

Violazione di CP nei B al LEP e al Tevatron

Vitaliano Ciulli

Scuola Normale Superiore e INFN-Pisa

LEP Trieste - XII Convegno sulla Fisica al LEP

Trieste 26-28 Aprile 2000

Introduzione

Violazione di CP nei decadimenti del B misurata al LEP e al Tevatron nei canali:

- $B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0$
 - asimmetria $\sim O(1)$
- $B^0 \rightarrow l^\pm X$, $B^0 \rightarrow$ inclusivo
 - asimmetria $< 10^{-2}$

In entrambe i casi l'asimmetria e' dovuta al mixing tra B^0 e $\overline{B^0}$, ma in un modo sostanzialmente diverso

Il canale “d’oro”: $B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0$

Interferenza tra il decadimento diretto e quello attraverso il mixing:

$$\begin{array}{c}
 B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0 \\
 \swarrow \quad \searrow \\
 \bar{B}^0
 \end{array}
 \quad \Rightarrow \quad
 \begin{aligned}
 A(t) &= \frac{\Gamma(B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0) - \Gamma(\bar{B}^0 \rightarrow J/\psi K_S^0)}{\Gamma(B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0) + \Gamma(\bar{B}^0 \rightarrow J/\psi K_S^0)} \\
 &= -\sin 2\beta \sin \Delta m_d t
 \end{aligned}$$

Nel Modello Standard:
$$\beta = \arg\left(\frac{V_{cd} V_{cb}^*}{V_{td} V_{tb}^*}\right)$$

e dalle misure di Δm_d , Δm_s , ϵ_K , V_{ub}/V_{cb} :

$$\sin 2\beta = 0.72 \pm 0.6 \quad [\text{F. Parodi } et. al., \text{ hep-ex/9903063}]$$

Asimmetria $\sim O(1)$, ma branching ratio molto piccolo:

$$B(B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0) = (8.9 \pm 1.2) \times 10^{-4} [\text{PDG}]$$

Selezione degli eventi

$$J/\psi \rightarrow e^+e^-, \mu^+\mu^-$$

$$K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$$

LEP:

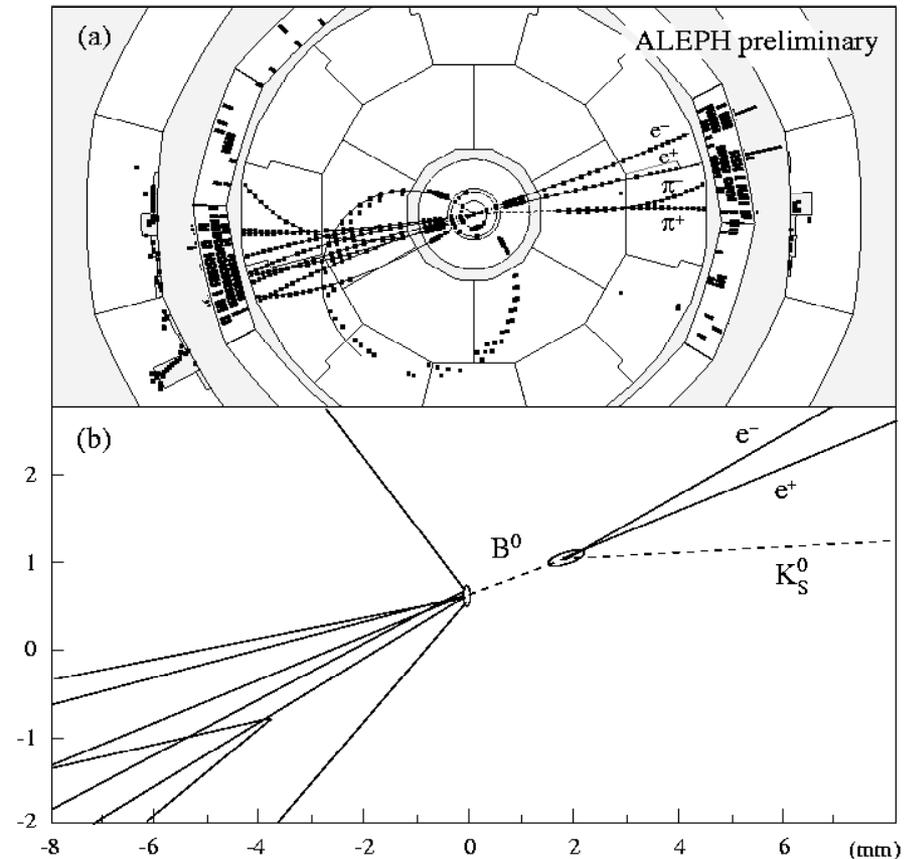
- energia del candidato $B > 20$ GeV
- vertice secondario ricostruito

	ALEPH	OPAL
eff.(%)	28 ± 2	20 ± 2

CDF:

- usa solo $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$, raccolti con il dimuon trigger
- $P_T(B) > 4.5$ GeV
- due campioni: con e senza vertice secondario ricostruito

Un esempio molto chiaro di un candidato nei dati:



LEP:

- con $\sim 4\text{M}$ di $Z \rightarrow q\bar{q}$:

	<i>ALEPH</i>	<i>OPAL</i>
Candidati	23	24
Purezza (%)	71-12	60-8
Segnale	16-3	14-2
Segnale aspettato	9-2	6-2

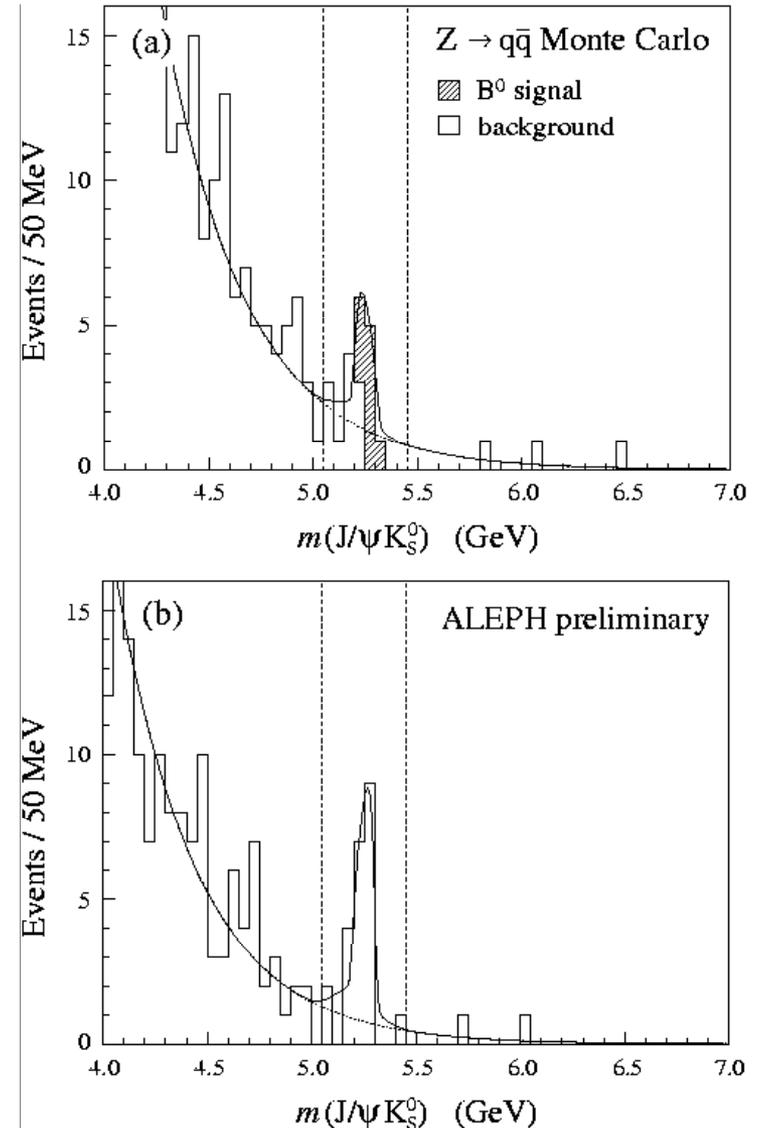
\Rightarrow sono entrambe in favore di un branching ratio piu' alto!

CDF:

395 \pm 31 candidati

- 202 \pm 18 SVX
- 193 \pm 26 non-SVX

con $\sim 40\%$ di purezza



Misura dell'asimmetria

Tempo proprio

misurato dalla lunghezza di decadimento e dall'impulso del B:

$$\sigma_t \sim 0.1 \text{ ps} \ll 1/\Delta m_d \approx 2 \text{ ps}$$

Stato iniziale del B

si usano le caratteristiche dell'evento nell'emisfero del B (tolte le tracce del B stesso) e nell'emisfero opposto:

Carica del jet ($k=0.5$)

Carica totale ($k=0$)

