

MIXING e vite medie del CHARM

in  **BABAR**

Alexis POMPILI (Università & I.N.F.N. di Bari)

per la Collaborazione *BaBar*

XIV – IFAE Parma

Sessione Quark Pesanti – 4 Aprile 2002



Differenze di vite medie nei decadimenti del D^0

Nuovi limiti su γ (parametro di mixing del charm) :

- metodo ed estrazione delle vite medie
- sistematiche e risultati

x, y : Introduzione

Autostati di **massa** : $|D_{1,2}^0\rangle = p|D^0\rangle \pm q|\bar{D}^0\rangle$ ($|D^0\rangle, |\bar{D}^0\rangle$ Autostati di **sapore**)

↳ **masse**: M_1, M_2 & **ampiezze**: Γ_1, Γ_2

PARAMETRI di MIXING : $x \equiv \frac{\Delta M}{\Gamma}, y \equiv \frac{\Delta \Gamma}{2\Gamma}$ }

$$\begin{cases} \Delta\Gamma = \Gamma_1 - \Gamma_2 \\ \Gamma = (\Gamma_1 + \Gamma_2)/2 \\ \Delta M = M_1 - M_2 \end{cases}$$

Mixing a **corta-distanza** & mediante stati **virtuali** intermedi

Mixing a **lunga-distanza** mediante stati **reali** intermedi

MS : $x, y \approx \sin^2 \theta_c \times [\text{rottura SU(3)}]^2 \approx 10^{-6}$ (*albero*) $\xrightarrow{+ \text{correzioni}}$ $|x|, |y| \lesssim 10^{-3}$

↪ ...ma ... }
 Nuova Fisica può intensificare **x**
 FSI e rottura di SU(3) possono accrescere **y**



x, y : Metodi di ricerca

Sperimentalmente si cerca di misurare/porre limiti alla transizione $D^0 \rightarrow \bar{D}^0$

3 tipi di esperimenti sono sensibili ad una **combinazione di x & y** :

1) Ricerche WRONG-SIGN in decadimenti ADRONICI

x^2, y

Si studia l'evoluzione temporale dei decadimenti $D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$
cercando un segnale $D^0 \rightarrow \bar{D}^0 \rightarrow K^+ \pi^-$

Complicazione: vi è una **differenza di fase forte non nota** fra i decadimenti CF e DCS

2) Ricerche WRONG-SIGN in decadimenti SEMILEPTONICI

$x^2 + y^2$

Si studiano i decadimenti $D^0 \rightarrow \bar{D}^0 \rightarrow K^+ l^- \nu$

Non richiede una **buona risoluzione temporale**, il tag leptonic è **più pulito**, i fondi elevati (ν)

3) Ricerca di DIFFERENZA DI VITA MEDIA $\Delta\Gamma$

y [se CP conservata]

Richiede una (o più) coppie di misure di vite medie per decadimenti in stati a CP definito



Ricerca di differenza di vita media

Asimmetria delle rates di dec. dei D neutri in autostati CP^+ (pari) and CP^- (dispari) :

$$y_{CP} \equiv \frac{\hat{\Gamma}(CP^+) - \hat{\Gamma}(CP^-)}{\hat{\Gamma}(CP^+) + \hat{\Gamma}(CP^-)} = \frac{\hat{\Gamma}(CP^+)}{\hat{\Gamma}(CP^\pm \text{ equal mix})} - 1 = \frac{\tau(D^0 \rightarrow K^- \pi^+)}{\tau(D^0 \rightarrow K^- K^+)} - 1$$

$K^- K^+ (\pi^- \pi^+)$ è autostato CP^+ & $K^- \pi^+$ **assunto** quale eguale mistura di CP^+, CP^-

Estraendo le rates **fittando** con una pura exp. le rates di dec. **dipendenti dal tempo** :

$$y_{CP} \approx y \cos \varphi - \frac{1}{2} (|q/p|^2 - 1) \times \sin \varphi \quad \xrightarrow{\text{NO CP}} \quad y_{CP} \approx y$$

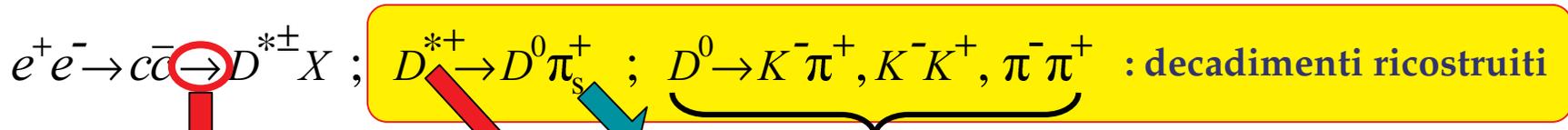
$\sin \varphi \neq 0 \Rightarrow$ ~~CP~~ nell'interf. di decad. con/senza mixing
 $|q/p| \neq 1 \Rightarrow$ ~~CP~~ nel mixing

$$|D_{1,2}^0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[|D^0\rangle \pm |\bar{D}^0\rangle \right]$$

sono autostati CP^\pm



Metodo di ricostruzione del tempo proprio



D^* è vertice primario :
vincolato al BS

TAG 3 campioni indipendenti

- 1) tagging del sapore
- 2) riduzione fondo

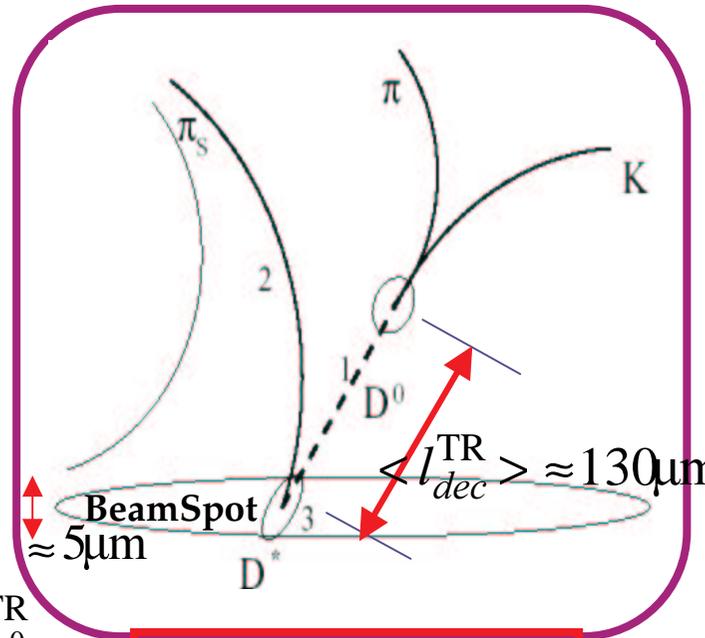
$\delta m = m(h^+ h^- \pi_s) - m(h^+ h^-)$

