



106° Congresso Nazionale della  
Società Italiana di Fisica  
14-18 settembre 2020

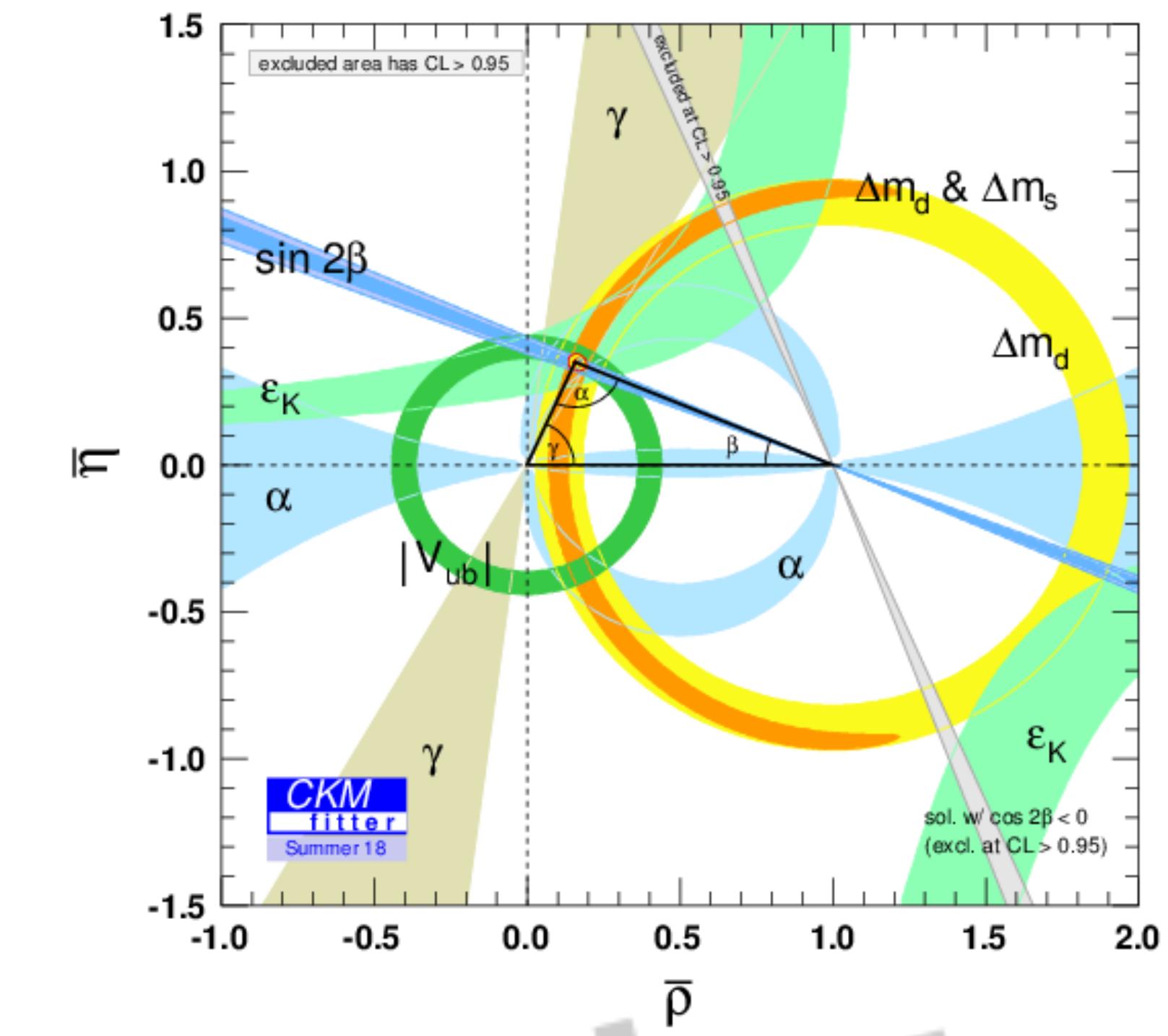
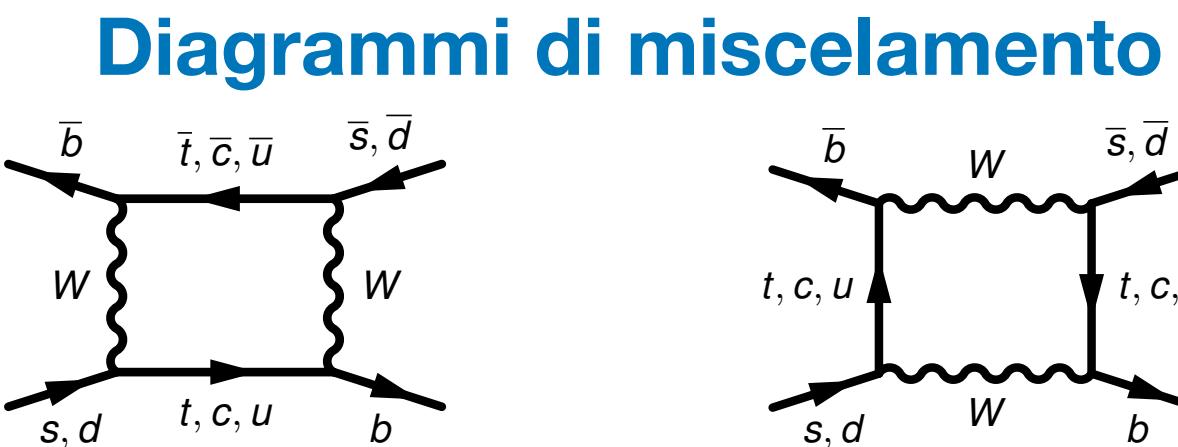
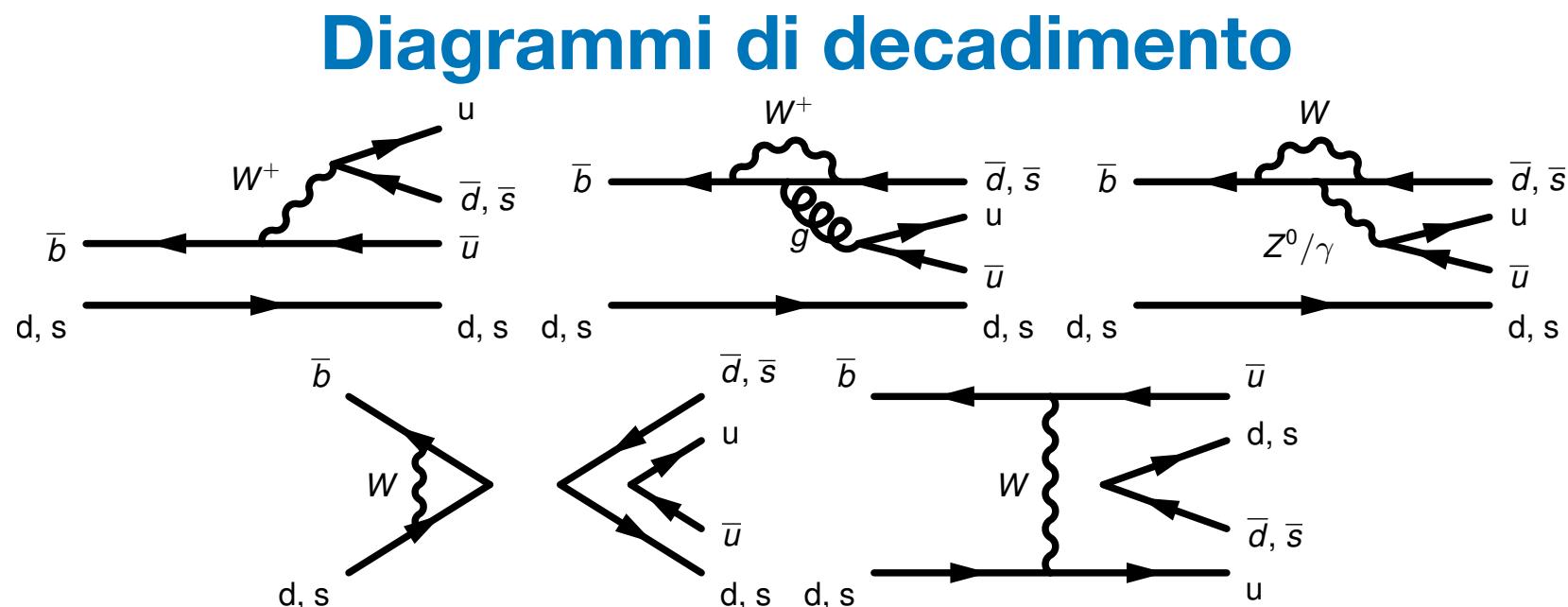
# Misura di asimmetria $CP$ nei decadimenti in due corpi senza quark charm dei mesoni $B^0$ e $B_s^0$ a LHCb