$q \cdot p_L$ della traccia di frammentazione con p_L max

Carica del vertice

$q \cdot p_T$ del leptone

$q \cdot p_L$ del K

} In entrambe
gli emisferi

} Solo in quello
opposto al B

ALEPH: tutti **OPAL:** solo quelli in blu

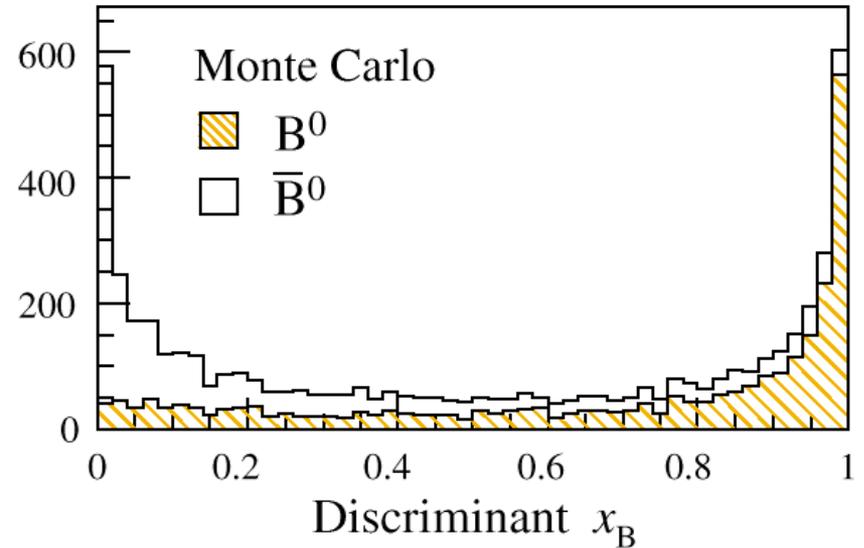
Si combinano in un'unica
variabile discriminante:

Prob. di mistag

ALEPH ~ 25 %

OPAL ~ 33 %

★ uguali per B^0 e \bar{B}^0



CDF usa:

- traccia di frammentazione con p_T relativo al B minimo
- leptone “soft”
- carica dell’altro jet da B

eff.(%)

mistag(%)

37

41

6

19

40

38

★ sia l’efficienza che la probabilità di mistag non sono uguali per B^0 e \bar{B}^0

Fit con la likelihood

Distribuzione del segnale:

$$P_{sig}(t, q) = \frac{e^{-t/\tau_d}}{2\tau_d} (1 - q \sin 2\beta \sin \Delta m_d t)$$

La diluizione q e' data da:

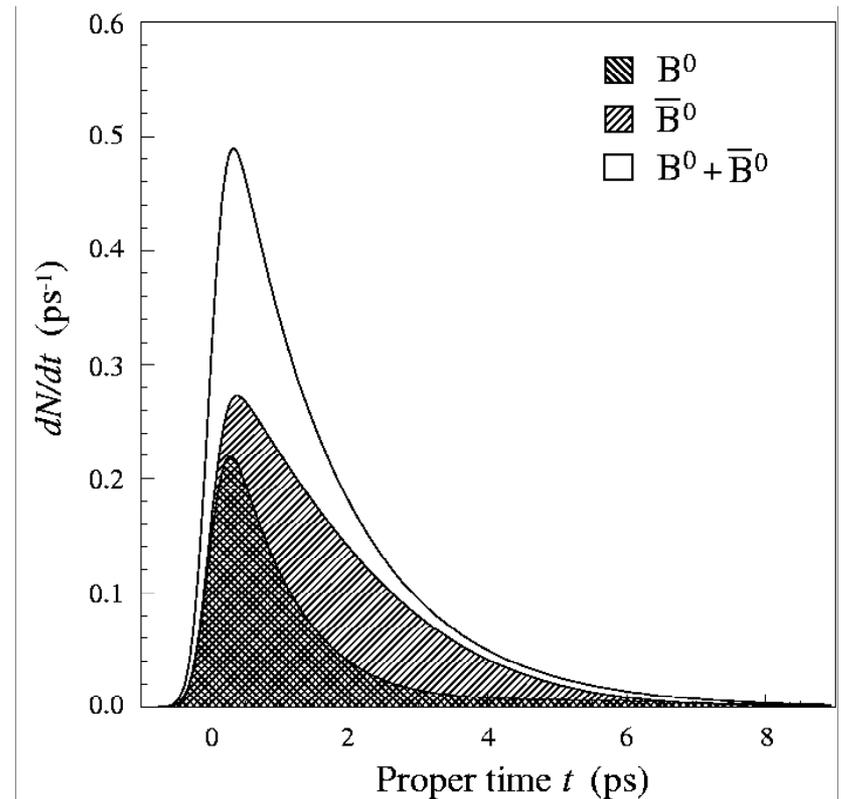
$$q = \frac{2F(x_B)}{F(x_B) + G(x_B)} - 1 = \begin{matrix} +1 & (B^0) \\ -1 & (\bar{B}^0) \end{matrix}$$

dove F e G sono le distribuzioni in x_B dei B^0 / \bar{B}^0 .

→ Convoluzione evento per evento con la risoluzione R

CDF: si deve tener conto anche della differenza nell'efficienza e nel mistag...

