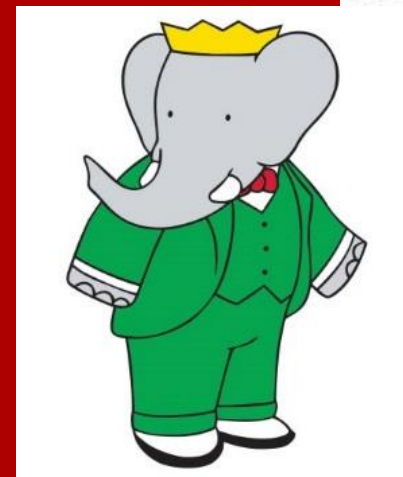


Misura di Asimmetrie di CP  
nei canali  $D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$  e  
 $D^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0$  a BaBar



Alessandro Pilloni

“Sapienza” Università di Roma – INFN sez. Roma 1



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

100° Congresso Nazionale  
Società Italiana di Fisica  
Pisa – 25 Settembre 2014

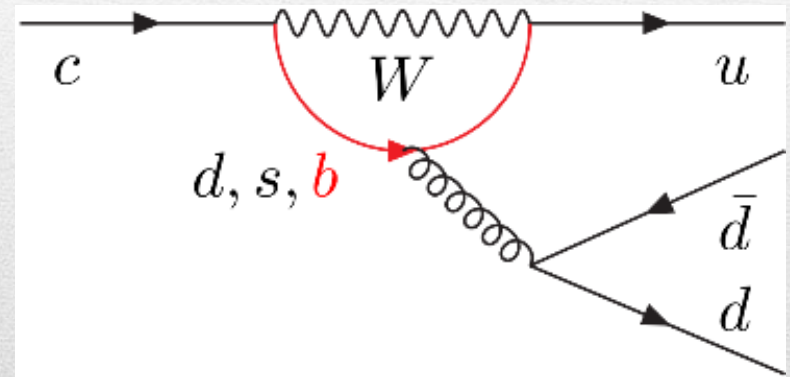
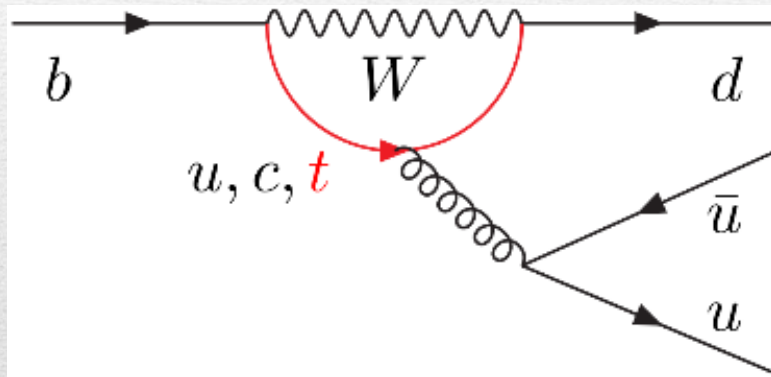


# Asimmetrie di CP nel Modello Standard

Nel Modello Standard l'unica fonte di CPV è la **fase complessa** della matrice CKM

Nel sistema dei  $K$  e  $B$  le misure sono consistenti con le predizioni

**Cosa succede nel settore del Charm?**



$$A_{CP} \sim \frac{\alpha_s}{12\pi} \log \frac{m_t}{m_b} \times \lambda^3$$

$$A_{CP} \sim \frac{\alpha_s}{12\pi} \log \frac{m_b}{m_c} \times \lambda^5$$

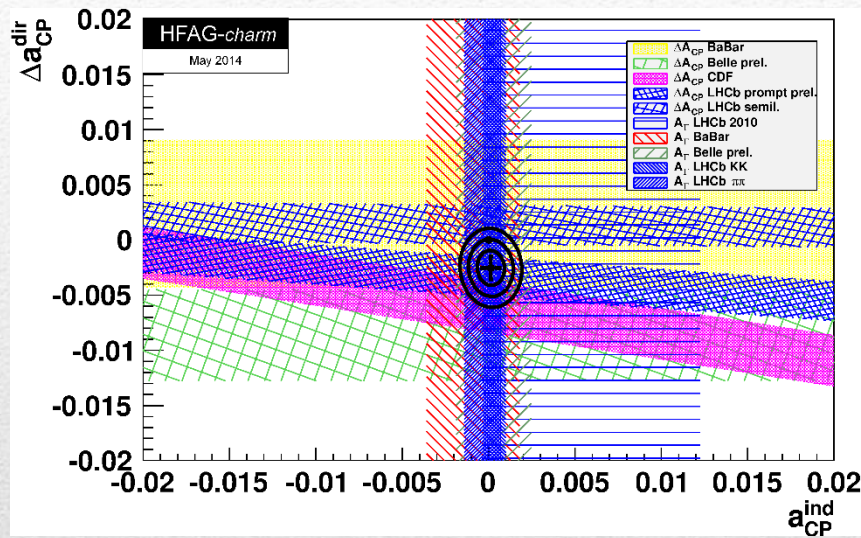
Cancellazioni di tipo GIM e la struttura della matrice CKM rendono  $A_{CP}$  nel charm **ordini di grandezza più piccole** rispetto agli altri settori

Un'eventuale  $A_{CP} \sim O(\%)$  sarebbe dovuta a **Nuova Fisica**



# Asimmetrie nel Charm

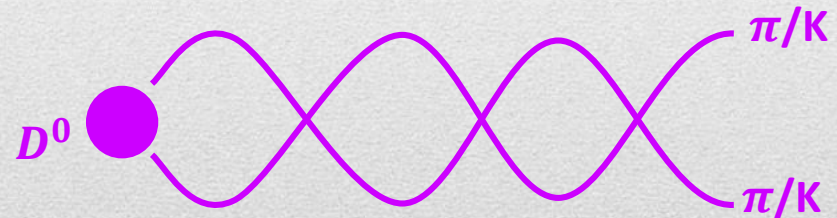
Le misure attuali di  $A_{CP}$  sia diretta che indiretta sono **compatibili con zero**



Nel 2012 la media mondiale riportava

$$\Delta A_{CP}^{dir} = (-0.656 \pm 0.154)\%$$

Domanda: è Nuova Fisica?



