

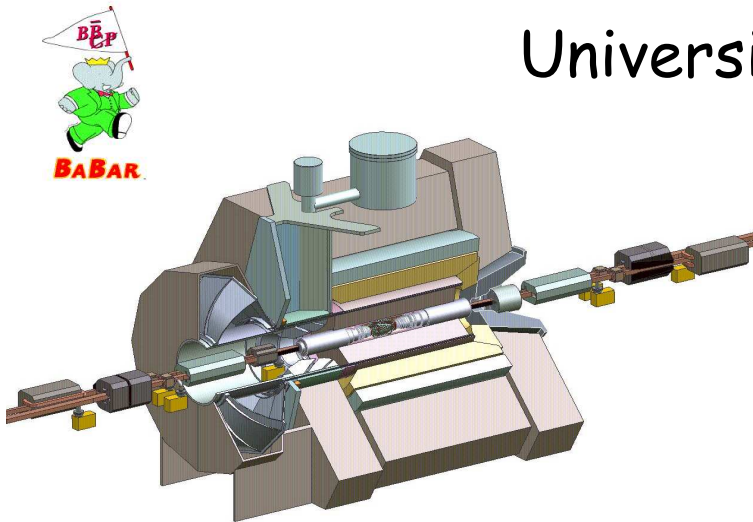
---

# Misure dell'angolo $\beta$ della matrice CKM in BaBar e BELLE

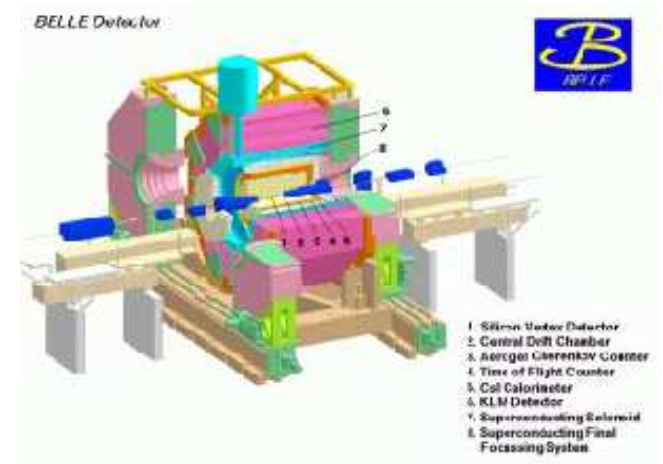
---

Lorenzo Vitale

Università e INFN Trieste



IFAE, TORINO 15 aprile 2004



Lorenzo Vitale

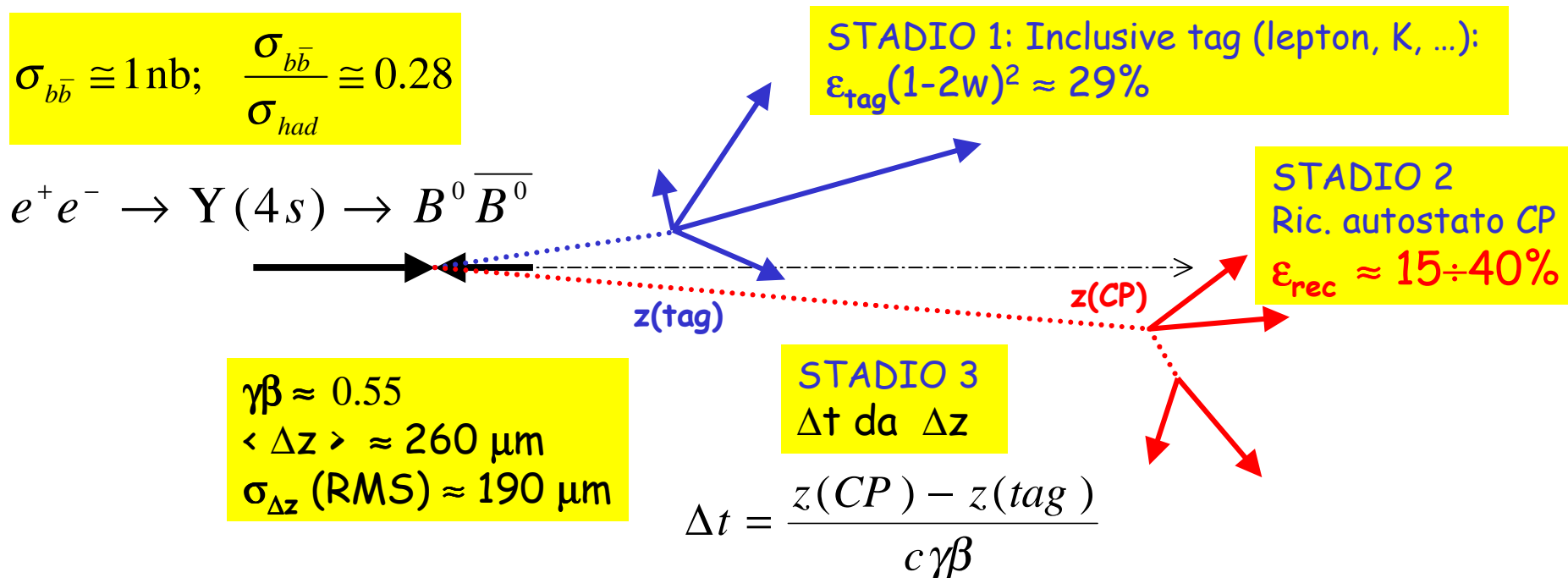
# Outline

---

- Breve introduzione
- Rassegna risultati nelle tre categorie di dec.
- Novità rilevanti conf. invernali (da BaBar):
  1. Segno di  $\beta$  da  $J/\psi K^*$  ( $K^* \rightarrow K_S \pi^0$ )
  2. Test MS coi canali dominati dai pinguini
    - $B^0 \rightarrow \phi K^0$  ( $\phi K_L$  nuova)
    - $B^0 \rightarrow K^+ K^- K_S$
    - $B^0 \rightarrow \pi^0 K_S$
    - $B^0 \rightarrow K^* \gamma$
    - $B^0 \rightarrow f_0(980) K_S$
- Conclusioni

# Introduzione

B factory asimmetriche ottimizzate per misure dipendenti dal tempo delle asimmetrie che violano CP nei decadimenti B0 in autostati di CP

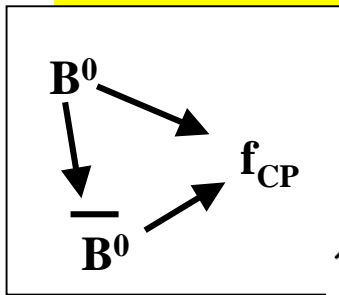


Luminosità integrate:  $\sim 190 \text{ fb}^{-1}$  BaBar e  $220 \text{ fb}^{-1}$  BELLE  
 Risultati presentati:  $110 (81) \text{ fb}^{-1}$  BaBar e  $140 \text{ fb}^{-1}$  BELLE

# Parametrizzazione Asimmetrie CP(t)

CPV nell'interferenza mixing-decadimento CPV diretta

$$f_{\pm}(\Delta t) \propto \exp(-|\Delta t|/\tau_B) ( 1 \pm D (S \sin(\Delta m \Delta t) - C \cos(\Delta m \Delta t)) ) \otimes R$$



$$S = \frac{2\Im\lambda}{1+|\lambda|^2}$$

$$C = \frac{1-|\lambda|^2}{1+|\lambda|^2}$$

$$\lambda = \eta_{cp} \frac{q}{p} \frac{\bar{A}}{A}$$

Rapporto ampiezze  
 $B^0 \rightarrow f_{cp} / \bar{B}^0 \rightarrow f_{cp}$

*D diluizione mis-tag*  
*R risoluzione temporale*

Misurati dai dati

Autostato CP

$$|B_{\pm}\rangle = p|B^0\rangle \pm q|\bar{B}^0\rangle$$

B mixing

$$\frac{q}{p} = \frac{V_{tb}^* V_{td}}{V_{td} V_{tb}^*} = e^{2i\phi_M}$$

$$A_{CP}(t) = \frac{N(\bar{B}^0(t) \rightarrow f) - N(B^0(t) \rightarrow f)}{N(\bar{B}^0(t) \rightarrow f) + N(B^0(t) \rightarrow f)}$$

$$= C_f \cos(\Delta m t) - S_f \sin(\Delta m t)$$

Nel caso più semplice con 1 sola ampiezza :

