

Violazione di CP nei mesoni D ai collisionatori adronici

Stefano Perazzini
(INFN Bologna)



IFAE2013 - Cagliari

- La violazione di CP è attesa essere molto piccola

Matrice CKM

Autostati
di sapore

Parametrizzazione di Wolfenstein fino a λ^4

Autostati
di massa

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \boxed{1 - \lambda^2/2} & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & \boxed{1 - \lambda^2/2} & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}$$

Triangolo unitario per il charm

$$V_{ud}V_{cd}^* + V_{us}V_{cs}^* + V_{ub}V_{cb}^* = 0$$

$\sim \lambda \quad \sim \lambda \quad \sim \lambda^5$

- Nuove particelle non presenti nel Modello Standard possono introdurre nuove sorgenti di violazione di CP
- Modelli di Nuova Fisica oltre il MS prevedono violazione di CP fino a $O(10^{-2})$

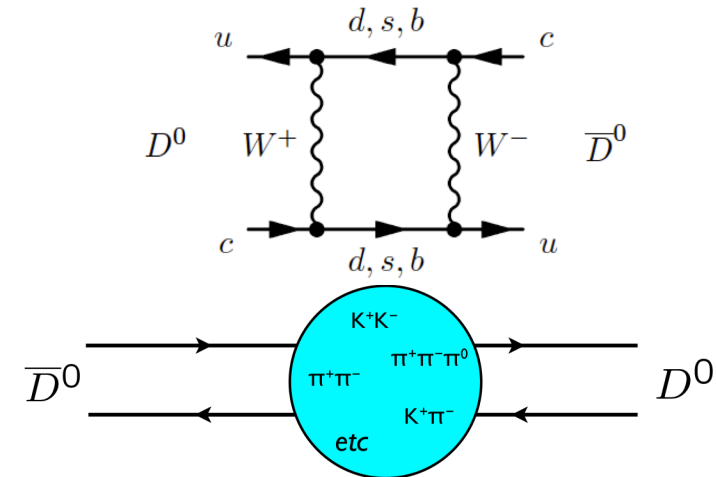
Oscillazione $D^0-\bar{D}^0$

- Evidenze sia alle B-Factories (2007) sia a CDF (2008):
 - Nessuna singola misura a più di 5σ
- L'evoluzione temporale descritta dall'equazione di Schrödinger:

$$i \frac{\partial}{\partial t} \begin{pmatrix} D^0(t) \\ \bar{D}^0(t) \end{pmatrix} = (M - i\Gamma) \begin{pmatrix} D^0(t) \\ \bar{D}^0(t) \end{pmatrix}$$

$$|D_{1,2}\rangle = p |D^0\rangle \pm q |\bar{D}^0\rangle$$

- $x=0$ e $y=0 \rightarrow$ Nessuna oscillazione
- La violazione di CP compare nel miscelamento quando
 - $|q/p| \neq 1$
 - $\arg(q/p) \neq 0$



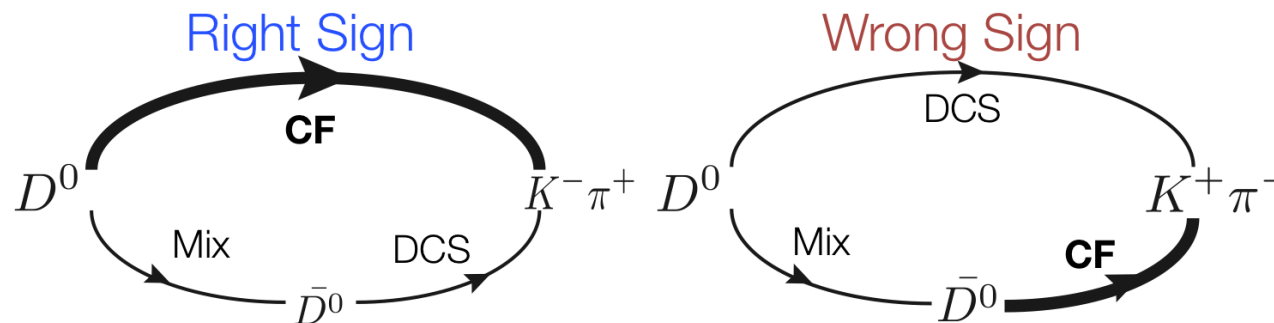
$$|\langle D^0 | D^0(t) \rangle|^2 \propto e^{-\Gamma t} [\cosh(y\Gamma t) + \cos(x\Gamma t)]$$

$$|\langle \bar{D}^0 | D^0(t) \rangle|^2 \propto e^{-\Gamma t} [\cosh(y\Gamma t) - \cos(x\Gamma t)]$$

$$x = \frac{m_2 - m_1}{\Gamma} \quad \text{Frequenza di oscillazione}$$

$$y = \frac{\Gamma_2 - \Gamma_1}{2\Gamma}$$

- È possibile misurare l'oscillazione sfruttando l'interferenza tra l'oscillazione e il decadimento doppio Cabibbo soppresso:



- Se $|x|, |y| \ll 1$ e nessuna violazione di CP:

$$R(t) = \frac{N_{WS}(t)}{N_{RS}(t)} \simeq R_D + \sqrt{R_D} y' t + \frac{x'^2 + y'^2}{4} t^2$$

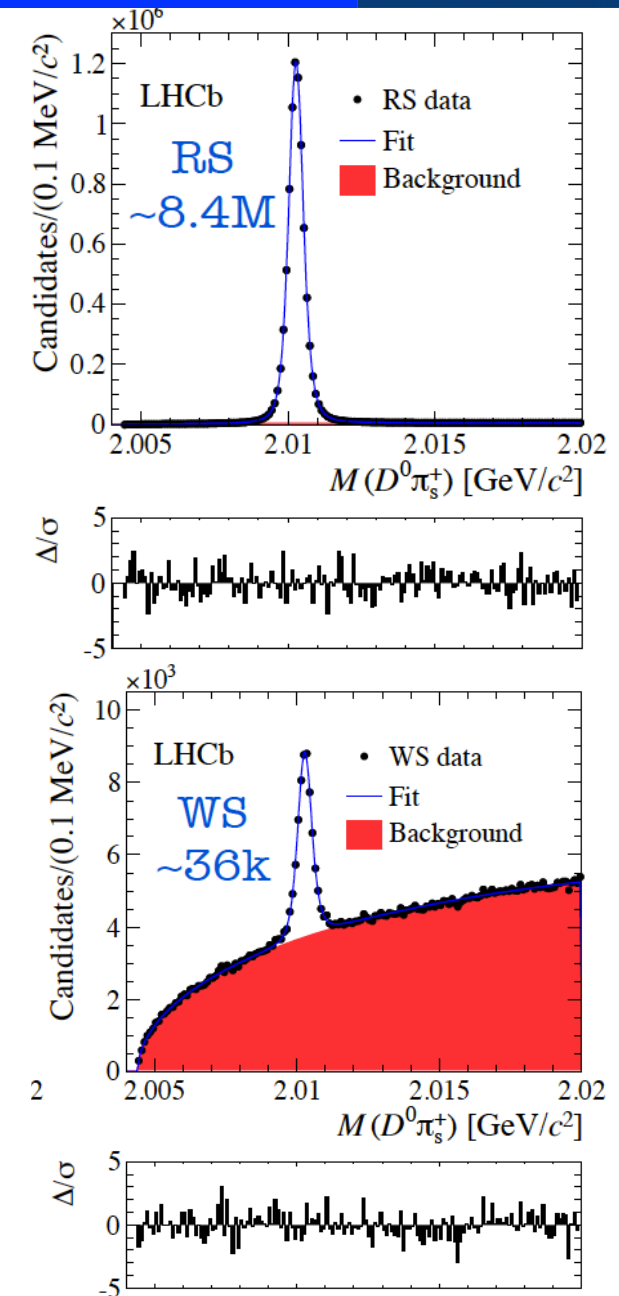
$$x' = x \cos(\delta) + y \sin(\delta)$$

