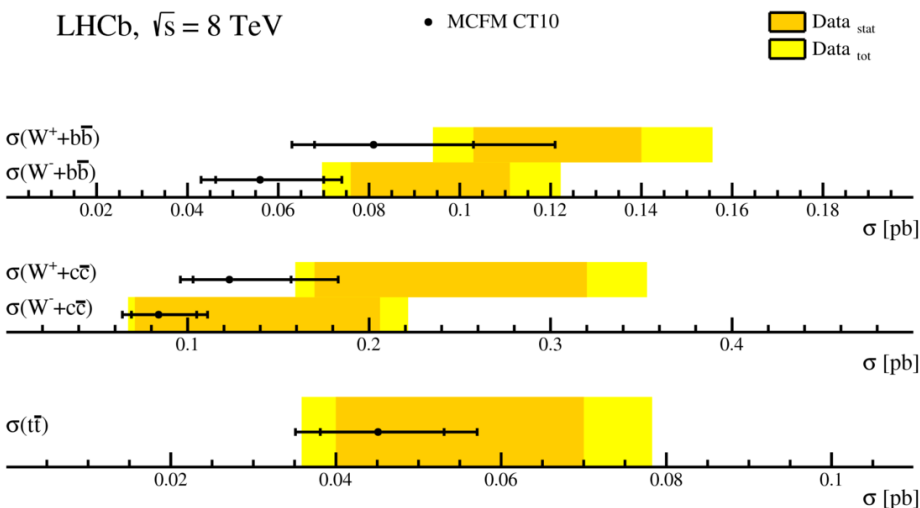
Misura di $W+b\bar{b}$, $W+c\bar{c}$ e $t\bar{t}$ ad 8 TeV

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}).

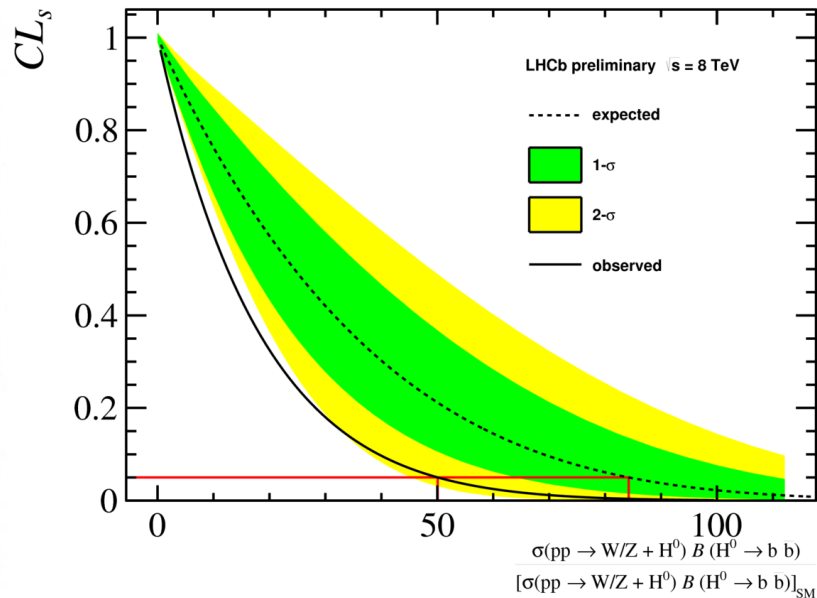
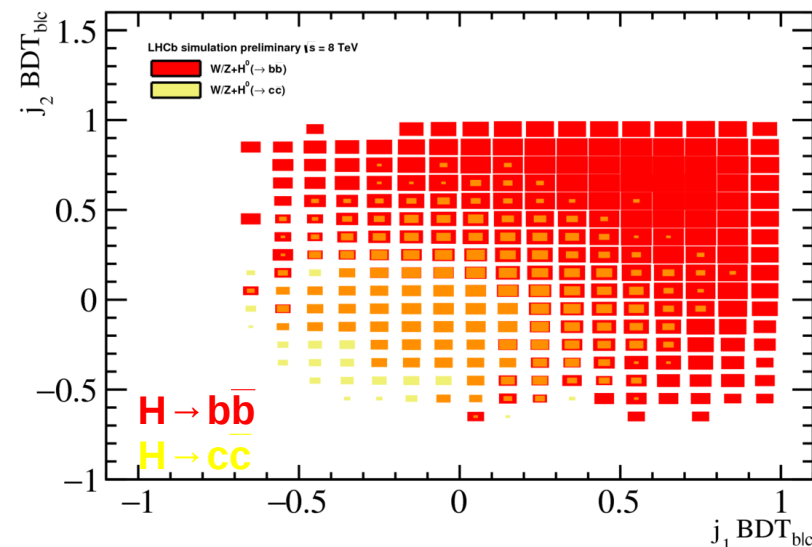
JINST 10 (2015) T03002