Tecnica del refitting col vincolo del BS

- 1) p_{D^0} punta al BS localizzando il punto di dec. del D^*
- 2) pione lento π_s rifittato con questo punto
- 3) D^* costruito come vertice del D^0 e di questo π_s

incrementa risoluzione in δm

BS: $\sigma_y \approx 5\mu m < \sigma_x \approx 120\mu m < \sigma_z \approx 9000\mu m$ τ_D in xy



risoluzione $\approx 65\mu m$

D^0 tempo proprio: $t = m_{D^0} \frac{l_{dec}^{TR}}{cp_{D^0}^{TR}}$, $l_{dec}^{TR} = (\vec{d}_{D^0}^{TR} - \vec{d}_{D^*}^{TR}) \cdot \hat{p}_{D^0}^{TR}$
LUNGHEZZA di VOLO



Criteri di selezione dei candidati D^0

L'analisi usa : $\left\{ \begin{array}{l} 57.8 \text{ fb}^{-1} \text{ (dati 2000+2001) \& seleziona eventi dal continuo } c\bar{c} \\ \text{dati simulati (Geant4) : } \approx 30 \text{ fb}^{-1} q\bar{q} \text{ generico \& campionidi } \textit{segnale} \end{array} \right.$

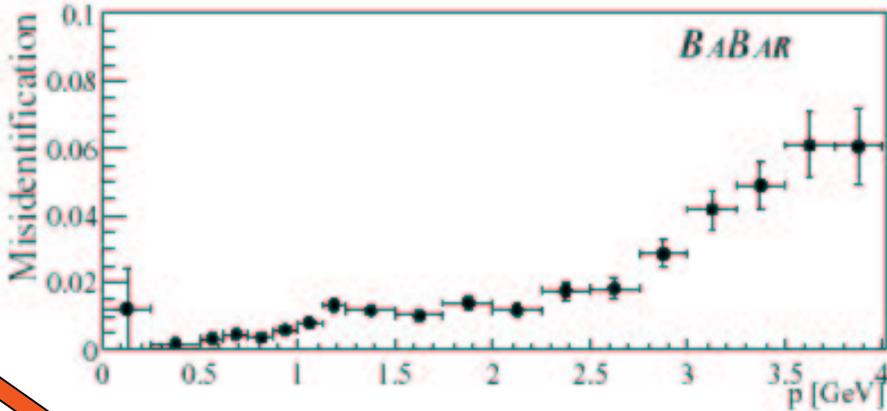
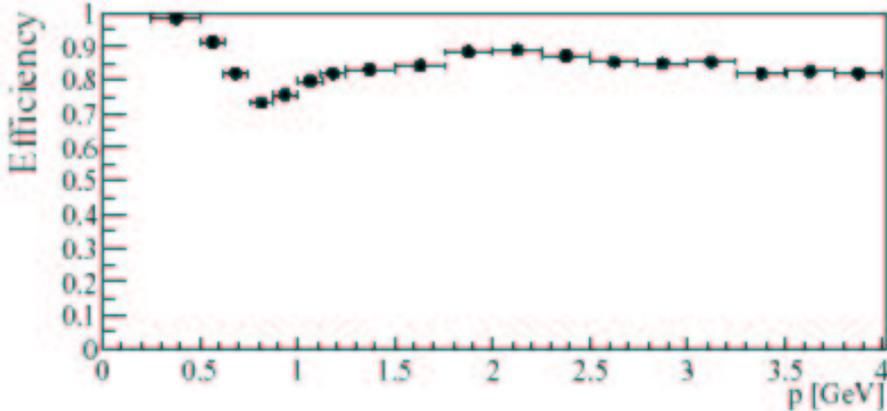
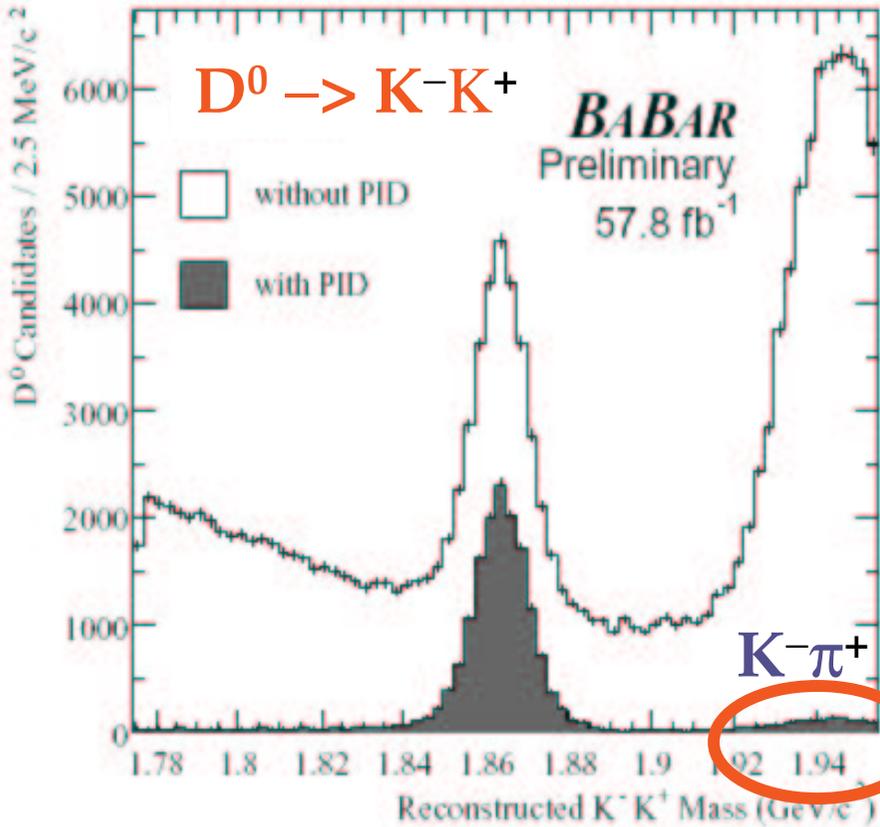
Tracciamento[DCH+SVT], **vertexing**[SVT], **PID**[DIRC+(DCH+SVT)] **cruciali**

- ➔ ALTA QUALITA' per TRACCE & RISOLUZIONE di VERTICE (**almeno 6** SVT-hits per π_s)
- ➔ BONTA' del FIT per entrambi i VERTICI del D^0 e del D^* : $P(\chi_{\text{FIT}}^2) > 1\%$
- ➔ REIEZIONE D^* da decadimento dei B: $p_{D^0}^{Y(4S)} \geq 2.5 \text{ GeV}/c$ **SOLO $c\bar{c}$**
- ➔ **IDENTIFICAZIONE di PARTICELLE** applicata ad entrambi i prodotti del D^0
 - ➔ **K** : criterio di selezione forte ; **π** : selezione & μ -veto
- ➔ REIEZIONE FONDO combinatorio dovuto a π di basso p: taglio di *elicit *
- ➔ TAGLIO su δm : finestra $\pm 2 [3] \text{ MeV}$ intorno picco per π_s con[senza] DCH-hits