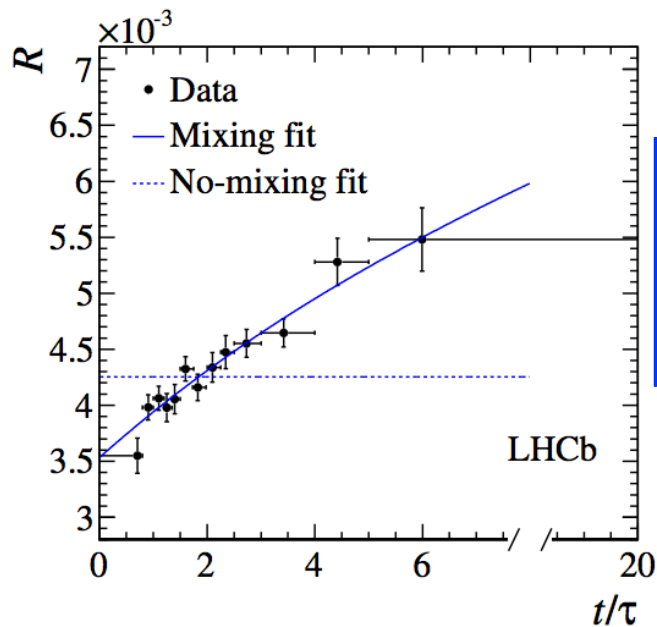
$$y' = y \cos(\delta) - x \sin(\delta)$$

δ = fase forte

$R(t)$ costante nel tempo in
assenza di oscillazione

- LHCb [Phys. Rev. Lett. 110 (2013) 101802]:
 - 1 fb^{-1} @ $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$
 - $D^{*\pm} \rightarrow D^0(f)\pi^\pm$ per determinare se il decadimento è “col segno corretto” (RS) o “col segno sbagliato” (WS)
 - Misura del rapporto $R(t) = N_{\text{WS}}/N_{\text{RS}}$ in 13 intervalli del tempo di decadimento del D^0





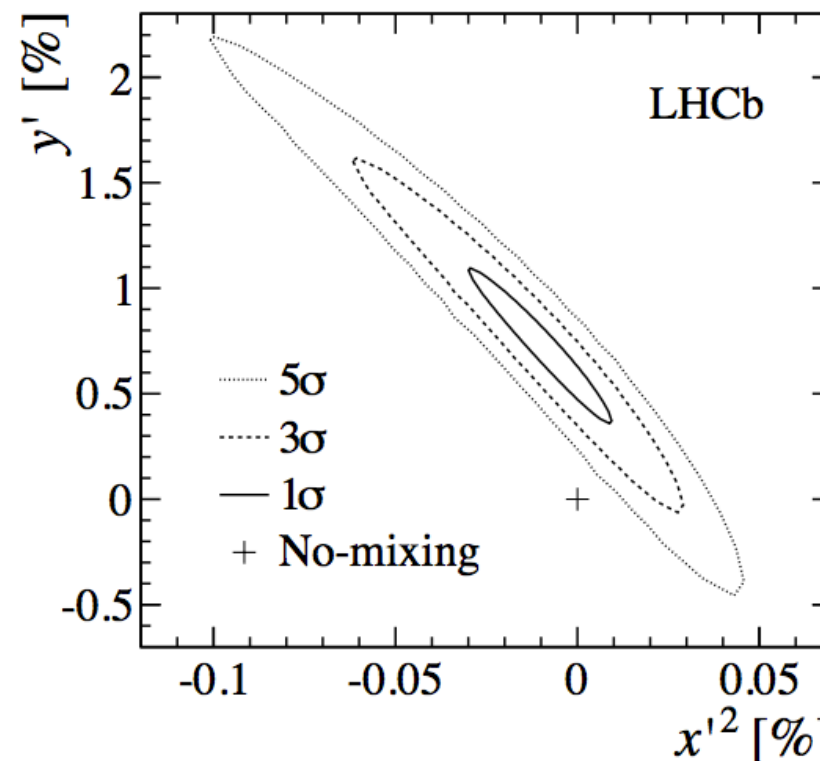
$$R_D = (3.52 \pm 0.15) \times 10^{-3},$$

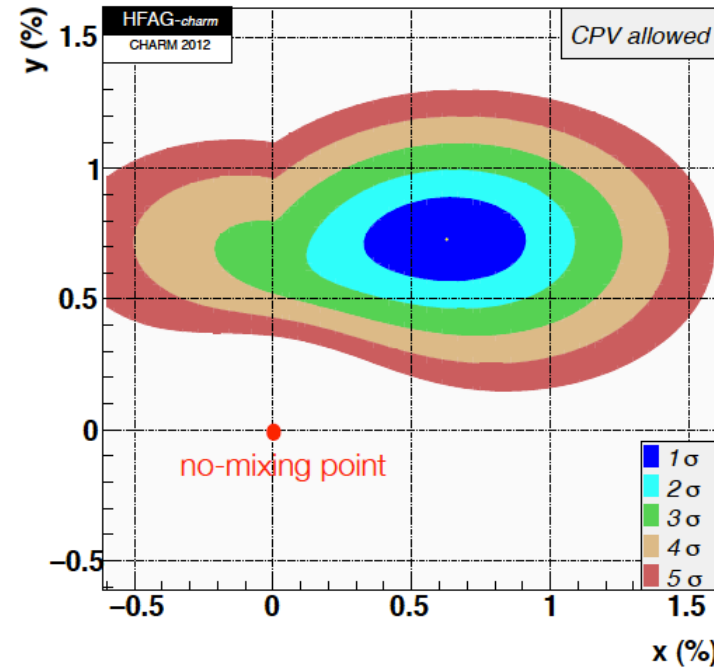
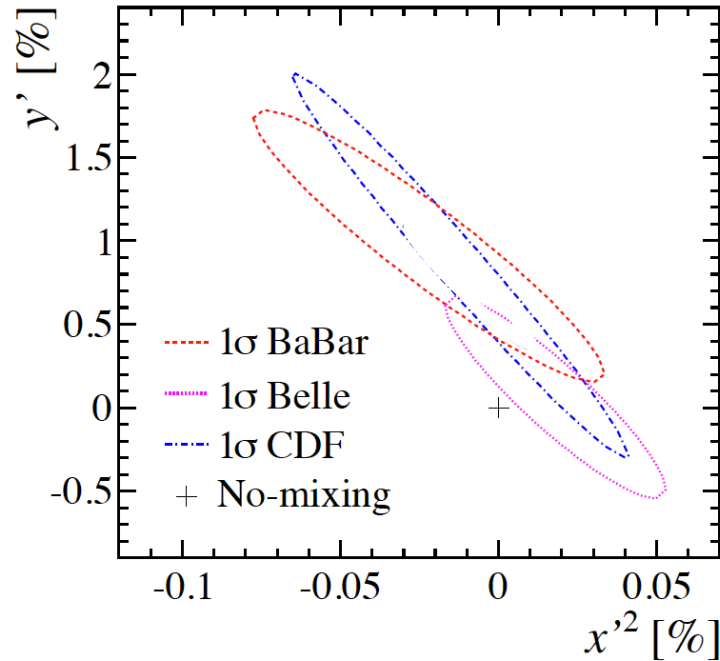
$$y' = (7.2 \pm 2.4) \times 10^{-3},$$

$$x'^2 = (-0.09 \pm 0.13) \times 10^{-3}.$$

- Errori sistematici piccoli:
 - In massima parte si cancellano nel rapporto
 - x' : 11% di $\sigma(x')$
 - y' : 10% di $\sigma(y')$

Prima osservazione da un solo esperimento dell'oscillazione dei mesoni D^0 a più di 5σ

