

Violazione di CP e mixing nel settore del charm a LHCb

Incontri di Fisica delle Alte Energie

Andrea Contu

INFN Cagliari - CERN

9 Aprile 2015 - *IFAE 2015*

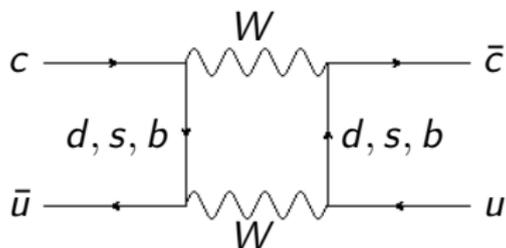


Outline

- 1 Introduzione
- 2 CPV diretta
 - Ricerca di CPV in $D^0 \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^0$
- 3 CPV indiretta
 - Misura di A_{Γ} in $D^0 \rightarrow hh$
- 4 Prossimo futuro
- 5 Conclusioni

Perchè studiare il charm?

- Up-type quark: sonda di NP nel settore del flavour, complementare agli studi negli adroni K e B
- Fisica di precisione nei B (CKM γ) richiede input da misure nel charm
- Mixing e violazione di CP predetti dallo SM sono piccoli a causa del GIM mechanism e soppressioni CKM



- Contributi long-distance non sono trascurabili e predizioni teoriche precise sono difficili. Il charm è più un tool di scoperta (in attesa della lattice QCD)

Mesone D neutro

Prodotto come autostato di flavour D^0 e \bar{D}^0 , decade come autostato di massa D_1 e D_2

$$i \frac{\partial}{\partial t} \begin{pmatrix} D^0(t) \\ \bar{D}^0(t) \end{pmatrix} = \left(\mathbf{M} - \frac{i}{2} \mathbf{\Gamma} \right) \begin{pmatrix} D^0(t) \\ \bar{D}^0(t) \end{pmatrix} \quad \begin{aligned} |D_1\rangle &= p |D^0\rangle + q |\bar{D}^0\rangle \\ |D_2\rangle &= p |D^0\rangle - q |\bar{D}^0\rangle \end{aligned}$$

$$\left(\frac{q}{p} \right)^2 = \frac{M_{12}^* - \frac{i}{2} \Gamma_{12}^*}{M_{12} - \frac{i}{2} \Gamma_{12}} \quad |q|^2 + |p|^2 = 1$$

Il mixing si ha se $\Delta M = M_1 - M_2 \neq 0$ o
 $\Delta \Gamma = \Gamma_1 - \Gamma_2 \neq 0$

Parametri di mixing

$$x = \frac{\Delta M}{\Gamma}, \quad y = \frac{\Delta \Gamma}{2\Gamma} \quad \Gamma = \frac{\Gamma_1 + \Gamma_2}{2}$$

CPV INDIRETTA

CPV DIRETTA

Ampiezze di decadimento diverse per D^0 e \bar{D}^0

$$\begin{aligned} A_f &= \langle f | H | D^0 \rangle \\ \bar{A}_{\bar{f}} &= \langle \bar{f} | H | \bar{D}^0 \rangle \end{aligned} \quad \left| \frac{\bar{A}_{\bar{f}}}{A_f} \right| \neq 1$$

La precisione su q/p e ϕ dipende dalla precisione su x e y

CPV NEL MIXING

Probabilità di mixing diverse per $D^0 \rightarrow \bar{D}^0$ e $\bar{D}^0 \rightarrow D^0$

