

# Misura di violazione di CP nei decadimenti in due corpi in assenza di charm del barione $\Lambda_b^0$

Fabio Ferrari  
INFN – Sezione di Bologna

Roma 8-10 aprile 2015

**IFAE**

INCONTRI DI FISICA  
DELLE ALTE ENERGIE

**2015**

**LHCb**  
~~THCP~~

IFAE 2015

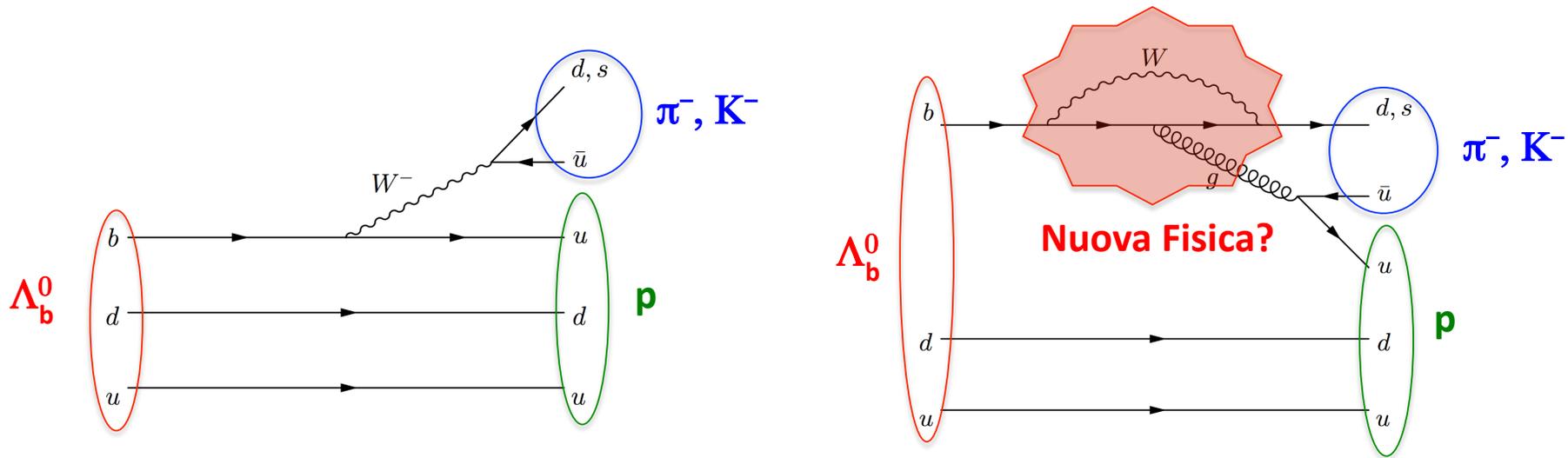
Roma, 8-10 Aprile 2015



# Motivazioni

- **Violazione di CP mai osservata** nei decadimenti della  $\Lambda_b^0$ 
  - In compenso, LHCb ha misurato violazione di CP diretta nei canali  $B_s^0 \rightarrow \pi^- K^+$  e  $B^0 \rightarrow K^+ \pi^-$
  - Stesse transizioni  $b \rightarrow u\bar{u}s(d)$  nei decadimenti della  $\Lambda_b^0$