Identificazione dei K

$\langle \text{Efficienza} \rangle \approx 85\%$



$\langle \text{Mis-ID} \rangle \begin{cases} < 2\% , & p < 2.5 \text{ GeV}/c \\ < 5\% , & p < 3.5 \text{ GeV}/c \end{cases}$



**Candidati D^0
selezionati**

$\approx 158,000$ (CF)

$$\frac{S}{S+B} \approx 99.5\%$$

$\approx 16,500$ (CS)

$$\frac{S}{S+B} \approx 97.1\%$$

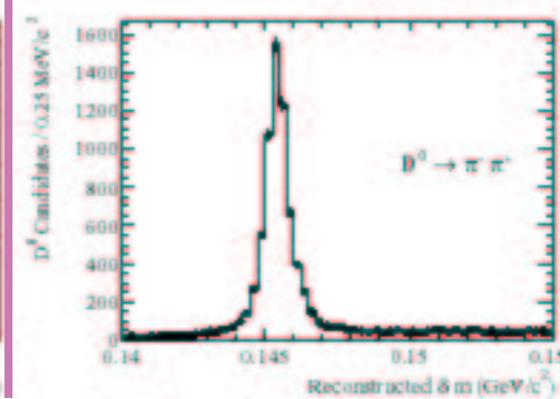
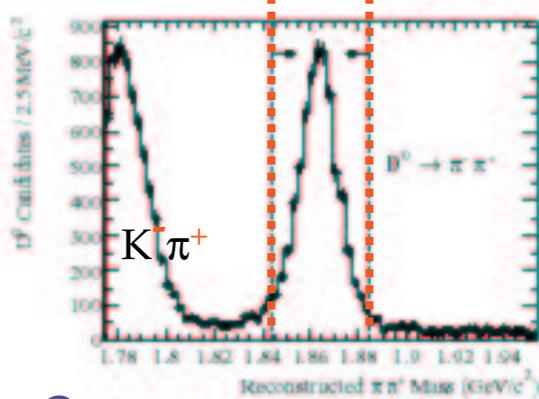
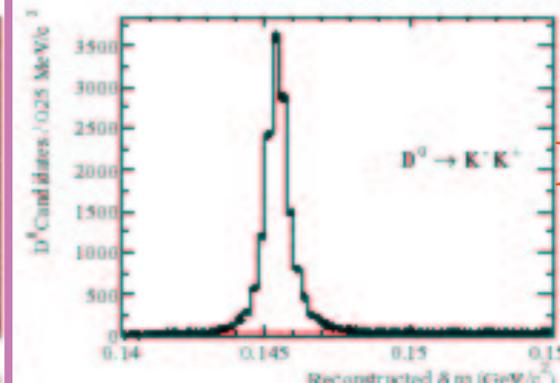
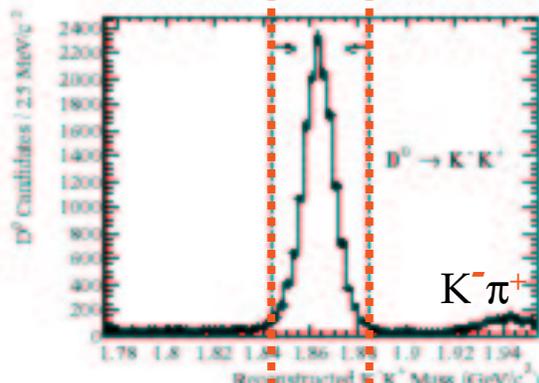
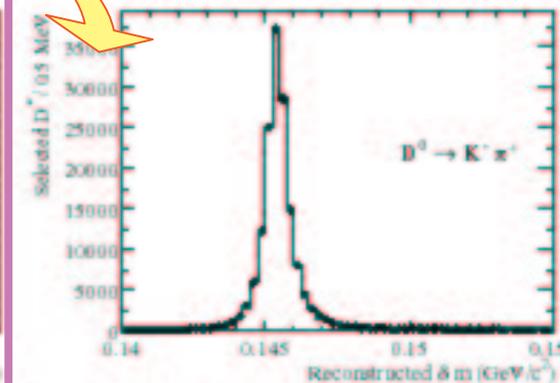
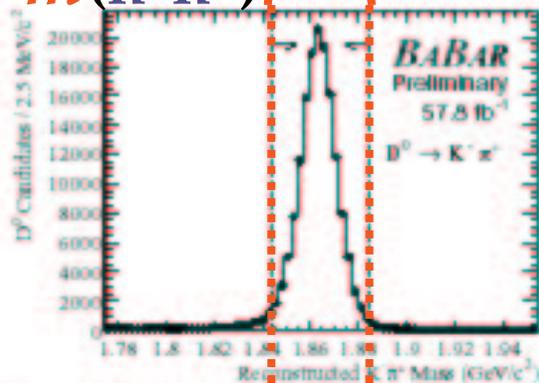
$\approx 8,350$ (CS)