Es. per $\sin 2\beta = 0.7$ e $\sigma_t = 0.2$ ps



... definendo le diluizioni q^+ , q^- e le efficienze ε^+ , ε^- per eventi identificati rispettivamente come B^0 e $\overline{B^0}$:

- ◆ le diluizioni q^+ , q^- sono determinate utilizzando $B^\pm \rightarrow J/\psi K^\pm$
→ la diluizione media e' inoltre fissata dalla misura in $B \rightarrow l D^{(*)} X$
- ◆ i rapporti $\varepsilon^+/\varepsilon^-$ sono misurati in $B \rightarrow J/\psi X$

Unbinned likelihood:

$$\ln L = \sum_i \ln[(1 - f_{bkg})P_{sig} \otimes R + f_{bkg}P_{bkg} \otimes R] + \underbrace{\sum_j \frac{1}{2} \left(\frac{f_j(\vec{p}) - \langle f_j \rangle}{\sigma_j} \right)^2}_{\text{solo CDF}}$$

Risultati:

ALEPH

$$0.93 \pm_{0.88}^{0.64} \pm_{0.24}^{0.36}$$

OPAL

$$3.2 \pm_{2.0}^{1.8} \pm 0.5$$

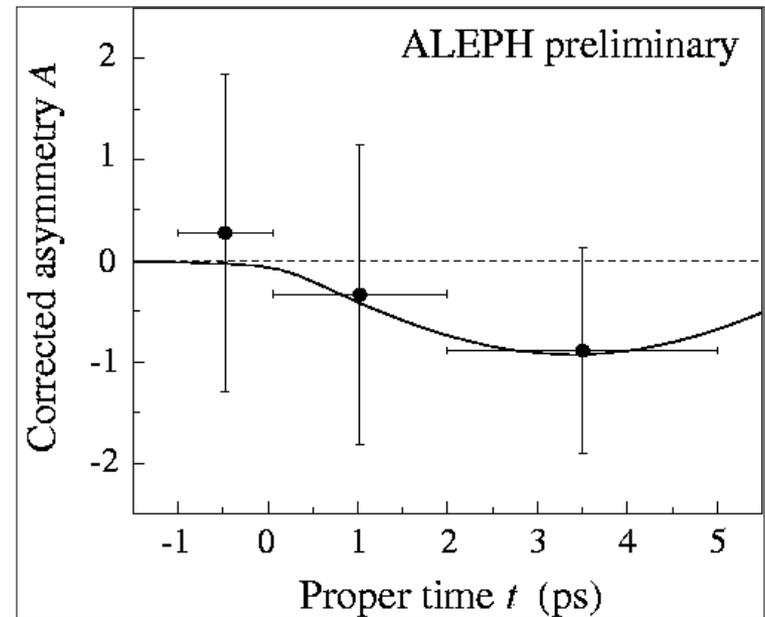
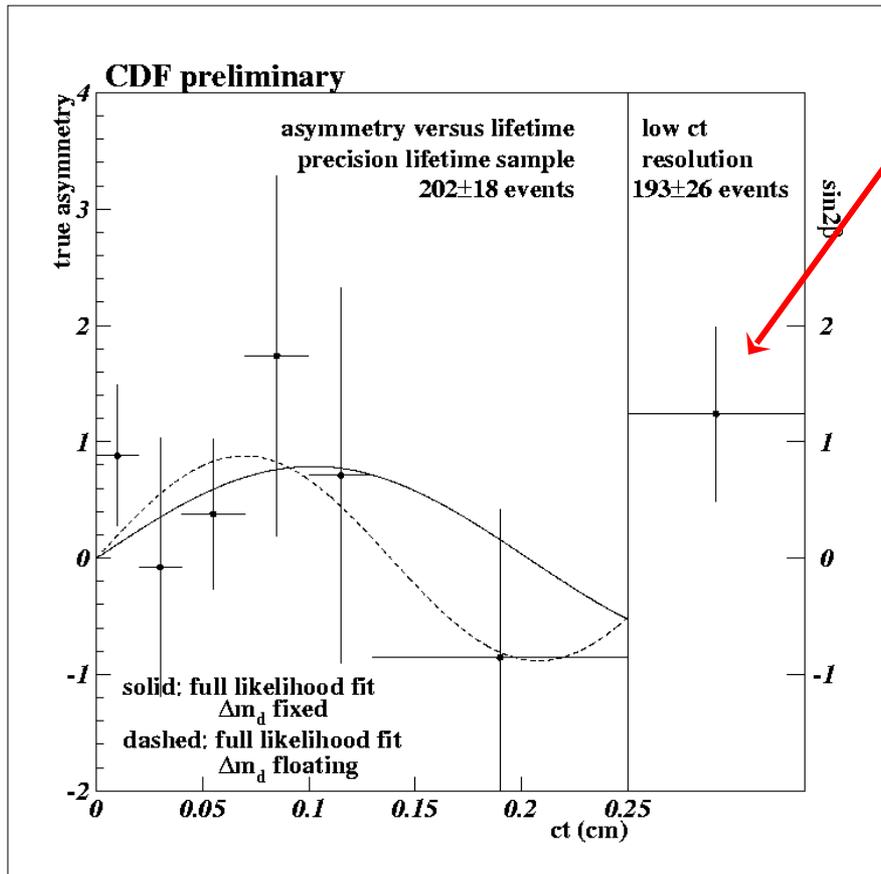
CDF