- 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.

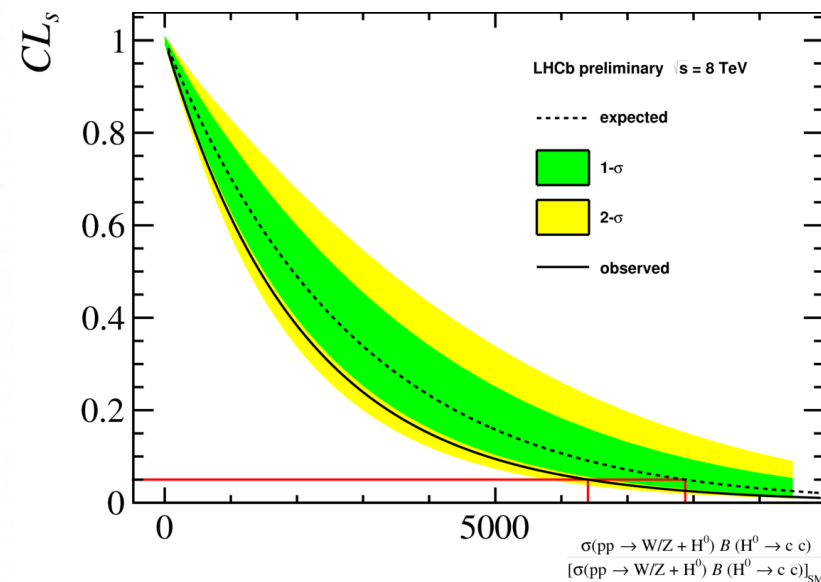


- Le misure sono compatibili al NLO.
- Oltre a dimostrare che abbiamo sotto controllo i fondi dell'Higgs, queste misure sono importanti per studiare le PDF (Parton Distribution Functions) nella regione in avanti.

- 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, $\text{BDT}(\text{WH vs } Wb\bar{b})$, $\text{BDT}(\text{WH vs } t\bar{t})$.
- Taglio addizionale sulla variabile di tagging $\text{BDT}(b|c) < 0.2$ per il limite su $H \rightarrow c\bar{c}$.

