

Search for time-integrated CP violation in two-body charm decays at LHCb

Fabio Ferrari (Università di Bologna and INFN)

On behalf of the LHCb Collaboration

101° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica

Roma - 25 Settembre 2015



Importanza della fisica del charm

- La fisica del charm è un buon laboratorio per cercare effetti di Nuova Fisica
 - Approccio **complementare alle ricerche dirette**
- Il Modello Standard prevede una violazione di CP nel settore del charm molto piccola
 - Necessità di alta statistica (milioni di eventi) per misure di precisione
- Inoltre molti input per la fisica del B o per la misura di parametri della matrice CKM (γ) sono ricavati da misure di precisione nel settore del quark charm

Fisica del charm a LHCb

- (1) LHCb-CONF-2010-013
- (2) Phys.Lett. B694, 209, (2010)
- (3) LHCb-PAPER-2015-037

- LHCb è stato progettato per la fisica del beauty...
 - ... ma offre anche una grande opportunità per studi sul charm!

Sezioni d'urto @ $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$

$$\sigma_{c\bar{c}} = (6100 \pm 930) \mu\text{b} \text{ (1)}$$

$$\sigma_{b\bar{b}} = (284 \pm 20) \mu\text{b} \text{ (2)}$$

Sezioni d'urto @ $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$

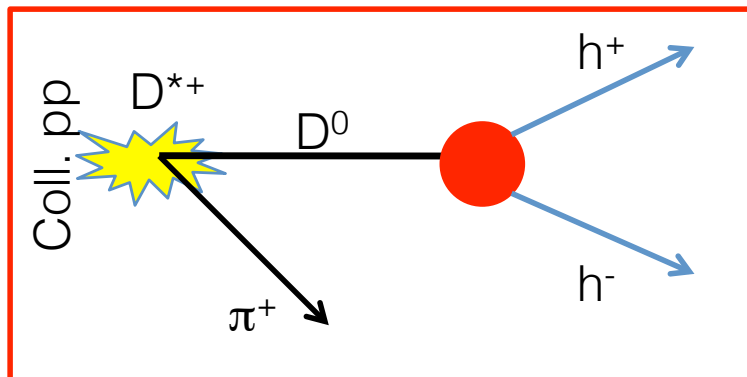
$$\sigma_{c\bar{c}} \sim 12.2 \text{ mb (non misurata)}$$

$$\sigma_{b\bar{b}} = (512 \pm 53) \mu\text{b} \text{ (3)}$$

$$\sigma_{c\bar{c}} / \sigma_{b\bar{b}} \approx 20$$

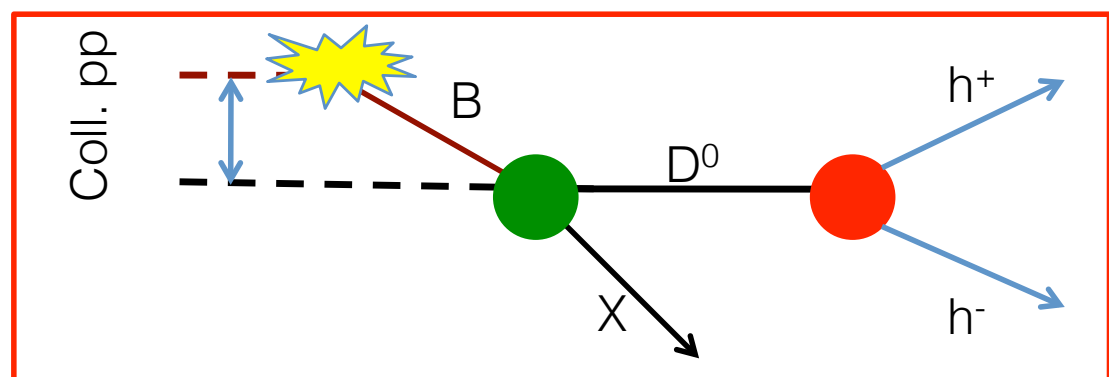
- La violazione di CP nel charm si può studiare nei decadimenti del D^0 in due corpi senza leptoni nello stato finale
- Nelle collisioni pp il D^0 viene prodotto tramite **due meccanismi di produzione**:

Diretto (prompt)



$$\text{IP} \sim 0$$

Indiretto (da decadimenti di adroni contenenti b)



$$\text{IP} \neq 0$$

$\Delta A_{CP}: D^0$ prompt

- L'asimmetria di CP è definita come

$$A_{CP}(f) = \frac{\Gamma(D^0 \rightarrow f) - \Gamma(\bar{D}^0 \rightarrow f)}{\Gamma(D^0 \rightarrow f) + \Gamma(\bar{D}^0 \rightarrow f)} \quad \text{dove } f = \pi^+\pi^-, K^+K^-$$

- Il sapore dello stato iniziale (D^0 or \bar{D}^0) è conosciuto (*tagging*) utilizzando la carica del pione nel decadimento $D^{*+} \rightarrow D^0\pi^+$

- La quantità che misuriamo è definita come

$$A_{raw}(f) = \frac{N(D^{*+} \rightarrow D^0\pi^+) - N(D^{*-} \rightarrow \bar{D}^0\pi^-)}{N(D^{*+} \rightarrow D^0\pi^+) + N(D^{*-} \rightarrow \bar{D}^0\pi^-)}$$

dove N è il numero di eventi ricostruiti dopo la sottrazione del fondo.

- Notiamo che

$$A_{raw}(f) = A_{CP}(f) + \cancel{A_D(f)} + A_D(\pi_s) + A_P(D^*)$$

Asimmetria di CP

Stati finali
simmetrici

Asimmetria di rivelazione
del pione

Asimmetria di
produzione del D^*

- Prendendo la differenza tra le due A_{raw} si cancellano le asimmetrie di rivelazione e produzione:

$$\Delta A_{CP} \equiv A_{raw}(KK) - A_{raw}(\pi\pi) = A_{CP}(KK) - A_{CP}(\pi\pi)$$

ΔA_{CP} : D^0 da decadimenti semileptonici del B

- L'asimmetria di CP è definita come per il D^0 prompt \rightarrow Il sapore dello stato iniziale (D^0 or \bar{D}^0) è conosciuto utilizzando **la carica del muone** nel decadimento

$$B \rightarrow D^0 \mu^- \bar{\nu}_\mu X$$

- La quantità che misuriamo è definita come:

$$A_{raw}(f) = \frac{N(B \rightarrow D^0(f) \mu^- \bar{\nu}_\mu X) - N(B \rightarrow D^0(f) \mu^+ \nu_\mu X)}{N(B \rightarrow D^0(f) \mu^- \bar{\nu}_\mu X) + N(B \rightarrow D^0(f) \mu^+ \nu_\mu X)} \quad \text{dove } f = \pi^+\pi^-, K^+K^-$$

dove N è il numero di eventi ricostruiti dopo la sottrazione del fondo.

