

# OSCILLAZIONI DEL SISTEMA B-Bbar

**FRANCI Daniele**

# OSCILLAZIONI DEL B-BBAR

## SOMMARIO

- 1) Breve riassunto del problema delle “oscillazioni di sapore”
- 2) Che tipo di misura può fornire l’evidenza sperimentale delle oscillazioni?
- 3) Esperimento BaBar: punti chiave
- 4) Esperimento BaBar: punti deboli

# 1) OSCILLAZIONI

Autostati  
del  
sapore :

$$\begin{pmatrix} |B^0\rangle \\ |\bar{B}^0\rangle \end{pmatrix}$$

Autostati  
di  
CP :

$$\begin{pmatrix} |B_1^0\rangle = \frac{|B^0\rangle + |\bar{B}^0\rangle}{\sqrt{2}} \\ |B_2^0\rangle = \frac{|B^0\rangle - |\bar{B}^0\rangle}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$$

Se  $[H, CP]=0$ , gli autostati di CP coinciderebbero con quelli di H (**STATI FISICI**)

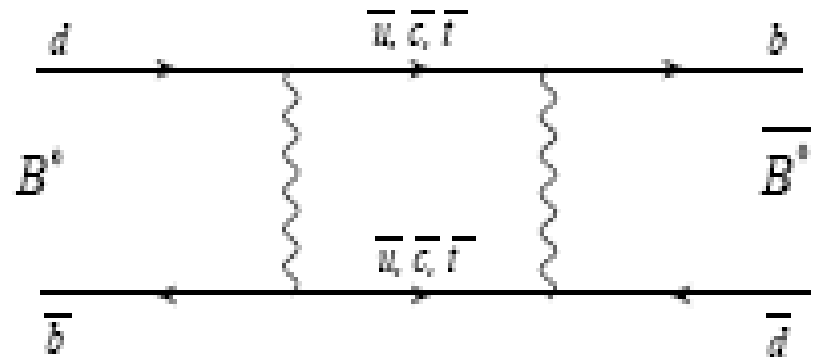
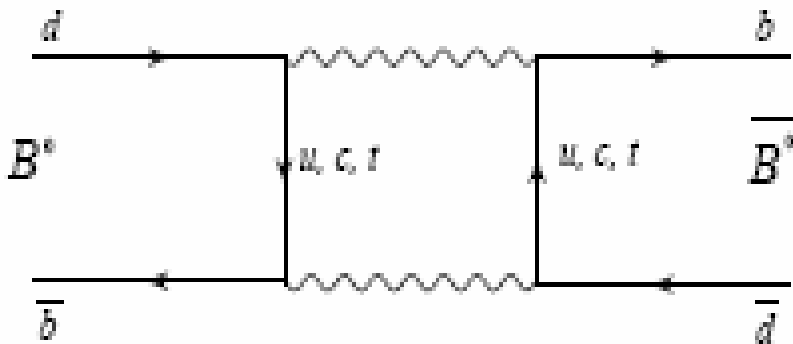
Poichè CP non è conservata:

$$\begin{pmatrix} |B_1^{phys}\rangle = \frac{(1 + \varepsilon)|B^0\rangle + (1 - \varepsilon)|\bar{B}^0\rangle}{\sqrt{2(1 + |\varepsilon|^2)}} \\ |B_2^{phys}\rangle = \frac{(1 + \varepsilon)|B^0\rangle - (1 - \varepsilon)|\bar{B}^0\rangle}{\sqrt{2(1 + |\varepsilon|^2)}} \end{pmatrix}$$

# 1) OSCILLAZIONI

L'evoluzione temporale degli stati fisici è differente poiché differenti sono gli autovalori dell'Hamiltoniana

Diretta conseguenza: oscillazioni di sapore con  $\Delta B=2$



# 1) OSCILLAZIONI

**SCRIVENDO GLI AUTOSTATI DEL SAPORE IN TERMINI DEGLI STATI FISICI SI TROVANO LE PROBABILITA' UNMIXED E MIXED**

$$P(B^0 \rightarrow B^0) = \left| \langle B^0 | B^0(t) \rangle \right|^2 = \frac{1}{4} \left[ e^{-\Gamma_1 t} + e^{-\Gamma_2 t} - 2e^{-\Gamma t} \cos(\Delta m t) \right]$$