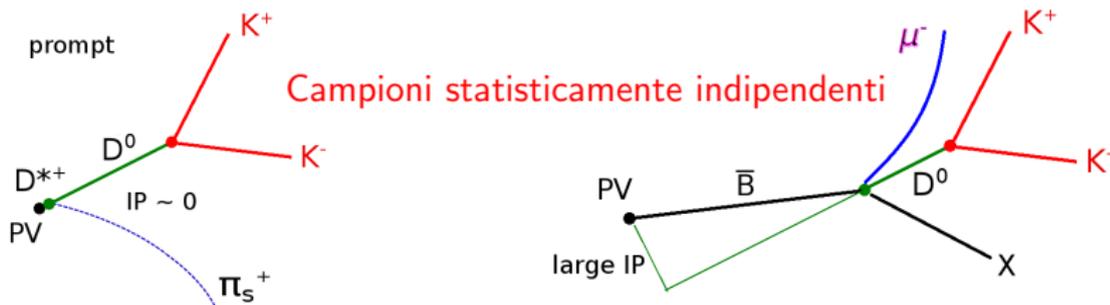
$$\left| \frac{q}{p} \right| \neq 1$$

CPV NELL'INTERFERENZA di mixing e decadimento

$$\phi = \arg \left(\frac{q \bar{A}_{\bar{f}}}{p A_f} \right)$$

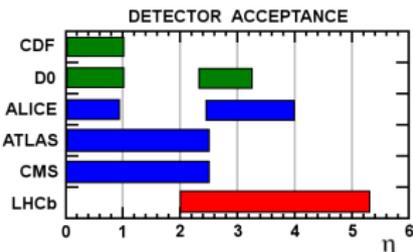
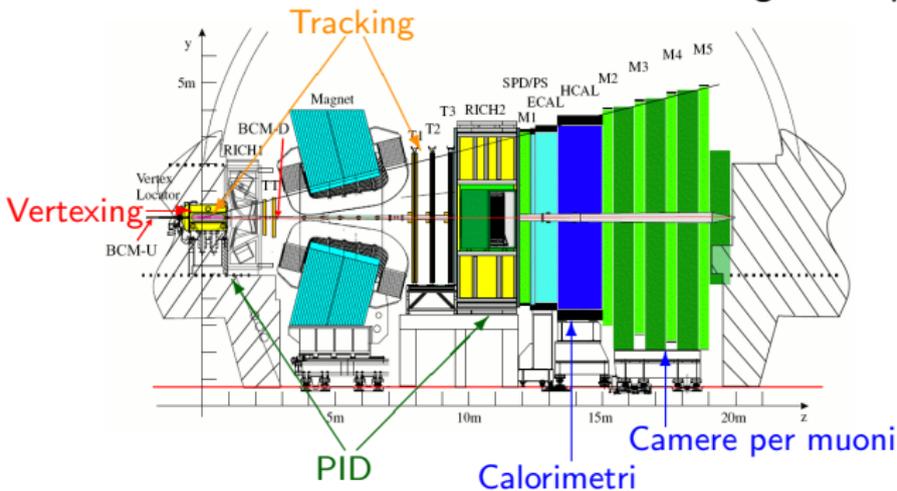
Fisica del Charm a LHCb

- Copiosa produzione di charm all'LHC produced world best measurements:
 - Mixing e CPV in WS $D^0 \rightarrow K\pi$ [PRL 111 (2013) 251801]
 - CPV diretta in ΔA_{CP} [JHEP 07 (2014) 041, LHCb-CONF-2013-003]
 - CPV indiretta in A_{Γ} [PRL 112 (2014) 041801] (only 2011 data!)
 - Ricerca di CPV in decadimenti multicorpo [PLB 726 (2013) 623, PLB 728 (2014) 585, JHEP 10 (2014) 005 ...]
- L'incertezza statistica domina ancora le misure principali
- Il flavour del D alla produzione è determinato in due modi:



Il rivelatore LHCb [JINST 3 (2008) S080005]

LHCb ha mostrato di essere un “forward general purpose detector”:



● Performance:

- $\Delta p/p = 0.35\% - 0.55\%$
- Risoluzione in massa = $10 - 25 \text{ MeV}/c^2$
- Risoluzione del parametro d'impatto: $20 \mu\text{m}$ for high- p_T tracks
- ECAL $\sigma(E)/E = 10\%(E/\text{GeV})^{-1/2} \oplus 1\%$
- Identificazione di particelle cariche coi rivelatori RICH ($2-100 \text{ GeV}/c^2$)