D. Manuzzi

Università di Bologna

# Motivazioni

- Lo studio dei processi governati dalla matrice CKM permette verifiche stringenti del Modello Standard (SM)
- Gli osservabili di violazione di  $CP$  nei decadimenti  $B_{(s)}^0 \rightarrow h^+h^-$  (con  $h = K, \pi$ ) dipendono dagli angoli  $\alpha$  e  $\gamma$  del Triangolo Unitario e dalla fase di miscelamento  $\beta_s$  dei mesoni  $B_s$
- Diverse tipologie di diagrammi di Feynman governano i decadimenti  $B_{(s)}^0 \rightarrow h^+h^-$ 
  - incertezze dovute a processi adronici
  - nuova fisica può comparire come contributi virtuali nei loop



**COMPLICATE PREVISIONI PER SM**

**POTENZIALE PER RICERCA INDIRETTA DI NUOVA FISICA**

# Obiettivi

[Phys. Rev. D 98 (2018) 032004]

- Misura di asimmetria  $CP$  **integrata** nel tempo per  $B^0 \rightarrow K^+ \pi^-$  e  $B_s^0 \rightarrow \pi^+ K^-$

$$A_{CP} = \frac{|\bar{A}_{\bar{f}}|^2 - |A_f|^2}{|\bar{A}_{\bar{f}}|^2 + |A_f|^2}$$

- Misura di asimmetria  $CP$  **dipendente** dal tempo per  $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$  e  $B_s^0 \rightarrow K^+ K^-$

$\mathcal{CP}$  DI INTERFERENZA  
TRA MIXING e  
DECADIMENTO

$$A_{CP}(t) = \frac{\Gamma_{\bar{B}_{(s)}^0 \rightarrow f}(t) - \Gamma_{B_{(s)}^0 \rightarrow f}(t)}{\Gamma_{\bar{B}_{(s)}^0 \rightarrow f}(t) + \Gamma_{B_{(s)}^0 \rightarrow f}(t)}$$

*CPT sim.*

$$= \frac{S_f \sin(\Delta m_{d(s)} t) - C_f \cos(\Delta m_{d(s)} t)}{\cosh\left(\frac{\Delta \Gamma_{d(s)}}{2} t\right) + A_f^{\Delta \Gamma} \sinh\left(\frac{\Delta \Gamma_{d(s)}}{2} t\right)}$$

$\mathcal{CP}$  DECADIMENTO

Vincolo di unitarietà:  $|C_f|^2 + |S_f|^2 + |A_f^{\Delta \Gamma}|^2 = 1 \rightarrow$  controllo a posteriori sulle misure

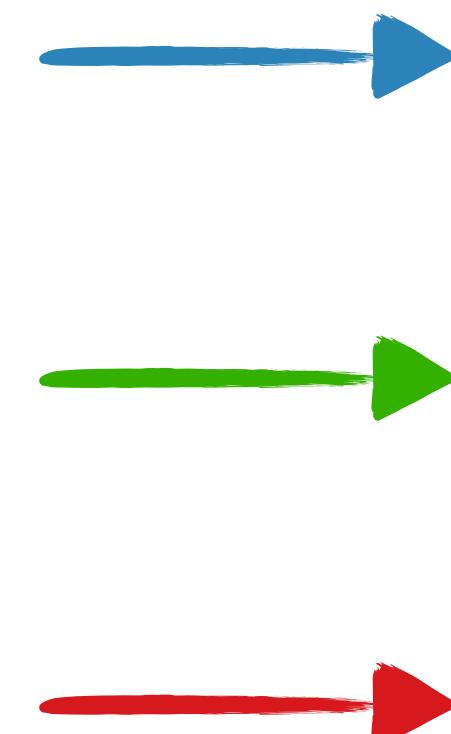
N.B.:  $\Delta \Gamma_d \approx 0$   
[Eur. Phys. J. C77, 895 (2017)]

