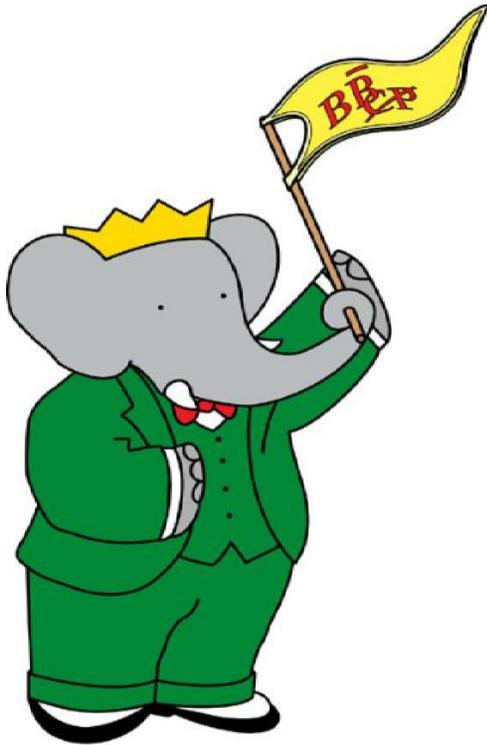


OSCILLAZIONI DI SAPORE NEL SISTEMA DEI MESONI B NEUTRI



Raffaella Donnarumma

3-6-2010

Sommario

- Le oscillazioni di sapore dei mesoni B neutri
- Misura dei parametri del “mixing” tramite asimmetrie dipendenti dal tempo
- La B-factory PEP-II e l’esperimento BABAR
- Descrizione dell’analisi
- Risultati e conclusioni

Gli autostati di sapore non coincidono con gli autostati di massa per i mesoni B neutri.

- Autostati di sapore $|\bar{B}_0\rangle$ $|B_0\rangle$
- Autostati di massa $|B_L\rangle = p|B_0\rangle + q|\bar{B}_0\rangle$ $|B_H\rangle = p|B_0\rangle - q|\bar{B}_0\rangle$

Se non ci fosse violazione CP gli autostati di massa coinciderebbero con quelli di CP. L'evoluzione temporale è regolata dall'eq. di Schrodinger:

$$i \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} p \\ q \end{pmatrix} = H \begin{pmatrix} p \\ q \end{pmatrix} = \left(M - \frac{i}{2} \Gamma \right) \begin{pmatrix} p \\ q \end{pmatrix}$$

Trovando gli autovalori dell'hamiltoniana, $\mu_{L,H} = M_{L,H} - \frac{i}{2} \Gamma_{L,H}$, si ricava

l'evoluzione temporale: $|B_{L,H}(t)\rangle = e^{-\left(\frac{\Gamma_{L,H}}{2} + iM_{L,H}\right)t} |B_{L,H}(0)\rangle$

Diretta conseguenza di questo è il fenomeno di **MIXING** che permette l'oscillazione tra B_0 e \bar{B}_0 .

A causa della piccola differenza di vita media, $\frac{\Delta\Gamma_B}{\Gamma_B} \leq O(10^{-2})$, gli autostati di massa non sono distinguibili fisicamente, chiameremo quindi $|B_{0phys}(t)\rangle$ e $|\bar{B}_{0phys}(t)\rangle$ gli stati fisici che evolvono rispettivamente da $|B_0\rangle$ e $|\bar{B}_0\rangle$.

Dalle equazioni:

$$|B_0\rangle = \frac{1}{2p} (|B_L\rangle + |B_H\rangle)$$

$$|\bar{B}_0\rangle = \frac{1}{2q} (|B_L\rangle - |B_H\rangle)$$

si ricava che:

$$|B_{0phys}(t)\rangle = g_+(t)|B_0\rangle + \frac{q}{p} g_-(t)|\bar{B}_0\rangle$$

$$|\bar{B}_{0phys}(t)\rangle = \frac{p}{q} g_-(t)|B_0\rangle + g_+(t)|\bar{B}_0\rangle$$

dove $g_{\pm}(t) = \frac{1}{2} \left[e^{-i\left(M_L - \frac{i}{2}\Gamma_L\right)t} \pm e^{-i\left(M_H - \frac{i}{2}\Gamma_H\right)t} \right]$, e approssimando $\Gamma_H \approx \Gamma_L \approx \Gamma \approx \frac{\Gamma_H + \Gamma_L}{2}$

si ottiene: $g_+(t) = e^{-\left(\frac{\Gamma}{2} + iM\right)t} \cos(\Delta Mt / 2)$ $g_-(t) = ie^{-\left(\frac{\Gamma}{2} + iM\right)t} \sin(\Delta Mt / 2)$

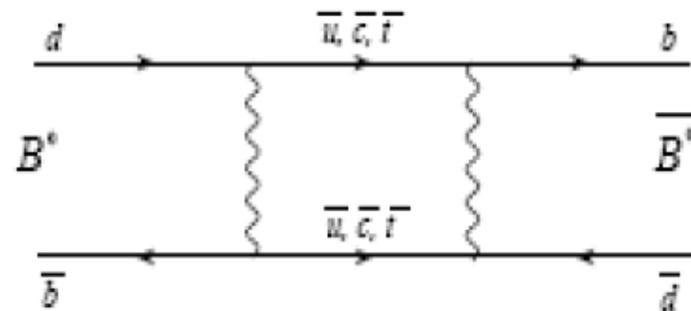
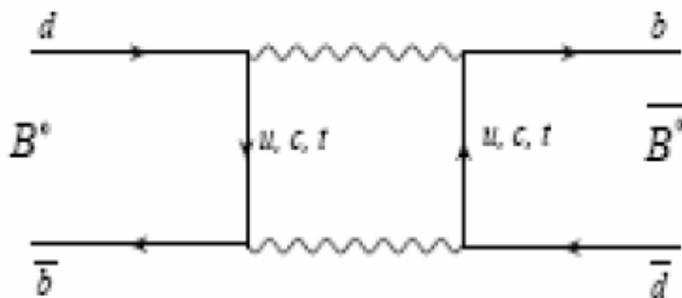
Dalle ultime equazioni ricaviamo che la probabilità che un $B_0 \Rightarrow B_0$ o che