- $C_f = 0$
- $S_f = \text{Im } \lambda = -\eta_f \sin 2\beta$

# Modi di decadimento per misurare $\sin 2\beta$

---

$b \rightarrow c\bar{c}s$

Golden Modes

$J/\psi K_S, J/\psi K_L, J/\psi K^*, \text{charmonio} : \text{MISURE PRECISIONE}$

$b \rightarrow c\bar{c}d$

Cabibbo-soppressi con possibile contaminazione  
diagrammi a pinguino

$D^{(*)}D^{(*)}, J/\psi\pi^0 \quad \text{CONSISTENZA NEL MS}$

$b \rightarrow s\bar{s}s, s\bar{d}d$

Dominati dai diagrammi a pinguino

$\phi K^0, K^+K^-K_S, f^0K^0, \eta'K^0, \pi^0 K^0, K^*\gamma$

PIÙ SENSIBILI A NUOVA FISICA

# Decadimenti Vettore-Vettore

$J/\psi$ ,  $K^{*0}$  e  $D^{*+}D^{*-}$  non sono puri autostati CP

Decadimenti Vettore-Vettore con tre onde parziali **S**, **P**, **D**

Ampiezze di trasversità:  $A_0$ ,  $A_{||}$  (CP = +1 pari),  $A_{\perp}$  (CP = -1 dispari)

**Studi CP(t) sono più complicati ...**

→ Metodo più semplice:

→ Definire la frazione CP-dispari  $R_{\perp} = |A_{\perp}|^2 / (|A_0|^2 + |A_{||}|^2 + |A_{\perp}|^2)$

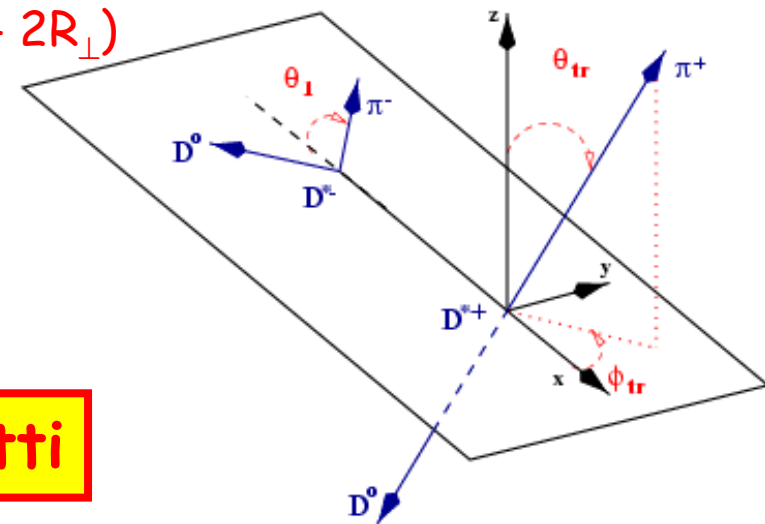
L'asimmetria CP diluita dal fattore  $K = (1 - 2R_{\perp})$

→ Altrimenti usare l'informazione degli angoli:

→ 2D: Solo un angolo (trasversità)

→ 4D: Tutti gli angoli (angolare completa)

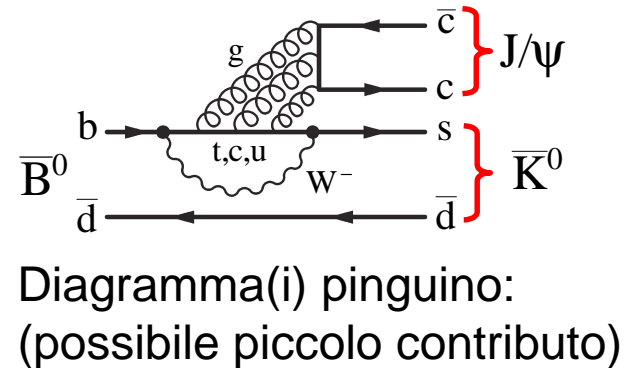
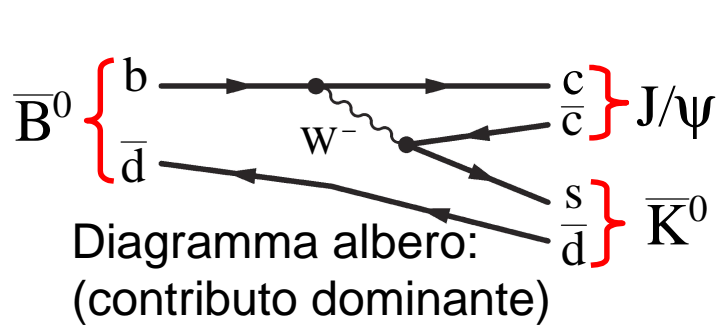
**... ma anche ricchi di ulteriori aspetti**



---

Misure  $CP(t)$  in  $b \rightarrow c\bar{c}s$

# "Golden Modes"



- "Golden Modes"
  - Puliti teoricamente
  - Anche sperimentalmente piuttosto puliti
- Albero e pinguino dominante hanno la stessa fase debole
- In questo caso,  $\text{Im}(\lambda)$  misura direttamente  $\sin 2\beta$
- Non solo  $J/\psi K_S$ :
  - Anche  $\psi' K_S, \chi_{c1} K_S, \eta_c K_S$  ( $CP = -1$ )
  - $J/\psi K_L$  ( $CP = +1$ )
  - $J/\psi K^{*0}$  (Mixed  $CP$ )



# sin2β : risultati

Negli ultimi anni sin2β misurato con accuratezza crescente nel charmonio

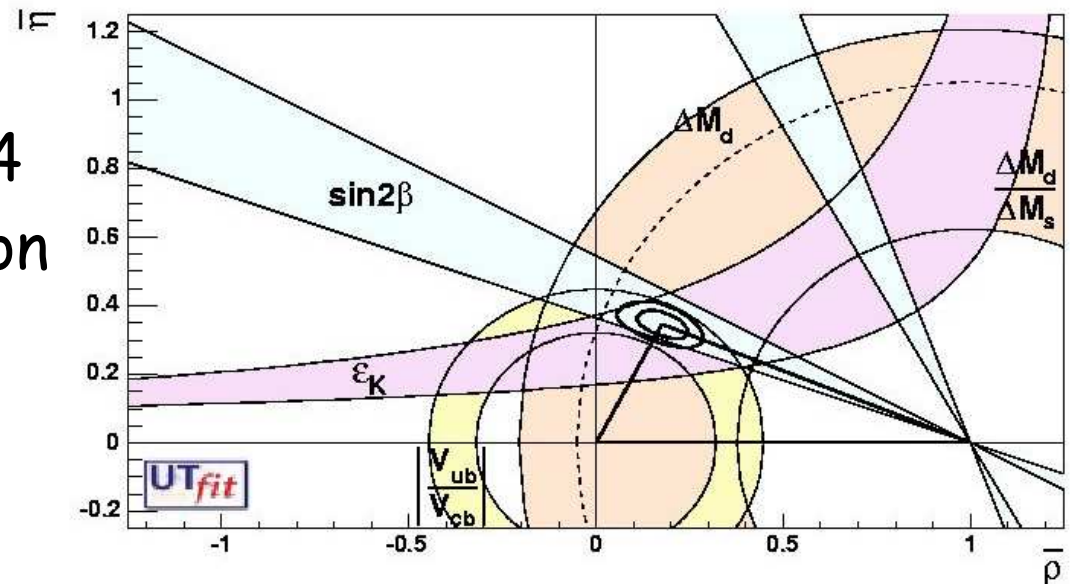
BaBar PRL 89, 201802 (2002) 81fb<sup>-1</sup>  
 $0.741 \pm 0.067_{(stat)} \pm 0.034_{(syst)}$

BELLE CONF-0353 (LP'03) 140 fb<sup>-1</sup>  
 $0.733 \pm 0.057_{(stat)} \pm 0.028_{(syst)}$

MEDIA charmonio HFAG:  
 $\sin 2\beta = 0.736 \pm 0.049$

limitato ancora da statistica 0.043  
 non aggiornato da LP2003

Nel piano pη una delle 4 soluzioni per β è in buon accordo con le altre misure del triangolo di unitarietà



# Novità dal charmonio $B^0 \rightarrow J/\psi K^* (K^* \rightarrow K_S \pi^0)$

Si può ridurre ambiguità su  $\beta$  misurando il segno di  $\cos 2\beta$ .