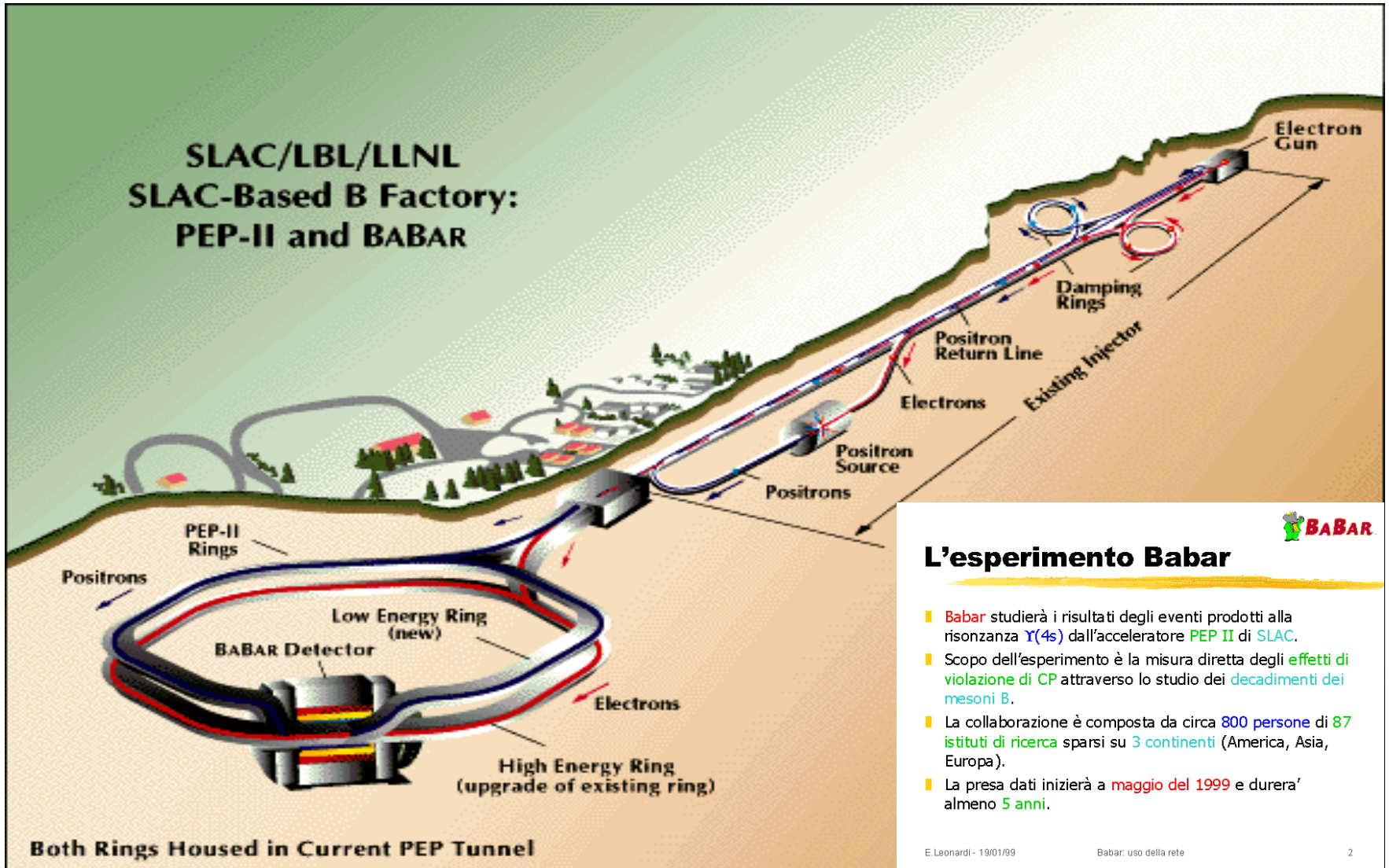
$$P(B^0 \rightarrow \bar{B}^0) = \left| \langle \bar{B}^0 | B^0(t) \rangle \right|^2 = \left| \frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon} \right|^2 \frac{1}{4} \left[ e^{-\Gamma_1 t} + e^{-\Gamma_2 t} + 2e^{-\Gamma t} \cos(\Delta m t) \right]$$

Con:  $\Gamma = \frac{\Gamma_1 + \Gamma_2}{2}$        $\Delta m = m_1 - m_2$

## 2) PECULIARITA' DELLA MISURA

- Identificazione del sapore del mesone preso in esame (**TAGGING**) al tempo  $t_{TAG}$ ;
- Determinazione dell'intervallo di tempo  $\Delta t$  intercorso tra il tag e il decadimento del mesone;
- Ricostruzione del sapore del mesone al tempo  $t_{TAG} + \Delta t$  e distinzione tra eventi **MIXED** o **UNMIXED**;
- Canali di decadimento accessibili **ESCLUSIVAMENTE** a uno dei due sapori.