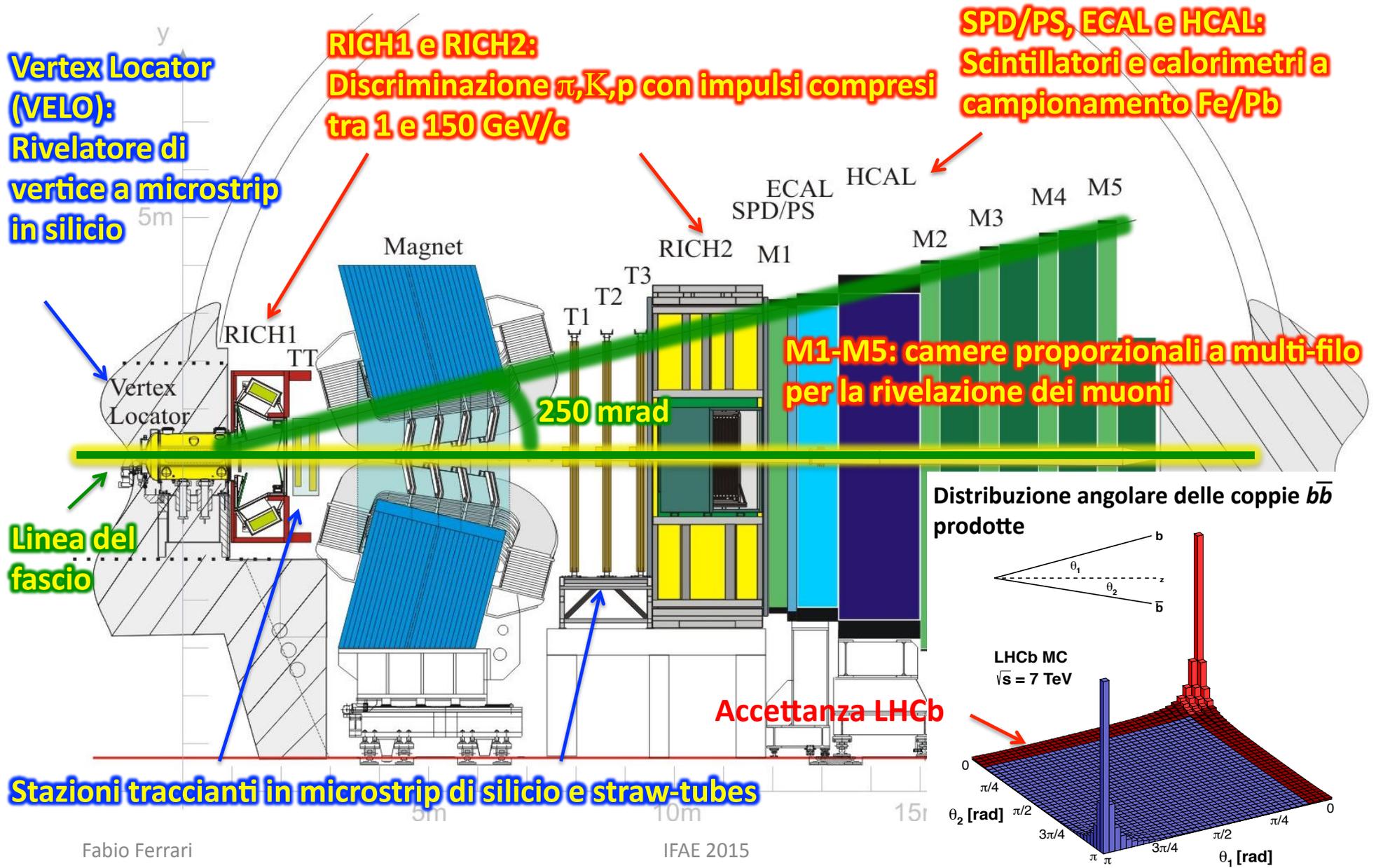
First Observation of CP Violation in the Decays of  $B_s^0$  Mesons  
*R. Aaij et al. – The LHCb Collaboration*  
 Phys. Rev. Lett. 110, 221601



- Interferenza tra diagrammi ad **albero** e di **ordine superiore** (“penguin”)
  - Possibile violazione di CP



# Il rivelatore LHCb



# Cosa misuriamo

$$A_{CP}(\Lambda_b^0 \rightarrow pK^-) = A_{\text{raw}}(\Lambda_b^0 \rightarrow pK^-) + A_P(\Lambda_b^0) + A_D(p) + A_D(K)$$

$$A_{CP}(\Lambda_b^0 \rightarrow p\pi^-) = A_{\text{raw}}(\Lambda_b^0 \rightarrow p\pi^-) + A_P(\Lambda_b^0) + A_D(p) + A_D(\pi)$$

$$A_{\text{raw}} = \frac{N(\Lambda_b^0 \rightarrow f) - N(\bar{\Lambda}_b^0 \rightarrow \bar{f})}{N(\Lambda_b^0 \rightarrow f) + N(\bar{\Lambda}_b^0 \rightarrow \bar{f})}$$

$$A_P(\Lambda_b^0) = \frac{N^{\text{prod}}(\Lambda_b^0) - N^{\text{prod}}(\bar{\Lambda}_b^0)}{N^{\text{prod}}(\Lambda_b^0) + N^{\text{prod}}(\bar{\Lambda}_b^0)}$$

Misurate dalla Collaborazione LHCb  
come  $A_D(K\pi)$

R. Aaij et. al., (LHCb Collaboration), First observation  
of CP violation in the decays of  $B_s^0$  mesons,  
Phys.Rev.Lett. 110, (2013).