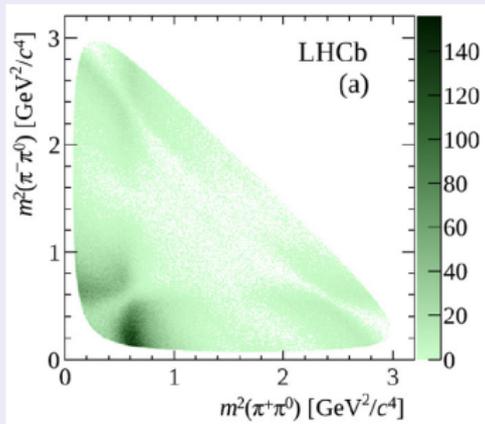
Violazione di CP diretta

Ricerca di CPV in $D^0 \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^0$ [Phys. Lett. B 740 (2015) 158]

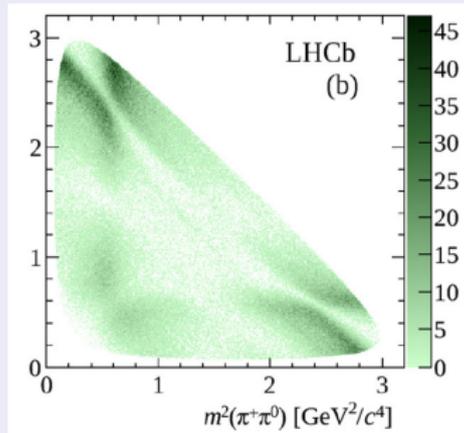
Asimmetria di CP integrata nel tempo in $D^0 \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^0$ usando l'“energy test method” [Phys. Rev. D, 84 (2011), p. 054015]

- Prima ricerca di CPV con π^0 a LHCb

Resolved π^0 , due depositi nell'ECAL, migliore risoluzione in massa, basso p_T
 416×10^3 eventi, purezza 82%



Merged π^0 , un deposito ECAL, peggiore risoluzione in massa, alto p_T
 247×10^3 eventi, purezza 91%



Ricerca di CPV in $D^0 \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^0$ [Phys. Lett. B 740 (2015) 158]

- Metodo non dipendente da modelli e non binnato per la ricerca di asimmetria di CP locale nel piano di Dalitz [Phys. Rev. D, 84 (2011), p. 054015]
- Si definisce un test statistico T , che dipende dalla distanza tra coppie di eventi nel piano di Dalitz $\vec{\Delta x}_{ij}$

$$T = \underbrace{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i,j>i}^n \psi(\vec{\Delta x}_{ij})}_{i,j \text{ sono eventi taggati } D^0} + \underbrace{\frac{1}{\bar{n}(\bar{n}-1)} \sum_{i,j>i}^{\bar{n}} \psi(\vec{\Delta x}_{ij})}_{i,j \text{ sono eventi taggati } \bar{D}^0} - \underbrace{\frac{1}{n\bar{n}} \sum_{i,j}^{n,\bar{n}} \psi(\vec{\Delta x}_{ij})}_{i(j) \text{ sono eventi taggati } D^0(\bar{D}^0)}$$

- $\vec{\Delta x}_{ij} = (m_{12}^{2,j} - m_{12}^{2,i}, m_{23}^{2,j} - m_{23}^{2,i}, m_{13}^{2,j} - m_{13}^{2,i})$ non dipende dalla scelta degli assi nel piano di Dalitz
- $\psi(\vec{\Delta x}_{ij}) = \exp(-\vec{\Delta x}_{ij}^2 / 2\sigma^2)$ è la metrica usata in quest'analisi