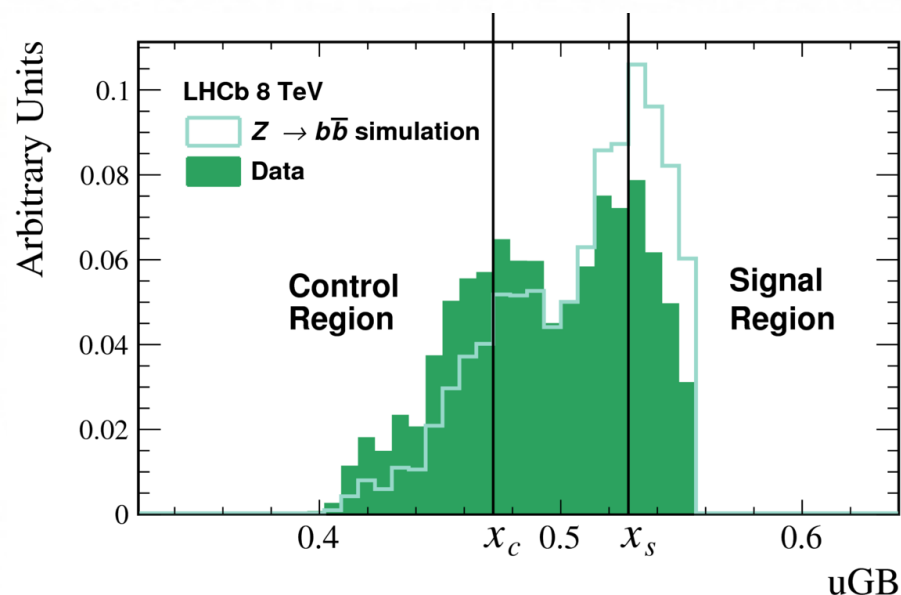


$$\sigma(V+H) B(H \rightarrow b\bar{b}) < 50 \sigma_{\text{SM}}$$



$$\sigma(V+H) B(H \rightarrow c\bar{c}) < 6400 \sigma_{\text{SM}}$$

- 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: $p_T(\text{jet}_{1,2}) > 20 \text{ GeV}$, $2.2 < \eta(\text{jet}_{1,2}) < 4.2$, $45 < m_{jj} < 165 \text{ GeV}$

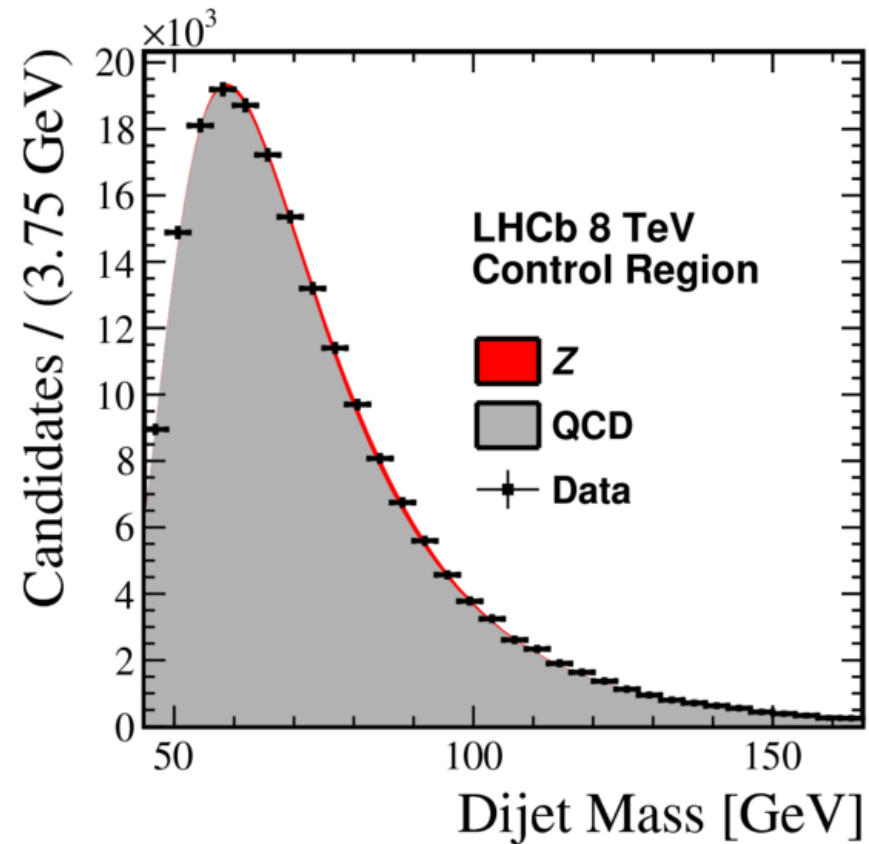
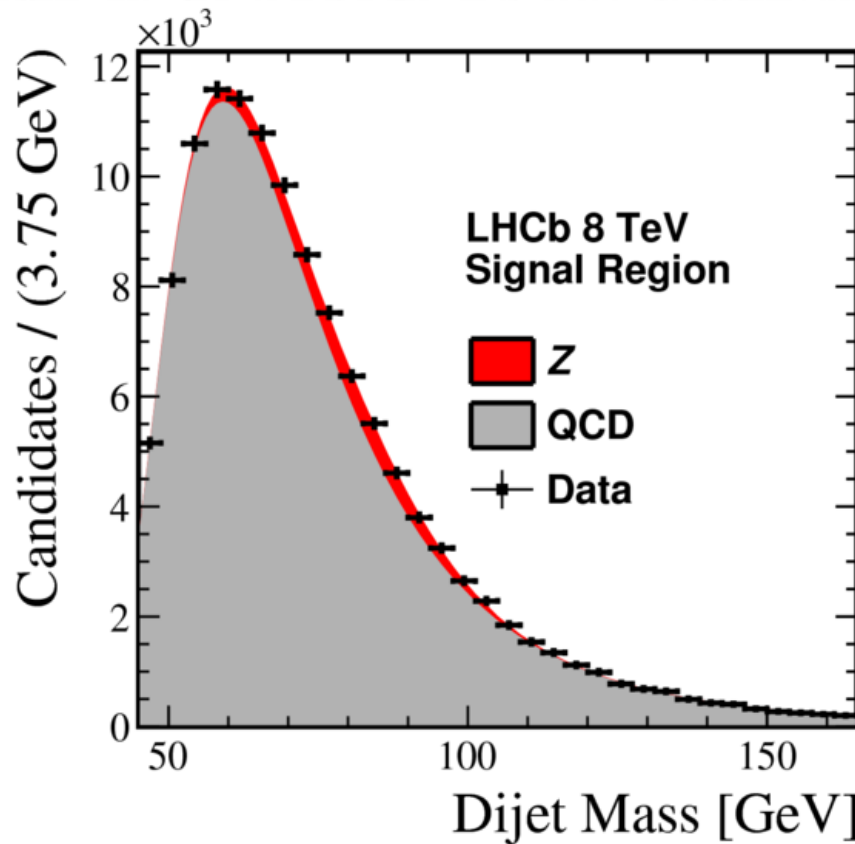