Risposta: ...?

Una strada per cercare Nuova Fisica è la misura di segnali non previsti dallo SM (Lepton Flavour Violation, Electric Dipole Moments...)

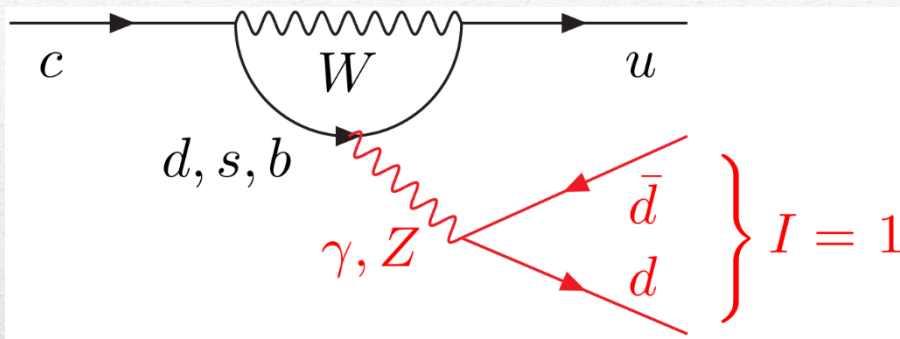
Alcuni lavori mostrarono che **interazioni di stato finale** nel canale  $I = 0$  (parenti della  $\Delta I = \frac{1}{2}$  rule) possono aumentare sensibilmente l'asimmetria

La natura di lunga distanza di queste FSI le rende soggette a **grandi incertezze teoriche**

# Isospin sum rules

Grossman ha proposto di cercare asimmetrie di CP nei decadimenti  
single-Cabibbo-suppressed con stato finale in  $I = 2$

PRD85, 114036 (2012)



$$A_{CP} \sim \frac{\alpha_{em}}{12\pi} \log \frac{m_b}{m_c} \times \lambda^5 \sim 10^{-6}$$

Inoltre, l'interazione tra due pioni in  $I = 2$  è repulsiva, quindi non vi è incremento da FSI

$$|\mathcal{A}(D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0)|^2 - |\mathcal{A}(D^- \rightarrow \pi^- \pi^0)|^2 \neq 0 \rightarrow \text{Nuova Fisica}$$

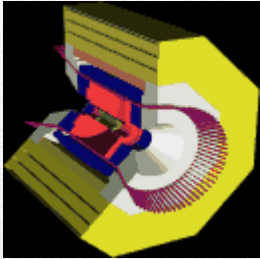
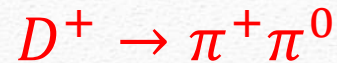
$$\begin{aligned} & |\mathcal{A}(D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-)|^2 - |\mathcal{A}(\bar{D}^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-)|^2 \\ & + |\mathcal{A}(D^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0)|^2 - |\mathcal{A}(\bar{D}^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0)|^2 \\ & - \frac{2}{3} \left( |\mathcal{A}(D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0)|^2 - |\mathcal{A}(D^- \rightarrow \pi^- \pi^0)|^2 \right) = 0 \\ & + \text{un'asimmetria individuale} \end{aligned} \rightarrow \text{Nuova Fisica}$$

Richiesta la misura di  
 $A_{CP}(D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0)$  e  
 $A_{CP}(D^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0)$

$A_{CP}(D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-)$  è  
già ben studiato



# Misure esistenti

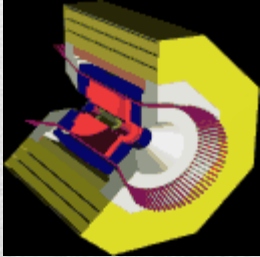
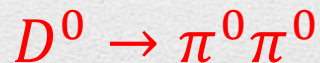


CLEO-c, [PRD81, 052013 \(2010\)](#)

$818 \text{ pb}^{-1}$  @  $\sqrt{s} \sim 3.77 \text{ GeV}$

$2649 \pm 76$  signal yield

$A_{CP} = (2.9 \pm 2.9 \pm 0.3)\%$



CLEO, [PRD63, 071101 \(2001\)](#)

$13.7 \text{ fb}^{-1}$  @  $\sqrt{s} \sim 10.58 \text{ GeV}$

$810 \pm 89$  signal yield

$A_{CP} = (0.1 \pm 4.8)\%$



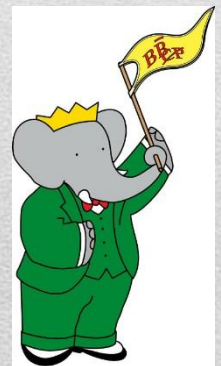
Belle, [PRL112, 211601 \(2014\)](#)