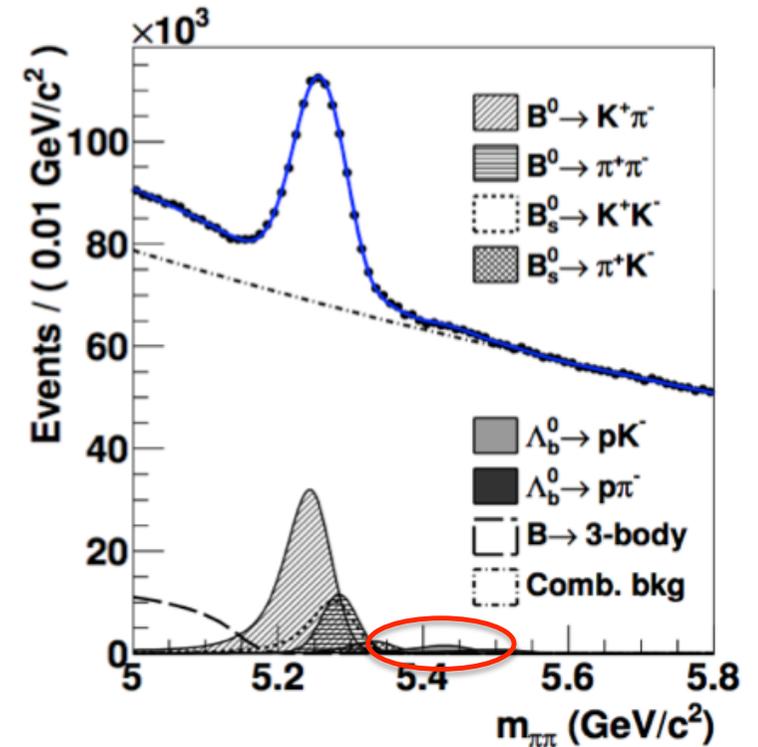
$$A_D(K) = \frac{\varepsilon(K^+) - \varepsilon(K^-)}{\varepsilon(K^+) + \varepsilon(K^-)}$$

$$A_D(\pi) = \frac{\varepsilon(\pi^+) - \varepsilon(\pi^-)}{\varepsilon(\pi^+) + \varepsilon(\pi^-)}$$

$\varepsilon(\cdot)$  sono le efficienze  
di ricostruzione

# Strategia

- **Misura delle  $A_{\text{raw}}$** 
  - Campione di dati: 2011 e 2012 ( $\sim 3\text{fb}^{-1}$ )
  - $\sim 8\text{M}$  di candidati dopo la pre-selezione:  $\sim 450\text{k}$   $B \rightarrow hh$
  - Selezione eventi
    - **BDT** per ridurre il fondo combinatorio +  $\Delta\log L$  (RICH1 e RICH2) per selezionare gli stati finali
  - Esplorate  $\sim 12\text{k}$  configurazioni di tagli **BDT**+ $\Delta\log L$  per ogni stato finale
    - Scelte le combinazioni che garantiscono il più piccolo errore sulle  $A_{\text{raw}}$



# Strategia

- **Misura della asimmetria di produzione della  $\Lambda_b^0$**

- Siccome i quark  $b$  e  $\bar{b}$  sono **prodotti in coppie**:

$$A_P(\Lambda_b^0) = - \left[ \frac{f_d}{f_{\Lambda_b^0}} A_P(B^0) + \frac{f_u}{f_{\Lambda_b^0}} A_P(B^+) + \frac{f_s}{f_{\Lambda_b^0}} A_P(B_s^0) \right]$$

L'uguaglianza è strettamente vera se si includono tutte le specie di mesoni/barioni contenenti quark  $b$ . Noi trascuriamo i mesoni  $B_c$  e altri barioni contenenti  $b$ , siccome il loro contributo alla somma è  $\sim 0$ .

dove  $f$  sono le frazioni di adronizzazione relative a ciascun mesone/barione.