$$\frac{S}{S+B} \approx 92.4\%$$

dopo taglio in δm

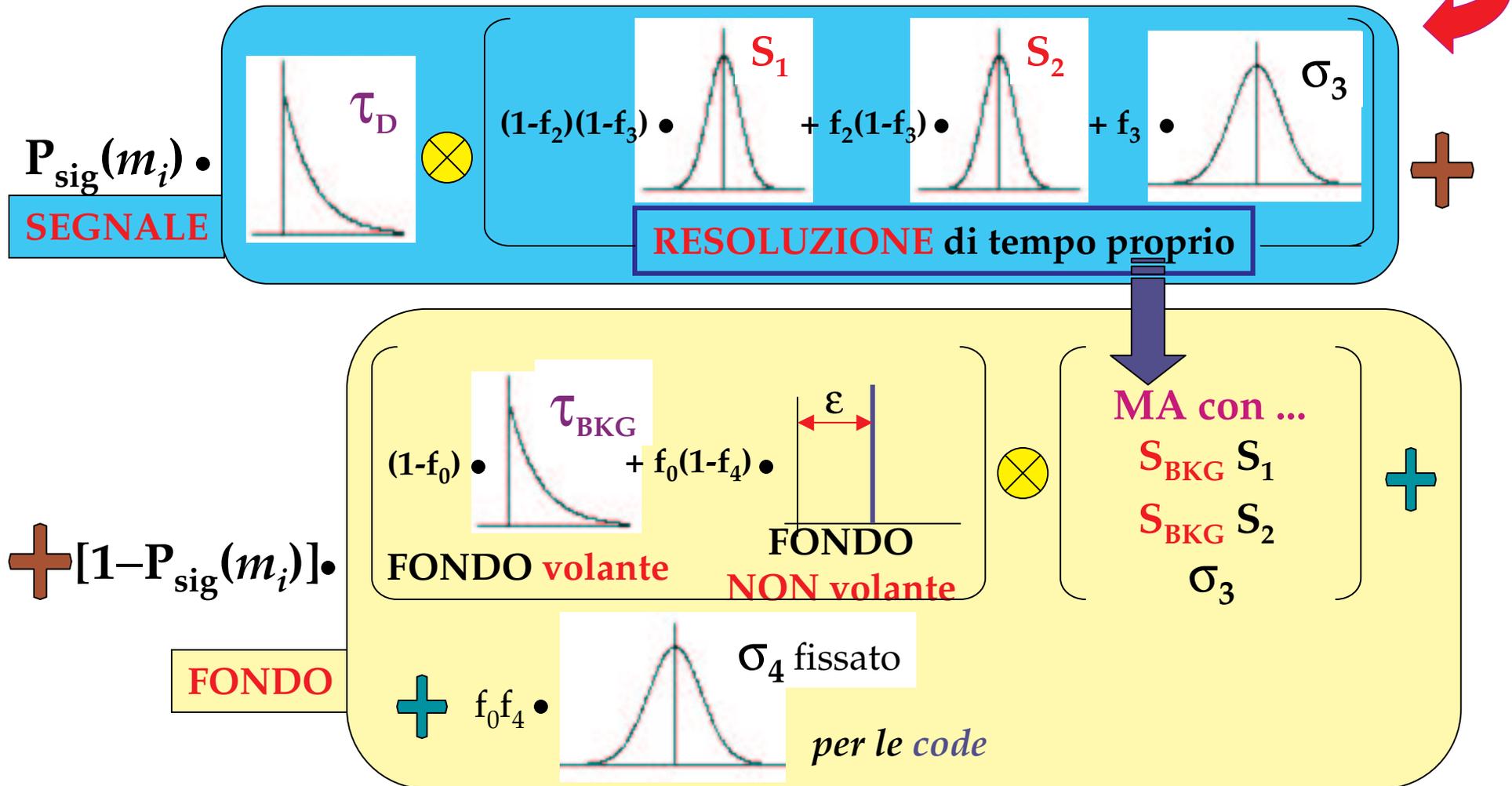
$m(h^+h^-)$

$$\delta m = m(h^+h^-\pi_s) - m(h^+h^-)$$



Unbinned maximum likelihood fit

$$L = \prod_i P_i \text{ dove } P_i(m_i, t, \delta t; 11 \text{ parametri}) =$$



Candidato D^0 : probabilità di segnale nel fit

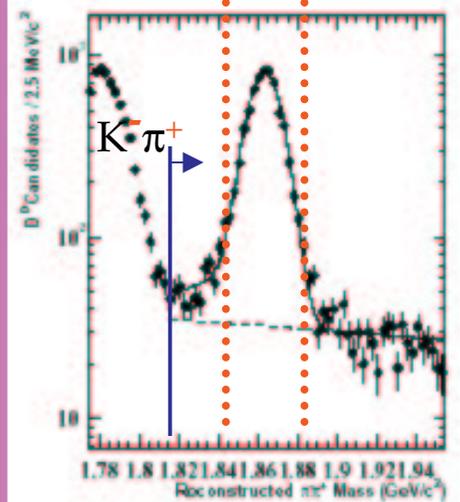
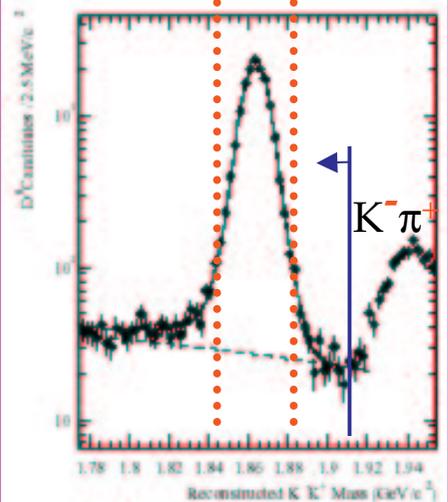
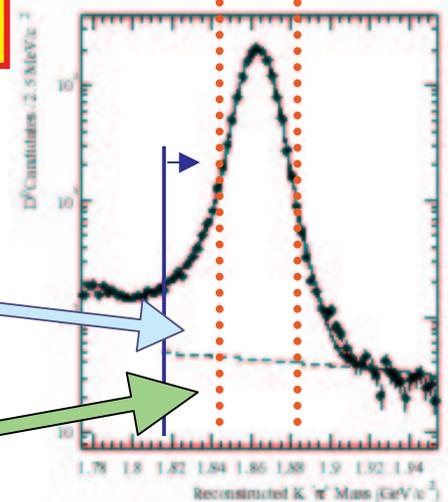
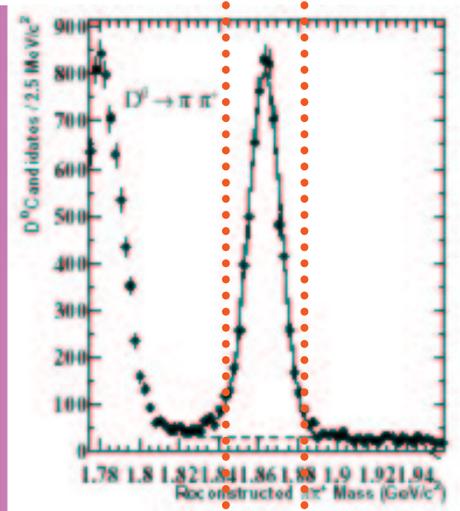
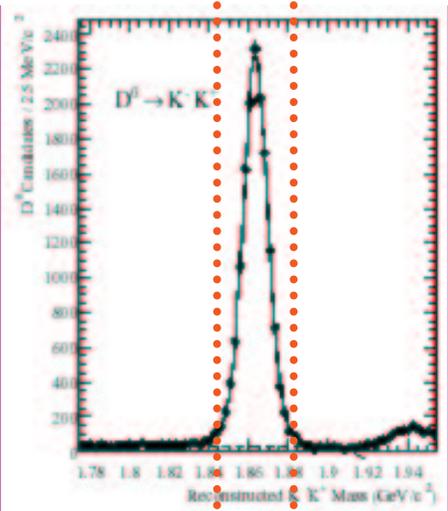
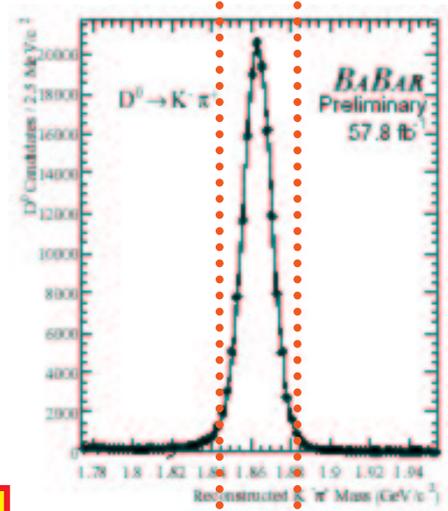
scala **LIN** !