$$B_0 \Rightarrow \bar{B}_0 \text{ è rispettivamente: } |g_+(t)|^2 = \frac{1}{2} e^{-\Gamma t} [1 + \cos(\Delta M t)]$$

$$|g_-(t)|^2 = \frac{1}{2} e^{-\Gamma t} [1 - \cos(\Delta M t)]$$

Il ΔM può quindi essere misurato confrontando il rate in funzione del tempo per coppie di mesoni B neutri che decadono con lo stesso sapore o con sapore opposto.

$$A(\Delta t) = \frac{N(B_0 \bar{B}_0) \Delta t - N(B_0 B_0) - N(\bar{B}_0 \bar{B}_0)}{N(B_0 \bar{B}_0) \Delta t + N(B_0 B_0) + N(\bar{B}_0 \bar{B}_0)} = \cos(\Delta M_B \Delta t)$$



PECULIARITA' DELLA MISURA IN BaBar

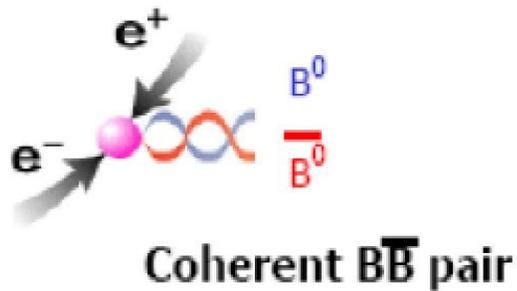
I mesoni B vengono prodotti in seguito alle collisione $e^- e^+$ dal decadimento della risonanza $Y(4s)$.

$$\sigma(e^+ e^- \rightarrow Y(4s)) = 1.1nb$$

$$Y(4s) \rightarrow B_0 \bar{B}_0 \quad 50\%$$

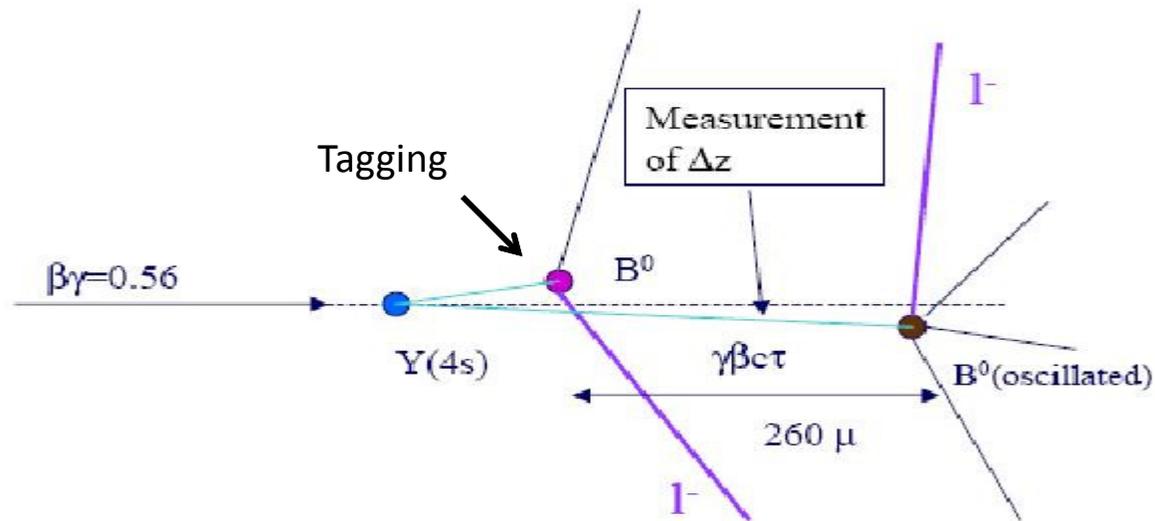
- ✓ Identificazione del sapore del mesone al tempo t_{tag} (tagging) .
- ✓ Determinazione dell'intervallo di tempo Δt che intercorre tra il tag ed il decadimento del mesone.
- ✓ Ricostruzione del sapore del mesone al tempo $t_{\text{tag}} + \Delta t$ e distinzione tra evento di mixing e unmixing.

TECNICA SPERIMENTALE



La coppia di mesoni è prodotta in uno stato coerente.

Finchè uno dei due B non decade ci saranno sempre istante per istante un B e un Bbar.