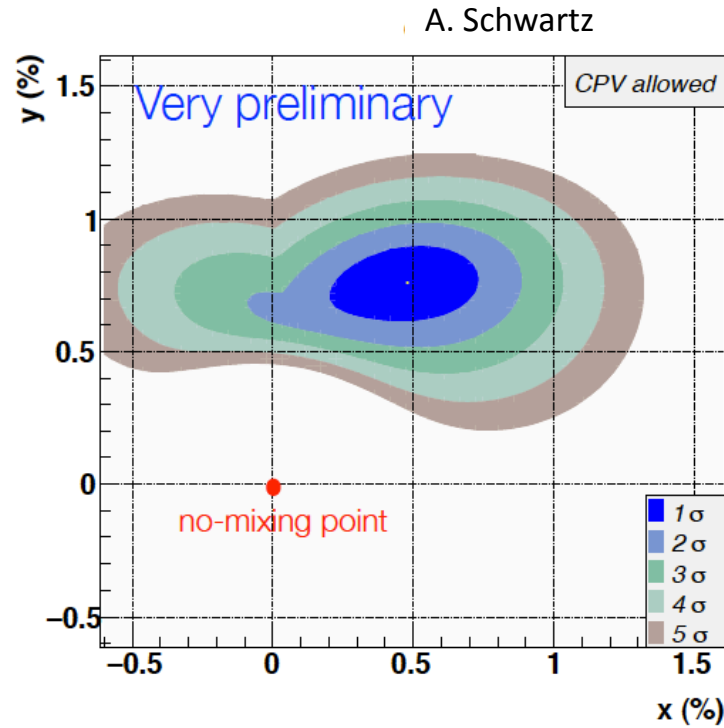
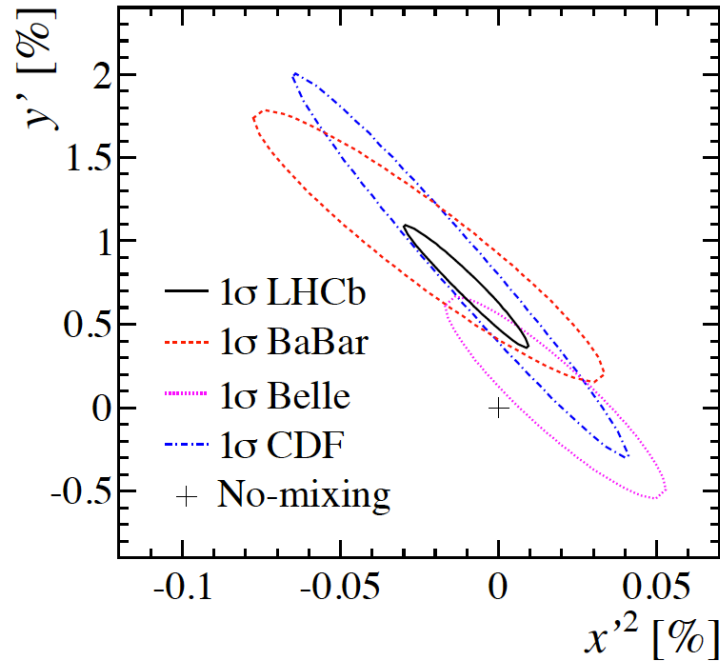




$x = (0.63 \pm 0.19)\%$
 $y = (0.73 \pm 0.11)\%$

Experiment	R_D (10^{-3})	y' (10^{-3})	x'^2 (10^{-4})
BaBar	3.03 ± 0.19	9.7 ± 5.4	-2.2 ± 3.7
Belle	3.64 ± 0.17	$0.6^{+4.0}_{-3.9}$	$1.8^{+2.1}_{-2.3}$
CDF	3.04 ± 0.55	8.5 ± 7.6	-1.2 ± 3.5

BaBar: Phys. Rev. Lett. 98 (2007) 211802
 Belle: Phys. Rev. Lett. 96 (2006) 151801
 CDF: Phys. Rev. Lett. 100 (2008) 121802



$$x = (0.63 \pm 0.19)\%$$

$$y = (0.73 \pm 0.11)\%$$



$$x = (0.48 \pm 0.14)\%$$

$$y = (0.76 \pm 0.10)\%$$

Experiment	R_D (10^{-3})	y' (10^{-3})	x'^2 (10^{-4})
LHCb	3.52 ± 0.15	7.2 ± 2.4	-0.9 ± 1.3
BaBar	3.03 ± 0.19	9.7 ± 5.4	-2.2 ± 3.7
Belle	3.64 ± 0.17	$0.6^{+4.0}_{-3.9}$	$1.8^{+2.1}_{-2.3}$
CDF	3.04 ± 0.55	8.5 ± 7.6	-1.2 ± 3.5

BaBar: [Phys. Rev. Lett. 98 \(2007\) 211802](#)
 Belle: [Phys. Rev. Lett. 96 \(2006\) 151801](#)
 CDF: [Phys. Rev. Lett. 100 \(2008\) 121802](#)

Violazione di CP integrata nel tempo:

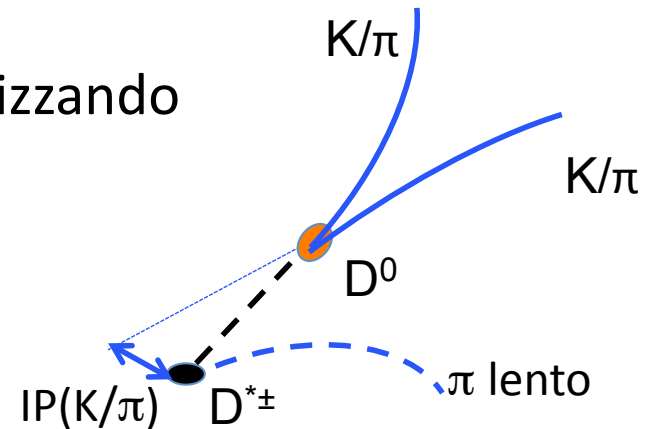
$$\Delta A_{CP} = A_{CP}(D^0 \rightarrow K^+ K^-) - A_{CP}(D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-)$$

- Ricerca della violazione di CP come asimmetria tra le ampiezze di decadimento

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

- Lo stato di sapore del D^0 si determina utilizzando i decadimenti $D^{*\pm} \rightarrow D^0(f)\pi$

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



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

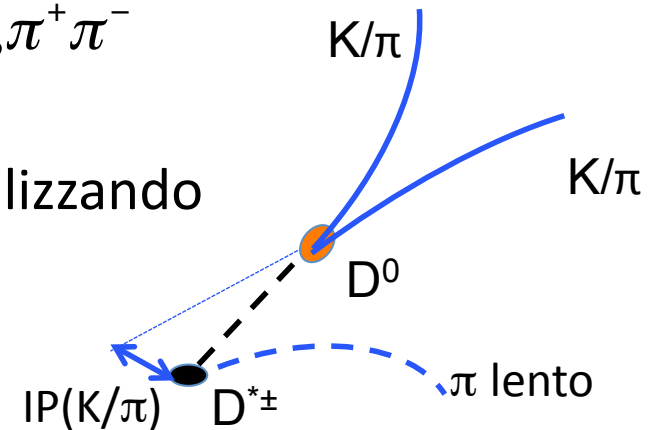
Asimmetria di CP

- Ricerca di violazione di CP come asimmetria tra le ampiezze di decadimento

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

- Lo stato di sapore del D^0 si determina utilizzando i decadimenti $D^* \rightarrow D^0(f)\pi$

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



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

Asimmetria di CP

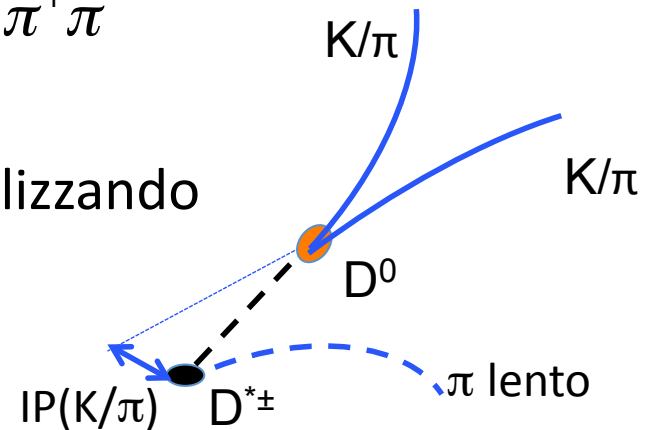
Asimmetria di rivelazione dello stato finale.
Nulla per definizione per stati finali auto-coniugati di carica ($\pi^+\pi^-, K^+K^-$)

- Ricerca di violazione di CP come asimmetria tra le ampiezze di decadimento

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

- Lo stato di sapore del D^0 si determina utilizzando i decadimenti $D^* \rightarrow D^0(f)\pi$