candidati in **bande laterali** come parte del likelihood fit

FONDO vincolato nel campione di fit

CODA A BASSA MASSA

Porzione assegnata al **FONDO**



$K^- \pi^+$

$K^- K^+$

$\pi^- \pi^+$

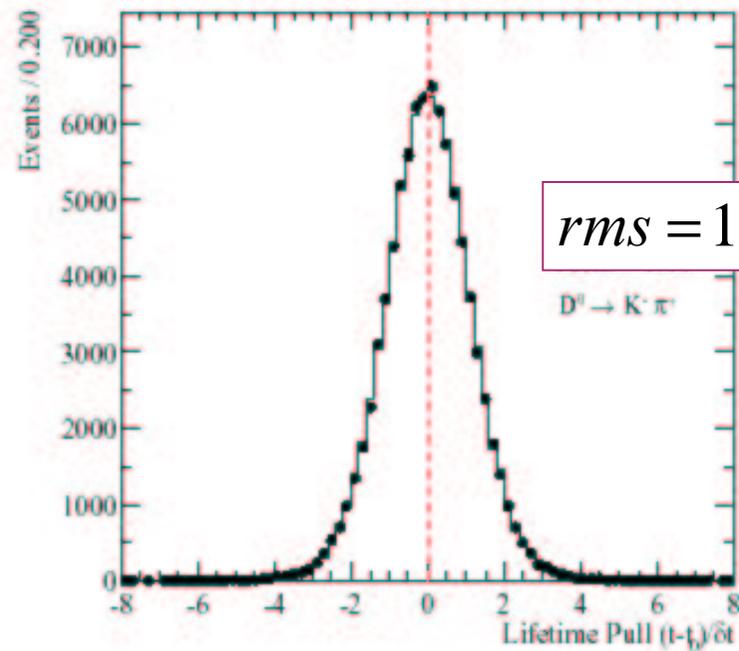
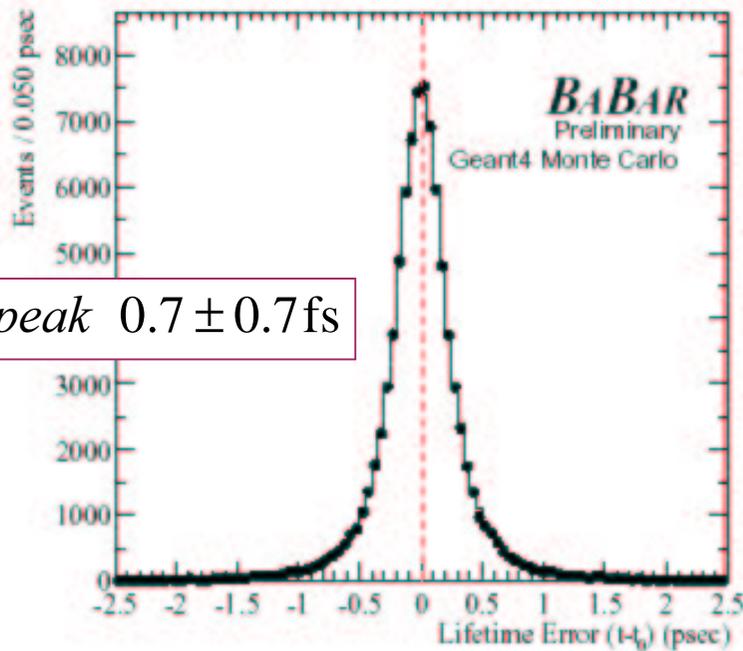
scala **LOG** !



Test con il MC : *pull* di tempo proprio

MC indica bias molto piccolo o nullo

Il modello di risoluzione si adatta ragionevolmente bene al MC



(ricostruito – vero) tempo proprio

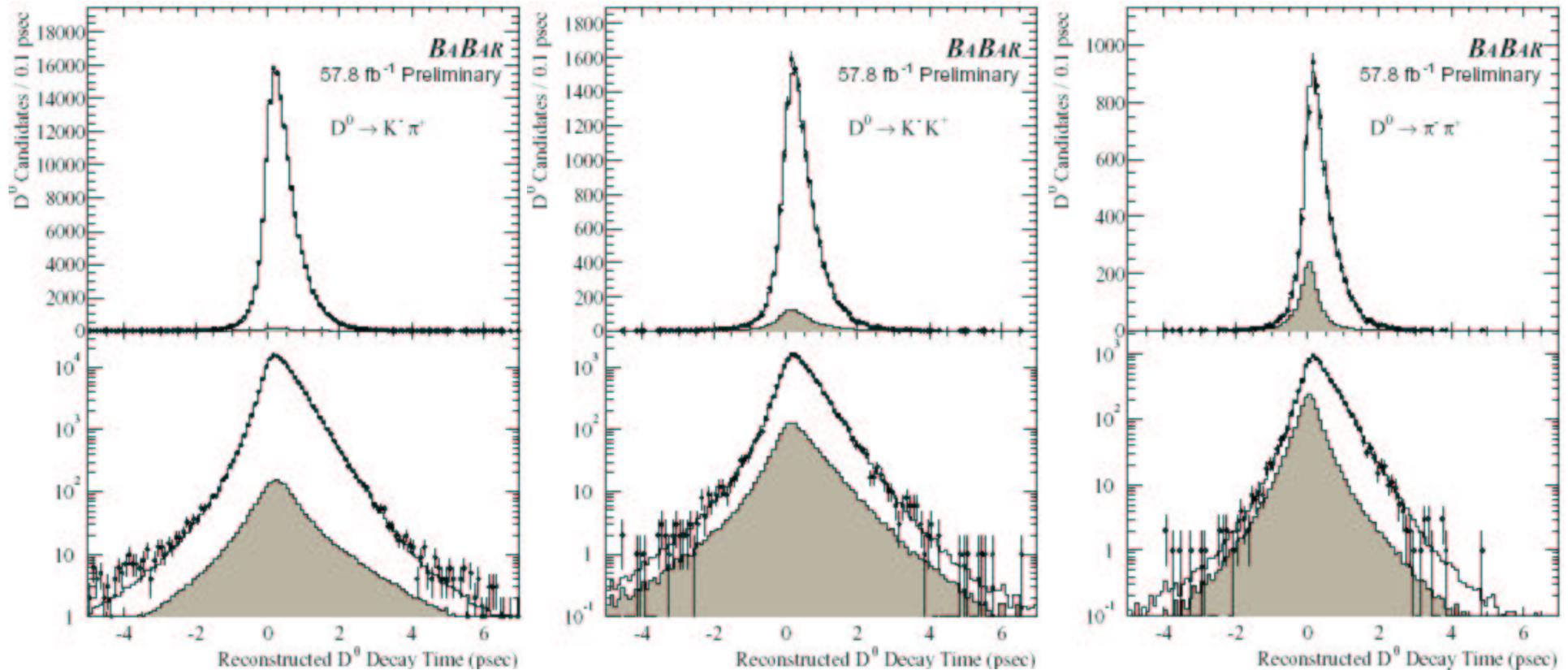
(rico. – vero) tempo pr. /errore tempo pr.