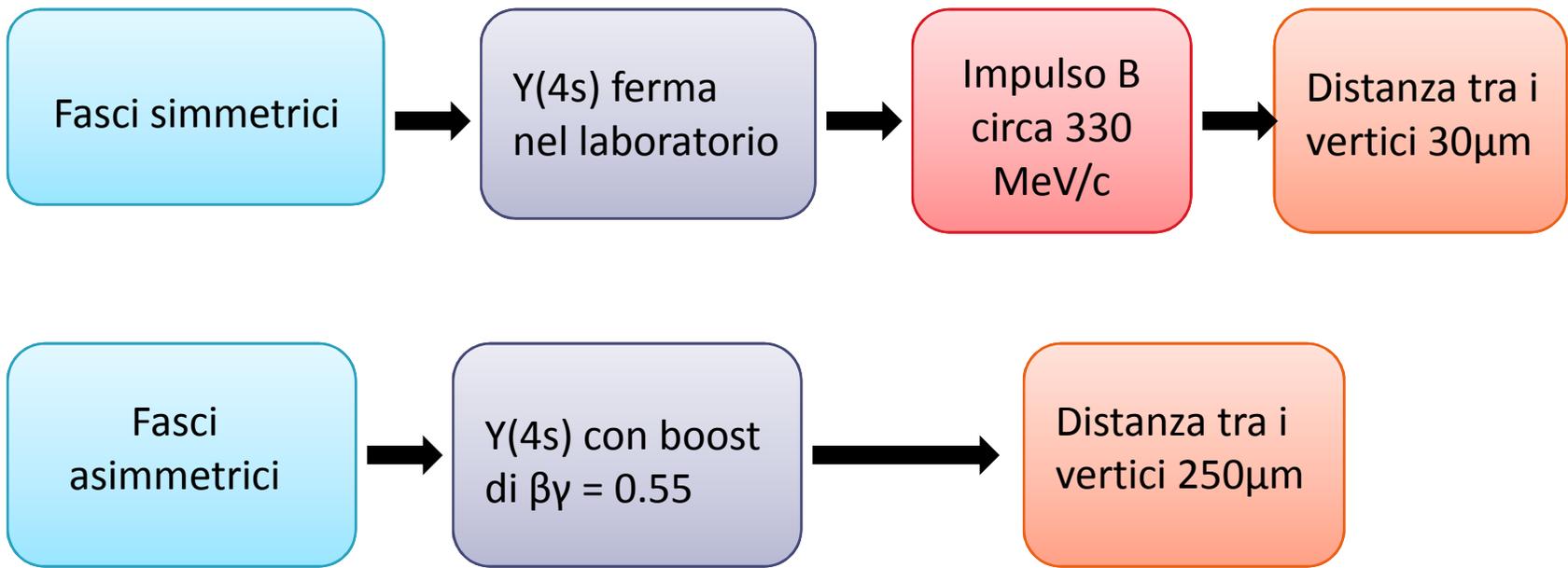
Determinare quindi il sapore di un mesone al tempo t_{tag} determina anche il sapore dell'altro mesone B_{REC} allo stesso tempo.

Asimmetria dei fasci

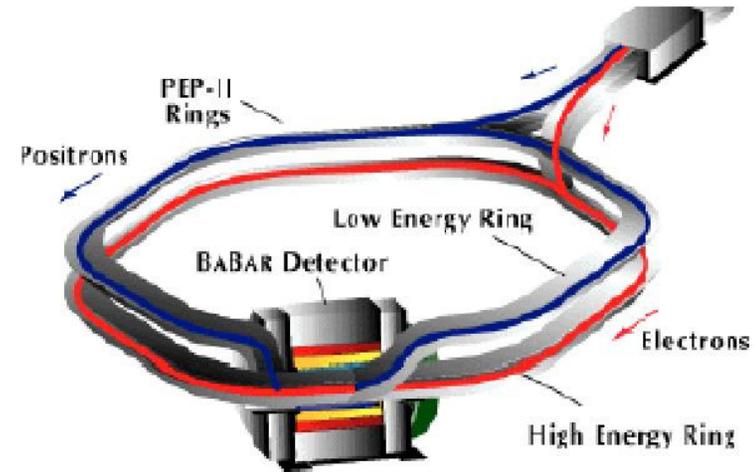
$e^- 9.0\text{GeV}$ $3.1\text{GeV } e^+$

 $\sqrt{s} \approx M_{Y(4s)} = 10.58 \text{ GeV}/c^2$
 $\beta\gamma = 0.55 \quad \beta\gamma c\tau_B \approx 250 \mu\text{m}$

FASCI ASIMMETRICI



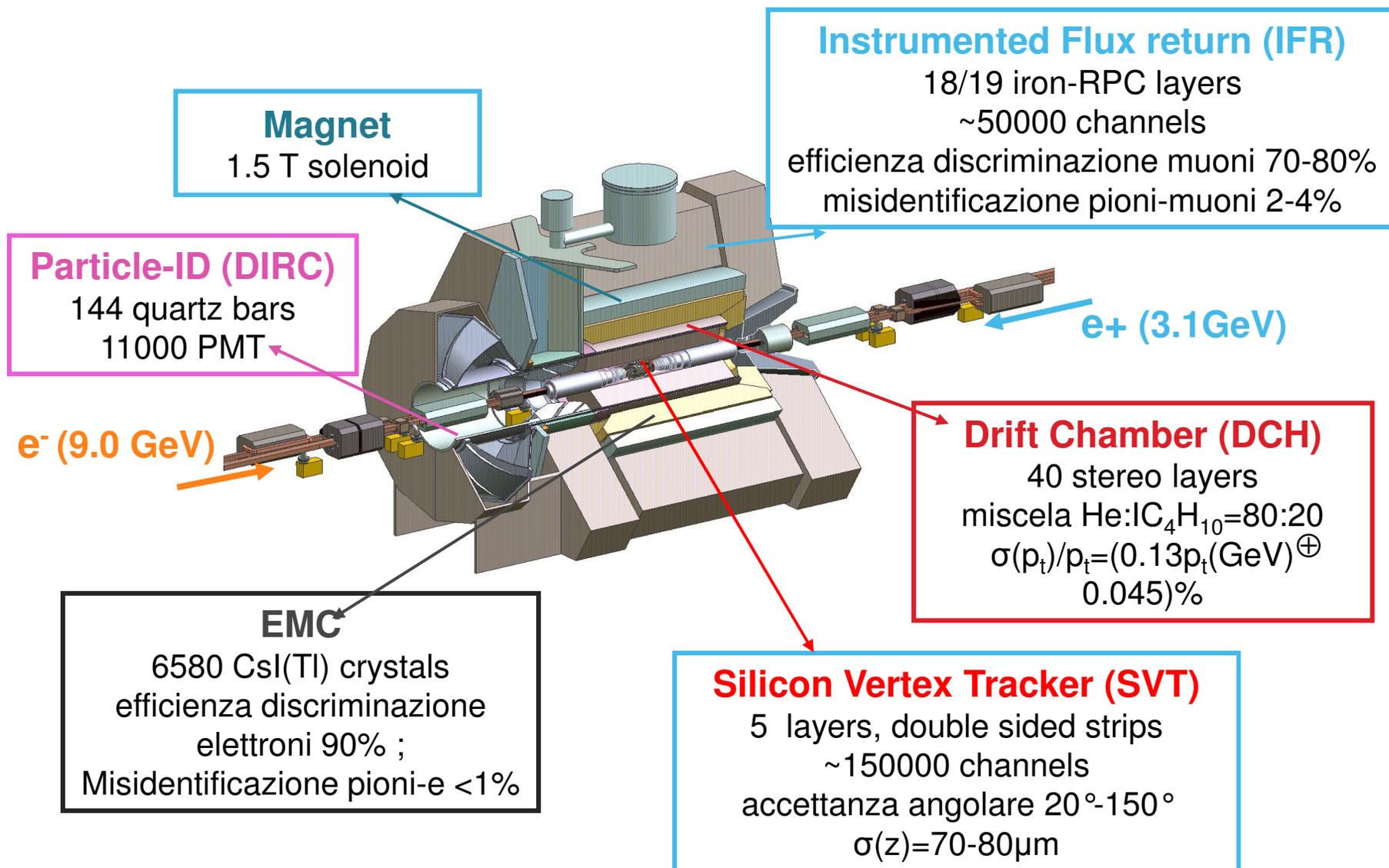
L'esperimento BABAR ha utilizzato l'anello di accumulazione PEP-II a Stanford.