- Occorre misurare  $A_p(B^0)$ ,  $A_p(B_s^0)$  e  $A_p(B^+)$

- $A_p(B^0)$  e  $A_p(B_s^0)$  già pubblicate\* coi dati 2011 → aggiornamento con I dati 2012 in corso
- Misura di  $A_p(B^+)$  quasi terminata usando 2011+2012.

- **Misura dell'asimmetria di rivelazione del protone → lavori in corso**

\*LHCb-PAPER-2014-042

# Modello di adattamento ai dati

- **Segnale:**

$$g(m) = A' \cdot \varepsilon_m(m) \cdot (\Theta(m_{H_b} - m') \cdot (m_{H_b} - m')^s) \otimes G_2(m - m'; f_1, \sigma_1, \sigma_2)$$

Due gaussiane sommate con stessa media e larghezze diverse

Efficienza di ricostruzione:

$$\varepsilon(m) = 1 + p_m |m - m_B|$$

Legge di potenza → il parametro "s" tiene conto della radiazione di  $\gamma$  nello stato finale

- **Fondo:**

- **Combinatorio:** funzione esponenziale

- Pendenza ricavata dall'adattamento ai dati

- **3 corpi parzialmente ricostruito:** Argus p.d.f.

- Consideriamo decadimenti  $B \rightarrow hh\pi^0$  dove il  $\pi^0$  non viene ricostruito

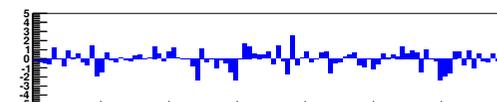
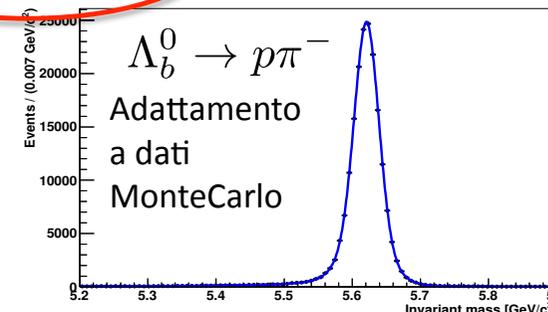
- **Erroneamente ricostruito:**

p.d.f. ricavate da simulazioni MonteCarlo, assegnando le masse invarianti "sbagliate" alle particelle nello stato finale

- **Adattamento simultaneo del modello** a tutti gli spettri di massa invariante:

$$B^0 \rightarrow K^+\pi^-, B^0 \rightarrow \pi^+\pi^-, B^0 \rightarrow K^+K^-, B_s^0 \rightarrow K^+\pi^-, B_s^0 \rightarrow \pi^+\pi^-, B_s^0 \rightarrow K^+K^-, \Lambda_b^0 \rightarrow pK^-, \Lambda_b^0 \rightarrow p\pi^- + c.c.$$

- Necessario siccome questi fondi **dipendono** dal numero di **eventi di segnale nel rispettivo spettro di massa invariante**