$966 \text{ fb}^{-1}$  @  $\sqrt{s} \sim 10.58 \text{ GeV}$

$34460 \pm 273$  signal yield

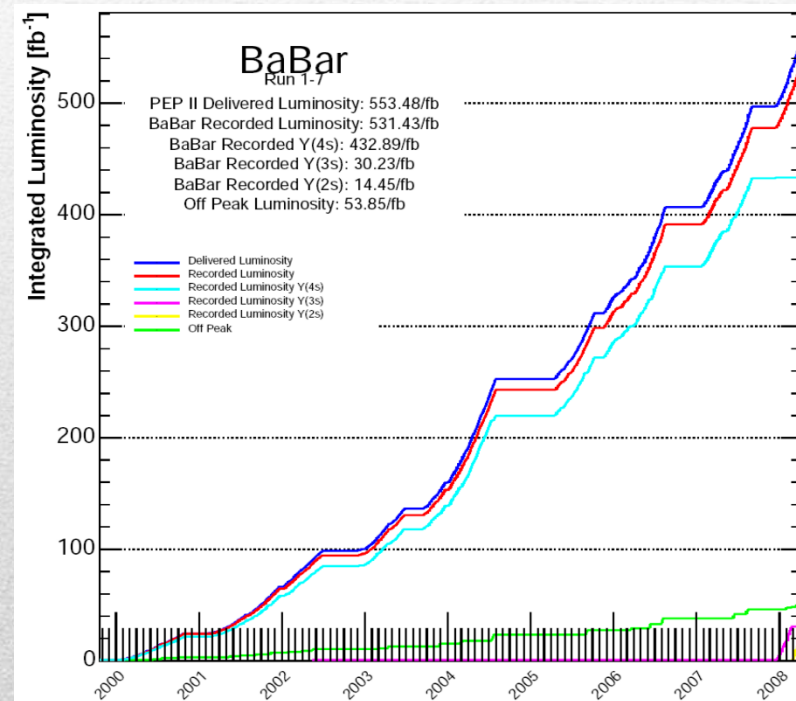
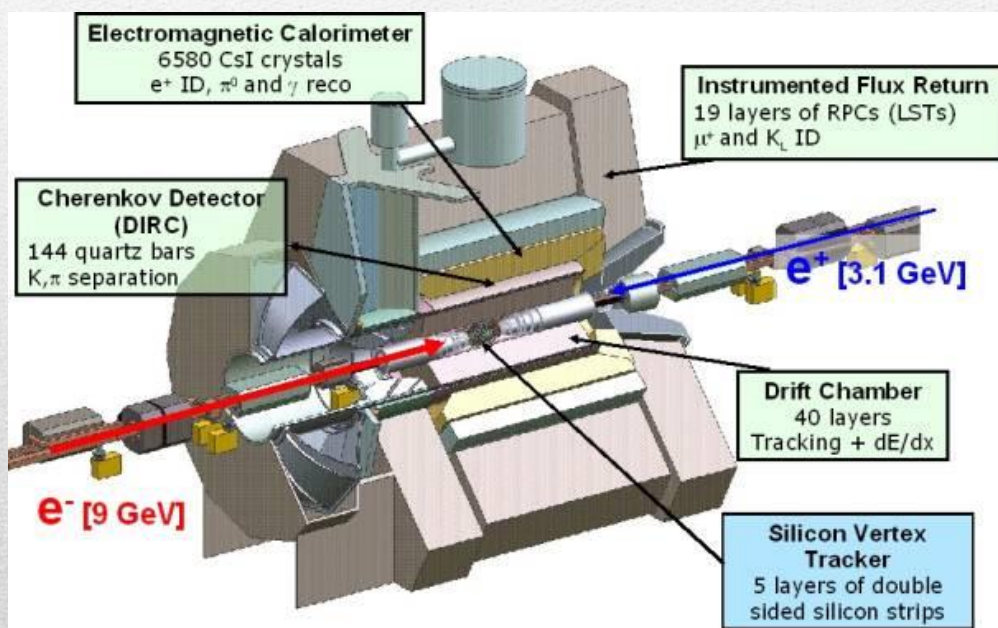
$A_{CP} = (-0.03 \pm 0.64 \pm 0.10)\%$

BaBar può contribuire a migliorare queste misure



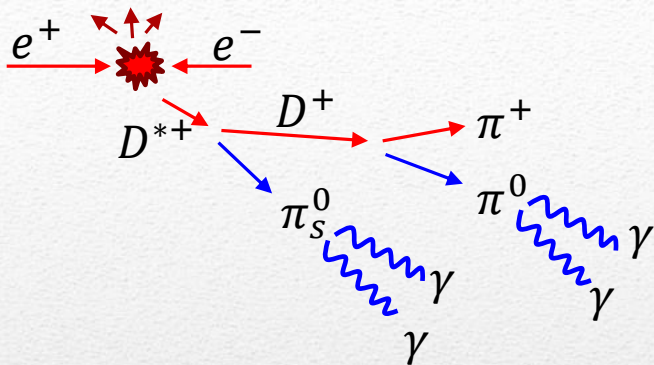
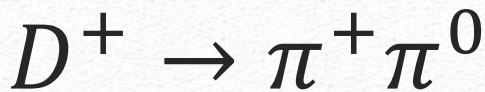
# L'esperimento BaBar

Il rivelatore Babar è situato nel punto di interazione di un **collider asimmetrico  $e^+e^-$**  prevalentemente a un'energia nel CDM  $\sqrt{s} \sim 10.58 \text{ GeV}$