La B-Factory PEP-II è costituita da un doppio anello di accumulazione con una circonferenza di 2.2 km. Elettroni e positroni circolano, raggruppati in pacchetti, in anelli separati. I fasci sono deviati con appositi magneti in prossimità della zona di interazione.

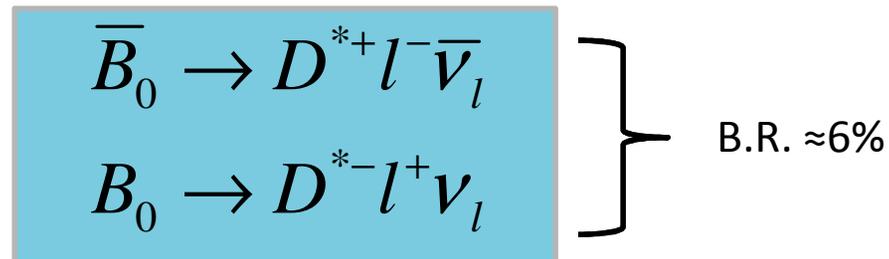
- Luminosità: $\approx 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$;
- Numero pacchetti 1658 ;
- Separazione spaziale 1,26 m ;
- Luminosità integrata 550 fb^{-1} e 50 fb^{-1} off-peak.
Per l'analisi che presento sono stati utilizzati $\approx 90 \text{ fb}^{-1}$
- Frequenza di produzione coppie mesoni B 10 Hz.

BaBar detector



Misure di mixing (e vita media) in BaBar

- Bisogna scegliere decadimenti che identificano in maniera non ambigua il sapore dei mesoni. Quindi lo stato finale deve essere un autostato di sapore.
- Particolarmente favorevoli sono le analisi basate sullo studio dei decadimenti semileptonici:



✓ Il segno della carica del leptone identifica il sapore del mesone B al momento del decadimento

✓ due diverse analisi in BaBar:

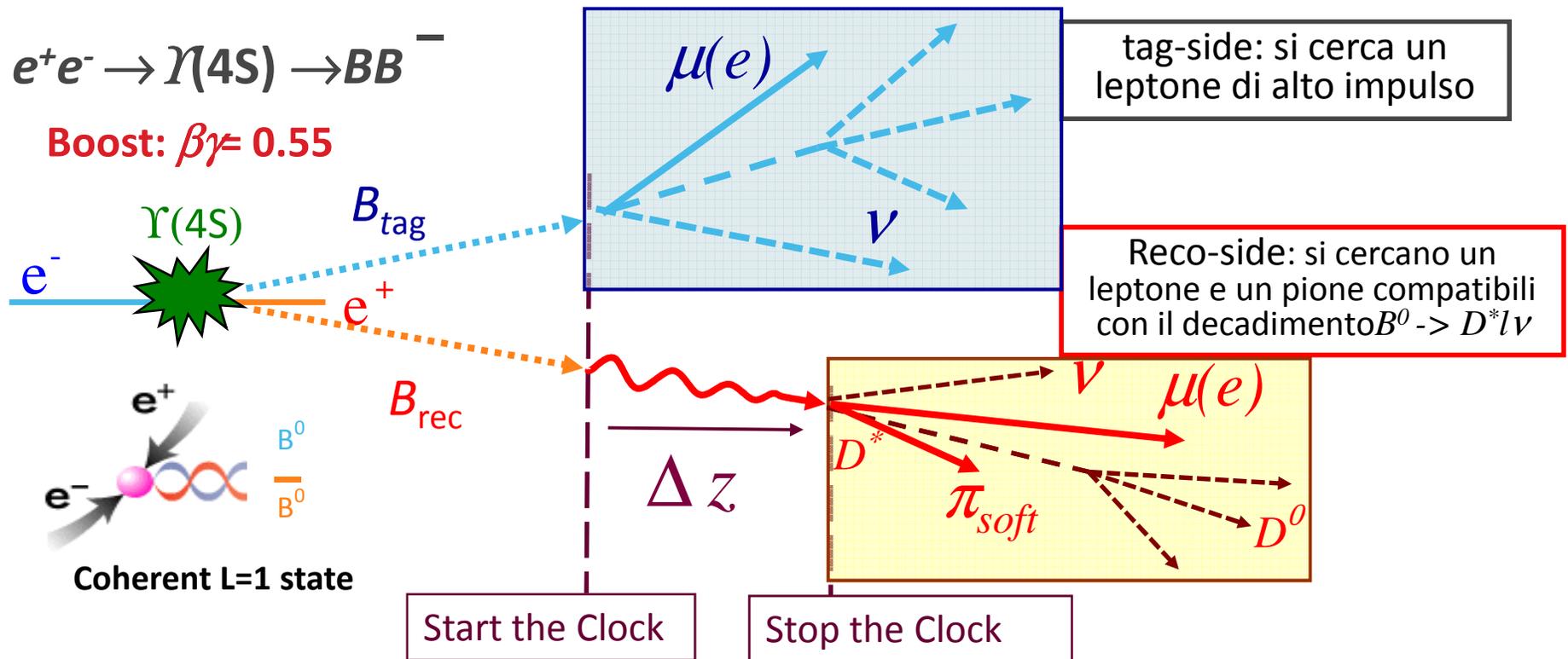
- ricostruzione esclusiva del $D^*(2010)^\pm$
- ricostruzione parziale del $D^*(2010)^\pm$