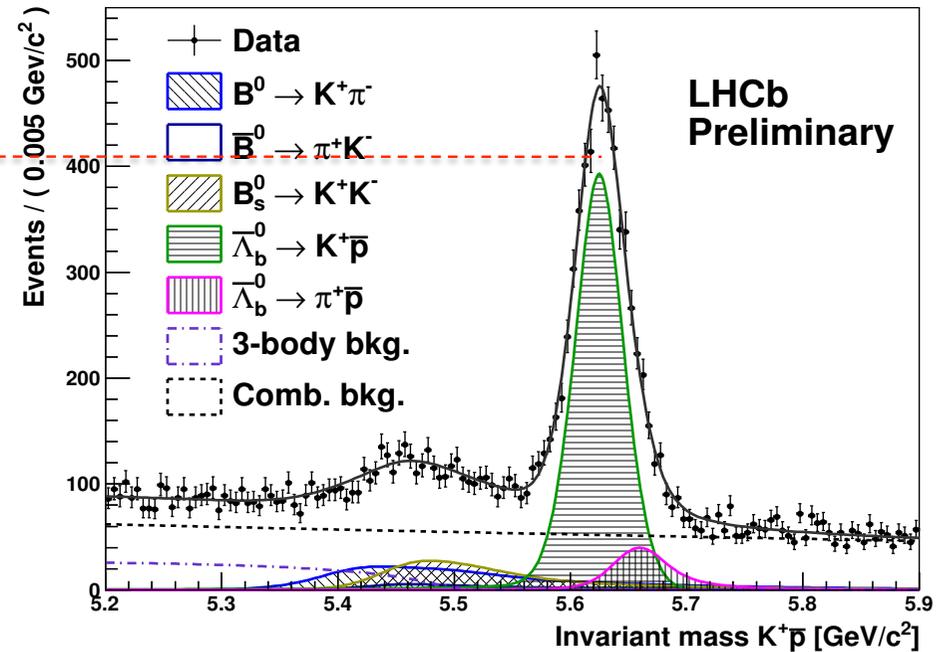
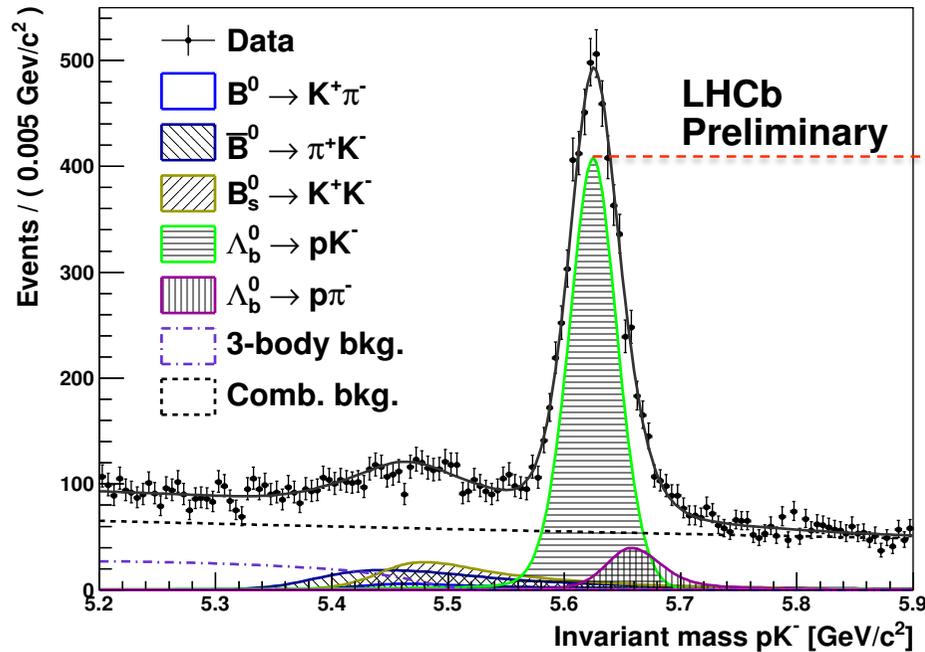


Decay channel	$s_{theor}$	$s_{MC}$	$p_m$ [ $c^2/GeV$ ]
$B^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$	-0.9709	$-0.9684 \pm 0.0006$	$-1.05 \pm 0.10$
$B_s^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$	-0.9709	$-0.9685 \pm 0.0006$	$-1.07 \pm 0.07$
$B^0 \rightarrow K^+K^-$	-0.9826	$-0.9826 \pm 0.0005$	$-1.26 \pm 0.15$
$B_s^0 \rightarrow K^+K^-$	-0.9826	$-0.9829 \pm 0.0004$	$-1.00 \pm 0.09$
$B^0 \rightarrow K^+\pi^-$	-0.9768	$-0.9750 \pm 0.0007$	$-1.26 \pm 0.14$
$B_s^0 \rightarrow K^+\pi^-$	-0.9766	$-0.9756 \pm 0.0008$	$-1.08 \pm 0.12$
$\Lambda_b^0 \rightarrow pK^-$	-0.9852	$-0.9854 \pm 0.0006$	$-0.99 \pm 0.13$
$\Lambda_b^0 \rightarrow p\pi^-$	-0.9793	$-0.9792 \pm 0.0006$	$-0.97 \pm 0.10$

