

Ricerca di fisica oltre il Modello Standard alle B-Factory

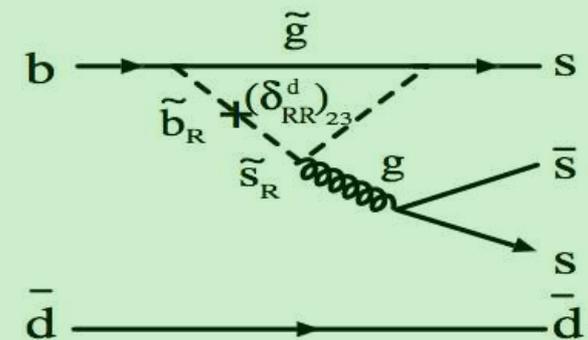
Emanuele Di Marco
Universita' di Roma "La Sapienza" & INFN Roma

Roma, 19 Maggio 2006

Ricerca indiretta di nuova fisica

- Il Modello Standard e' una teoria effettiva valida fino alla scala Λ .
- **Fisica del flavour: $\Lambda \sim 100-1000 \text{ TeV}$**
- Particelle non previste dal Modello Standard potrebbero essere
- prodotte ai collider adronici come LHC
 - Ricerca “diretta” di nuova fisica ad alte energie

- Le B-Factory BABAR & Belle: collider e^+e^- ad energia fissata
- Test della struttura del flavour: **scale di energia caratteristiche del flavour accessibili nei loop**
 - Particelle di nuova fisica virtuali nei loop
 - Gli accoppiamenti delle nuove particelle possono produrre ulteriori violazioni di CP



Ricerca complementare rispetto ai collider adronici

Le strade per la nuova fisica

Transizioni $b \rightarrow s$:

- $b \rightarrow s$ gluone: asimmetrie di CP(t): ricerca di accoppiamenti complessi (nuove fasi) per nuove particelle nei loop
- $b \rightarrow sy$: variazione del BR per i contributi di nuova fisica, nuove fasi nell'asimmetria diretta di CP
- Vincoli in MSSM per gli accoppiamenti

Decadimenti rari del B:

- $B \rightarrow l^+ l^-$: Particelle virtuali nei diagrammi a box
- $B \rightarrow \tau \nu$: Consistenza con le misure indirette del BR, vincoli a modelli con due Higgs

Decadimenti del τ :

- LFV: decadimenti con violazione del numero leptonico
- GUT: se la simmetria di flavour e' rotta a scale $> M_{\text{GUT}}$,

$$FV_{\text{quark}} \Leftrightarrow FV_{\text{leptoni}} : \text{relazione } B \Leftrightarrow \tau$$

**Ricerca indiretta di Nuova Fisica
nelle transizioni
 $b \rightarrow s$ gluone**

Il meccanismo CKM

Mixing dei quark: autostati deboli \neq autostati di massa

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}$$

(Autostati deboli)

(CKM)

(Autostati di massa)

$$\begin{aligned} V_{us} &= \lambda + O(\lambda^6) \\ \lambda &= \theta_{\text{cabibbo}} \approx 0.22 \end{aligned}$$

\mathcal{CP} generata da un' **unica fase δ** nell'accoppiamento W^\mp -quark

Parametrizzazione di Wolfenstein:

$$\begin{aligned} V_{ub} &= A \lambda^3 (\rho - i \eta) & V_{td} &= A \lambda^3 (1 - \bar{\rho} - i \bar{\eta}) \\ \bar{\rho} &= \rho \left(1 - \frac{\lambda^2}{2} \right) & \bar{\eta} &= \eta \left(1 - \frac{\lambda^2}{2} \right) \end{aligned}$$

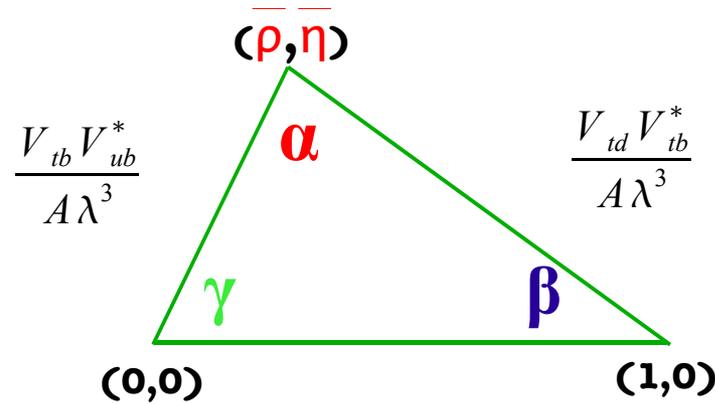
4 parametri descrivono il flavour:

A, λ , $\bar{\rho}$, $\bar{\eta}$

Il triangolo unitario

$$V_{ud} V_{ub}^* + V_{cd} V_{cb}^* + V_{td} V_{tb}^* = 0$$

$$\alpha = \pi - \beta - \gamma$$



$$V_{ub} = |V_{ub}| e^{-i\gamma}$$

$$\gamma = \text{atan} \left(\frac{\bar{\eta}}{\bar{\rho}} \right)$$

$$V_{td} = |V_{td}| e^{-i\beta}$$

$$\beta = \text{atan} \left(\frac{\bar{\eta}}{1 - \bar{\rho}} \right)$$

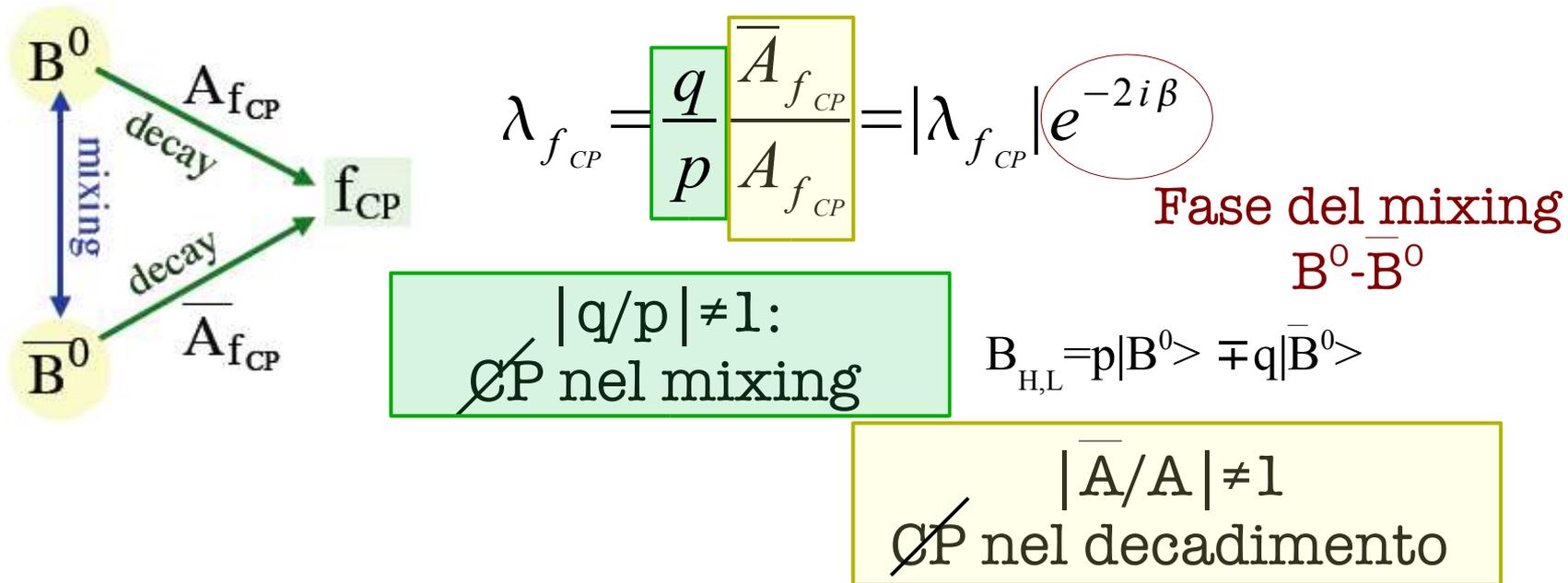
$$J_{CP} = \lambda^2 |V_{cb}|^2 \bar{\eta} = 2 A_{\text{triangolo}}$$

$$J_{CP} \neq 0 \Rightarrow \text{CP}$$

Angoli: CP nei decadimenti del B

Lati: rate di decadimento per $b \rightarrow ulv$ e mescolamento $B^0 \bar{B}^0$

Violazione di CP nei B



~~CP~~ nell'interferenza tra mescolamento e decadimento: ~~CP~~(t)

$$\begin{aligned}
 A_{f_{CP}} &= \frac{\Gamma(\bar{B}_{phys}^0(t) \rightarrow f_{CP}) - \Gamma(B_{phys}^0(t) \rightarrow f_{CP})}{\Gamma(\bar{B}_{phys}^0(t) \rightarrow f_{CP}) + \Gamma(B_{phys}^0(t) \rightarrow f_{CP})} = \\
 &= C_{f_{CP}} \cos(\Delta m_d \Delta t) + S_{f_{CP}} \sin(\Delta m_d \Delta t)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{f_{CP}} &= -\frac{2\eta_{CP} \text{Im} \lambda_{f_{CP}}}{1 + |\lambda_{f_{CP}}|^2} \\
 C_{f_{CP}} &= \frac{1 - |\lambda_{f_{CP}}|^2}{1 + |\lambda_{f_{CP}}|^2}
 \end{aligned}$$

CP con una sola ampiezza CKM

Misura della fase CKM molto pulita nel caso di una sola ampiezza (A_T o A_P):

$$\frac{\bar{A}_f(\bar{B}^0 \rightarrow f)}{A_f(B^0 \rightarrow f)} = -\eta_f \left[\frac{A_T e^{i(\delta_T - \phi_T)} + A_P e^{i(\delta_P - \phi_P)}}{A_T e^{i(\delta_T + \phi_T)} + A_P e^{i(\delta_P + \phi_P)}} \right]$$

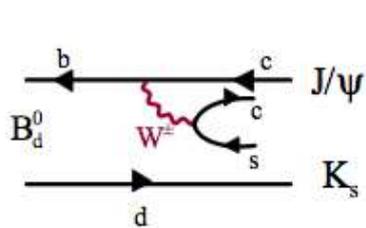
A_T, A_P = elementi di matrice

δ_T, δ_P = fasi forti

ϕ_T, ϕ_P = fasi deboli (CKM)

(Contributo "Tree") (Contributo "Pinguino")

$$\frac{\bar{A}_f(\bar{B}^0 \rightarrow f)}{A_f(B^0 \rightarrow f)} = -\eta_f e^{-i2\phi_T}$$

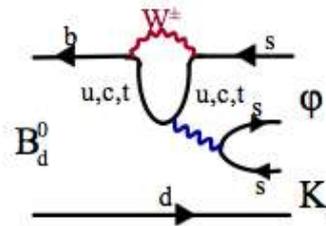


$B_d^0 \rightarrow J/\psi K^0$

Pura fase, perche'

$$\phi_T = \phi_P$$

$$\frac{\bar{A}_f(\bar{B}^0 \rightarrow f)}{A_f(B^0 \rightarrow f)} = -\eta_f e^{-i2\phi_P}$$



$B_d^0 \rightarrow \phi K^0$

Pura fase, perche'

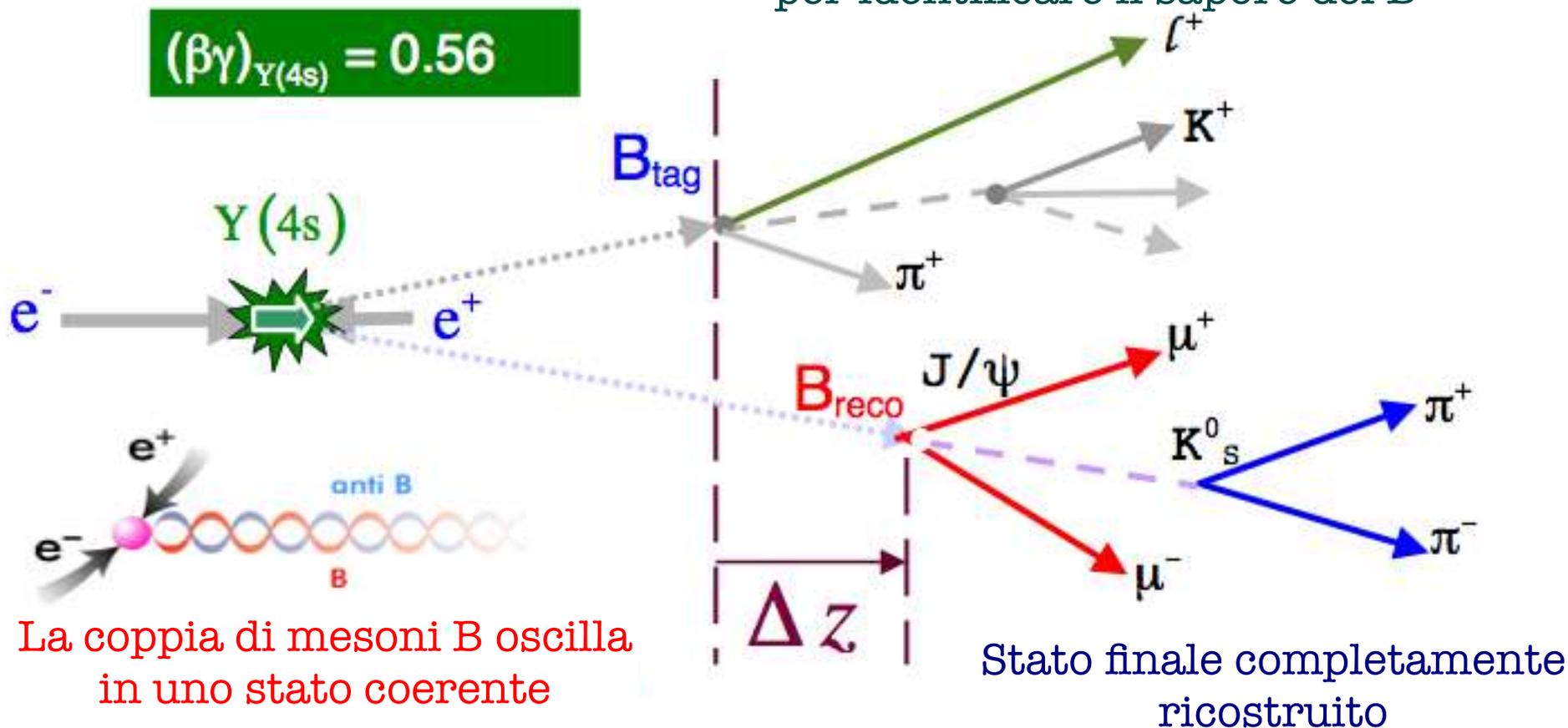
$$A_T = 0$$

$\mathcal{CP}(t)$ in una B-Factory

$$Q = \epsilon(1 - 2\omega^2) \approx 30\%$$

$$\langle \beta\gamma \rangle_{Y(4s)} = 0.56$$

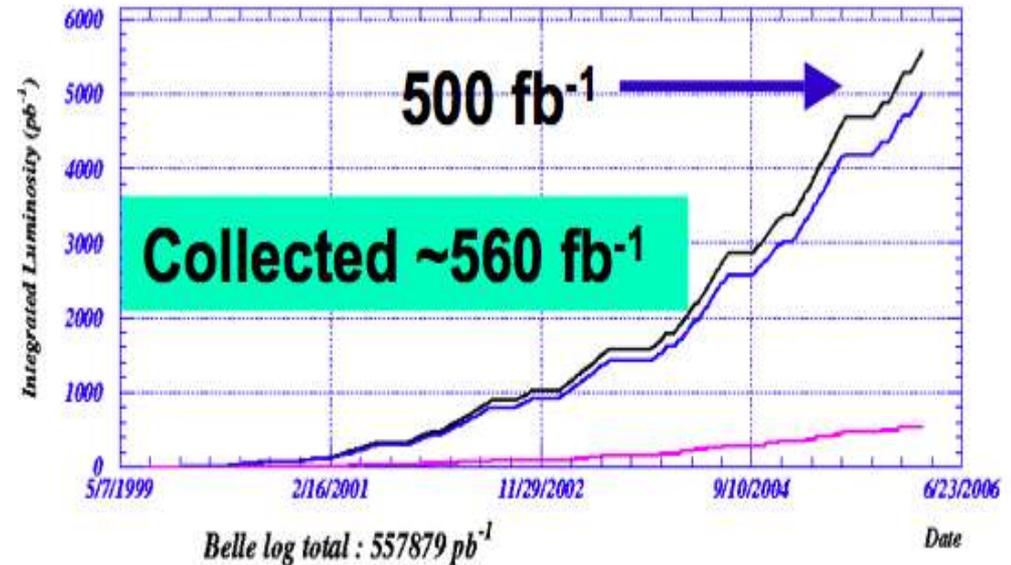
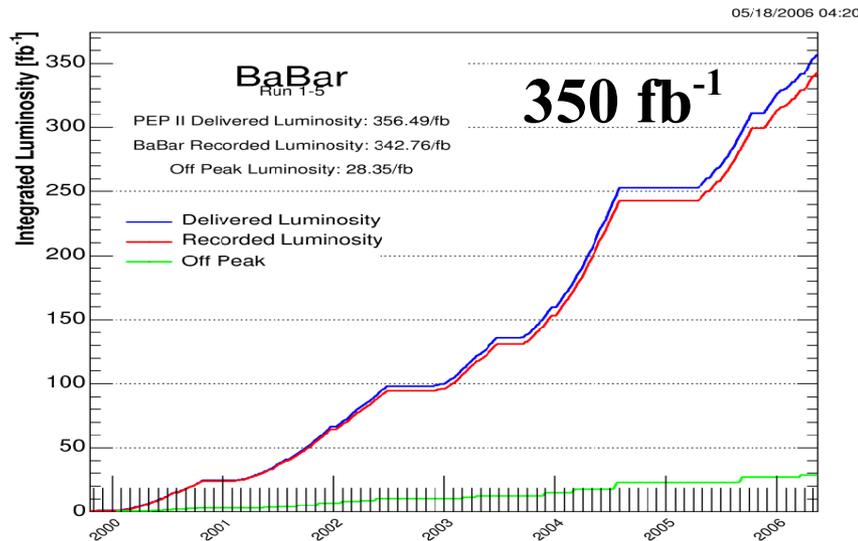
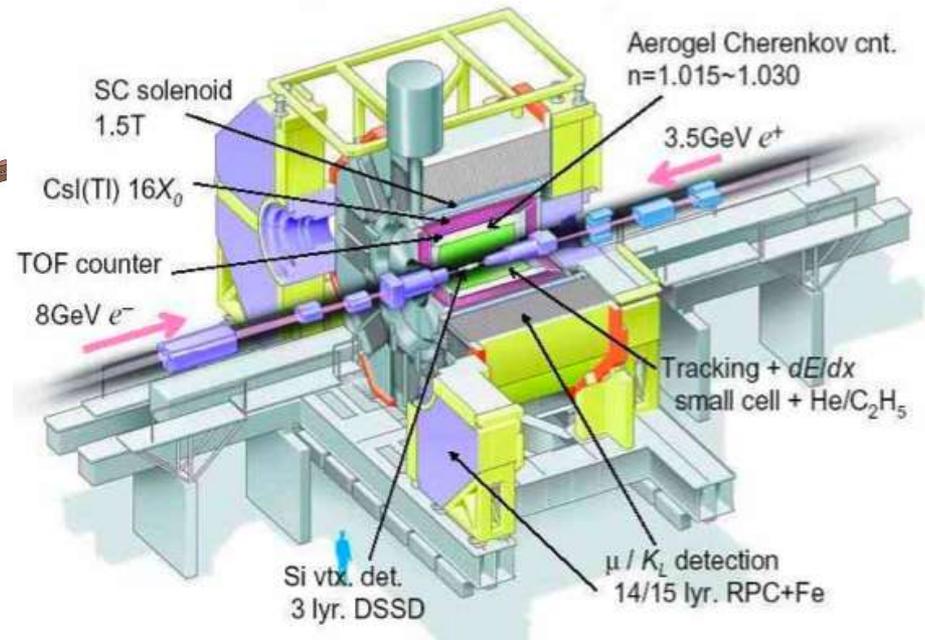
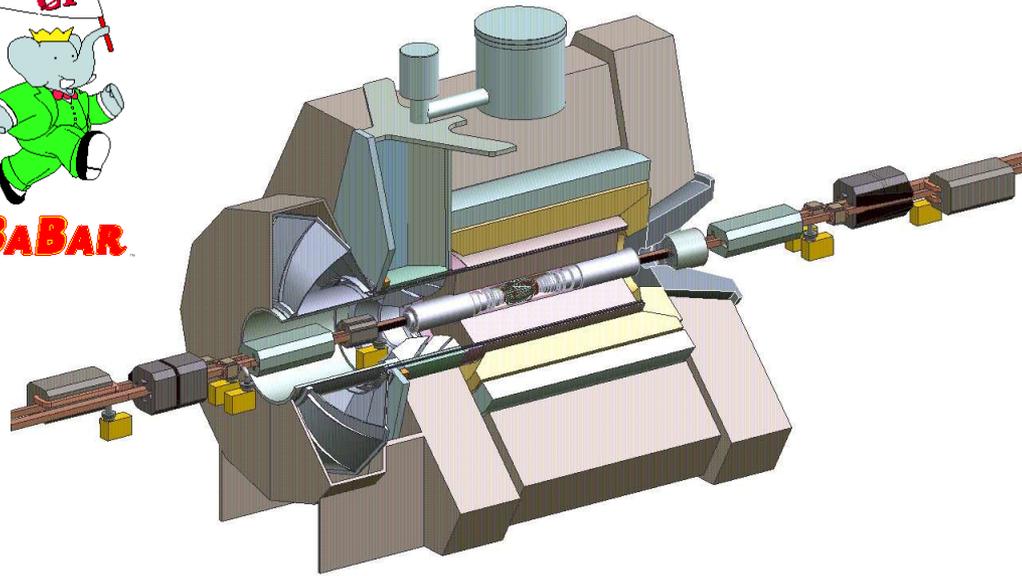
“Tagging”: ricostruzione parziale dell'altro B per identificare il sapore del B



