



**Measurement of the time dependent  
asymmetry in the decay  $B^0 \longrightarrow K_S^0 \pi^0 \gamma$   
using the Silicon Vertex Detector  
of the Belle II experiment**

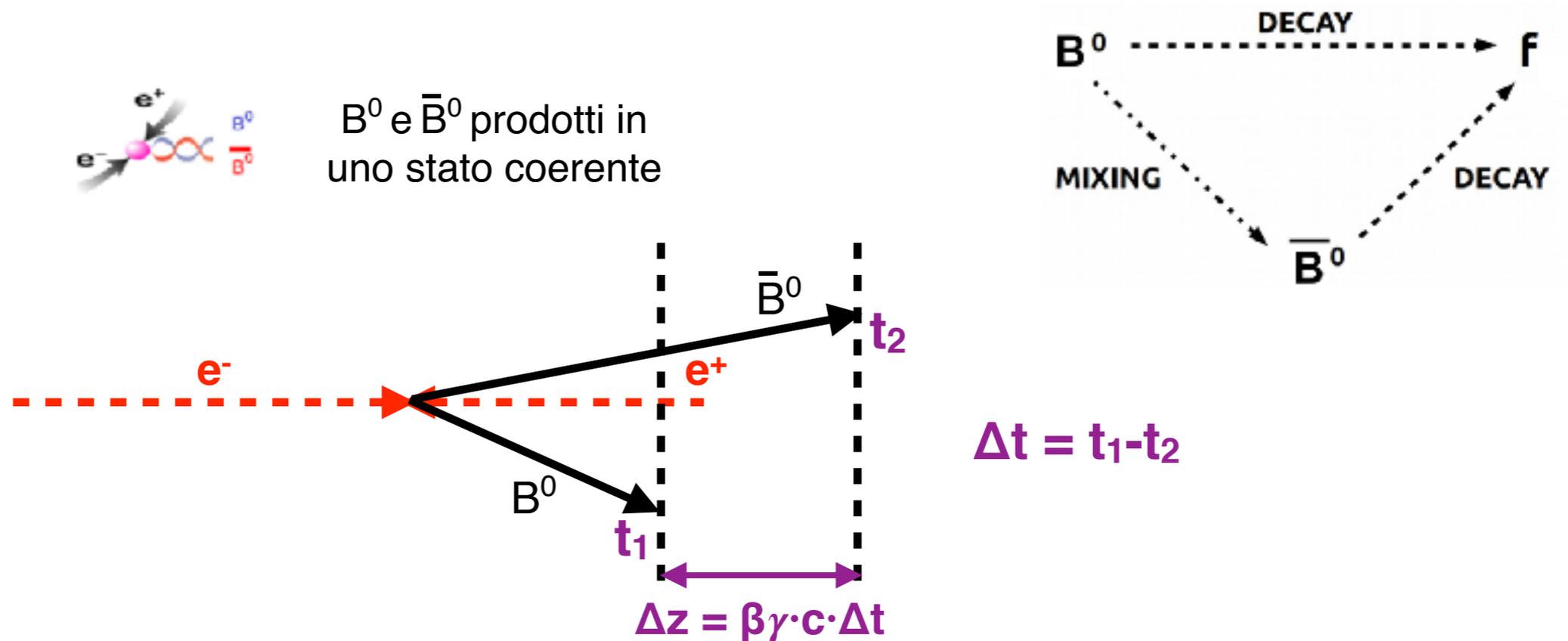


Alberto Martini  
University of Pisa - BelleII Pisa Group  
7th BelleII Italian meeting  
Trieste, 04 May 2017

# OUTLINE

- Misure di asimmetria time-dependent
- Motivazioni canale  $B^0 \longrightarrow K_S^0 \pi^0 \gamma$
- Stima dei parametri di asimmetria nel canale  
 $B^0 \longrightarrow K_S^0 \pi^0 \gamma$
- Conclusioni

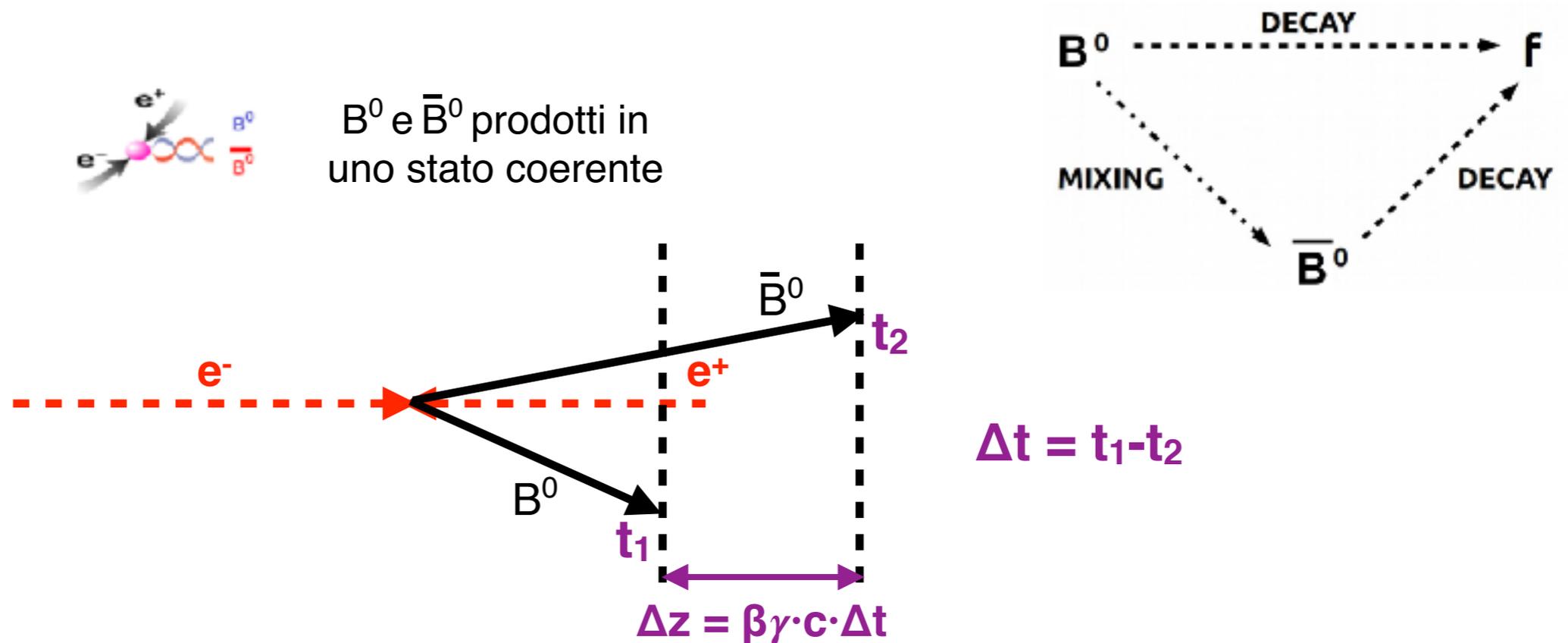
# Asimmetria di CP time-dependent



La densità di probabilità per un decadimento con intervallo temporale  $\Delta t$  è data da:

$$P_{\pm}(\Delta t) = \frac{e^{-|\Delta t|/\tau_{B^0}}}{4\tau_{B^0}} \left\{ 1 \pm S \sin(\Delta m \Delta t) \mp C \cos(\Delta m \Delta t) \right\}$$

# Asimmetria di CP time-dependent



La densità di probabilità per un decadimento con intervallo temporale  $\Delta t$  è data da:

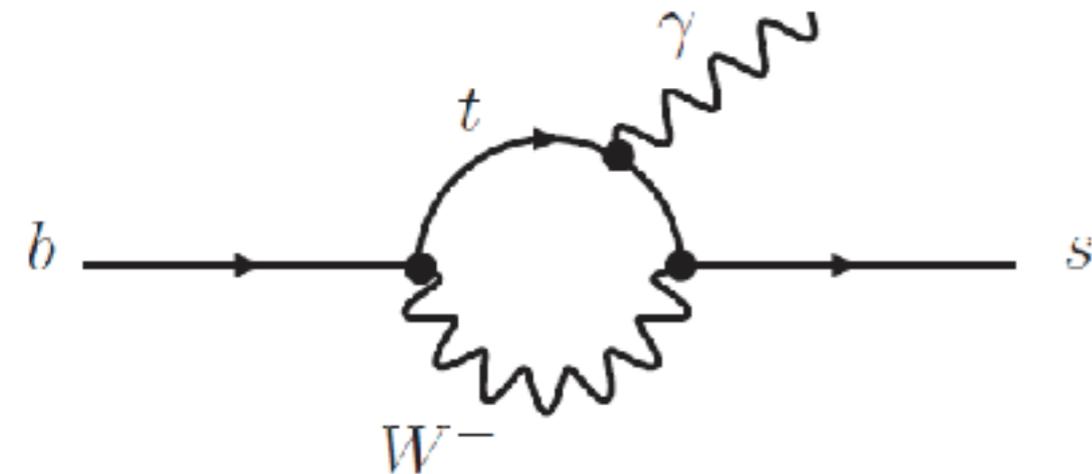
$$P_{\pm}(\Delta t) = \frac{e^{-|\Delta t|/\tau_{B^0}}}{4\tau_{B^0}} \left\{ 1 \pm S \sin(\Delta m \Delta t) \mp C \cos(\Delta m \Delta t) \right\}$$

**Coefficiente di  
violazione indiretta**

**Coefficiente di  
violazione diretta**

# Asimmetria di CP nel decadimento

$$B^0 \longrightarrow K_S^0 \pi^0 \gamma$$



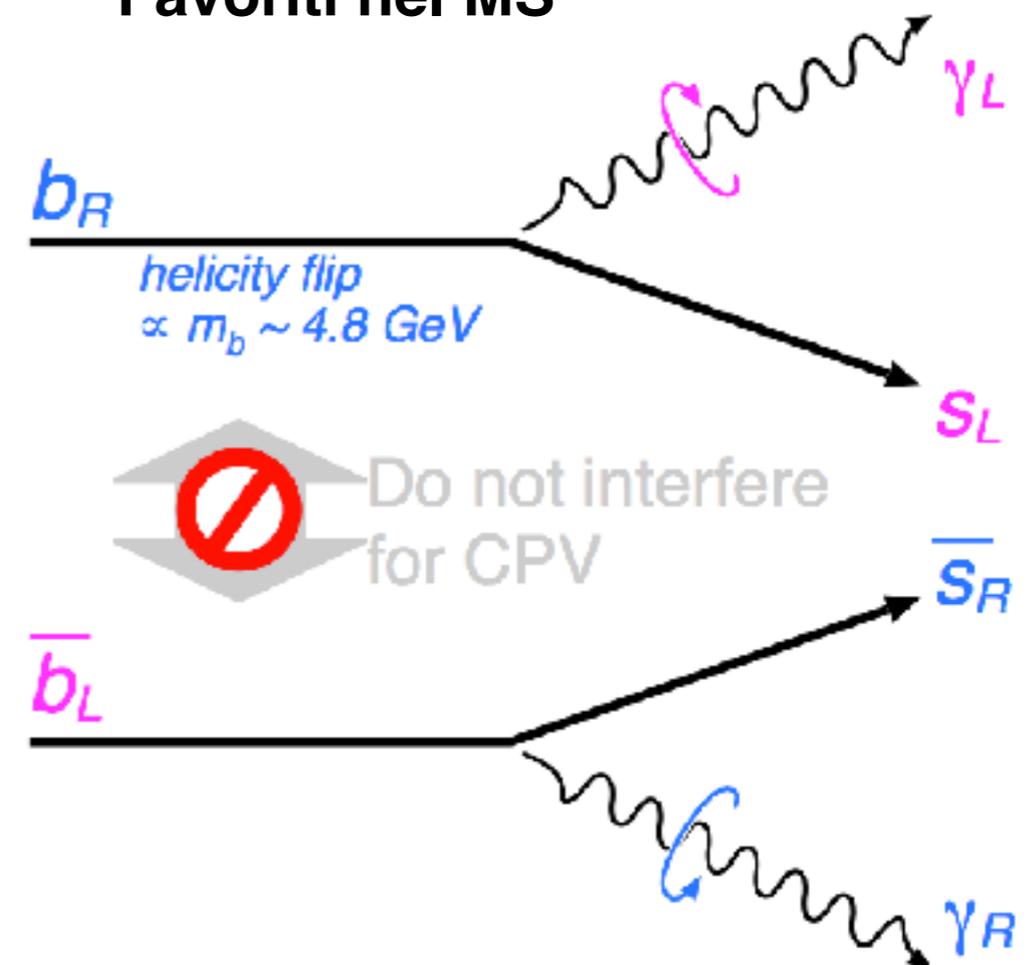
$B^0 \longrightarrow K_S^0 \pi^0 \gamma$ : transizione di corrente neutra  $b \longrightarrow s \gamma$  descritta da un diagramma a loop.  
*Sensibile a contributi di nuova fisica.*