Ricostruisce il D^0 proveniente dal decadimento del $D^{*\pm}$ in alcuni specifici canali. Sfavorevole dal punto di vista della statistica.

➤ Utilizza solo il pione proveniente dal decadimento $D^{*\pm} \rightarrow D^0 \pi_s^\pm$ (B.R. 67,7%)

➤ Questa è l'analisi che vi descriverò

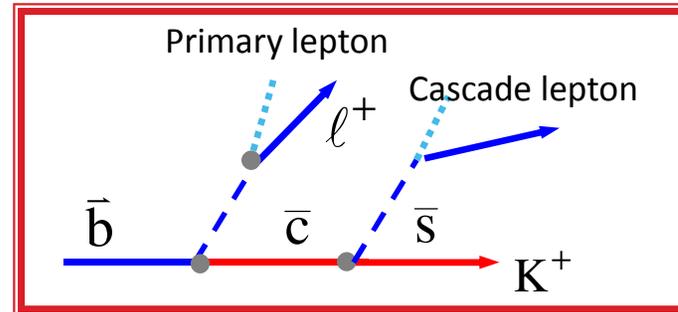
Strategia dell'analisi



1. preselezione dell'evento per sopprimere i fondi dal "continuo" ($e^+e^- \rightarrow qqbar, \tau^+\tau^-$)
2. ricostruzione parziale di $B^0 \rightarrow D^* l^+ \nu$ e misura del vertice di decadimento
3. ricerca di un leptone per identificare il B_{tag} e ricostruire il suo vertice di decadimento
4. misura di Δt dalla distanza Δz dei vertici di decadimento
5. classificazione eventi in base alla tipologia (mixed/unmixed, segnale/fondo)
6. Binned likelihood fit delle distribuzioni temporali, combinato per tutte le classi di eventi

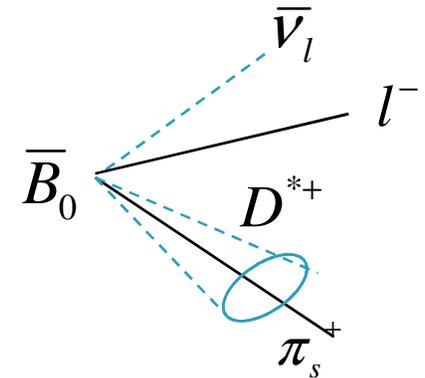
Selezione decadimenti semileptonici

Vengono selezionati leptoni con un impulso tra 1.3 e 2.4 GeV/c
 ==> si sopprimono quelli di cascata che hanno carica opposta



A causa del piccolo spazio delle fasi nel processo $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi_s^+$ il pione "soft" viene emesso quasi fermo nel centro di massa del D^* :

- si seleziona un pione di carica opposta al leptone e di impulso $60 < p(\pi_s) < 200 \text{ MeV}/c$
- la direzione di volo del D^* viene approssimata con quella del π_s
- l'energia del D^* è ricavata da quella del π_s (parametrizzazione ottenuta tramite simulazione Montecarlo)