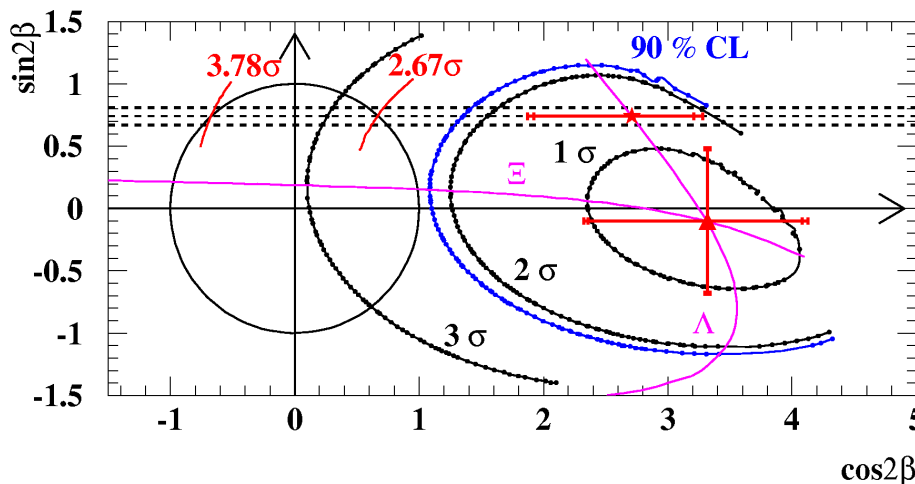
BaBar: *nuovo metodo e prima misura* con eventi  $J/\psi K^*$

- Il contenuto  $CP$  del decadimento  $Scalare \rightarrow Vettore Vettore$   
 $B^0 \rightarrow J/\psi K^{*0}(892)$  è sia pari-dispari
  - $\cos 2\beta$  compare dall'interferenza  $CP$ -pari  $CP$ -dispari nelle osservabili:  
 $\cos(\delta_{\parallel} - \delta_{\perp}) \cdot \cos 2\beta$   
 $\cos(\delta_{\perp} - \delta_0) \cdot \cos 2\beta$
  - $\delta_0, \delta_{\parallel}, \delta_{\perp}$ : fasi forti nelle ampiezze di decadimento:
- $$A_i = |A_i| e^{i\delta_i} ; i = 0, \parallel, \perp$$
- Le fasi forti possono essere misurate con tutti i decadimenti neutri e carichi  $B \rightarrow J/\psi K^*$ , a meno di una **doppia ambiguità**:  
 $\{(\delta_{\parallel} - \delta_0), (\delta_{\perp} - \delta_0)\}$   
 $\Updownarrow$   
 $\{-(\delta_{\parallel} - \delta_0), \pi - (\delta_{\perp} - \delta_0)\}$   
**Ambiguità che si può rompere studiando l'intensità relativa onda dominante  $p$  e onda  $s$  del  $K^*$  in funzione di  $m(K_S \pi^0)$**

# BaBar: misura del segno di $\cos 2\beta$

$\cos 2\beta$  misurato mediante analisi angolare  $CP(t)$  del campione  $B^0 \rightarrow J/\psi(K_S \pi^0)^* 0$  (solo 104 eventi taggati in  $82 \text{ fb}^{-1}$ )

- Il fit con  $\sin 2\beta$  libero:  $\cos 2\beta = +3.32^{+0.76}_{-0.96} (\text{stat}) \pm 0.27 (\text{syst})$   
 $\sin 2\beta = -0.10 \pm 0.57$
- Fit con  $\sin 2\beta = 0.731$ :  $\cos 2\beta = +2.72^{+0.50}_{-0.79} \pm 0.27$



- Assumendo che  $\sin 2\beta$  e  $\cos 2\beta$  vengano dallo stesso angolo  $2\beta$ , simulando 2000 toy MC:

Si escluderebbe  $\cos 2\beta = -(1 - \sin^2 2\beta)^{1/2} = -0.68$   
@ 89% CL

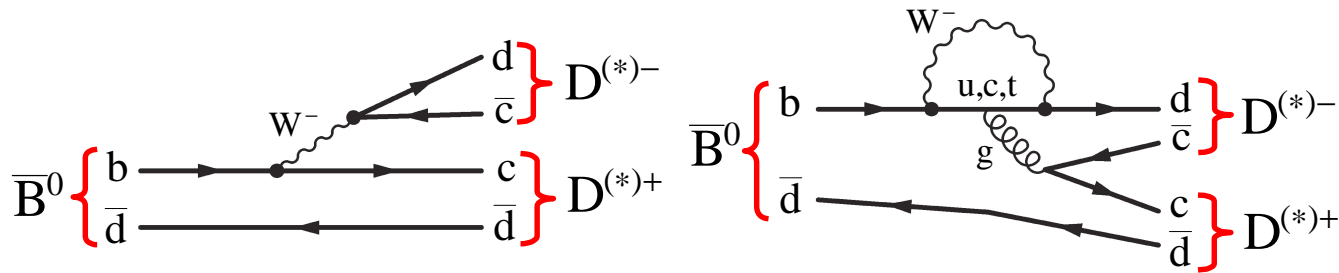
---

Misure  $CP(t)$  in  $b \rightarrow c\bar{c}d$

# Modi Cabibbo-soppressi

$B^0 \rightarrow D^{(*)}D^{(*)}$  e  $B^0 \rightarrow J/\psi\pi^0$  :

Cabibbo soppressi livello albero



Albero misura  $\sin 2\beta$   
dalla transizione  $b \rightarrow c\bar{c}d$   
(consistenza con  $J/\psi K_{S,L}$ )

Pinguini sono previsti  $O(<10\%)$  nel MS  
**ma potrebbero essere aumentati  
da nuova fisica**

# Analisi angolare CP(t) in $D^{*+}D^{*-}$

$$f_{\pm}(\theta_{\text{tr}}, \Delta t) \propto \exp(-|\Delta t|/\tau_B) \left\{ G(\lambda_i, K; \theta_{\text{tr}}) \right. \\ \left. \pm [S(\lambda_i, K; \theta_{\text{tr}}) \sin(\Delta m \Delta t) - C(\lambda_i, K; \theta_{\text{tr}}) \cos(\Delta m \Delta t)] \right\}$$

$K = 1 - 2R_{\perp}$  angular dilution

$$R_{\perp} = 0.063 \pm 0.055 \pm 0.009$$

Quasi completamente CP-pari

BaBar PRL (hep-ex/0306052)

120 eventi taggati con  $81\text{fb}^{-1}$

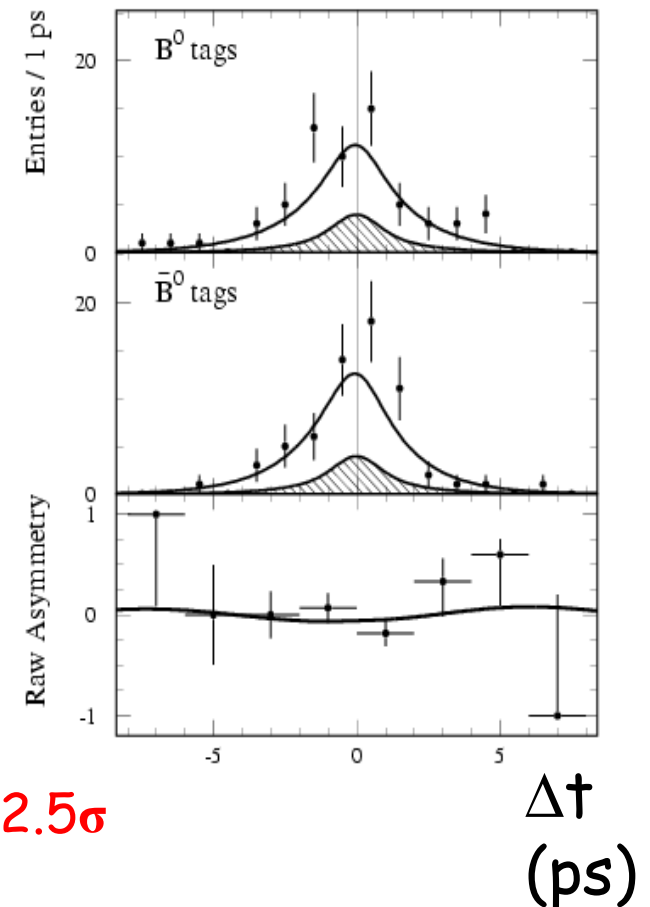
$$\text{Im}\lambda_{+} = 0.05 \pm 0.29 \pm 0.10$$