Nel modello standard il fotone è quasi completamente levogiro (destrorigiro) nella transizione  $b \longrightarrow s \gamma$  ( $\bar{b} \longrightarrow \bar{s} \gamma$ )



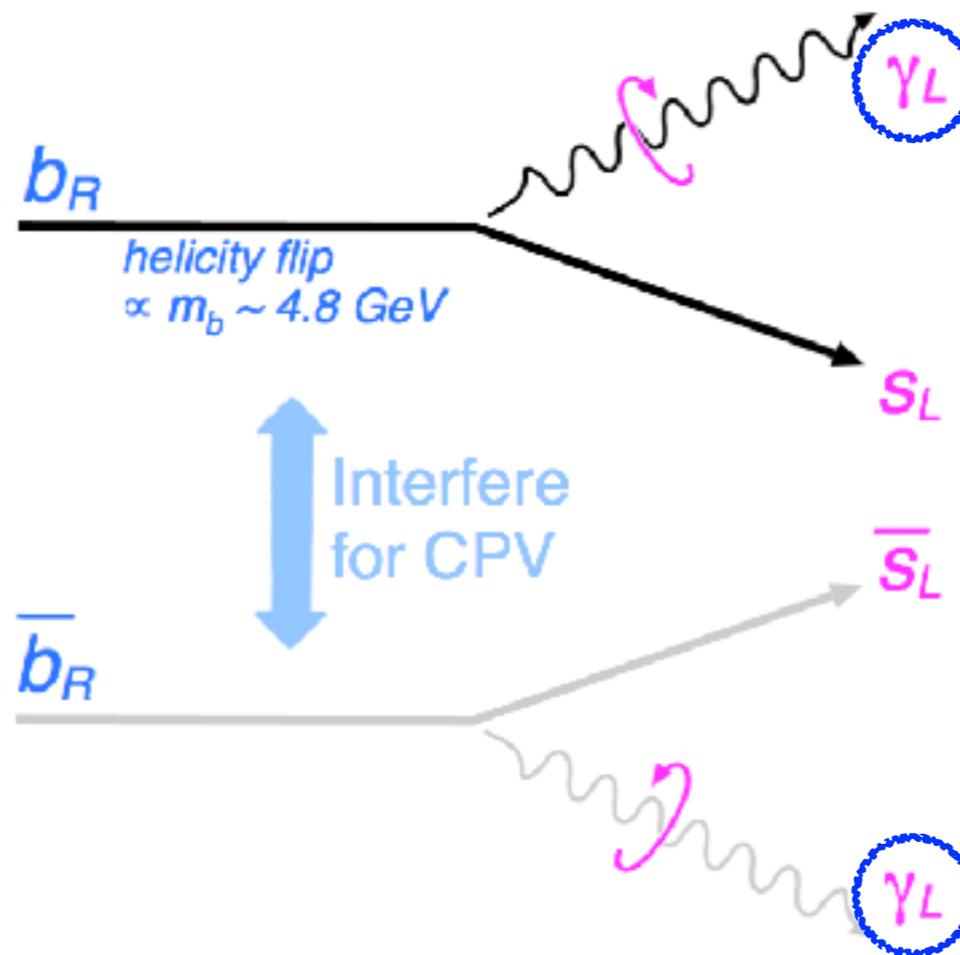
L'interferenza tra il decadimento diretto e il decadimento dopo il processo di mixing è *soppressa*

## Favoriti nel MS



# Motivazioni canale $B^0 \longrightarrow K_S^0 \pi^0 \gamma$

L'evidenza dell'asimmetria nell'interferenza può indicare *nuova fisica*.



**Favorito nel MS**

**Soppresso nel MS ma favorito in modelli di nuova fisica.**

Il formalismo della asimmetria time-dependent viene applicato al decadimento  $B^0 \longrightarrow K_S^0 \pi^0 \gamma$  quindi il parametro  $S$  indica la violazione.

## Canale di decadimento con il maggior potenziale

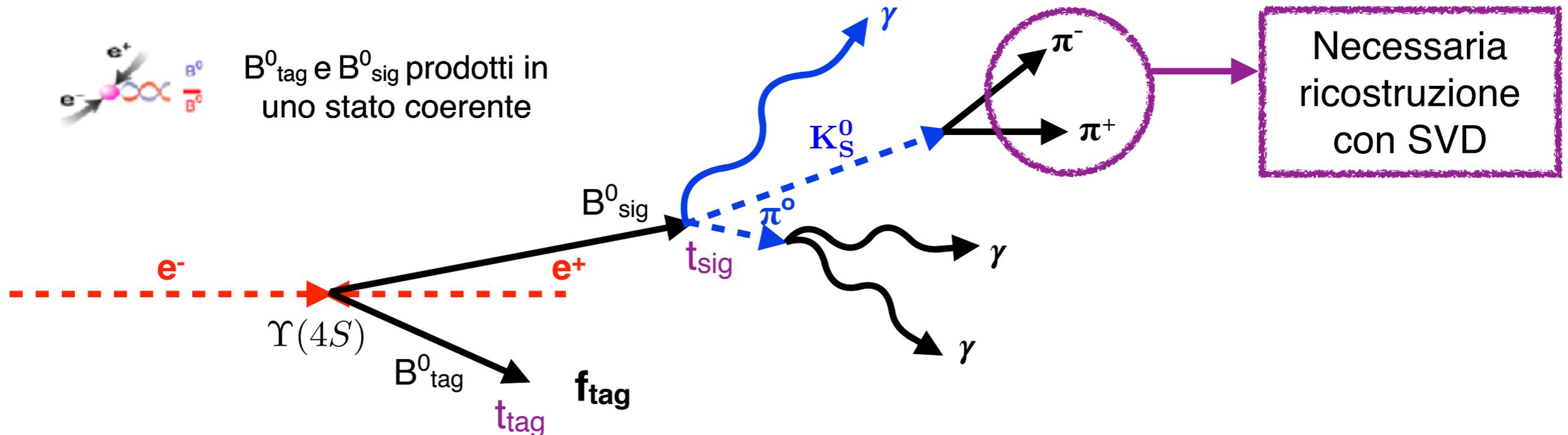
Branching Fraction (BF) più grande tra i decadimenti descritti da diagrammi a loop:

$$BF(B^0 \longrightarrow K_S^0 \pi^0 \gamma) \simeq 3.8 \cdot 10^{-5}$$

# Studio dell'asimmetria nel canale $B^0 \longrightarrow K_S^0 \pi^0 \gamma$

La presenza di **sole particelle neutre nello stato finale** rende difficile il processo di ricostruzione del decadimento e di determinazione dei vertici.

Posizioni dei vertici dei  $B^0$  ricostruite in ambiente "pulito" fornito dalle B-factory.



- Determinazione della risoluzione di  $\Delta t$  per eventi di segnale e di background da continuo.
- Stima delle incertezze statistiche dei parametri S e C tramite studi di Toy Monte Carlo (MC).

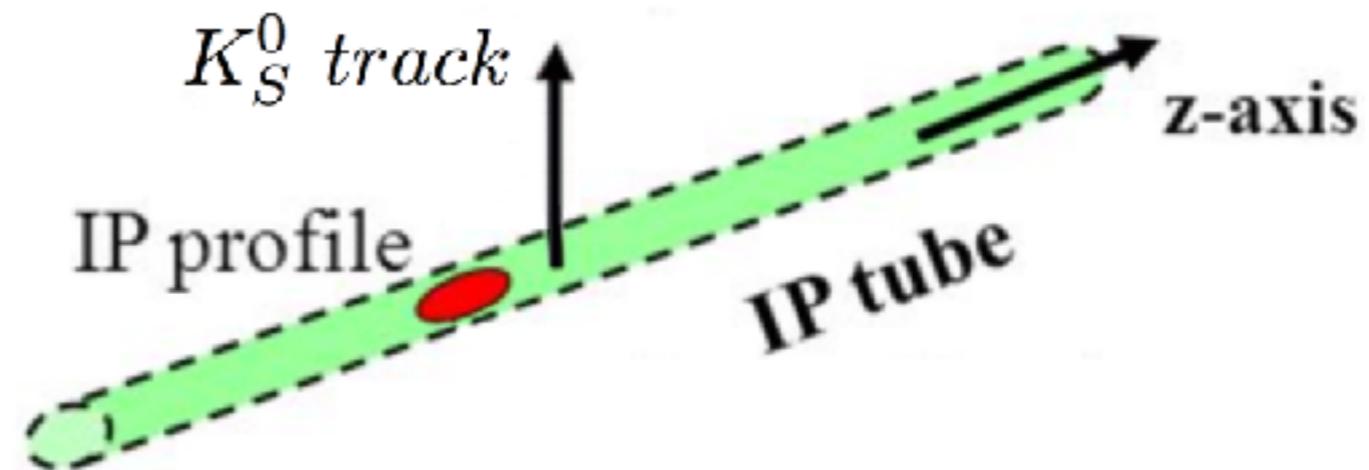
# Ricostruzione $B^0_{sig}$

## Tagli richiesti per la ricostruzione:

- $5.0 \text{ GeV}/c^2 < M_{B^0}^{reco} < 5.5 \text{ GeV}/c^2$
- Ricostruzione del  $K_S^0$  nel canale:  $K_S^0 \longrightarrow \pi^+ \pi^-$  tramite fit al vertice.  
I pioni carichi sono ricostruiti bene grazie all'utilizzo del rivelatore di vertice.
- Fit al vertice con p-value  $> 0.001$  per rigettare tracce di bassa qualità.