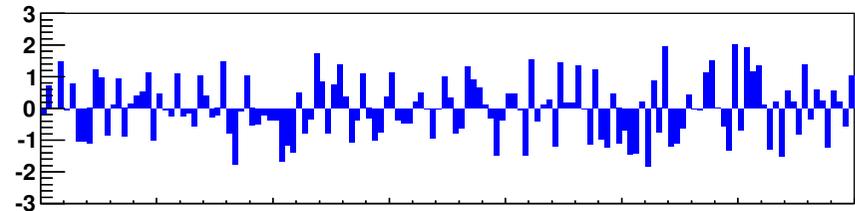
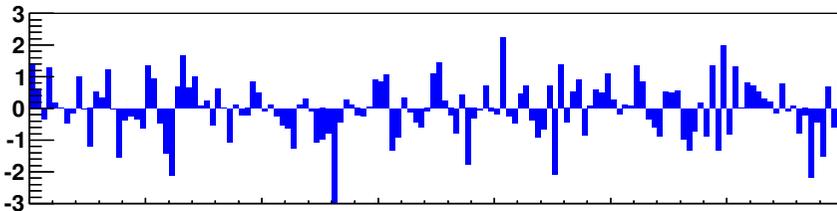
# Adattamento allo spettro pK

$\Lambda_b^0 \rightarrow pK^-$  fit

$\bar{\Lambda}_b^0 \rightarrow \bar{p}K^+$  fit



(1) <http://arxiv.org/abs/arXiv:1403.5586>

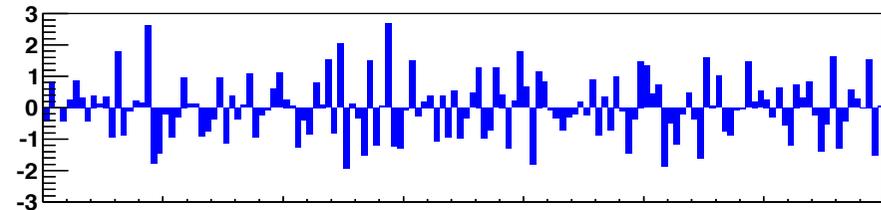
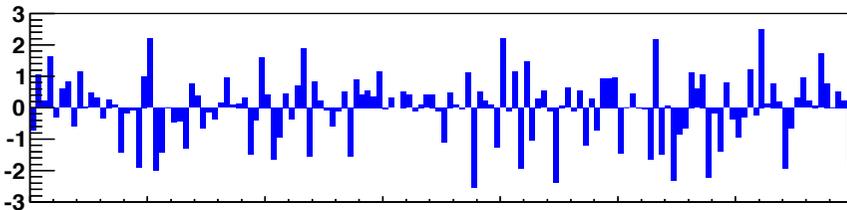
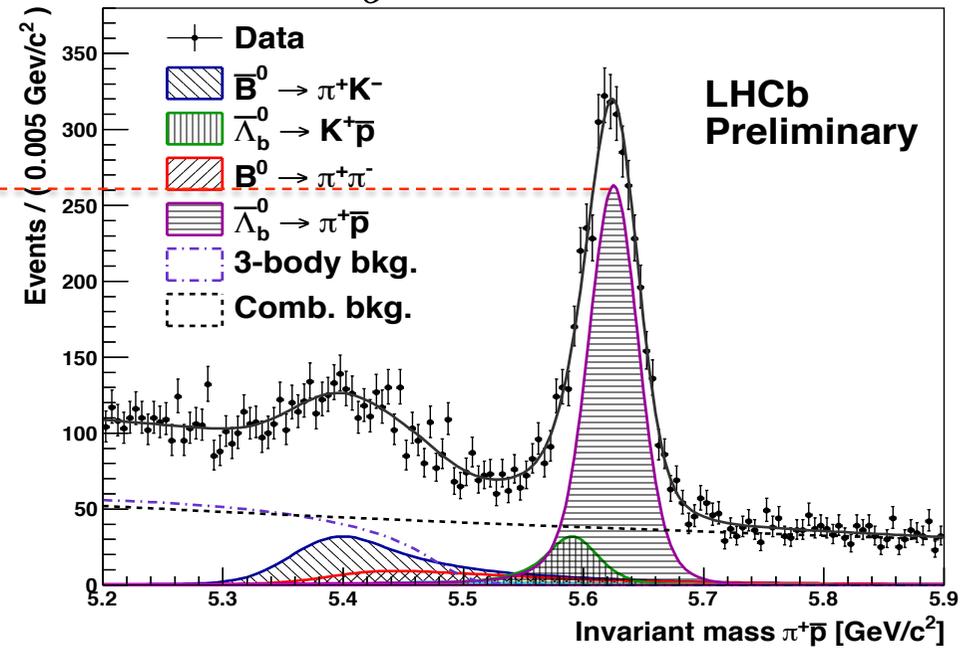
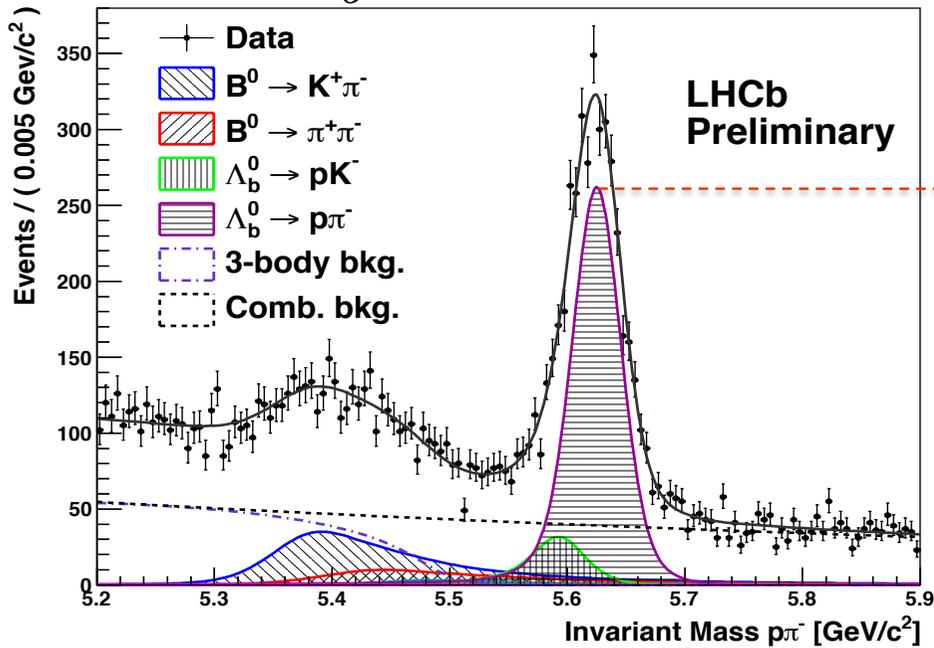