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



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

Asimmetria di CP

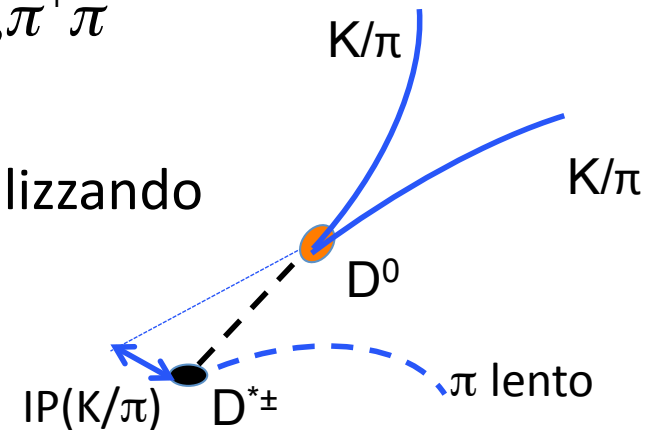
Asimmetria di
rivelazione del π_s

- Ricerca di violazione di CP come asimmetria tra le ampiezze di decadimento

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

- Lo stato di sapore del D^0 si determina utilizzando i decadimenti $D^* \rightarrow D^0(f)\pi$

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



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

Asimmetria di CP

Asimmetria di rivelazione del π_s

Asimmetria di produzione da considerare nel caso di collisionatori p-p

- La differenza tra le asimmetrie è una quantità molto robusta da un punto di vista sperimentale:

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

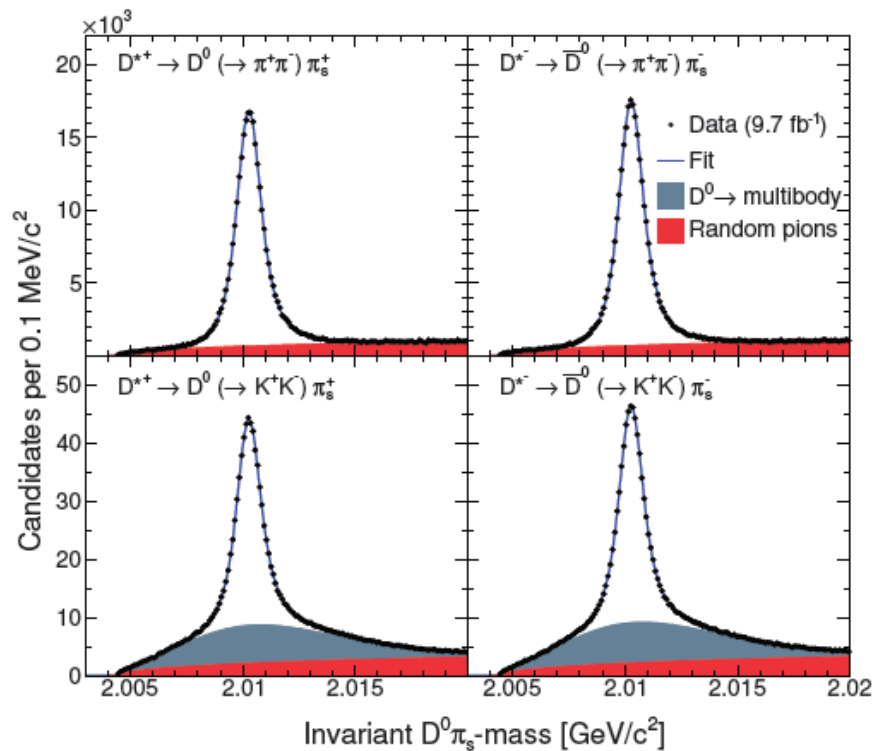
- Le asimmetrie di rivelazione del pione lento e di produzione si cancellano nella differenza

CDF: 9.7 fb^{-1} @ $\sqrt{s} = 1.96 \text{ TeV}$

1.2M $D^* \rightarrow D^0(KK)\pi$

550K $D^* \rightarrow D^0(\pi\pi)\pi$

$$\Delta A_{CP} = (-0.62 \pm 0.21 \pm 0.10)\%$$



- Risultato precedente [PRD 85 (2012) 012009]:
 - 5.9 fb^{-1} @ $\sqrt{s} = 1.96 \text{ TeV}$
 - Misura individuale delle asimmetrie per i due decadimenti
- $$A_{CP}(\pi^+\pi^-) = [0.22 \pm 0.24(\text{stat}) \pm 0.11(\text{sys})]\%$$
- $$A_{CP}(K^+K^-) = [-0.24 \pm 0.22(\text{stat}) \pm 0.09(\text{sys})]\%$$

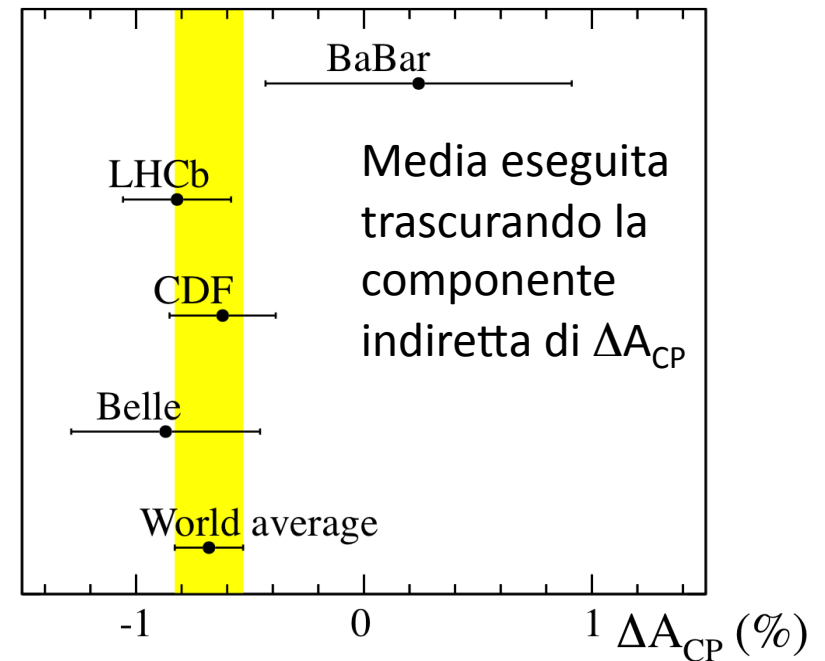
Experiment	ΔA_{CP}
LHCb	$(-0.82 \pm 0.21 \pm 0.11)\%$
CDF	$(-0.62 \pm 0.21 \pm 0.10)\%$
Belle	$(-0.87 \pm 0.41 \pm 0.06)\%$
BaBar	$(+0.24 \pm 0.62 \pm 0.26)\%$

BaBar: Phys. Rev. Lett. 100 (2008)

Belle: arXiv:1212.5320

CDF: Phys. Rev. Lett. 109 (2012)

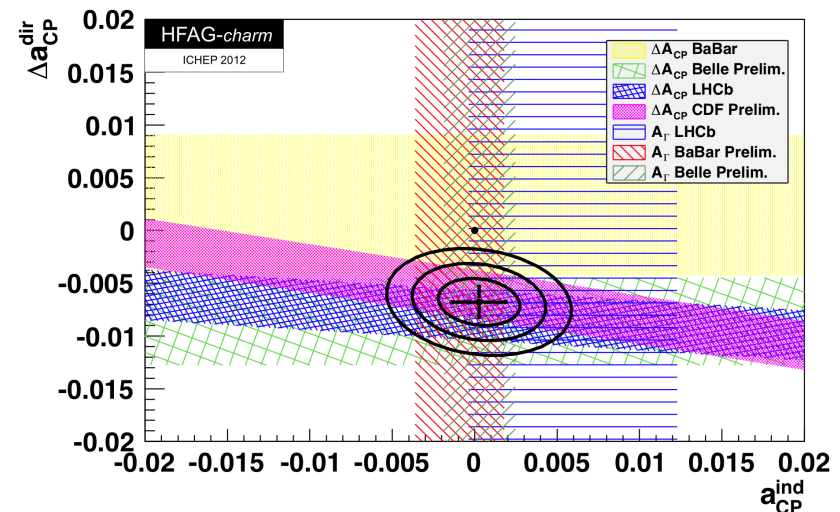
LHCb: Phys. Rev. Lett. 108 (2012)



$$a_{CP}^{ind} = (0.027 \pm 0.163)\%$$

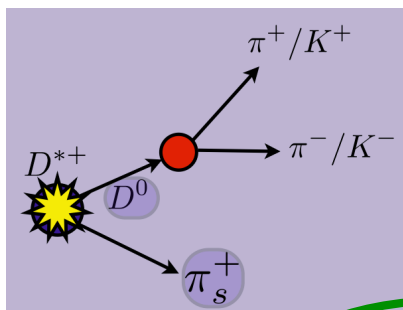
$$\Delta a_{CP}^{dir} = (-0.678 \pm 0.147)\%$$