## *Iptube* constraint:

Per ricostruire il vertice del  $B^0_{sig}$ , utilizzo la traiettoria del  $K_S^0$  estrapolata indietro al punto di interazione insieme a un constraint addizionale “iptube”, definito come un'ellisse costruito intorno alla direzione del boost di dimensioni traverse:  $\sigma_x \approx 6 \mu\text{m}$ ,  $\sigma_y \approx 42 \text{ nm}$



# Risoluzione vertice $B^0_{sig}$

Distribuzione dei residui:

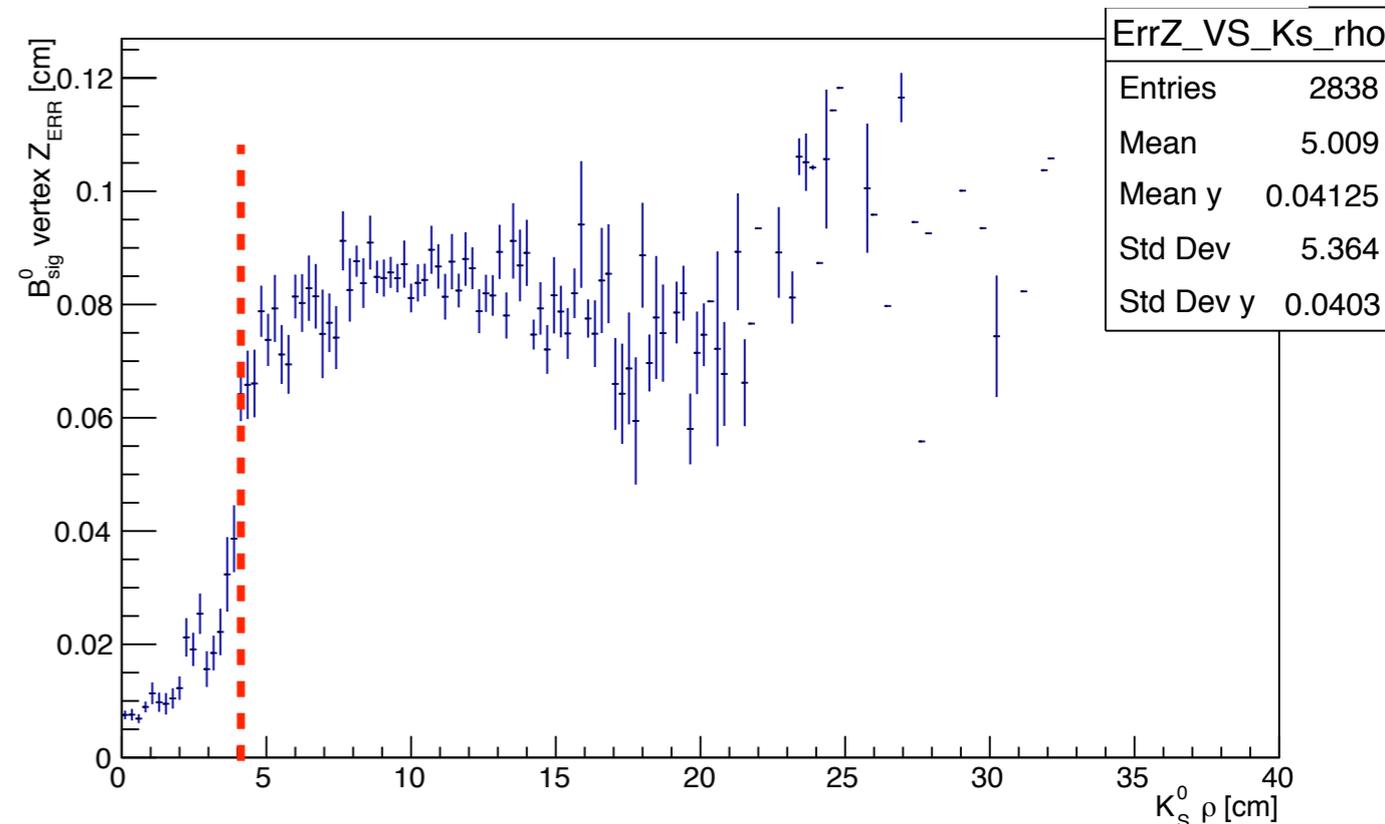
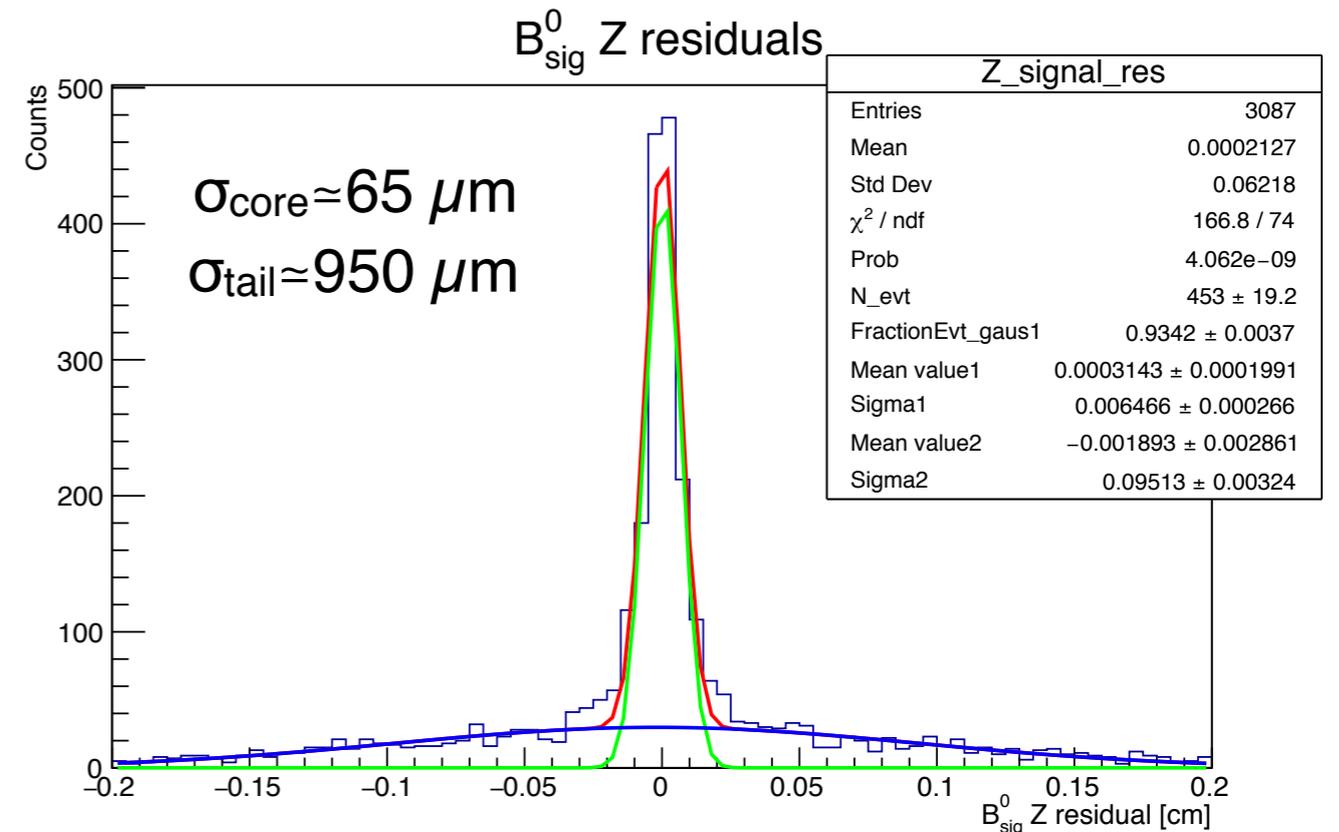
$$\text{Residui} = Z_{reco} - Z_{truth}$$



I due set ricostruiti possono essere discriminati utilizzando la distanza di volo trasversale del  $K_S^0$ .

I kaoni che decadono prima di  $\sim 4\text{cm}$  (raggio interno SVD) appartengono alla Gaussiana centrale.

*Necessaria ricostruzione del  $K_S^0$  con il SVD in quanto unica particella utilizzata per la ricostruzione del vertice del  $B^0$  di segnale.*



# Risoluzione vertice $B^0_{sig}$

Distribuzione dei residui:

$$\text{Residui} = Z_{reco} - Z_{truth}$$

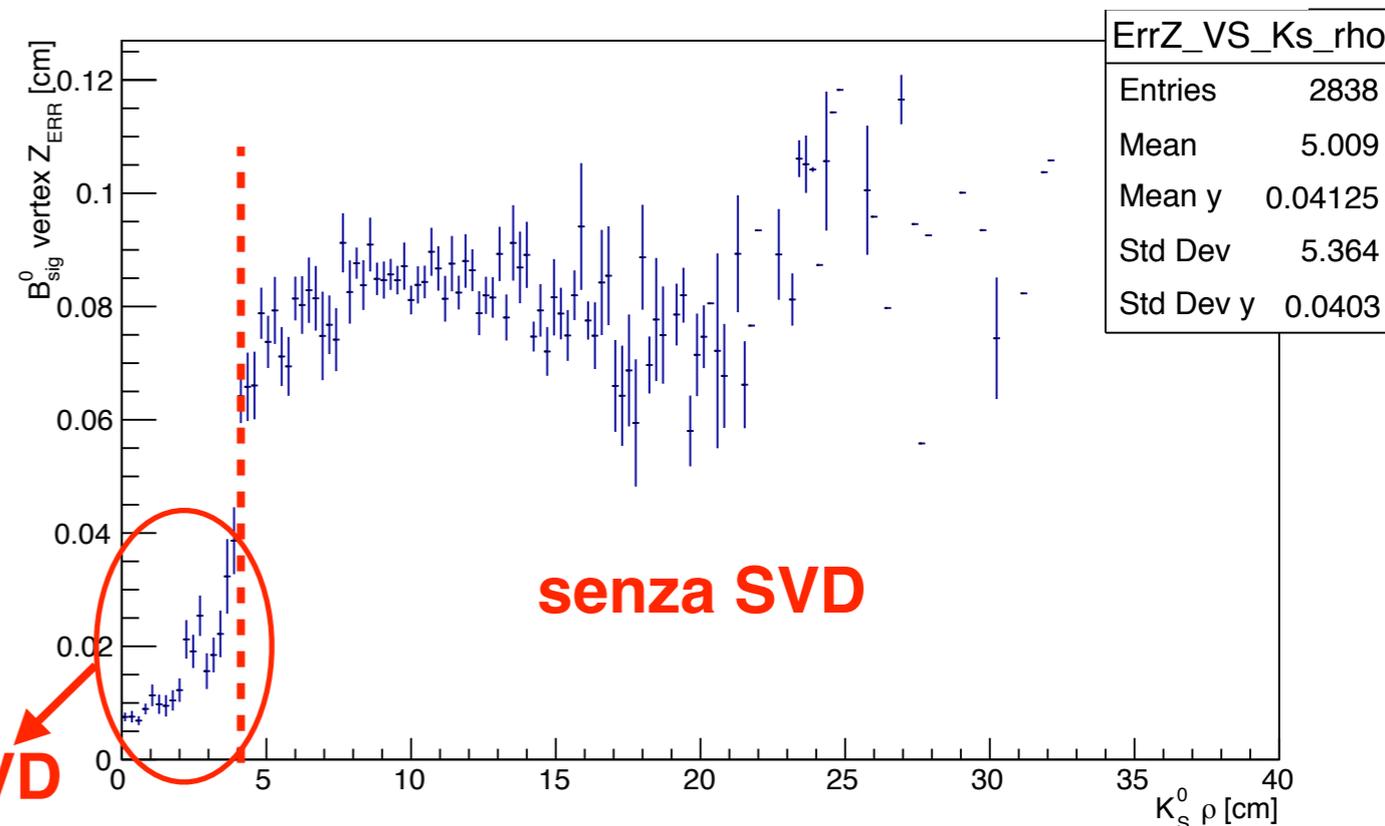
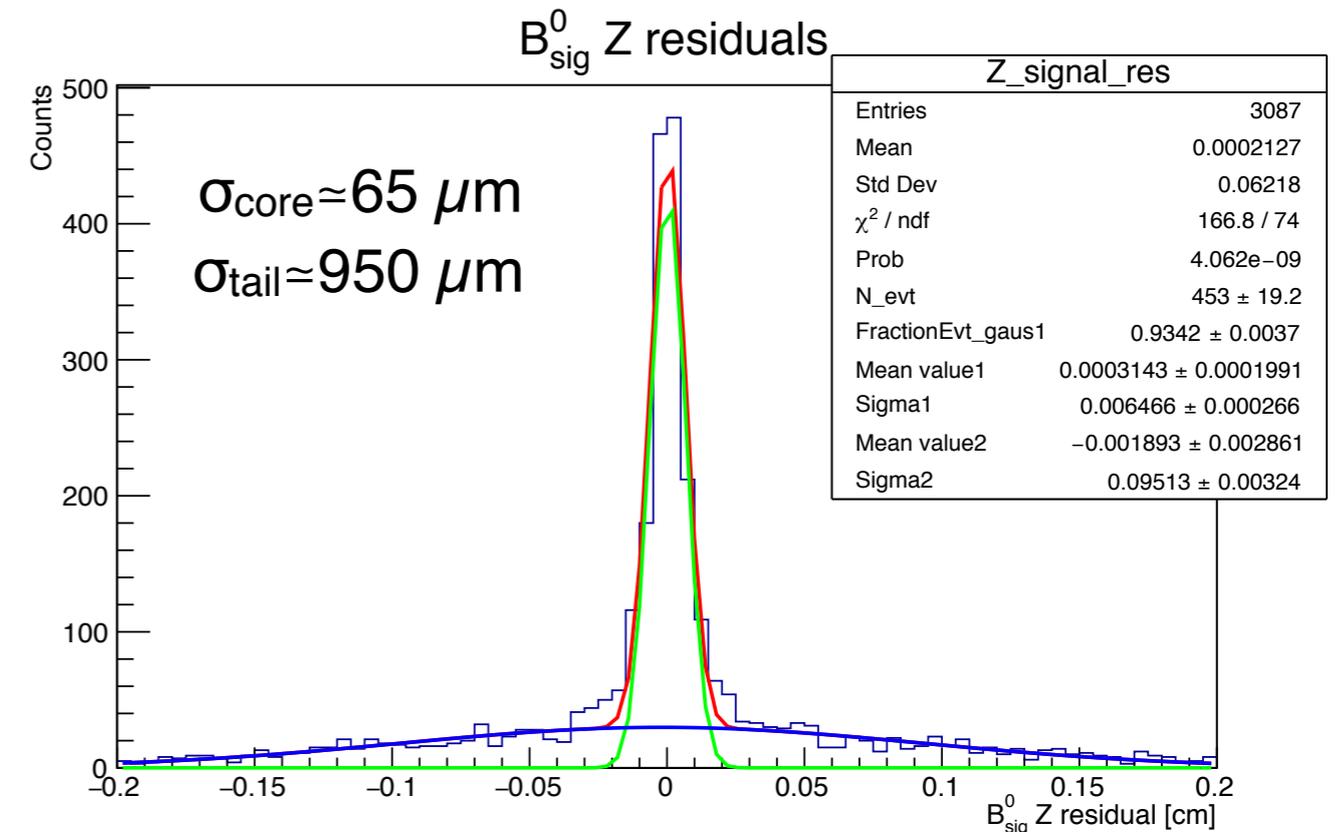