# Composizione dei dati e selezione

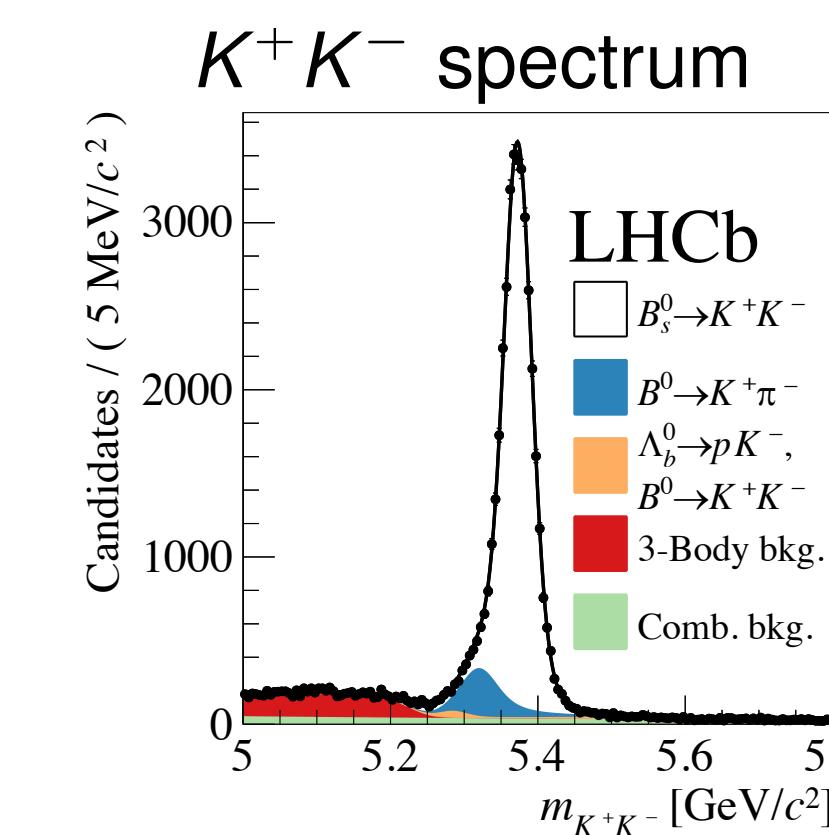
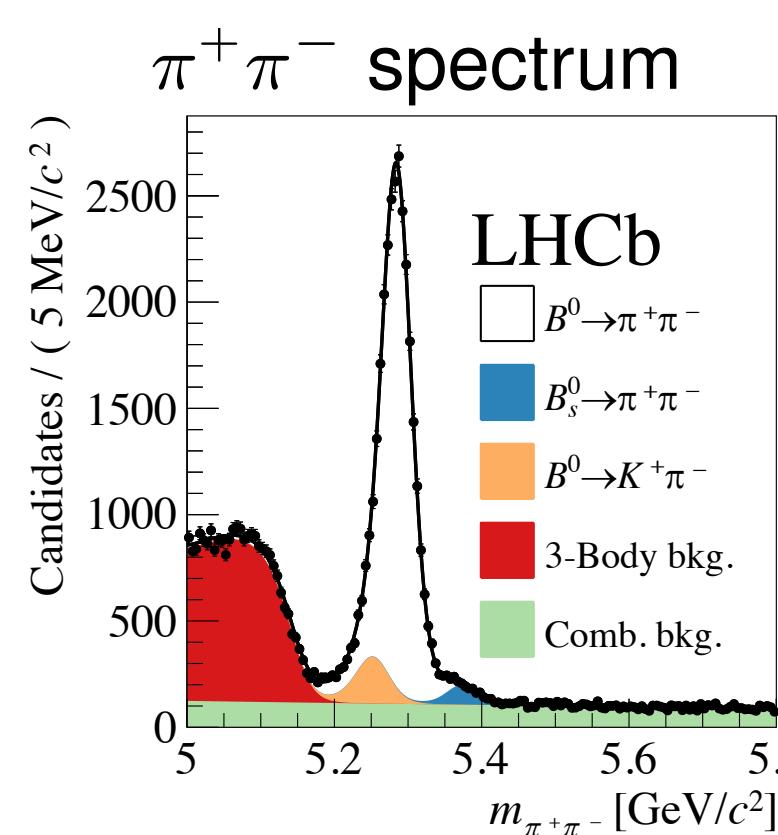
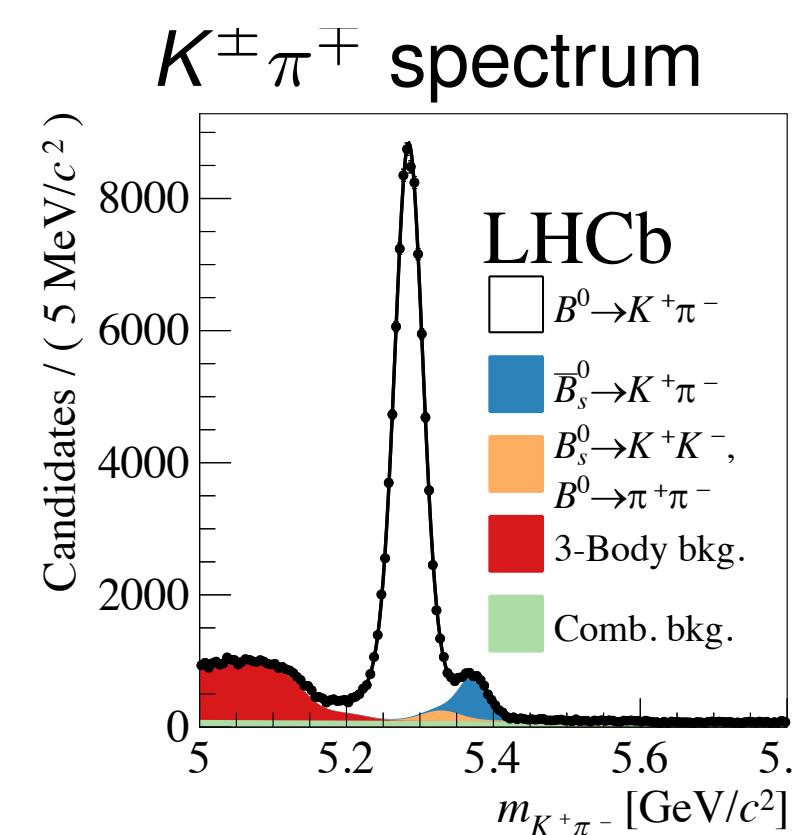
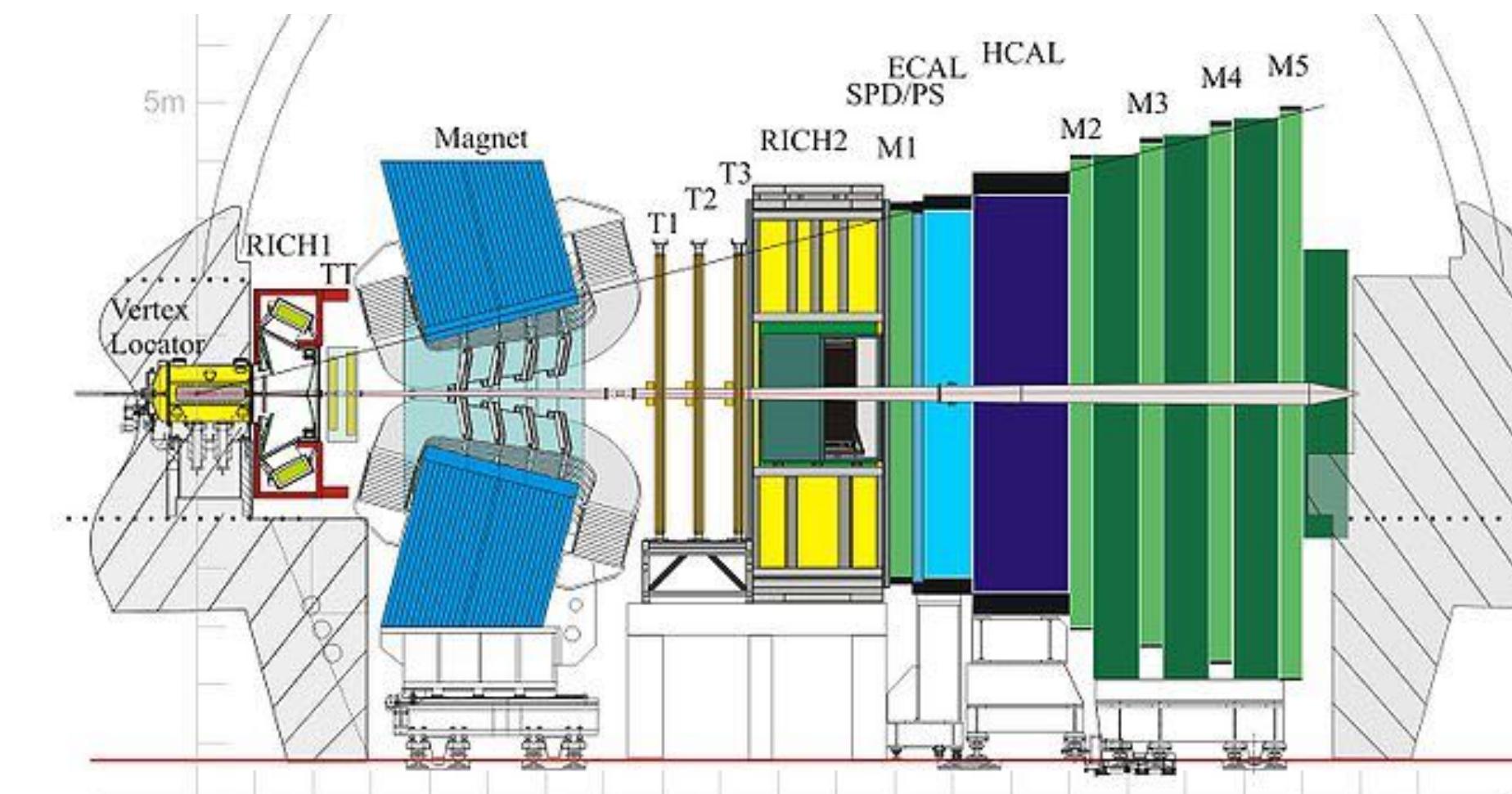
- Dati raccolti nel Run1 di LHCb ( $\sim 3 \text{ fb}^{-1}$ )

- Sorgenti di fondo:

- Contaminazione incrociata
- Associazione di tracce random
- Decadimenti in 3 corpi



- PID cruciale per distinguere gli stati finali**
- BDT usata per abbattere fondo combinatorio**
- Necessaria buona risoluzione in massa inv.**



$B^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$	$B_s \rightarrow K^+K^-$
$\sim 28\,600$	$\sim 36\,800$
$B^0 \rightarrow K^+\pi^-$	$B_s \rightarrow \pi^+K^-$
$\sim 94\,200$	$\sim 7\,000$

[Phys. Rev. D 98 (2018) 032004]

# Strategia dell'analisi

- Le asimmetrie di  $CP$  sono determinate da un fit **multidimensionale e simultaneo** degli spettri  $K^\pm\pi^\mp$ ,  $K^+K^-$  e  $\pi^+\pi^-$ 
  - **Osservabili:**  $m(h^+h^-)$ , tempo di decadimento,  $\delta_t$ , probabilità di tag errato ( $\eta_{OS}$ ,  $\eta_{SS}$ )
  - Migliore stima della **contaminazione** tra i vari campioni
  - Diversi **effetti sperimentali** stimati da  $B_{(s)}^0 \rightarrow K^\pm\pi^\mp$  direttamente **durante il fit**
- Effetti sperimentali da considerare:
  - **Asimmetria di produzione** ( $A_P$ )
    - ◆  $\sigma(pp \rightarrow B^0 X) \neq \sigma(pp \rightarrow \bar{B}^0 X)$
  - **Asimmetrie di rivelazione** ( $A_F^{K\pi}$ ,  $A_{PID}^{K\pi}$ )
    - ◆ diverse efficienze di rivelamento e identificazione tra  $K^+$ ,  $K^-$ ,  $\pi^+$  e  $\pi^-$
  - **Flavour tagging** ( $\omega$ )
    - ◆ distinguere tra  $B_{(s)}^0 \rightarrow f$  e  $\bar{B}_{(s)}^0 \rightarrow f$  se  $f = \pi^+\pi^-, K^+K^-$
  - **Risoluzione sul tempo** di decadimento ( $\sigma_t$ )
  - **Accettanza temporale** ( $\epsilon_{acc}(t)$ )
    - ◆ Variazione dell'efficienza di ricostruzione al variare del tempo di decadimento