Evidenza di violazione di CP
diretta a 4.6σ



- Due misure indipendenti di ΔA_{CP} :

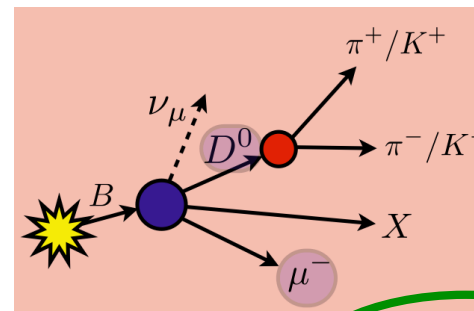
- $D^* \rightarrow D^0(f)\pi_s$
(LHCb-CONF-2013-003):
 - $\mathcal{L} = 1 \text{ fb}^{-1}$ @ $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$



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

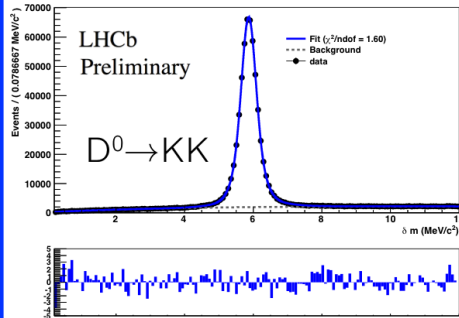
- Sapore del D^0 ottenuto dalla carica del π lento da D^*
- Asimmetria di rivelazione del π lento
- Asimmetria di produzione del D^*

- $B \rightarrow D^0(f)\mu\nu X$
(arXiv:1303.2614):
 - $\mathcal{L} = 1 \text{ fb}^{-1}$ @ $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$

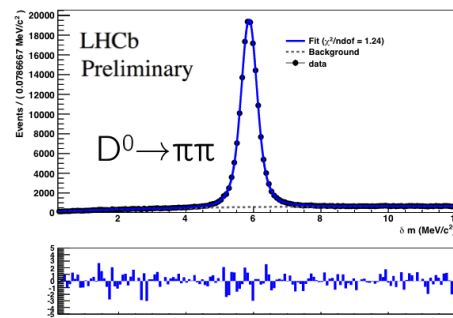


$$A_{raw}(f) = A_{CP}(f) + A_D(\mu) + A_P(B)$$

- Sapore del D^0 ottenuto dalla carica del μ da B
- B ricostruito parzialmente
- Asimmetria di produzione del B
- Asimmetria di rivelazione del μ



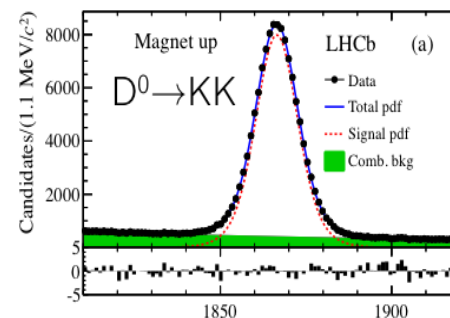
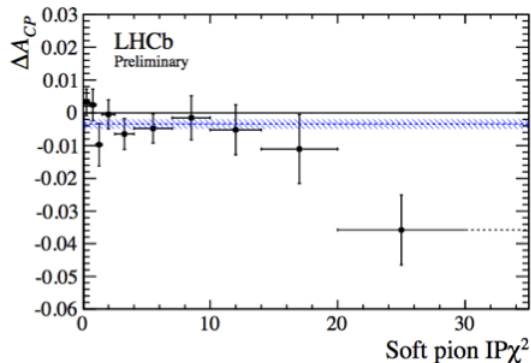
2.2M $D^0 \rightarrow KK$



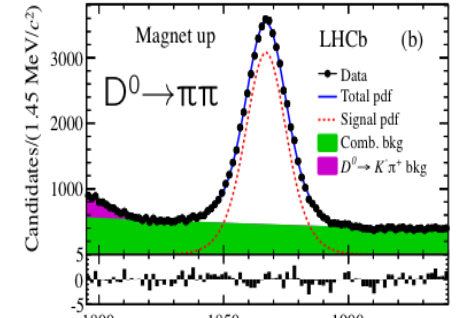
0.7M $D^0 \rightarrow \pi\pi$

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

- Sistemático dominante 0.08%:
 - Dipendenza di ΔA_{CP} da $IP\chi^2$ del pione lento



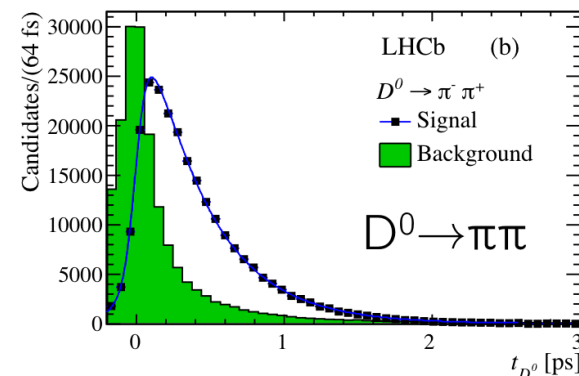
559K $D^0 \rightarrow KK$



222K $D^0 \rightarrow \pi\pi$

$$\Delta A_{CP} = (0.49 \pm 0.30 \text{ (stat)} \pm 0.14 \text{ (syst)})\%$$

- Sistemático dominante 0.11%:
 - Fondo nel $D^0 \rightarrow \pi\pi$ a brevi tempi di decadimento del D^0



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

- Controlli sulla stabilità di ΔA_{CP} :
 - Dipendenza dal periodo di presa dati
 - Dipendenza da varie quantità ricostruite:
 - p_T del D^0
 - η del D^0
 - p del D^0
 - p_T del π lento
 - Molte altre...
 - Analisi eseguita su campioni Monte Carlo di elevata statistica
 - La differenza rispetto al risultato precedente è stata studiata nel dettaglio

$$\Delta A_{CP} = (0.49 \pm 0.30 \text{ (stat)} \pm 0.14 \text{ (syst)})\% .$$

- Controlli sulla stabilità di ΔA_{CP} :
 - Dipendenza dal periodo di presa dati
 - Dipendenza da varie quantità ricostruite
 - Tempo di decadimento del D^0
 - Distanza di volo del B
 - Massa ricostruita $D^0\text{-}\mu$
 - Angolo tra i prodotti del D^0 e il μ
 - Molte altre...
 - Stimata la probabilità di associare un muone casuale \rightarrow effetto trascurabile

- Il valore ottenuto nell'analisi dei decadimenti $D^* \rightarrow D^0(f)\pi$ è più vicino a zero rispetto al risultato precedente

$$\Delta A_{CP} = (-0.82 \pm 0.21 \pm 0.11)\% \xrightarrow{\text{0.6/fb}} \Delta A_{CP} = (-0.34 \pm 0.15 \pm 0.10)\% \xrightarrow{\text{1/fb}}$$

- Differenze:
 - Aggiunti 0.4/fb
 - Nuova calibrazione del rivelatore (identificazione delle particelle e allineamento)
 - Nuovo metodo di calcolo della massa invariante
 - D^* vincolato al vertice primario \rightarrow miglior risoluzione in massa invariante

- Nuove calibrazioni:
 - Persi 15% (KK) e 14% ($\pi\pi$)
 - Aggiunti 17% (KK) e 34% ($\pi\pi$)
 - Campione comune ($\sim 85\%$):
 - $\Delta A_{CP} = (-0.80 \pm 0.23)\% \rightarrow \Delta A_{CP} = (-0.78 \pm 0.23)\%$
 - Campione comune + eventi guadagnati:
 - $\Delta A_{CP} = (-0.55 \pm 0.21)\%$
 - Tutti i sottocampioni risultano statisticamente compatibili tra loro

- Nuovi 0.4/fb:
 - $\Delta A_{CP} = (-0.28 \pm 0.26)\%$
- Risultato sul campione completo (1/fb):
 - $\Delta A_{CP} = (-0.45 \pm 0.17)\%$
- Vincolando la direzione del D^* verso il vertice primario:
 - **Variazione di $\Delta A_{CP} \sim 0.11 \%$**
 - Attesa essere **0.05%** → studiata tramite pseudo-esperimenti Monte Carlo