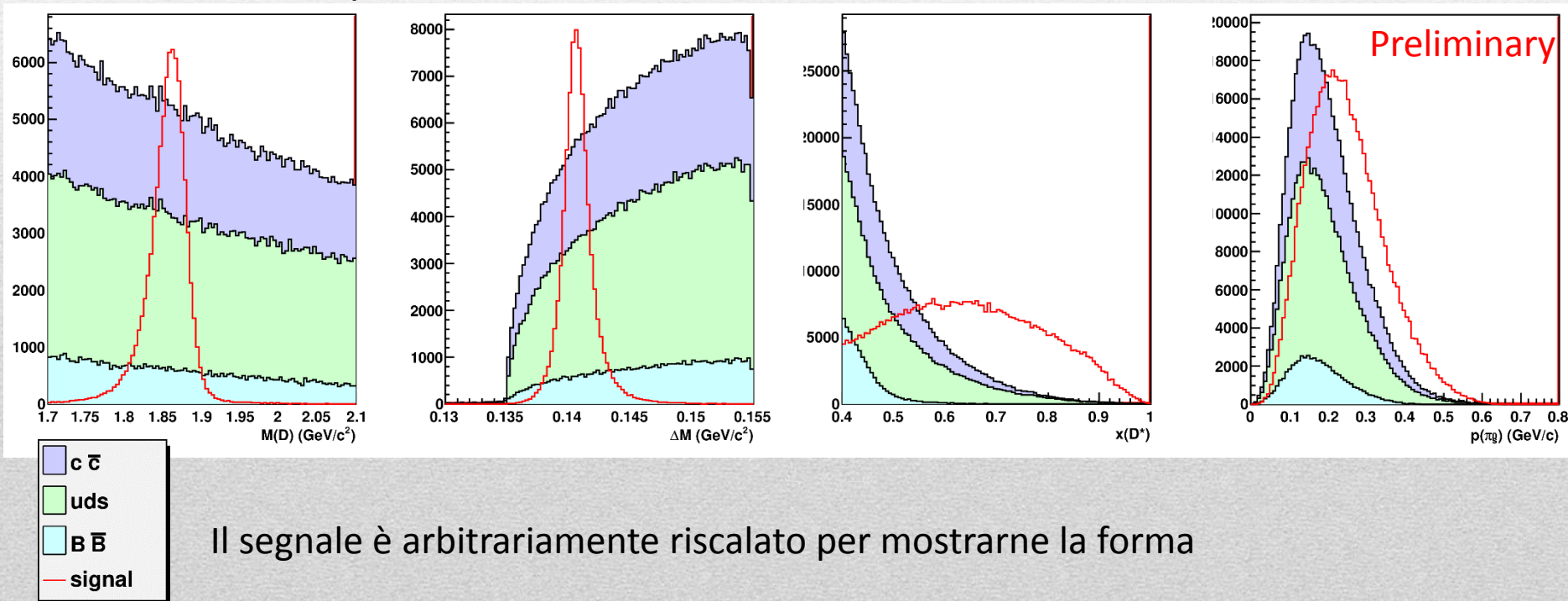


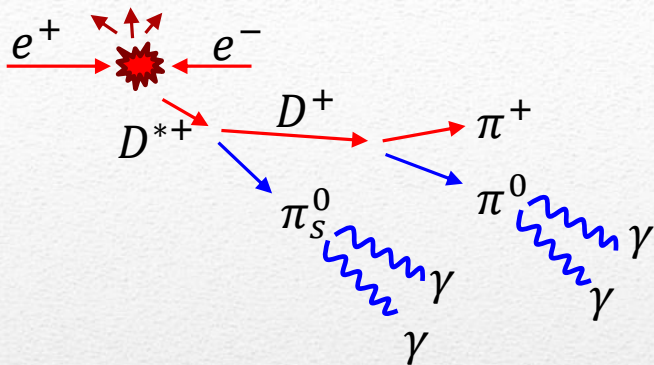
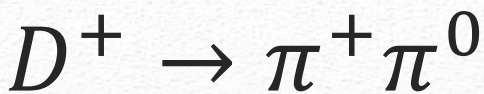
Nel periodo 1999-2008 ha registrato  $\sim 530 \text{ fb}^{-1}$ , corrispondenti a  $680 \times 10^6$  coppie  $c\bar{c}$





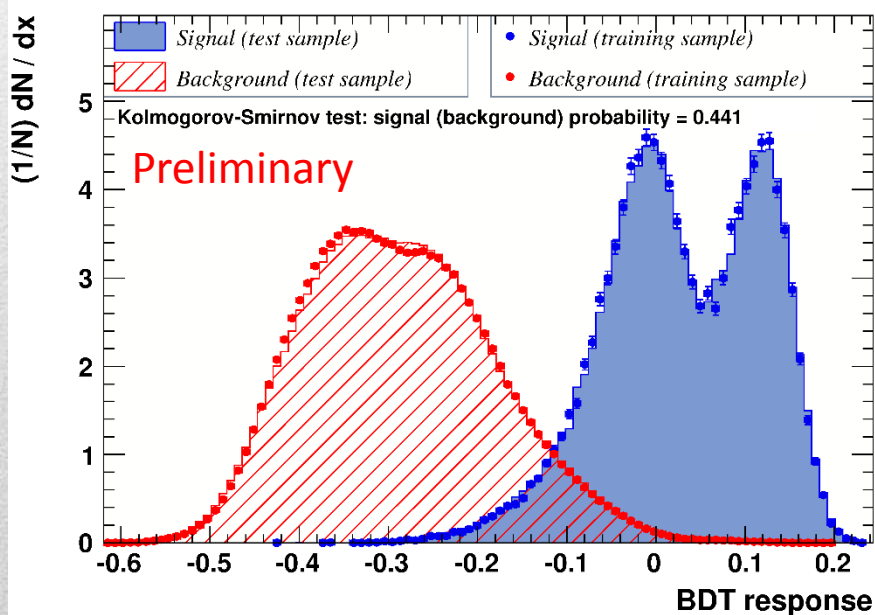
Ricostruiamo la catena a partire da un  $D^{*+}$   
 Con  $518 \text{ fb}^{-1}$  sono previsti  $\sim 120 \times 10^3$  eventi di segnale  
 I dati sono analizzati con tecniche di **analisi multivariata**  
 Boosted Decision Trees effettuano il training su campioni  
 MC di segnale e fondo