LHCb:  $A_{\text{RAW}} (\Lambda_b^0 \rightarrow pK^-) = 0.018 \pm 0.013 \text{ (stat)}$   
 CDF<sup>(1)</sup>:  $A_{\text{CP}} (\Lambda_b^0 \rightarrow pK^-) = -0.10 \pm 0.08 \text{ (stat)} \pm 0.04 \text{ (syst)}$

# Adattamento allo spettro $p\pi$

$\Lambda_b^0 \rightarrow p\pi^-$  fit

$\bar{\Lambda}_b^0 \rightarrow \bar{p}\pi^+$  fit



LHCb:  $A_{\text{RAW}} (\Lambda_b^0 \rightarrow p\pi^-) = -0.002 \pm 0.016 \text{ (stat)}$   
 CDF<sup>(1)</sup>:  $A_{\text{CP}} (\Lambda_b^0 \rightarrow p\pi^-) = +0.06 \pm 0.07 \text{ (stat)} \pm 0.03 \text{ (syst)}$

<sup>(1)</sup>(<http://arxiv.org/abs/arXiv:1403.5586>)

# Conclusioni

- Calcolando la differenza tra le  $A_{\text{raw}}$  si ottiene:
$$\Delta A_{\text{CP}} = (0.8 \pm 2.1(\text{stat}) \pm 0.2(\text{syst})) \%$$
dove l'unico sistematico riportato è dovuto a  $A_{\text{D}}(\text{K})$  e  $A_{\text{D}}(\pi)$ .
  - Se  $\Delta A_{\text{CP}} \neq 0 \rightarrow$  **violazione di CP!**
  - Se  $\Delta A_{\text{CP}} = 0 \rightarrow$  **non si può escludere che vi sia violazione di CP**
- Per ottenere le  $A_{\text{CP}}$  separatamente occorre:
  - Misurare  $A_{\text{p}}(\Lambda_{\text{b}}^0) \rightarrow$  analisi quasi terminata
  - Misurare  $A_{\text{D}}(\text{p}) \rightarrow$  analisi in corso
  - Studiare tutte le sistematiche
    - Calibrazione dell'identificazione delle particelle (PID)
    - Modello di adattamento ai dati
    - Asimmetrie di produzione e rivelazione