La differenza rispetto al risultato precedente è ben compresa e riconducibile ad una fluttuazione statistica

- $D^* \rightarrow D^0(f)\pi_s$ (LHCb-CONF-2013-003):
 - $\mathcal{L} = 1 \text{ fb}^{-1}$ @ $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$

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

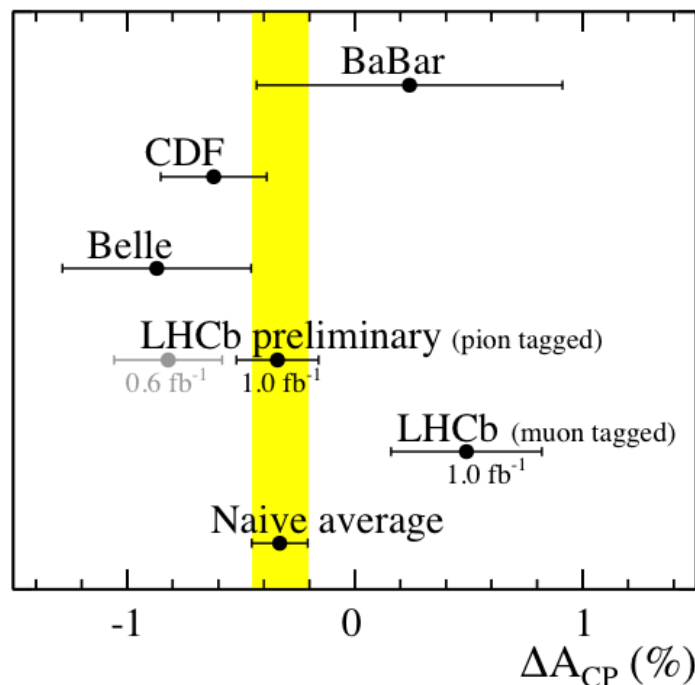
- $B \rightarrow D^0(f)\mu\nu X$ (arXiv:1303.2614):
 - $\mathcal{L} = 1 \text{ fb}^{-1}$ @ $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$

$$\Delta A_{CP} = (0.49 \pm 0.30 \text{ (stat)} \pm 0.14 \text{ (syst)})\% .$$

- Le due misure differiscono di 2.2σ :
 - I due campioni sono totalmente indipendenti

Media LHCb

$$\Delta A_{CP} = (-0.15 \pm 0.16)\%$$



- Nuovo stato sperimentale:

$$\Delta A_{CP} = (-0.33 \pm 0.12)\%$$

(trascurando la componente indiretta di violazione di CP)

Conclusioni

- Le macchine adroniche hanno dimostrato di poter realizzare un programma di fisica del charm di grande interesse
 - LHCb ha recentemente osservato l'oscillazione del D^0 con una significatività di circa 10σ
 - LHCb e CDF molto attivi nella ricerca di violazione di CP nel charm
 - I recenti aggiornamenti ($\mathcal{L}=1/\text{fb}$) di LHCb riducono la differenza da zero di ΔA_{CP} , da $4.6\sigma \rightarrow \sim 2.8\sigma$
 - ancora altri $2/\text{fb}$ da analizzare
 - Ricerca di violazione di CP molto attiva anche nei decadimenti del D^0 a molti corpi
 - $D^0 \rightarrow K_S \pi \pi$ (CDF), $D^0 \rightarrow \pi \pi \pi \pi$ (LHCb), $D^+ \rightarrow \Phi \pi^+$ (LHCb),
 $D_S^+ \rightarrow K_S \pi^+$ (LHCb)...
 - Presto aggiornamenti da LHCb sulla ricerca di violazione di CP indiretta
 - A_Γ & γ_{CP} ...

Riserve

- Diversi modi di osservare la violazione di CP
- Violazione di CP diretta:
 - Differenza nelle ampiezze di decadimento tra processi coniugati di carica
 - Nasce dall'interferenza tra i diagrammi ad albero e i diagrammi a pinguino
 - Nel modello standard è attesa essere piccola:
 - Trascurabile nei decadimenti Cabibbo favoriti \rightarrow dominati dai diagrammi ad albero
 - Nei decadimenti Cabibbo soppressi attesa $O(10^{-3} - 10^{-4})$
- Violazione di CP indiretta:
 - Nell'oscillazione: ratei differenti per i processi $D^0 \rightarrow \bar{D}^0$ e $\bar{D}^0 \rightarrow D^0$
 - Nell'interferenza tra l'oscillazione e il decadimento
 - Anche in questo caso attesa piccola $\rightarrow O(10^{-3})$

Diagramma ad albero

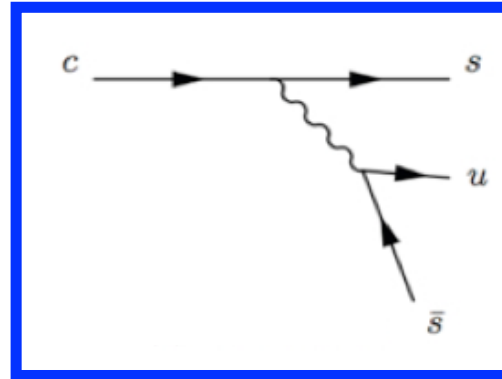
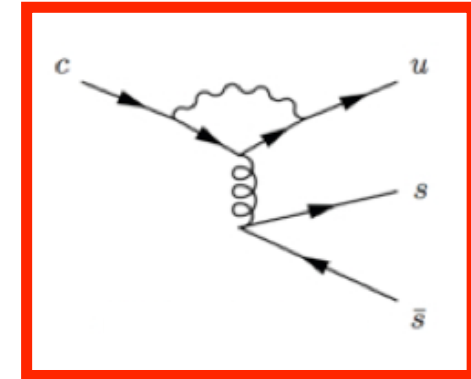
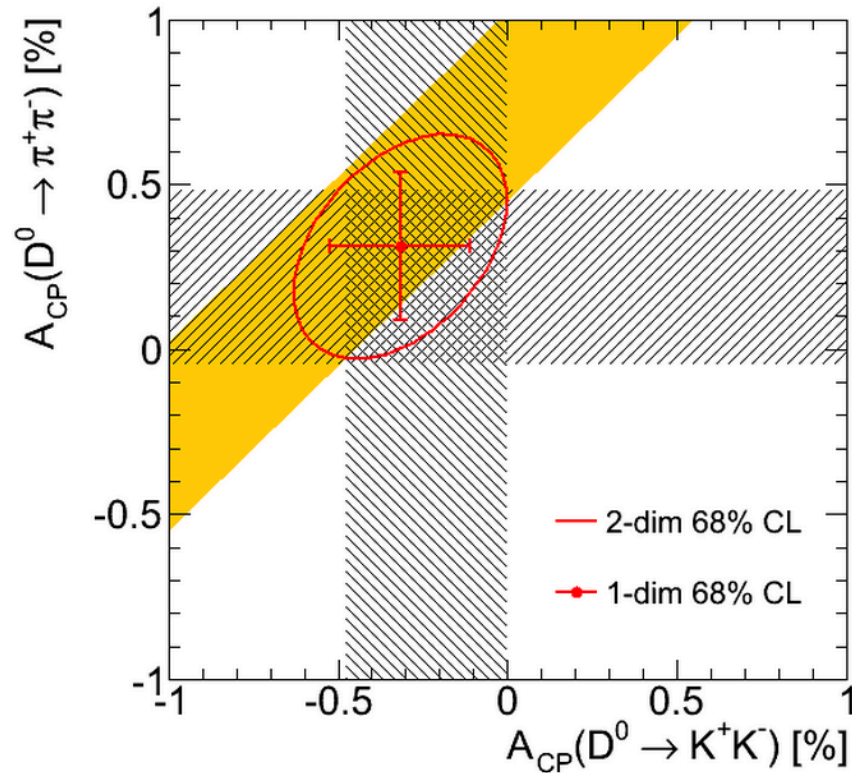


Diagramma a pinguino



CDF: 9.7 fb^{-1} @ $\sqrt{s} = 1.96 \text{ TeV}$



$$A_{CP}(D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-) = (+0.31 \pm 0.22)\%$$

$$A_{CP}(D^0 \rightarrow K^+ K^-) = (-0.32 \pm 0.21)\%$$

Miglioramento di circa
15% sulla precisione di
 $A_{CP}(\pi\pi)$ e $A_{CP}(KK)$ rispetto
alla misura con 5.9/fb

Table 2.1: Sensitivities of the LHCb upgrade to key observables. For each observable the current sensitivity is compared to that expected after LHCb has accumulated 5 fb^{-1} and that which will be achieved with 50 fb^{-1} by the upgraded experiment, all assuming $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$. (Note that at the upgraded experiment the yield/ fb^{-1} in hadronic B and D decays will be higher on account of the software trigger.)