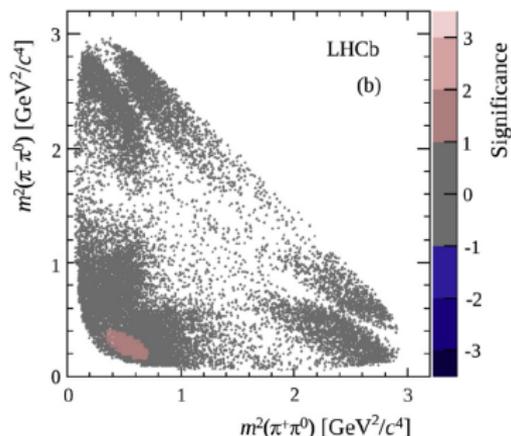
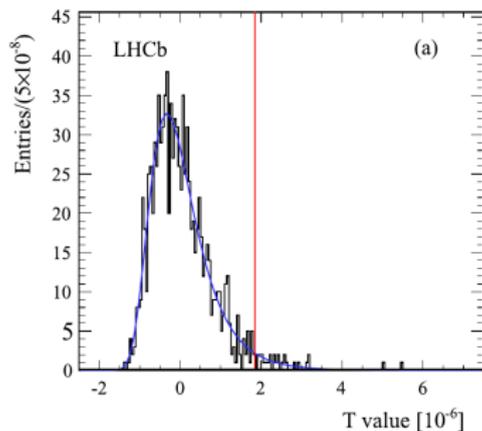
Ricerca di CPV in $D^0 \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^0$ [Phys. Lett. B 740 (2015) 158]

- Distribuzione di T per l'ipotesi no-CPV determinata facendo permutazioni degli eventi assegnando un flavour casuale al D
- Si dimostra che T segue la distribuzione Generalised Extreme Value (GEV)

$$f(T; \mu, \delta, \xi) = N \left[1 + \xi \left(\frac{T - \mu}{\delta} \right) \right]^{(-1/\xi) - 1} \exp - \left[1 + \xi \left(\frac{T - \mu}{\delta} \right) \right]^{-1/\xi}$$

- Asimmetrie locali possono essere studiate definendo per ogni evento nel piano di Dalitz

$$T_i = \frac{1}{2n(n-1)} \sum_{j \neq i}^n \psi_{ij} - \frac{1}{n\bar{n}} \sum_{j \neq i}^{\bar{n}} \psi_{ij}$$

Search for CPV in $D^0 \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^0$ [Phys. Lett. B 740 (2015) 158]

Consistente con la conservazione di CP

$$p\text{-value} : (2.6 \pm 0.5) \times 10^{-2}$$

Asimmetria locale superiore a 1σ nella regione dominata dalla ρ^+

Violazione di CP indiretta

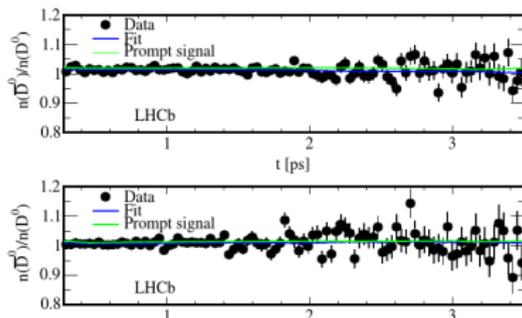
Misura di A_Γ in $D^0 \rightarrow hh$ [PRL 112 (2014) 041801]

- Asimmetria del tempo di vita effettivo tra D^0 and \bar{D}^0

$$A_\Gamma = \frac{\tau_{\bar{D}^0}^{\text{eff}} - \tau_{D^0}^{\text{eff}}}{\tau_{\bar{D}^0}^{\text{eff}} + \tau_{D^0}^{\text{eff}}} \approx \left(\left| \frac{q}{p} \right| - \left| \frac{p}{q} \right| \right) y \cos \phi - \left(\left| \frac{q}{p} \right| + \left| \frac{p}{q} \right| \right) x \sin \phi$$

- Misura quasi pura di CPV indiretta
- LHCb ha già prodotta la misura migliore usando un campione prompt di D^0 del 2011 (1fb^{-1})

$$R(t) \approx \frac{N_{\bar{D}^0}}{N_{D^0}} \left(1 + \frac{2A_\Gamma}{\tau_{KK}} t \right) \frac{1 - e^{-\Delta t/\tau_{D^0}}}{1 - e^{-\Delta t/\tau_{\bar{D}^0}}}$$