$$|\lambda_{+}| = 0.75 \pm 0.19 \pm 0.02$$

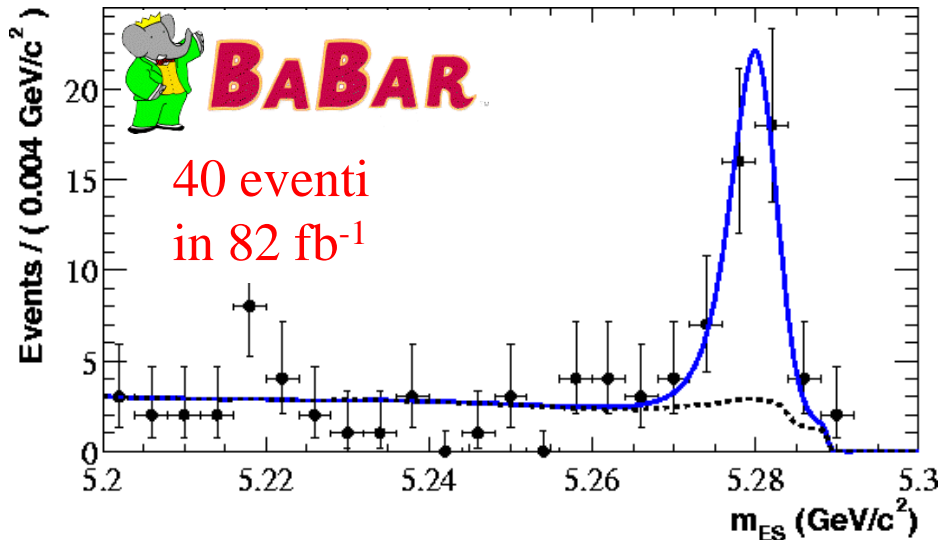
Consistenza rispetto al charmonio a livello di  $2.5\sigma$

IFAE, TORINO 15 aprile 2004

Lorenzo Vitale



# $B^0 \rightarrow J/\psi \pi^0$

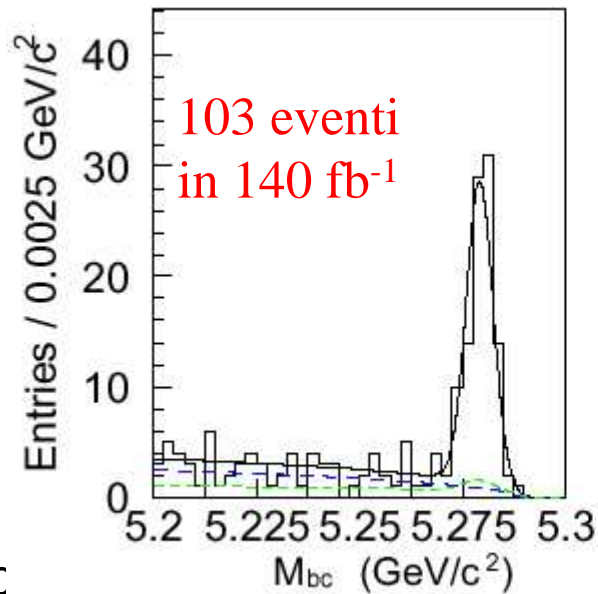


PRL91, 061802 (2003)

$$S_{J/\psi \pi^0} = 0.05 \pm 0.49_{(\text{stat})} \pm 0.16_{(\text{syst})}$$

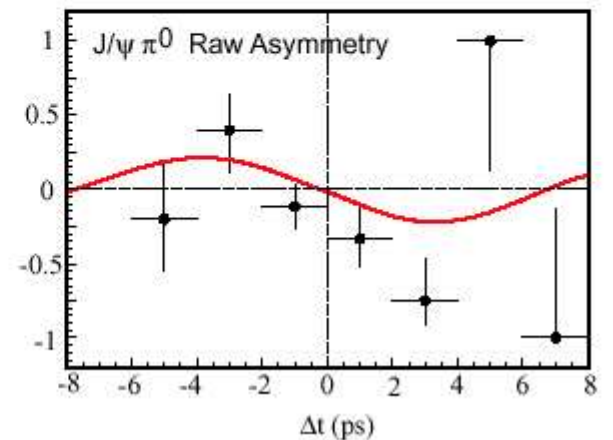
$$C_{J/\psi \pi^0} = 0.38 \pm 0.41_{(\text{stat})} \pm 0.09_{(\text{syst})}$$

**BELLE**  $\rightarrow$   
preliminare

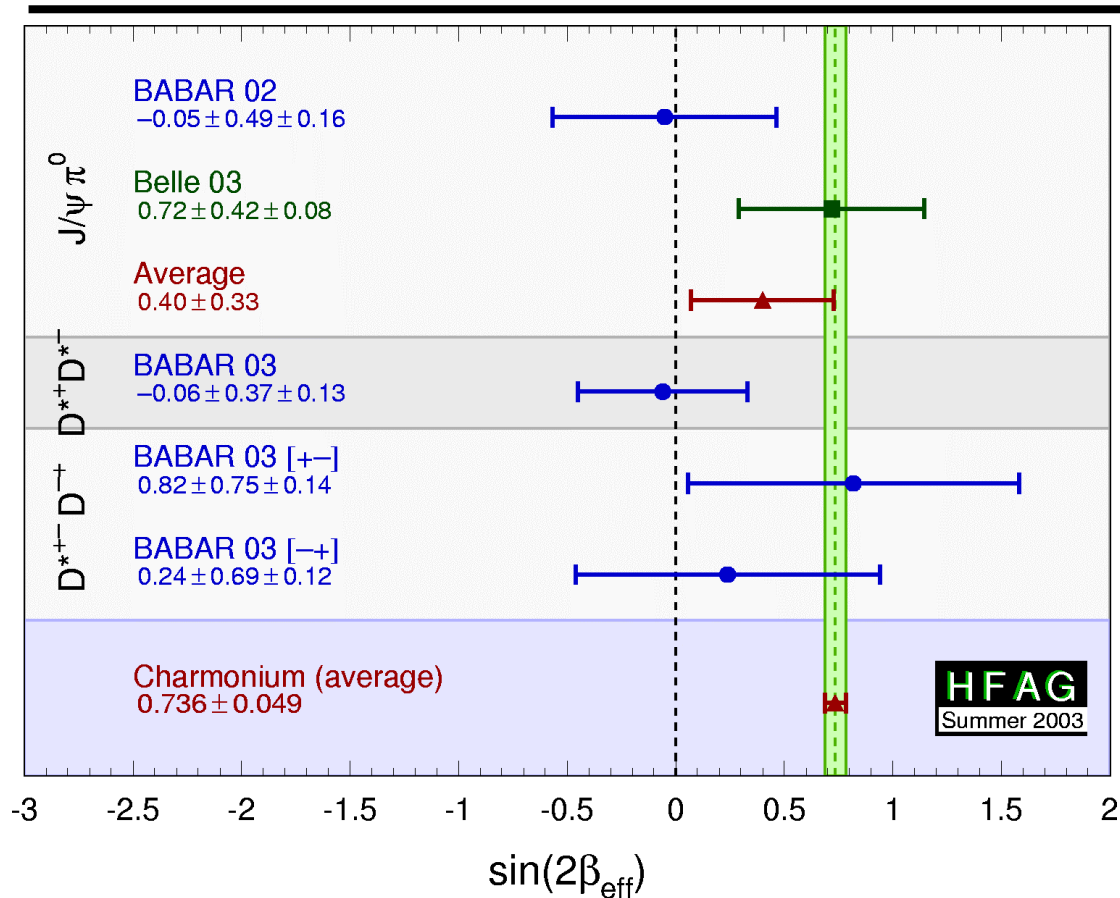


$$S_{J/\psi \pi^0} = -0.72 \pm 0.42 \pm 0.08$$

$$A_{J/\psi \pi^0} = -0.01 \pm 0.29 \pm 0.07$$



# Riassunto risultati



Complessivamente in questi modi c'è quindi una discreta consistenza col charmonio

$$S = \frac{2\Im\lambda}{1+|\lambda|^2}$$

$$C = \frac{1-|\lambda|^2}{1+|\lambda|^2}$$

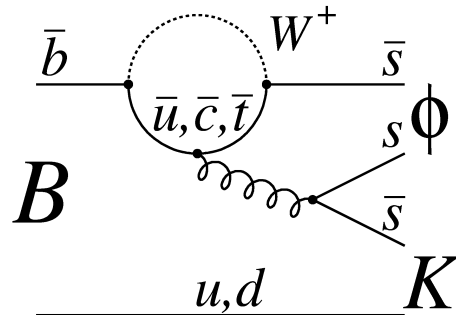


---

Misure  $CP(t)$  in  $b \rightarrow s\bar{s}s$  ( $s\bar{d}d$ )

# Modi dominati dai pinguini

- I modi dominati dai pinguini, ad es.  $B^0 \rightarrow \phi K^0$ ,



- In visione "naive":
  - $C=0$
  - $S=-\eta_f \cdot \sin 2\beta$

sono sensibili a nuova fisica attraverso il loop.