Riduzione errori  
sistematici

# Asimmetrie di rivelazione e produzione

- Lo stato finale dei processi  $B^0 \rightarrow K^+ \pi^-$  e  $B_s^0 \rightarrow \pi^+ K^-$  definisce il sapore del mesone  $B_{(s)}^0$  al decadimento. Perciò:

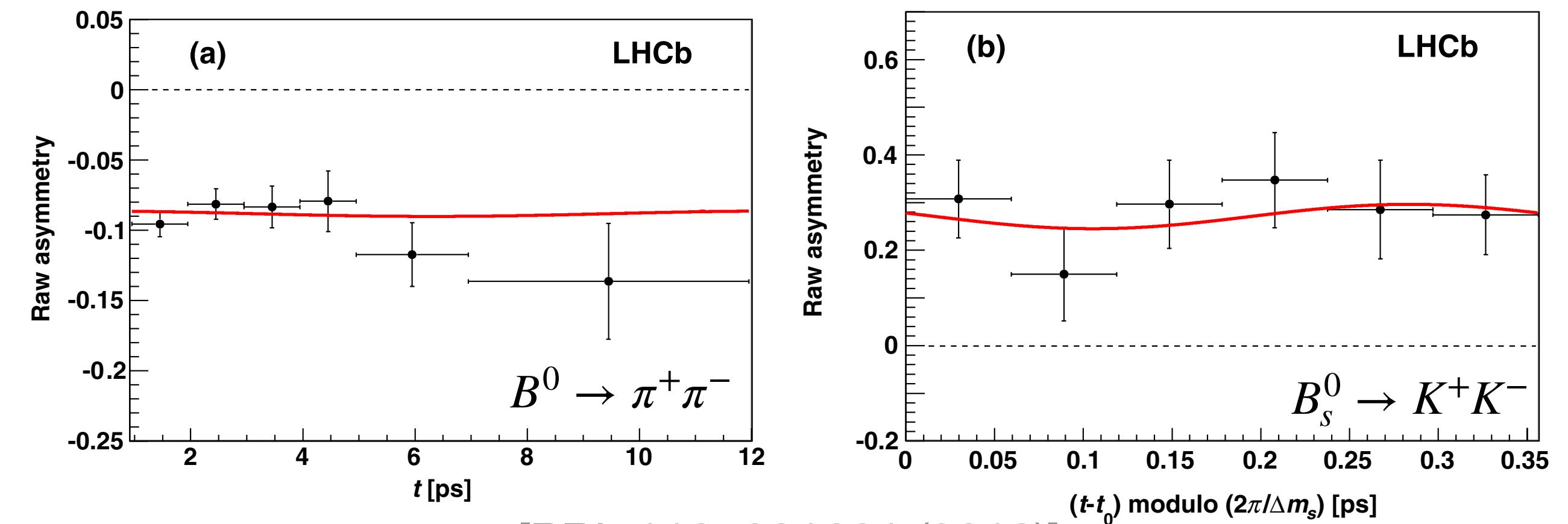
$$\frac{N_{\bar{f}}(t) - N_f(t)}{N_{\bar{f}}(t) + N_f(t)} \sim A_{CP} + A_F^{K\pi} + A_{PID}^{K\pi} + A_P \cos(\Delta m_{d(s)} t)$$

- $A_F^{K\pi}$ : misurata tramite i decadimenti  $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$  e  $D^+ \rightarrow \bar{K}^0 \pi^+$

[JHEP 07 (2014) 041]

- $A_{PID}^{K\pi}$ : misurata tramite i decadimenti  $D^{*+} \rightarrow D^0 (\rightarrow K^- \pi^+) \pi^+$

- $A_P$ : determinata grazie alla dipendenza dal tempo del fit



[PRL 110, 221601 (2013)]

# Flavour tagging

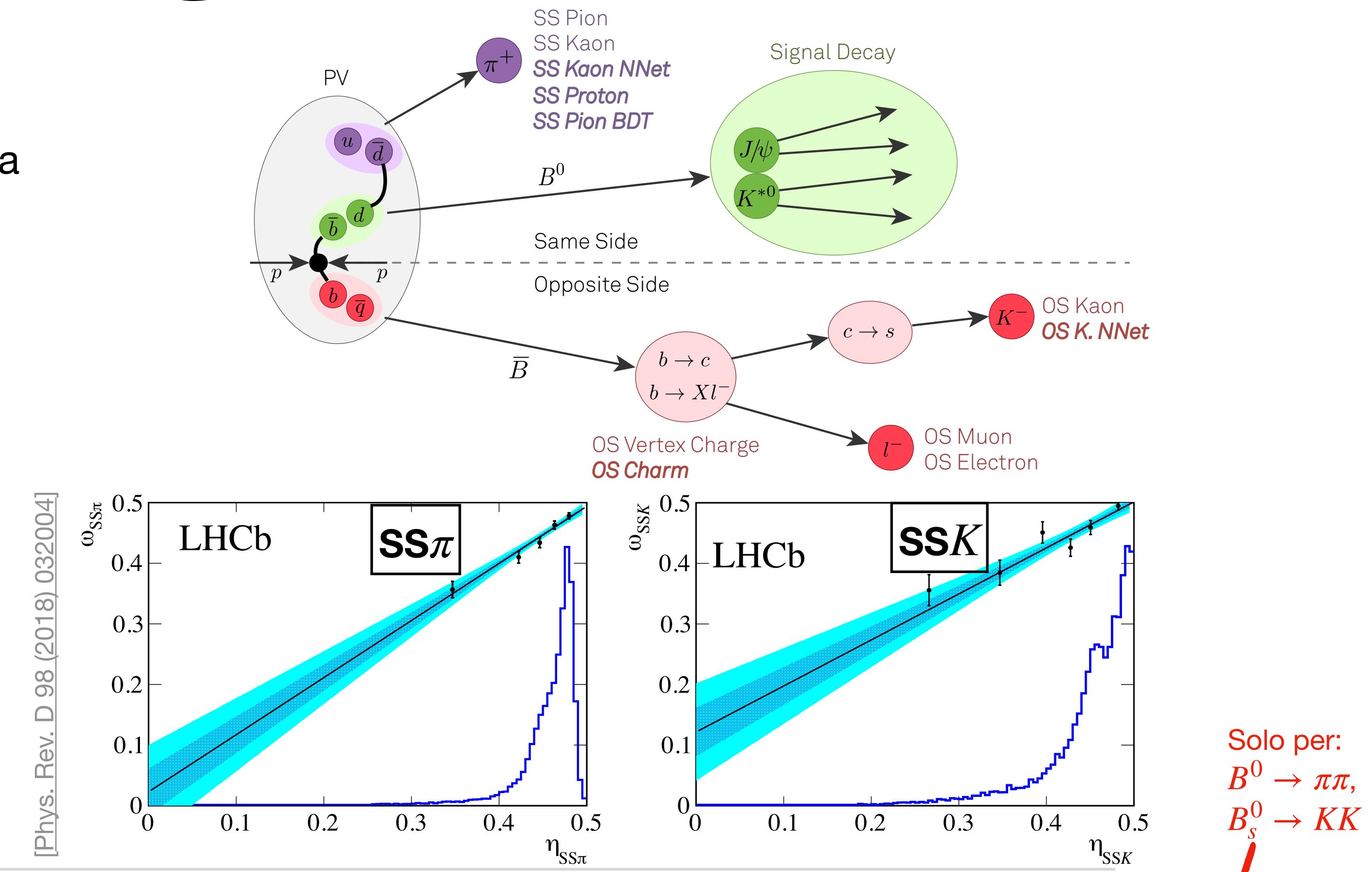
- Due tipi di algoritmi sono impiegati:
  - **SS**: sapore del mesone  $B$  di segnale determinato da altre particelle emesse nella sua frammentazione
  - **OS**: sfrutta le informazioni sul sapore opposto del **secondo mesone  $B$**  prodotto nell'evento

- Ogni algoritmo fornisce:

- decisione sul sapore
- probabilità di errore ( $\eta$ )

- I canali  $B^0 \rightarrow K^+ \pi^-$  e  $B_s^0 \rightarrow D_s^- \pi^+$  sono usati per **calibrazione** ( $\eta \rightarrow \omega$ )

- $\omega$  e  $\sigma_t$  diluiscono l'asimmetria dipendente dal tempo



$$A_{RAW}(t) \sim (1 - 2\omega) \cdot \exp(-\sigma_t^2 \Delta m_{d(s)}^2 / 2) \cdot \cos(\Delta m_{d(s)} t) \cdot A_{CP}(t)$$

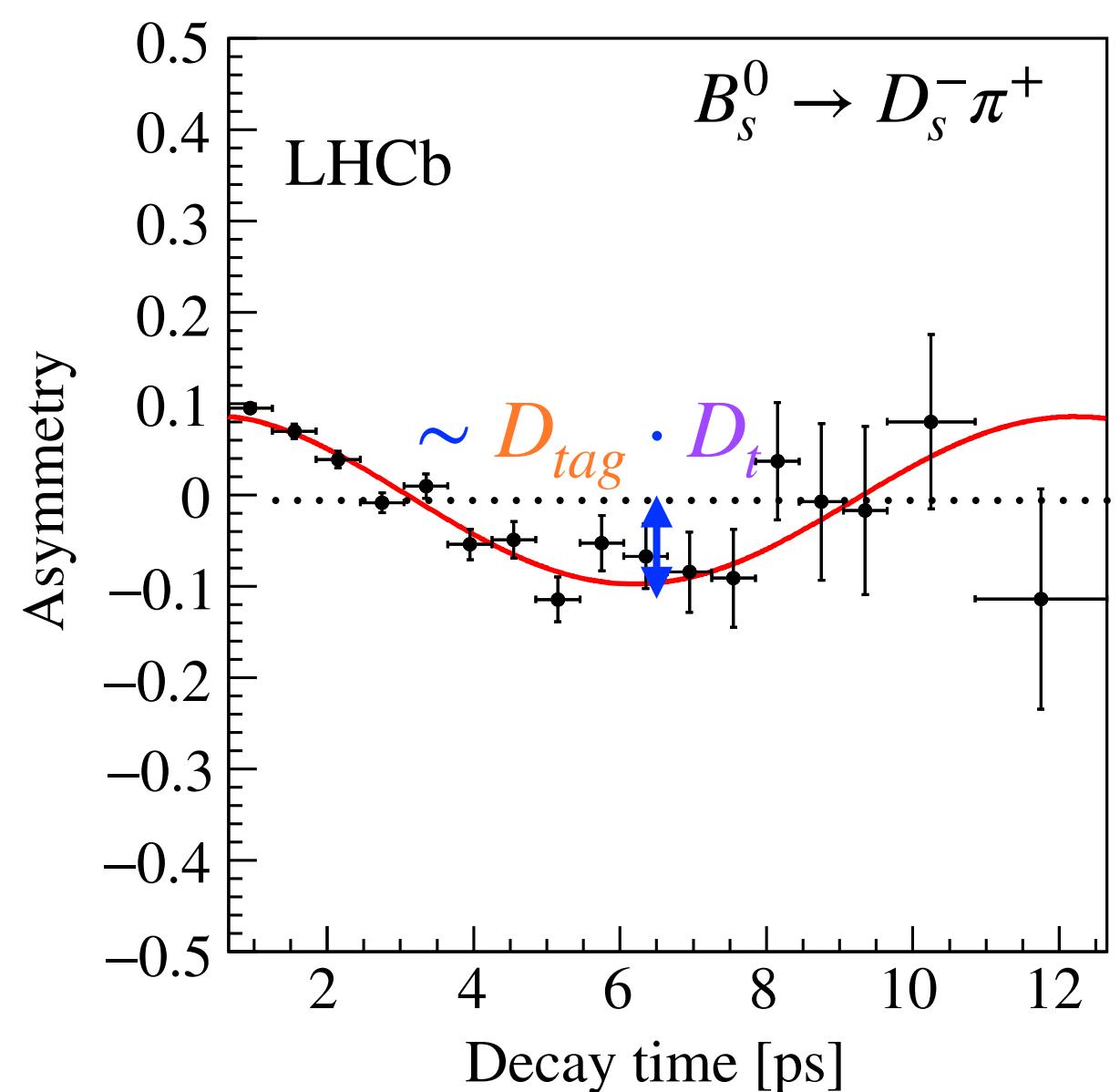
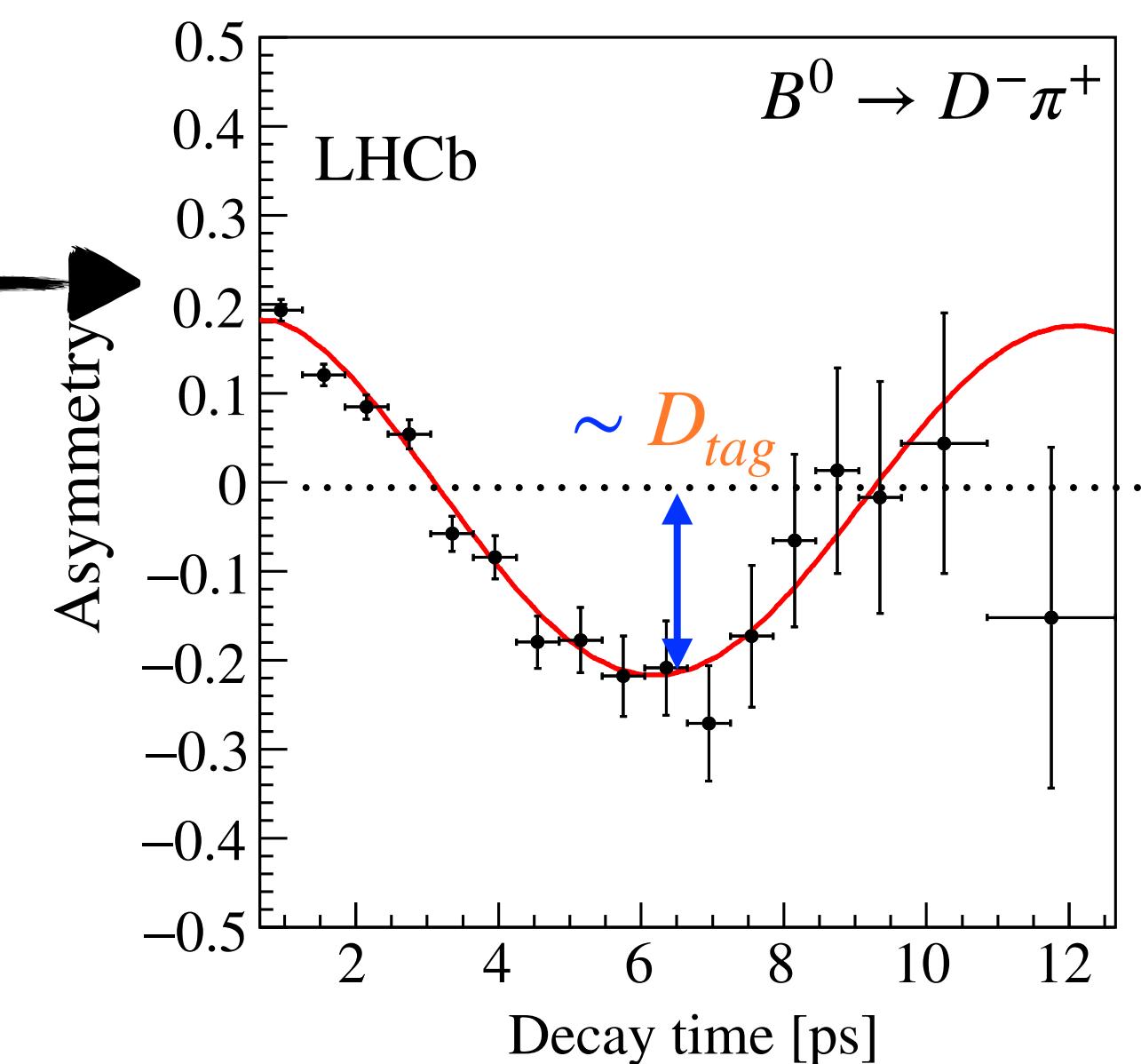
# Correzioni per l'asimmetria dipendente dal tempo