Distribuzioni di tempo proprio e fit risultante

$K^- \pi^+$

$K^- K^+$

$\pi^- \pi^+$



Punti: **DATI** | Istogramma: **RISULTATO FIT** | Istogramma pieno: **FONDO dal FIT**



12

Rapporto di vite medie: **SISTEMATICHE** – I

➔ La misura di vita media del D^0 è una misura di **ELEVATA PRECISIONE**
[incertezza statistica per il campione di CFD è di circa $1.3fs$ cioè $3/1000$]

➔ A tale livello di precisione sono necessari studi **molto accurati** delle
sorgenti di incertezze sistematiche (tracciamento, vertexing, allineamenti)

N.B.: – bias medio di $1.5\mu m$ nella posizione del vertice si traduce in $3fs$ di bias nella vita media
– shift di massa di $1MeV$ dovuto ad un bias nel momento implica $0.3fs$ di bias nella vita media

➔ Qui non presentiamo una misura di vita media del D^0 poiché l'incertezza sistematica complessiva (circa $3-4fs$) **può essere compressa** con ulteriore studio.

Si è verificato, su un sotto-campione limitato, la **piena compatibilità** del **risultato del fit** sia col nostro check di HF2001 [$412 \pm 2(\text{stat.})$] fs sia col PDG [412.6 ± 2.8] fs

➔ **Molti effetti sistematici sulla vita media si elidono nel RAPPORTO di vite medie**

Rapporto di vite medie y : SISTEMATICHE – II

$$y \approx \frac{\tau(K^- \pi^+)}{\tau(K^- K^+)} - 1$$

Incertezze sistematiche sulla y calcolate usando grandi **campioni MC di segnale**

- Dati simulati sono stati modificati con variazioni riflettenti **incertezze in...**
 - conoscenza del rivelatore
 - criteri di selezione degli eventi
 - livello e composizione del **fondo**
 - posizione e dimensioni del **beamspot**
- Test sistematici sull'allineamento interno dell'SVT usando $e^+ e^- \rightarrow \gamma\gamma \rightarrow 4 \text{ prongs}$

campione di controllo a vita media 0

SORGENTE di INCERTEZZA	Incertezza su y (%)	
	KK	$\pi\pi$
TRACCIAMENTO	+0.2 / -0.2	+0.9 / -0.9
IDENTIFICAZIONE di PARTIC.	+0.2 / -0.2	+0.4 / -0.4
FONDI	+0.2 / -0.2	+0.6 / -0.6
ALLINEAMENTO-VERTEXING	+0.2 / -0.1	+0.3 / -0.1
STATISTICA del MC	+0.4 / -0.6	+0.4 / -0.9
SOMMA IN QUADRATURA	+0.6 / -0.7	+1.2 / -1.4

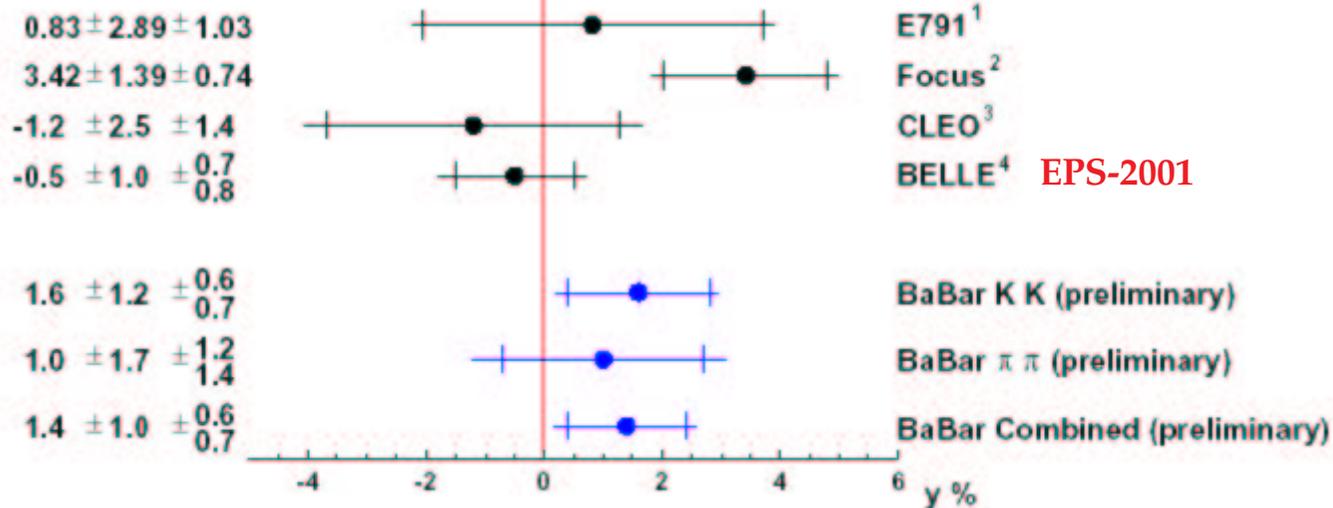
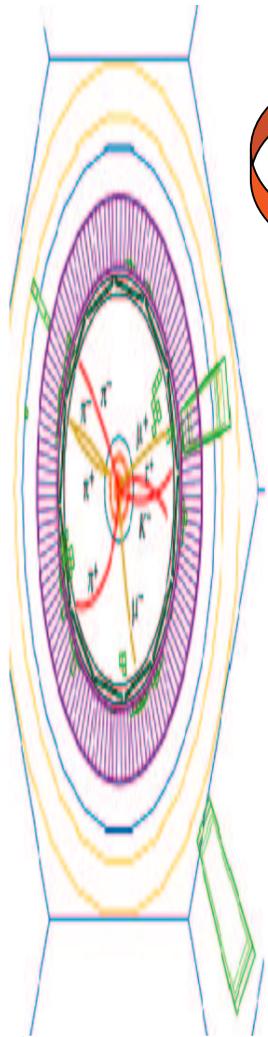
La stima di y nel MC **non** mostra **alcun bias** entro l'**errore statistico** che viene considerato come una **ulteriore incertezza sistematica.**

