



# Prime misure di LHCb dal Run2

*Silvia Amerio<sup>1</sup>, Lucio Anderlini<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Padova*

*<sup>2</sup> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Firenze*



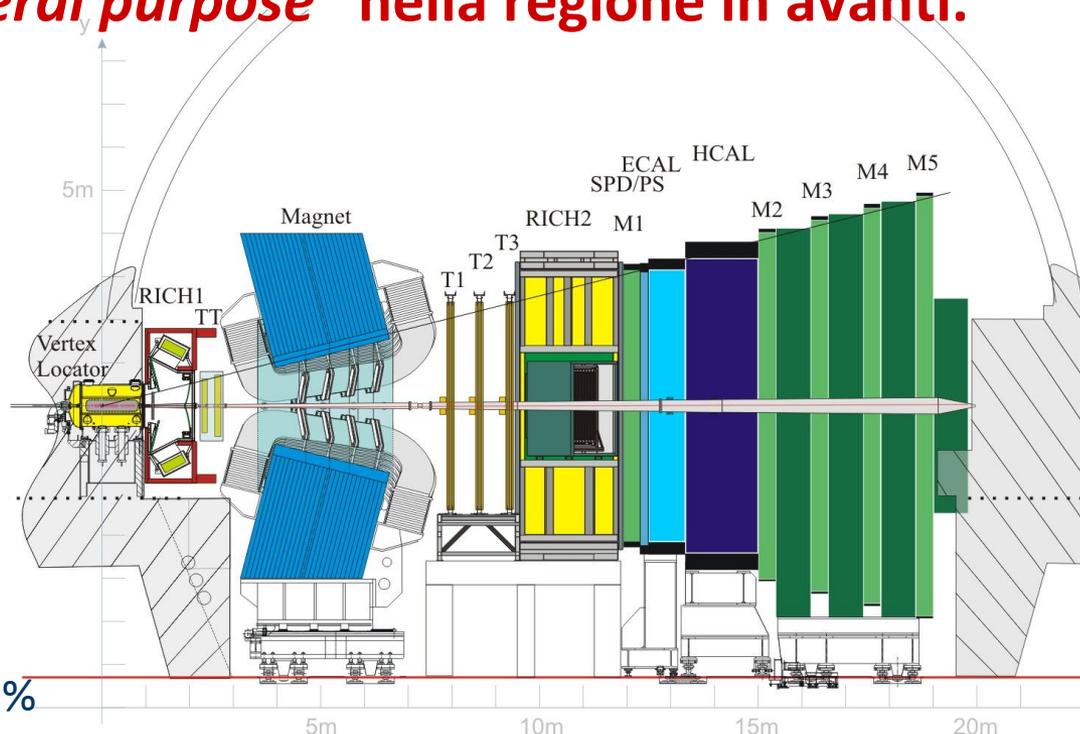
## Introduzione: *il rivelatore LHCb*

In origine dedicato alla **ricerca indiretta di nuova fisica** nei decadimenti rari, e che violano CP, dei quark *b* e *c* at LHC.

**Oggi è un rivelatore “general purpose” nella regione in avanti.**

- Copertura geometrica unica
- Alta risoluzione tracce e vertici
- Sofisticata identificazione delle particelle (RICH+ECAL+MUON)
- Trigger innovativo

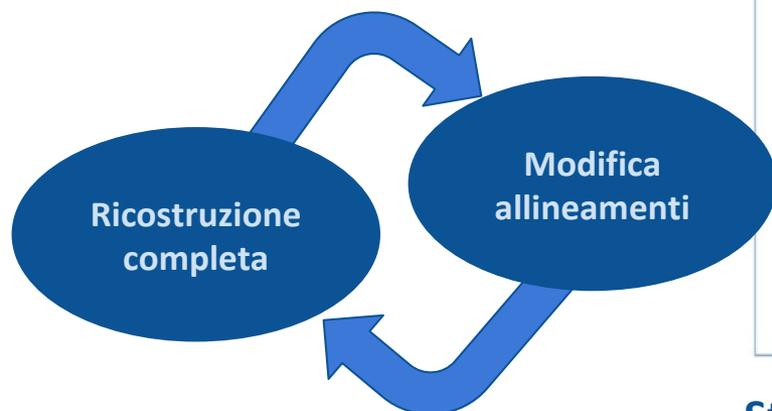
Efficienza tracce	> 96 %
$\sigma$ tempo di decadimento	45 fs
$\sigma$ quantità di moto	0.5 - 1.0 %
Input al trigger software	$10^6$ eventi / s



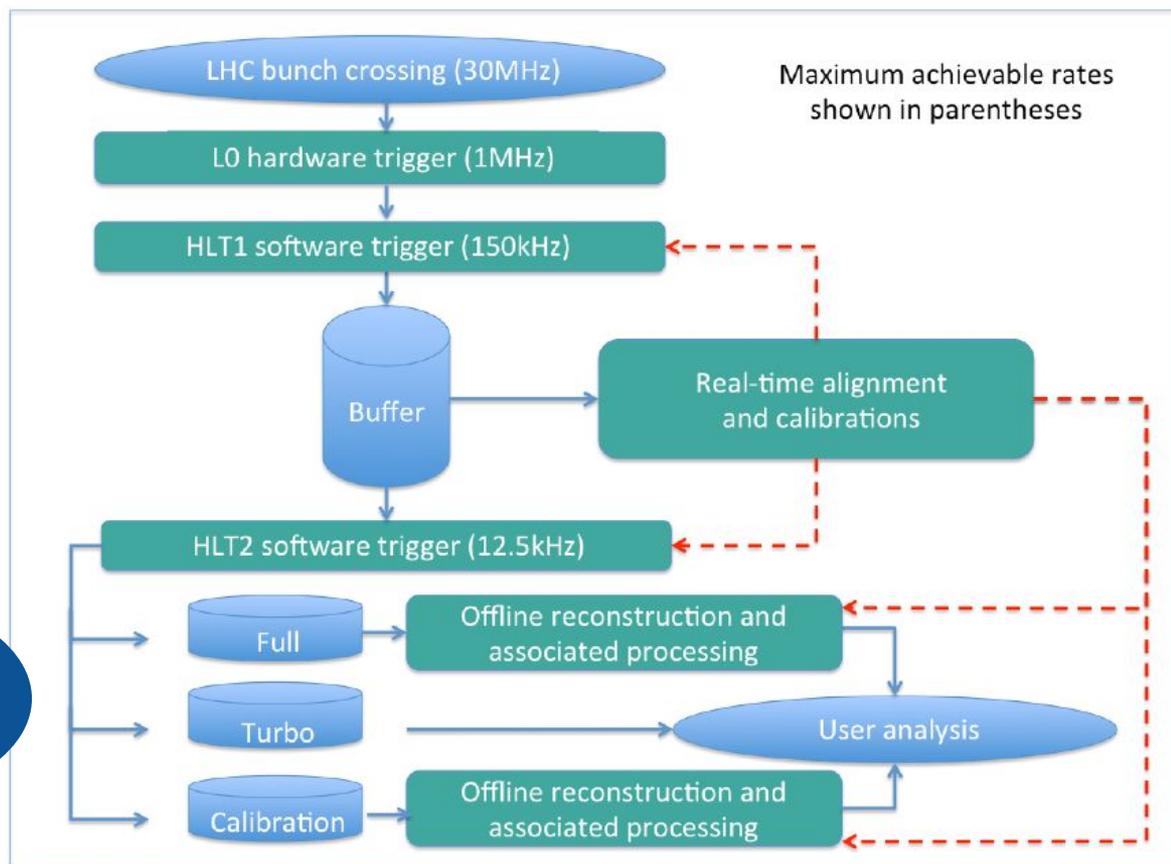
# Introduzione: Calibrazione ed allineamento in tempo reale

I primi dati di ogni *Fill* di LHC vengono usati per aggiornare le costanti di allineamento.

I nodi altrimenti usati per il trigger software ricostruiscono iterativamente gli eventi per trovare le costanti migliori.



Le costanti di calibrazione, sono ottenute con un singolo fit all'inizio di ogni Run.



**Stream Full:** ricostruita offline, quante volte necessario

**Stream Turbo:** ricostruita solo online, una volta per tutte

**Stream Calibration:** ricostruita sia online che offline.

# Stream Turbo: *analisi di fisica in tempo reale*

## Pro

*Molto veloce (1h vs. ~30h)*  
*Leggero: ~5 kB/evento*  
*(rispetto a 70+50 kB in Full)*