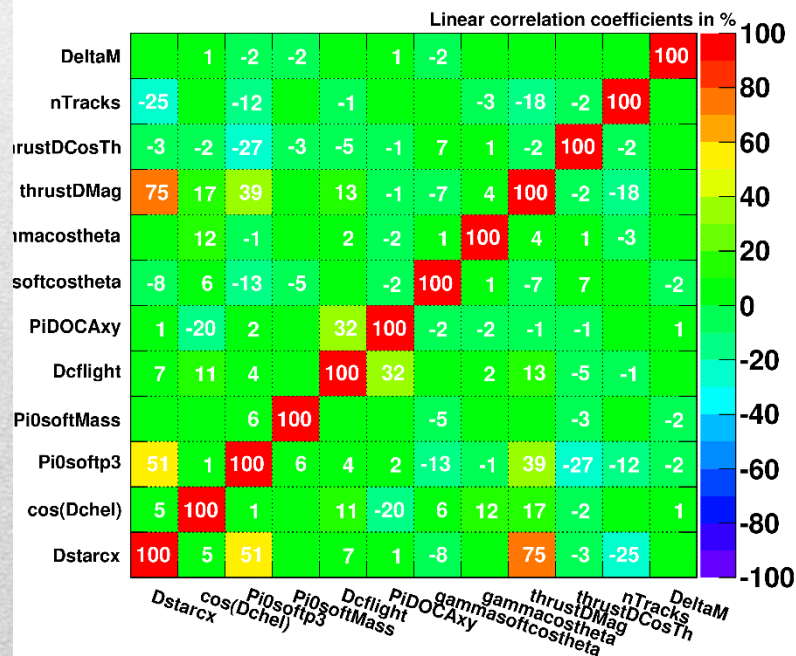
Ricostruiamo la catena a partire da un  $D^{*+}$   
 Con  $518 \text{ fb}^{-1}$  sono previsti  $\sim 120 \times 10^3$  eventi di segnale  
 I dati sono analizzati con tecniche di **analisi multivariata**  
**Boosted Decision Trees** effettuano il training su campioni  
 MC di segnale e fondo

TMVA overtraining check for classifier: BDT

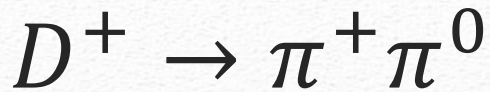


Correlation Matrix (signal)

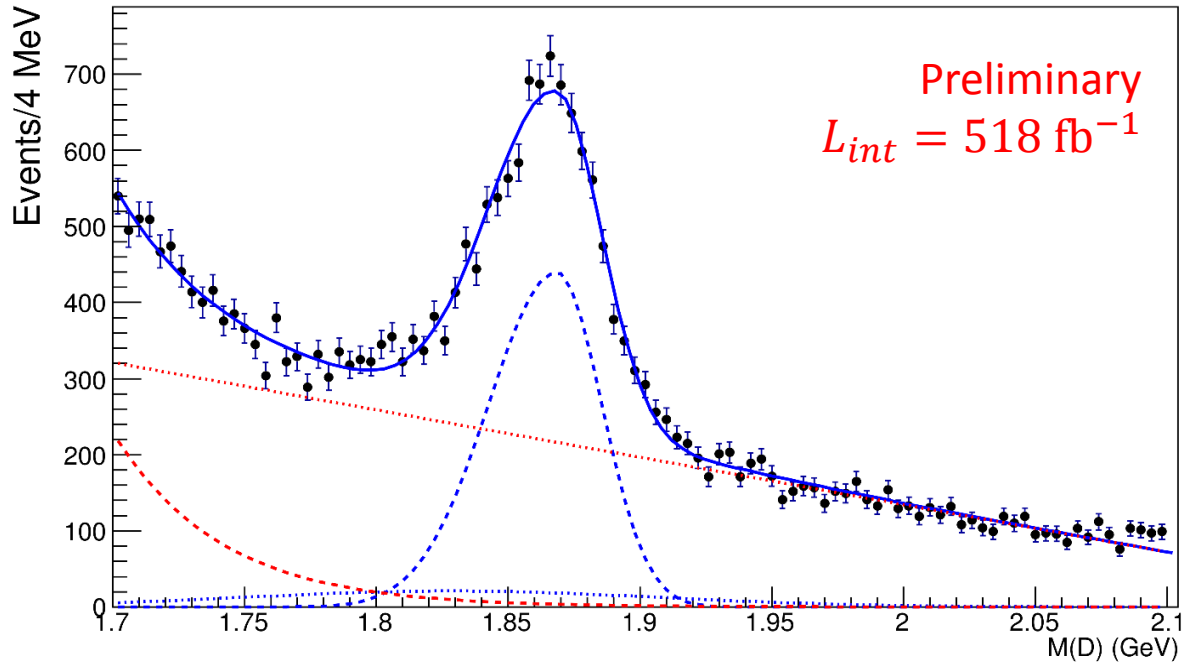
**Preliminary**







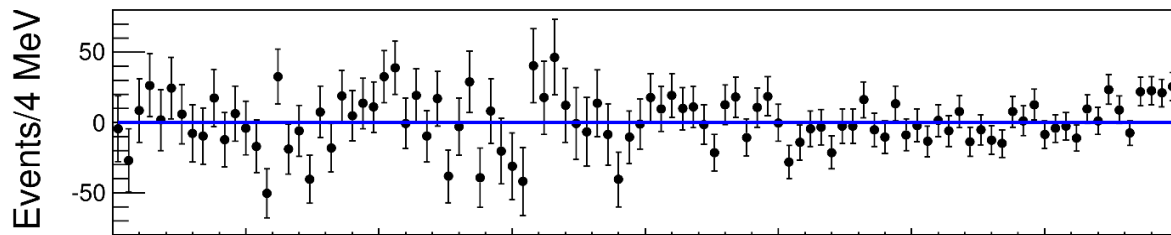
Total PDF (data)