RISULTATI: limiti su y

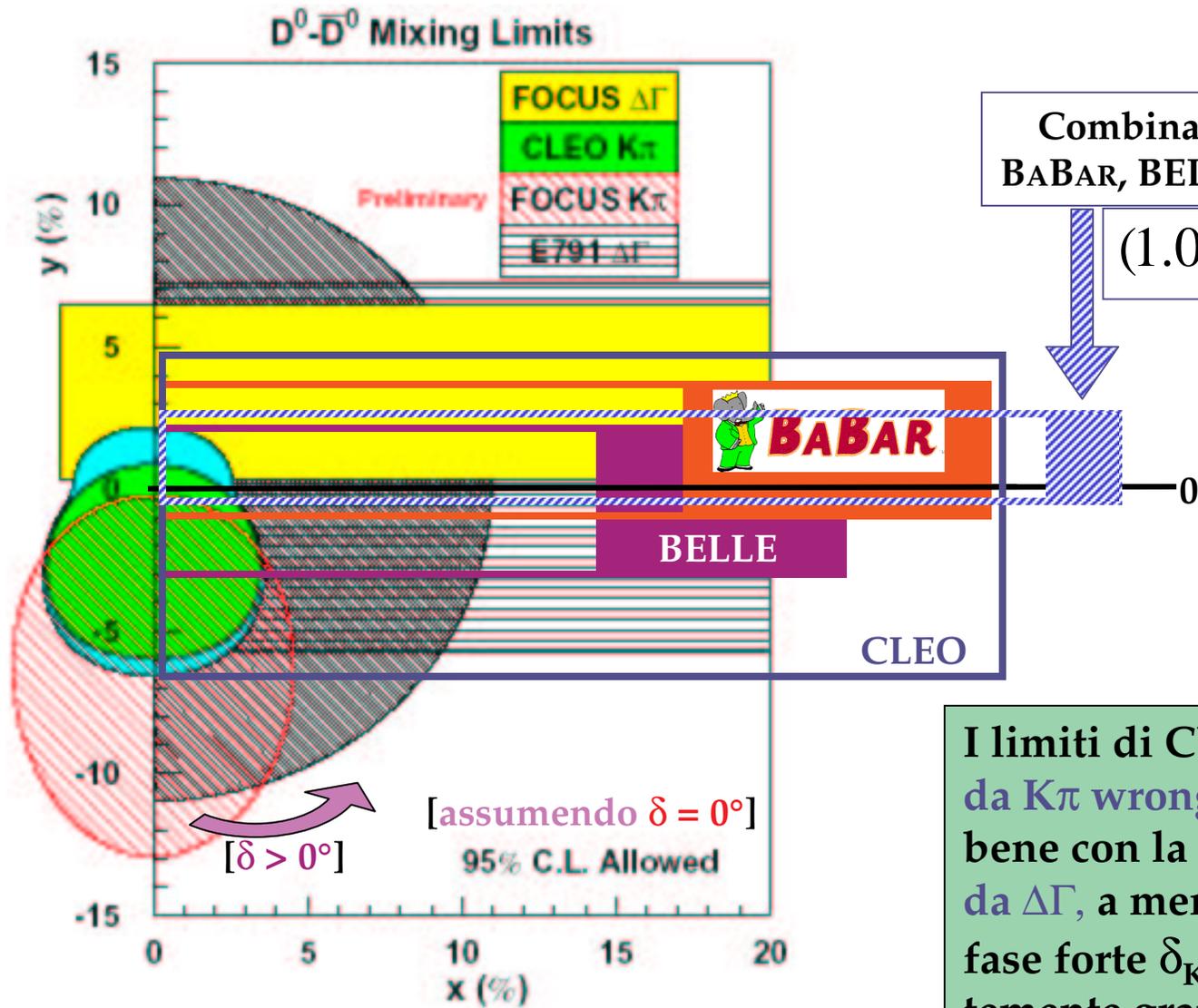
$$y = \begin{cases} 1.6 \pm 1.2 \text{ (stat.) } +0.6 \text{ (sist.) } (D^0 \rightarrow K^+ K^-) \\ 1.0 \pm 1.7 \text{ (stat.) } +1.2 \text{ (sist.) } (D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-) \end{cases}$$

$$y = [1.4 \pm 1.0 \text{ (stat.) } +0.6 \text{ (sist.)}] \%$$

PRELIMINARE



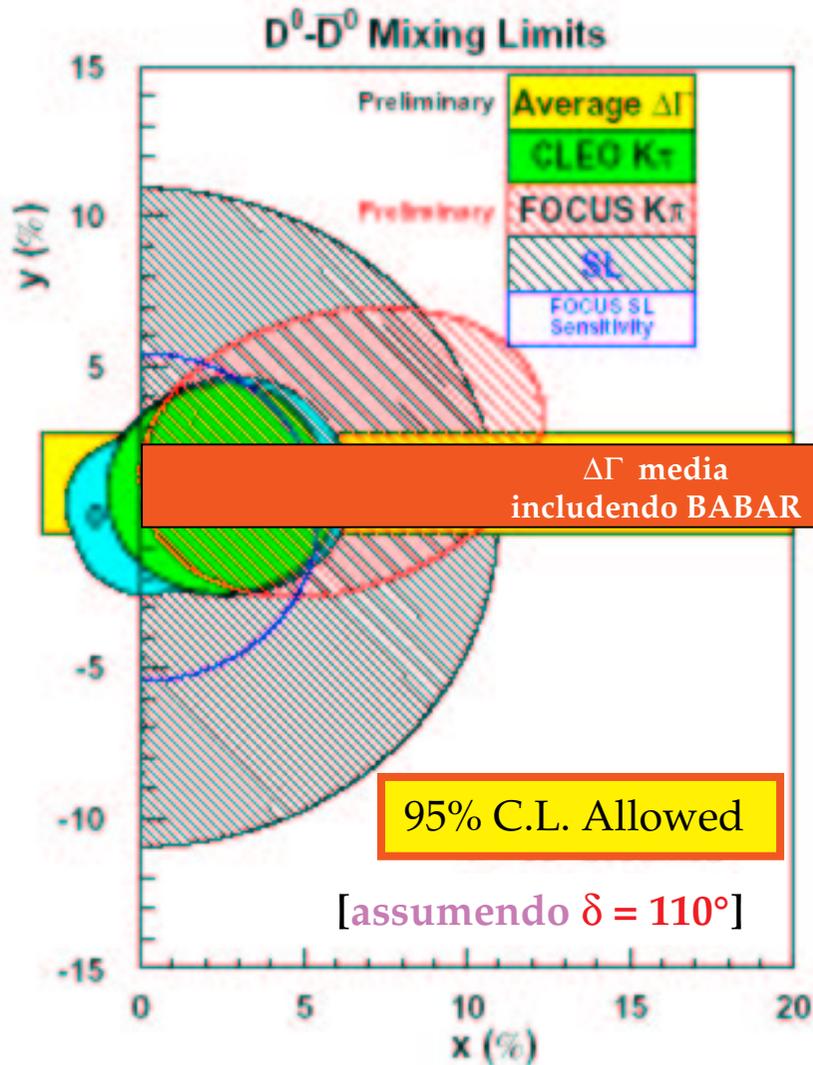
Sommario CONFRONTO: limiti su x , y



I limiti di CLEO e FOCUS su x , y da $K\pi$ wrong-sign non si accordano bene con la media mondiale su y da $\Delta\Gamma$, a meno che la differenza di fase forte $\delta_{K\pi}$ non sia sufficientemente grande !