$$0.79 \pm_{0.44}^{0.41}$$

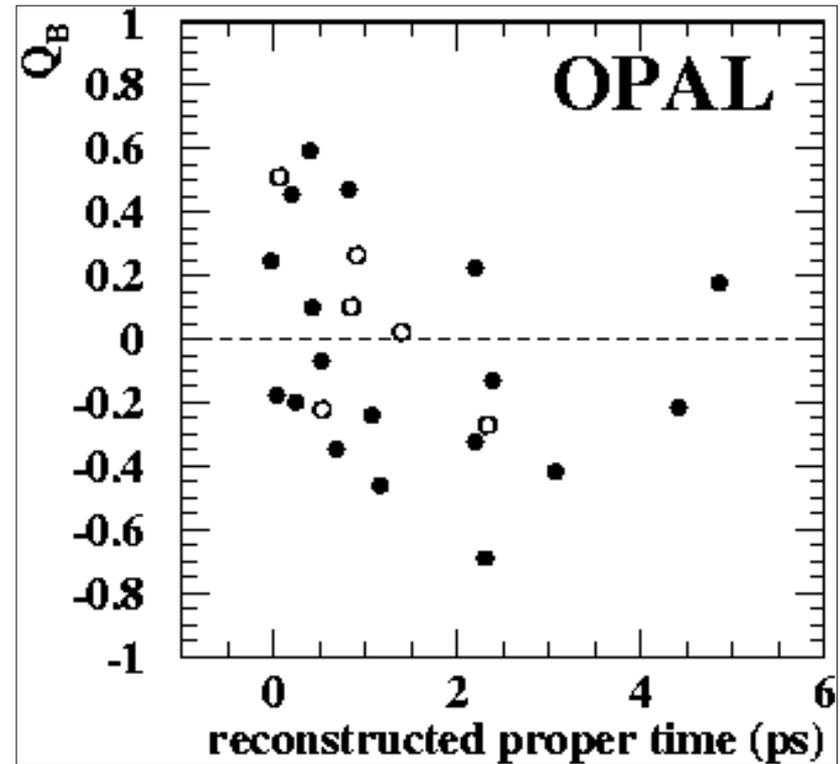
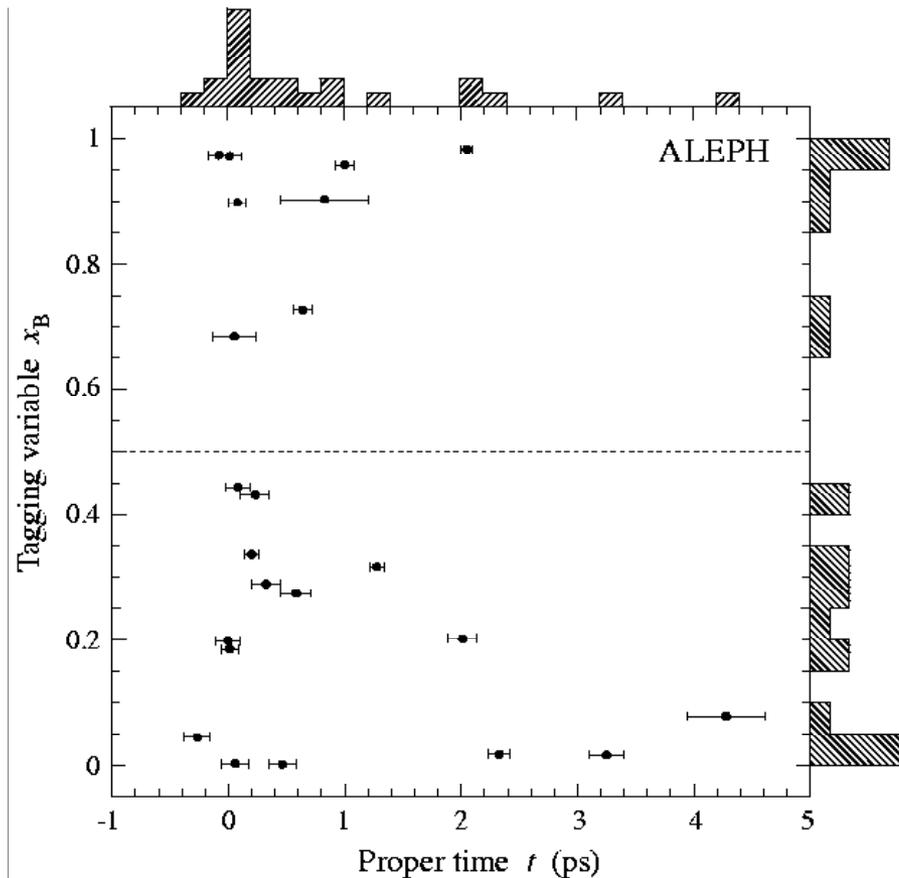
Asimmetria vs tempo proprio