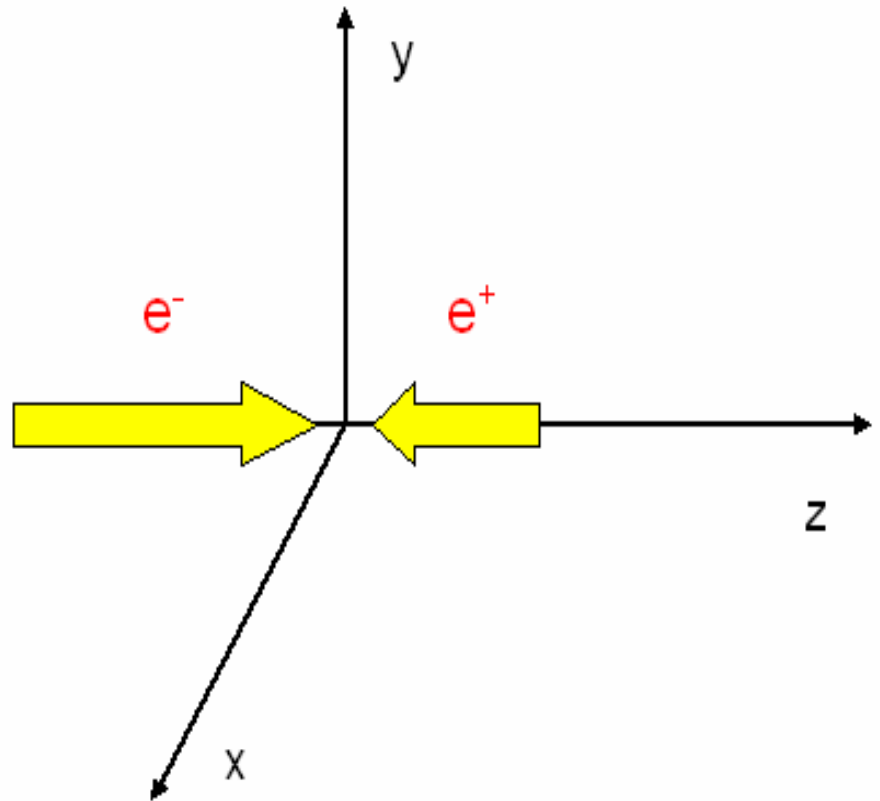
# 3) ESPERIMENTO BABAR



# 3) ESPERIMENTO BABAR

## PEP II: Sistema di riferimento

- **Origine:** Intersezione dei fasci
- **Asse z:** Direzione dei fasci, con il verso positivo concorde al moto degli elettroni
- **Asse x:** Opposto al centro dell'anello di accumulazione
- **Asse y:** Orientato verso l'alto

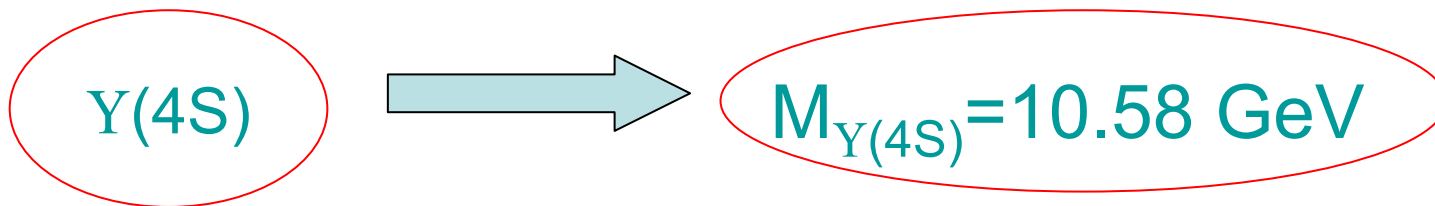




# 3) ESPERIMENTO BABAR

## PEP II: Collider asimmetrico

I mesoni  $B_d$  sono prodotti dal decadimento della risonanza  $Y(4S)$ , generata dalla collisione  $e^+ e^-$



L'energia del fascio di elettroni è **MAGGIORE** dell'energia del fascio di positroni:

$$E_{\text{ELETTRONI}} = 9.1 \text{ GeV}$$

$$E_{\text{POSITRONI}} = 3.0 \text{ GeV}$$

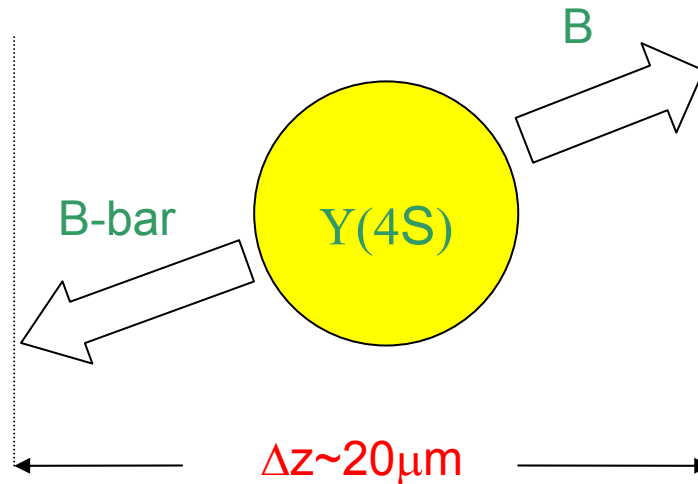
Quali sono i **VANTAGGI**?

# 3) ESPERIMENTO BABAR

## PEP II: Collider asimmetrico

Se il collider fosse stato **SIMMETRICO**, la  $Y(4S)$  sarebbe stata prodotta **FERMA** nel laboratorio

La distanza  $\Delta z$  tra i vertici di decadimento dei mesoni B sarebbe  $\sim 20\mu\text{m}$ :