## Contro

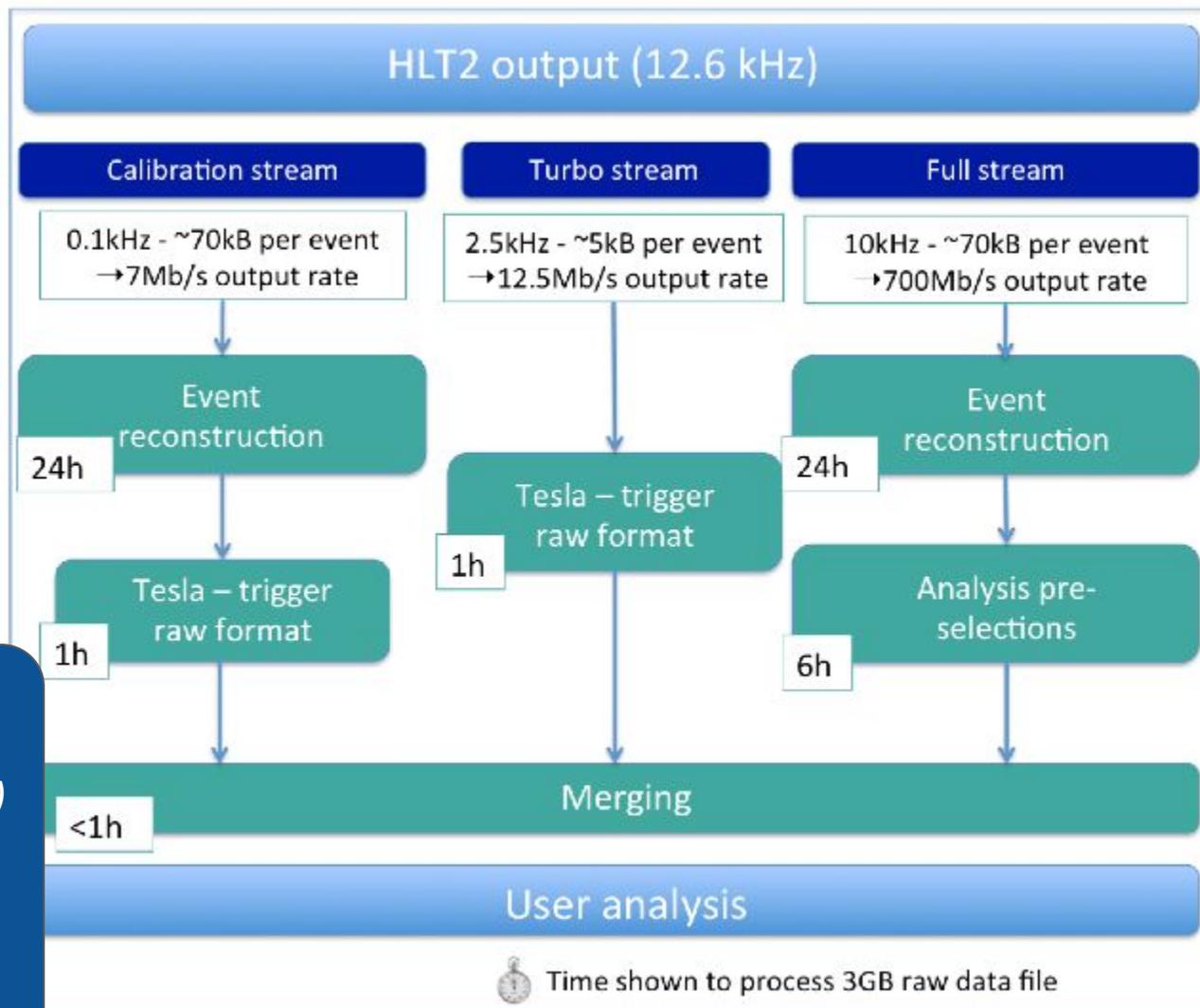
*Eventi non re-ricostruibili:*  
*nuovi algoritmi che accedano*  
*ai dati di rivelatore non*  
*possono essere utilizzati.*

### Usato per:

*Altissima statistica, efficienza*  
*non massima (esempio charm)*

### Non adatto per:

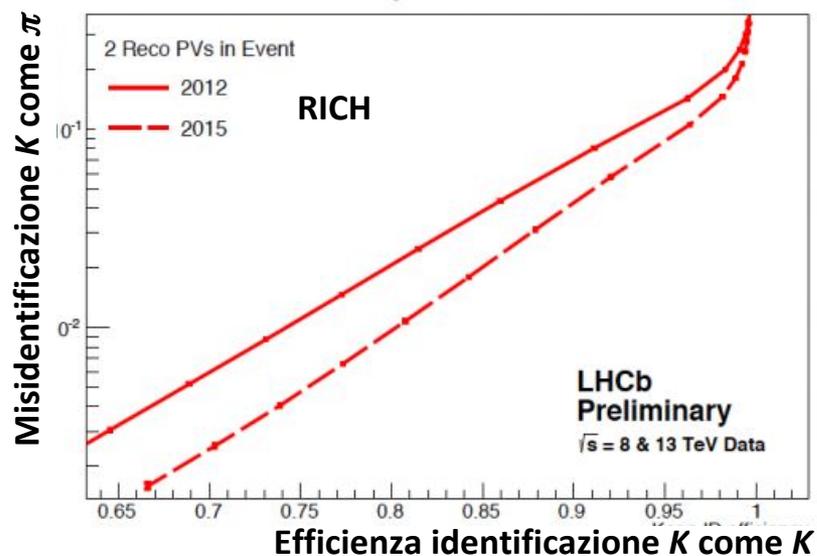
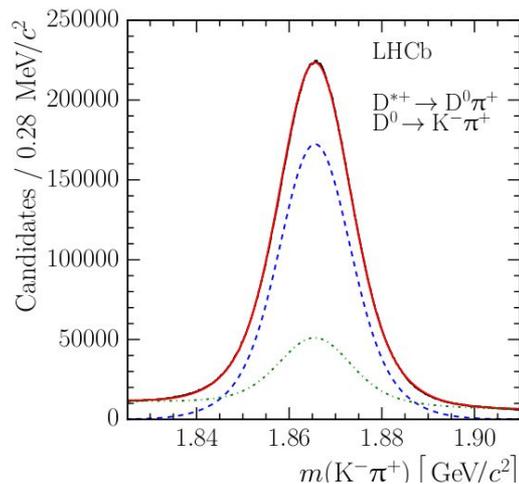
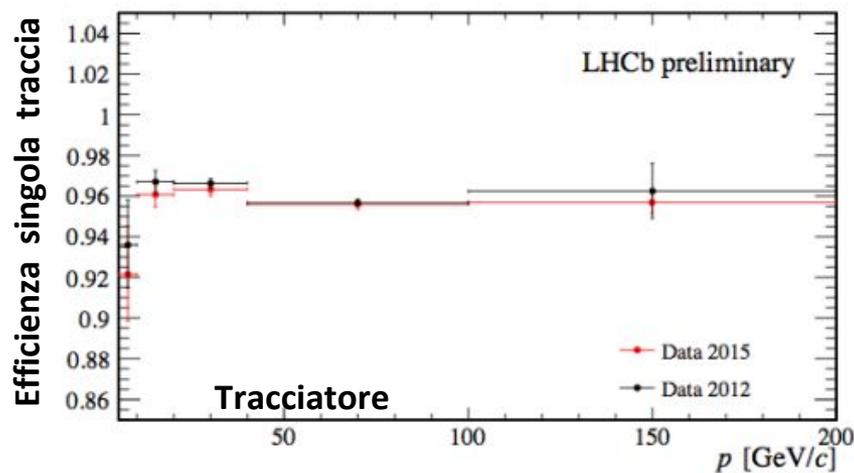
*Reiezione del fondo critica:*  
*pochi eventi, ma interessati a*  
*ogni singolo bit.*



# Studi di performance *con la stream Turbo*

Le migliorie nel rivelatore e nel software di ricostruzione durante il LS1, hanno consentito di ottenere performance uguali o migliori nel 2015 rispetto al Run 1.

**Ma... dal 2015 sono disponibili per la selezione online (nel Trigger)**



**I campioni di calibrazione sono selezionati già nel Trigger**

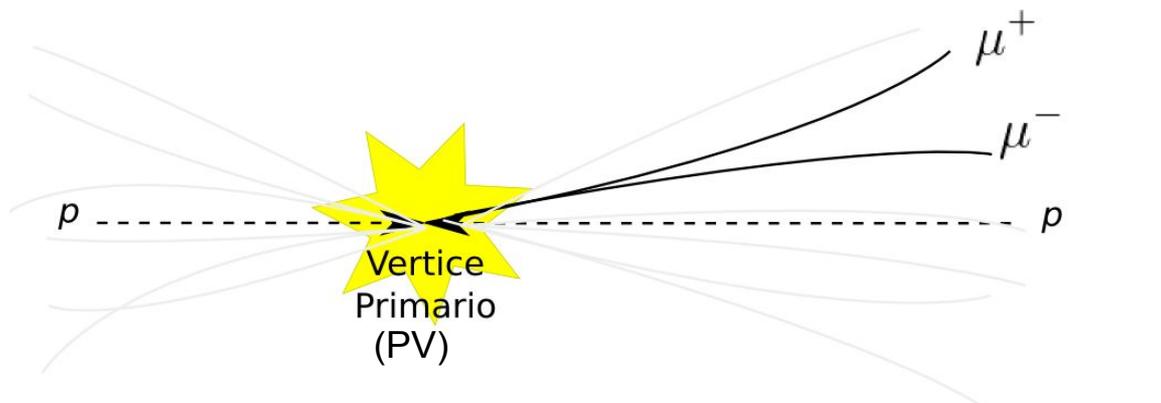
La ricostruzione online e offline possono essere confrontate.

**Perché?** I campioni di calibrazione offrono la possibilità di misurare l'efficienza dei criteri di selezione *senza simulazione!*

# Fisica con Turbo: sezione d'urto $pp \rightarrow J/\psi X$ a $\sqrt{s} = 13$ TeV

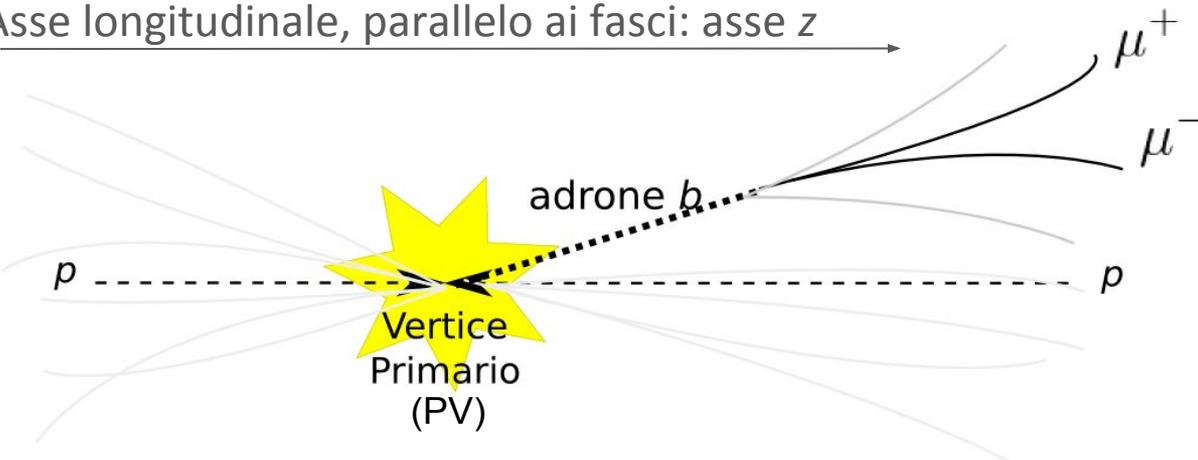
Prima misura di LHC con i dati di Run2!