Il boost di Lorentz permette la misura di Δz

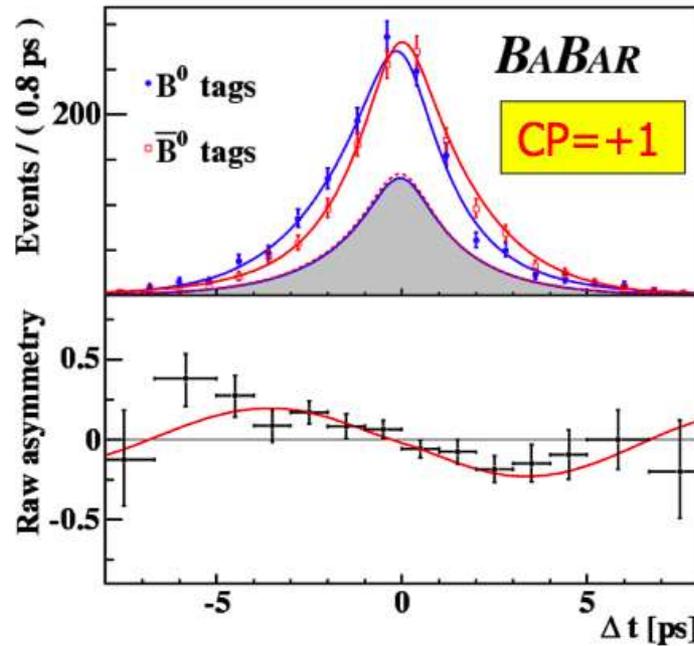
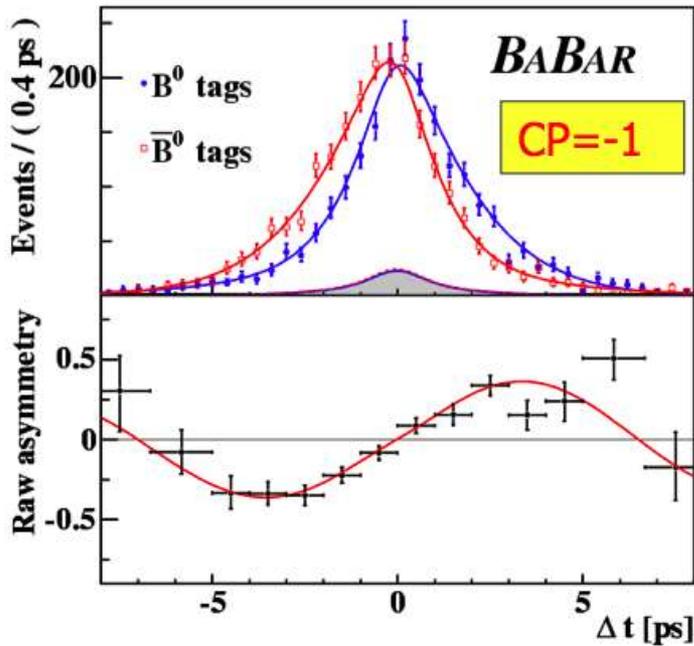
$$\Delta t \approx \frac{\Delta z}{\langle \beta\gamma \rangle c} \quad \langle |\Delta z| \rangle \sim 200 \mu m$$

BABAR & Belle



CP(t) in $B \rightarrow c\bar{c}K^0$

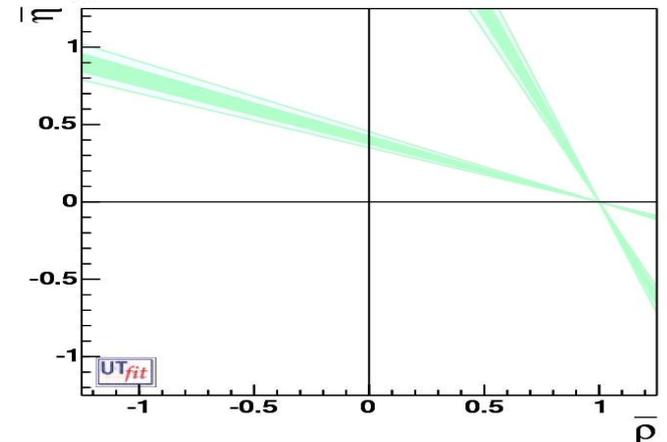
Misura dell'asimmetria di CP in:
 $J/\psi K_S, \psi(2S) K_S, \chi_{c1} K_S, \eta_c K_S$ ($\eta_{CP} = -1$)
 $J/\psi K_L$ ($\eta_{CP} = +1$)



Misurato anche $\cos 2\beta$
in $B \rightarrow c\bar{c}K^{*0}$
Belle : $\cos 2\beta = +0.31 \pm 0.86 \pm 0.11$
BABAR : $\cos 2\beta = +2.72^{+0.50}_{-0.79} \pm 0.27$
 $\cos 2\beta < 0$ escluso

$\sin 2\beta$ dalle B-Factory:
 $\sin 2\beta = 0.685 \pm 0.032$ (tot)

Assumendo l'assenza di Nuova Fisica a livello albero
 $\sin 2\beta_{(c\bar{c}K^0)}$ costituisce il riferimento per lo SM

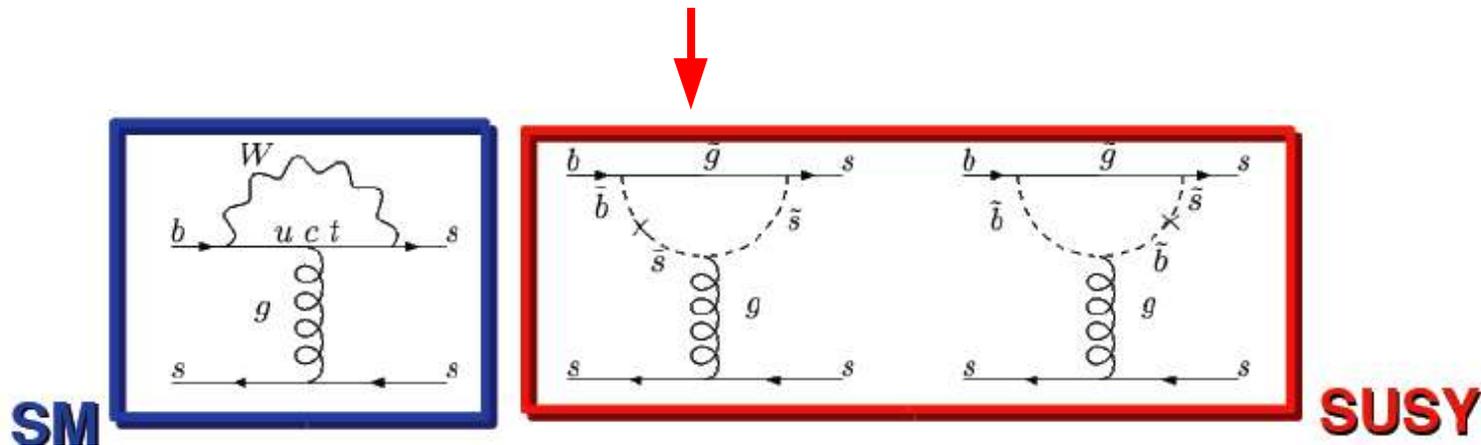


$\mathcal{CP}(t)$ nel settore $b \rightarrow s$

Meccanismo GIM: soppressione delle FCNC nello SM

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma, G, Z^0, H^0 \\ \text{diagramma} \\ i \\ j \end{array} \right\} = 0 \rightarrow A_T = 0, A = A_P$$

- La transizione procede attraverso un'ampiezza a pinguino (loop)
- Nuova Fisica puo' comparire al LO



Nuove sorgenti di \mathcal{CP} :

- In $b \rightarrow d$ fortemente limitate dalle misure
- In $b \rightarrow s$ meno vincolate: accoppiamenti complessi delle nuove particelle circolanti nei loop

$b \rightarrow s$ oltre lo SM (MSSM)

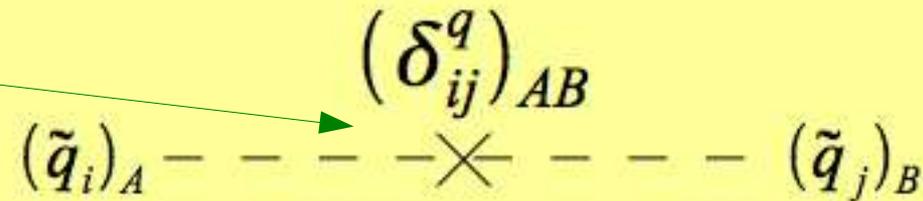
Es: Minimal Supersymmetric SM

Formalismo delle **inserzioni di massa**:

- struttura del flavour dei quark invariata (base super-CKM)
- Matrice di massa degli s-quark non diagonale

$$(\delta_{ij}^q)_{AB} \equiv \frac{(M_{ij}^2)^q}{\tilde{m}^2}$$

Tutti gli effetti Flavour-Changing nei propagatori degli squark



$$\begin{pmatrix} \tilde{m}_{11}^2 & \tilde{m}_{21}^2 & \tilde{m}_{31}^2 \\ \tilde{m}_{12}^2 & \tilde{m}_{22}^2 & \tilde{m}_{32}^2 \\ \tilde{m}_{13}^2 & \tilde{m}_{23}^2 & \tilde{m}_{33}^2 \end{pmatrix}_{AB} \rightarrow \begin{pmatrix} m_{\tilde{d}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & m_{\tilde{s}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & m_{\tilde{b}}^2 \end{pmatrix}_{AB} + m_{\tilde{q}}^2 \begin{pmatrix} 0 & \delta_{12}^{*BA} & \delta_{13}^{*BA} \\ \delta_{12}^{AB} & 0 & \delta_{23}^{*BA} \\ \delta_{13}^{AB} & \delta_{23}^{AB} & 0 \end{pmatrix}$$

Massa media degli s-quark

Chiralita' dello stato iniziale/finale
(=LL/LR/RL/RR)

Inserzioni di massa tra la 2^a e 3^a famiglia

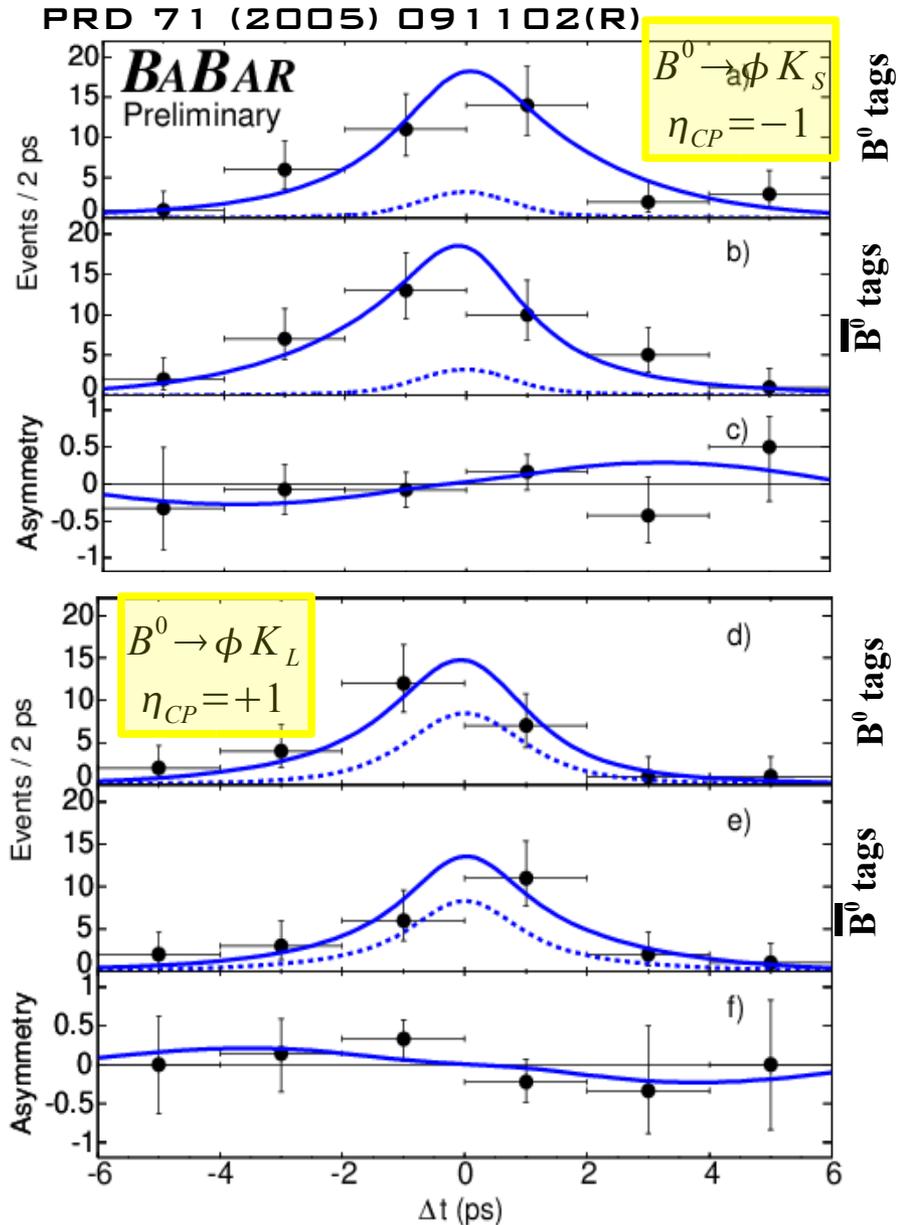
$\mathcal{CP}(t)$ in $B^0 \rightarrow (\mathbf{K}^+\mathbf{K}^-)_\phi \mathbf{K}^0$

$$A(B_d^0 \rightarrow \phi K_S^0) = V_{cs} V_{cb}^* (P_c - P_t) + V_{us} V_{ub}^* (P_u - P_t)$$

$$\left| \frac{V_{us} V_{ub}^*}{V_{cs} V_{cb}^*} \right| \leq 0.02 \quad \frac{P_u - P_t}{P_c - P_t} = O(1)$$

- Approccio sperimentale simile a $J/\psi K^0$
- Decadimento raro ($BR \sim 10^{-5}$)
- Raffinate tecniche di soppressione dei fondi qq
- Approssimazione “Quasi-2-body” per $\phi \rightarrow K^+ K^-$ (onda-P)
- Sistemica per il contributo di onda-S

	BABAR (209M)	Belle (386M)
S	$0.50 \mp 0.25^{+0.07}_{-0.04}$	$0.44 \mp 0.27 \mp 0.05$
C	$0.00 \mp 0.23 \mp 0.05$	$-0.14 \mp 0.17 \mp 0.07$



Il migliore approccio e' la determinazione dei contributi onda-P/S contemporaneamente a $\mathcal{CP}(t)$: tecnica di Dalitz

Contenuto di CP in $B^0 \rightarrow K^+ K^- K^0$

Onde S+P presenti in $(K^+ K^-)_{\text{non-}\phi}$

$$\begin{aligned} CP(K^0 [K^+ K^-]_{\text{onda S}}) &= +1 \\ CP(K^0 [K^+ K^-]_{\text{onda P}}) &= -1 \end{aligned}$$