**TROPPO PICCOLA PER ESSERE MISURATA CON PRECISIONE :  
POINT RESOLUTION  $\sim 50\mu\text{m}$ !**

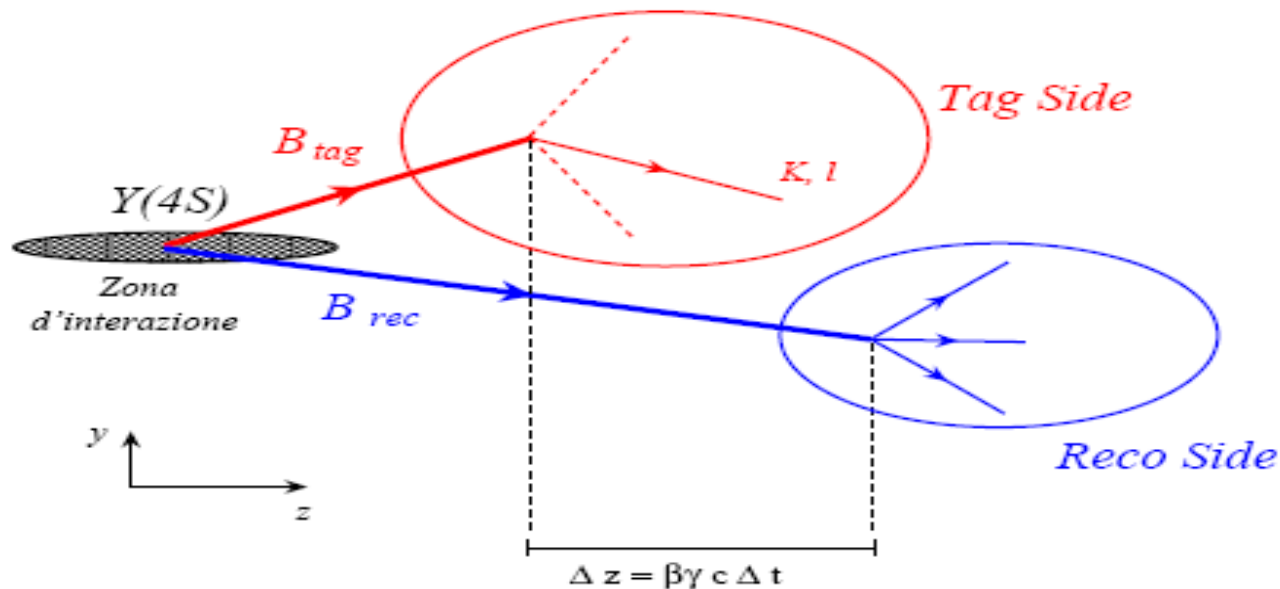
# 3) ESPERIMENTO BABAR

## PEP II: Collider asimmetrico

Collider **ASIMMETRICO**:  $Y(4S)$  prodotta con un **BOOST DI LORENTZ** lungo  $z$

$$B\gamma \sim 0.56$$

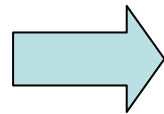
I vertici di decadimento dei B distano ora di  $\Delta z \sim 260 \mu\text{m}!!$



# 3) ESPERIMENTO BABAR

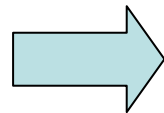
## MOLTEPLICITA' DEI VERTICI

- **RICOSTRUZIONE TOTALE:** Il fit per determinare la posizione dei vertici viene effettuato ricostruendo le tracce di **TUTTE** le particelle cariche figlie dei decadimenti.



Incertezza **MINORE**;  
Numero di tracce ricostruite  $\leq 5$

- **DISTANZA DI MINIMO APPROCCIO:** Le tracce dei due leptoni vengono usate in un fit assieme al punto di intersezione dei fasci, per determinare la distanza di minimo approccio tra le due tracce, che mi dà il  $\Delta z$



Incertezza **MAGGIORE**;  
Numero di tracce ricostruite: **2**

# 3) ESPERIMENTO BABAR

## DIFFERENZA DI TEMPO PROPRIO

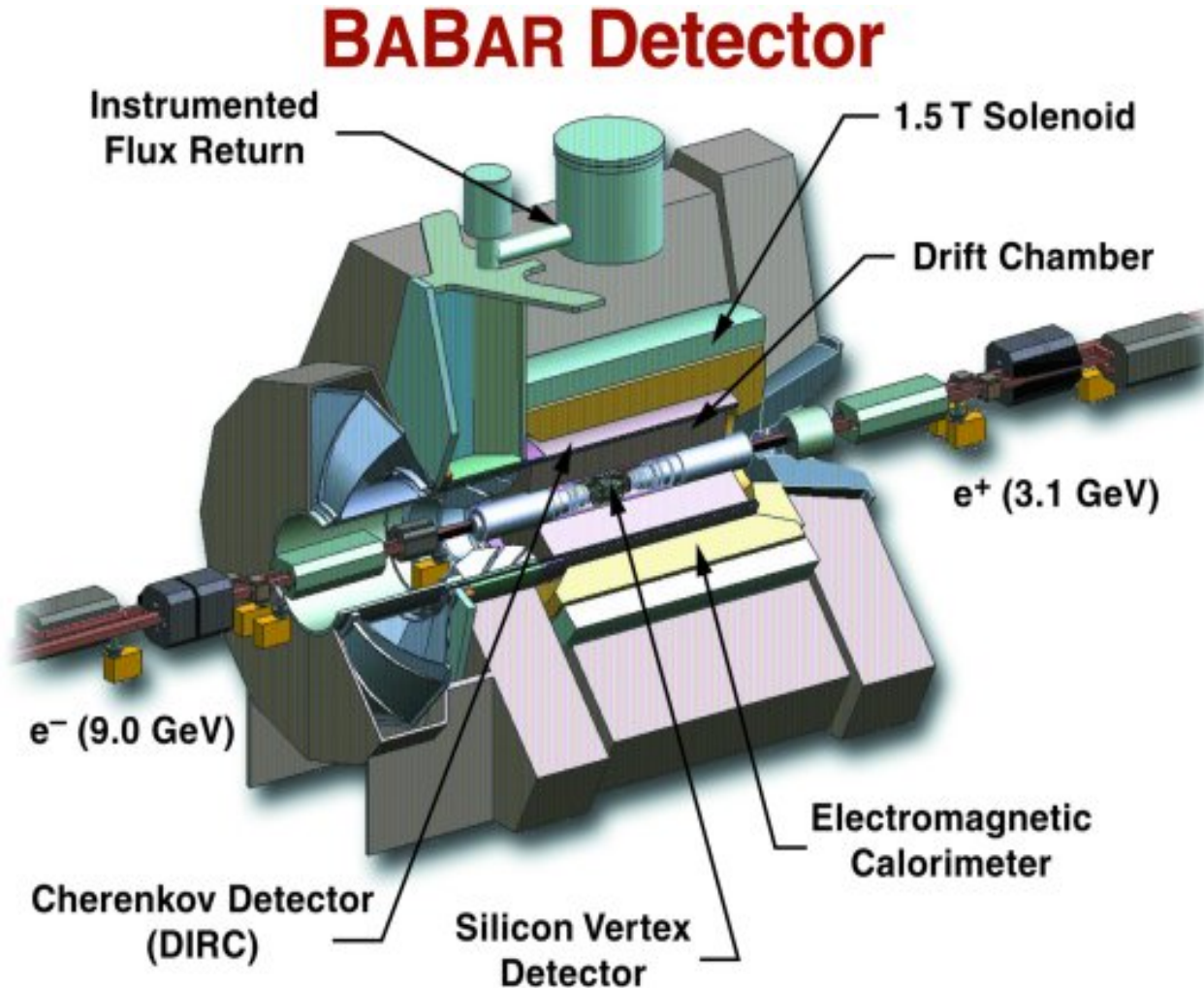
La DIFFERENZA DI TEMPO PROPRIO è legata a  $\Delta z$  da:

$$\Delta t \cong \frac{\Delta z}{\beta \gamma c} = t_{REC} - t_{TAG}$$

**E' l'intervallo temporale che intercorre tra i decadimenti dei due mesoni**

# 3) ESPERIMENTO BABAR

## RIVELATORE



# 3) ESPERIMENTO BABAR

## RIVELATORE

### Silicon Vertex Tracker (SVT), Drift Chamber (DCH):

Componenti adibiti alla ricostruzione dei vertici di decadimento e al tracciamento di particelle cariche

### Detector of Internally Reflected Cherenkov Light (DIRC):

Tramite la rivelazione di luce Cherenkov, distingue pioni dai K

### Electromagnetic Calorimeter (EMC):

Costruito tramite cristalli di ioduro di cesio drogato con tallio CsI(Tl), è il componente in grado di rivelare fotoni ed elettroni

### Instrumental Flux Return (IRF):

Adibito all'identificazione di muoni e adroni neutri

### Solenoid:

Fornisce un campo magnetico di circa 1.5 T

Table 1

Overview of the coverage, segmentation, and performance of the *BABAR* detector systems. The notation (C), (F), and (B) refers to the central barrel, forward and backward components of the system, respectively. The detector coverage in the laboratory frame is specified in terms of the polar angles  $\theta_1$  (forward) and  $\theta_2$  (backward). The number of readout channels is listed. The dynamic range (resolution) of the FEE circuits is specified for pulse height (time) measurements by an ADC (TDC) in terms of the number of bits (nsec). Performance numbers are quoted for 1 GeV/ $c$  particles, except where noted. The performances for the SVT and DCH are quoted for a combined Kalman fit (for the definition of the track parameters, see Section 7.)

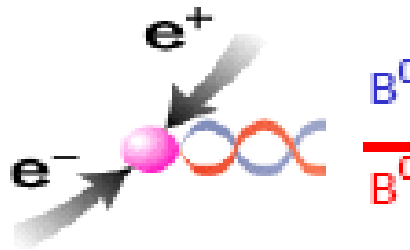
System	$\theta_1$ ( $\theta_2$ )	No. Channels	ADC (bits)	TDC (ns)	No. Layers	Segmentation	Performance
SVT	20.1° (-29.8°)	150K	4	-	5	50-100 $\mu\text{m}$ $r - \phi$ 100-200 $\mu\text{m}$ $z$	$\sigma_{d_0} = 55 \mu\text{m}$ $\sigma_{z_0} = 65 \mu\text{m}$
DCH	17.2° (-27.4°)	7,104	8	2	40	6-8 mm drift distance	$\sigma_\phi = 1 \text{ mrad}$ $\sigma_{\tan\lambda} = 0.001$ $\sigma_{p_A/p_t} = 0.47\%$ $\sigma(dE/dx) = 7.5\%$
DIRC	25.5° (-38.6°)	10,752	-	0.5	1	35 $\times$ 17 mm <sup>2</sup> ( $r\Delta\phi \times \Delta r$ ) 144 bars	$\sigma_{\theta_C} = 2.5 \text{ mrad}$ per track
EMC(C)	27.1° (-39.2°)	2 $\times$ 5760	17-18	—	1	47 $\times$ 47 mm <sup>2</sup> 5760 crystals	$\sigma_E/E = 3.0\%$ $\sigma_\phi = 3.9 \text{ mrad}$
EMC(F)	15.8° (27.1°)	2 $\times$ 820			1	820 crystals	$\sigma_\theta = 3.9 \text{ mrad}$
IFR(C)	47° (-57°)	22K+2K	1	0.5	19+2	20-38 mm	90% $\mu^\pm$ efi. 6-8% $\pi^\pm$ mis-id (loose selection, 1.5-3.0 GeV/ $c$ )
IFR(F)	20° (47°)	14.5K			18	28-38 mm	
IFR(B)	-57° (-26°)	14.5K			18	28-38 mm	



# 3) ESPERIMENTO BABAR

## TAGGING

La coppia di mesoni è prodotta in uno stato **COERENTE**



Coherent  $B\bar{B}$  pair

Finchè uno dei due mesoni non decade, **ISTANTE PER ISTANTE** avrò sempre un **B** e un **Bbar**!