- I canali  $B^0 \rightarrow D^- \pi^+$  e  $B_s^0 \rightarrow D_s^- \pi^+$  sono usati per stimare le diluizioni dovute a flavour tagging e risoluzione temporale, rispettivamente

Nel caso del  $B^0$  la diluizione dovuta a  $\sigma_t$  è trascurabile grazie al valore di  $\Delta m_d$

$$D_{tag} = 1 - 2\omega$$

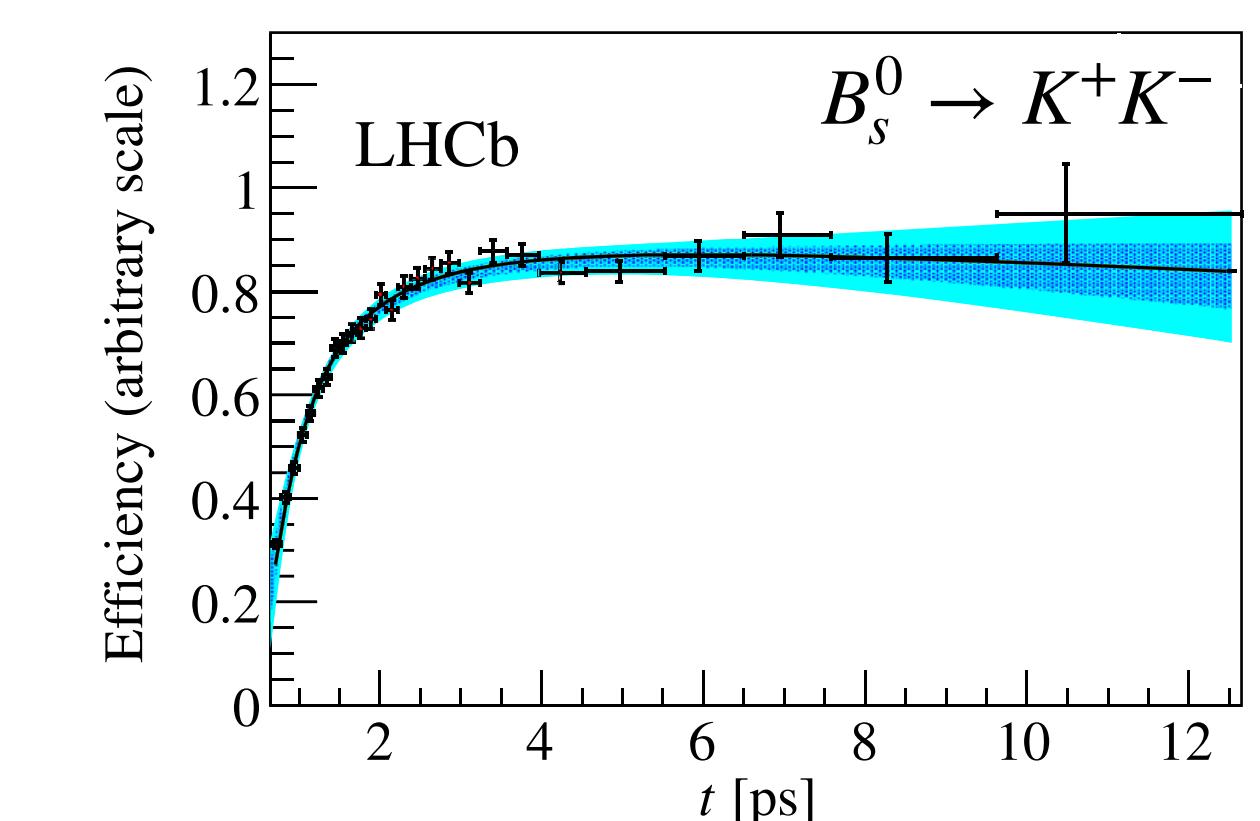
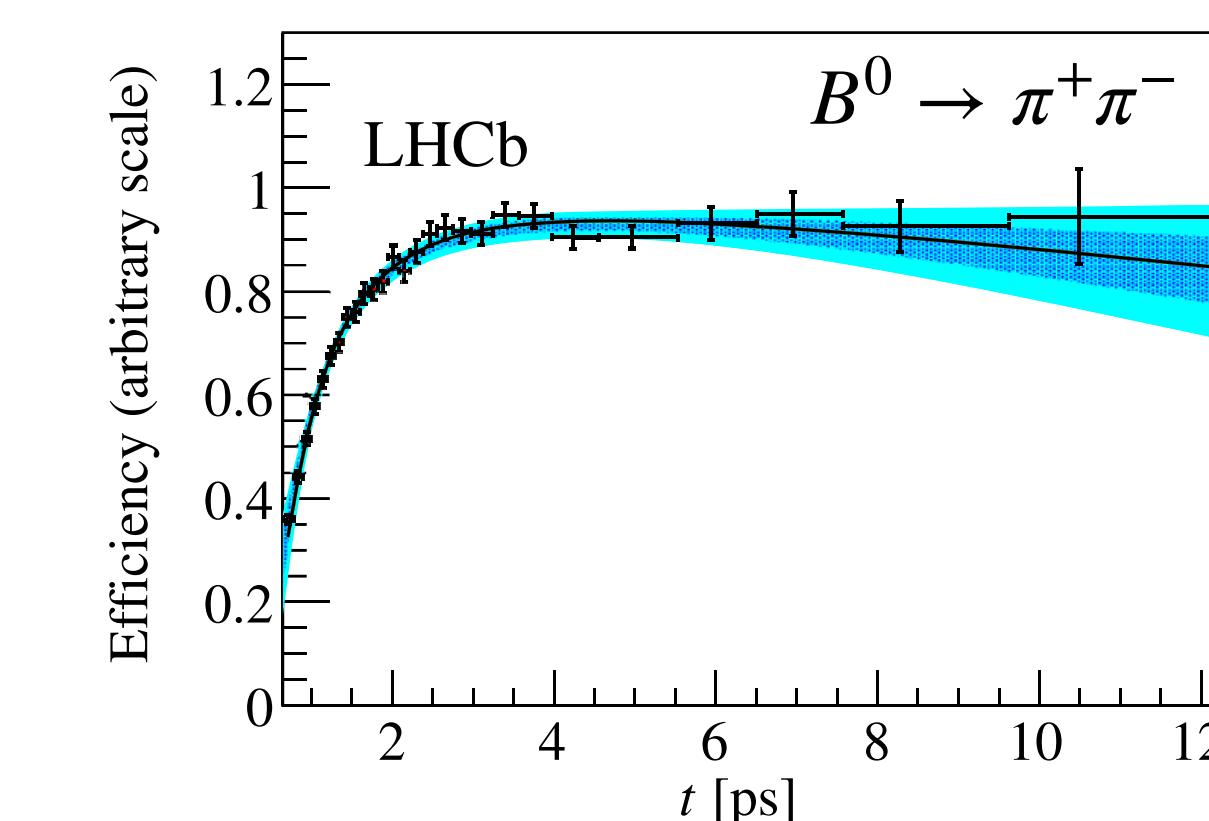
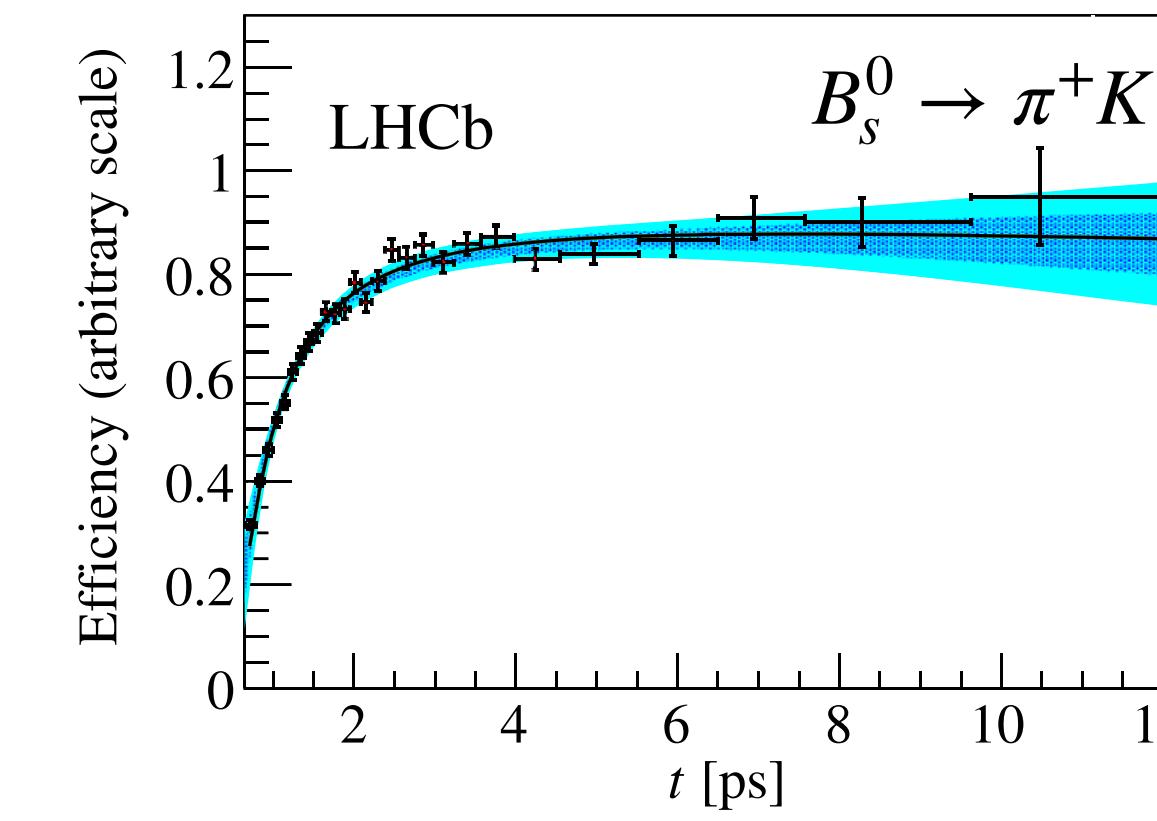
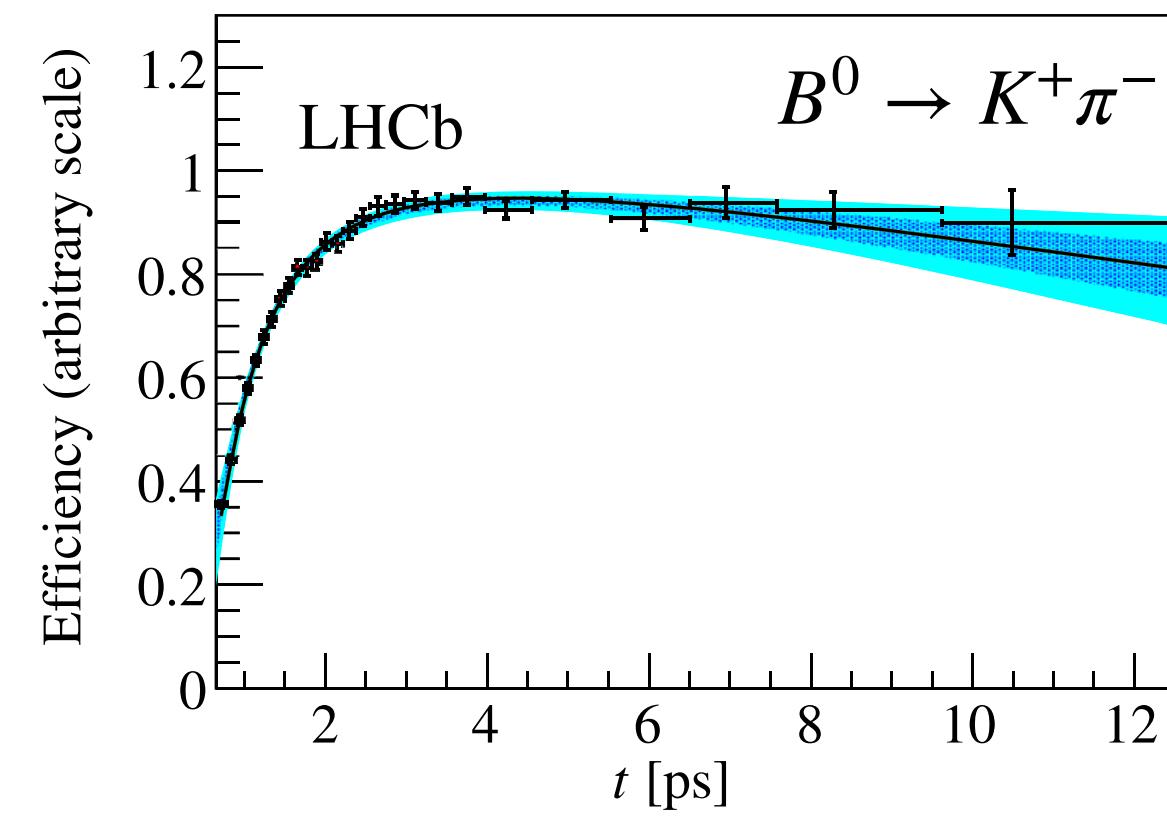
$$D_t = \exp(-\sigma_t \Delta m_{d(s)}/2)$$