- Verifica delle predizioni sulla produzione di  $b$  e  $c$  basate su energie inferiori
- Misura delle **funzioni di struttura** del protone a basso  $x$  (regione forward)



$J/\psi$  prodotte direttamente nell'interazione  $pp$  ( $J/\psi$  "da PV")

Asse longitudinale, parallelo ai fasci: asse  $z$



$J/\psi$  prodotte nel decadimento di un adrone contenente un quark  $b$  ( $J/\psi$  "da  $b$ ")

# Fisica con Turbo: sezione d'urto $pp \rightarrow J/\psi X$ a $\sqrt{s} = 13$ TeV

Le componenti "da PV" e "da  $b$ " sono separate statisticamente con un fit 2D

- Massa della combinazione  $\mu\mu$  (sottrazione del fondo combinatorio)
- Tempo di decadimento pseudoproprio dell'adrone  $b$

**Luminosità:**  $3.05 \text{ pb}^{-1}$

**Fiducial volume:**

$$0 < p_T < 14 \text{ GeV}/c$$

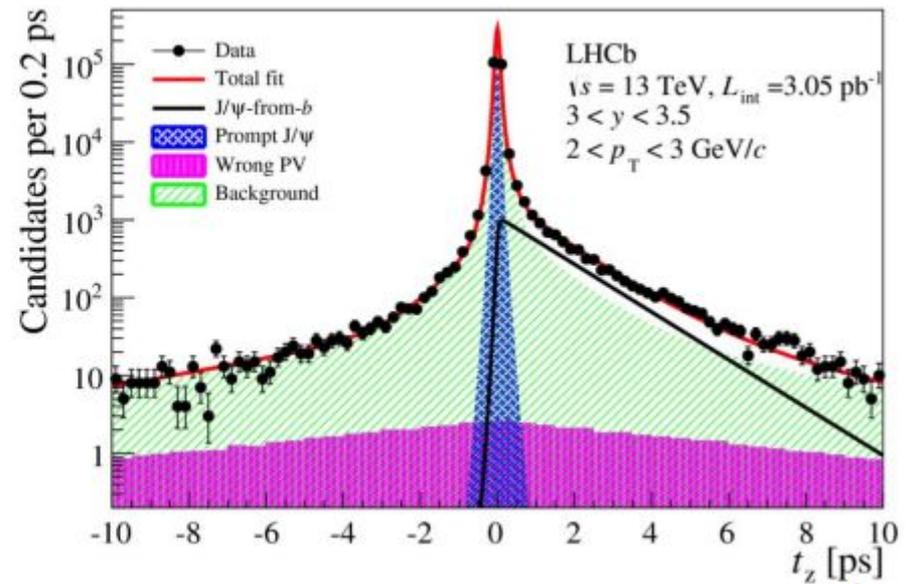
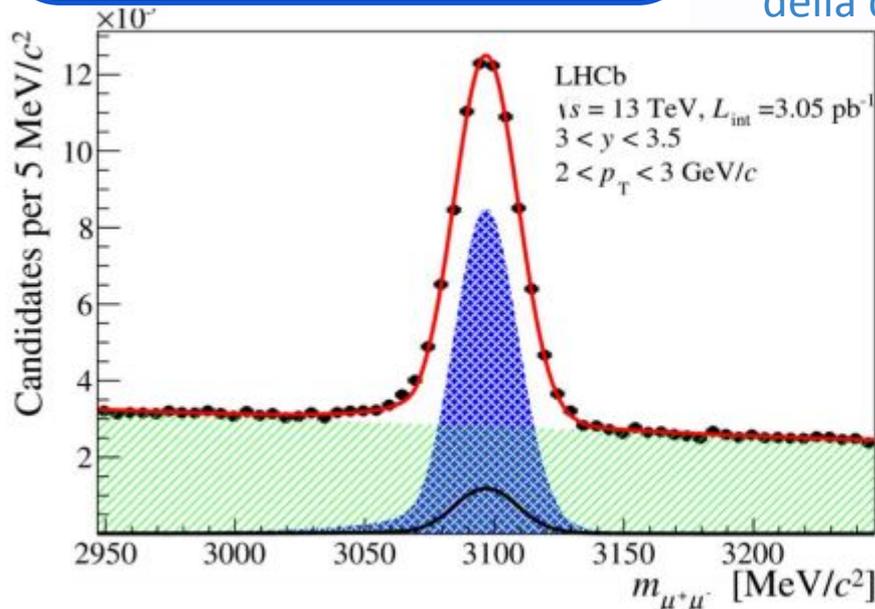
$$2 < \eta < 4.5$$

Distanza percorsa

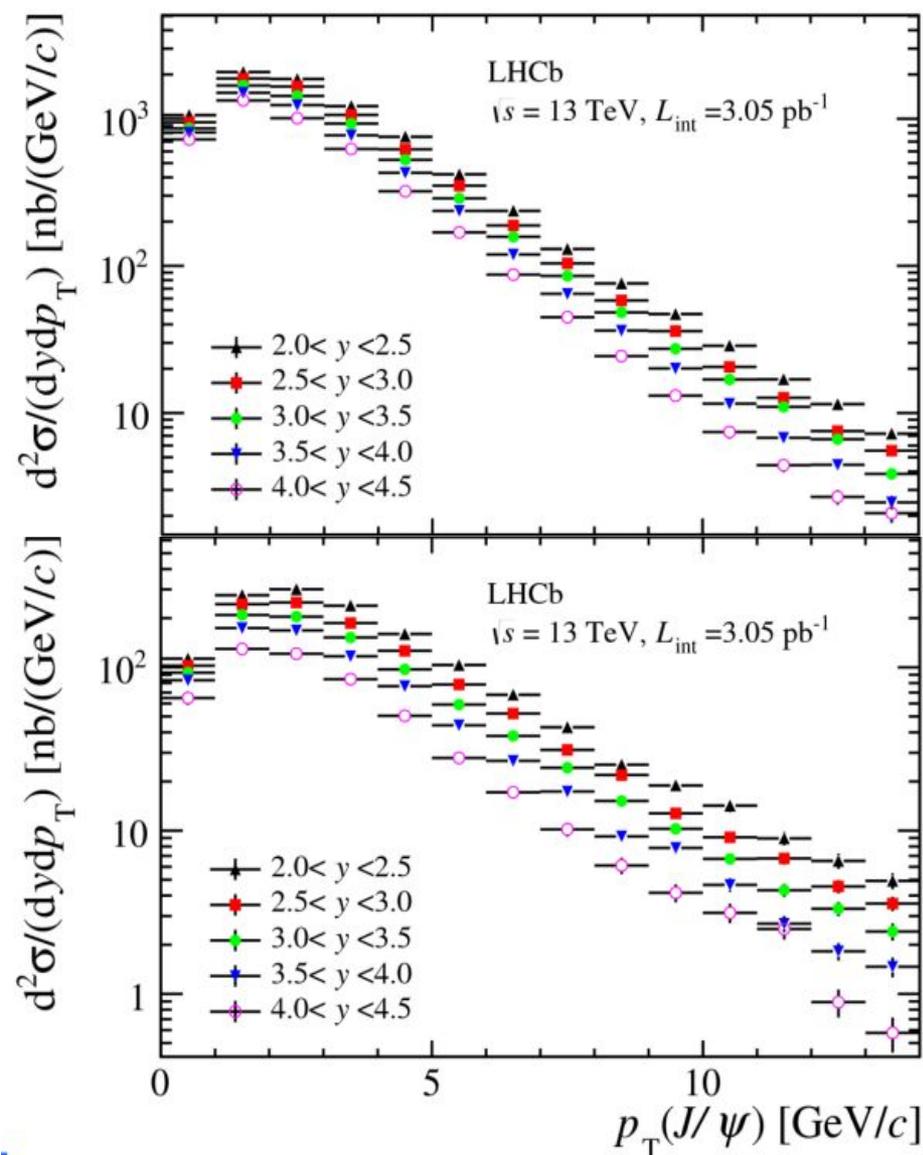
$$t_z = \frac{d M_{J/\psi}}{p_z}$$

Massa  
nominale  
 $J/\psi$

Componente longitudinale  
della quantità di moto



# Misura della sezione d'urto: *doppio-differenziale*



Sezione d'urto integrata  $pp \rightarrow J/\psi$  "da PV"

$$\sigma(pp \rightarrow J/\psi; \text{da PV}) = 15.30 \pm 0.03 \pm 0.86 \mu\text{b}$$