- Un **getto di rinculo** (jet_3) addizionale che rende $p_T(Z+\text{jet}_3)$ minimo nell'evento viene selezionato per separare $Z \rightarrow b\bar{b}$ da QCD.
- Una BDT (uGB) viene allenata per separare $Z \rightarrow b\bar{b}$ dal fondo di QCD, le osservabili utilizzate sono quelle relative alla cinematica del sistema dei 3 getti.

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

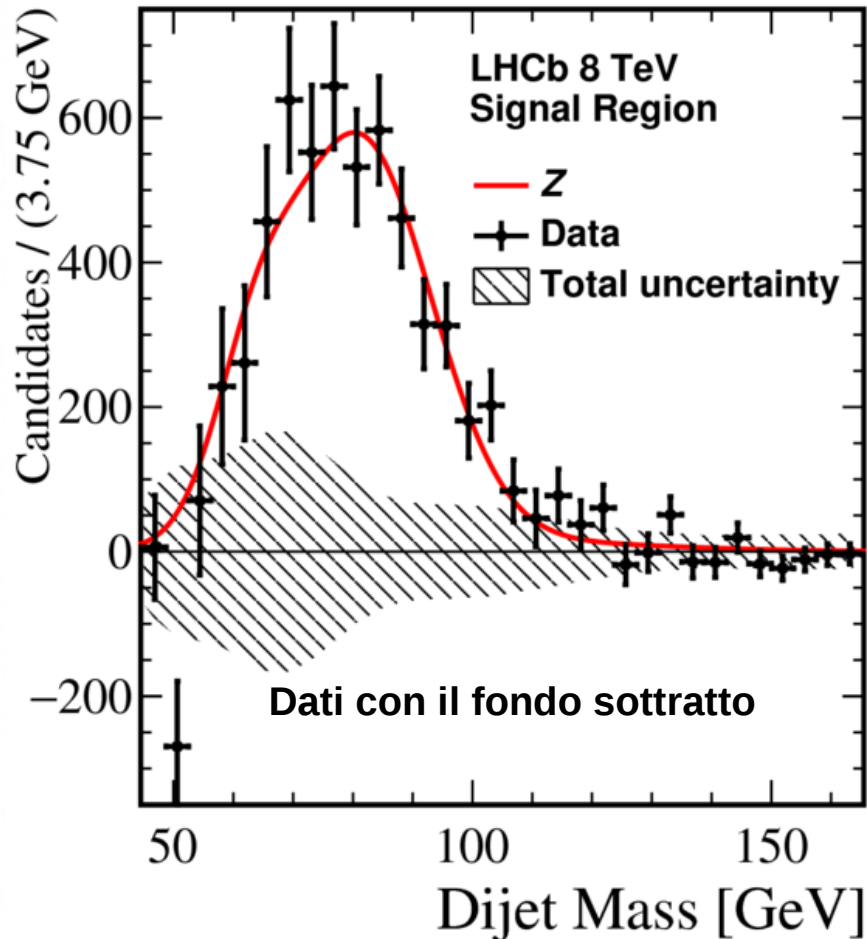
Phys. Lett. B776 (2017)

- 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 sistemica 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:

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

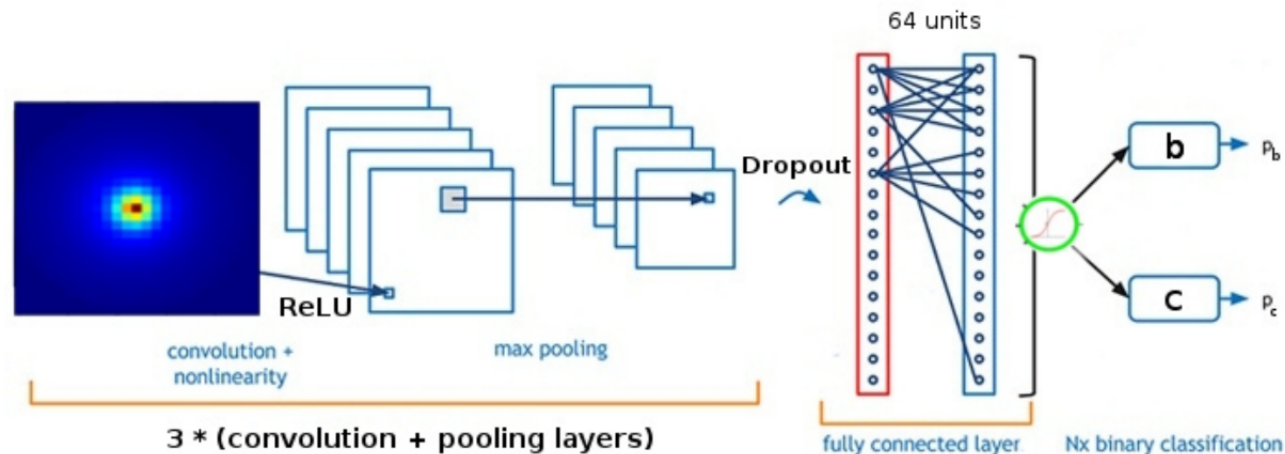
- Lo studio della sensitività di LHCb per l'osservazione della produzione inclusiva di $H \rightarrow b\bar{b}$ è attualmente in corso!

Prospettive future

- LHCb si prospetta di raccogliere una luminosità integrata pari a 300 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 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 fb^{-1} di dati potremmo ridurre il limite sull' $H \rightarrow c\bar{c}$ tra 5 e 10 volte la sezione d'urto SM.

Nuovi algoritmi di tagging

- Stiamo studiando nuove tecniche basate su Deep Neural Network per migliorare le performace 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!