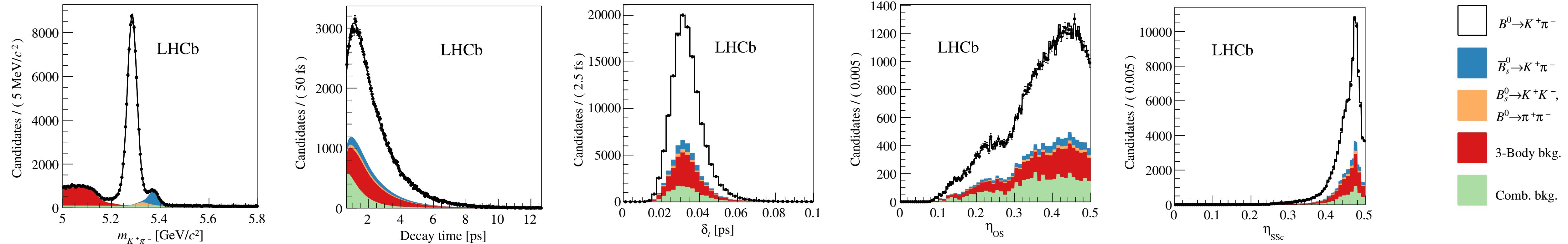
[Phys. Rev. D 98 (2018) 032004]

# Accettanza temporale

- $\epsilon_{acc}(t)$  per  $B^0 \rightarrow K^+ \pi^-$ : rapporto tra decadimenti osservati in funzione del tempo ed esponenziale puro ( $\Gamma = 1/\tau_{B^0}$ )
- Simulazione MC usata per adattare la curva trovata anche per gli altri canali di segnale



# Risultati per $B_{(s)}^0 \rightarrow K^\pm \pi^\mp$



$$A_{CP}^{B^0} = (-8.4 \pm 0.4 \pm 0.3) \%$$

$$A_{CP}^{B_s^0} = (21.3 \pm 1.5 \pm 0.7) \%$$

Misure più precise da parte  
di un singolo esperimento

[Phys. Rev. D 98 (2018) 032004]