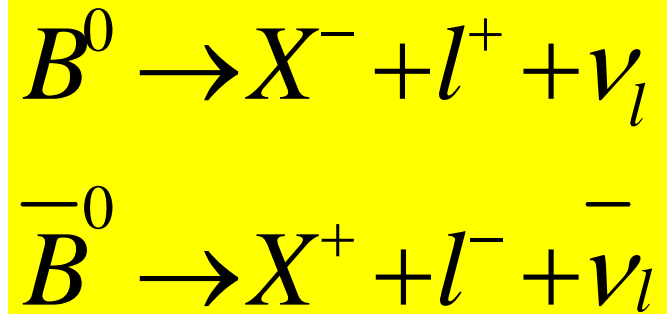
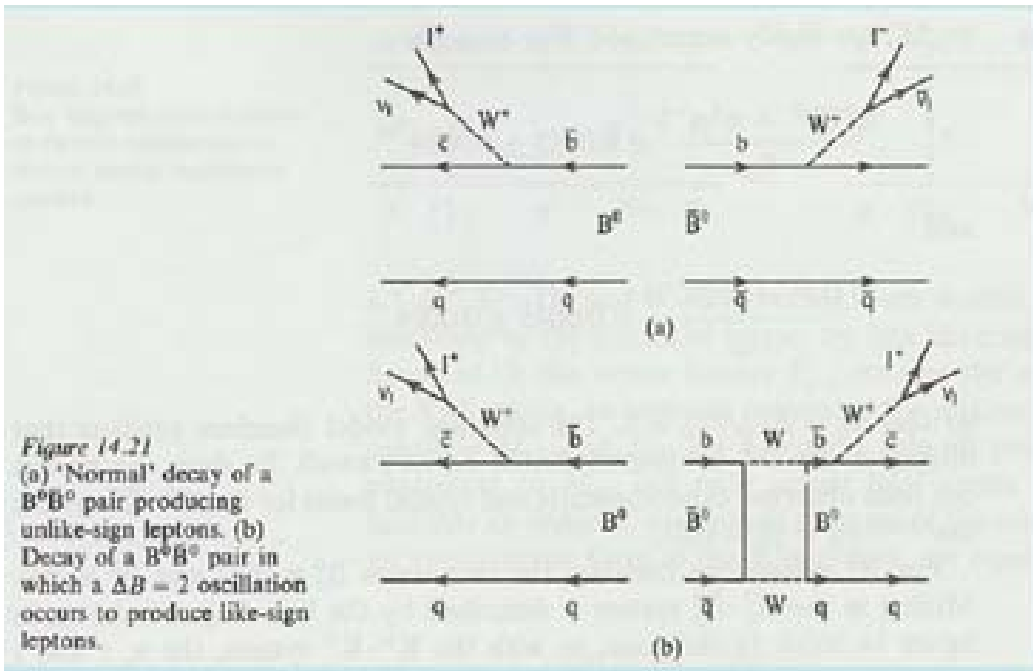
**SE RIESCO A DETERMINARE IL SAPORE DEL MESONE CHE DECADE A  $t_{TAG}$  ( $B_{TAG}$ ), AUTOMATICAMENTE SARA' DETERMINATO ANCHE IL SAPORE DELL'ALTRO MESONE ( $B_{REC}$ ), ANCORA AL TEMPO  $t_{TAG}$ .**

L'eventuale oscillazione di sapore avrà luogo in  $B_{REC}$  durante il  $\Delta t$  che intercorre tra il **TAG** e il **DECADIMENTO**!

# 3) ESPERIMENTO BABAR

## CANALI DI DECADIMENTO

Dall'analisi dei prodotti di decadimento, si riesce a risalire al sapore del mesone  
I più indicati per tale ricostruzione sono quelli **SEMILEPTONICI**



Probabilità di identificare un **ELETTRONE**: 90%  
Probabilità di identificare un **MUONE**: 70%

# 3) ESPERIMENTO BABAR

## CANALI DI DECADIMENTO

La **SEGNATURA** dell'oscillazione è data dal **SEGNO RELATIVO** dei due leptoni ricostruiti nello stato finale

- **STESSO SEGNO:**

Il sapore di  $B_{\text{REC}}$  a  $t_{\text{TAG}} + \Delta t$  è **LO STESSO** di quello di  $B_{\text{TAG}}$ , quindi è **DIVERSO** da quello di  $B_{\text{REC}}$  a  $t_{\text{TAG}}$