- Anche qui si misura un valore  $\sin 2\beta^{\text{eff}}$  che può differire da  $\sin 2\beta$  nel MS al più di 0.2-0.4, a seconda del modo

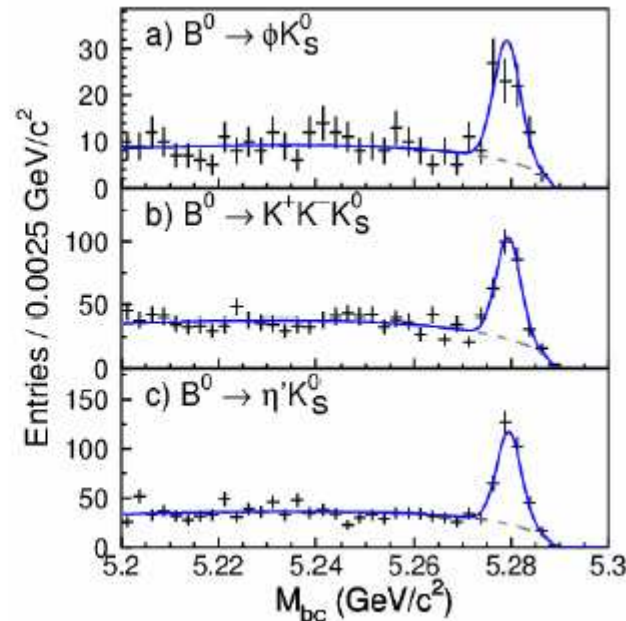
- **GRANDE INTERESSE HANNO DESTATO RECENTEMENTE LE MISURE PUBBLICATE DA BELLE**

D.London and A.Soni, PLB 407,61-65 (1997).  
 Y.Grossman, Z.Ligeti, Y.Nir, H.Quinn, PRD68,015004 (2003).  
 M.Gronau, Y.Grossman, J.Rosner, PLB579,331-339 (2004).

# Risultati BELLE, PRL 91, 261602 (2003)

140 fb<sup>-1</sup>

- B → φK<sub>S</sub>: 106 candidates
- B → K<sup>+</sup>K<sup>-</sup>K<sub>S</sub>: 361 candidates
- B → η'K<sub>S</sub>: 421 candidates



CP dispari

CP pari

CP dispari

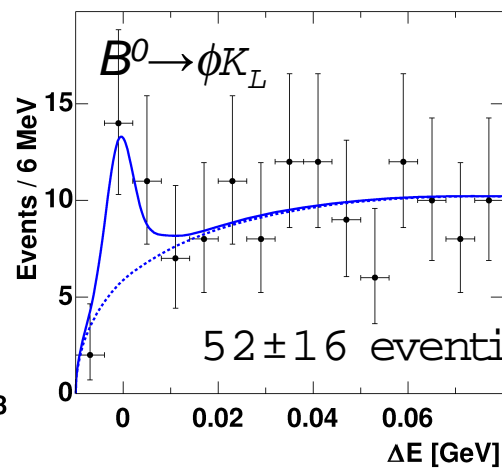
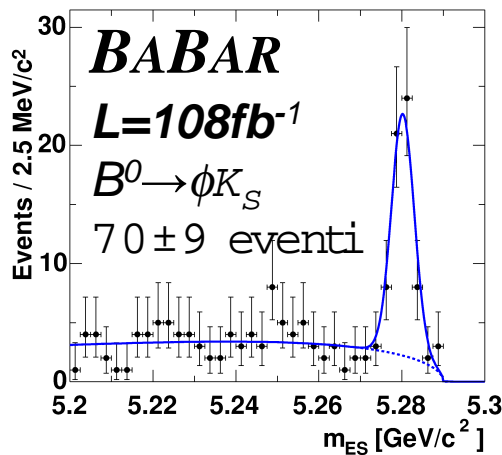
3.5 σ

Modo	S	C
$B^0 \rightarrow \phi K_S$	$-0.96 \pm 0.50^{+0.09}_{-0.11}$	$0.15 \pm 0.29 \pm 0.07$
$B^0 \rightarrow K^+ K^- K_S$	$-0.51 \pm 0.26 \pm 0.05^{+0.18}$	$0.17 \pm 0.16 \pm 0.04$
$B^0 \rightarrow \eta' K^0$	$+0.43 \pm 0.27 \pm 0.05$	$0.01 \pm 0.16 \pm 0.04$

Interpretato da BELLE come evidenza di nuova fisica

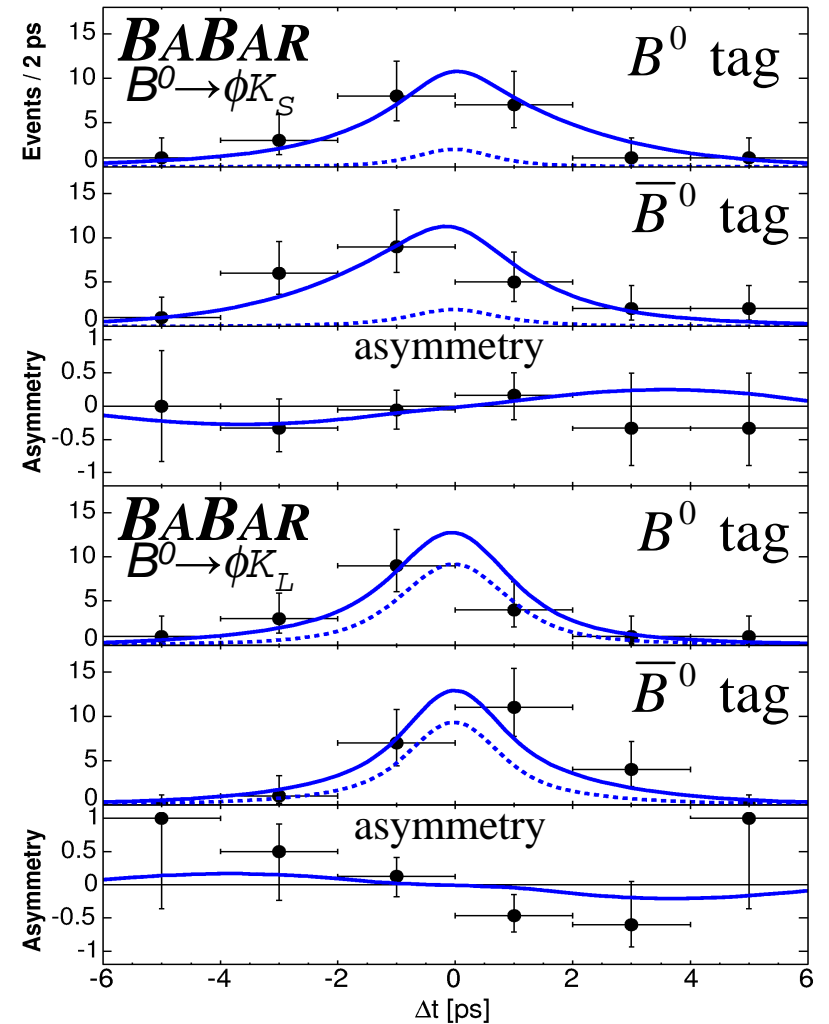
# BaBar $B^0 \rightarrow \phi K_S$ ; $B^0 \rightarrow \phi K_L$ (nuovo)