- l'asimmetria media e' corretta per la diluizione dovuta al mistag e al fondo

non-SVX: $\sin 2\beta = 1.24 \pm 0.75$



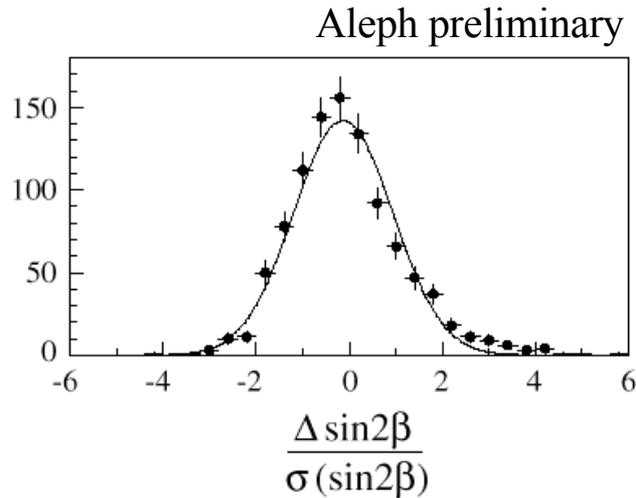
Variabile discriminante vs il tempo proprio



E' visibile un eccesso di $\overline{B^0}$, soprattutto a grandi tempi propri, come ci si aspetta per una asimmetria negativa

Checks ed errori sistematici

Toy MC:



Errore sistematico:

ALEPH	+0.36 -0.24
OPAL	+0.50 -0.46
CDF	± 0.16

→ e' dominato dall'efficienza del tag e dalla probabilita' di mistag

Diluizione:

CDF: mixing in $B^0 \rightarrow J/\psi K^{*0}$

$$q = 1.00 \pm 0.37 \quad (0.9 \pm 0.2 \text{ aspettato})$$

ALEPH: mistag in $B^\pm \rightarrow J/\psi K^\pm$

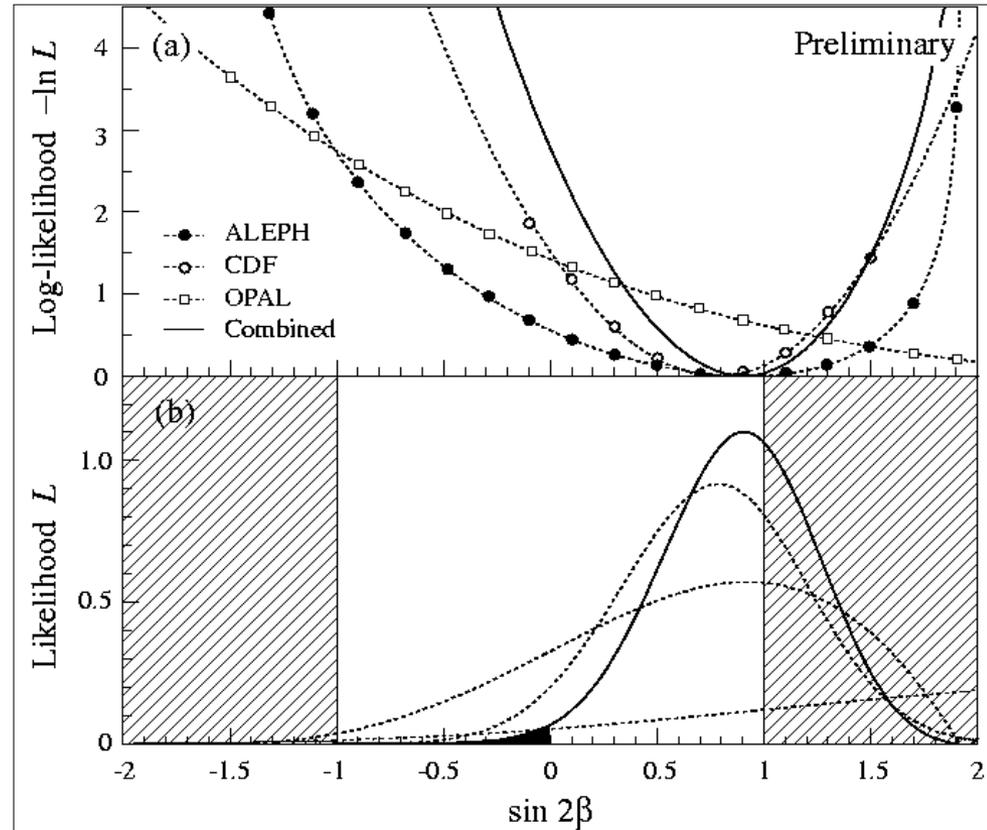
$$25 \pm 6 \% \quad (23 \pm 1 \% \text{ nel MC})$$