**EVENTO MIXED**

- **SEGNO OPPOSTO:**

Il sapore di  $B_{\text{REC}}$  a  $t_{\text{TAG}} + \Delta t$  è **DIVERSO** da quello di  $B_{\text{TAG}}$ , quindi è **LO STESSO** di quello di  $B_{\text{REC}}$  a  $t_{\text{TAG}}$



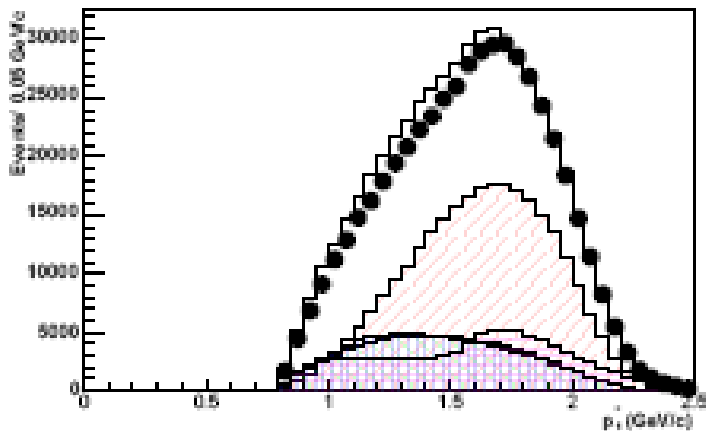
**EVENTO UNMIXED**

# 3) ESPERIMENTO BABAR

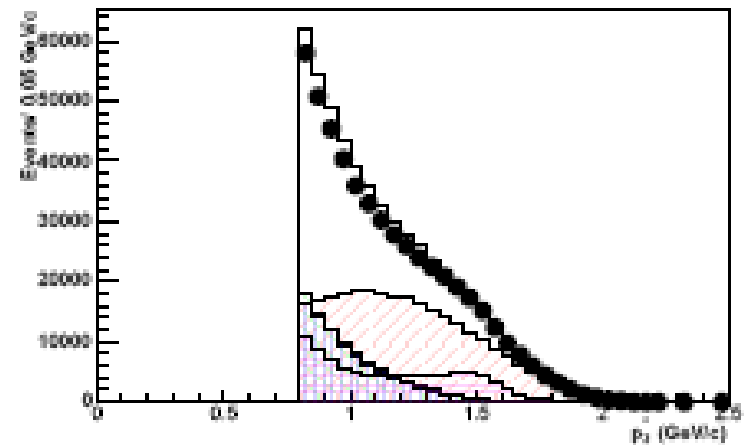
## DISTRIBUZIONE IN IMPULSO

I leptoni devono soddisfare delle **CONDIZIONI CINEMATICHE** sul loro momento:

- Nel LAB  $\rightarrow$  tra 0.5 e i 5 GeV;
- Nel sistema di quiete della  $Y(4S)$   $\rightarrow$  tra 1 e i 2.5 GeV (**VEDI SPETTRI**).



**SPETTRO DEL LEPTONE A  
PIU' ALTO MOMENTO**



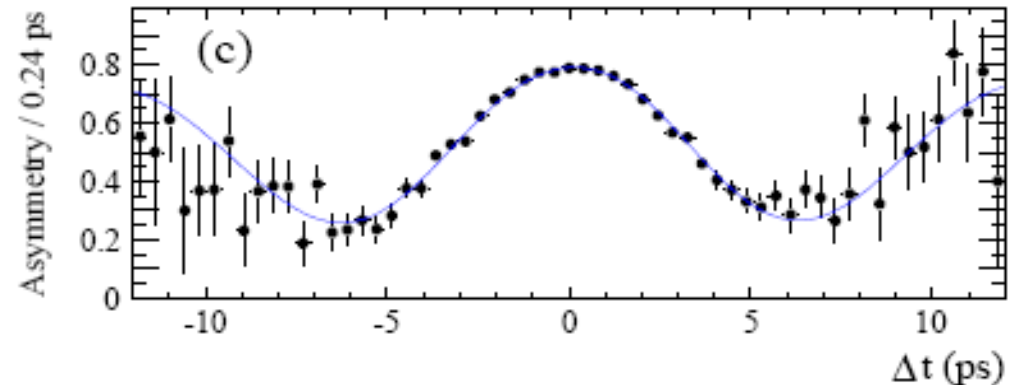
**SPETTRO DEL LEPTONE A  
PIU' BASSO MOMENTO**

# 3) ESPERIMENTO BABAR

## RISULTATI

L'evidenza delle oscillazioni è data da un plot della variabile **ASIMMETRIA**:

$$A(\Delta t) = \frac{N_{UNMIXED}(\Delta t) - N_{MIXED}(\Delta t)}{N_{UNMIXED}(\Delta t) + N_{MIXED}(\Delta t)}$$



Con un opportuno fit è possibile ricavare la **FREQUENZA DI OSCILLAZIONE**  $\Delta m$ , ovvero la differenza tra le masse dei due stati fisici

$$\Delta m_d = 0.493 \pm 0.012_{\text{STATISTICO}} \pm 0.009_{\text{SISTEMATICO}} \text{ ps}^{-1}$$