- Nel MS, misura:  
 $\sim +\sin 2\beta$ , per  $B^0 \rightarrow \phi K_S$   
 $\sim -\sin 2\beta$ , per  $B^0 \rightarrow \phi K_L$



$$S_{\phi K^0} = +0.47 \pm 0.34(\text{stat})^{+0.08}_{-0.06}(\text{syst})$$

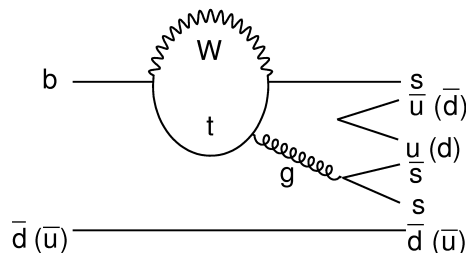
$$C_{\phi K^0} = +0.10 \pm 0.33(\text{stat}) \pm 0.10(\text{syst})$$



**BaBar consistente col MS e  $2.4 \sigma$  da BELLE**

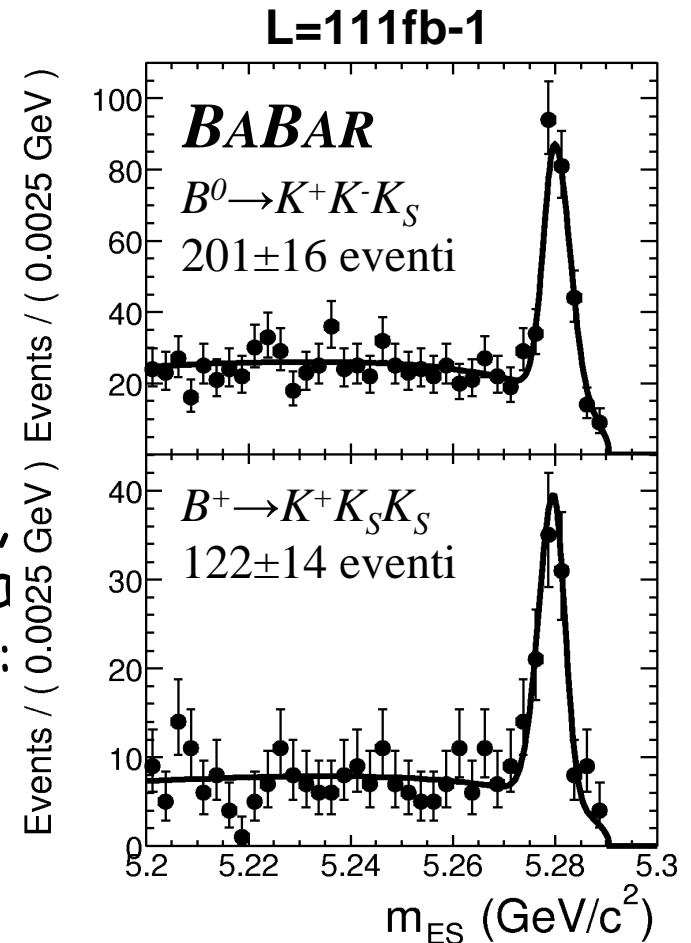
# BaBar $B^0 \rightarrow K^+ K^- K_S$ ; $B^+ \rightarrow K^+ K_S K_S$

- Decadimento a 3 corpi  $B^0 \rightarrow K^+ K^- K_S$  (escludendo eventi  $B^0 \rightarrow \phi K^0$ );



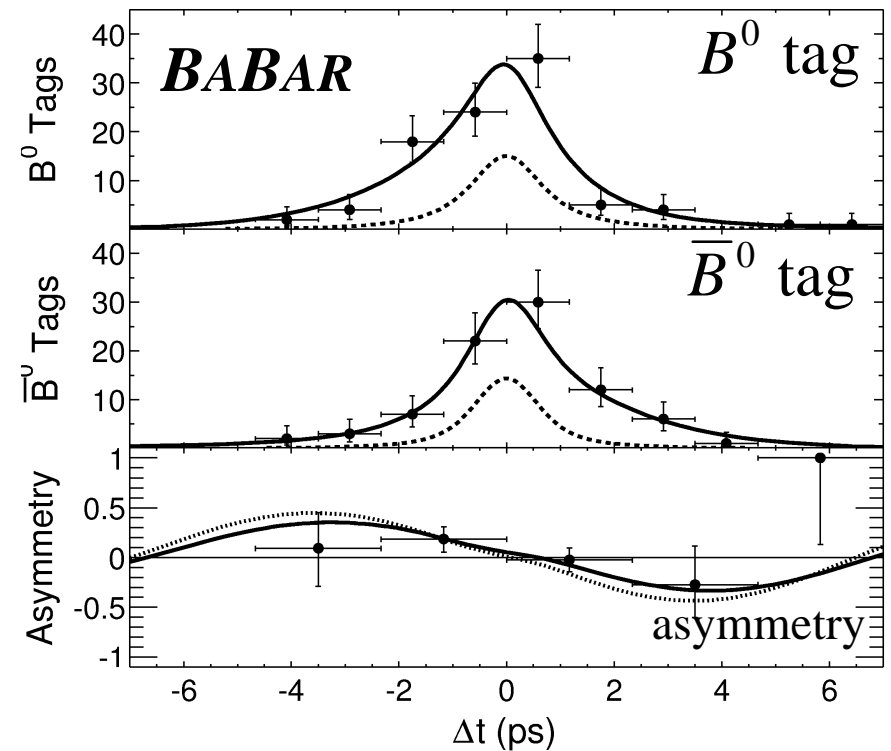
- Si misurano anche i BR per determinare la frazione  $CP$ -dispari, attraverso le relazioni di simmetria di isospin [Belle PRD69, 012001 (2004)]:

$$f_{\text{even}} = \frac{2\Gamma(B^+ \rightarrow K^+ K_S^0 K_S^0)}{\Gamma(B^0 \rightarrow K^+ K^- K^0)}$$



# CP(t) con $B \rightarrow K K K_S$

- Determinazione  $f_{\text{even}}$  :
  - $\text{Br}(B^0 \rightarrow K^+ K^- K_S^0) = (23.8 \pm 2.0 \pm 1.6) \times 10^{-6}$
  - $\text{Br}(B^+ \rightarrow K^+ K_S^0 K_S^0) = (10.7 \pm 1.2 \pm 1.0) \times 10^{-6}$
  - $f_{\text{even}} = 0.98 \pm 0.15 \pm 0.04$
  - Confermato anche dalla distribuzione angolare;
- Quindi  $S \sim -\sin 2\beta$ ;

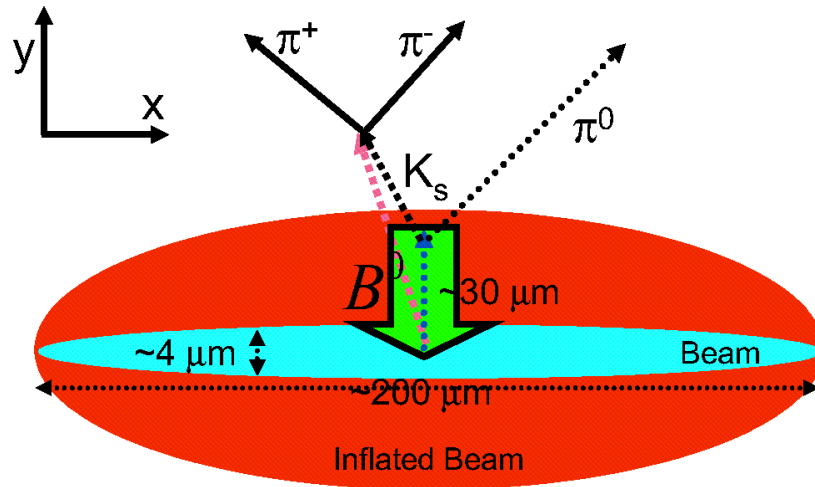


$$S_{K^+ K^- K_S^0} = -0.56 \pm 0.25(\text{stat}) \pm 0.04(\text{syst})_{-0.17}^{+0} (f_{\text{even}})$$

$$C_{K^+ K^- K_S^0} = -0.10 \pm 0.19(\text{stat}) \pm 0.09(\text{syst})$$

# BaBar $B^0 \rightarrow \pi^0 K_S$

- Misura  $S \sim \sin 2\beta$  nel MS;
- La direzione del  $K_S$  usata per determinare il vertice del  $B^0$ :
  - Vincolo in x-y del beam-spot;