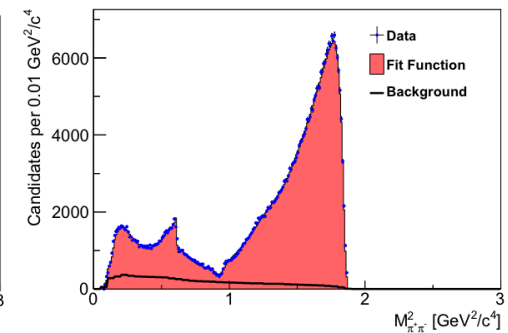
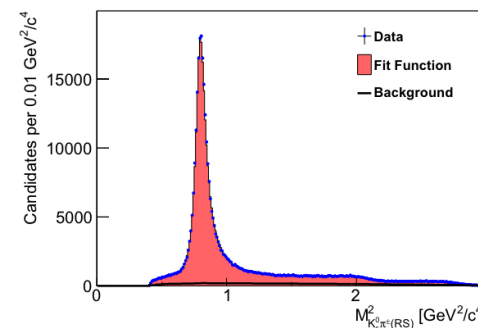
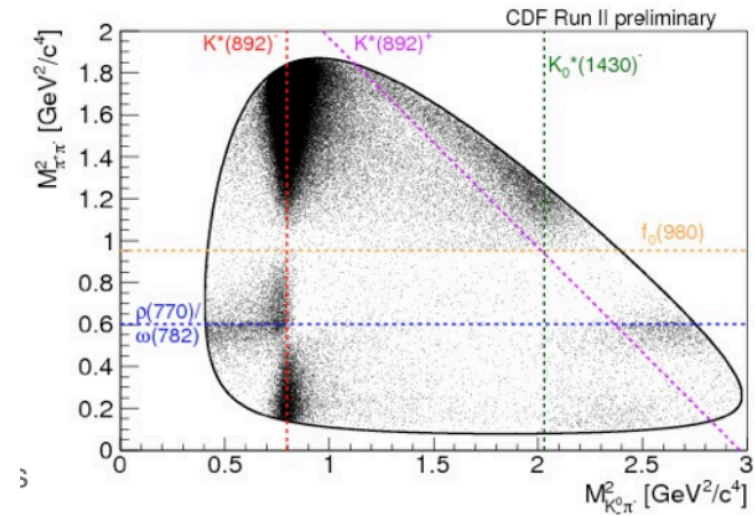
Type	Observable	Current precision	LHCb (5 fb^{-1})	Upgrade (50 fb^{-1})	Theory uncertainty
Gluonic penguin	$S(B_s \rightarrow \phi\phi)$	-	0.08	0.02	0.02
	$S(B_s \rightarrow K^{*0} K^{*0})$	-	0.07	0.02	< 0.02
	$S(B^0 \rightarrow \phi K_S^0)$	0.17	0.15	0.03	0.02
B_s mixing	$2\beta_s (B_s \rightarrow J/\psi\phi)$	0.35	0.019	0.006	~ 0.003
Right-handed currents	$S(B_s \rightarrow \phi\gamma)$	-	0.07	0.02	< 0.01
	$A^{\Delta\Gamma_s}(B_s \rightarrow \phi\gamma)$	-	0.14	0.03	0.02
E/W penguin	$A_T^{(2)}(B^0 \rightarrow K^{*0}\mu^+\mu^-)$	-	0.14	0.04	0.05
	$s_0 A_{FB}(B^0 \rightarrow K^{*0}\mu^+\mu^-)$	-	4%	1%	7%
Higgs penguin	$\mathcal{B}(B_s \rightarrow \mu^+\mu^-)$	-	30%	8%	$< 10\%$
	$\frac{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow \mu^+\mu^-)}{\mathcal{B}(B_s \rightarrow \mu^+\mu^-)}$	-	-	$\sim 35\%$	$\sim 5\%$
Unitarity triangle angles	$\gamma (B \rightarrow D^{(*)}K^{(*)})$	$\sim 20^\circ$	$\sim 4^\circ$	0.9°	negligible
	$\gamma (B_s \rightarrow D_s K)$	-	$\sim 7^\circ$	1.5°	negligible
	$\beta (B^0 \rightarrow J/\psi K^0)$	1°	0.5°	0.2°	negligible
Charm CPV	A_Γ	2.5×10^{-3}	2×10^{-4}	4×10^{-5}	-
	$A_{CP}^{dir}(KK) - A_{CP}^{dir}(\pi\pi)$	4.3×10^{-3}	4×10^{-4}	8×10^{-5}	-

- CDF [PRD 86 (2012) 032007]:
 - $D^{*+} \rightarrow D^0 (K_S \pi^+ \pi^-) \pi$ per definire il sapore del D^0
 - 350k D^0 ; 6fb^{-1} @ $\sqrt{s} = 1.96$ TeV
 - Due metodi di misura:
 - Utilizzo del modello isobaro per descrivere i contributi delle varie risonanze sul plot di Dalitz
 - Analisi bin-per-bin dei plot di Dalitz per i due stati coniugati di carica
 - Controllo delle variazioni di efficienza sul piano di Dalitz

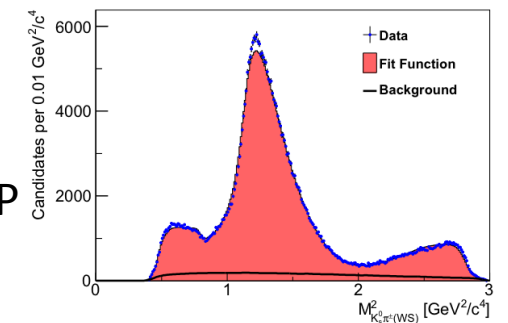
Asimmetria integrata

$$A_{CP}(D^0 \rightarrow K_S \pi^+ \pi^-) = (-0.05 \pm 0.57 \text{ (stat.)} \pm 0.54 \text{ (syst.)})\%$$

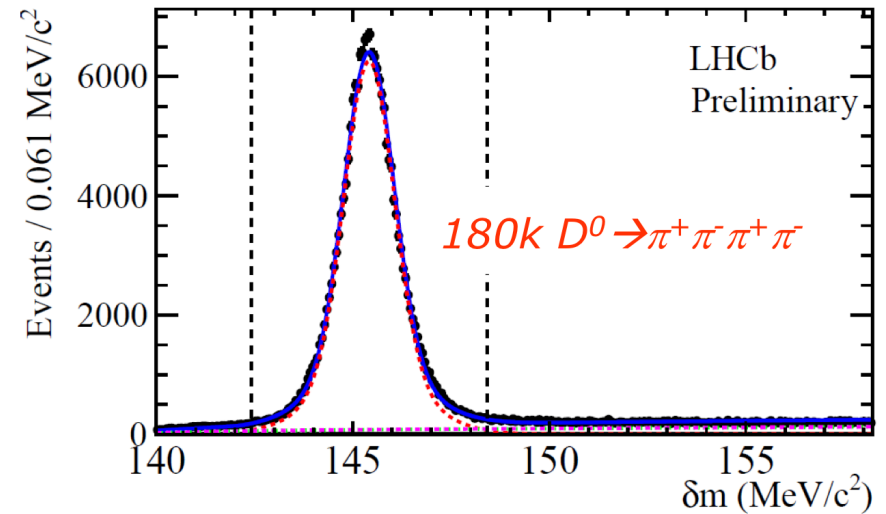
Resonance	\mathcal{A}_{FF} (CDF) [%]	\mathcal{A}_{FF} (CLEO) [%]
$K^{*+}(892)$	$0.36 \pm 0.33 \pm 0.40$	$2.5 \pm 1.9^{+1.5+2.9}_{-0.7-0.3}$
$K_0^{*+}(1430)$	$4.0 \pm 2.4 \pm 3.8$	$-0.2 \pm 11.3^{+8.6+1.9}_{-4.9-1.0}$
$K_2^{*+}(1430)$	$2.9 \pm 4.0 \pm 4.1$	$-7 \pm 25^{+8+10}_{-26-1}$
$K^{*+}(1410)$	$-2.3 \pm 5.7 \pm 6.4$...
$\rho(770)$	$-0.05 \pm 0.50 \pm 0.08$	$3.1 \pm 3.8^{+2.7+0.4}_{-1.8-1.2}$
$\omega(782)$	$-12.6 \pm 6.0 \pm 2.6$	$-26 \pm 24^{+22+2}_{-2-4}$
$f_0(980)$	$-0.4 \pm 2.2 \pm 1.6$	$-4.7 \pm 11.0^{+24.9+0.3}_{-7.4-4.8}$
$f_2(1270)$	$-4.0 \pm 3.4 \pm 3.0$	$34 \pm 51^{+25+21}_{-71-34}$
$f_0(1370)$	$-0.5 \pm 4.6 \pm 7.7$	$18 \pm 10^{+2+13}_{-21-6}$
$\rho(1450)$	$-4.1 \pm 5.2 \pm 8.1$...
$f_0(600)$	$-2.7 \pm 2.7 \pm 3.6$...
σ_2	$-6.8 \pm 7.6 \pm 3.8$...
$K^{*0}(892)$	$1.0 \pm 5.7 \pm 2.1$	$-21 \pm 42^{+17+22}_{-28-4}$
$K_0^{*0}(1430)$	$12 \pm 11 \pm 10$...
$K_2^{*0}(1430)$	$-10 \pm 14 \pm 29$...
$K^{*0}(1680)$...	$-36 \pm 19^{+9+5}_{-35-1}$