- Analogamente notiamo che

$$A_{raw}(f) = A_{CP}(f) + A_P(B) + A_D(\mu)$$

Asimmetria di CP

Asimmetria di
produzione del B

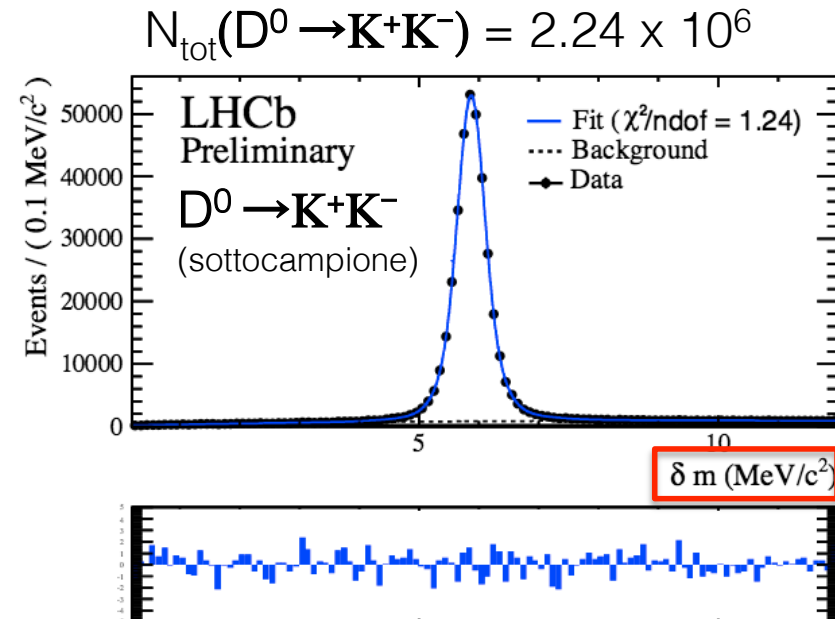
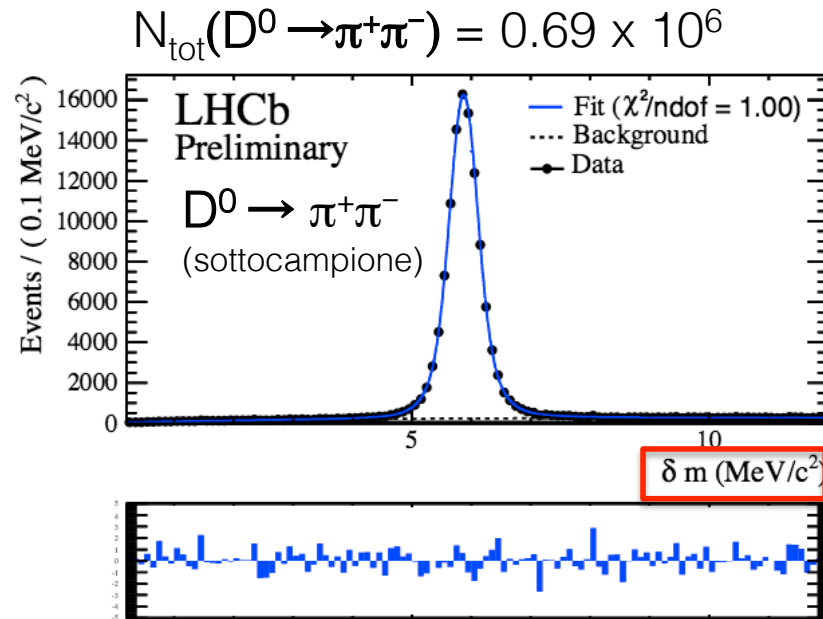
Asimmetria di rivelazione
del muone

- Anche in questo caso, prendendo la differenza tra le due A_{raw} si cancellano le asimmetrie di rivelazione e produzione

$$\Delta A_{CP} \equiv A_{raw}(KK) - A_{raw}(\pi\pi) = A_{CP}(KK) - A_{CP}(\pi\pi)$$

Misura di ΔA_{CP} da D^0 prompt (LHCb-CONF-2013-003)

$L = 1 \text{ fb}^{-1}$



$$\delta m \equiv m(D^*) - m(D^0) - m(\pi)$$

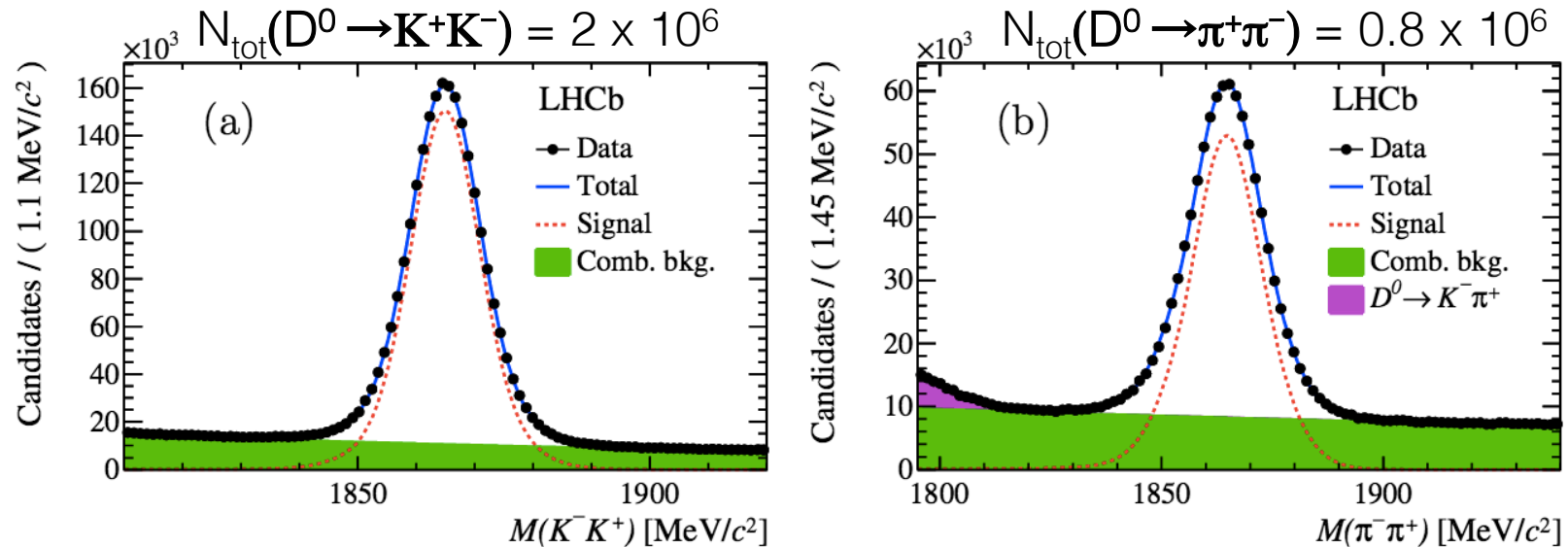
$$\Delta A_{CP} = (-0.34 \pm 0.15 \pm 0.10)\%$$