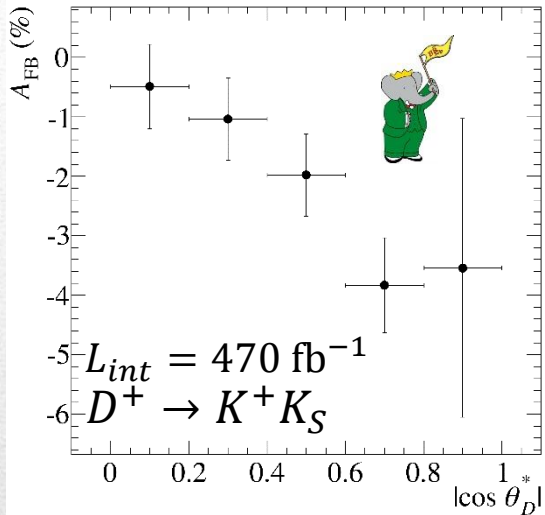
Si taglia sulla variabile BDT in modo da massimizzare la significatività  $\frac{S}{\sqrt{S+B}}$

Un'analisi preliminare mostra uno yield per  $D^\pm$  di

$$N = 6356 \pm 175$$



# Asimmetria Forward-Backward



PRD85, 091107(R) (2012)

Tenendo conto di ciò, la **sensibilità attesa sull'asimmetria**

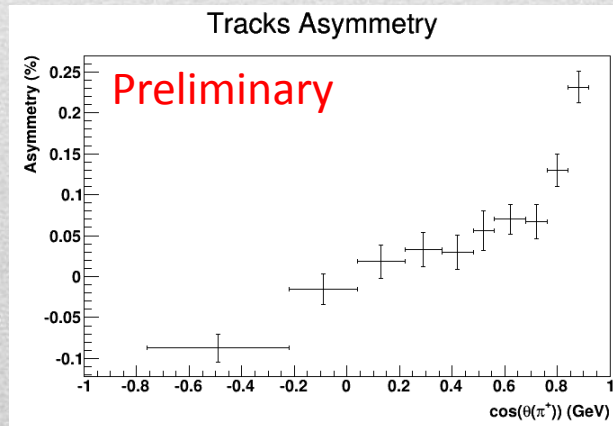
$$A_{CP} = (??? \pm 1.75)\%$$

Siccome la coppia  $c\bar{c}$  è generata dal continuo, va considerata l'asimmetria Forward-Backward dovuta all'interferenza  $\gamma - Z$

$$\Re \left( \begin{array}{c} e^- \\ \quad \quad \quad \gamma \\ e^+ \end{array} \times \begin{array}{c} c \\ \quad \quad \quad Z \\ \bar{c} \end{array} \right) \propto \cos \theta_{CM}$$

Essendo BaBar un collider asimmetrico, il contributo di  $A_{FB}$  deve essere correttamente stimato e sottratto

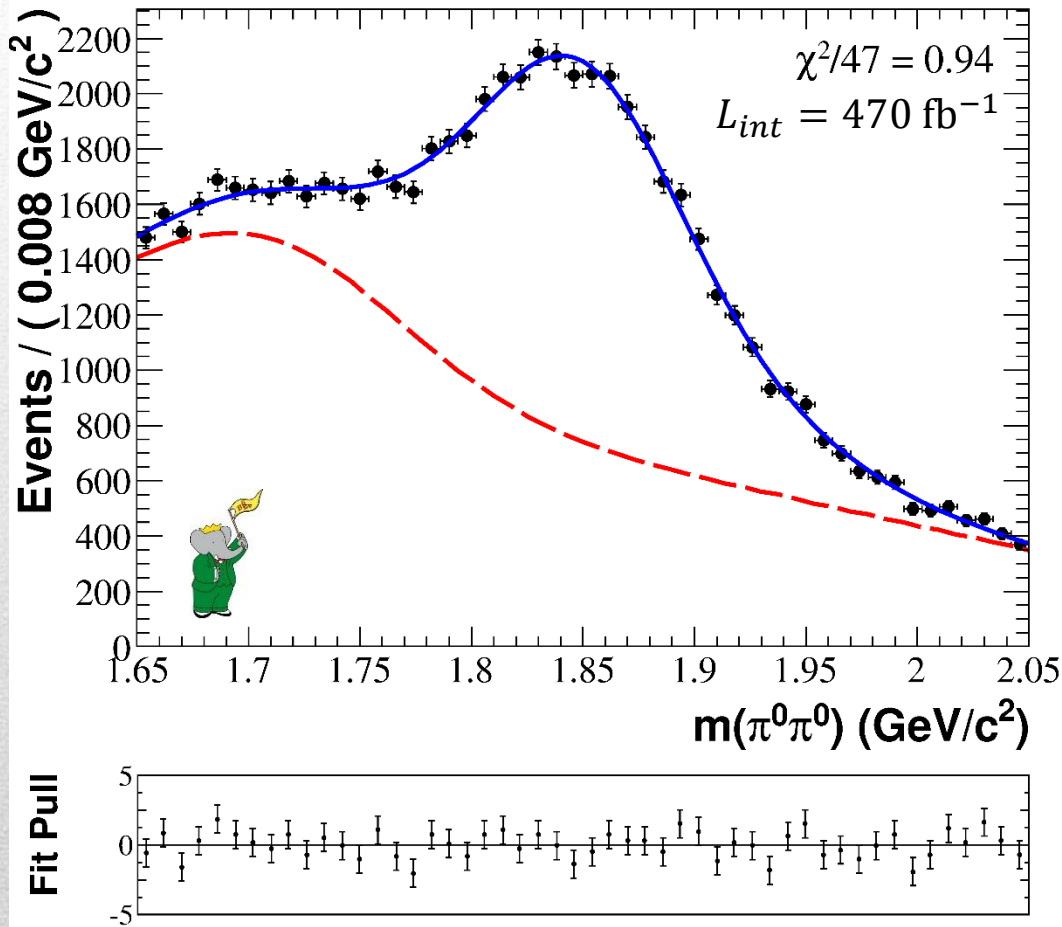
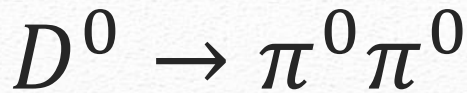
$$A_{CP} = \frac{A(\cos \theta_{CM} > 0) \pm A(\cos \theta_{CM} < 0)}{2}$$