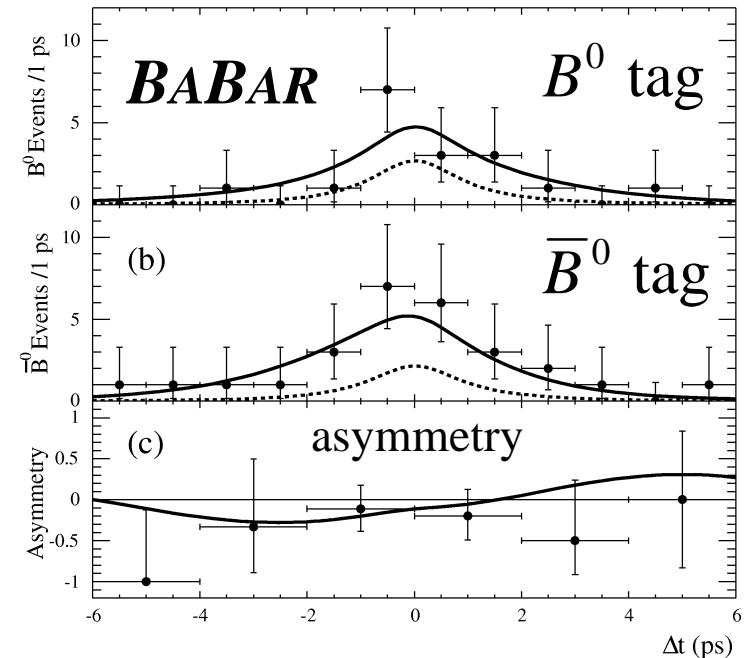
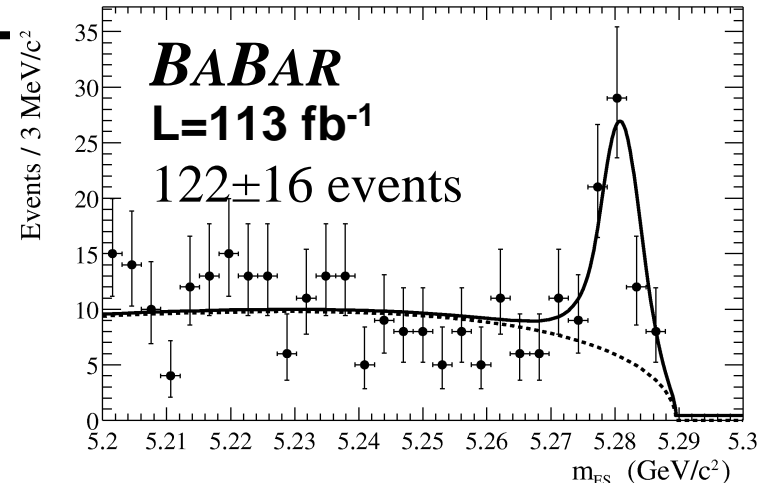


$$S_{K_S^0 \pi^0} = 0.48_{-0.47}^{+0.38} (\text{stat}) \pm 0.11 (\text{syst})$$

$$C_{K_S^0 \pi^0} = 0.40_{-0.28}^{+0.27} (\text{stat}) \pm 0.10 (\text{syst})$$

IFAE, TORINO 15 aprile 2004

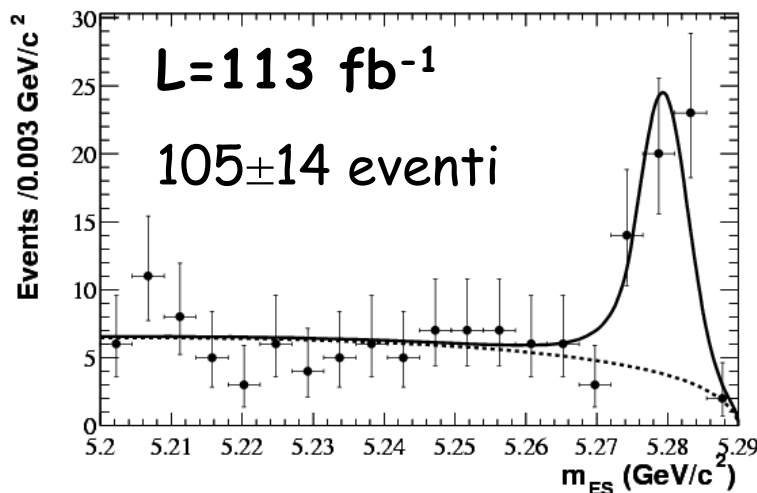
Lorenzo Vitale



$\Delta t$  (ps)

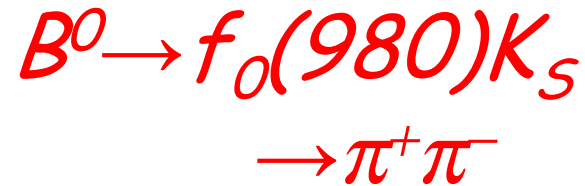
# BaBar $B^0 \rightarrow K^* \gamma (K^* \rightarrow K_S \pi^0)$

- Quasi self-tagging grazie all'elicità del fotone
- Misura  $S \sim 0$  ( $2m_s/m_b \sin 2\beta$ ) nel  $MS$
- Però nuova fisica potrebbe aumentare il rate di decadimenti ad una data elicità e quindi  $S \neq 0$
- Tecnica ricostruzione vertice simile a  $B^0 \rightarrow \pi^0 K_S$  validata in entrambe le analisi con
  - $B^0 \rightarrow J/\psi K_S$  e  $B^+ \rightarrow \pi^+ K_S$ , ignorando  $J/\psi$  o  $\pi^+$
  - Vita media  $B^0$



$$S = 0.25 \pm 0.63_{(\text{stat})} \pm 0.14_{(\text{syst})}$$
$$C = -0.56 \pm 0.32_{(\text{stat})} \pm 0.09_{(\text{syst})}$$

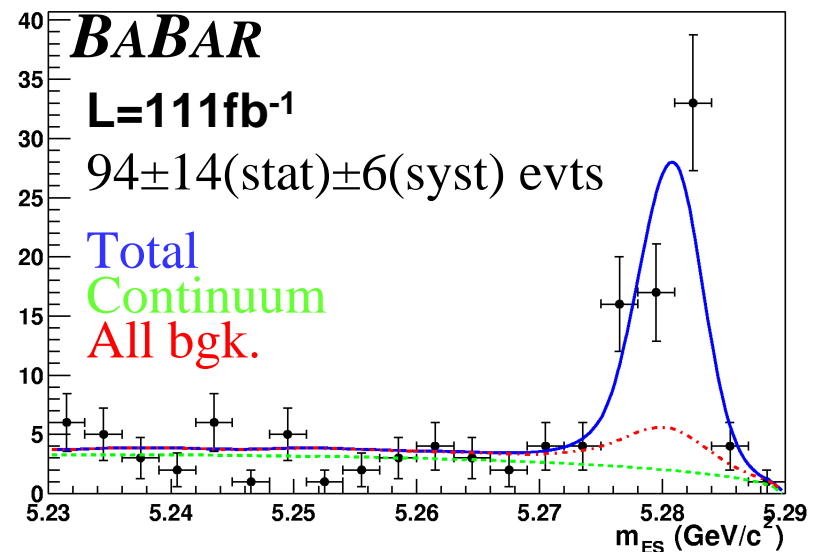




- Studi recenti [hep-ph/0011191 (2000)] sulla struttura del mesone scalare  $f_0(980)$  favoriscono stato  $qq$ .
- Decadimento potrebbe essere pinguino  $b \rightarrow s\bar{s}s$  dato che:
  - $s\bar{s}$  consistente;  $b \rightarrow \bar{u}us$  albero doppiamente Cabibbo soppresso rispetto al leading penguin.
- In questo caso il decadimento misura:  $S_{f_0 K_S^0} \cong -\sin 2\beta$