Per misurare le singole asimmetrie è necessario studiare anche il decadimento $D^0 \rightarrow K^+\pi^-$ (sia prompt che da decadimenti semileptonici del B) e misurare l'asimmetria di rivelazione della coppia $K^+\pi^-$

| Source | Uncertainty |
|-------------------------|-------------|
| Fiducial cut | 0.02% |
| Peaking background | 0.04% |
| Fit model | 0.03% |
| Multiple candidates | 0.01% |
| Reweighting | 0.01% |
| Soft pion IP_{χ^2} | 0.08% |
| Total | 0.10% |

Misura di ΔA_{CP} da D^0 semileptonici (JHEP 07 (2014) 041)

$L = 3 \text{ fb}^{-1}$



$$\Delta A_{CP} = (+0.14 \pm 0.16 \text{ (stat)} \pm 0.08 \text{ (syst)})\%$$

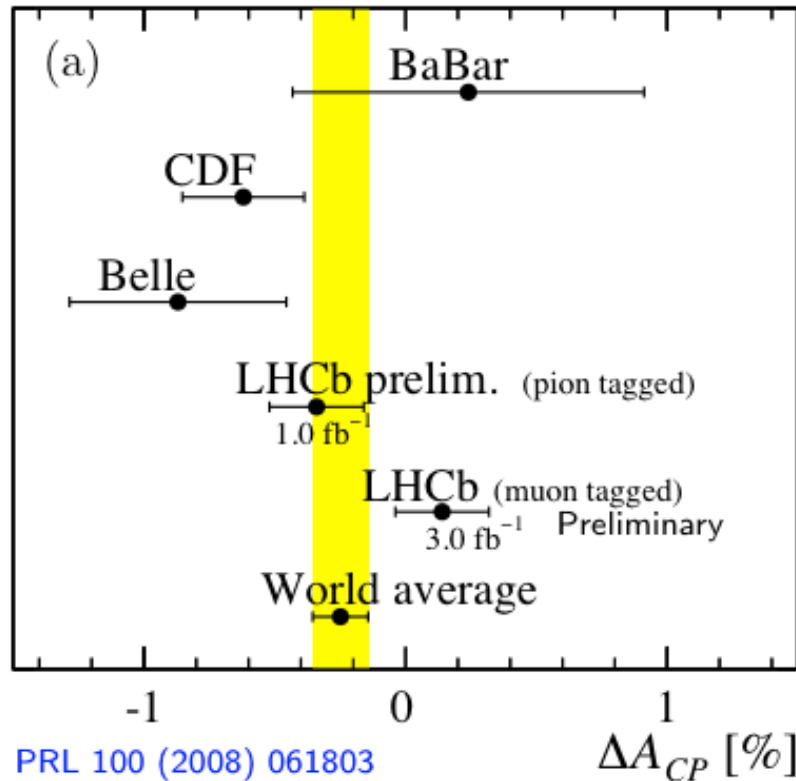
$$A_{CP}(K^-K^+) = (-0.06 \pm 0.15 \text{ (stat)} \pm 0.10 \text{ (syst)})\%$$

$$\rho(\Delta A_{CP}, A_{CP}(KK)) = 0.28$$

$$A_{CP}(\pi^-\pi^+) = (-0.20 \pm 0.19 \text{ (stat)} \pm 0.10 \text{ (syst)})\%$$

| Source of uncertainty | ΔA_{CP} | $A_{CP}(K^-K^+)$ |
|---|-----------------|------------------|
| Production asymmetry: | | |
| Difference in b -hadron mixture | 0.02% | 0.02% |
| Difference in B decay time acceptance | 0.02% | 0.02% |
| Production and detection asymmetry: | | |
| Different weighting | 0.02% | 0.05% |
| Non-cancellation | - | 0.03% |
| Neutral kaon asymmetry | - | 0.01% |
| Background from real D^0 mesons: | | |
| Mistag asymmetry | 0.03% | 0.03% |
| Background from fake D^0 mesons: | | |
| D^0 mass fit model | 0.06% | 0.06% |
| Wrong background modelling | 0.03% | 0.03% |
| Quadratic sum | 0.08% | 0.10% |