Contenuto di CP sconosciuto a priori

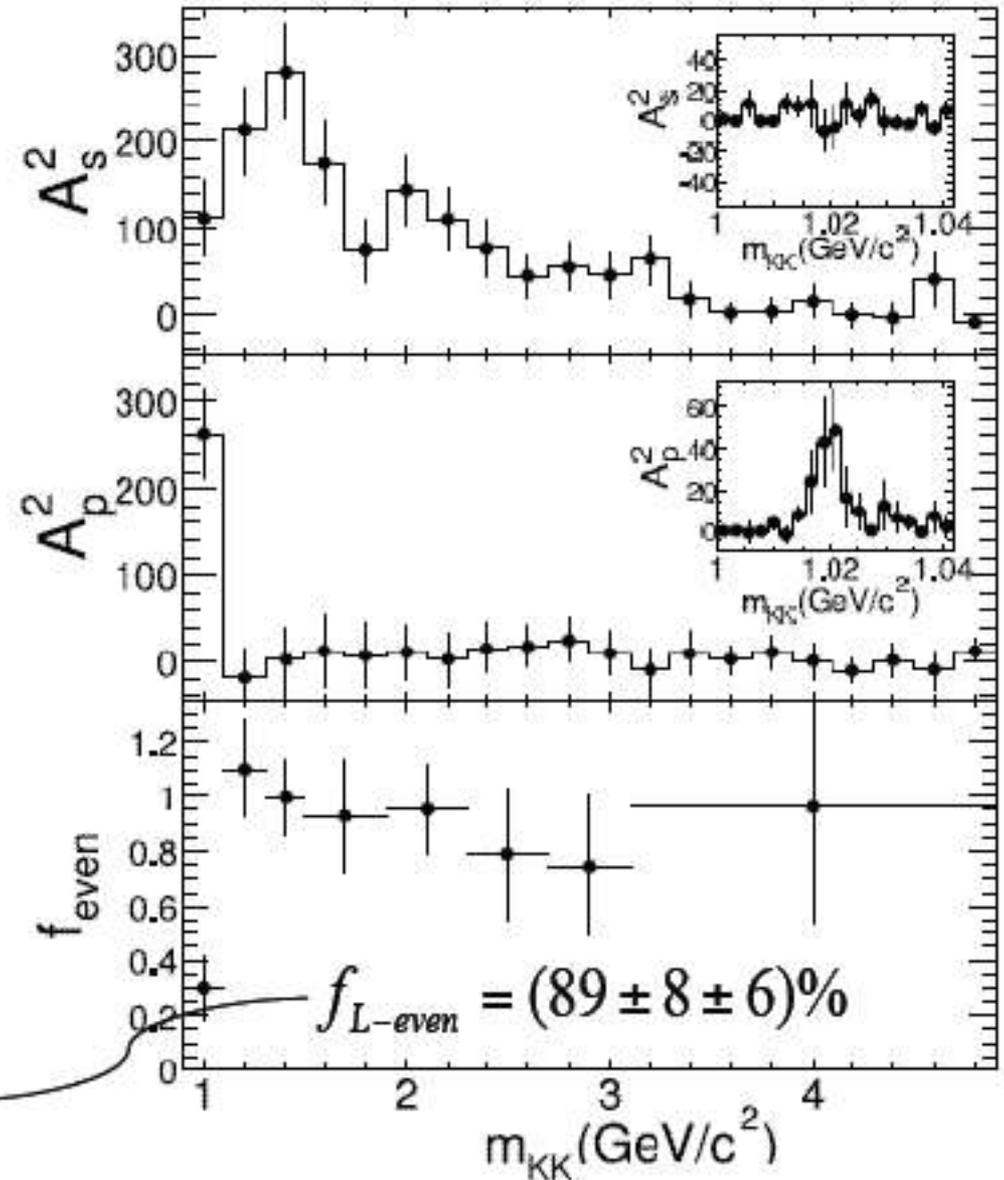
$$A = A_S + e^{i\delta} A_P$$

$$|A|^2 = \sum_l \langle P_l \rangle P_l(\cos \theta_H)$$

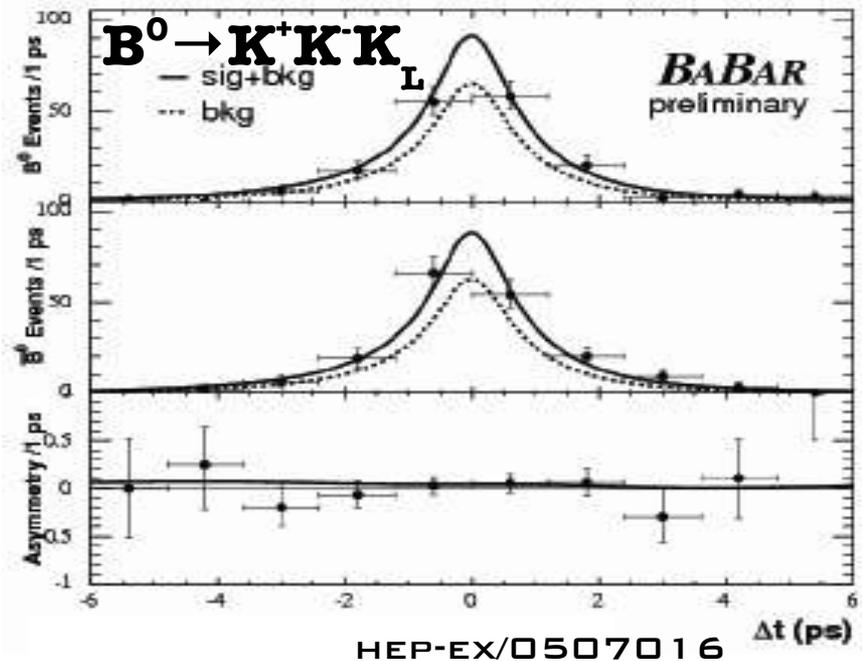
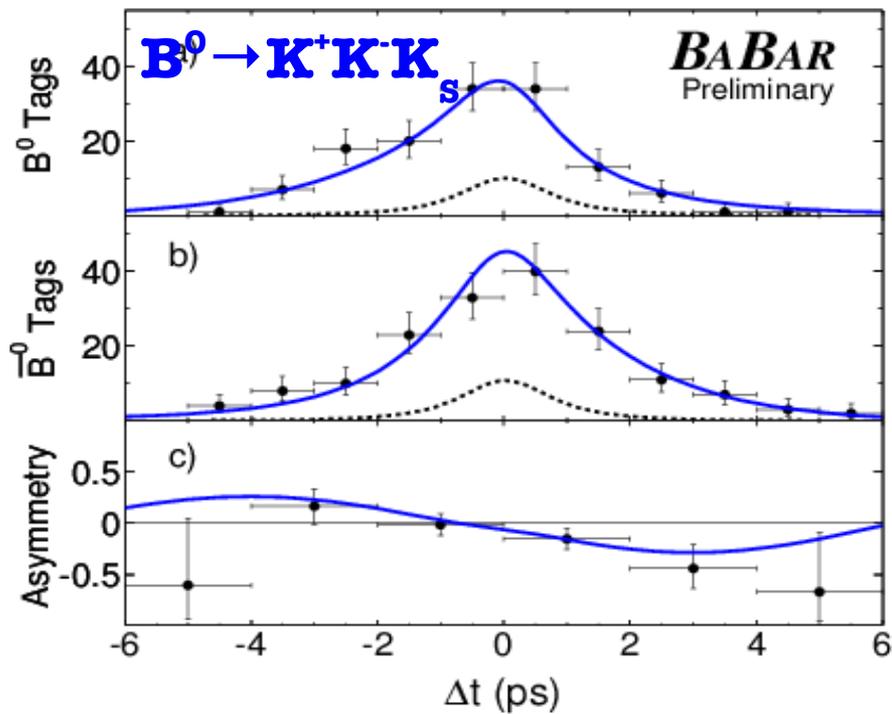
Polinomi di Legendre

$$f_{CP\text{-pari}} = \frac{A_S^2}{A_S^2 + A_P^2} = 0.89 \pm 0.08 \pm 0.06$$

Approssimazione di CP uniforme in $m(K^+ K^-)$: $\sin 2\beta_{\text{eff}} \sim S(1 - 2f_{CP\text{-pari}})$



CP(t) in $B^0 \rightarrow K^+K^-K^0$



$B^0 \rightarrow K^+K^-K_S^0 + B^0 \rightarrow K^+K^-K_L^0$: 84% dei modi KKK^0 ricostruiti

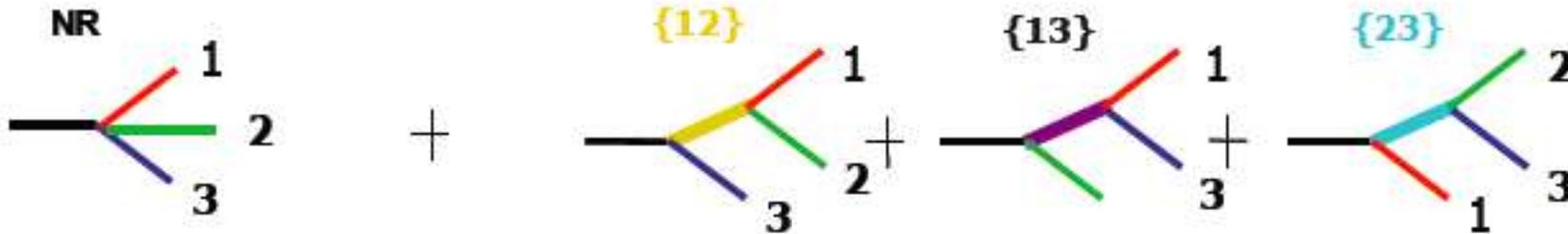
$$\sin 2\beta_{eff} = 0.41 \pm 0.18 (stat) \pm 0.07 (syst) \pm 0.11 (CP)$$

$$C = 0.23 \pm 0.12 \pm 0.07$$

Sistematica dell'approssimazione del contenuto di CP.
Necessita' di misurare contemporaneamente
CP(t) - $f_{CP\text{-pari}}$: tecnica Dalitz...

$\mathcal{CP}(t)$ nel piano di Dalitz

Ampiezza del decadimento a 3 corpi $B^0 \rightarrow K^+ K^- K^0$



**Interferenza
onda S-P**

$|A_p|^2, |A_s|^2$

$$d\Gamma(\Delta t) \propto |A|^2 + |\bar{A}|^2 +$$

$$+ q 2 \Im(\bar{A} A^* e^{-2i\beta}) \sin \Delta m_d \Delta t +$$

$$- q (|A|^2 - |\bar{A}|^2) \cos \Delta m_t \Delta t$$

Differenza di fase forte &
differenza di fase debole

Somma delle
fasi deboli

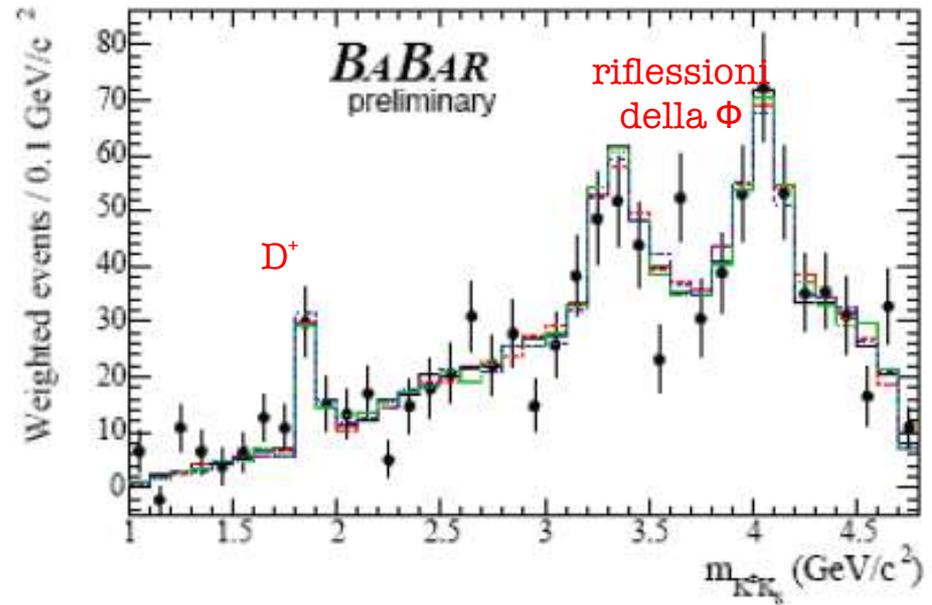
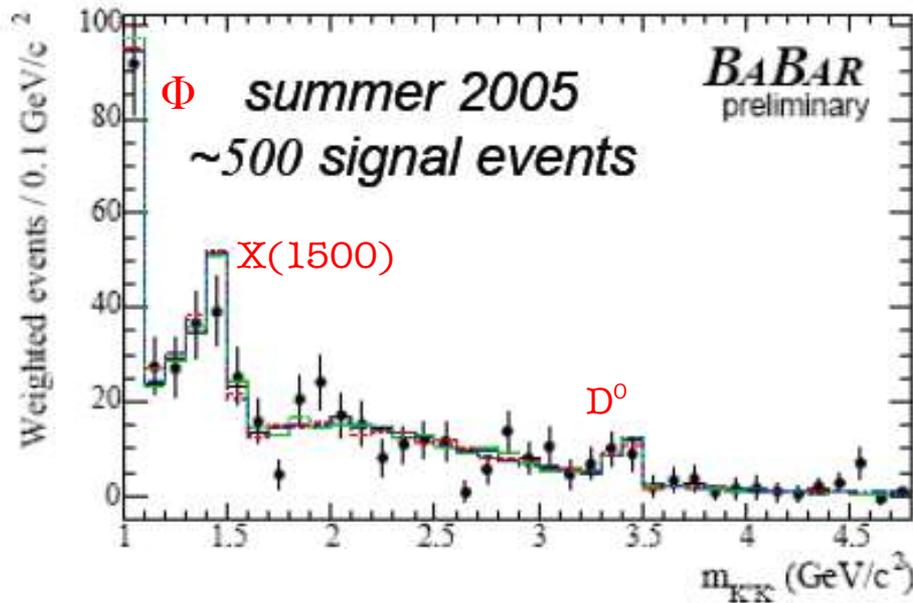
Differenza di fase forte &
differenza di fase debole

$\sin(2 \text{ fase debole})$

Misura di $\sin 2\beta$
es: ΦK^0 , pura onda-P

Misura delle fase debole assoluta.
Assumendo $A_T = 0$: β nello SM

Il Dalitz plot $K^+K^-K^0$



Risonanza

Frazione (%)

$\Phi(1020)K_s$	$15.4 \mp 3.4 \mp 0.6$
$X(1500)K_s$ (soluzione 1)	$5.2 \mp 2.2 \mp 0.9$ (<8.3)
$X(1500)K_s$ (soluzione 2)	$38.9 \mp 7.3 \mp 0.9$
Non risonante	$70.7 \mp 3.8 \mp 1.7$
$X_{c0}K_s$	$3.1 \mp 1.6 \mp 0.8$ (<5.5)
$f_0(980)K_s$	$5.7 \mp 3.2 \mp 1.0$ (<9.7)

BABAR: la misura di $CP(t)$ nel Dalitz plot permettera' la misura di β senza la sistematica dell'interferenza in ϕK^0

Risultato Dalitz- $CP(t)$ per ICHEP '06

Un diverso approccio sperimentale

- $B^0 \rightarrow K_s K_s K_s$ e $B^0 \rightarrow K_s \pi^0$ senza tracce dal vertice primario (del B)

$$\Delta x, \Delta y \sim 30 \mu\text{m}$$

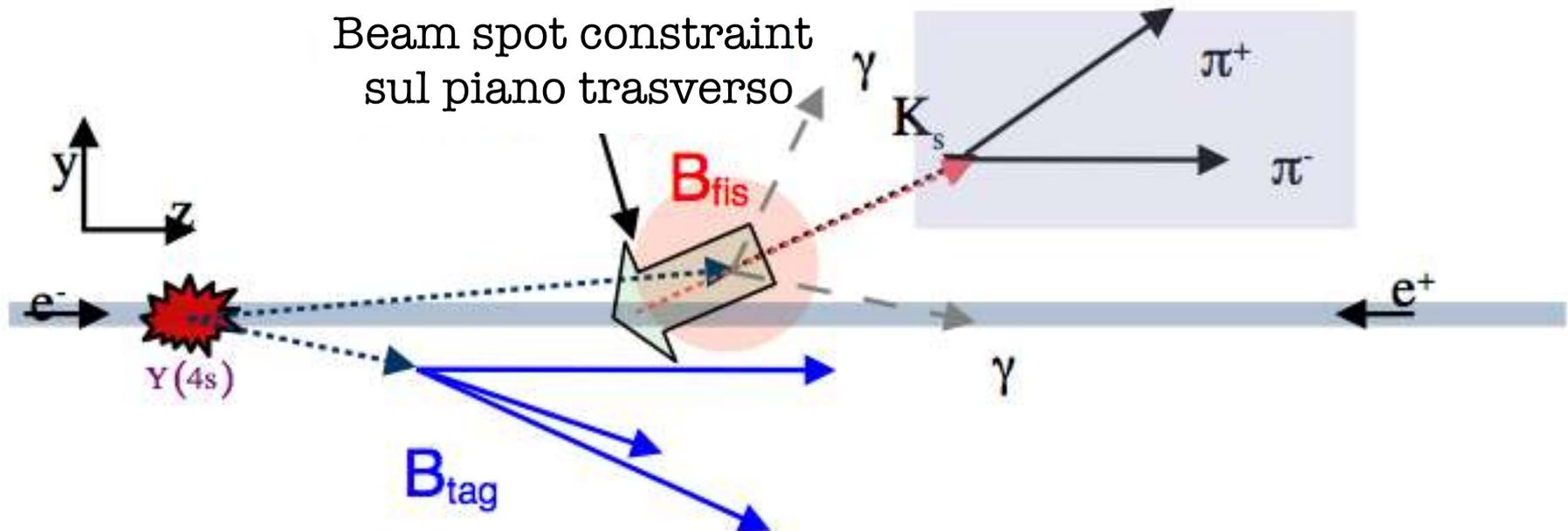
$$\Delta z \sim 200 \mu\text{m}$$

$(x, y)_{\text{verticeKS}}$ fissati a $(x, y)_{\text{beamspot}}$

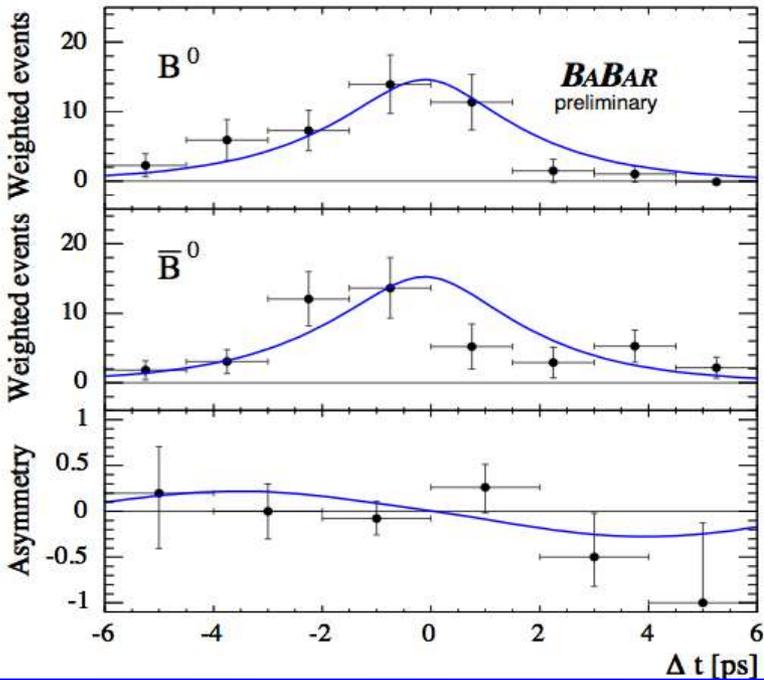
+

Il K_s deve decadere nei primi layer del rivelatore di vertice

- Tecnica validata sui dati ($B^0 \rightarrow J/\psi K_s$)



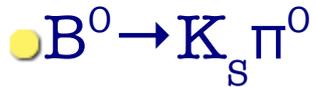
...e i risultati



Bose Einstein +
Conservazione del momento angolare
 \Rightarrow CP pari ($S_{SM} = -\sin 2\beta$)