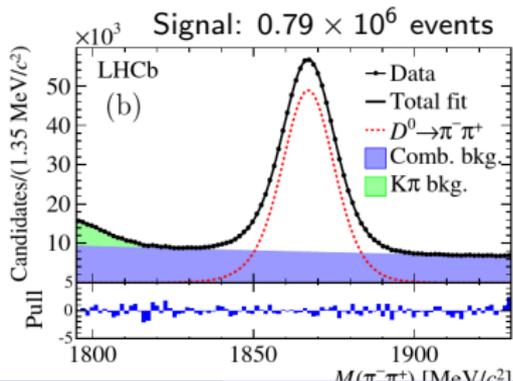
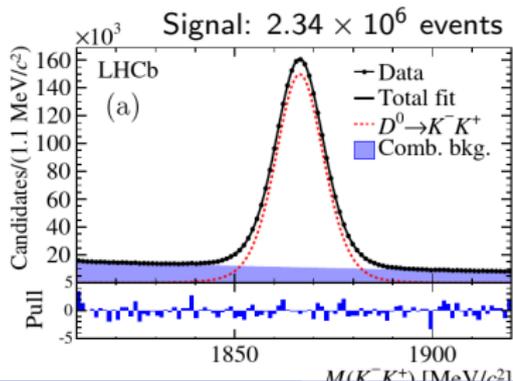
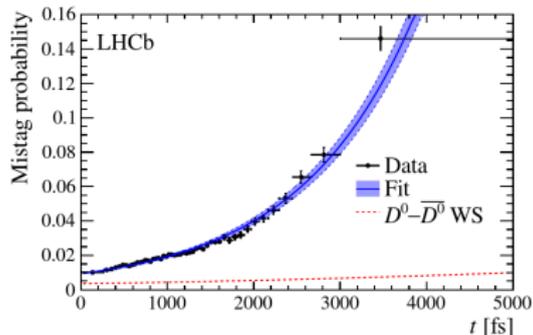


$$A_\Gamma(KK) = (-0.035 \pm 0.062_{\text{stat}} \pm 0.012_{\text{syst}}^t) \%$$

$$A_\Gamma(\pi\pi) = (0.033 \pm 0.106_{\text{stat}} \pm 0.014_{\text{syst}}) \%$$

Misura di A_F in $D^0 \rightarrow hh$ [arXiv:1501.06777, sub. to JHEP]

- L'ultima misura di LHCb utilizza D^0 da decadimenti semileptonici di B
- Intero campione Run1 (3 fb^{-1})
- L'asimmetria di mistag è la sistematica dominante, $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$ come canale di controllo



Misura di A_{Γ} in $D^0 \rightarrow hh$ [arXiv:1501.06777, sub. to JHEP]

- Fit dell'evoluzione temporale dell'asimmetria

$$A_{CP}(t) \approx A_0 - A_{\Gamma} \frac{t}{\tau}$$

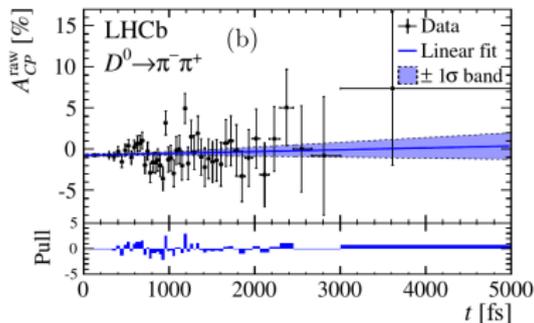
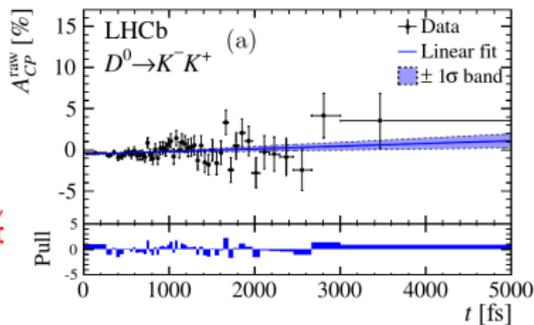
$$A_{\Gamma}(KK) = (-0.134 \pm 0.077_{stat} \pm 0.026_{sys} \mp 0.034_{th})\%$$

$$A_{\Gamma}(\pi\pi) = (-0.092 \pm 0.145_{stat} \pm 0.025_{sys} \mp 0.033_{th})\%$$