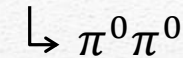
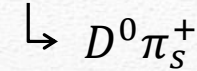
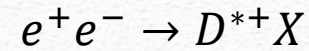
Principale **sistematica**:  
 asimmetria detector,  
 contribuisce con  $\sim 0.25\%$

(può migliorare con  
 correzioni di efficienza)





PRD85, 091107 (2012)



La carica del  $\pi$   
seleziona  $D/\bar{D}$

Con  $518 \text{ fb}^{-1}$  sono previsti  
 $\sim 170 \times 10^3$  eventi di segnale

A Babar è già stato misurato il  
Branching Ratio  $B(D^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0)$

Lo yield riportato è

$$N = 26010 \pm 304$$

corrispondente a una sensibilità

$$A_{CP} = (??? \pm 0.8)\%$$

Lo studio delle sistematiche è analogo  
al caso del  $D^+$

# Conclusioni

La fisica del **charm** è ancora **da esplorare**



Misure di **precisione** a **BaBar** possono aiutare a costringere le predizioni di **Nuova Fisica**



Questa **analisi** è attualmente **in corso** e si dovrebbero avere i primi risultati nei prossimi mesi...



*Grazie per l'attenzione!*



BACKUP

---

# Parametri CP violating nel charm

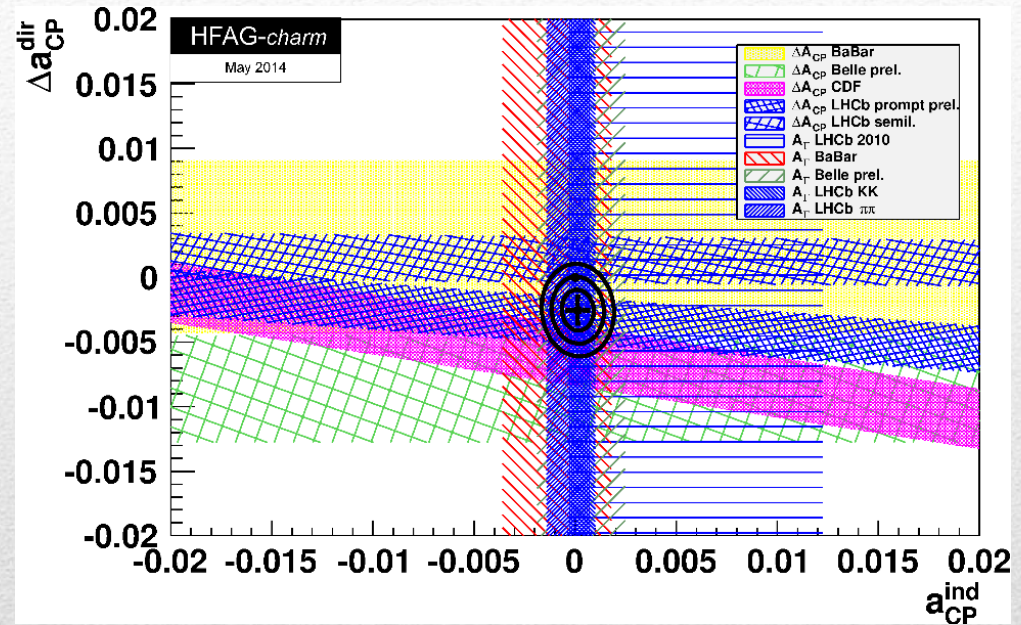
$$\Gamma^{hh} = \tau^{-1}(D^0 \rightarrow K^+K^-, \pi^+\pi^-)$$

$$\overline{\Gamma}^{hh} = \tau^{-1}(\overline{D}^0 \rightarrow K^+K^-, \pi^+\pi^-)$$