Quadro sperimentale

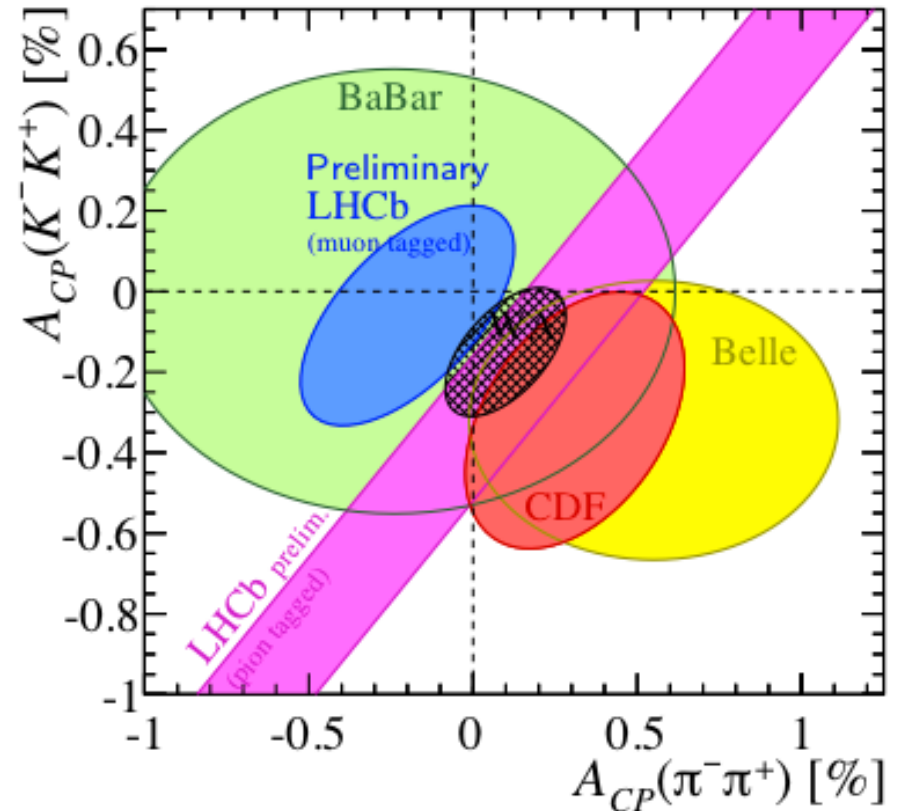


[PRL 100 \(2008\) 061803](#)

[PRL 109 \(2012\) 111801](#)

[arXiv:1212.1975](#)

[LHCb-CONF-2013-003](#)