Il D^{*+} è in un cono stretto intorno al π_s

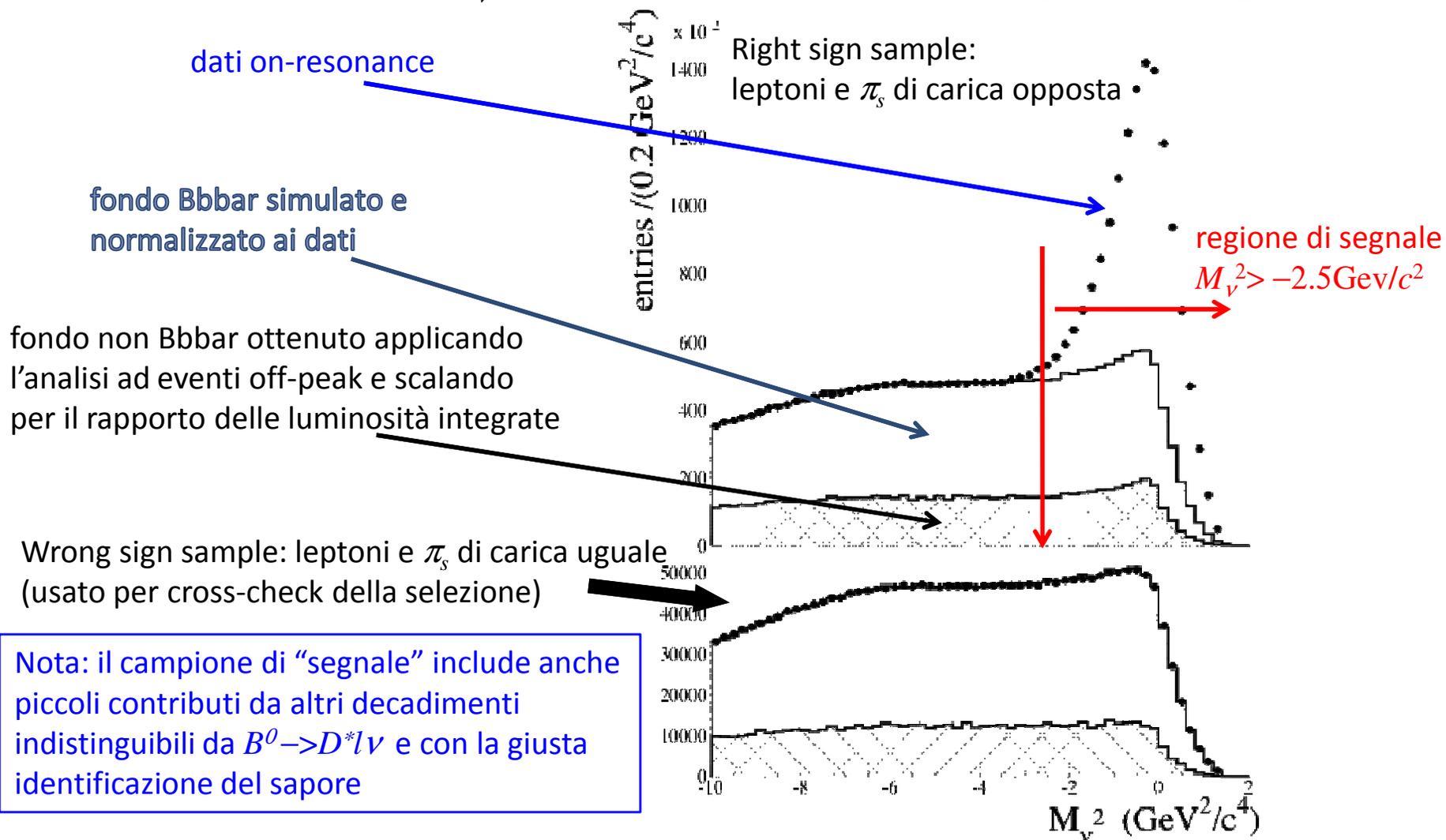
E' possibile definire quindi una variabile che ci aiuta nella scelta degli eventi.

$$M_v^2 = \left(\frac{\sqrt{s}}{2} - \tilde{E}_{D^{*+}} - E_{l^-} \right)^2 - \left(\tilde{p}_{D^{*+}} + p_{l^-} \right)^2$$

Dove si è trascurato l'impulso dei B nel riferimento della $Y(4S)$ e si è identificata la loro energia con quella del fascio nel centro di massa.

Selezione decadimenti semileptonici

- La distribuzione di M_V^2 è piccata intorno allo zero per gli eventi segnale



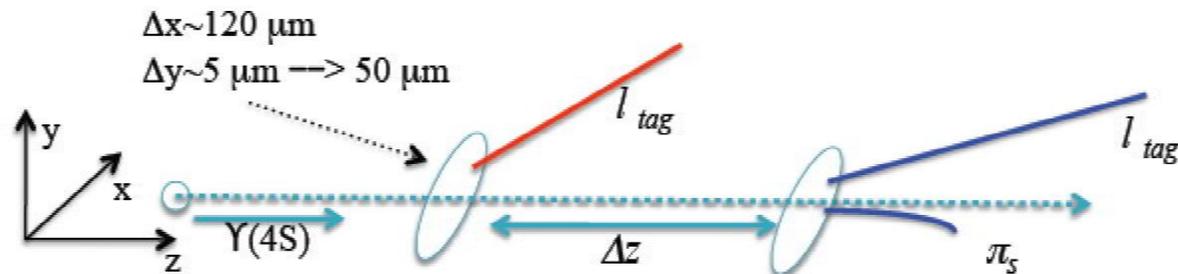
Determinazione del sapore del B e del Δt

- Il vertice di decadimento del B_{REC} è ricostruito attraverso un fit delle tracce del leptone e del π_s , usando le informazioni del “beam spot” nel piano xy.
- Per il B_{tag} si cerca il leptone di impulso maggiore tra quelli rimanenti, richiedendo $p_e > 1.0 GeV/c$ ($p_\mu > 1.1 GeV/c$), per ridurre la contaminazione da leptoni secondari nel tagging.
- Il punto di decadimento del B_{tag} si ottiene fittando la traccia del leptone con il constraint del beam spot.
- Il Δt viene dalla distanza tra i due punti di decadimento proiettati sull’asse z :

$$\Delta z = z_{rec} - z_{tag} \quad \Delta t = \frac{\Delta z}{c \langle \beta \gamma \rangle}$$

Valor medio del boost durante un run si trascura l’impulso del B nel c.d.m. della $Y(4s)$.

beam spot (posizione media del punto di interazione $e^+ e^-$)



Eventi mixed e unmixed

❖ Il sapore dei due B è ottenuto dai segni delle cariche dei leptoni corrispondenti.
Se l' assegnazione fosse sempre corretta:

❖ Leptoni con lo stesso segno: B_{tag} e B_{REC} hanno lo stesso sapore.

➡ B_{REC} ha cambiato sapore dal tempo di tagging a quello di decadimento .