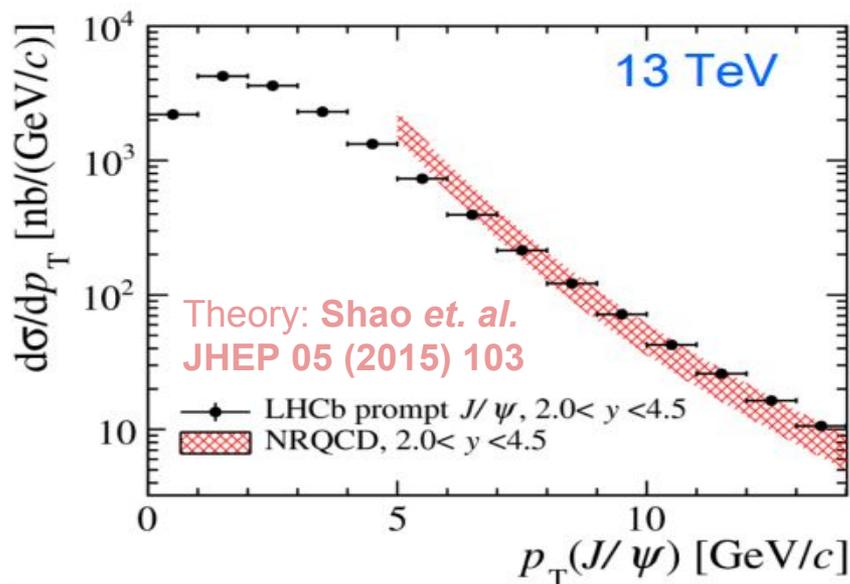
$$0 < p_T < 14 \text{ GeV}/c \quad 2 < \eta < 4.5$$

Sezione d'urto integrata  $pp \rightarrow J/\psi$  "da b"

$$\sigma(pp \rightarrow J/\psi; \text{da b}) = 2.34 \pm 0.01 \pm 0.13 \mu\text{b}$$

$$0 < p_T < 14 \text{ GeV}/c \quad 2 < \eta < 4.5$$

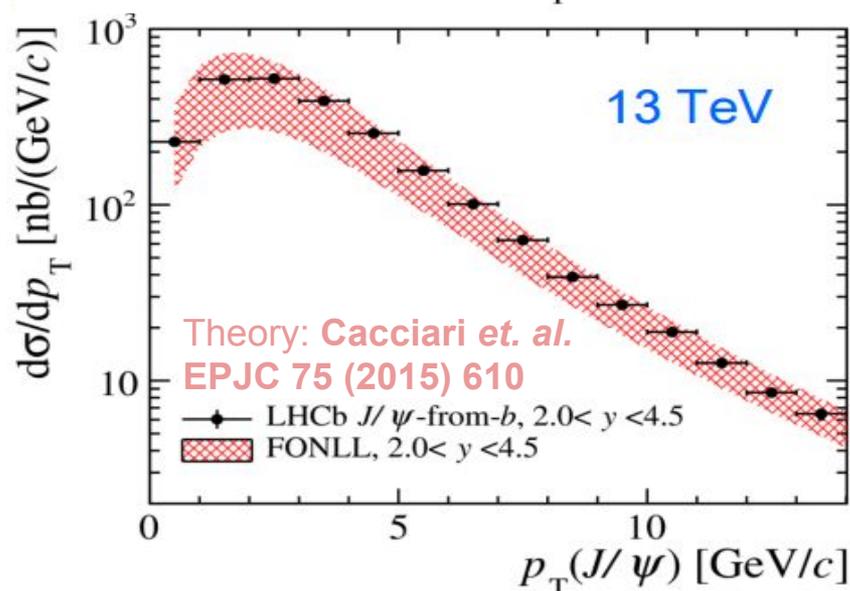
# Misura della sezione d'urto: confronto con le predizioni



Sezione d'urto integrata  $pp \rightarrow J/\psi$  "da PV"

$$\sigma(pp \rightarrow J/\psi; \text{da PV}) = 15.30 \pm 0.03 \pm 0.86 \mu\text{b}$$

$$0 < p_T < 14 \text{ GeV}/c \quad 2 < \eta < 4.5$$



Sezione d'urto integrata  $pp \rightarrow J/\psi$  "da b"

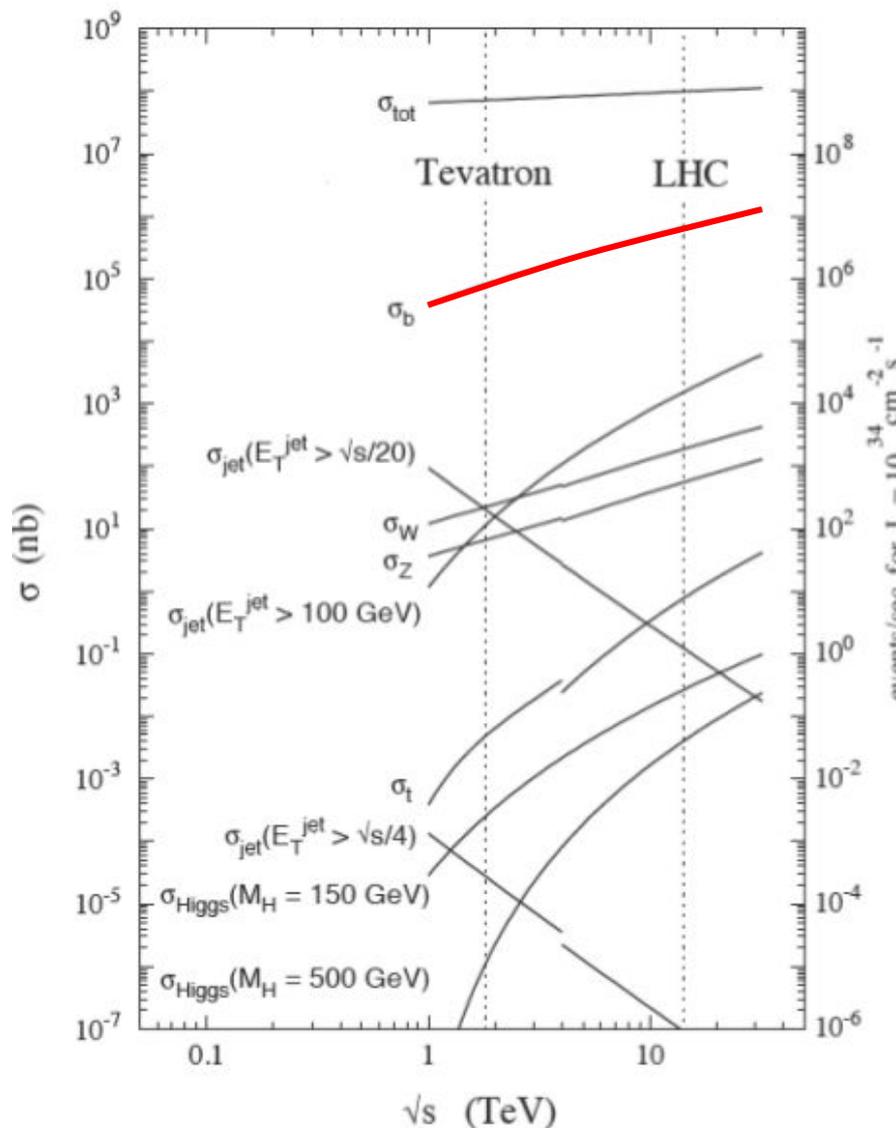
$$\sigma(pp \rightarrow J/\psi; \text{da } b) = 2.34 \pm 0.01 \pm 0.13 \mu\text{b}$$

$$0 < p_T < 14 \text{ GeV}/c \quad 2 < \eta < 4.5$$

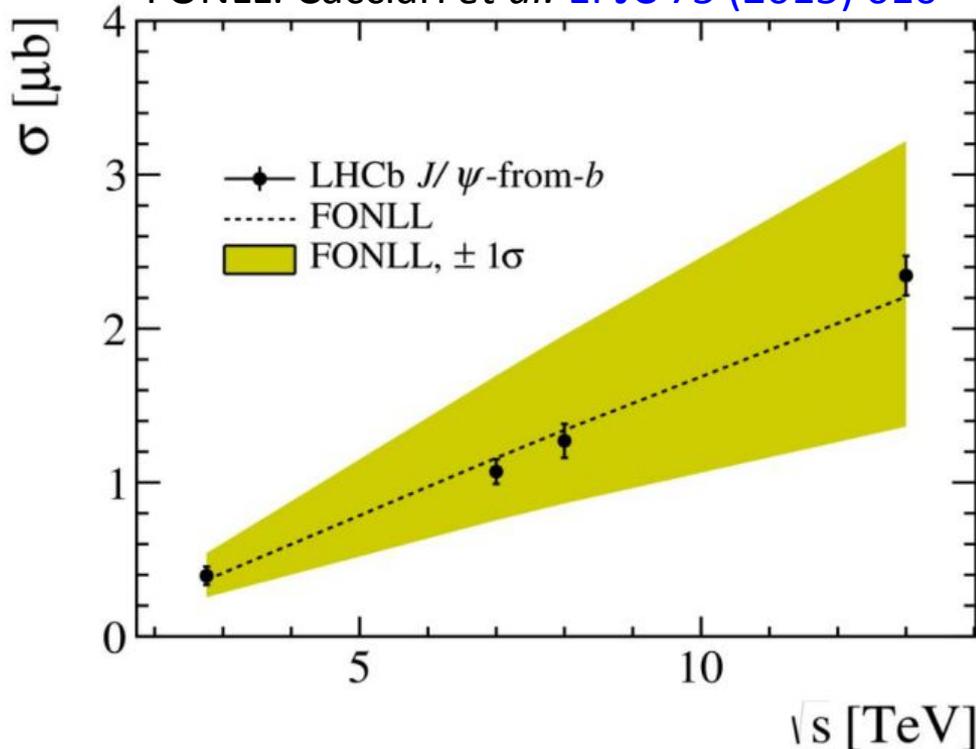
# Sezione d'urto $b\bar{b}$ : l'energia nel centro di massa

Prima conferma dell'evoluzione della sezione d'urto in funzione dell'energia, a 13 TeV.