$$\Gamma = \tau^{-1}(D^0, \overline{D}^0 \rightarrow K^\pm \pi^\mp)$$

$$y_{CP} = \frac{\Gamma^{hh} + \overline{\Gamma}^{hh}}{2\Gamma} - 1$$

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

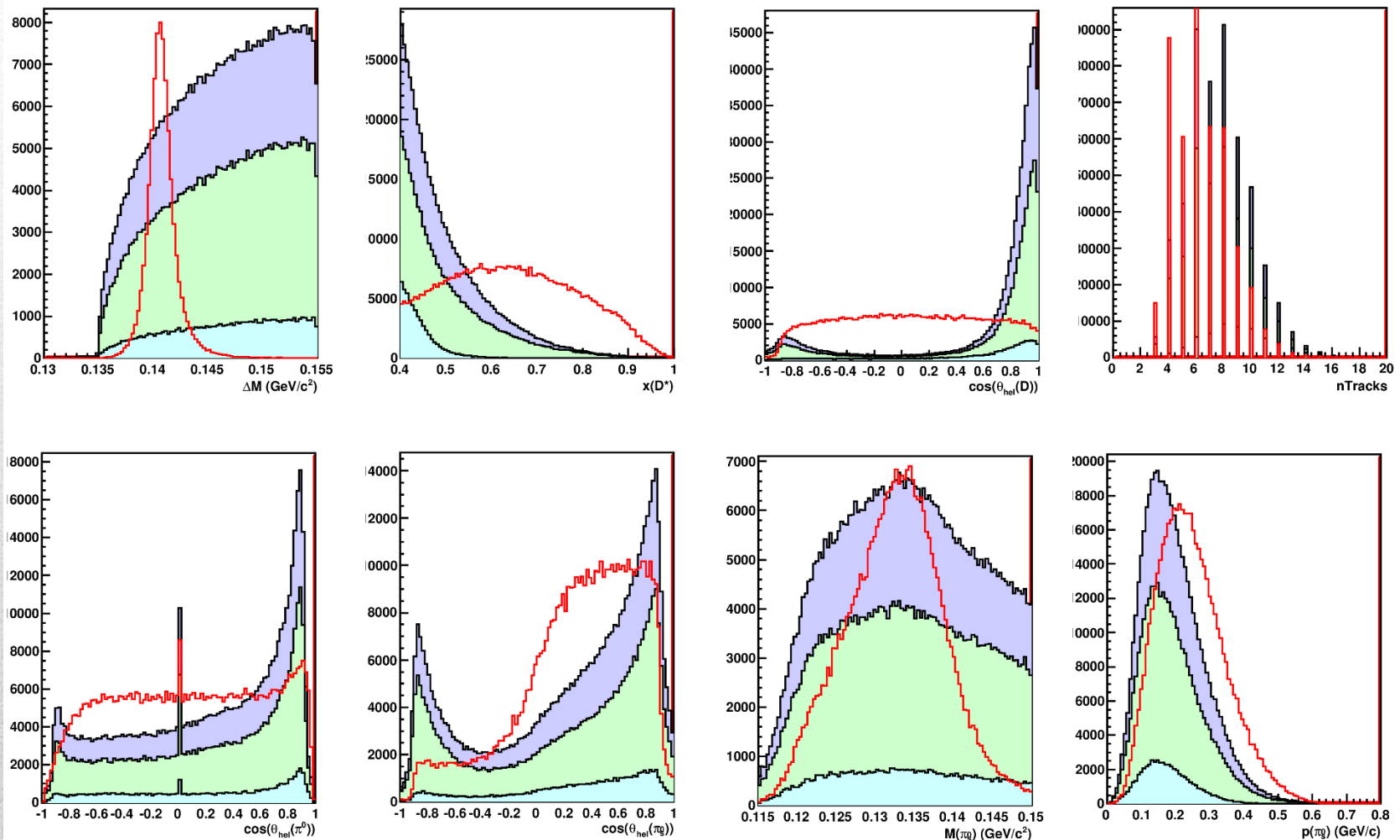


$$\Delta A_{CP} = \Delta A_{CP}^{dir} (1 + y_{CP} \Gamma\langle t \rangle) + \Gamma\Delta\langle t \rangle a_{CP}^{ind}$$

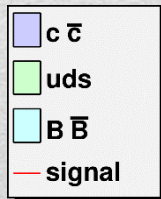
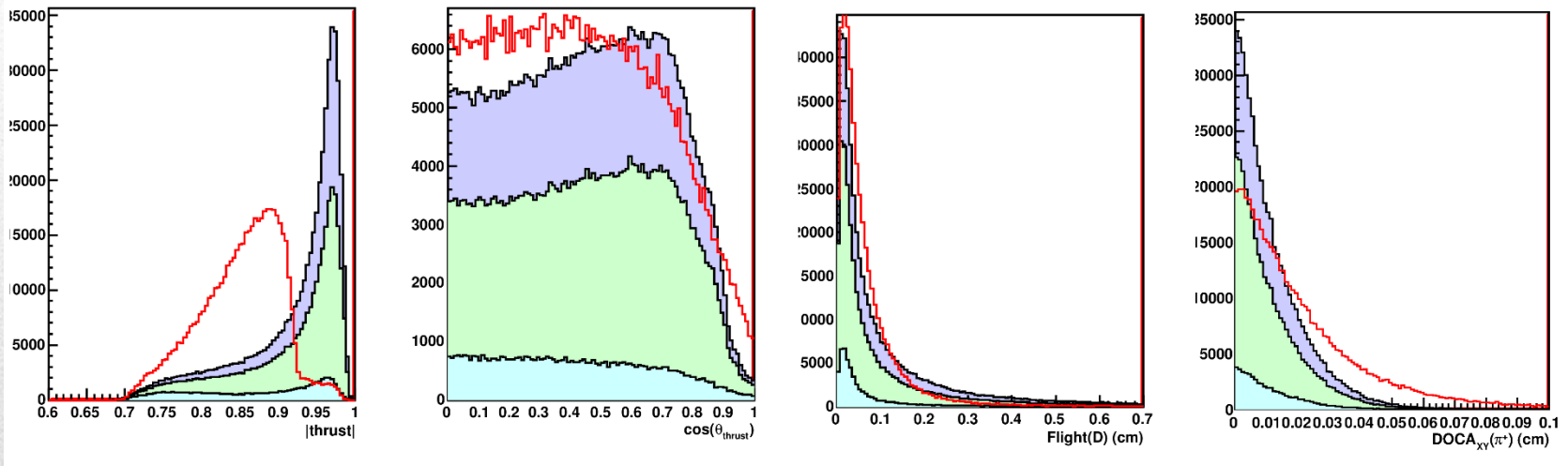
$\Gamma\langle t \rangle$  e  $\Gamma\Delta\langle t \rangle$  misurano il bias delle lifetimes



# Osservabili nel BDT di $D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$ (1)



# Osservabili nel BDT di $D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$ (2)



Il segnale è arbitrariamente riscaldato per mostrarne la forma