I due set ricostruiti possono essere discriminati utilizzando la distanza di volo trasversale del  $K^0_S$ .

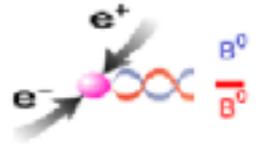
I kaoni che decadono prima di  $\sim 4\text{cm}$  (raggio interno SVD) appartengono alla Gaussiana centrale.

*Necessaria ricostruzione del  $K^0_S$  con il SVD in quanto unica particella utilizzata per la ricostruzione del vertice del  $B^0$  di segnale.*

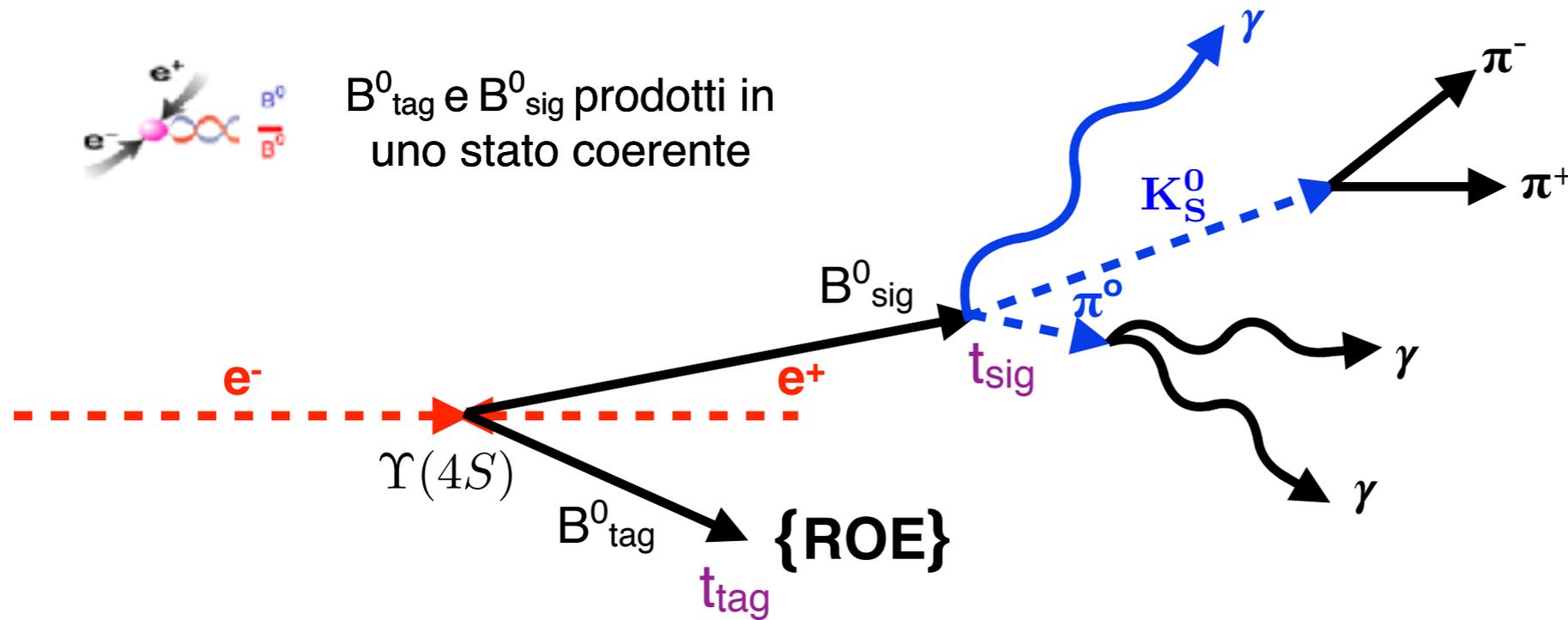
**con SVD**



# Ricostruzione vertice $B^0_{\text{tag}}$

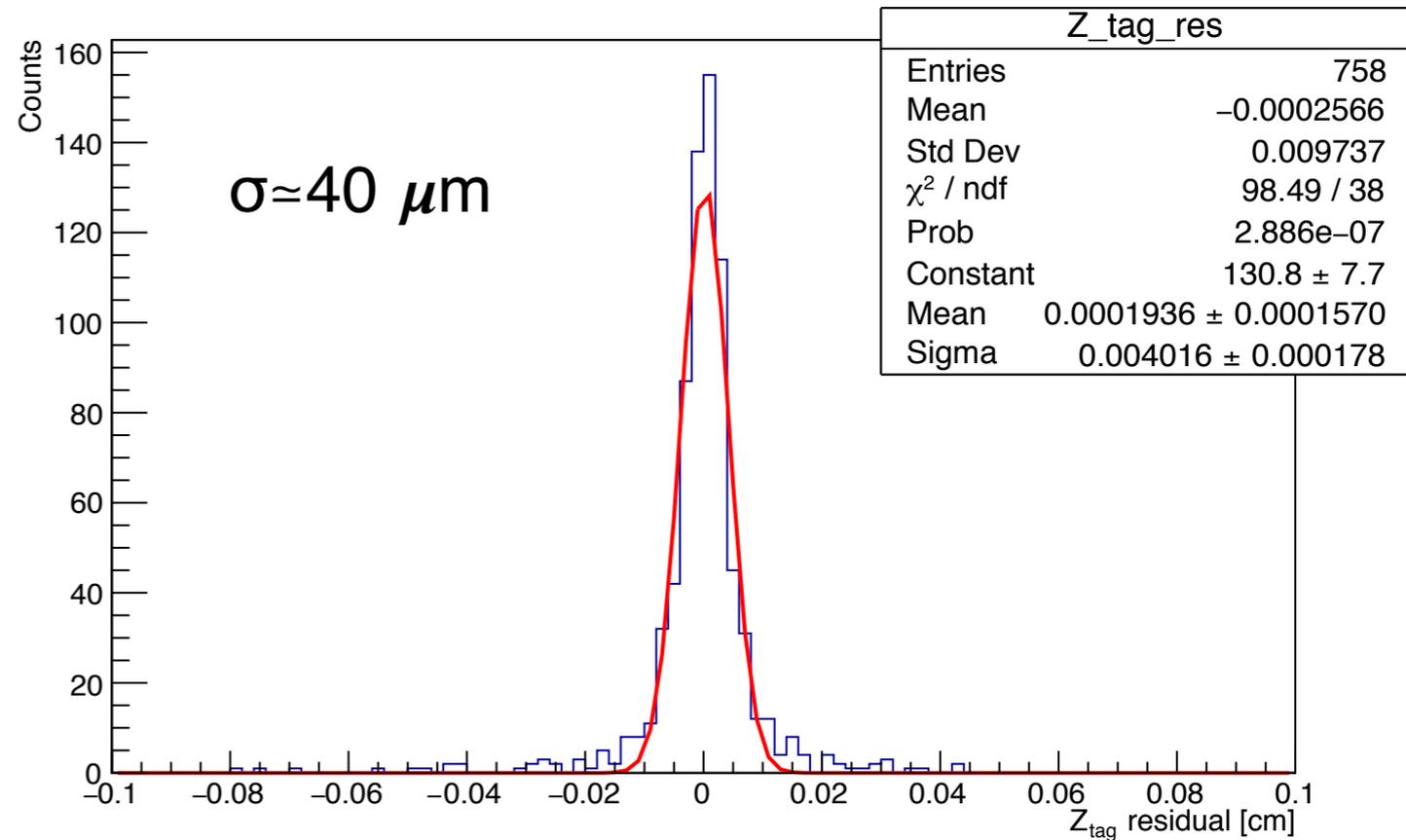


$B^0_{\text{tag}}$  e  $B^0_{\text{sig}}$  prodotti in uno stato coerente



Ricostruzione vertice  $B^0_{\text{tag}}$  tramite **fit inclusivo delle particelle appartenenti al resto dell'evento (ROE)**, cioè tutte le particelle escluse quelle provenienti dal  $B^0_{\text{sig}}$