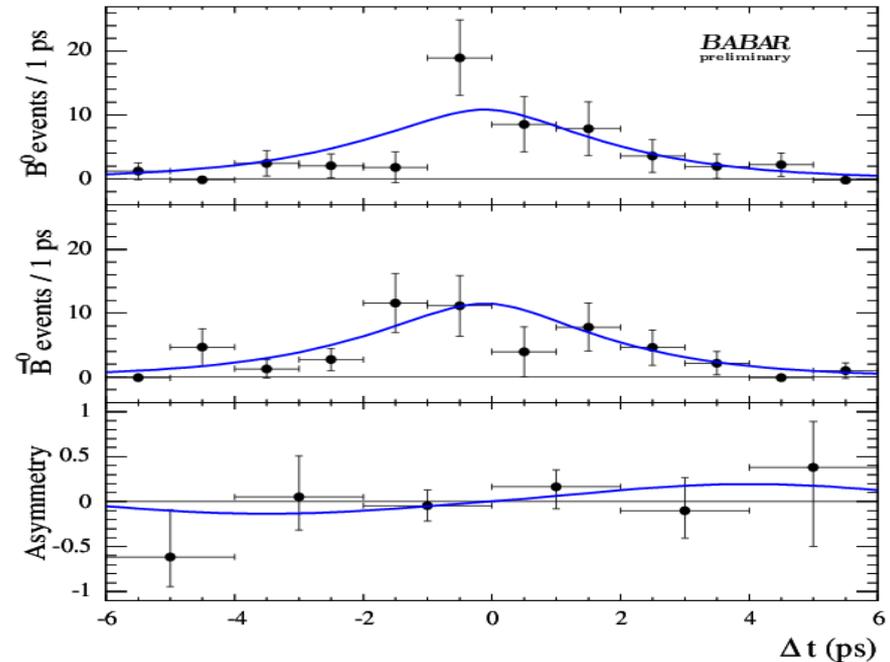
	BABAR (209M)	Belle (386M)
S	$0.63^{+0.28}_{-0.32} \mp 0.04$	$0.58 \mp 0.36 \mp 0.08$
C	$-0.10 \mp 0.25 \mp 0.05$	$-0.50 \mp 0.23 \mp 0.06$

HEP-EX/0507052

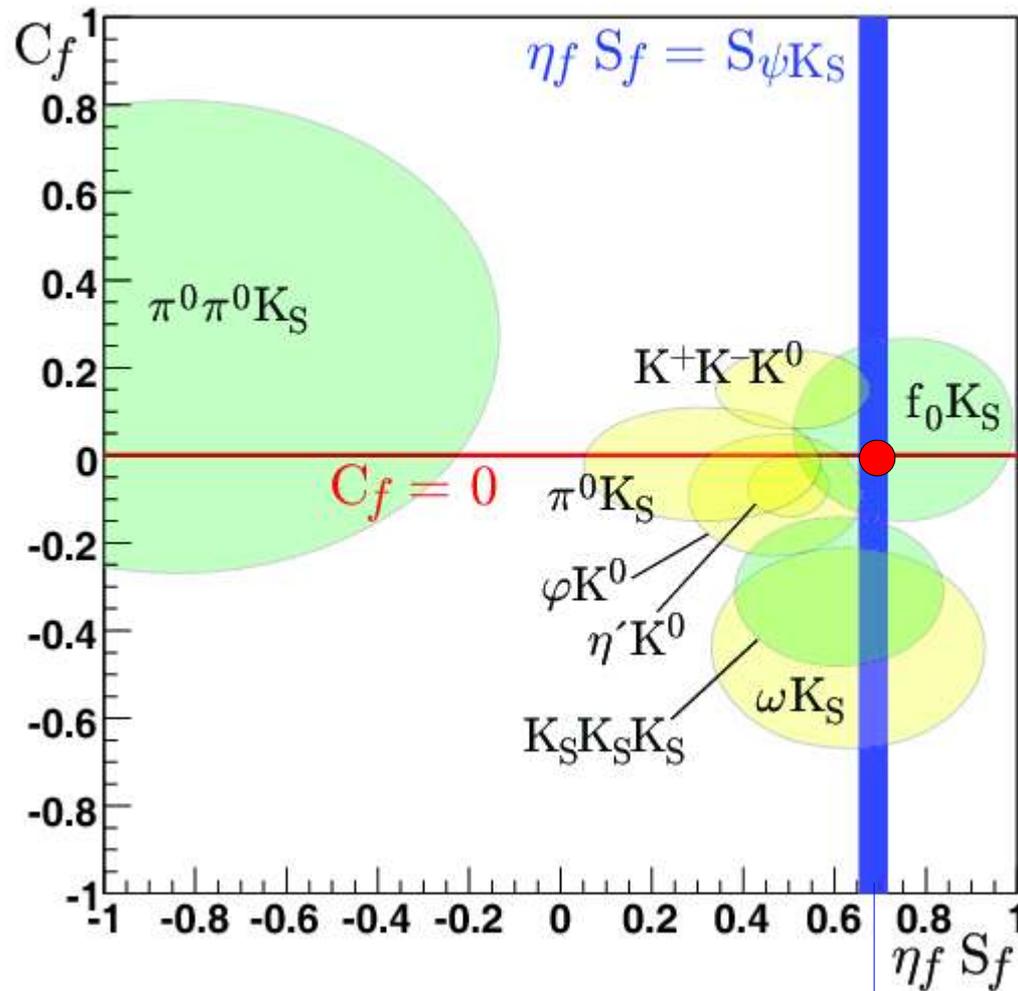


	BABAR (209M)	Belle (386M)
S	$0.35^{+0.30}_{-0.33} \mp 0.04$	$0.22 \mp 0.47 \mp 0.08$
C	$0.06 \mp 0.18 \mp 0.03$	$-0.11 \mp 0.18 \mp 0.08$

HEP-EX/0507037



Sommario sperimentale...



CP(t) nei pinguini $b \rightarrow s$:

- Tendenza per $S_{\text{pinguino}} < \sin 2\beta$
- Le misure sono ancora statisticamente limitate...

Dai decadimenti $B^0 \rightarrow c\bar{c}K^0$ dalle B Factory:
 $\sin 2\beta = 0.685 \mp 0.032$

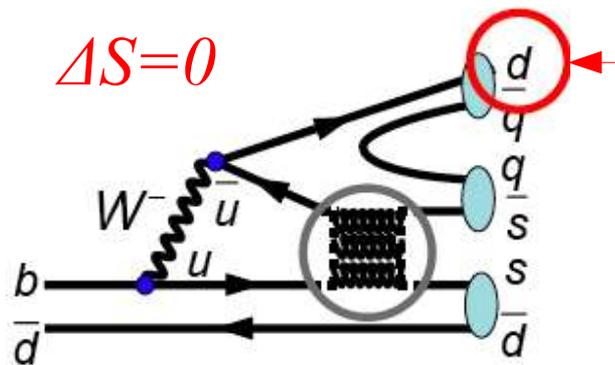
...e interpretazione teorica (SM)

$$A(B_d^0 \rightarrow \phi K_S^0) = V_{cs} V_{cb}^* (P_c - P_t) + V_{us} V_{ub}^* (P_u - P_t)$$

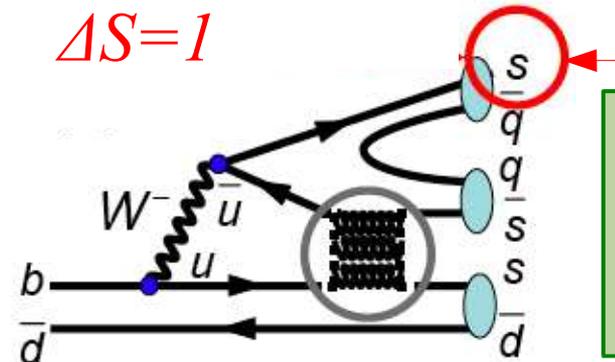
$$\left| \frac{V_{us} V_{ub}^*}{V_{cs} V_{cb}^*} \right| \leq 0.02 \quad \frac{P_u - P_t}{P_c - P_t} = O(1)$$

Calcolare l'effetto dei termini soppressi CKM

La simmetria SU(3) permette di determinare il grande numero di parametri liberi

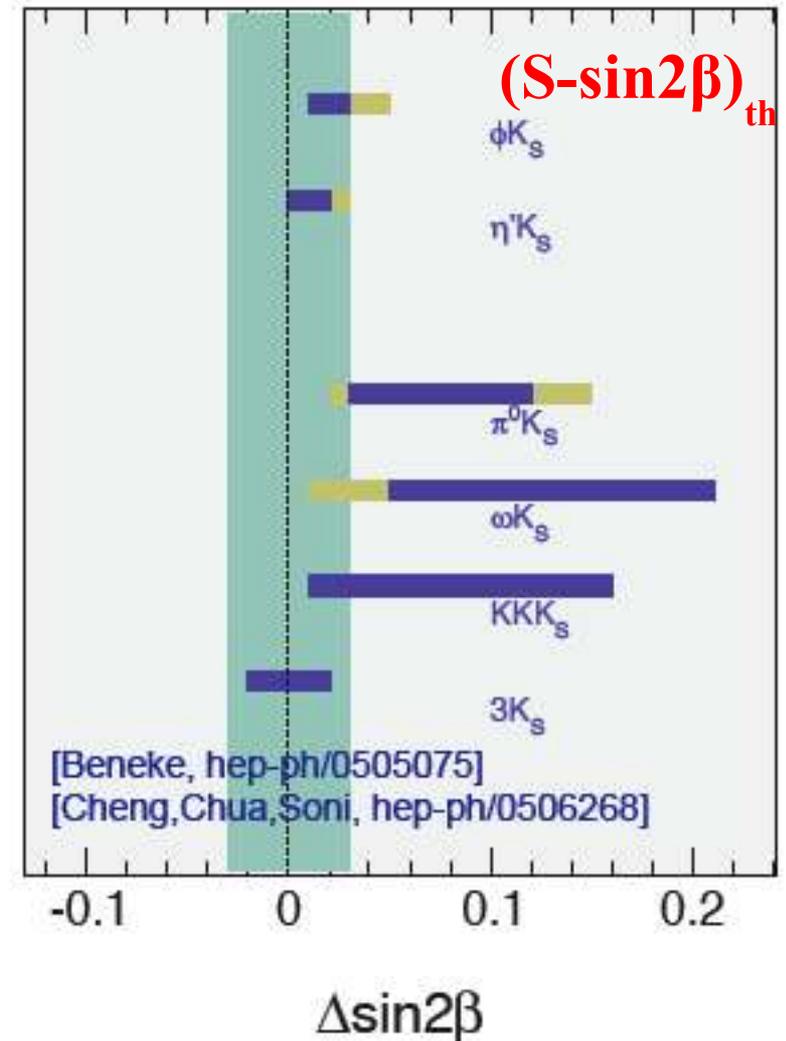


Processi QCD equivalenti nel limite di SU(3)



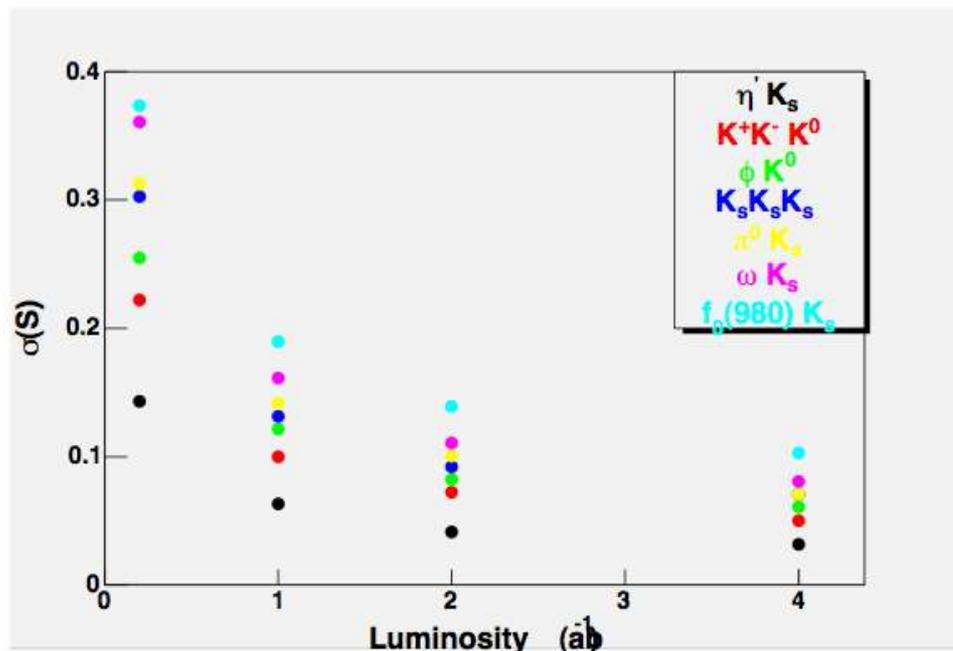
ma:

- Errore associato alla rottura di SU(3) ?
- E' corretto fattorizzare i pinguini?



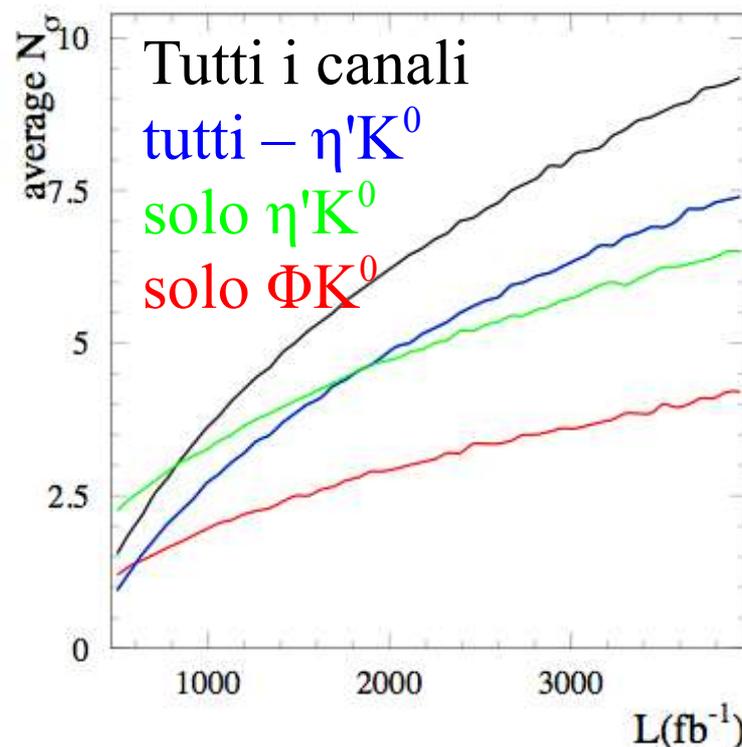
Sensibilita' futura delle B-Factory

Proiezione dell'incertezza su S_{pinguino} vs. Luminosita' integrata



- Una combinazione naïve dei diversi canali non e' possibile
- χ^2 pesato con l'errore teorico
- Assunzione $S_{\text{vero}} = S_{\text{exp}}$

- La scoperta $> 5\sigma$ richiede $L > 1.5 \text{ ab}^{-1}$ (tutti i canali)
- Un chiaro segnale di Nuova Fisica e' la deviazione in uno dei canali puliti: $B^0 \rightarrow \phi K^0$, $B^0 \rightarrow K_S K_S K_S$:
 $L > 2 \text{ ab}^{-1}$



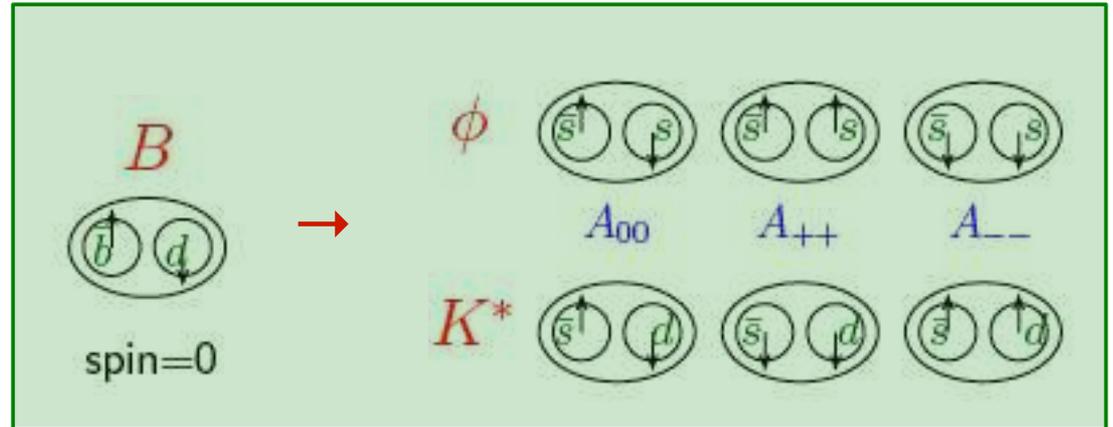
B → ΦK* : polarizzazione in B → VV

BR & polarizzazione

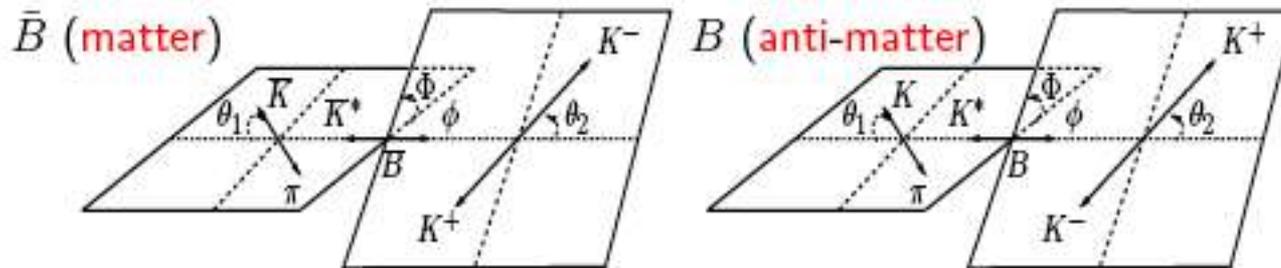
$$A = \langle f | H_{eff} | i \rangle = A_{00} + A_{++} + A_{--}$$

11 osservabili sperimentali:

6 $|A_i|$, 5 $\arg(A_i/A_j)$



Asimmetrie di CP:



Asimmetrie dirette

$$|A_0|^2 \neq |\bar{A}_0|^2$$

$$|A_{\parallel}|^2 \neq |\bar{A}_{\parallel}|^2$$

$$|A_{\perp}|^2 \neq |\bar{A}_{\perp}|^2$$

$$\propto \sin \Delta \phi_{debole} \sin \Delta \phi_{forte}$$

+

Asimmetrie “triplo prodotto”

$$\Im(A_{\perp} A_0^*) \neq -\Im(\bar{A}_{\perp} \bar{A}_0^*)$$

$$\Im(A_{\perp} A_{\parallel}^*) \neq -\Im(\bar{A}_{\perp} \bar{A}_{\parallel}^*)$$

$$\propto \sin \Delta \phi_{debole} \cos \Delta \phi_{forte}$$

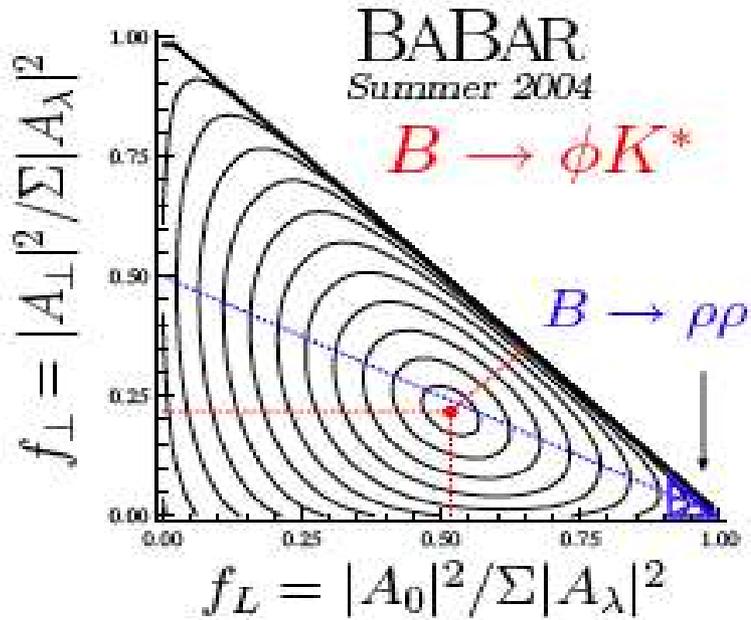
Polarizzazione, Triplo prodotto

Sorpresa: $f_L < 1$

$$f_L = 0.52 \pm 0.05 \pm 0.02$$

$$f_\perp = 0.22 \pm 0.05 \pm 0.02$$

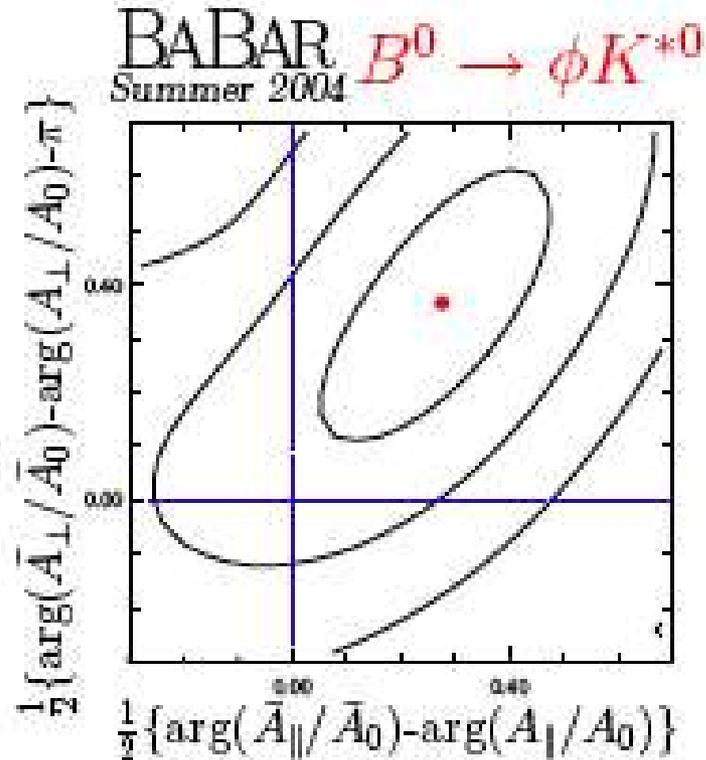
f_L e il triplo prodotto sono sensibili a contributi di nuova fisica alle correnti cariche J_R



$$A_T^\parallel = -0.02 \pm 0.04 \pm 0.01$$

$$A_T^0 = +0.11 \pm 0.05 \pm 0.01$$

$$A_T^{\text{SM}=0}$$



Fattorizzazione: $f_L \sim 1 - \frac{m_V^2}{m_B^2} \sim 0.96$

↓

Osservazione di FSI $> 3\sigma$

Transizioni

$b \rightarrow s\gamma$

BR($b \rightarrow s\gamma$) e A_{CP}

Transizioni FCNC come in $b \rightarrow s$ gluone

$$BF(b \rightarrow s\gamma)_{SM-NLO} = 3.61_{-0.49}^{+0.37} \times 10^{-4}$$

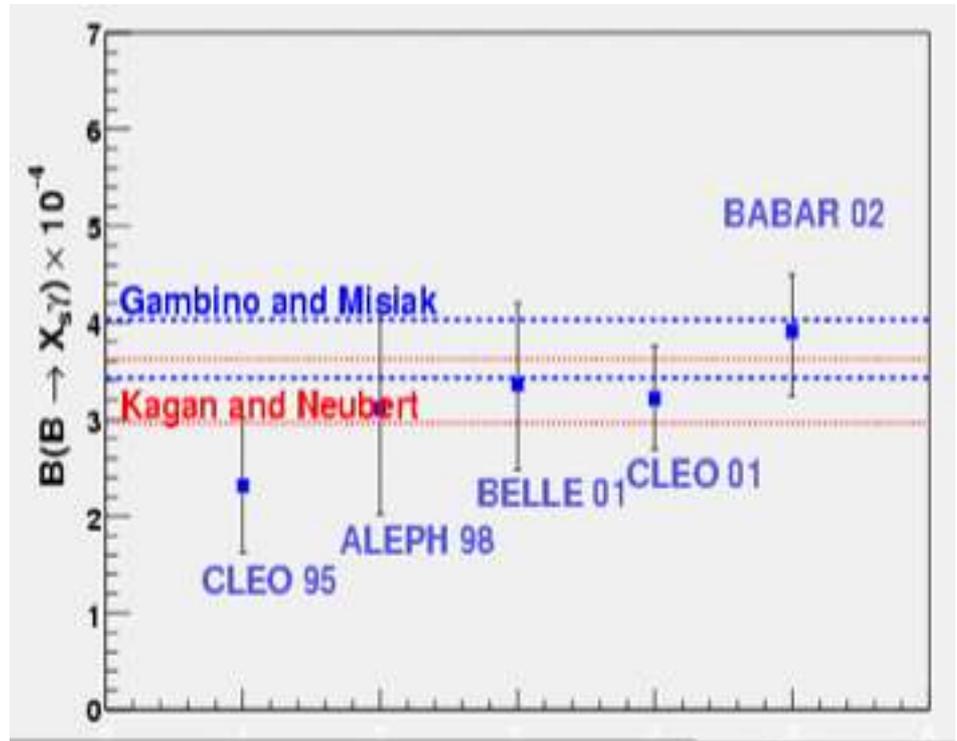
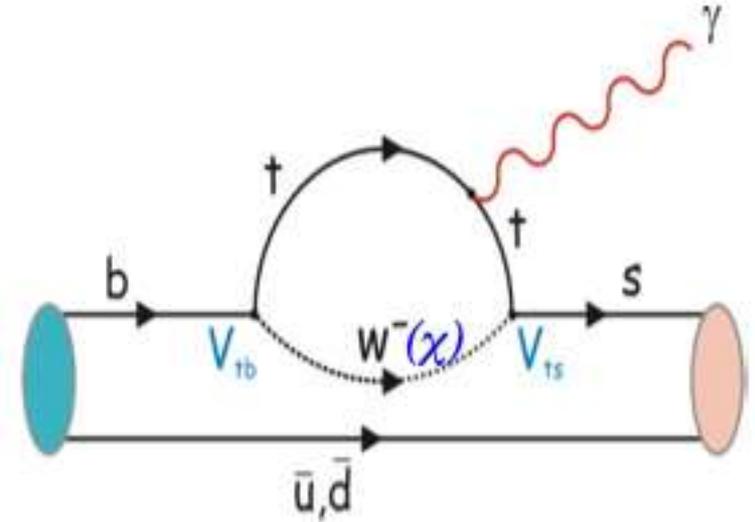
$$A_{CP} \approx 0.6\%$$

⊕ Nuova Fisica

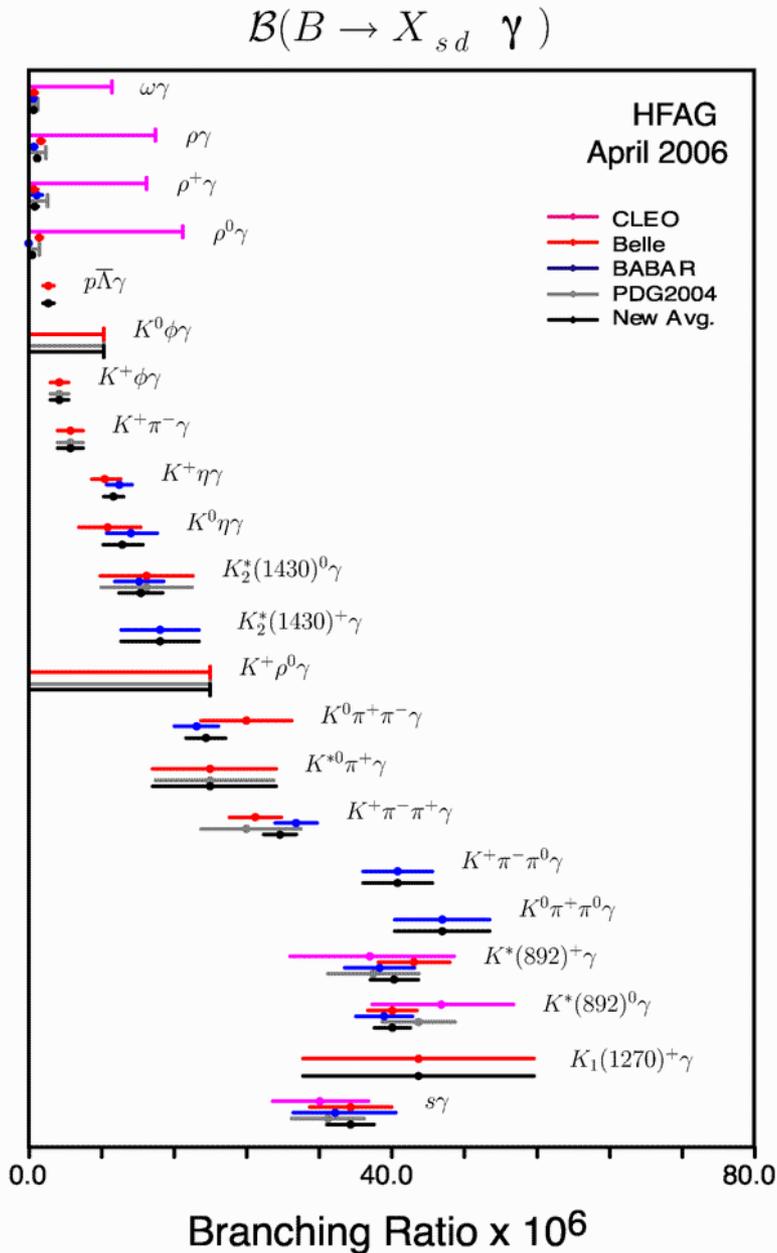
$$BF^{exp} \neq BF_{SM}$$

$$A_{CP} > 0$$

- La misura inclusiva ha meno incertezze:
 - BR_{SM} calcolato con HQET
 - contributi non perturbativi sotto controllo
- $b \rightarrow s\gamma$ importante anche per lo studio della dinamica dei decadimenti del B

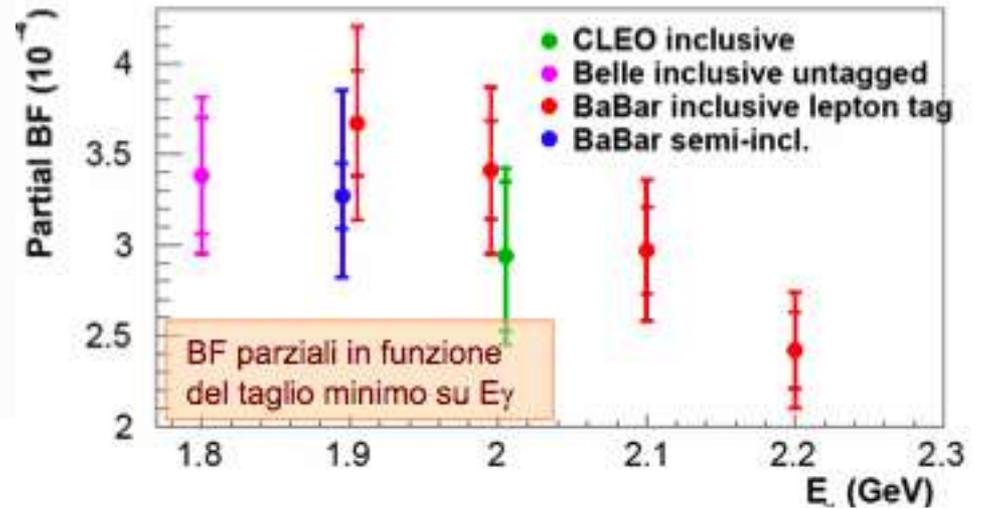


$b \rightarrow s \gamma$: BR ...

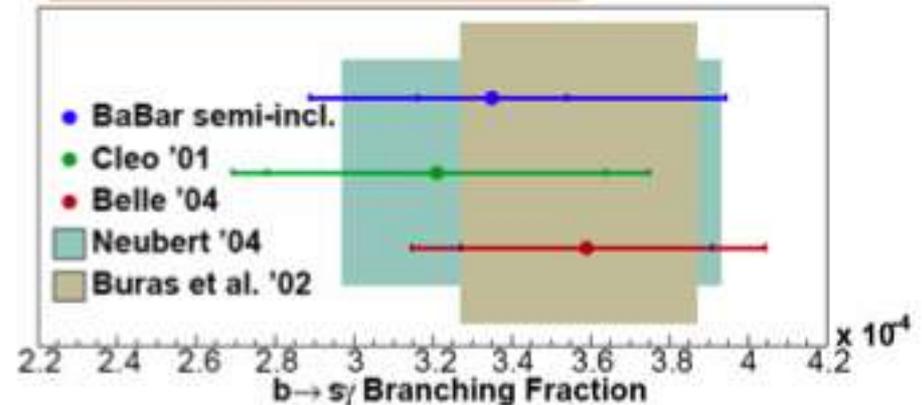


$$X_s = K^+, K_s, 1-3\pi, 1\pi^0$$

Buon accordo con la previsione SM_{NLO}



BF semi-inclusivo estrapolate a $E_\gamma > 1.6 \text{ GeV}$



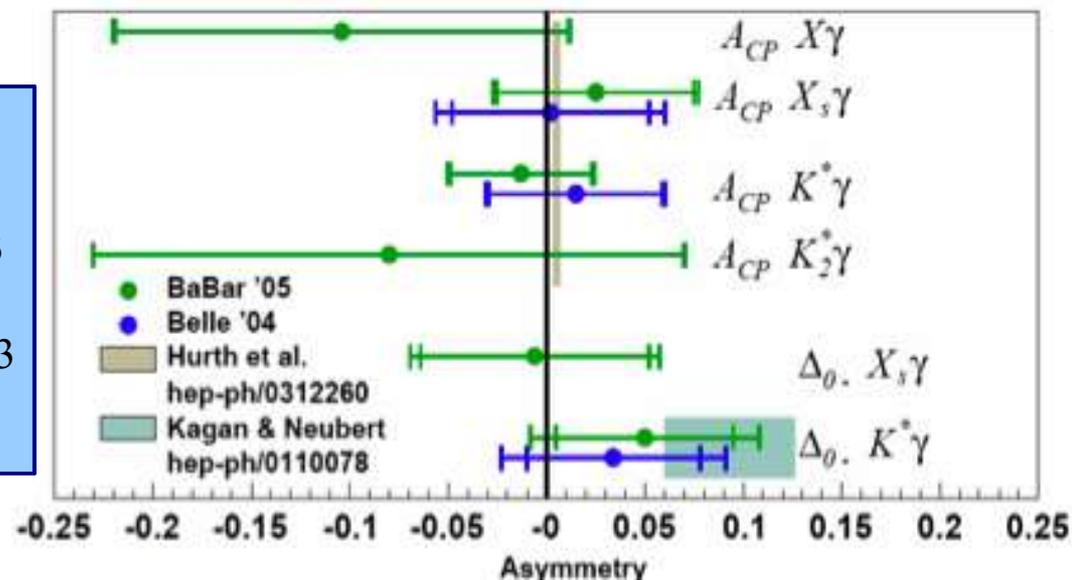
... e A_{CP} inclusiva

Misura inclusiva di A_{CP}

$$A_{CP}^{SM}(b \rightarrow s \gamma) \sim (2-4) \times 10^{-3}$$

$$A_{CP}^{Belle}(152 M) \sim (2 \pm 50 \pm 30) \times 10^{-3}$$

$$A_{CP}^{BaBar}(89 M) \sim (25 \pm 50 \pm 15) \times 10^{-3}$$



Misura inclusiva $b \rightarrow (s+d)\gamma$. Nel MS:

$$\Delta \Gamma_s + \Delta \Gamma_d = 0$$

$$\Delta \Gamma_q = \Gamma(\bar{B} \rightarrow X_s q) - \Gamma(B \rightarrow X_s q) \quad \text{Limite di SU(3)}$$

$$A_{CP}(b \rightarrow (d+s)\gamma)^{SM} = \frac{\Gamma(\bar{B} \rightarrow X_{s+d}\gamma) - \Gamma(B \rightarrow X_{s+d}\gamma)}{\Gamma(\bar{B} \rightarrow X_{s+d}\gamma) + \Gamma(B \rightarrow X_{s+d}\gamma)} \approx 1 \times 10^{-9} \quad \text{Con gli effetti di rottura di SU(3)}$$

BABAR (89M):

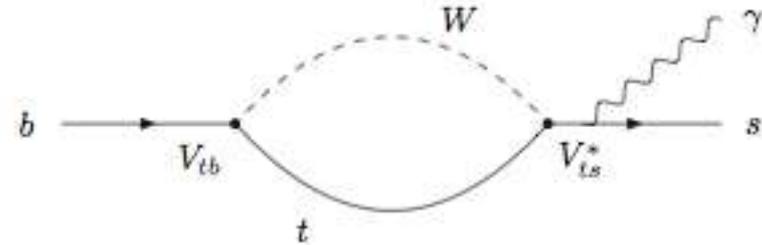
$$A_{CP} = -0.110 \mp 0.115 \text{ (stat)} \mp 0.017 \text{ (sist)}$$