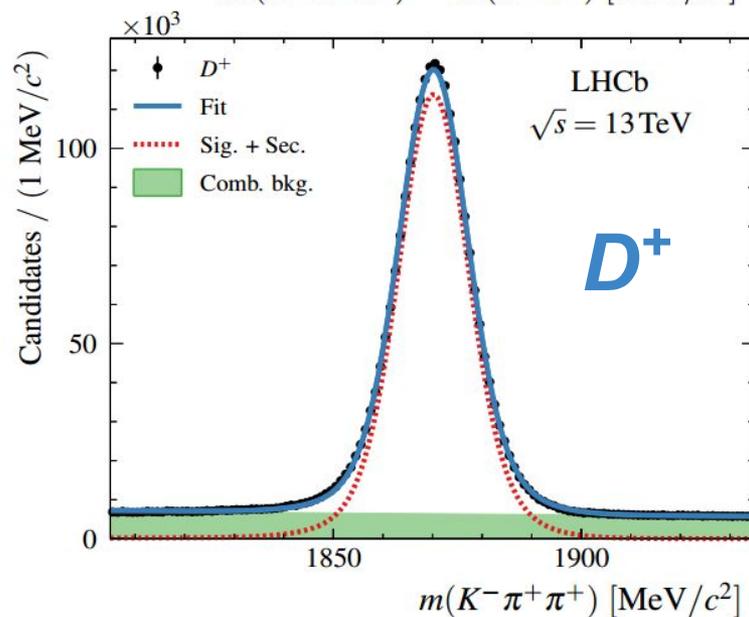
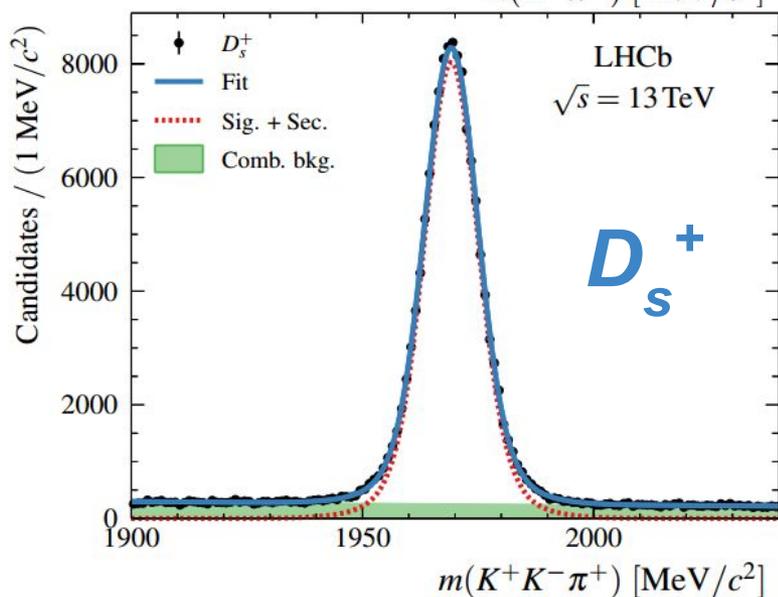
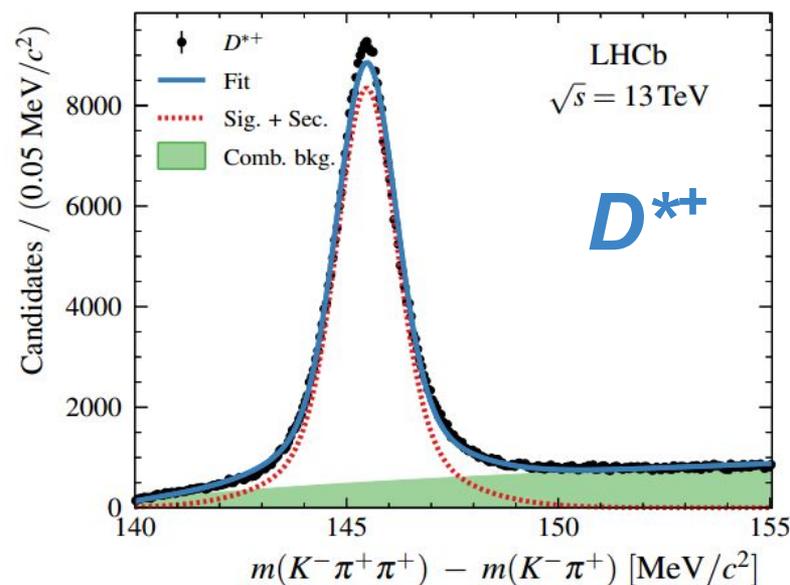
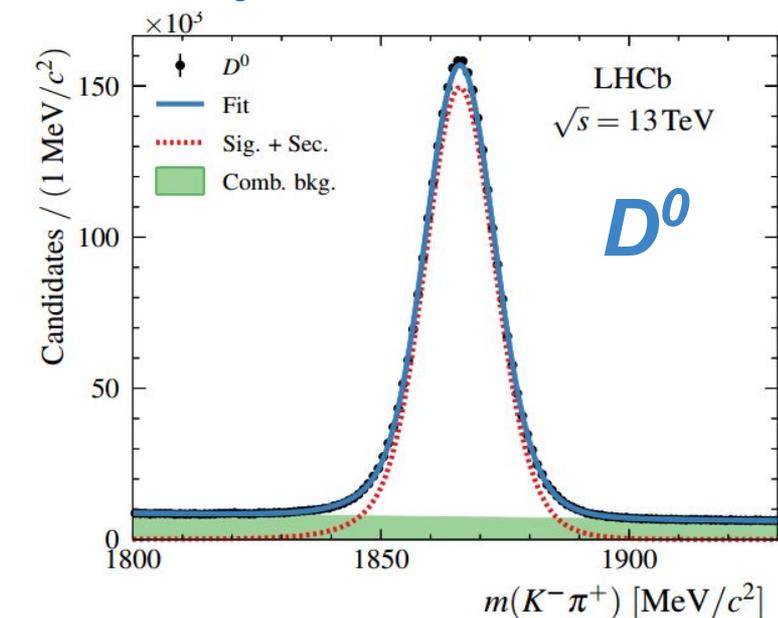
Come atteso, cresce linearmente con l'energia: segnali più puri per LHCb.



FONLL: Cacciari *et al.* EPJC 75 (2015) 610



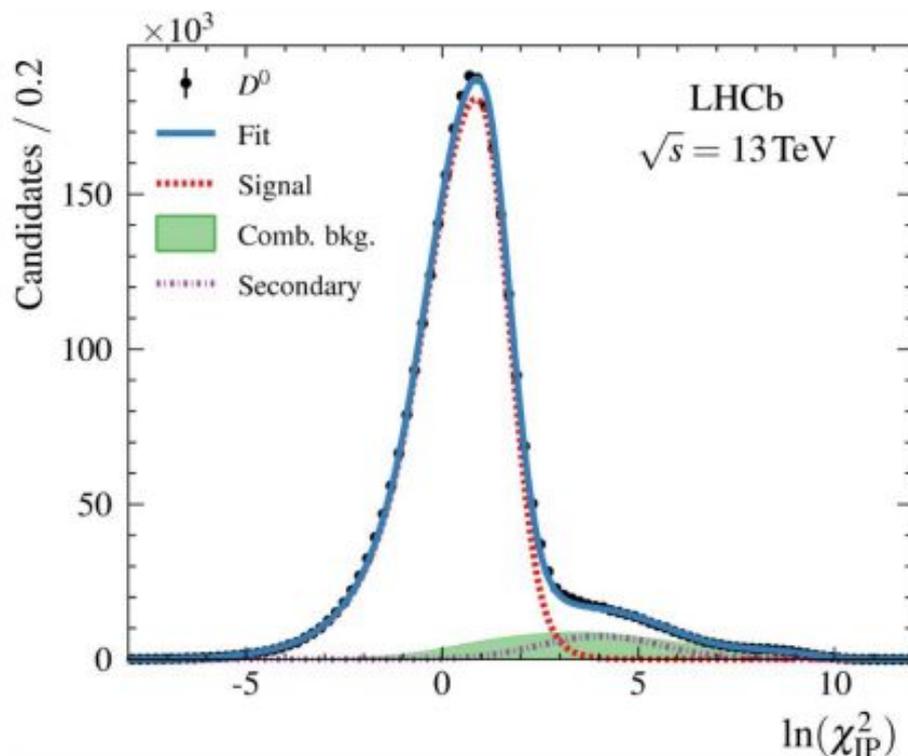
# Misura di produzione dei mesoni charm: $D^0$ , $D^+$ , $D^{*+}$ e $D_s^+$



# Componente da decadimenti di adroni $b$

Nel caso del charm, la componente proveniente da decadimenti del quark  $b$  è determinata con un fit della variabile

$$\ln(\chi_{IP}^2) = \ln(\chi_{PV \text{ con } D^0}^2) - \ln(\chi_{PV \text{ senza } D^0}^2)$$