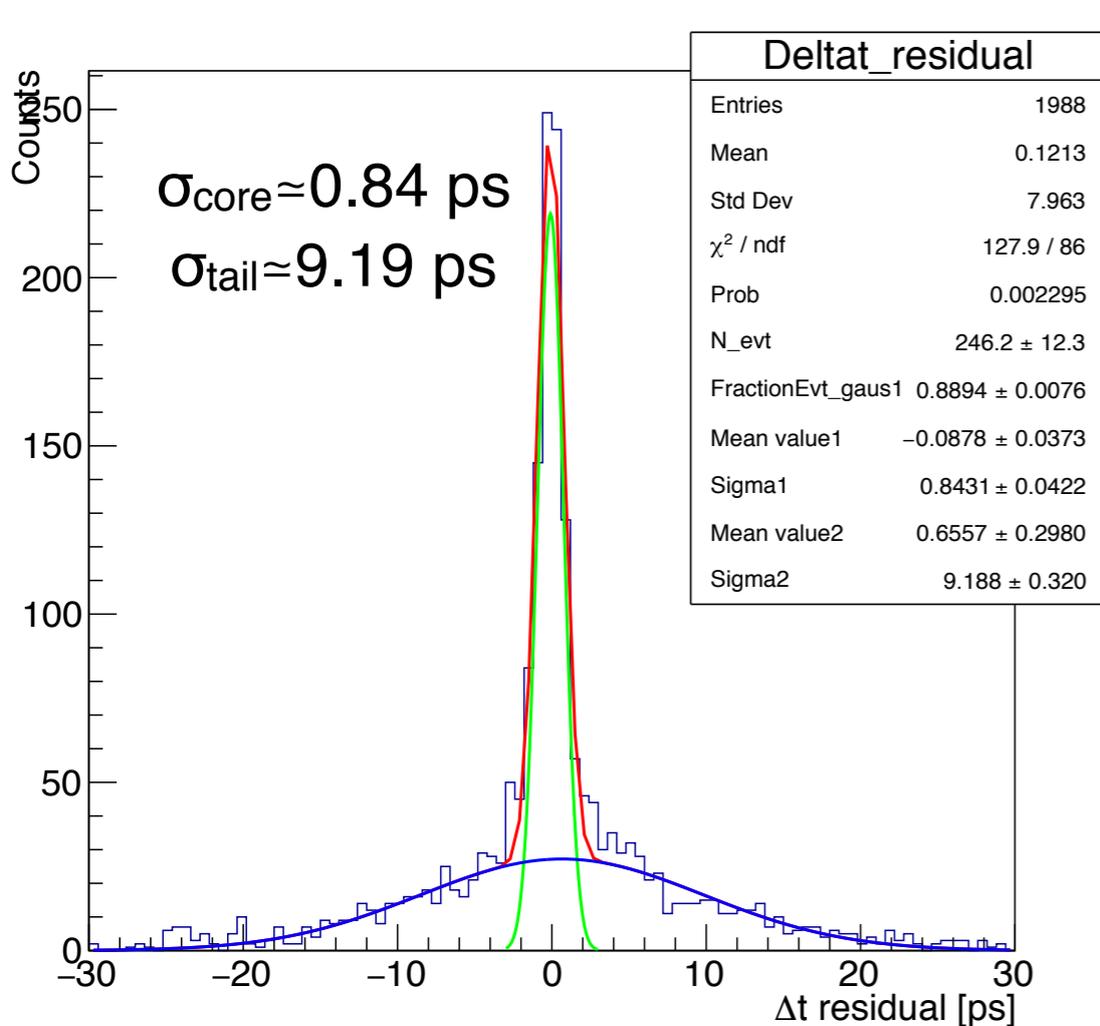
Risoluzione sulla coordinata z del vertice migliore rispetto a quella del  $B^0_{\text{sig}}$ .



# Stima della risoluzione del $\Delta t$

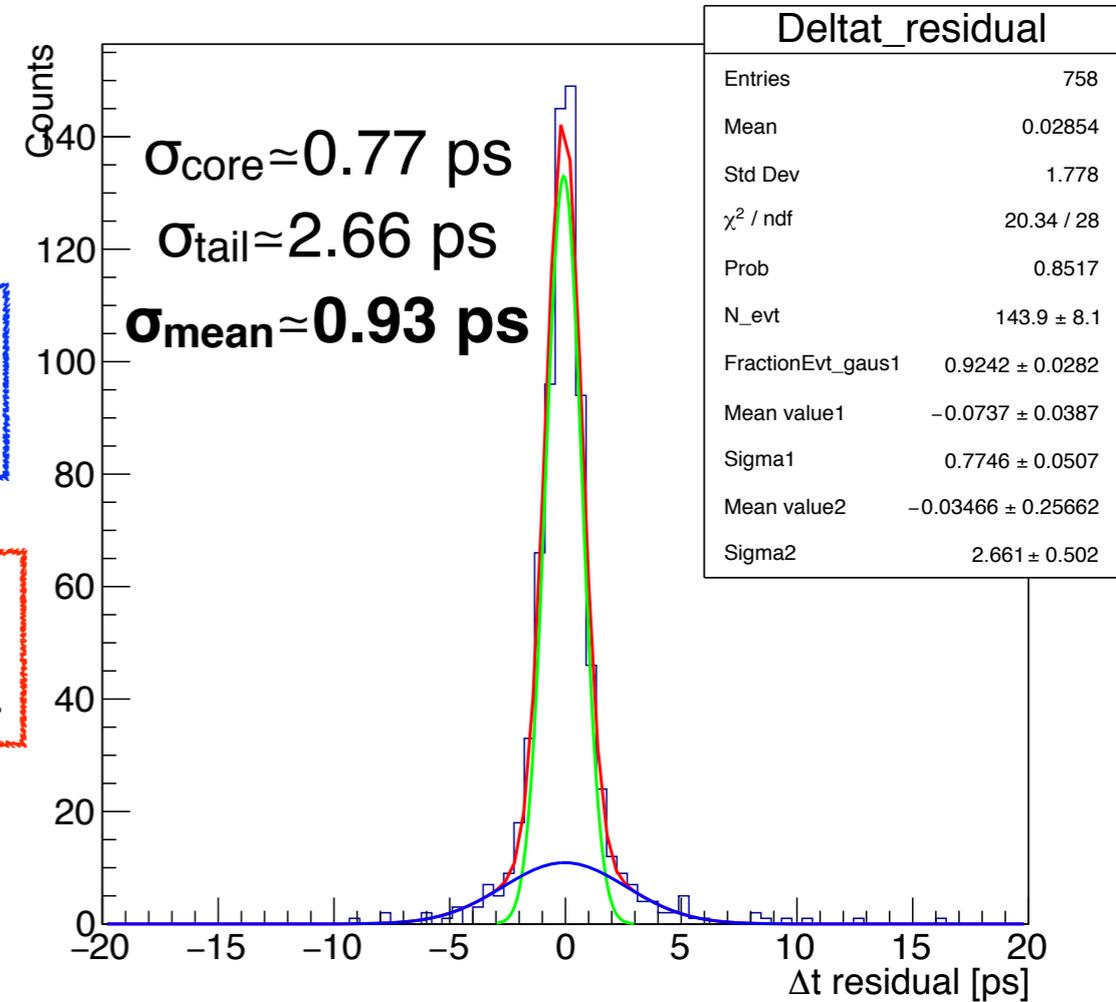
Dalla posizione del vertice di  $B^0_{sig}$  e  $B^0_{tag}$  ottengo:  $\Delta t = \frac{\Delta z}{\beta \cdot \gamma \cdot c}$

Risoluzione  $\Delta t$  ricavata dalla distribuzione dei residui



$K_S^0$  ricostruiti usando il SVD

Perdita del ~60% statistica



$$pdf_{sig} = P_{\pm}^{sig} \otimes R_{sig}$$

Funzione di risoluzione  $R_{sig}$  consiste in una funzione Gaussiana con  $\sigma$  pari alla risoluzione in  $\Delta t$ .

$$P_{\pm}(\Delta t) = \frac{e^{-|\Delta t|/\tau_{B^0}}}{4\tau_{B^0}} \left\{ 1 \pm S \sin(\Delta m \Delta t) \mp C \cos(\Delta m \Delta t) \right\}$$

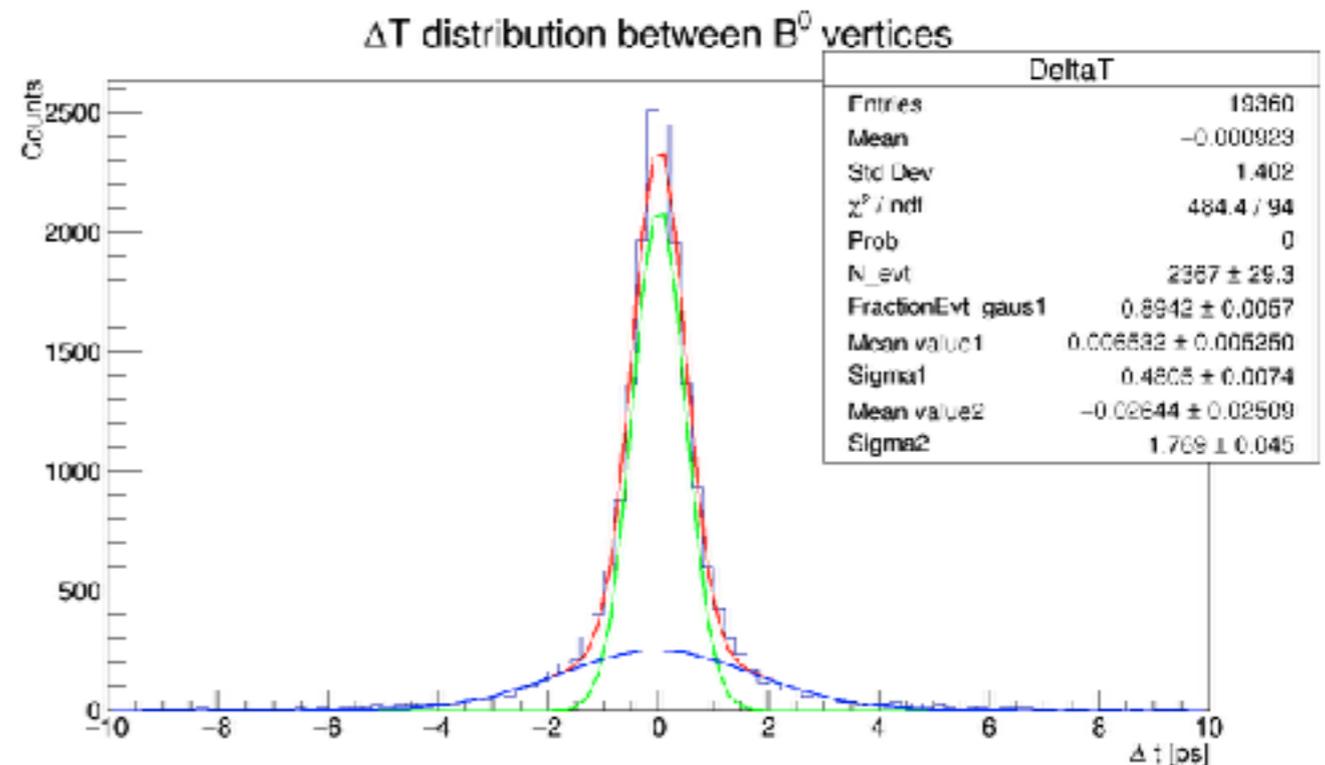
# Caratterizzazione degli eventi di fondo

## Fonti di background:

- continuo (adronizzazione u,d,s,c)  $pdf_{bkg} = R_{bkg}(\delta t | \sigma_{\Delta t})$ .  $R_{bkg}$  è la funzione di risoluzione che tiene in considerazione l'effetto sperimentale. **Contributo inserito nello studio finale.**

Data sample: MC6 di Belle II

$$\begin{aligned}\sigma_1 &\approx 0.48 \text{ ps} \\ \sigma_2 &\approx 1.77 \text{ ps} \\ \sigma_{\text{mean}} &\approx 0.62 \text{ ps}\end{aligned}$$



- $B\bar{B}$  ( $B^+ B^-$  e  $B^0 \bar{B}^0$ )  $pdf$  complessa. **Contributo non inserito nello studio finale.**

**Procedura Toy Monte Carlo** per la stima delle incertezze sui parametri di violazione C ed S:

- Generazione di eventi distribuiti secondo la  $pdf$ ;
- Fit degli eventi che seguono l'andamento della  $pdf$  generata;
- Estrazione delle incertezze statistiche dei parametri coinvolti nella funzione di fit.