In accordo con SM

$B^0 \rightarrow K^* \gamma$: polarizzazione del γ

$$F_L^q = A(b_R(\text{mesone } \bar{B}) \rightarrow q_L \gamma_L)$$

$$F_R^q = A(b_L(\text{mesone } B) \rightarrow q_R \gamma_R)$$



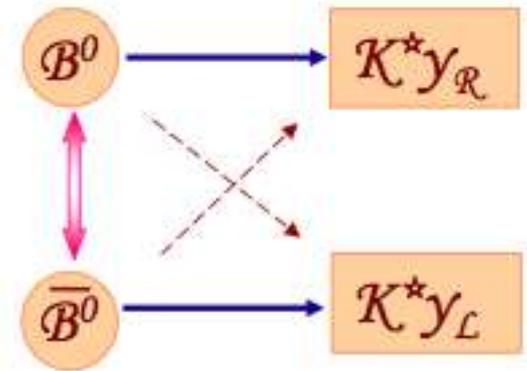
- Nello SM solo i fermioni esterni f_L si accoppiano al W
- Necessario un flip di elicità per produrre CP(t) nell'interferenza mixing-decadimento, ma:

$$\frac{F_R^q}{F_L^q} \approx \frac{m_q}{m_b}$$



$$S_{K^* \gamma} \propto -2 \left(\frac{m_s}{m_b} \right) \sin 2\beta = -0.04$$

m_s/m_b = flip di elicità
 $\sin 2\beta$ = fase del mixing



Se nel loop circolano fermioni pesanti f_R di Nuova Fisica:

$$F_R^q \approx \frac{m_q}{m_b} (SM) + \frac{m_f}{m_b} (NF)$$



$A_{CP}(t)$ potrebbe essere grande

PRD 72 (2005) 051103

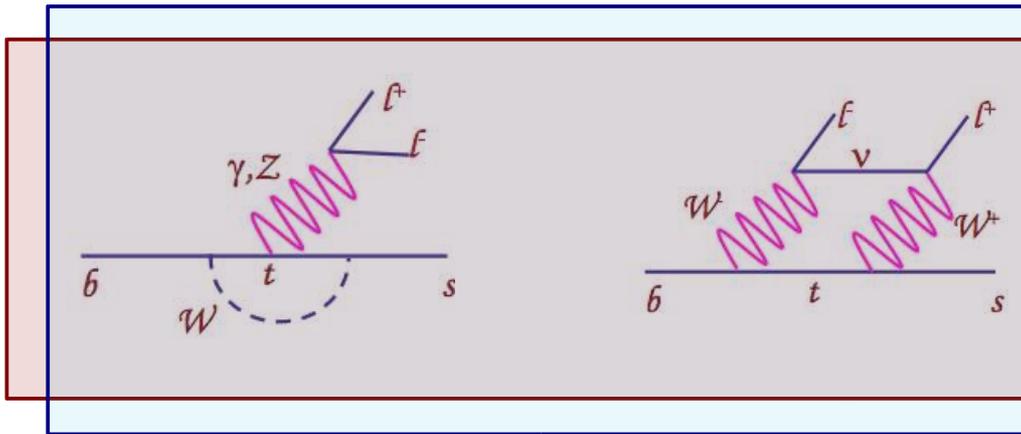
BABAR: $S = -0.21 \mp 0.40 \mp 0.05$

Belle: $S = -0.79^{+0.63}_{-0.50} \mp 0.10$

Risultato consistente con lo SM

Decadimenti $b \rightarrow sl^+l^-$

Standard Model

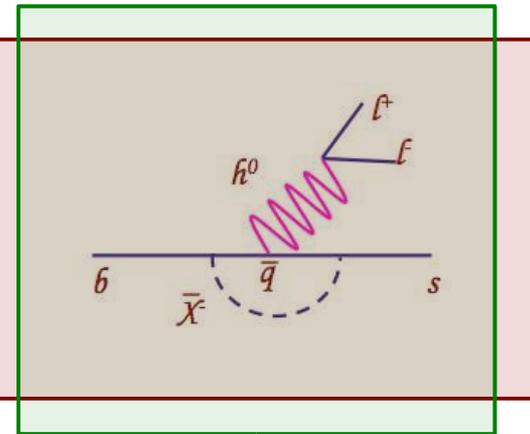


Pinguino SM di $b \rightarrow s\gamma$

Box SM solo di $b \rightarrow sl^+l^-$

⊕

Nuova Fisica



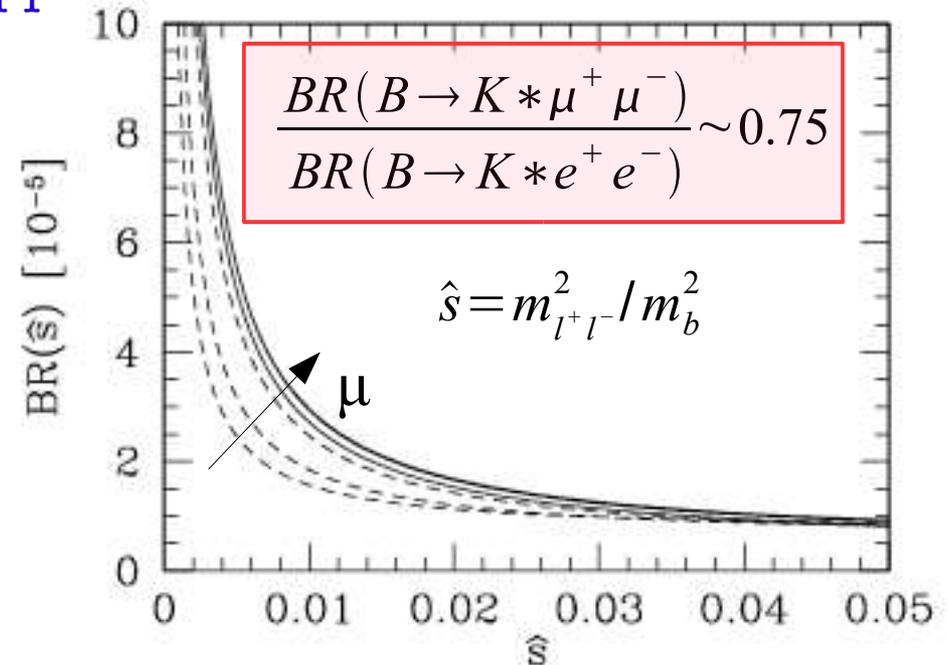
SM (QCD @ NLO):

$$BR(b \rightarrow sl^+l^-) = 4.2 \pm 0.7 \times 10^{-6}$$

$$BR(B \rightarrow Kl^+l^-) = 0.35 \pm 0.12 \times 10^{-6}$$

$$BR(B \rightarrow K^*l^+l^-) = 1.58 \pm 0.49 \times 10^{-6}$$

A. Ali, E. Lunghi, hep-ph/0112300



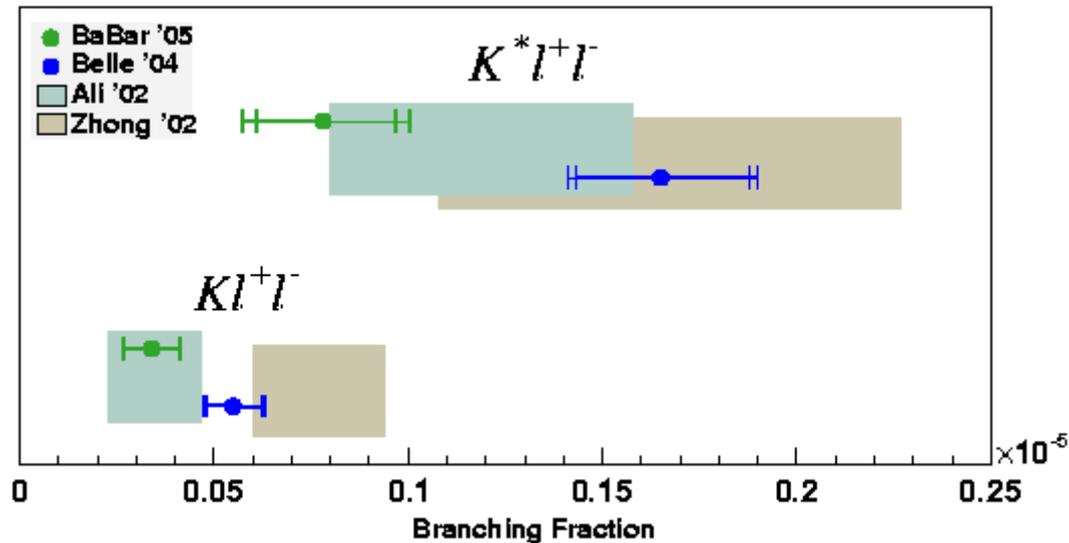
$B \rightarrow K^{(*)} l^+ l^- : BR \text{ e } A_{CP}$

Ottimo accordo con lo SM:

$$BR(Kl^+l^-) = 0.34 \pm 0.07 \pm 0.03 \times 10^{-6}$$

$$BR(K^*l^+l^-) = 0.78_{-0.17}^{+0.19} \pm 0.12 \times 10^{-6}$$

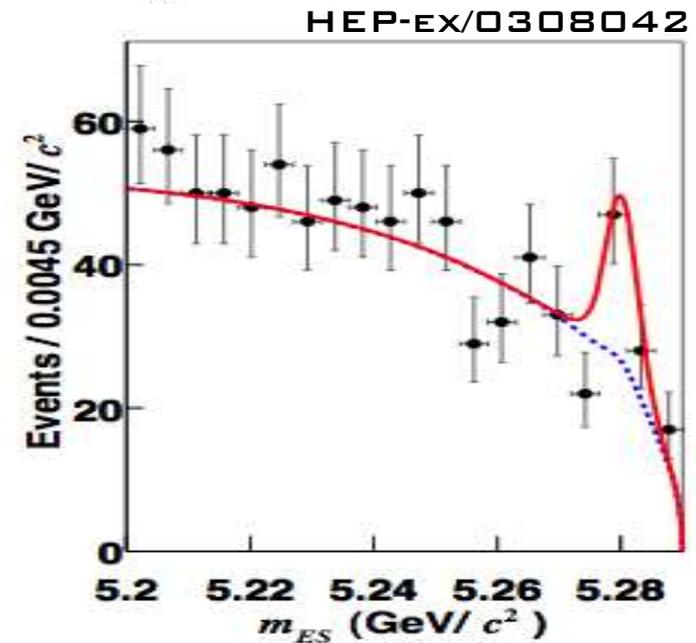
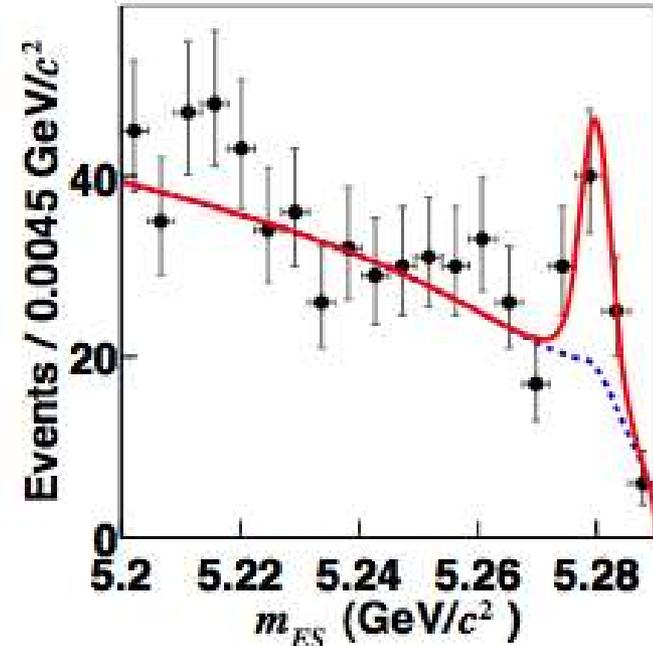
$$R(K^*) = 0.93 \pm 0.46 \pm 0.12$$



Asimmetria diretta di CP $A_{CP}(SM)=0$

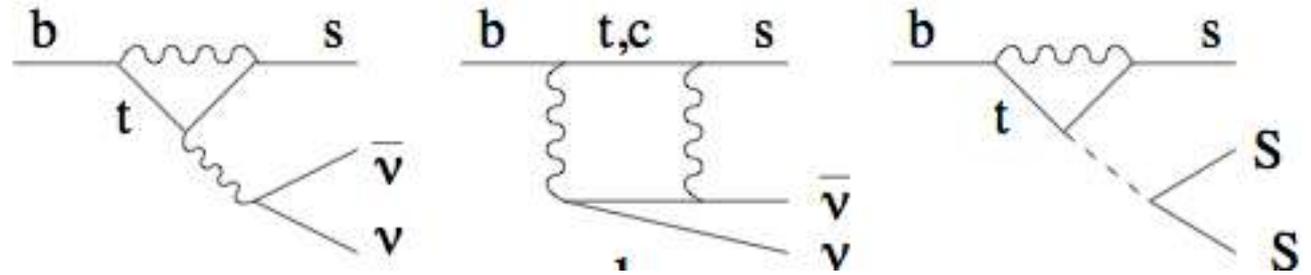
$$A_{CP}(Kl^+l^-) = 0.08 \pm 0.22 \pm 0.11$$

$$A_{CP}(K^*l^+l^-) = -0.03 \pm 0.23 \pm 0.12$$



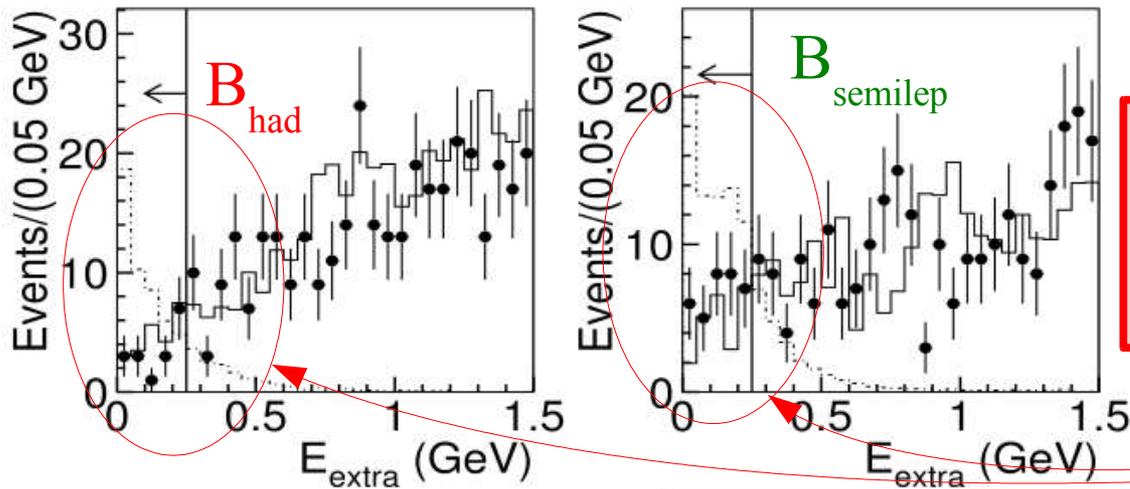
$B^+ \rightarrow K^+ \nu \bar{\nu}$

$$BR_{SM} = (3.8^{+1.2}_{-0.6}) \times 10^{-6}$$



Tecnica sperimentale:

- Ricostruzione completa del Btag ($B_{had/semilep}$)
- Selezione sull'extra-energia del calorimetro: $E_{extra} = E_{Bric.} + E_{K^+}$



HEP-EX/0411061

$$BABAR(82 fb^{-1}): BR < 5.2 \times 10^{-5}$$

$$Belle(253 fb^{-1}): BR < 3.6 \times 10^{-5}$$

segnale atteso

- $BR(B^+ \rightarrow K^+ \nu \bar{\nu})$ vincola modelli di Nuova Fisica come
 - Modelli con leptoquark
 - SUSY con rottura di R-parita'
 - Simmetrie orizzontali

HEP-PH/0401195

Vincoli sulle fasi di nuova fisica: input sperimentali

$$BR(B \rightarrow X_s \gamma, E_{\text{cut}} = 1.8 \text{ GeV}) = (3.51 \pm 0.43) \times 10^{-4}$$

$$a_{\text{CP}}(B \rightarrow X_s \gamma) = 0.004 \pm 0.036$$

$$BR(B \rightarrow X_s l^+ l^-, \text{low}) = (1.59 \pm 0.49) \times 10^{-6}$$

$$BR(B \rightarrow X_s l^+ l^-, \text{high}) = (4.34 \pm 1.15) \times 10^{-7}$$

$$a_{\text{CP}}(B \rightarrow X_s l^+ l^-) = -0.22 \pm 0.26$$

Today

$$BR(B \rightarrow X_s \gamma, E_{\text{cut}} = 1.8 \text{ GeV}) = (3.73 \pm 0.02) \times 10^{-4}$$

$$a_{\text{CP}}(B \rightarrow X_s \gamma) = 0.000 \pm 0.005$$

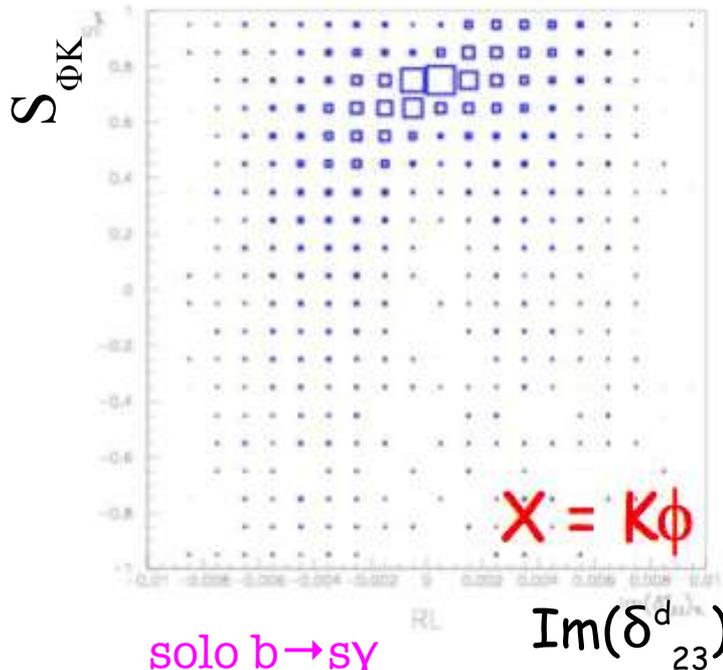
$$BR(B \rightarrow X_s l^+ l^-, \text{low}) = (2.40 \pm 0.04) \times 10^{-6}$$

$$BR(B \rightarrow X_s l^+ l^-, \text{high}) = (3.91 \pm 0.09) \times 10^{-7}$$

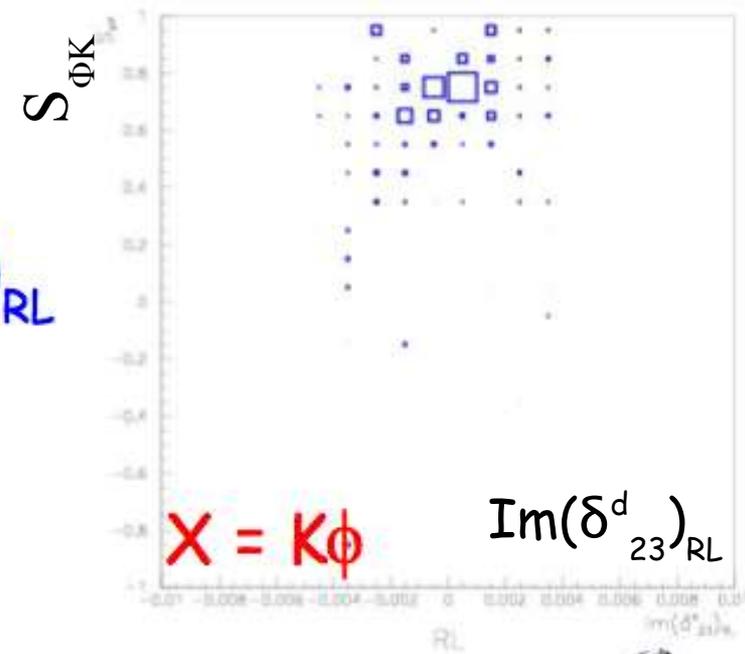
$$a_{\text{CP}}(B \rightarrow X_s l^+ l^-) = 0.000 \pm 0.015$$