**Luminosità:**  $4.98 \pm 0.19 \text{ pb}^{-1}$

**Fiducial volume:**

$$0 < p_T < 15 \text{ GeV}/c$$

$$2 < \eta < 4.5$$

**Incerteza:**

statistica

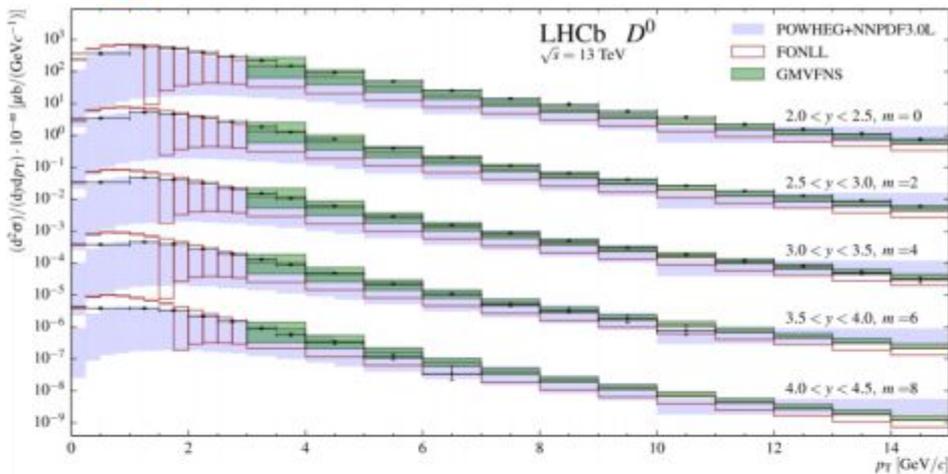
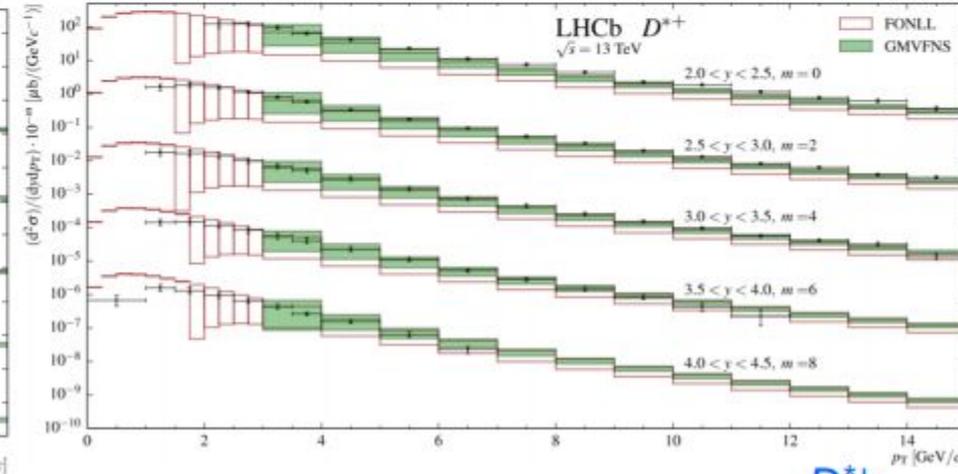
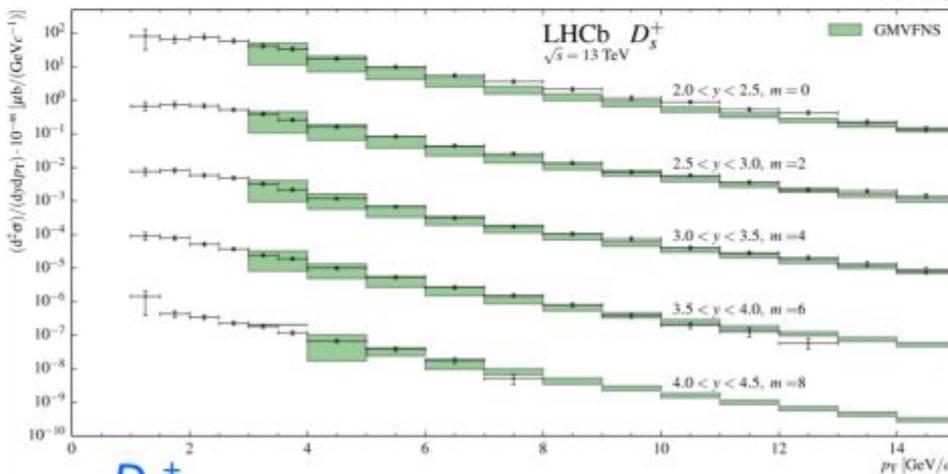
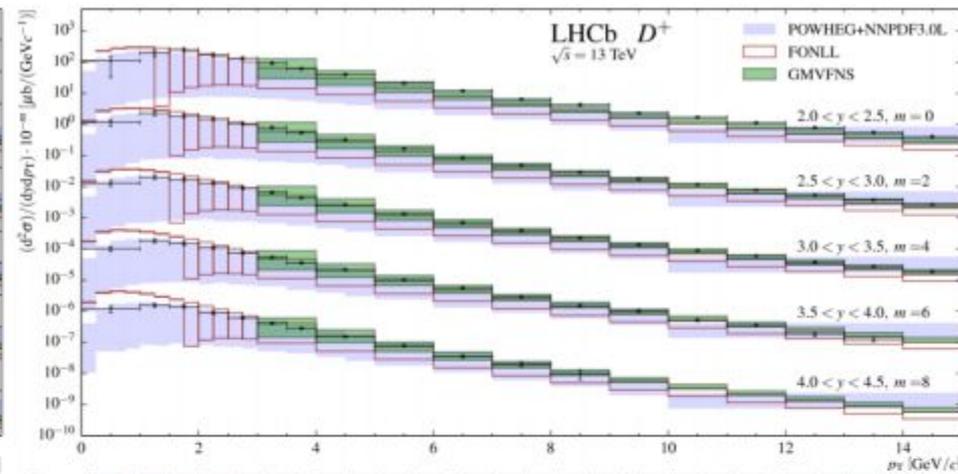
sistematica  
(soprattutto luminosità)

adronizzazione

**Sezione d'urto di produzione cc**

$$\sigma(pp \rightarrow c\bar{c}; p_T < 8 \text{ GeV}/c, 2 < \eta < 4.5) = 2940 \pm 3 \pm 180 \pm 160 \mu\text{b}$$

# Sezione d'urto doppio-differenziale: *confronti con predizioni*

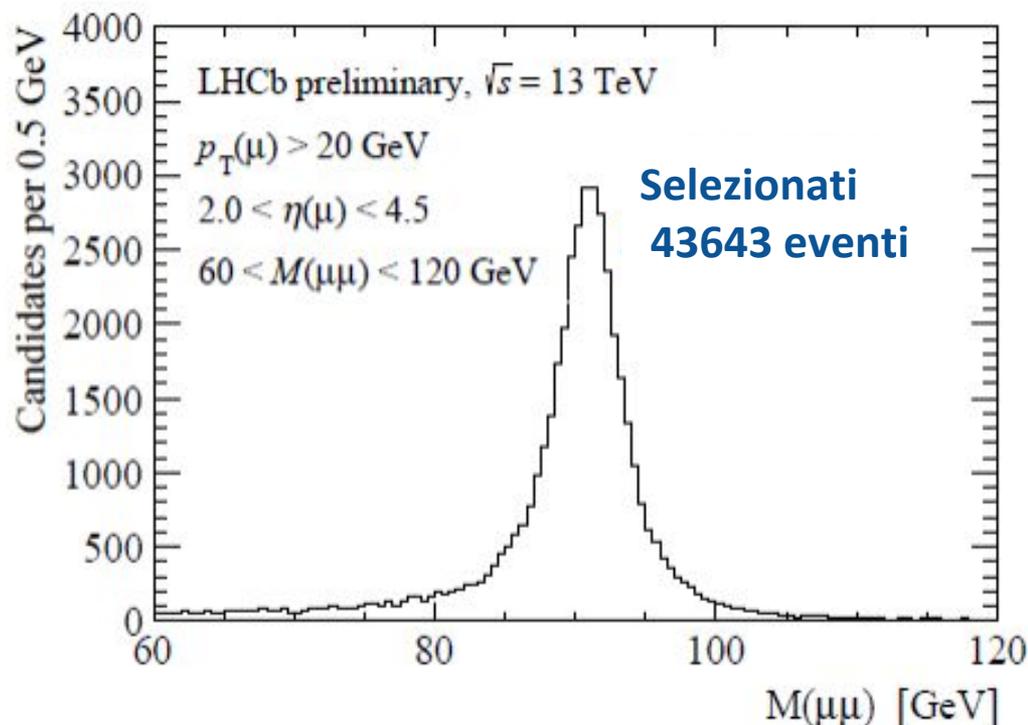
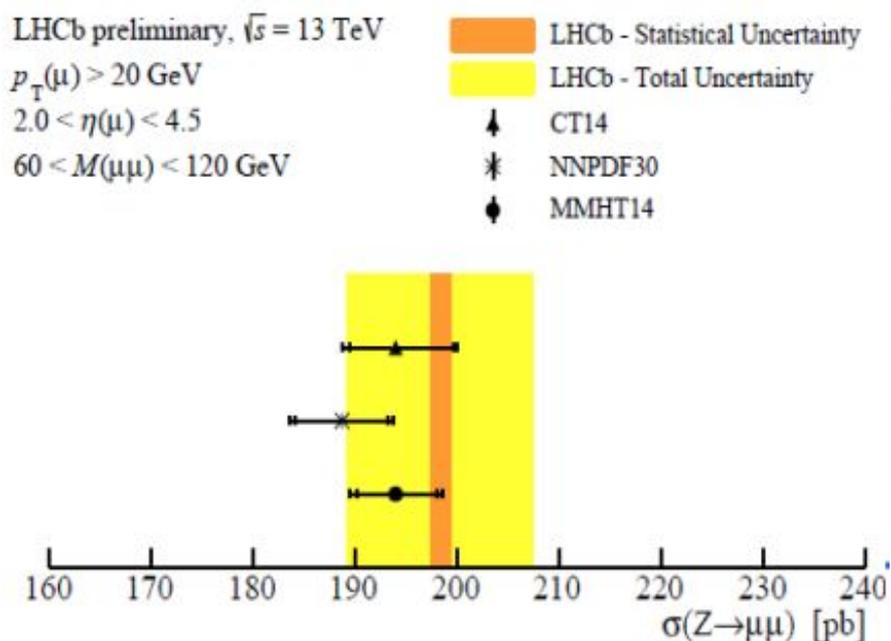
 $D^0$  $D^+$  $D_s^+$  $D^{*+}$ 

Buon accordo entro le incertezze teoriche

POWHEG: JHEP 11 (2015) 009, FONLL: EPJC 75 (2015) 610, GMVFNS: EPJC 72 (2012) 2082

# Bosone Z: produzione a $\sqrt{s} = 13$ TeV

Studio di decadimenti  $Z^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$  in  
 $294 \pm 11 \text{ pb}^{-1}$  raccolti in autunno 2015.