- Significativo miglioramento rispetto ai precedenti risultati di CLEO [PRD 70 (2004) 091101]
- Nessuna evidenza di violazione di CP

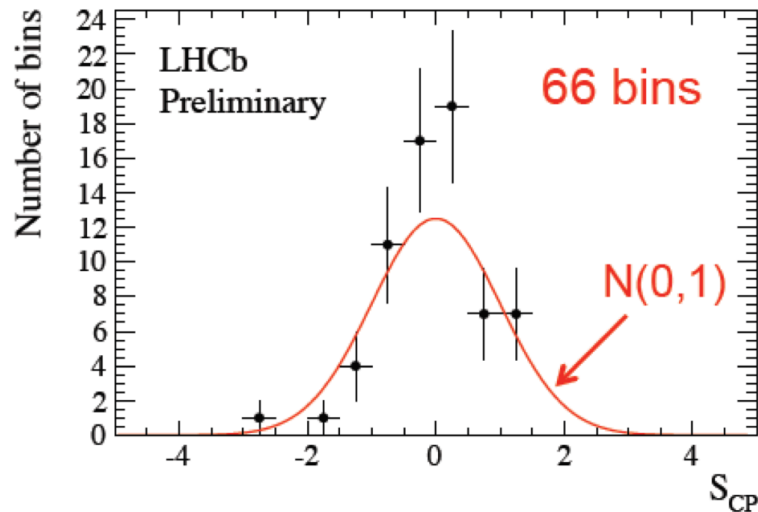


- LHCb [LHCb-CONF-2012-019]:
 - Selezione basata su NN
 - 1.3 M di $D^0 \rightarrow K^+ \pi^- \pi^+ \pi^-$ come canale di controllo
 - 4 corpi: misurata l'asimmetria di CP in bin del plot di Dalitz a 5 dimensioni
 - 3 differenti definizioni dei bins



1 fb-1, LHCb-CONF-2012-019

Bins	p-values (%)
15	97.1
29	95.6
66	99.8



Nessuna evidenza di violazione di CP

- LHCb [arXiv:1303.4906] sottomesso a JHEP:
 - 1fb^{-1} @ $\sqrt{s} = 7\text{ TeV}$

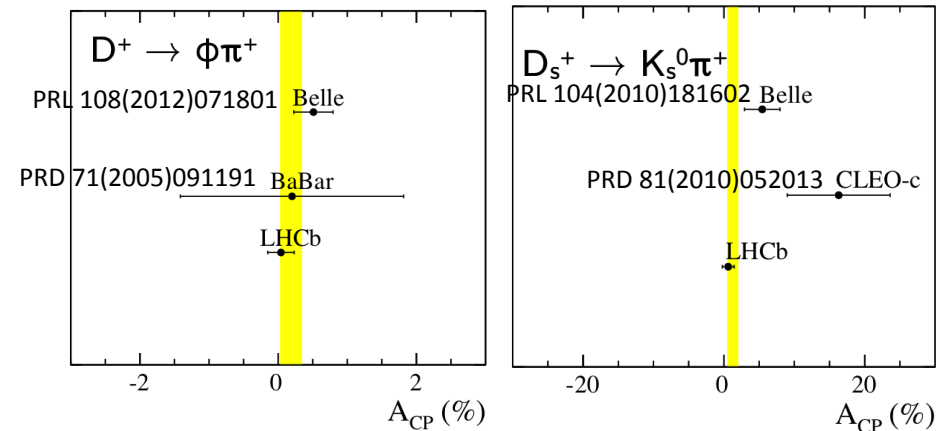
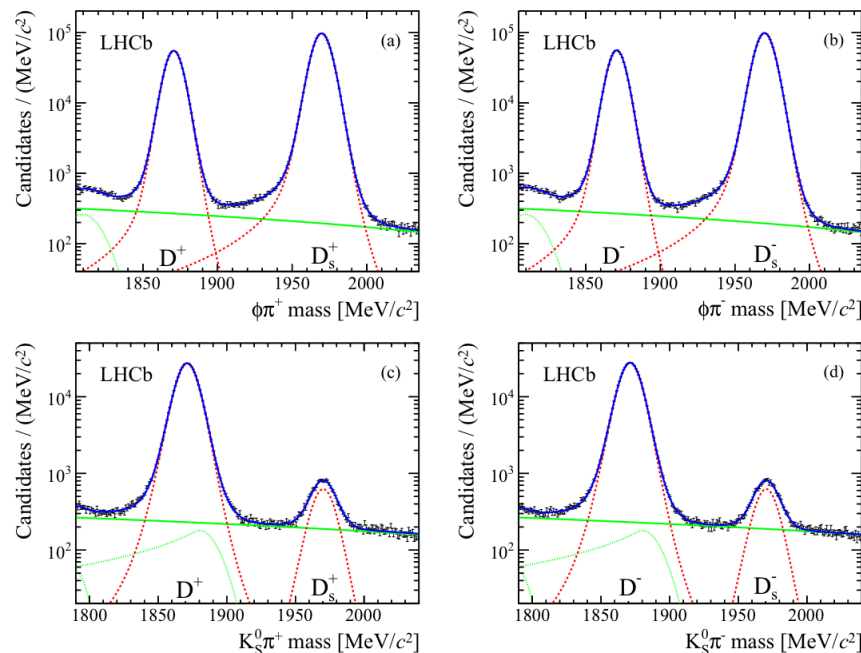
$$A_{CP}(D^+ \rightarrow \phi\pi^+) = A_{\text{raw}}(D^+ \rightarrow \phi\pi^+) - A_{\text{raw}}(D^+ \rightarrow K_S^0\pi^+) - A_{CP}(K^0/\bar{K}^0),$$

$$A_{CP}(D_s^+ \rightarrow K_S^0\pi^+) = A_{\text{raw}}(D_s^+ \rightarrow K_S^0\pi^+) - A_{\text{raw}}(D_s^+ \rightarrow \phi\pi^+) + A_{CP}(K^0/\bar{K}^0),$$

Canale di controllo
per estrarre $A_D(\pi^\pm)$
Violazione di CP attesa trascurabile

Contributo dovuto alla
violazione di CP nel K^0

- 1.6M $D^+ \rightarrow \phi\pi^+$
- 26K $D_s^+ \rightarrow K_S^0\pi^+$
- 3.6M $D^+ \rightarrow K_S^0\pi^+$
- 1.1M $D_s^+ \rightarrow \phi\pi^+$



$$A_{CP}(D^+ \rightarrow \phi\pi^+) = (-0.04 \pm 0.14 \pm 0.13)\%$$

$$A_{CP}(D_s^+ \rightarrow K_S^0\pi^+) = (+0.61 \pm 0.83 \pm 0.13)\%$$

Significativo miglioramento ma
nessuna evidenza di violazione di CP