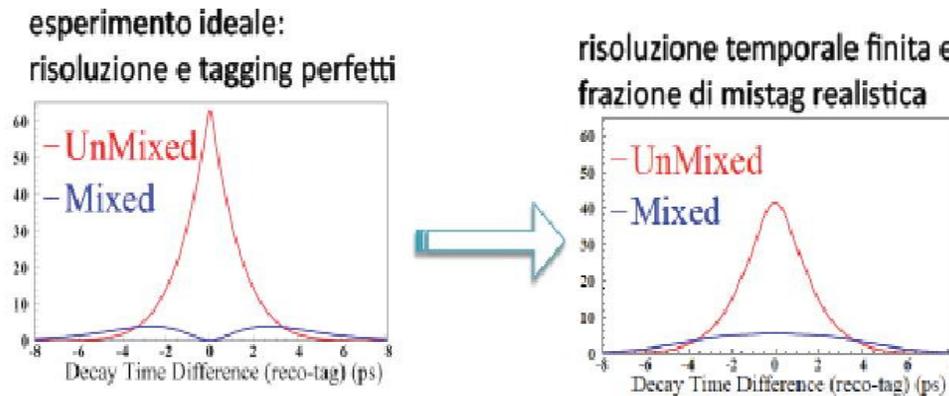
Evento mixed

❖ Leptoni di segno opposto: B_{tag} e B_{REC} hanno sapore opposto.

➡ B_{REC} non ha cambiato sapore dal tempo di tagging a quello di decadimento.

Evento unmixed

Distribuzione temporale degli eventi di segnale



Le Probability Density Function (PDF) che descrivono le distribuzioni in Δt per gli eventi di segnale unmixed (+) e mixed (-) vanno modificate:

$$f_{mixing\pm}(\Delta t) = \left\{ \frac{e^{-|\Delta t|/t_B} (1 \pm (1-2w)\cos \Delta m_B \Delta t)}{t_B \cdot 4} \right\} \otimes R(\Delta t)$$

- D=1-2w dilution due mistag fraction w
- R(Δt) risoluzione temporale

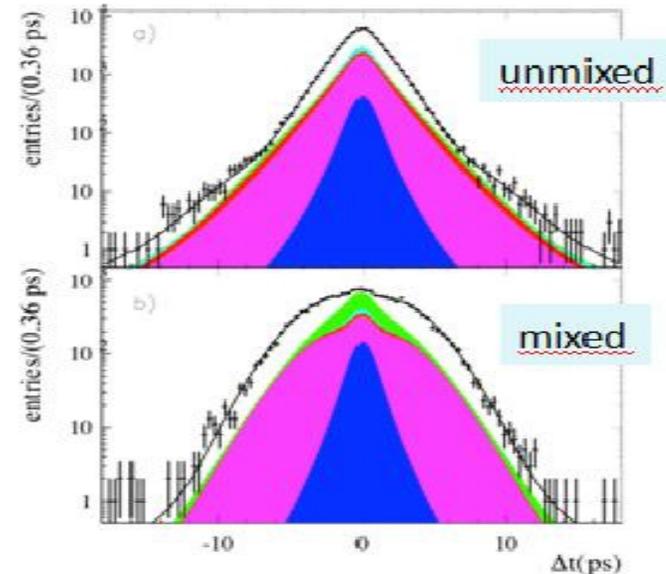
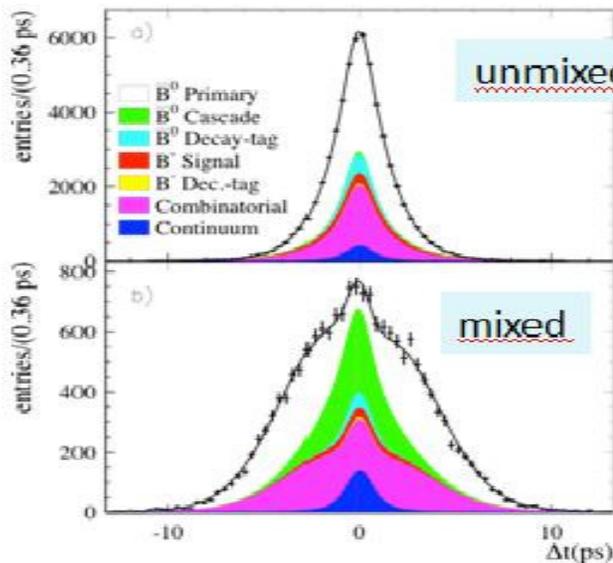
• la situazione è complicata dagli eventi delle varie tipologie di fondo che vanno parametrizzate da opposte PDF, poiché esibiscono differenti distribuzioni in Δt e hanno risoluzioni temporali e frazioni di mis-tag differenti:

- Fondo da eventi del continuo (no mixing)
- Fondo da eventi $B^+ B^-$ (no mixing)
- Fondo da altri eventi $B^0 \bar{B}^0$ (contribuisce al mixing)

Fit delle distribuzioni temporali

- I circa 50000 eventi raccolti, vengono sottoposti a un fit per massimizzare la funzione di verosimiglianza costruita con il prodotto delle PDF dei vari contributi (segnali e fondi)
- Il fit è effettuato simultaneamente a tutte le componenti mixed e unmixed
- Dal fit si estraggono simultaneamente:
 - Δm e τ_{B^0} (correlazione tra queste due variabili = 0.7%)
 - frazioni di mis-tag e risoluzione temporale del segnale
 - molti altri parametri che descrivono i vari fondi