- Assumendo che la CPV indiretta sia universale

$$A_{\Gamma} = (-0.125 \pm 0.073)\%$$

- In accordo con misure precedenti e con l'ipotesi di assenza di CPV indiretta nei decadimenti del D^0



Misura di A_{Γ} in $D^0 \rightarrow hh$ [arXiv:1501.06777 , sub. to JHEP]

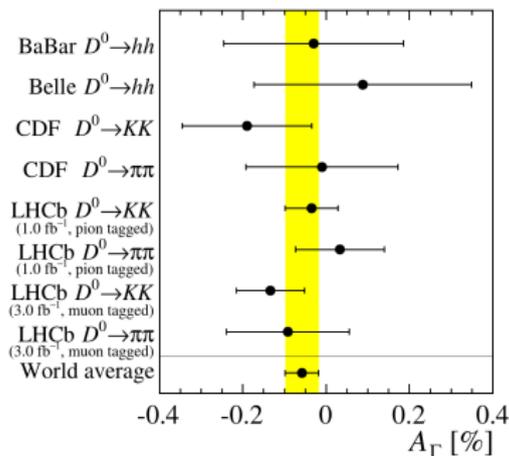
- Combinando le due misure di LHCb

$$A_{\Gamma}(KK) = (-0.072 \pm 0.050)\%$$

$$A_{\Gamma}(\pi\pi) = (-0.010 \pm 0.087)\%$$

- CPV indiretta universale:
 $A_{\Gamma} = (-0.056 \pm 0.044)\%$
- Aggiungendo anche Belle [arXiv:1212.3478], BaBar [PRD87 (2013) 012004], e CDF [PRD90 (2014) 111103]

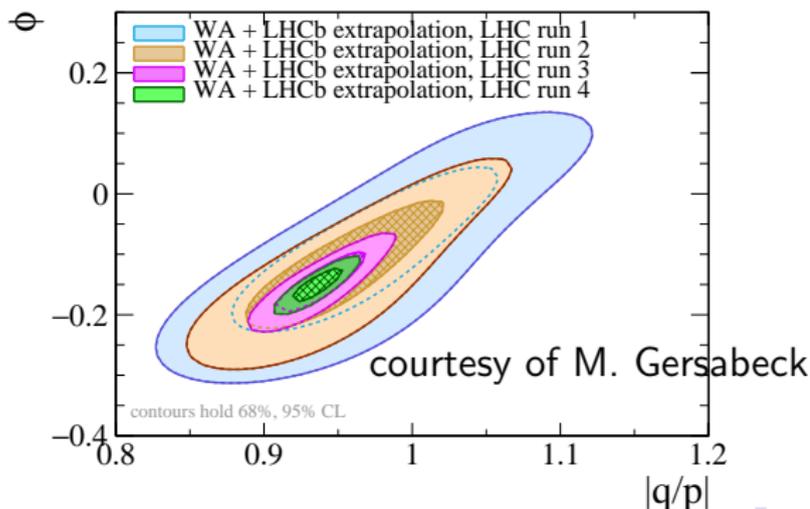
$$A_{\Gamma} = (-0.058 \pm 0.040)\%$$



Prospettive per la violation di CP nel charm a LHCb

Prossimi risultati:

- Update di ΔA_{CP} col campione prompt a 3 fb^{-1}
- y_{CP} con 1 fb^{-1}
- $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi \pi$, the “golden channel”, accesso diretto a x , y , $|q/p|$ a ϕ .
Primi risultati disponibili verosimilmente questa estate



Conclusioni

- La fisica del Charm è un'ottima sonda per nuova fisica
- Risultati nel Charm utilissimi alla fisica de B
- Misure di precisione a LHCb grazie a campioni con $\mathcal{O}(1M)$ di eventi
- Il potenziale in Run1 ancora non esaurito
- Interessanti prospettive in Run2 e Upgrade