Buon accordo con le predizioni teoriche:

CT14	PRD 93 (2016) 033006
NNPDF30	JHEP 04 (2015) 040
MMHT14	EPJ C75 (2015) 5204

$$\sigma(pp \rightarrow Z^0 X) = 198.4 \pm 1.0(\text{stat}) \pm 4.7(\text{syst}) \pm 7.7(\text{lumi}) \text{ pb}$$

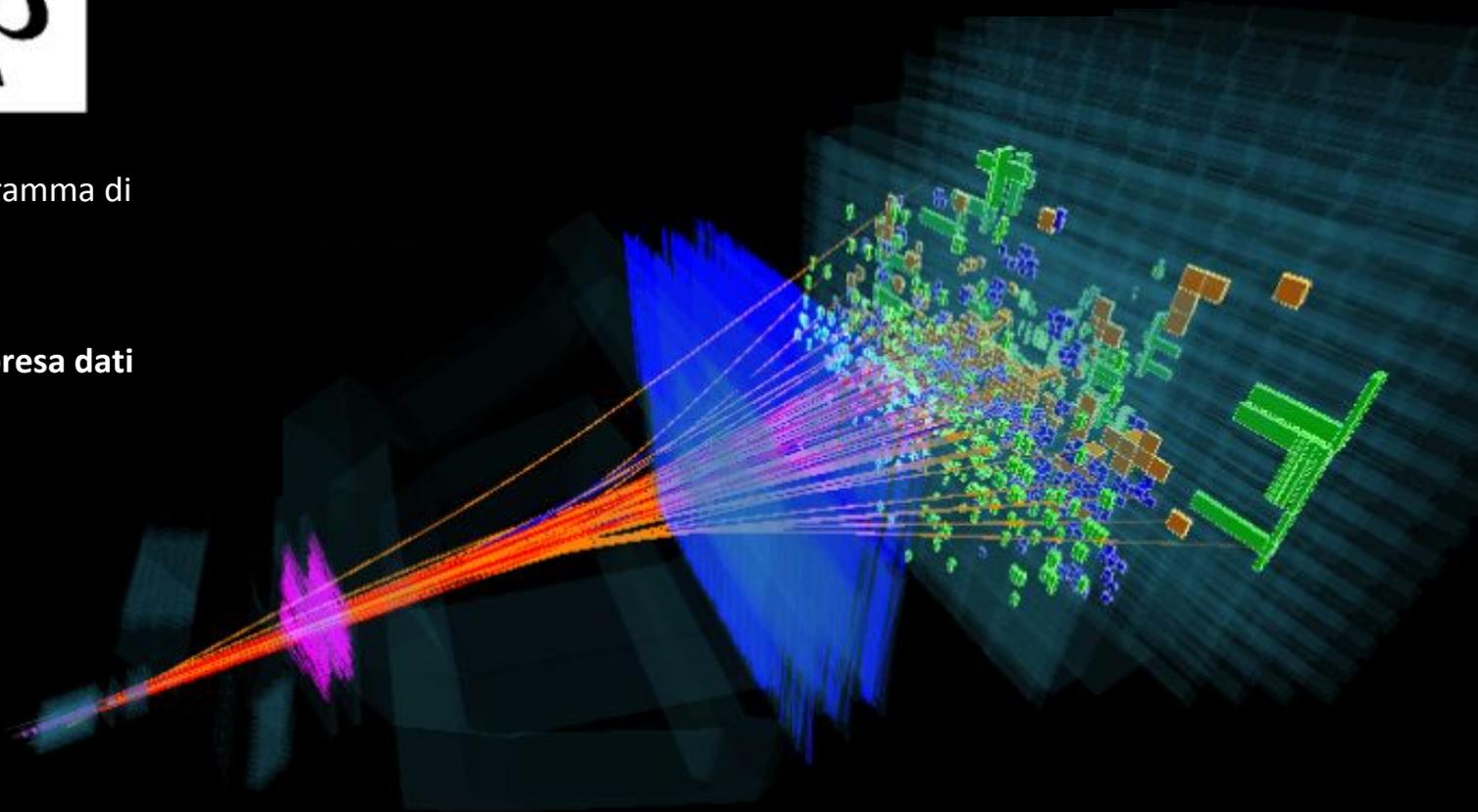
## Il programma per gli ioni pesanti



# Collisioni PbPb

LHCb partecipa al programma di Ioni pesanti di LHC!

Nel 2015, 24 giorni di presa dati



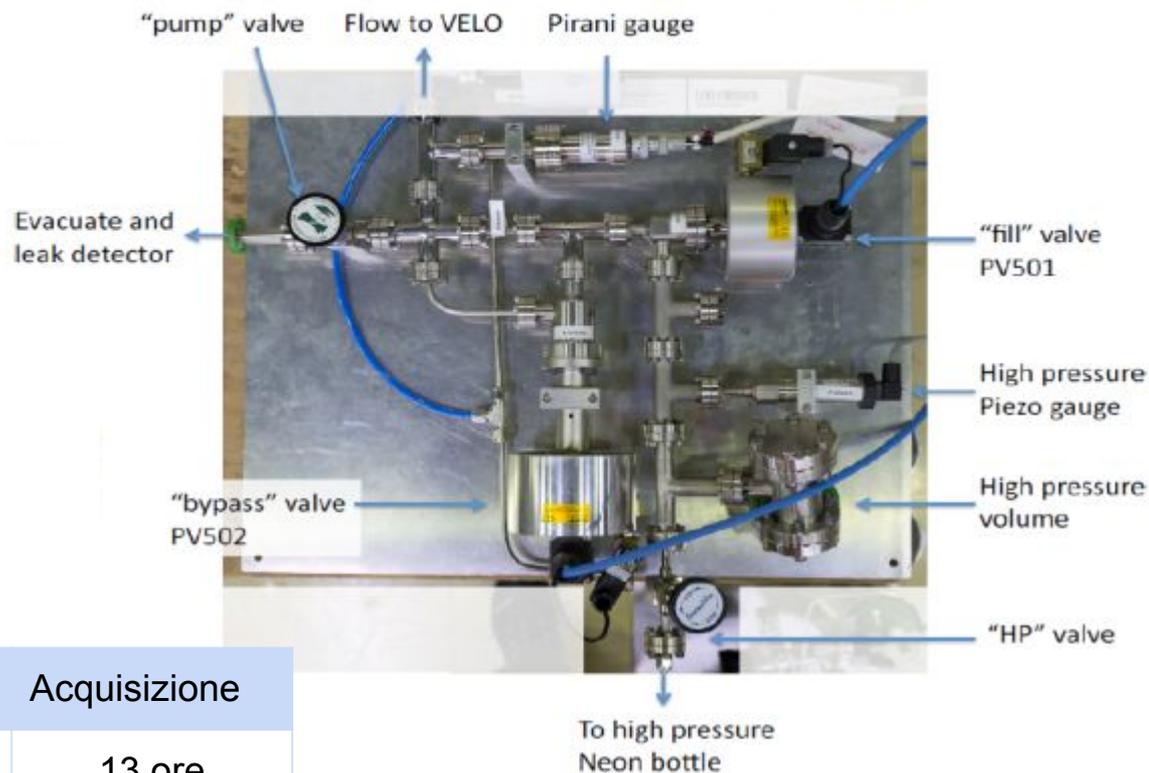
La ricostruzione delle tracce è una vera sfida data la grande complessità degli eventi nella zona in avanti.

# SMOG: System for Monitoring Overlap with Gas

SMOG permette di introdurre gas nella *beam-pipe* vicino al VELO:

- Studi della struttura nucleare
- Sezione d'urto di processi  $p\text{He} \rightarrow p\bar{X}$ , incertezza sistematica dominante negli studi relativi all'eccesso di anti-materia nei raggi cosmici.