OPAL usa invece $B^0 \rightarrow l D^{*\pm}$

Risultato combinato: $\sin 2\beta = 0.91 \pm 0.35$

	Prob($\sin 2\beta < 0$)
CDF solo	7 % (5 %)
tutti	1.5 % (1%)

– tra parentesi la probabilita' se non si normalizza alla regione fisica



Il livello di confidenza che la violazione di CP sia stata osservata e' vicino al 99 %

Violazione di CP nei decadimenti semileptonici e inclusivi

Autostati di massa:

$$B_{H,L} = \frac{1}{\sqrt{2(1+|\varepsilon_B|^2)}} \left[(1 + \varepsilon_B) B^0 \pm (1 + \varepsilon_B) \bar{B}^0 \right]$$

$\varepsilon_B \neq 0 \Rightarrow$ probabilita' diversa per $B^0 \rightarrow \bar{B}^0$ e $\bar{B}^0 \rightarrow B^0$

Asimmetria osservabile:
$$a_{CP} = \text{Im} \left(\frac{\Gamma_{12}}{M_{12}} \right) \approx \frac{4 \text{Re}(\varepsilon_B)}{1 + |\varepsilon_B|^2}$$

- $a_{CP} < 10^{-2}$ nel Modello Standard, ma puo' essere piu' grande in presenza di "nuova fisica"

Asimmetria nei decadimenti semileptonici

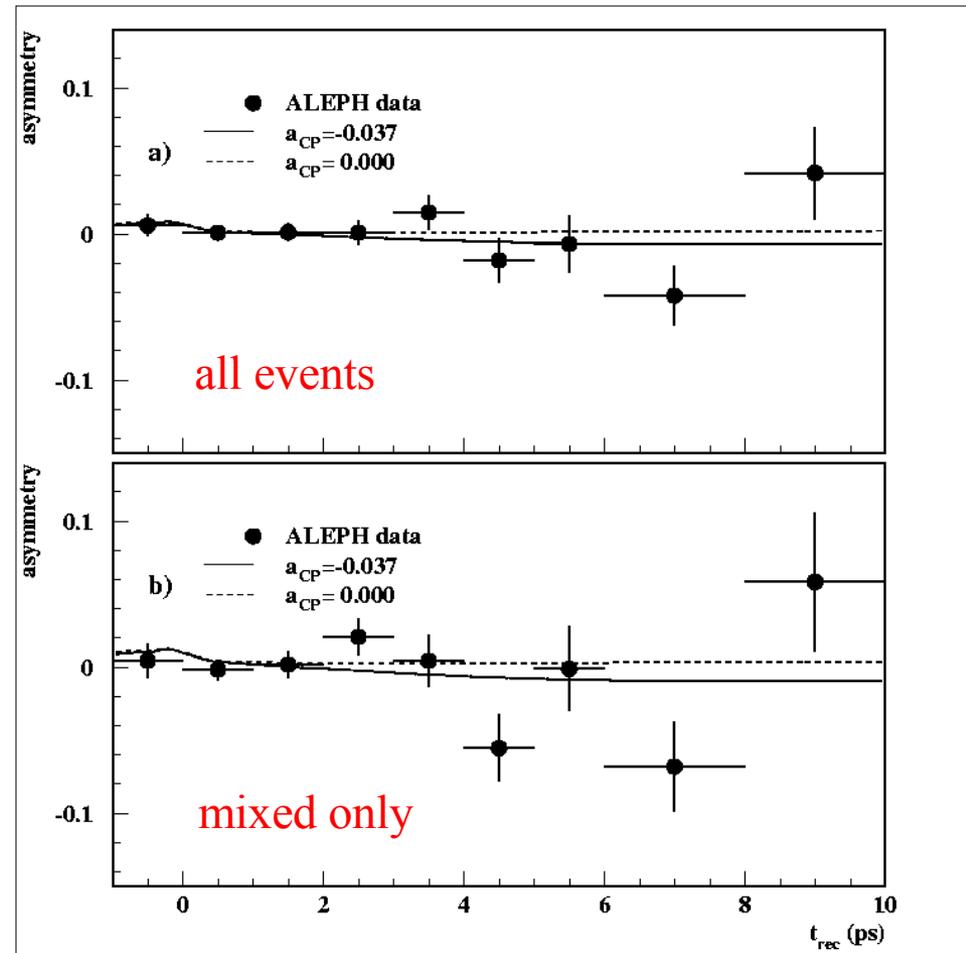
$$P(B^0 \rightarrow B^0) = \Gamma e^{-\Gamma t} \frac{1 + \cos \Delta m t}{2}$$

$$P(B^0 \rightarrow \bar{B}^0) = \Gamma e^{-\Gamma t} \frac{1 - \cos \Delta m t}{2} (1 - a_{CP})$$

$$P(\bar{B}^0 \rightarrow \bar{B}^0) = \Gamma e^{-\Gamma t} \frac{1 + \cos \Delta m t}{2}$$

$$P(\bar{B}^0 \rightarrow B^0) = \Gamma e^{-\Gamma t} \frac{1 - \cos \Delta m t}{2} (1 + a_{CP})$$