Ruolo della differenza di fase forte $\delta_{K\pi}$



$\delta_{K\pi}$ è **cruciale**; solo recentemente dei lavori teorici ne predicono valori sensibilmente diversi da 0!

[Falk et al., PRD 65, 054034 (2002)
Bergmann et al., PLB 486, 418 (2000)]

In un intervallo ragionevole dei parametri di rottura della simmetria SU(3), valori $>45^\circ$ non sono ammessi.

Attualmente il valore “sperimentalmente” preferito è 110° , scenario nel quale $y \approx 0$ & $x > 0$

CONCLUSIONI & PROSPETTIVE – I

La nostra misura preliminare di y è **consistente con zero** !

$$y = [1.4 \pm 1.0 \text{ (stat.) } {}^{+0.6}_{-0.7} \text{ (sist.)}] \%$$

ⓐ E' importante estrarre il risultato dal **campione KK senza D*-tag** : l'incertezza statistica è **<1%** ma si lavora ancora sulle sistematiche

ⓐ E' cruciale fare una nuova misura su **CAMPIONI PIU' GRANDI**

ⓐ Sara' interessante considerare anche **autostati CP dispari** come $K_S \phi$

Limiti su x, y dall'analisi dei decadimenti **$K\pi$ wrong-sign** pronti presto

ⓐ Sara' utile considerare anche **decad. $K\pi\pi^0$ wrong-sign**

Attuale sensibilità dell'ord. di 10^{-2}
[alcune unità $\times 10^{-3}$ con 0.5 ab^{-1} @ Belle & BaBar]

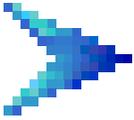
CONCLUSIONI & PROSPETTIVE – II

Possibilita' future di porre limiti sulla differenza di fase δ fra CF e DCS

 p. es. : misurando, con una sensibilità del % (alle B-factories), l'asimmetria...

$$A_{00/0+} = \frac{\Gamma(D^{0/+} \rightarrow K_S \pi^{0/+}) - \Gamma(D^{0/+} \rightarrow K_L \pi^{0/+})}{\Gamma(D^{0/+} \rightarrow K_S \pi^{0/+}) + \Gamma(D^{0/+} \rightarrow K_L \pi^{0/+})} \propto \cos(\delta_{CF \equiv \bar{K}^0 \pi^{0/+}} - \delta_{DCS \equiv K^0 \pi^{0/+}})$$

Inoltre ...

 Asimmetrie di CP nel settore del charm sono, nel MS, $<10^{-3}$;
se osservate costituirebbero un segnale di Nuova Fisica !

 Attuale sensibilità dell'ord. di alcune unità $\times 10^{-2}$ ($D^0 \rightarrow KK, \pi\pi, K_S \pi^0, \dots$;
 $D^{+-} \rightarrow KK\pi, \dots$) destinata a migliorare significativamente alle B-factories !

TRANSPARENZE di RISERVA

Ricerca nei decadimenti adronici wrong-sign

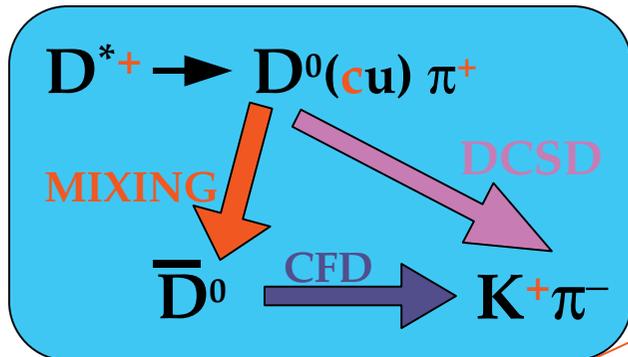
Tipo di esperimento sensibile a $(x \cos \delta + y \sin \delta) \cos \phi$, $(y \cos \delta - x \sin \delta) \sin \phi$, $x^2 + y^2$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{x'}$
 $\underbrace{\hspace{10em}}_{y'}$

δ : differenza di fase forte fra DCSD & CFD

Si cerca una deviazione dall'exp. nell'evoluzione temp. dei dec. wrong-sign dei D neutri:

$$\Gamma_{D^0(t) \rightarrow K^+ \pi^-} = \Gamma_{\bar{D}^0(t) \rightarrow K^- \pi^+} \approx e^{-t} \left[R_{DCS} + \sqrt{R_{DCS}} y' t + \frac{1}{4} (x'^2 + y'^2) \right]$$



NO CP

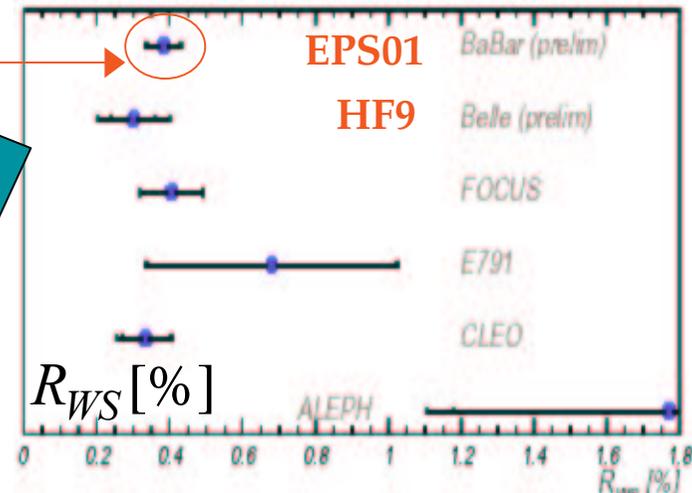
DCSD

INTERFERENZA

MIXING

$$R_{DCS} = R_{WS}$$

NO MIXING



$$R_{WS} = [0.383 \pm 0.044(stat.) \pm 0.022(sist.)]\%$$



1+