Vincoli sulle fasi di Nuova Fisica



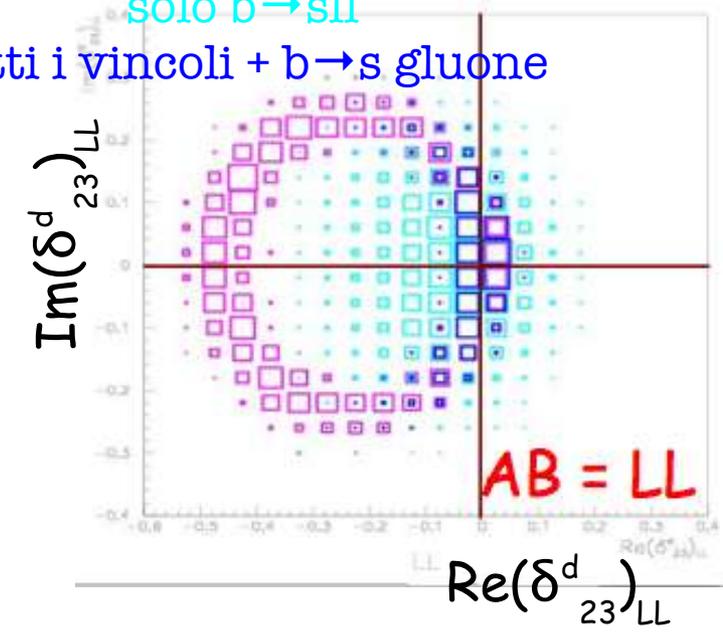
S_X
vs
 $Im(\delta^d_{23})_{RL}$



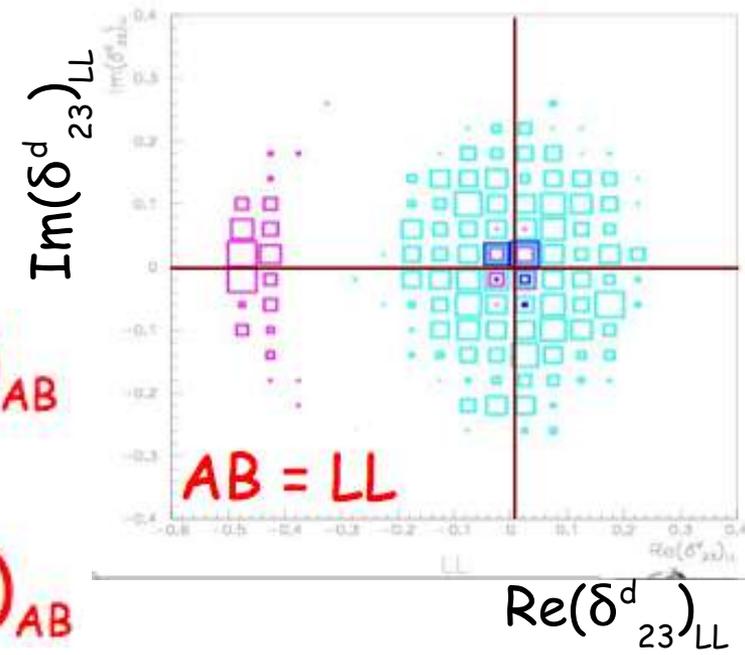
presente
futuro

solo $b \rightarrow s\gamma$
solo $b \rightarrow sll$

tutti i vincoli + $b \rightarrow s$ gluone

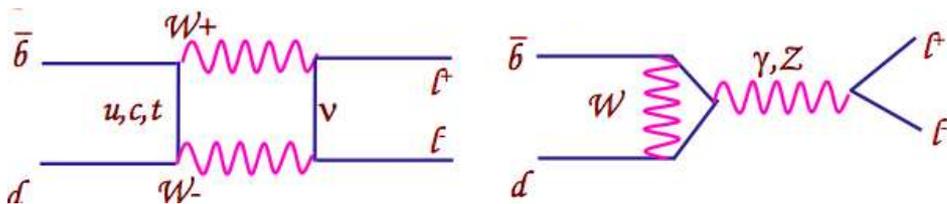


$Re(\delta^d_{23})_{AB}$
vs
 $Im(\delta^d_{23})_{AB}$



Effetti di nuova fisica nei decadimenti leptonici del B

B → l+l-



Predizioni SM:

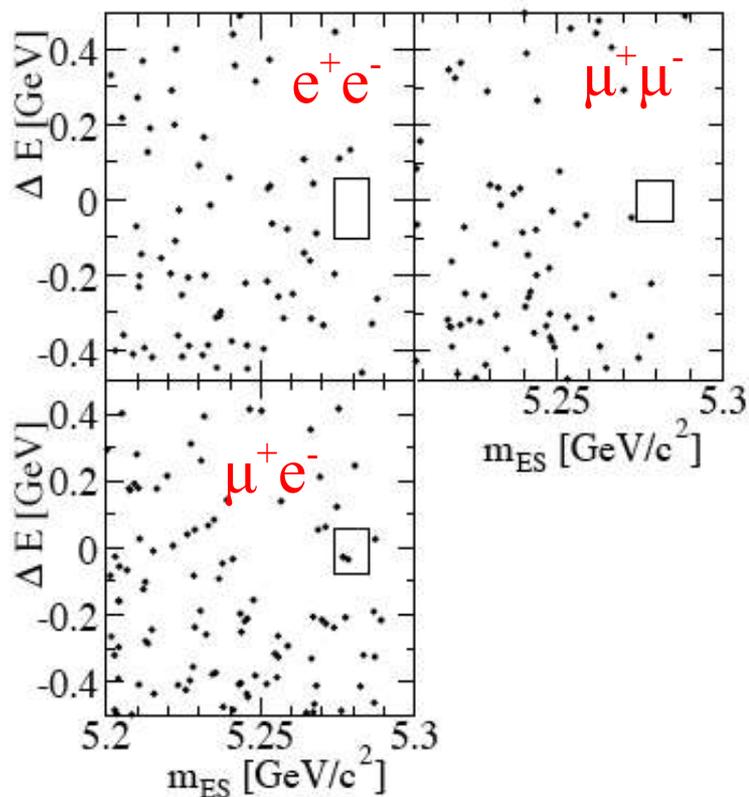
$$BR(B_d^0 \rightarrow \tau^+ \tau^-) \approx 10^{-8}$$

$$BR(B_d^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) \approx 10^{-11}$$

$$BR(B_d^0 \rightarrow e^+ e^-) \approx 10^{-15}$$

$$BR(B \rightarrow \tau^+ \tau^+)_{SM} = 1.3 \times 10^{-7} \left(\frac{f_B}{200 \text{ MeV}} \right)^2 \left(\frac{V_{td}}{0.007} \right)^2$$

Ulteriore soppressione di elicità!



$$BR(B \rightarrow e \mu)_{SM} = 0$$

(ricerca diretta di LFV)

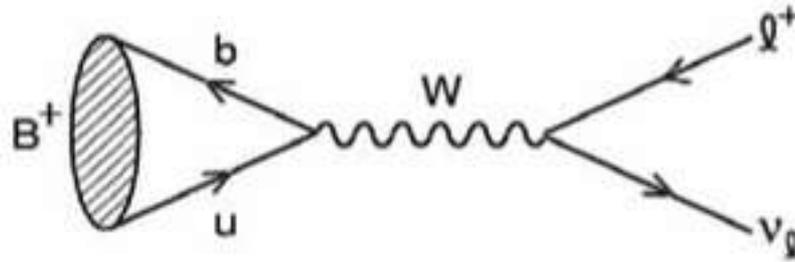
Attuali UL:

$$BABAR < 8.30 \times 10^{-8} \quad < 6.1 \times 10^{-8} \quad < 1.84 \times 10^{-7}$$

$$Belle < 1.60 \times 10^{-7} \quad < 1.90 \times 10^{-7} \quad < 1.70 \times 10^{-7}$$

$$CDF < 4.00 \times 10^{-8} \quad \text{HEP-EX/0508058}$$

Ricerca di $B^- \rightarrow \tau^- \nu$



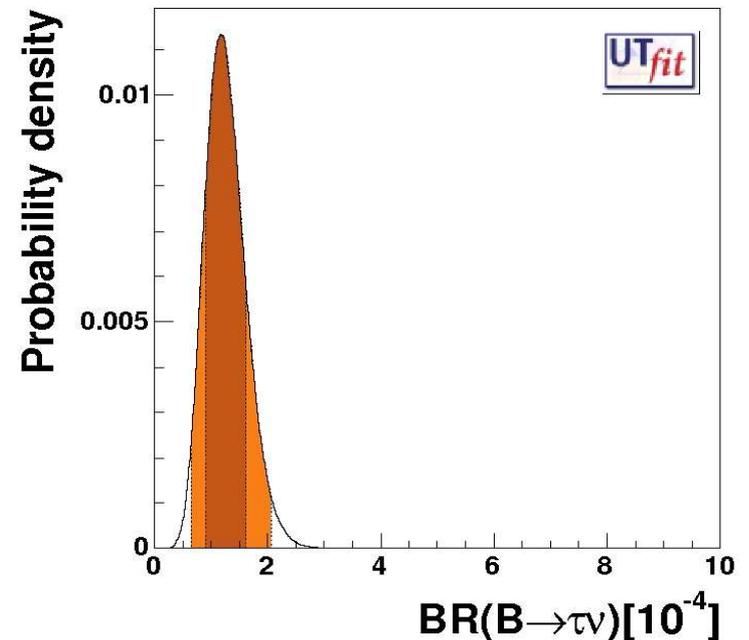
SM:

$$\Gamma(B^- \rightarrow \tau^- \bar{\nu}_\tau) = \frac{G_F^2}{8\pi} f_B^2 |V_{ub}|^2 m_B m_\tau^2 \left(1 - \frac{m_\tau^2}{m_B^2}\right)^2$$

- Misura la costante di decadimento f_B dal reticolo QCD: $f_B \approx 200$ MeV
- Dai vincoli del triangolo Unitario ($|V_{ub}|$):
 - $BR_{SM} = (1.26 \mp 0.36) 10^{-4}$

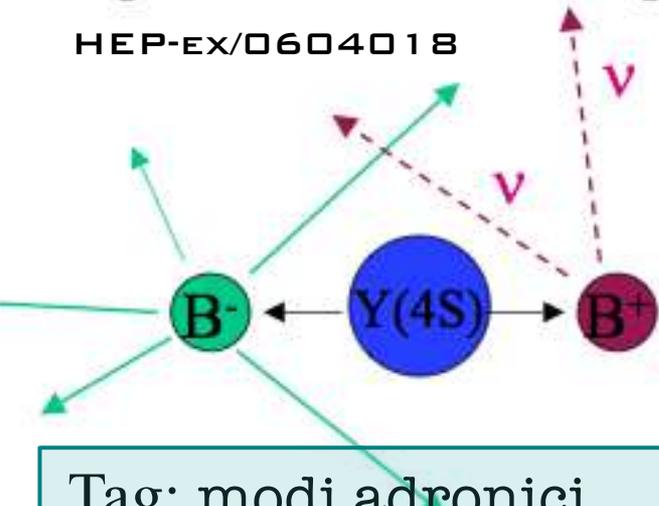
Effetti di Nuova Fisica:

Nel modello con due Higgs, il contributo di H^+ puo' innalzare il $BR(B \rightarrow \tau \nu)$



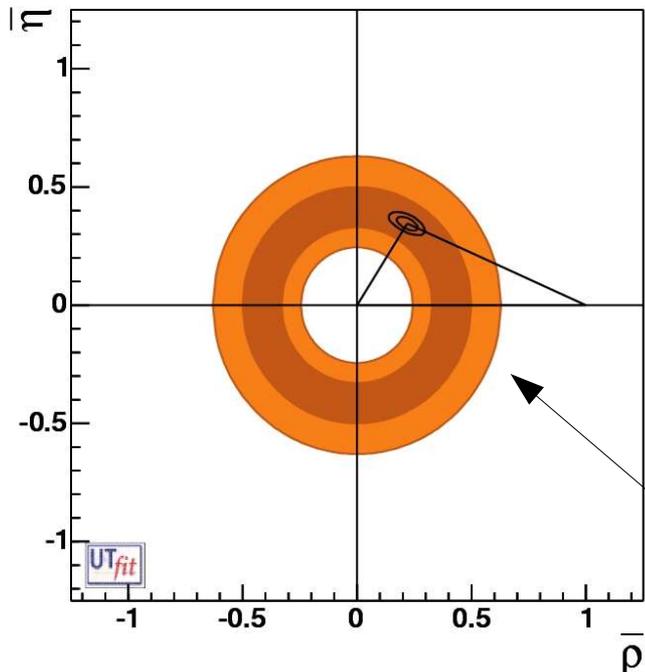
Evidenza sperimentale a Belle

HEP-EX/0604018

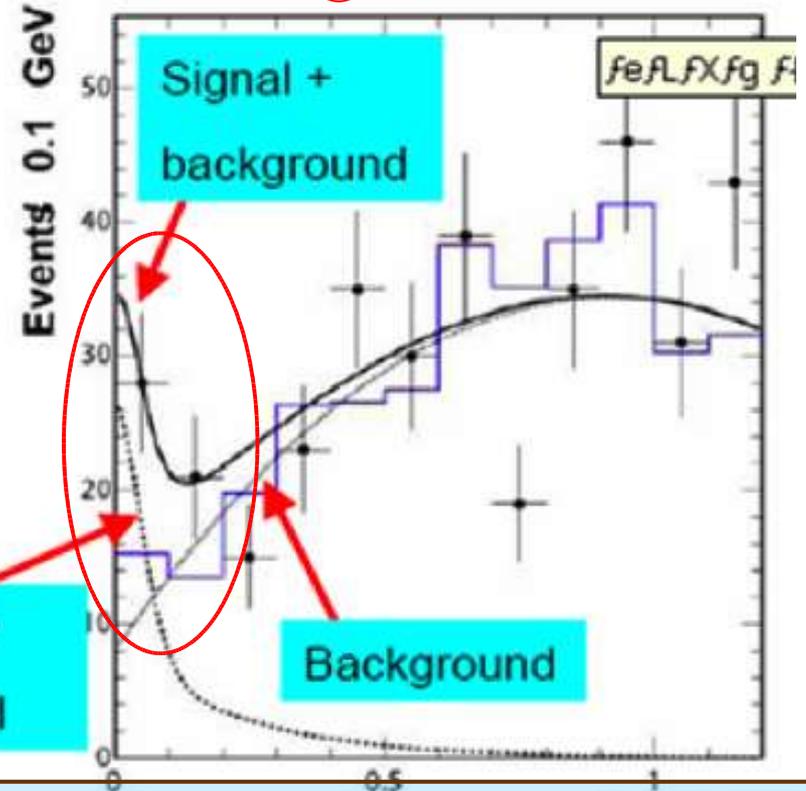


Segnale:
 $\tau^- \rightarrow \mu(e)^- \nu \bar{\nu}$,
 $\tau \rightarrow \pi^- \nu$,
 $\tau \rightarrow \pi^- \pi^0 \nu$,
 $\tau \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^- \nu$

Tag: modi adronici
 completamente ricostruiti



Belle @ FPCP 2006



$$E_{ECL} = E_{tot} - E_{Bric.} (-E_{\pi^0} \text{ per } \pi^- \pi^0 \nu) \quad E_{ECL} \text{ (GeV)}$$

Eccesso di energia nel calorimetro:
 $21.2^{+6.7}_{-5.7}$, con una significanza di 4.2σ

BABAR(82M): $BR < 2.6 \times 10^{-4}$
 Belle(414M): $BR = 1.06^{+0.34}_{-0.28} {}^{+0.18}_{-0.16} \times 10^{-4}$

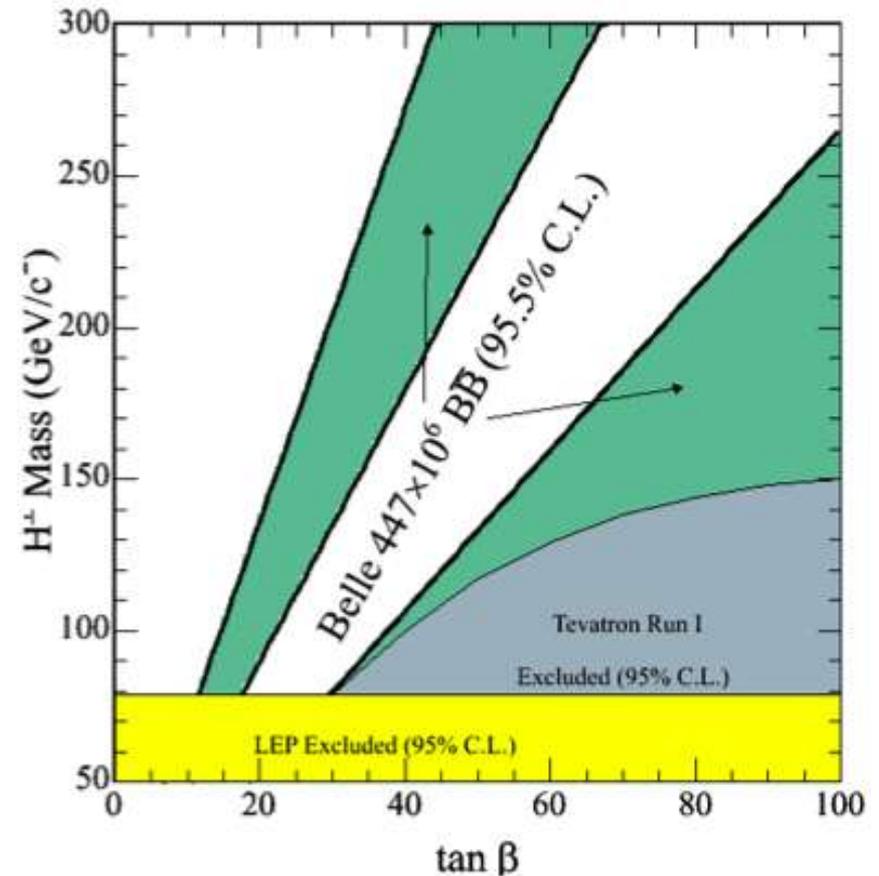
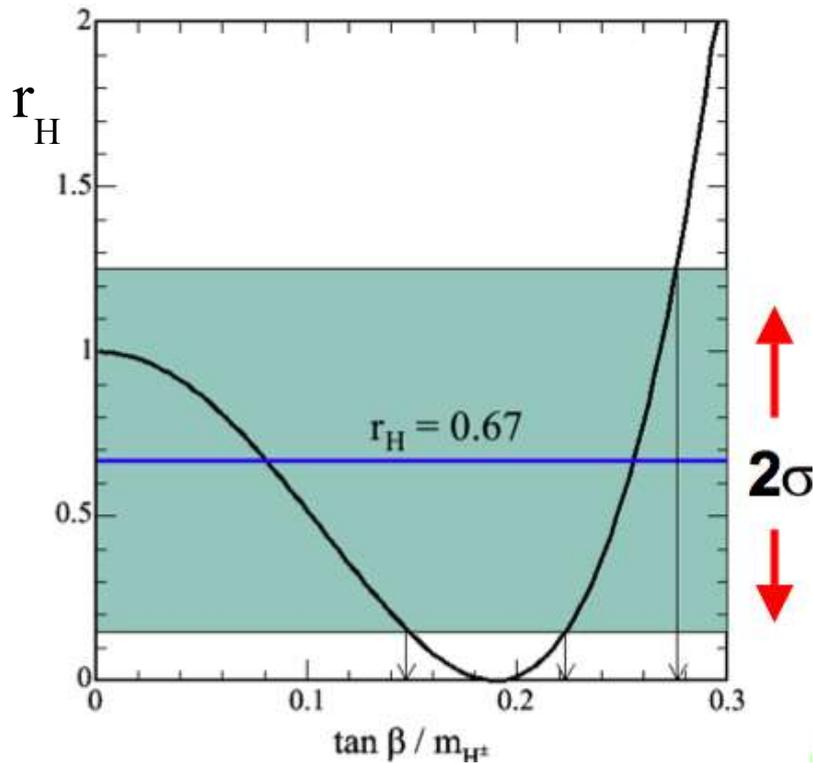
Vincoli di NF da $B^- \rightarrow \tau \nu$