Tag dello stato finale con il leptone e dello stato iniziale con la carica del jet, la carica del vertice, ecc.

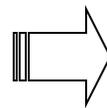


Asimmetria nei decadimenti inclusivi

$$A(t) = \frac{\Gamma(B^0 \rightarrow \text{inclusivo}) - \Gamma(\bar{B}^0 \rightarrow \text{inclusivo})}{\Gamma(B^0 \rightarrow \text{inclusivo}) + \Gamma(\bar{B}^0 \rightarrow \text{inclusivo})}$$

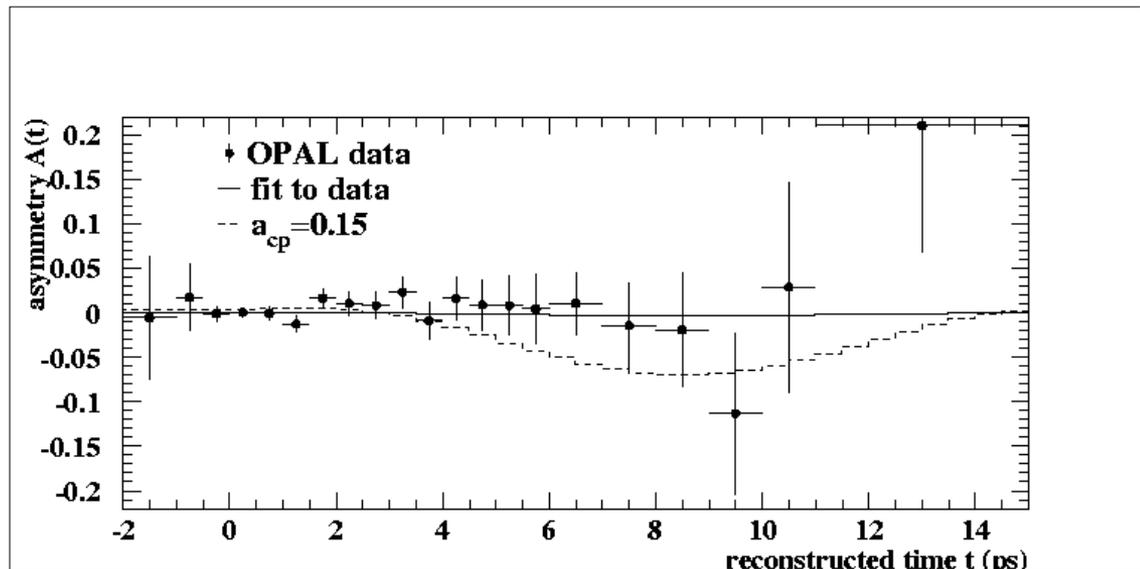
$$= a_{\text{CP}} \left[\frac{\Delta m}{2\Gamma} \sin \Delta m t - \sin^2 \left(\frac{\Delta m t}{2} \right) \right]$$

Se diversi stati finali hanno efficienze di selezione diverse



$$A(t) = c_{\text{CP}} \sin \Delta m t - a_{\text{CP}} \sin^2 \left(\frac{\Delta m t}{2} \right)$$

Necessario solo il tag dello stato iniziale + misura del tempo proprio del B



Risultati per $\text{Re}(\epsilon_B)$

	<i>ALEPH(prel)</i>	<i>DELPHI(prel)</i>	<i>OPAL</i>
leptoni	-0.010 \pm 0.004	-0.006 \pm 0.002	-0.002 \pm 0.003
inclusivo	-0.002 \pm 0.004	-0.005 \pm 0.003	-0.001 \pm 0.004

I risultati sono tutti compatibili tra loro e con asimmetria nulla

Trascurando le correlazioni (comunque piccole):

$$\text{Re}(\epsilon_B) = -0.0040 \pm 0.0037$$

Conclusioni

Nel canale $B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0$ le misure combinate di CDF, ALEPH e OPAL danno:

$$\sin 2\beta = 0.91 \pm 0.35$$

$$\text{Prob}(\sin 2\beta < 0) = 1.5\%$$

\Rightarrow Prima indicazione di una larga violazione di CP

Nei decadimenti semileptonici e inclusivi, invece, nessuna asimmetria e' stata finora osservata