## SMOG: System for Measuring the Overlap with Gas



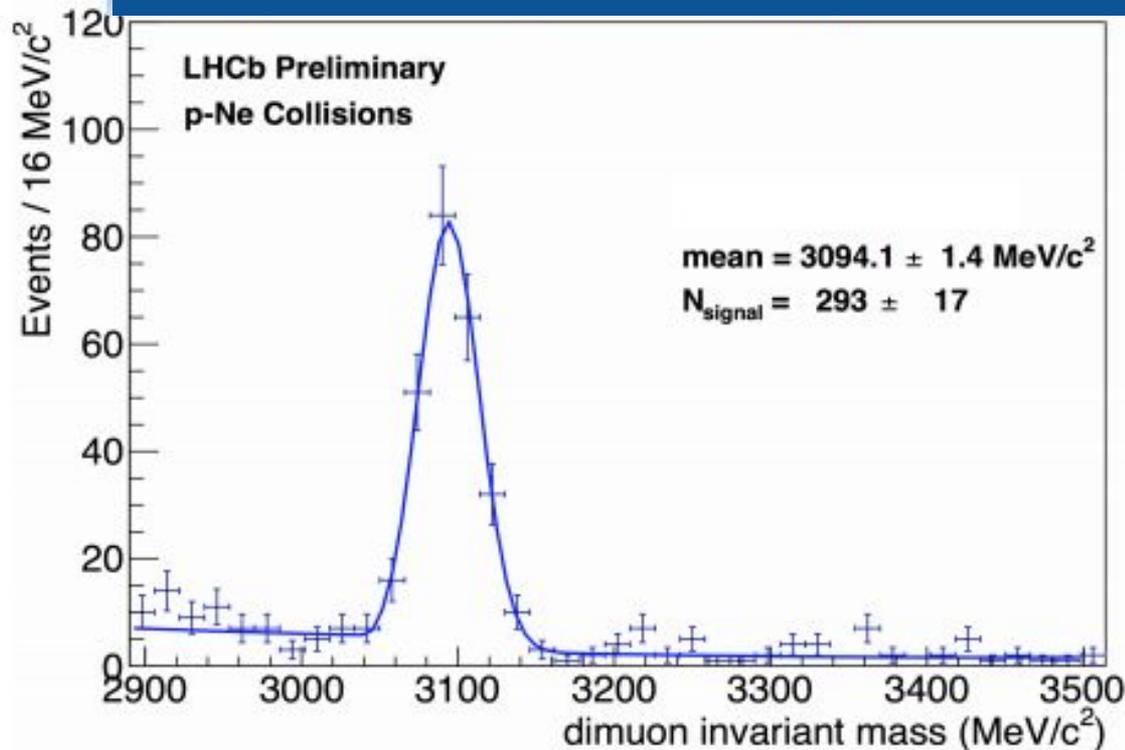
	$\sqrt{s}$ [GeV]	Data	Acquisizione
pNe	110.4	25/26 agosto	13 ore
pHe	110.4	8 settembre	8 ore
pAr	110.4	15-18 ottobre	29 ore

# SMOG: System for Monitoring Overlap with Gas

SMOG permette di introdurre gas nella *beam-pipe* vicino al VELO:

- Studi della struttura nucleare
- Sezione d'urto di processi  
 $p\text{He} \rightarrow p\bar{X}$ , incertezza sistematica dominante negli studi relativi all'eccesso di anti-materia nei raggi cosmici.

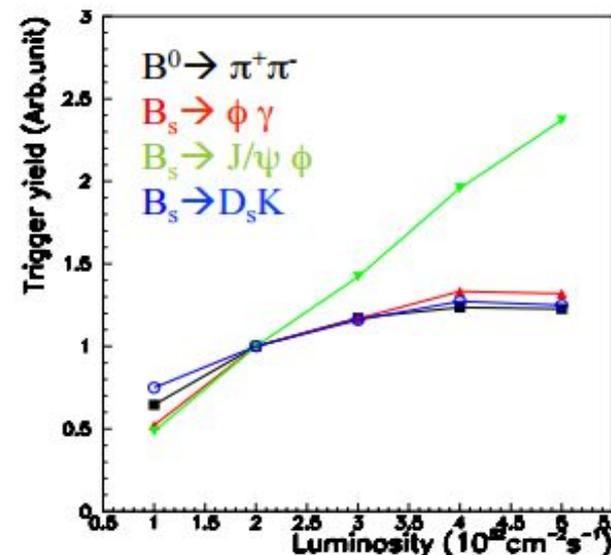
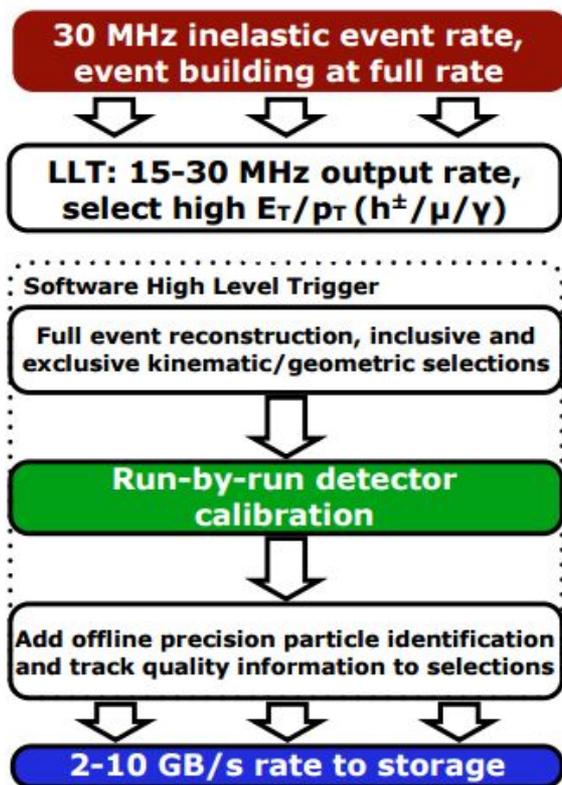
Collisioni pNe a bersaglio fisso a  $\sqrt{s} = 110$  GeV



	$\sqrt{s}$ [GeV]	Data	Acquisizione
pNe	110.4	25/26 agosto	13 ore
pHe	110.4	8 settembre	8 ore
pAr	110.4	15-18 ottobre	29 ore

# Prospettive future: l'upgrade di LHCb

Lettura rivelatore a 40 MHz → rimozione limite L0  
a 1 MHz → guadagno per i canali adronici



Notevole aumento rate di produzione di mesoni  $b$  ( $\times 15$ ) e  $c$  ( $\times 10$ )

→ ogni evento è segnale

→ il trigger dovrà classificare più che rigettare

→ trigger come l'analisi offline!

Per l'upgrade, trigger completamente software

→ maggiore flessibilità nel disegno degli algoritmi e nella scelta della tecnologia

# Prospettive future: analisi in tempo reale

Il trigger dovrà sempre più permettere l'analisi **in tempo reale** con la **stessa qualità dell'offline**.

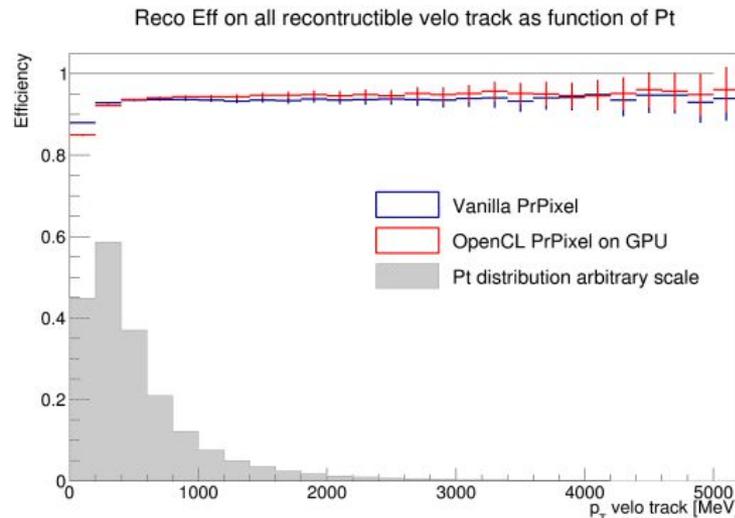
Elementi chiave:

- Ricostruzione online di tutte le tracce (anche a basso pT)
- Identificazione delle particelle grazie alle informazioni dal RICH

Come?

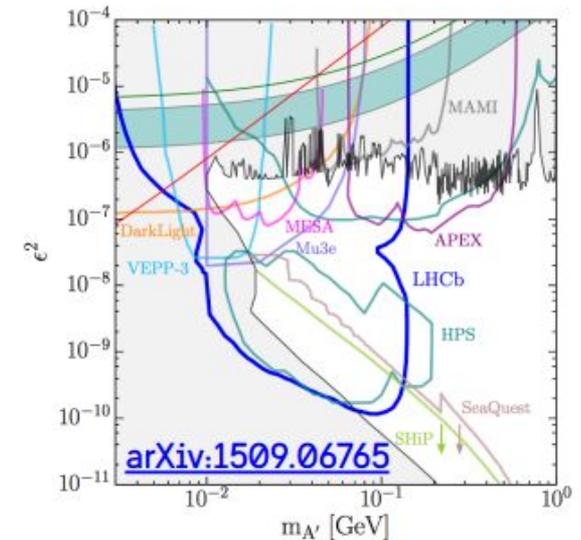
- Calibrazione e allineamento in tempo reale
- Algoritmi più efficienti e veloci, sfruttando le nuove tecnologie (in corso studi su diverse architetture, x86\_64, GPU)

Ricostruzione tracce nel VELO:  
Eff vs pT per algoritmo standard (vettorizzato) e algoritmo su GPU;  
accelerazione x2.



Ricerca di dark photon possibile nel Run3

$$D^{*0} \rightarrow D^0 A', \quad A' \rightarrow e^+ e^-$$



## Conclusioni e prospettive

- Per la maggior parte delle misure di precisione di LHCb, dominate da incertezze statistiche, i dati raccolti in Run1 sono ancora vantaggiosi.
- Tuttavia la **luminosità integrata crescerà molto rapidamente quest'anno** anche grazie alle innovative tecniche di trigger e ricostruzione online.
- Stimiamo che per molti canali

$$\sigma_{\text{stat}}^{2015+2016} \approx \sigma_{\text{stat}}^{\text{Run1}}$$

- LHCb sta inoltre esplorando territori meno favorevoli, con **collisioni di ioni pesanti** e a bersaglio fisso (tecnologia **SMOG**), con grande potenziale di fisica.
- La **nuova e innovativa strategia di trigger** rappresenta solo un passo verso il trigger per *l'upgrade di LHCb* che prevede un trigger puramente software con lettura del rivelatore a 40 MHz!