Nuove medie mondiali

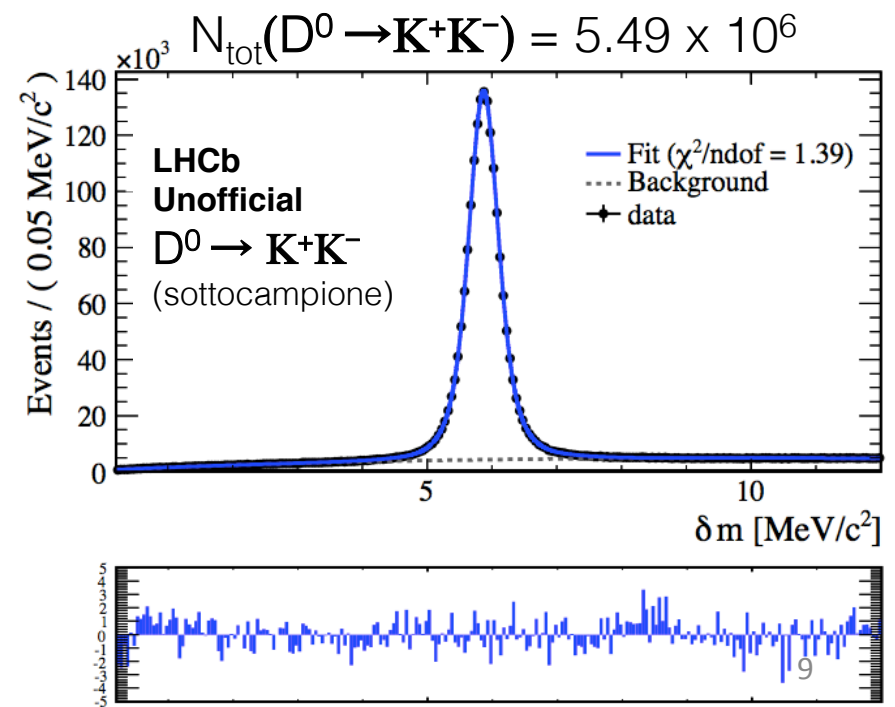
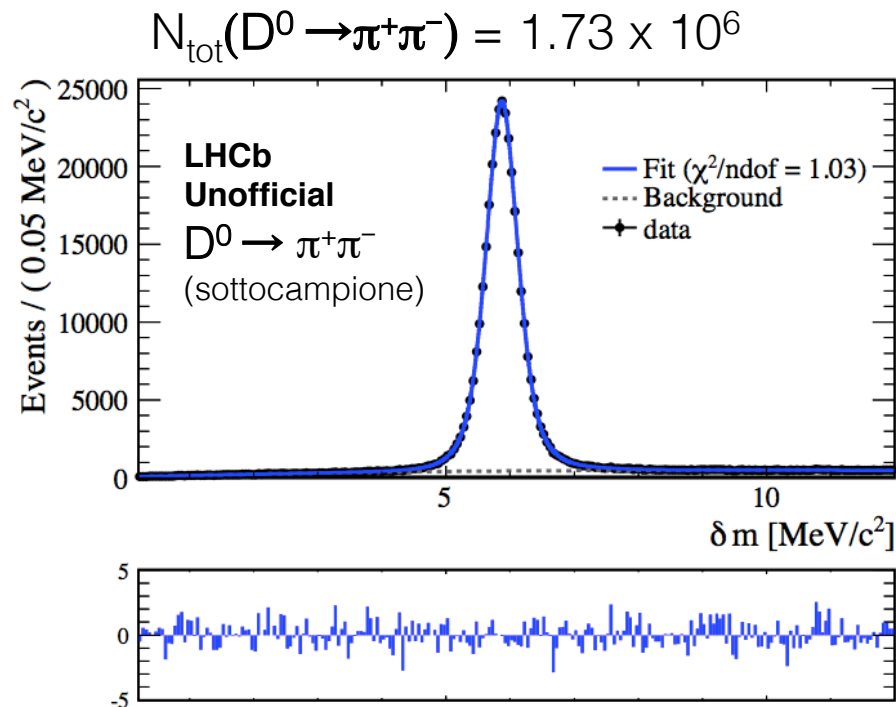
$$A_{CP}(KK) = (-0.15 \pm 0.11)\%, \quad A_{CP}(\pi\pi) = (+0.10 \pm 0.12)\%,$$

$$\Delta A_{CP} = (-0.25 \pm 0.11)\%.$$

I risultati di LHCb costituiscono le misure più precise ottenute da un singolo esperimento finora

Aggiornamento di ΔA_{CP} da D^0 prompt

- L'aggiornamento dell'analisi a 3 fb^{-1} è in corso
 - Risultati relativi al campione di dati del 2012 ancora nascosti agli analisti
 - Errore statistico totale: $\sim 0.08\%$
 - Errore sistematico totale: $\sim 0.03\%$
 - Questa sarà a breve la misura **più precisa al mondo** di violazione di CP nel settore del charm



Conclusioni

- La violazione di CP non è ancora stata osservata nel settore del charm
- Le attuali misure di violazione di CP pubblicate dalla Collaborazione LHCb hanno precisioni $\gtrsim 0.1\%$
- La misura di ΔA_{CP} (3 fb^{-1}) da decadimenti prompt del D^0 raggiungerà una precisione $\lesssim 0.1\%$ \rightarrow sarà la singola misura più precisa al mondo di violazione di CP nel charm
- LHCb ha ricominciato a raccogliere dati e ci aspettiamo di scendere ben al di sotto dello 0.1% di precisione