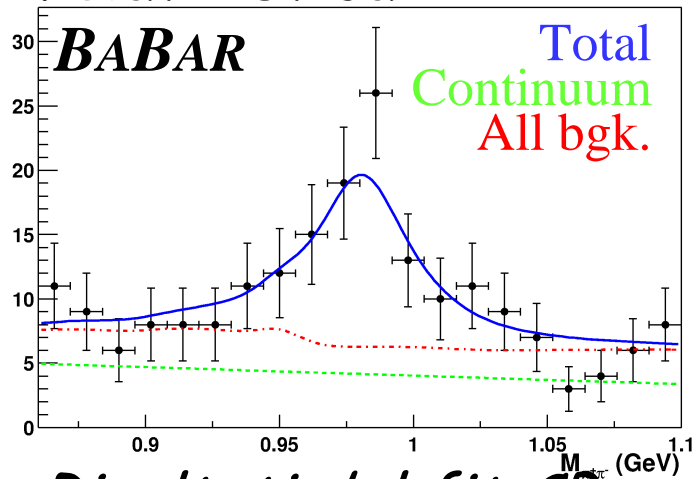
### Analisi Quasi 2-body :

Si taglia sul Dalitz plot per ridurre contributi da  $\rho_0$  e  $f_0(1370)$



# CP fit of $B^0 \rightarrow f_0(980)K_S$

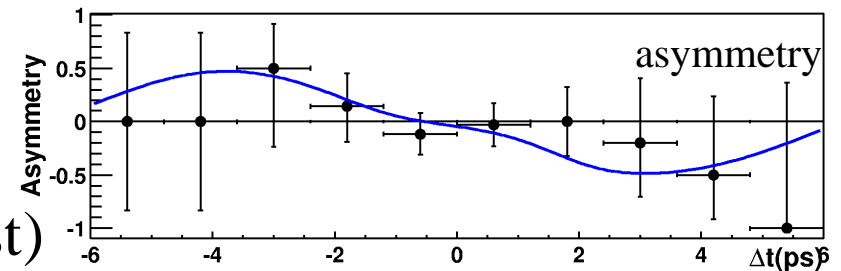
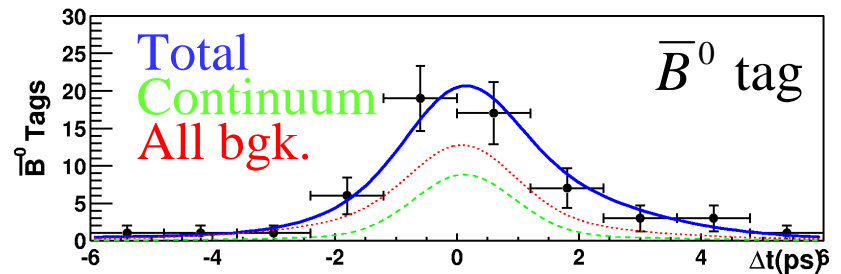
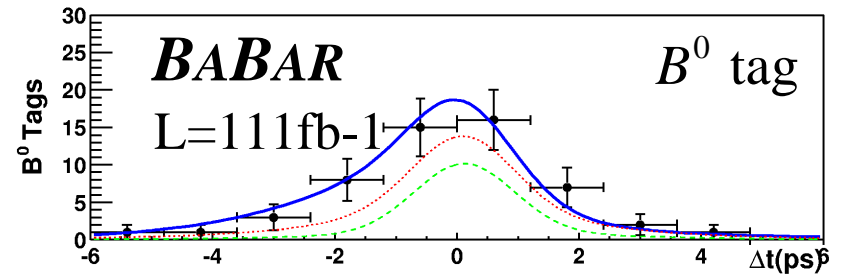
- Consistency check: fit dello spettro di massa  $\pi^+\pi^-$  con Breit-Wigner relativistica



- Risultati del fit CP:

$$S_{f_0 K_S^0} = -1.62^{+0.56}_{-0.51} (\text{stat}) \pm 0.10 (\text{syst})$$

$$C_{f_0 K_S^0} = 0.27 \pm 0.36 (\text{stat}) \pm 0.12 (\text{syst})$$

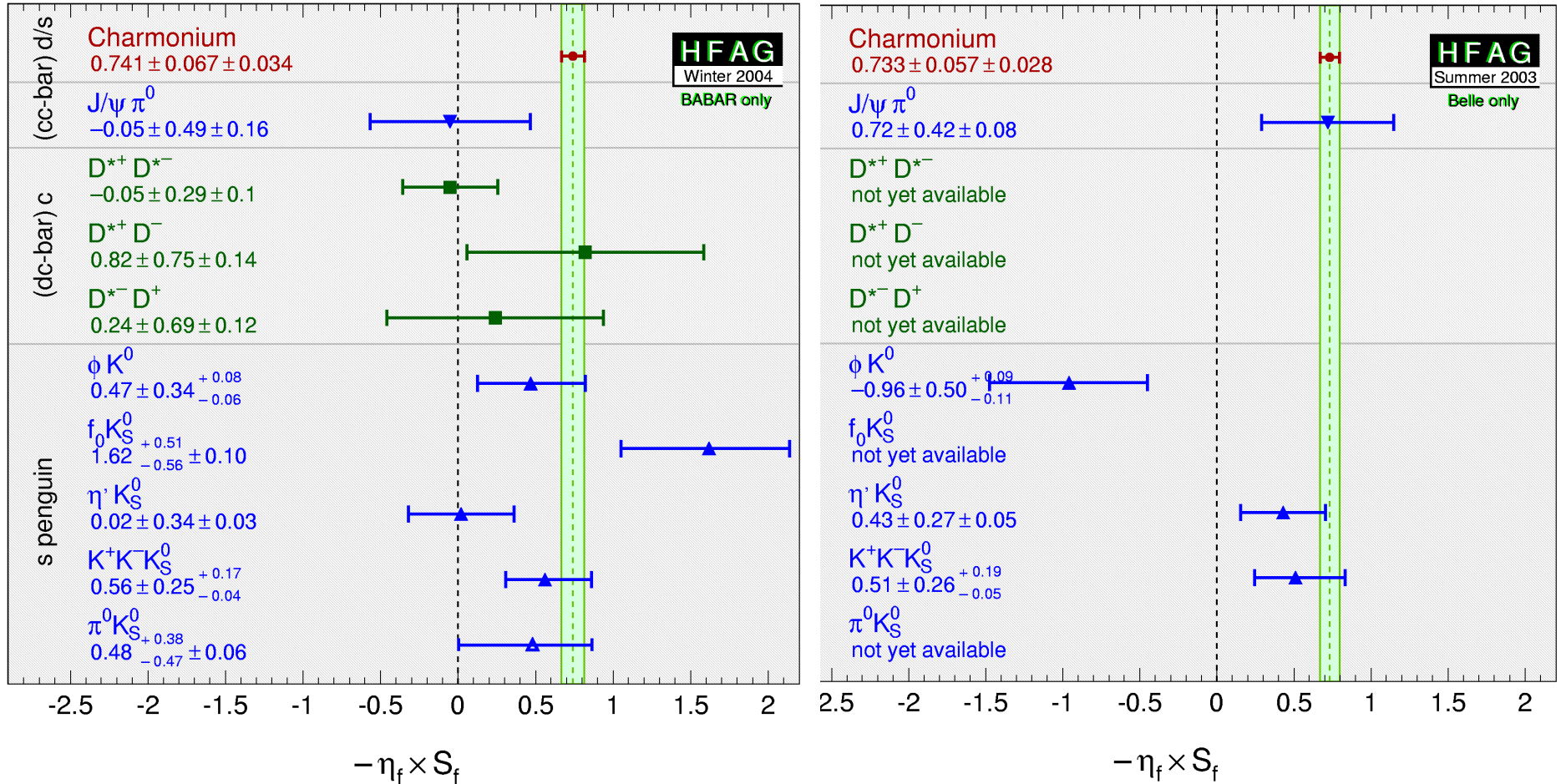


# Riassumendo

## BaBar

## vs.

## BELLE



# CONCLUSIONI

---

- $\sin 2\beta$  misurato con precisione nel charmonio
- Segno di  $\beta$  da  $J/\psi K^*$  ( $K^* \rightarrow K_S \pi^0$ )
- Molte misure nuove
- Risultati consistenti per  $\sin 2\beta$  nei canali Cabibbo soppressi e dominati dai pinguini
- Con la possibile eccezione di
  - *Misura di BELLE in  $B^0 \rightarrow \phi K_S$*
  - *Media delle misure non charmonio*