# 4) PUNTI DEBOLI

## MISTAG

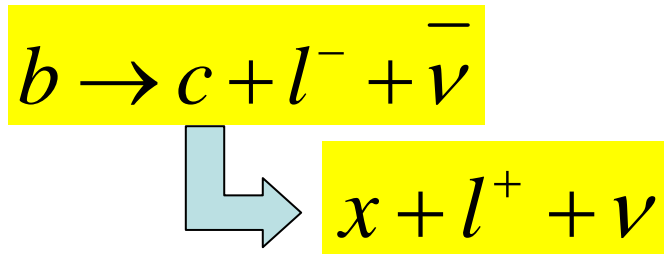
La bontà del risultato è inficiata dalla probabilità di incappare in tag erronei (**MISTAG**)

Giusto per dare un'idea del problema, presentiamo una delle possibili cause:

### SAME B CASCADE

Il 4% circa degli eventi selezionati contengono due leptoni **PROVENIENTI DALLO STESSO MESONE**

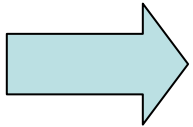
Il quark “b” del mesone è interessato ai decadimenti:



# 4) PUNTI DEBOLI

## MISTAG

Eventi di questo tipo danno luogo sempre e comunque a **LEPTONI DI SEGNO DIVERSO**



L'evento appare **UNMIXED** anche se in realtà potrebbe non esserlo!

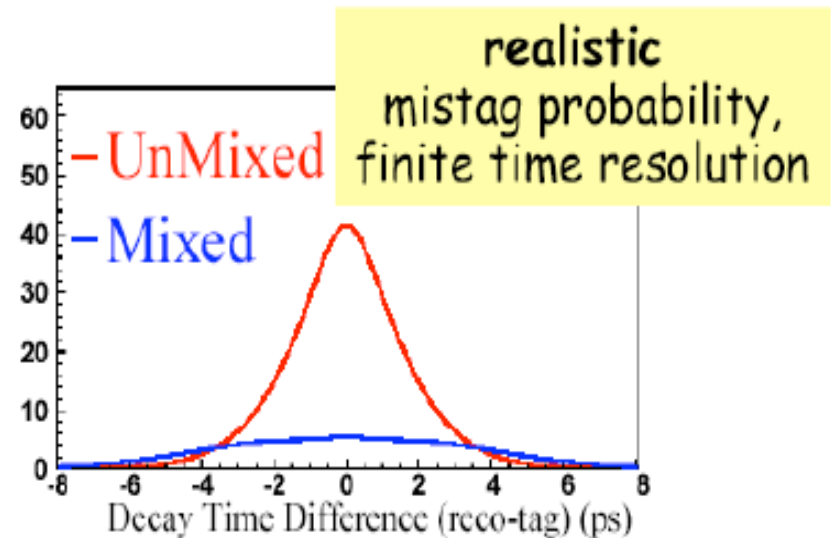
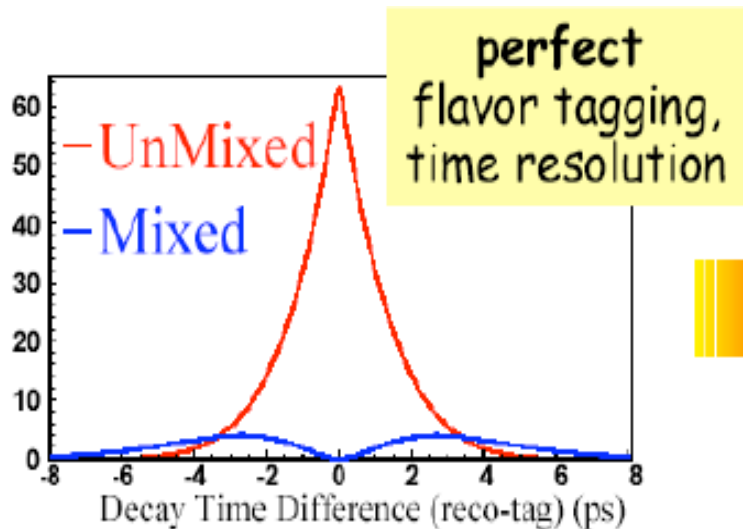
Effetto del mistag: riduzione della **AMPIEZZA DELLE OSCILLAZIONI** per un **FATTORE DI DILUZIONE**:

$$D = (1 - 2\omega_c)$$

con  $\omega_c \rightarrow$  Probabilità che avvenga il mistag

# 4) PUNTI DEBOLI

## CONSEGUENZE DEL MISTAG



### Esperimento IDEALE (mistag assente):

- Il numero degli eventi **MIXED** per  $\Delta t=0$  è rigorosamente **NULLO**;
- Maggiore ampiezza della curva.

### Esperimento REALE:

- Ci sono eventi **MIXED** anche per  $\Delta t=0$ .



# REFERENZE

- Burcham and Jobes – Nuclear and particle physics (cap. 14)
- Collaborazione BaBar - Measurement of the B<sup>0</sup>-B<sup>0</sup>bar Oscillation Frequency with Inclusive Dilepton Events
- Collaborazione BaBar- Measurement of the B<sup>0</sup>-B<sup>0</sup>bar Mixing Frequency with Inclusive Dilepton Events
- Collaborazione Babar - Simultaneous Measurement of the B<sup>0</sup> Meson Lifetime and Mixing Frequency with B<sup>0</sup> → D<sup>-</sup>ℓ+v<sub>ℓ</sub> Decays