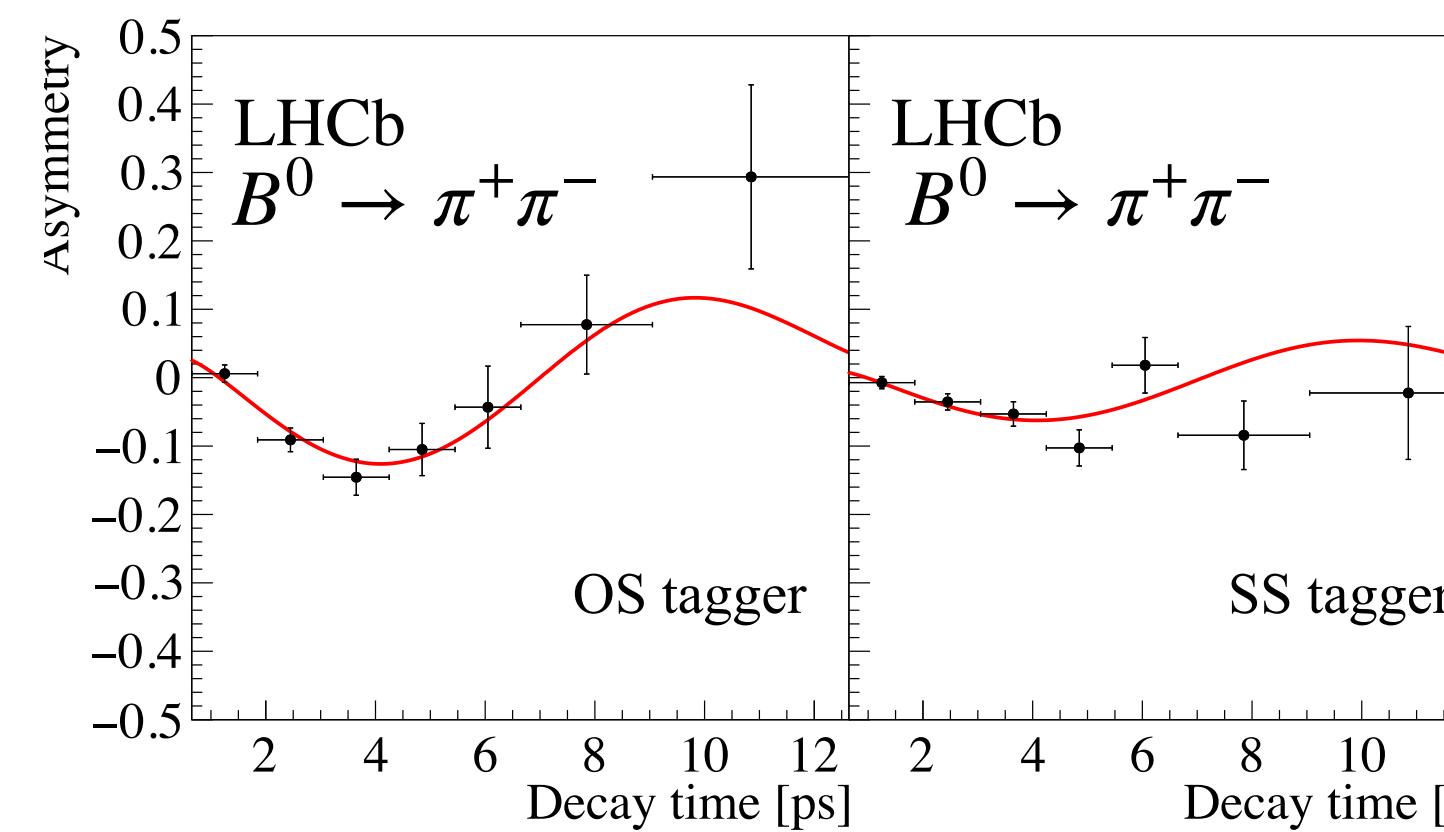
Questi risultati possono essere usati  
per il test del Modello Standard  
proposto in [PLB 621 (2005) 126]

$$\Delta = \frac{A_{CP}^{B^0}}{A_{CP}^{B_s^0}} + \frac{\mathbf{B}(B_s^0 \rightarrow \pi^+ K^-) \tau_d}{\mathbf{B}(B^0 \rightarrow K^+ \pi^-) \tau_s} = -0.11 \pm 0.04 \pm 0.03$$

da  $A_{CP}$   
da input esterni

Nessuna evidenza  
di nuova fisica

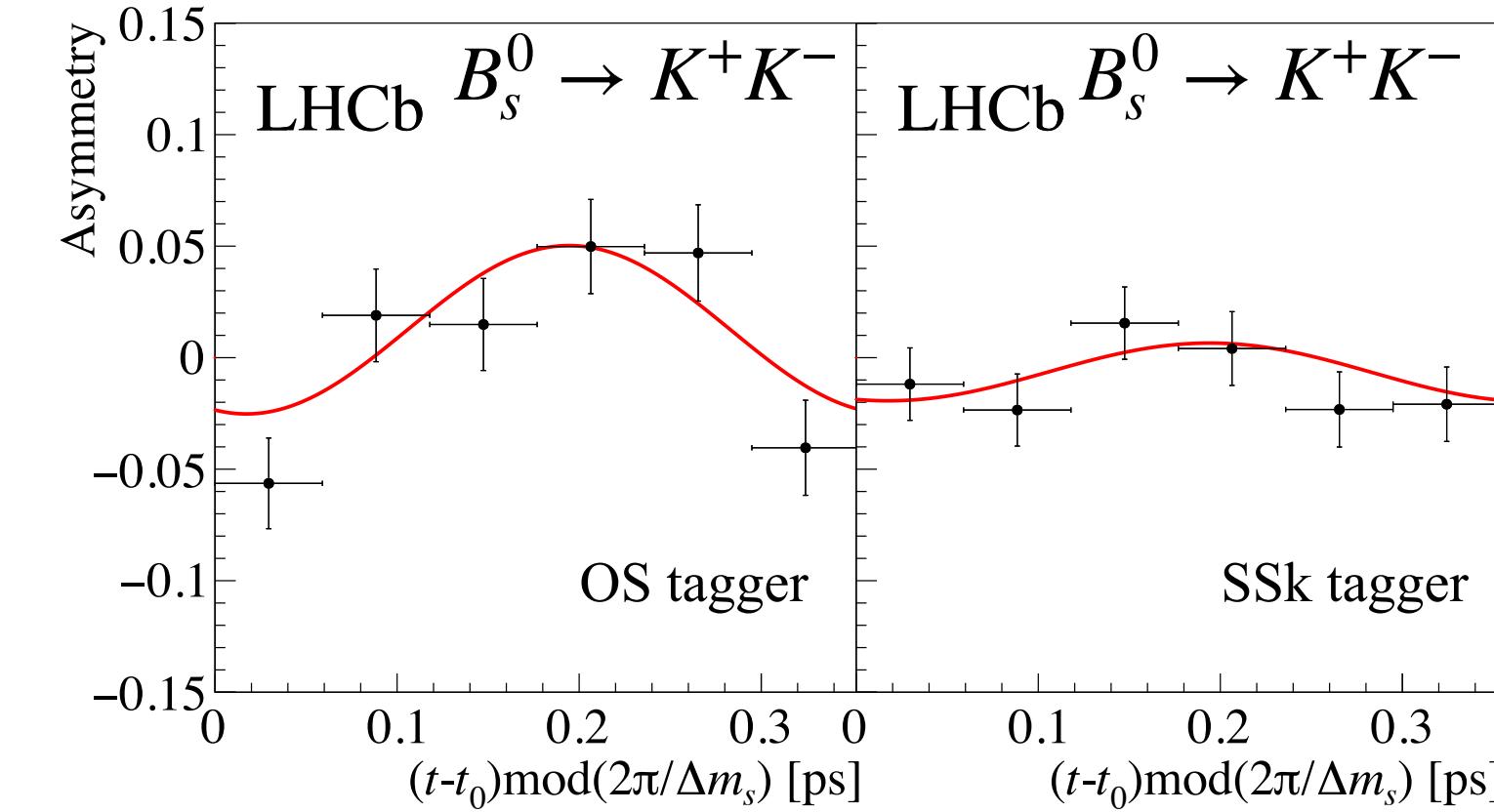
# Risultati per $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ e $B_s^0 \rightarrow K^+ K^-$



$$C_{\pi\pi} = (-34 \pm 6 \pm 1) \%$$

$$S_{\pi\pi} = (-63 \pm 5 \pm 1) \%$$

Misure più precise da parte  
di un singolo esperimento



$$C_{KK} = (20 \pm 6 \pm 2) \%$$

$$S_{KK} = (18 \pm 6 \pm 2) \%$$

Deviazione di  $4\sigma$  rispetto a  
ipotesi di nessuna  
violazione di  $CP$   
dipendente dal tempo in  
 $B_s^0 \rightarrow K^+ K^-$

$$A_{KK}^{\Delta\Gamma} = (-79 \pm 7 \pm 10) \%$$

PRIMA MISURA

[Phys. Rev. D 98 (2018) 032004]

Vincolo di unitarietà:  $|C_{KK}|^2 + |S_{KK}|^2 + |A_{KK}^{\Delta\Gamma}|^2 = 0.83 \pm 0.12$



# Prospettive

- Aggiornamento di queste misure con i dati raccolti nella prima parte del Run2 ( $2 \text{ fb}^{-1}$ ) vicino alla pubblicazione
- Incertezze ridotte grazie a: maggiore sezione d'urto, miglioramento di selezione e flavour tagging