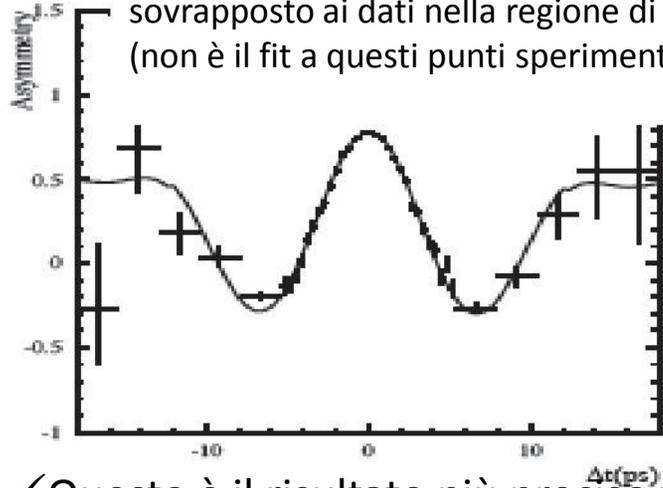
Risultati del fit delle distribuzioni temporali



Risultati

$$A(\Delta t) = (1 - 2w) \cos(\Delta m_B \Delta t) \otimes R(\Delta t)$$

La curva è il risultato del fit precedente sovrapposto ai dati nella regione di segnale. (non è il fit a questi punti sperimentali)



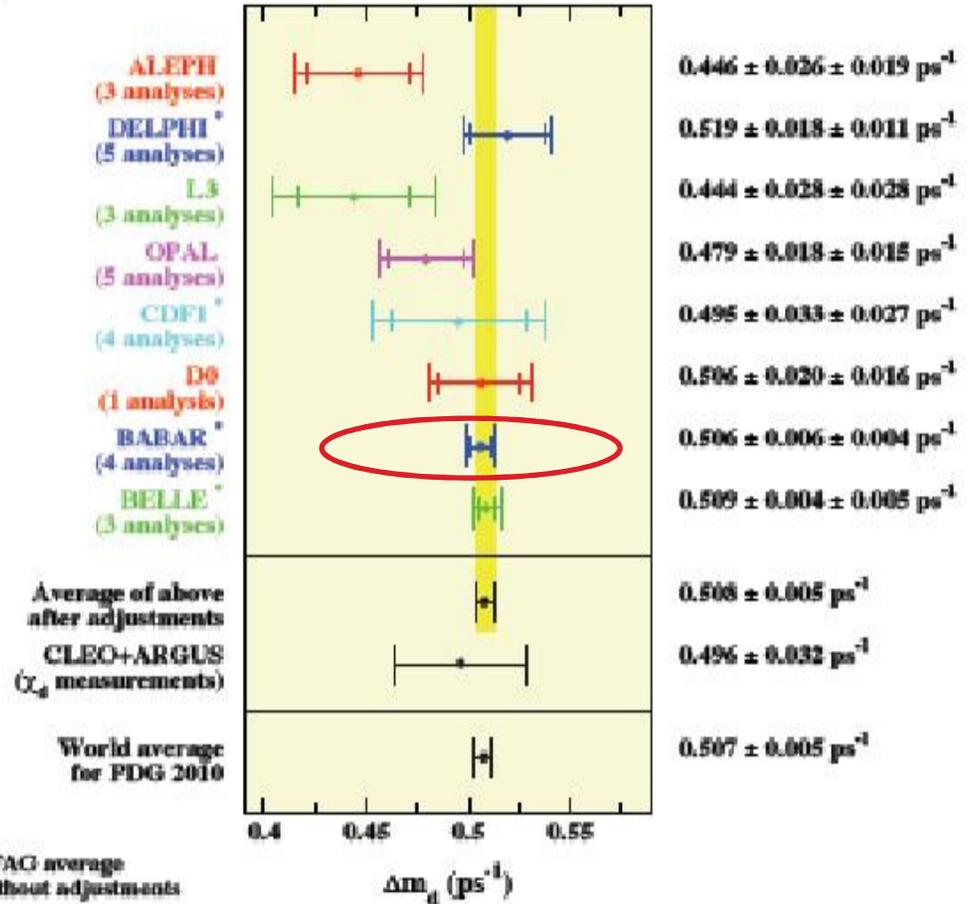
✓ Questo è il risultato più preciso tra le quattro analisi di BaBar.

✓ L'attuale valore medio globale di $\Delta m(B)$ è dominato dalle misure alle B-factories, che risultano in ottimo accordo tra loro.

Risultato finale: [Phys.Rev. D73, 012004\(2006\)](#)

$$\Delta m_B = (0.511 \pm 0.007(stat)_{-0.006}^{+0.007}(syst)) ps^{-1}$$

$$\tau_{B^0} = (1.504 \pm 0.013(stat)_{-0.013}^{+0.018}(syst)) ps$$



Appendice A

particella	massa	vita media
$Y(4s)$	10,58 GeV	
B_0	5,28 GeV	$1,50 \times 10^{-12} s$
D^0	1,87 GeV	$0,40 \times 10^{-12} s$
D^{*+}	2,01 GeV	
π^\pm	139,6 MeV	$2,6 \times 10^{-8} s$
π^0	135 MeV	$0,83 \times 10^{-16} s$

Appendice B: composizione del campione

Il campione di “segnale” include altri decadimenti indistinguibili da $\bar{B}_0 \rightarrow D^{*+} l^- \bar{\nu}_l$ tra i quali:

- $\bar{B}_0 \rightarrow D^{*+} \pi^0 l^- \bar{\nu}_l$
 - $\bar{B}_0 \rightarrow D^{*+} \tau^- \bar{\nu}_\tau$
 - $\bar{B}_0 \rightarrow D^{*+} D_s^-$
 - $\bar{B}_0 \rightarrow D^{*+} \bar{D} X$
 - $\bar{B}_0 \rightarrow D^{*+} h$, h viene identificato erroneamente con muone
- con τ, D_s^-, \bar{D} che decadono in l^-