Contributo dell' H^+ :

$$BR(B^- \rightarrow \tau \nu)_{\text{exp}} = BR(B^- \rightarrow \tau \nu)_{\text{SM}} \times r_H$$

$$r_H = \left(1 - \frac{m_B^2}{m_H^2} \tan^2 \beta \right)^2$$

$$r_H = 0.67^{+0.29}_{-0.26}$$



Lepton Flavour Violation nei decadimenti del τ

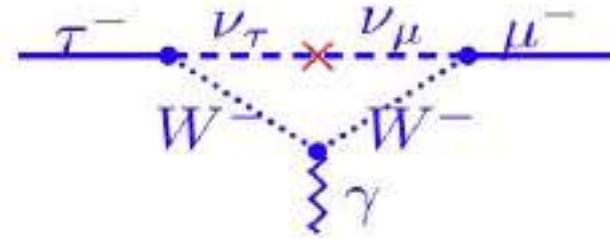
LFV in $\tau^+ \rightarrow l^+ \gamma$

SM: decadimenti permessi dal mescolamento leptonic, ma estremamente soppressi:

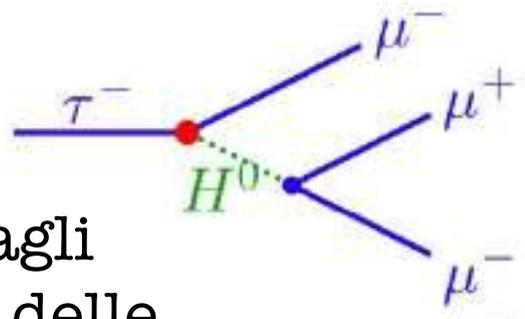
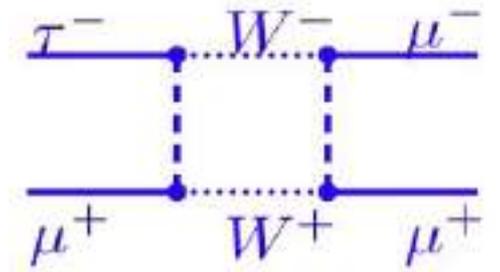
$$BR(\tau^- \rightarrow l^- \gamma)_{SM} \approx 10^{-40}$$

$$BR(\tau^- \rightarrow l^- l^+ l^-)_{SM} \approx 10^{-14}$$

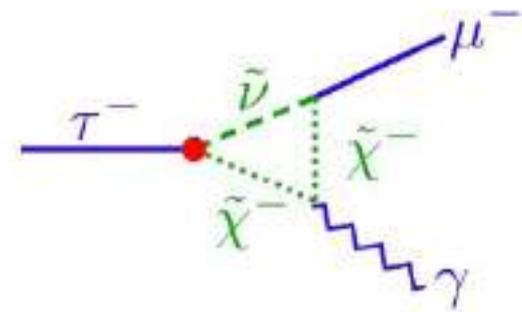
BR \ll sensibilita' sperimentale \Rightarrow segnale = Nuova Fisica



SM



\oplus Nuova Fisica



SUSY: LFV generata dagli elementi non diagonali delle matrici di mescolamento degli s-leptoni \tilde{L}, \tilde{R}

	$\tau^- \rightarrow l^- \gamma$	$\tau^- \rightarrow l^- l^+ l^-$
mSUGRA+seesaw	$< 10^{-7}$	$< 10^{-9}$ [hep-ph/0206110]
SUSY SU(5)	$< 10^{-4}$	[hep-ph/0303071]
MSSM+rottura soffice di SUSY	$< 10^{-10}$	$< 10^{-6}$ [hep-ph/0305290]

La tecnica sperimentale...

Le B Factory forniscono il campione piu' grande di leptoni τ (τ -Factory):

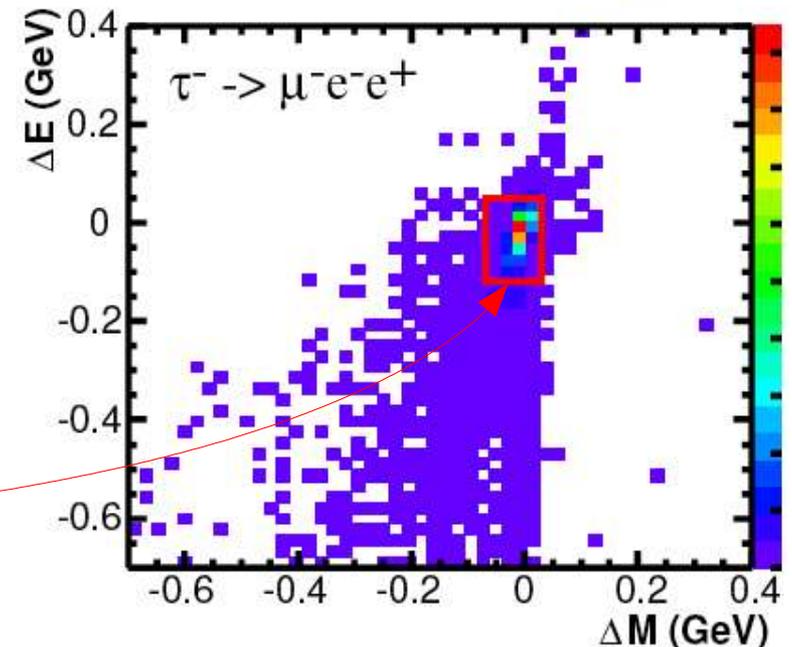
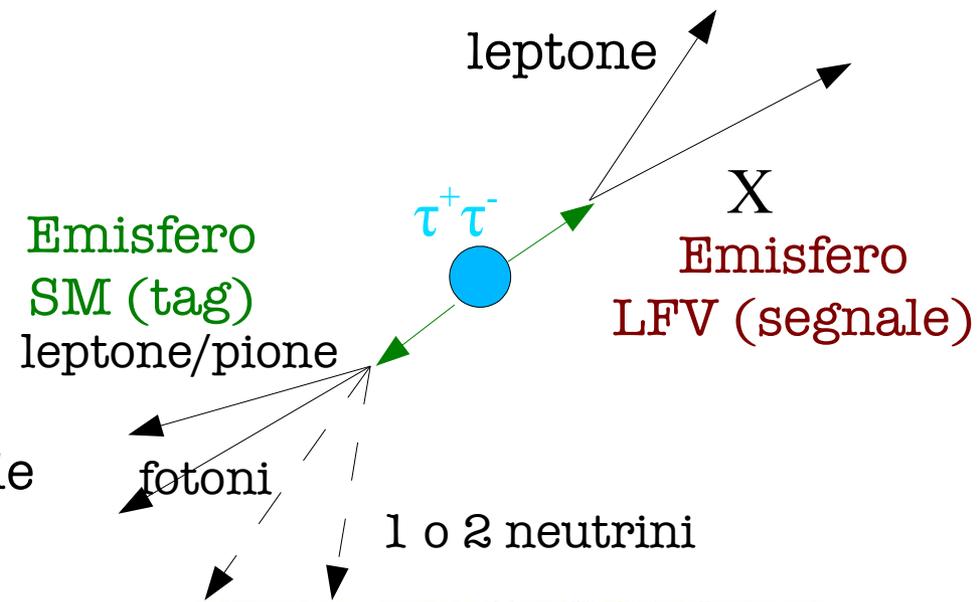
$$\sigma(e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-) = 0.94 \text{ nb}$$

BABAR + Belle $\sim 800 \times 10^6$ τ s

- Ricostruzione completa del lato di segnale
- Ricostruzione parziale del lato di tag
- 85% degli eventi con una traccia

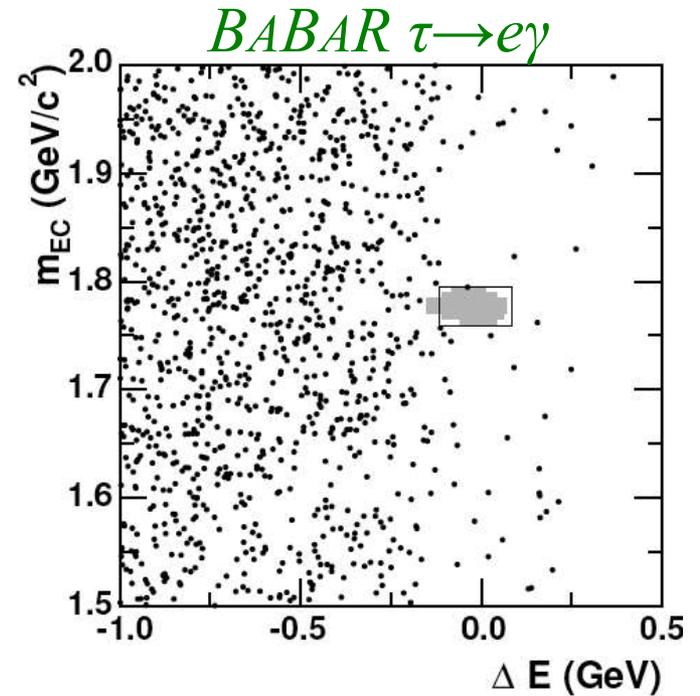
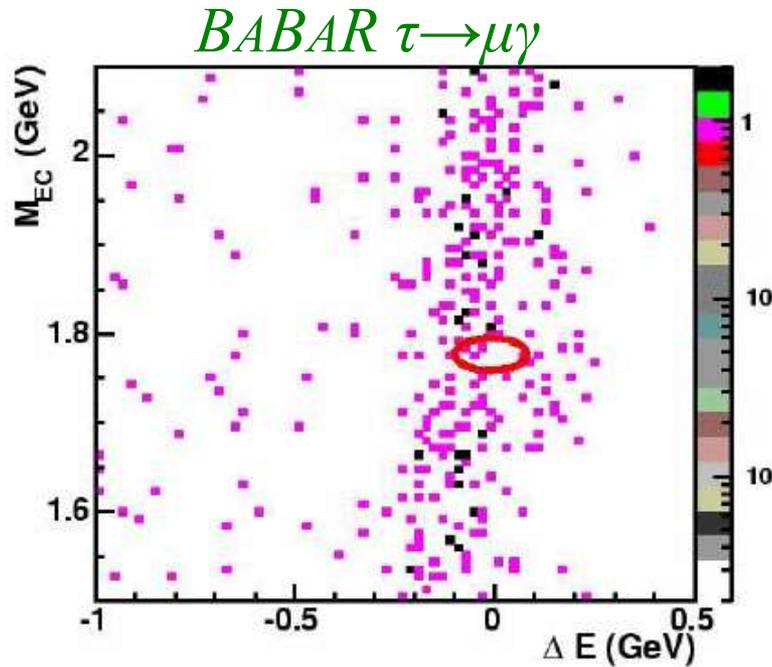
Fondi principali:

- ISR $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-, \tau^+\tau^-$ (ma $\gamma \sim$ collineare con μ)
- $\tau^\pm \rightarrow h^\pm (\geq 1) \pi^0 \nu$ (h=traccia adronica ricostruita come μ)

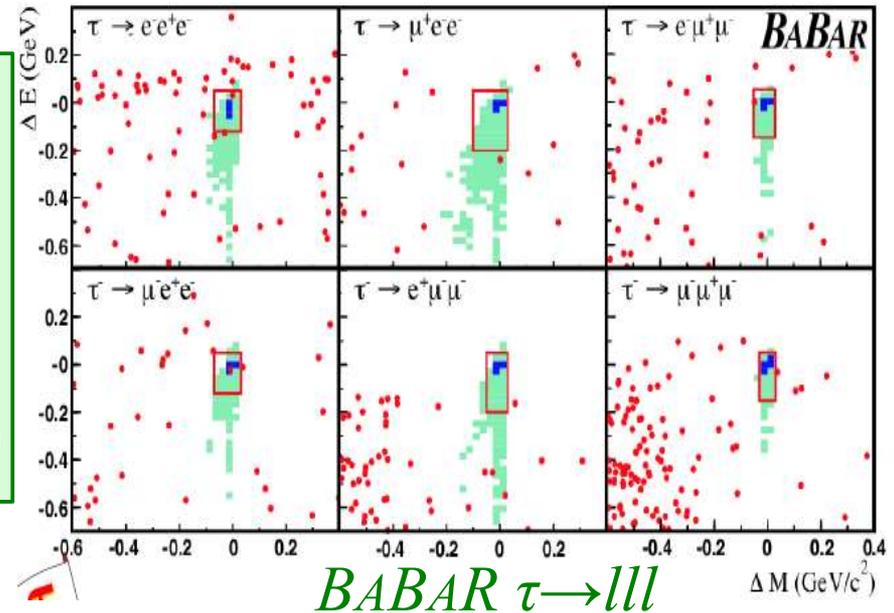


Segnatura tipica

...e i risultati



	<i>BABAR</i>	<i>Belle</i>
$BR(\tau \rightarrow \mu \gamma)$	$< 0.68 \times 10^{-7} (232 M)$	$< 3.1 \times 10^{-7} (86 M)$
$BR(\tau \rightarrow e \gamma)$	$< 1.1 \times 10^{-7} (232 M)$	$< 3.8 \times 10^{-7} (87 M)$
$BR(\tau \rightarrow ll\gamma)$	$< (1.1 - 3.3) \times 10^{-7} (90 M)$	$< (1.9 - 3.5) \times 10^{-7} (87 M)$



mSUGRA con elementi "off-diagonal"

A. Brignole, A. Rossi [hep-ph/0404211]

Parte rilevante della Lagrangiana:

$$L = Y_l L \tilde{H}_1 E - M_{\tilde{L}}^2 \tilde{L}^* \tilde{L} - M_{\tilde{E}}^2 \tilde{E}^* \tilde{E} - A_l \tilde{L} H_1 \tilde{E}^* - \mu H_1 H_2 - B \mu H_1 H_2 + h.c.$$

- Massa del gaugino $M_j(m_{GUT}) = m_{1/2}$
- Massa dello scalare $M_j(m_{GUT}) = m_0$
- Accoppiamenti trilineari $A_i(m_{GUT}) = A_i(m_{GUT}) * A_0$
- Matrici di mescolamento:

$$M_{\tilde{L}}^2(2,3)(m_{GUT}) = \Delta_L^2 m_0^2$$

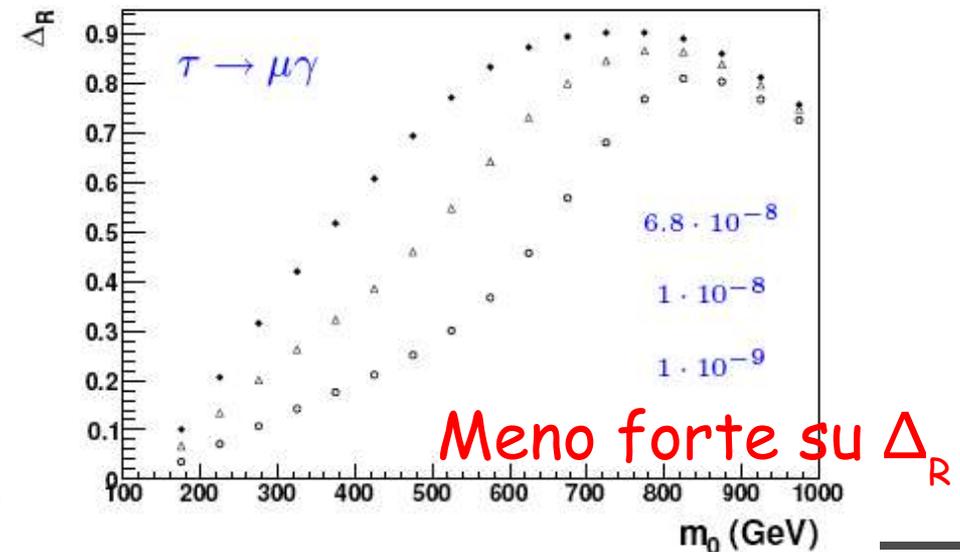
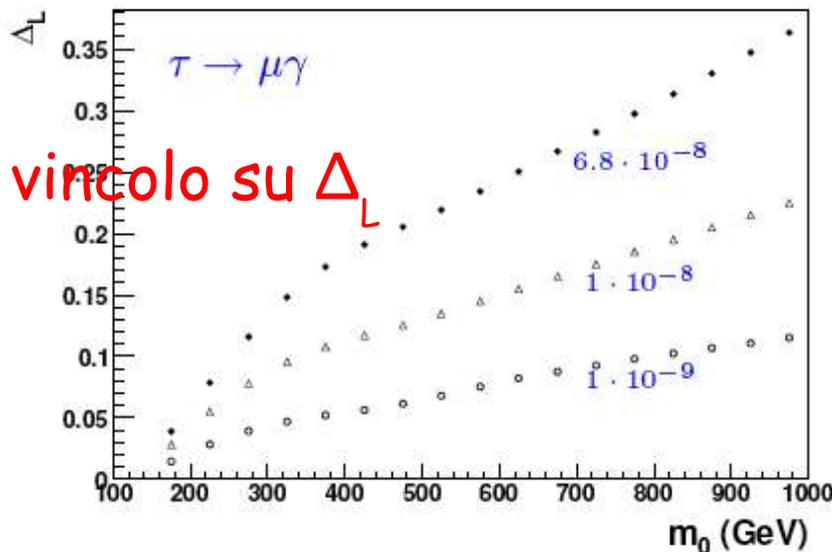
$$M_{\tilde{E}}^2(2,3)(m_{GUT}) = \Delta_R^2 m_0^2$$

Equazioni
RG

$$BR(\tau \rightarrow \mu X)$$

$$BR(\tau \rightarrow e X)$$

@ scala elettrodebole



Conclusioni

- La fisica del flavour e' sensibile alla struttura dei modelli di Nuova Fisica negli accoppiamenti di particelle pesanti virtuali nei loop
- Con gli ultimi risultati delle B-Factory non c'e' evidenza di grandi deviazioni dal Modello Standard
- Le attuali misure lasciano ancora spazio per la presenza di Nuova Fisica nel settore $b \rightarrow s$:
 - Occorrono piu' dati per trarre conclusioni
- La ricerca di decadimenti LFV pone dei vincoli stringenti a vari modelli di nuova fisica
 - In particolare, in SUSY-GUT c'e' una corrispondenza tra la violazione del flavour nel settore dei quark e dei leptoni

Le B-Factory studiano un settore complementare ai collider adronici
nella ricerca indiretta di Nuova Fisica...