# Risultati studio Toy MC

Eventi generati secondo la *pdf* finale:  $pdf(\Delta t) = f_{sig}(P_{\pm}^{sig} \otimes R_{sig}) + (1 - f_{sig})R_{bkg}$

$f_{sig}$  = frazione di eventi di segnale finali. Valore ottenuto dall'analisi precedente in BaBar

Risultati dello studio dei Toy MC estrapolati ad una luminosità integrata di 50  $ab^{-1}$

Parametri generati:

S=0

C=0

Distribuzioni delle  
Pull senza bias:

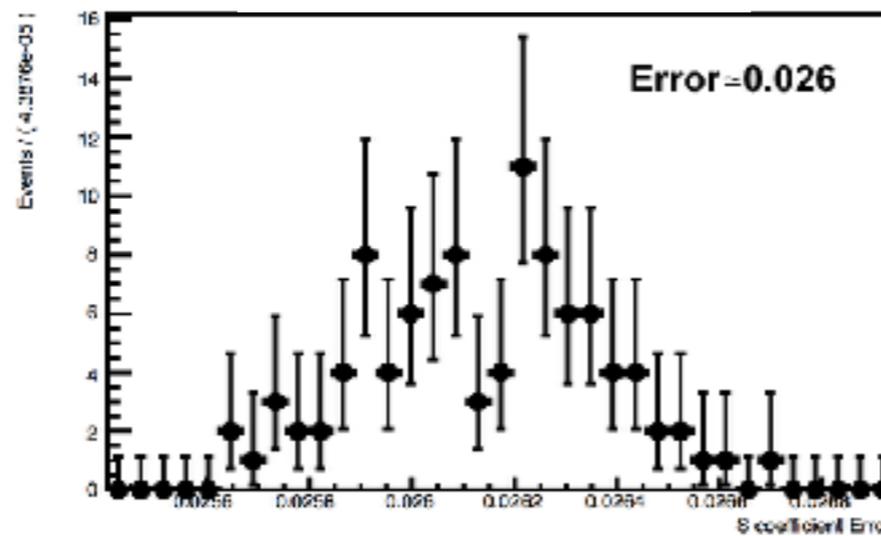
Pull=residui/Errore

Risultati incertezze:

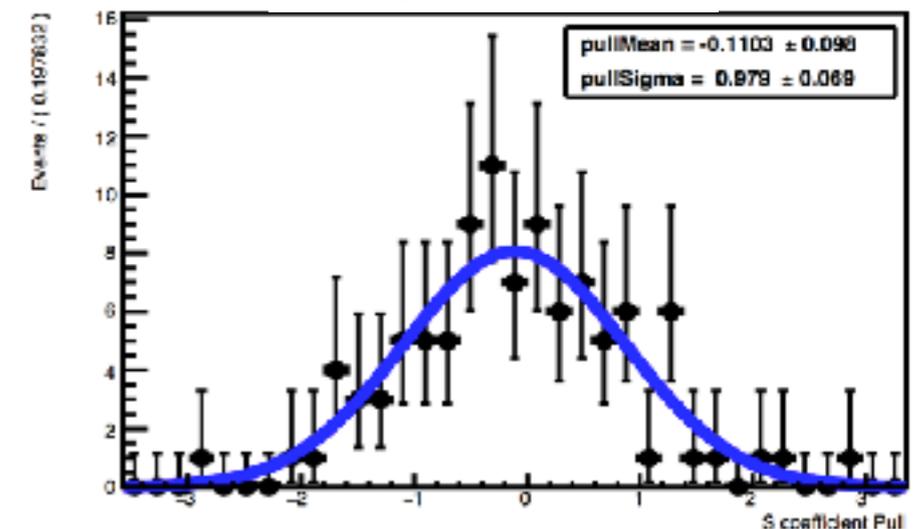
$\sigma_S \approx 0.026$

$\sigma_C \approx 0.022$

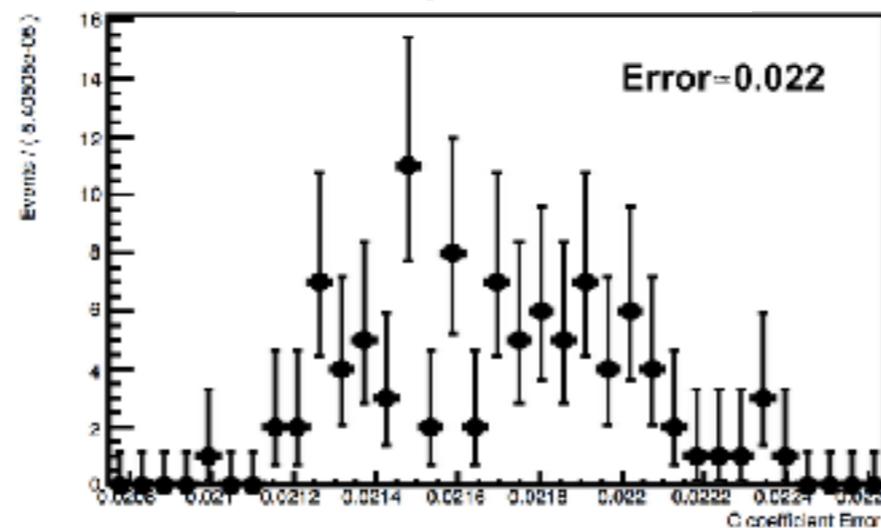
Errore parametro S



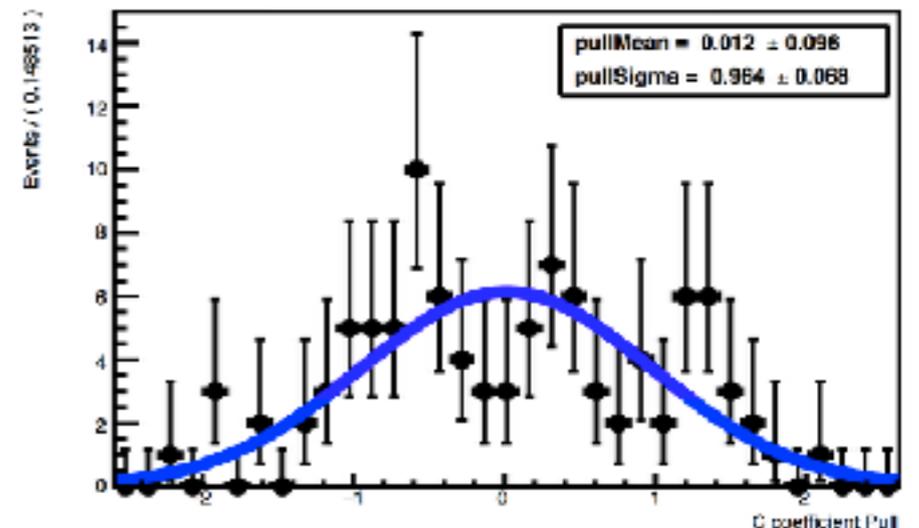
Pull parametro S



Errore parametro C



Pull parametro C



# Confronto risultati precedenti

Esperimento BaBar:

$$\mathcal{L}^{\text{int}} \simeq 0.46 \text{ ab}^{-1}$$

*Unica misura di riferimento  
per il decadimento diretto*

Risultato previsto in Belle II:  
estrapolazione a  $\mathcal{L}^{\text{int}} = 50 \text{ ab}^{-1}$

$$S_{K_S^0 \pi^0 \gamma} = -0.78 \pm 0.59(\text{stat}) \pm 0.09(\text{syst})$$

Incertezza su  $S_{K_S^0 \pi^0 \gamma} \simeq 0.026$

$$C_{K_S^0 \pi^0 \gamma} = -0.36 \pm 0.33(\text{stat}) \pm 0.04(\text{syst})$$

Incertezza su  $C_{K_S^0 \pi^0 \gamma} \simeq 0.022$

Parametro S: miglioramento di un fattore **23**  
Parametro C: miglioramento di un fattore **15**

Contributo dell'errore statistico dovuto  
alla maggiore luminosità di Belle II  
(fattore  $\sim 100$ ):  $1/\sqrt{100} = 0.1$

Miglioramento di un fattore  $\sim 2$  dovuto  
alle performance del rivelatore Belle II

- Il risultato è preliminare:**
- *l'inserimento della sorgente di fondo  $B\bar{B}$  degrada la sensibilità.*
  - *selezione dell'evento e fit multiplo migliorano la sensibilità.*

Valore di S predetto dal modello standard:  $-0.1 \lesssim S_{K_S^0 \pi^0 \gamma}^{MS} \lesssim 0.1$

*Sensibilità minore dello 0.1  $\longrightarrow$  conferma o meno delle predizioni del modello standard.*

# Conclusioni

## Studio dell'asimmetria time-dependent nel canale $B^0 \longrightarrow K_S^0 \pi^0 \gamma$

- Ricostruzione dei vertici di decadimento dei mesoni  $B^0$  utilizzando il rivelatore di vertice SVD e determinazione della risoluzione in  $\Delta t$
- Stima delle incertezze statistiche sui parametri di asimmetria tramite studi di Toy Monte Carlo
- Primo confronto con i risultati precedenti di BaBar: miglioramento di un fattore  $\sim 20$  sull'incertezza statistica, ottenuta con la massima luminosità integrata prevista dall'esperimento Belle II di  $50 \text{ ab}^{-1}$  ( $\sim 100$  volte quella dell'esperimento BaBar).

### Sviluppi futuri:

- Inserimento della sorgente di fondo  $B\bar{B}$
- Implementazione di tagli di selezione dell'evento ottimizzati e fit multiplo includendo il  $\Delta t$  + le variabili di selezione.

*Thank  
you*



# BACKUP SLIDES

# Mixing e violazione di CP

## Mixing:

Particelle neutre con gli stessi numeri quantici eccetto il sapore oscillano l'una nell'altra se gli autostati di flavour non coincidono con quelli di massa.

## Violazione di CP:

Diverso comportamento di particelle e anti-particelle sotto la trasformazione congiunta di C e P.

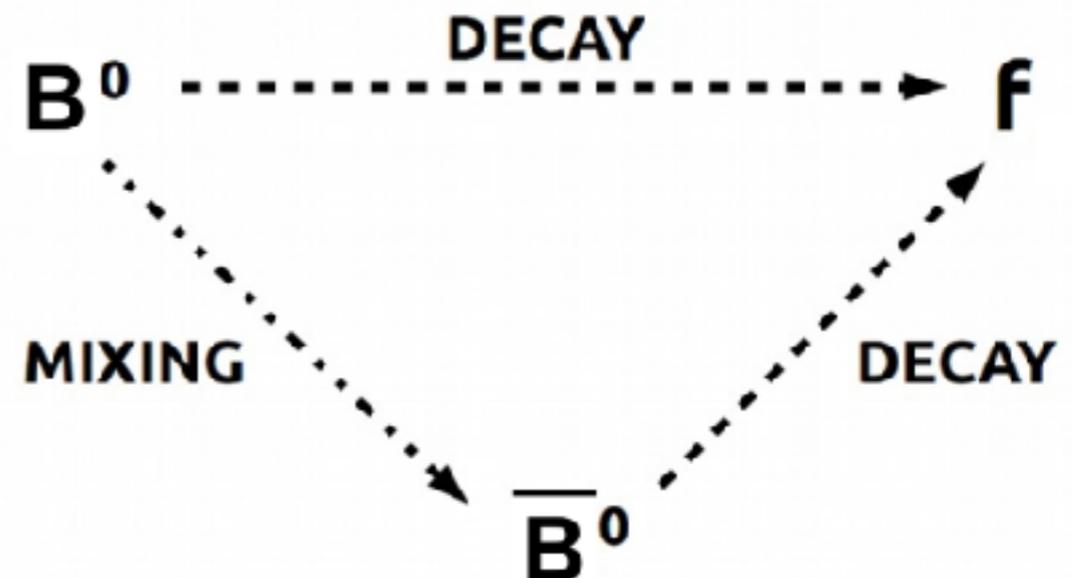
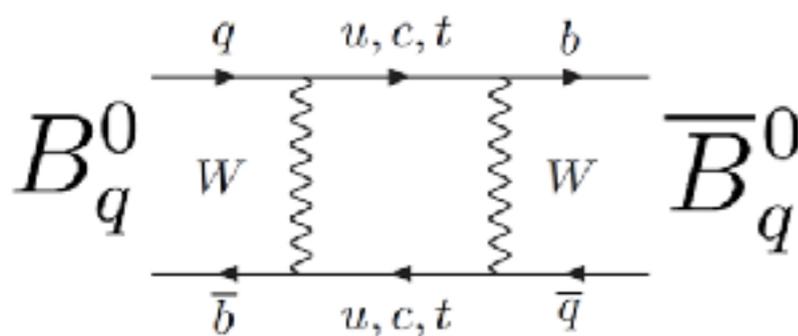
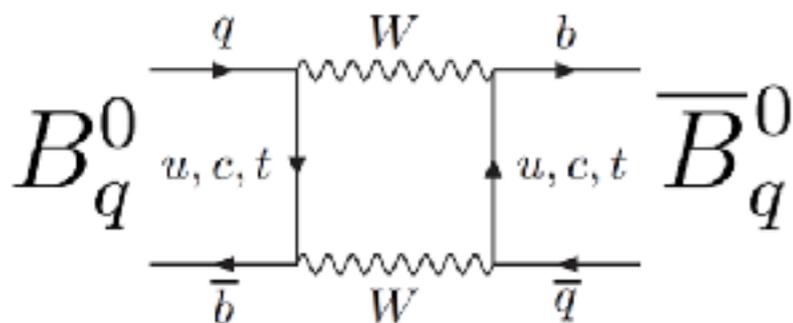
## Meccanismi di violazione:

- nel decadimento diretto:  $\Gamma(B \rightarrow f) \neq \Gamma(\bar{B} \rightarrow \bar{f})$

Indiretta

- nel mixing:  $P(B^0 \rightarrow \bar{B}^0) \neq P(\bar{B}^0 \rightarrow B^0)$
- nell'interferenza** tra decadimento con e senza mixing in uno stato finale comune. Tale violazione **è osservata da misure time-dependent.**

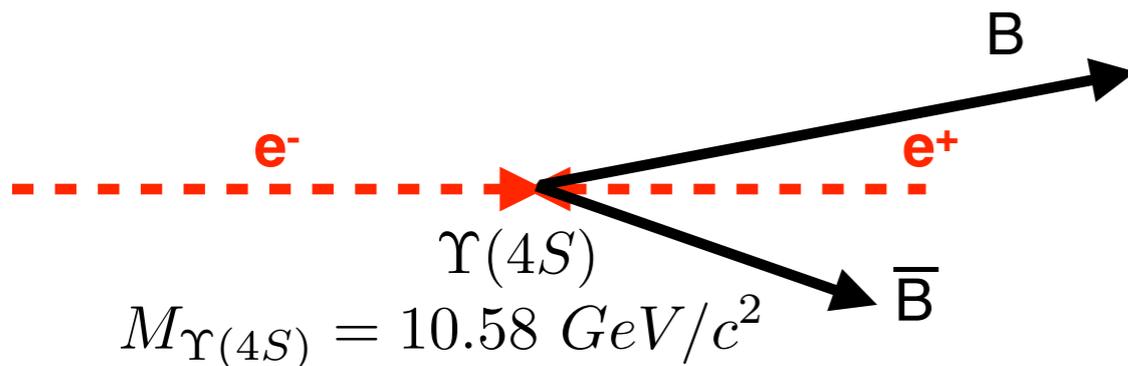
Sistema  $B^0 \bar{B}^0$



# Esperimenti alle B-factories

*Scopo principale:* misure di precisione di possibili effetti di nuova fisica.

Esperimento Belle II utilizza il collisore SuperKEKB presso KEK



$$E_{e^+} \simeq 4\text{GeV}$$

$$E_{e^-} \simeq 7\text{GeV}$$



- $E_{\text{CM}}$  al picco di produzione della  $\Upsilon(4S)$

- Boost del centro di massa:  
 $\beta\gamma = 0.28$

Fasci simmetrici:

$$\beta\gamma \simeq 0.06 \longrightarrow \Delta r \simeq 30\mu\text{m}$$

Fasci asimmetrici:

$$\beta\gamma \simeq 0.28 \longrightarrow \Delta z = \beta\gamma \cdot c \cdot \tau \simeq 130\mu\text{m}$$

Luminosità integrata massima attesa:  $\mathcal{L}^{\text{int}} = 50 \text{ ab}^{-1}$

Incremento di statistica di un fattore  $\sim 100$  rispetto all'esperimento BaBar e  $\sim 50$  rispetto a Belle

# Difficoltà sperimentali del canale

$$B^0 \longrightarrow K_S^0 \pi^0 \gamma$$

Nel canale  $B^0 \longrightarrow K_S^0 \pi^0 \gamma$  la presenza di **sole particelle neutre nello stato finale** rende difficile il processo di ricostruzione del decadimento.

Posizione del vertice del  $B^0$  ricostruita in ambiente “pulito” fornito dalle B-factory in cui i contributi del fondo sono molto minori rispetto ad un collisore adronico.

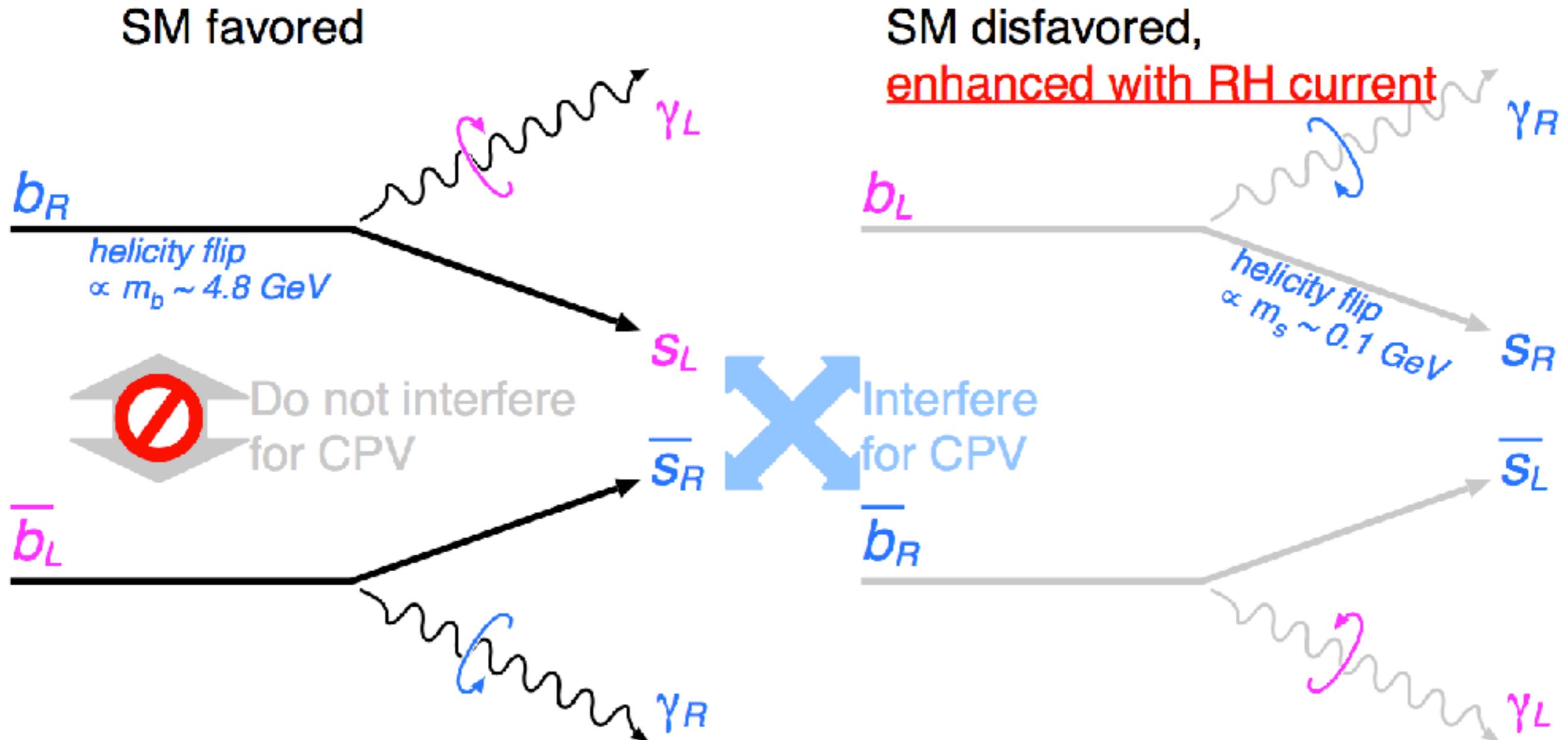
Ricostruzione del vertice del  $B^0 \longrightarrow K_S^0 \pi^0 \gamma$ :

- Traiettoria del  $K_S^0$  estrapolata indietro dal decadimento  $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$
- Utilizzo di un constraint addizionale che sfrutta le ridotte dimensioni della beam spot.

Ricostruzione standard del vertice del  $B^0$ :

Utilizzo di almeno 2 particelle cariche provenienti dallo stesso vertice di decadimento.

# Asimmetria nell'interferenza

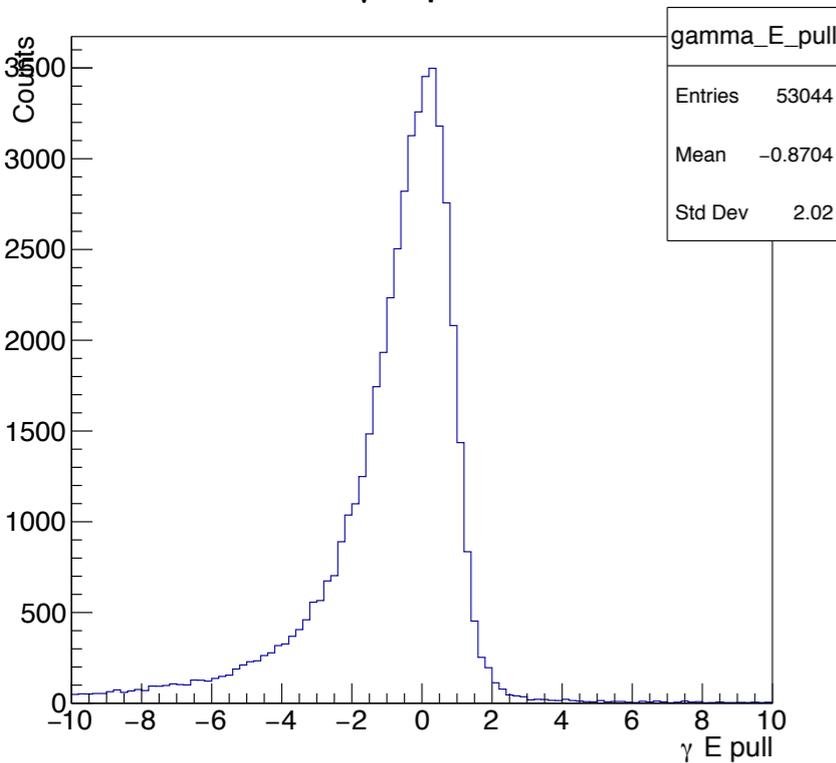


# Ricostruzione decadimento $B^0 \rightarrow K_S^0 \pi^0 \gamma$

Validazione processo di ricostruzione delle particelle figlie:

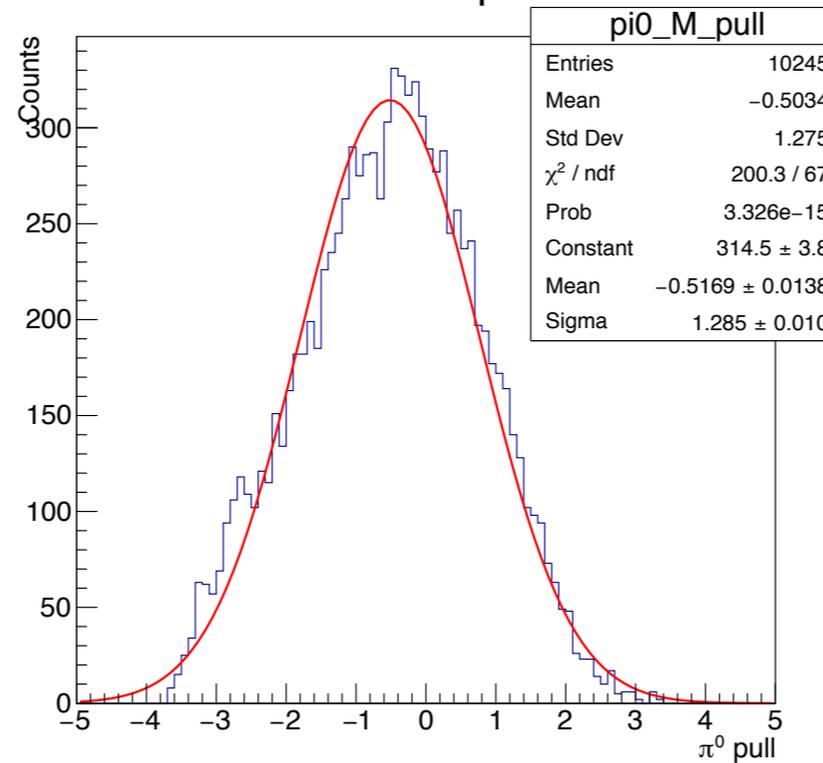
Fotoni

$\gamma$  E pull

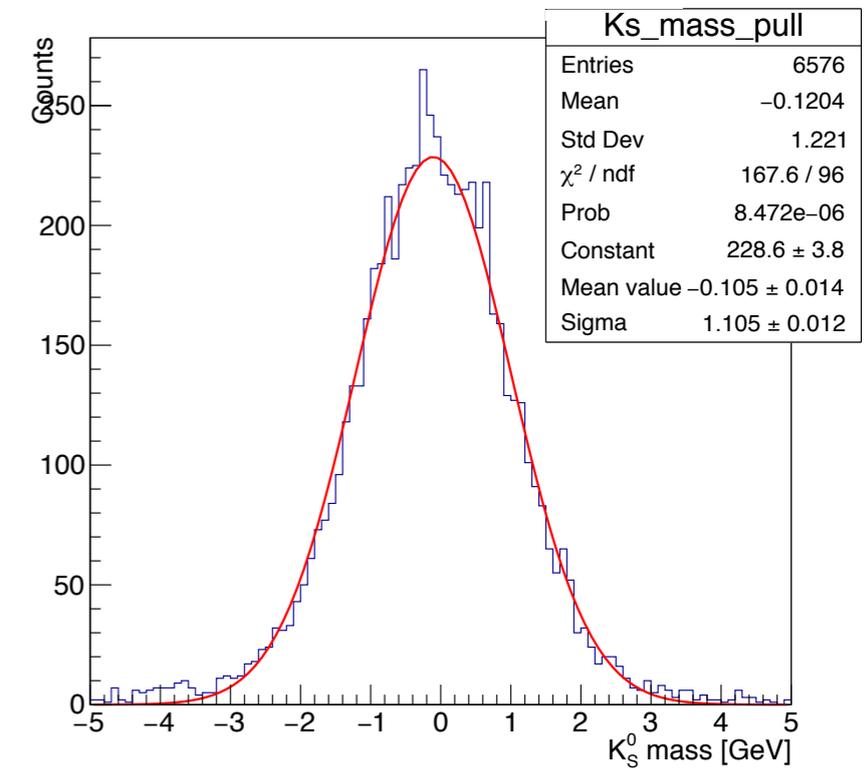


Pioni neutri

$\pi^0$  Mass pull



Kaoni neutri



**Software in via di sviluppo:**

*Nuove definizioni di fotoni e pioni da testare con la release-00-08-00*

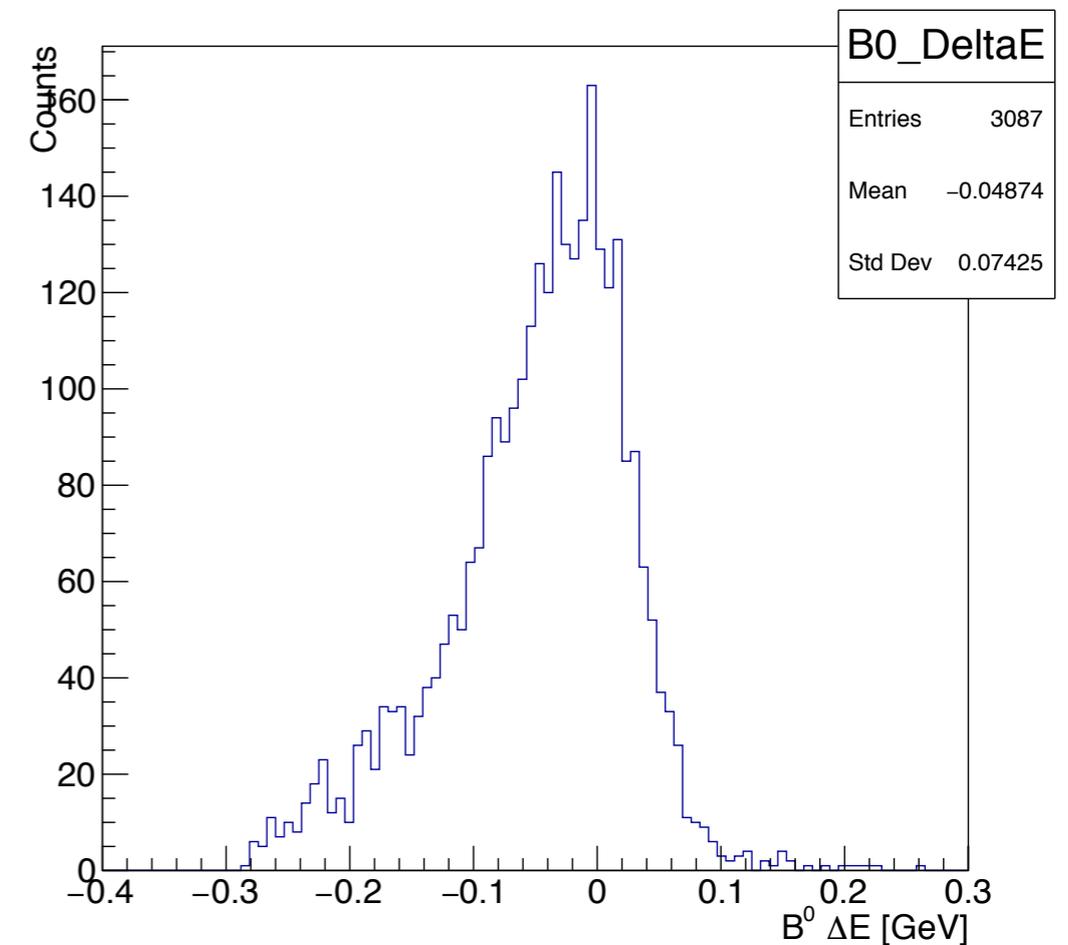
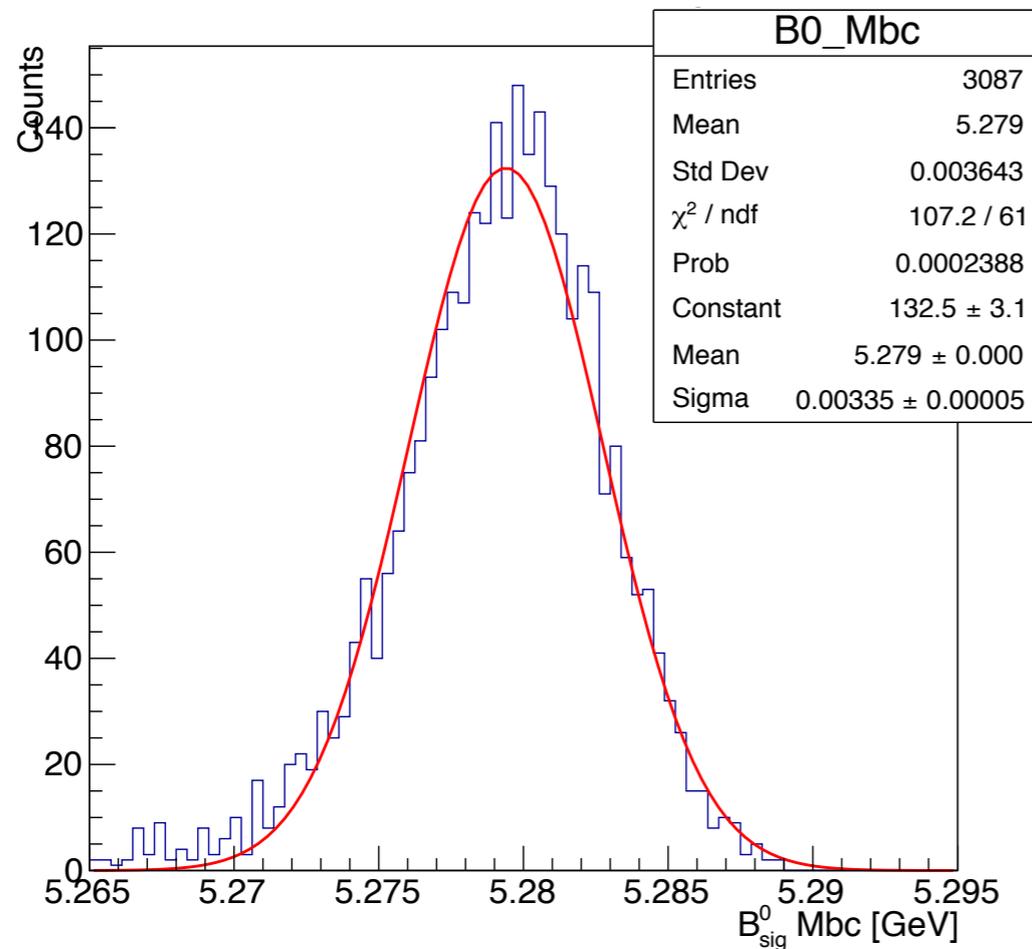
# Validazione ricostruzione $B^0_{sig}$

Massa “beam constraint”:

$$M_{bc} = \sqrt{(E_{beam}^*)^2 - |\vec{P}_B^*|^2}$$

“Energy difference”:

$$\Delta E = E_B^* - E_{beam}^*$$



Il processo di ricostruzione deve ancora essere migliorato a livello di software e può essere rifinito con tagli ottimizzati per le particelle figlie del  $B^0_{sig}$ .

# Efficienza nel canale $B^0 \longrightarrow K_S^0 \pi^0 \gamma$

Ho effettuato studi di efficienza su un campione di puro segnale in cui ho generato e ricostruito 10000 eventi di  $\Upsilon(4S) \longrightarrow B\bar{B}$  con  $B_{sig} \longrightarrow K_S^0 \pi^0 \gamma$  e l'altro  $B^0$  decade in  $B^0 \longrightarrow \nu\bar{\nu}$

	Ks	$\pi^0$	$\gamma$	$B^0_{sig}$
$\epsilon^{reco}$ (%)	58.6	53.7	87.4	26.2

**No cross-feed**  $\longrightarrow$  efficienze massime fornite dall'apparato di rivelazione.

*Nessun taglio considerato e dipendente dal tipo di analisi effettuata.*

# Risultati del processo di tagging

## Quantità importanti estratte dal processo di tagging:

$\Delta\omega$  = differenza tra probabilità di mistag per il  $B^0$  ed il  $\bar{B}^0$

$\omega$  = probabilità di mistag inclusiva per il  $B^0$  ed il  $\bar{B}^0$

$\mu$  = differenza dell'efficienza di tagging tra il  $B^0$  ed il  $\bar{B}^0$

## Valori ottenuti nel canale di decadimento studiato

$\mu$	$\omega$	$\Delta\omega$
0.0213	0.2512	0.0104

Efficienza di tagging inclusiva per entrambi i  $B^0$ :  $\sim 45\%$

# Pdf inclusiva delle informazioni di tagging

$$P_{\pm}^{sig}(\Delta t) = (1 \mp \Delta\omega \pm \mu(2\omega)) \frac{e^{-|\Delta t|/\tau_{B^0}}}{4\tau_{B^0}} \left\{ 1 \pm S[\pm(1 - 2\omega) + \mu(1 \mp \Delta\omega)] \sin(\Delta m \Delta t) \mp C[\pm(1 - 2\omega) + \mu(1 \mp \Delta\omega)] \cos(\Delta m \Delta t) \right\}$$

$\Delta\omega$  = differenza tra probabilità di mistag per il  $B^0$  ed il  $\bar{B}^0$

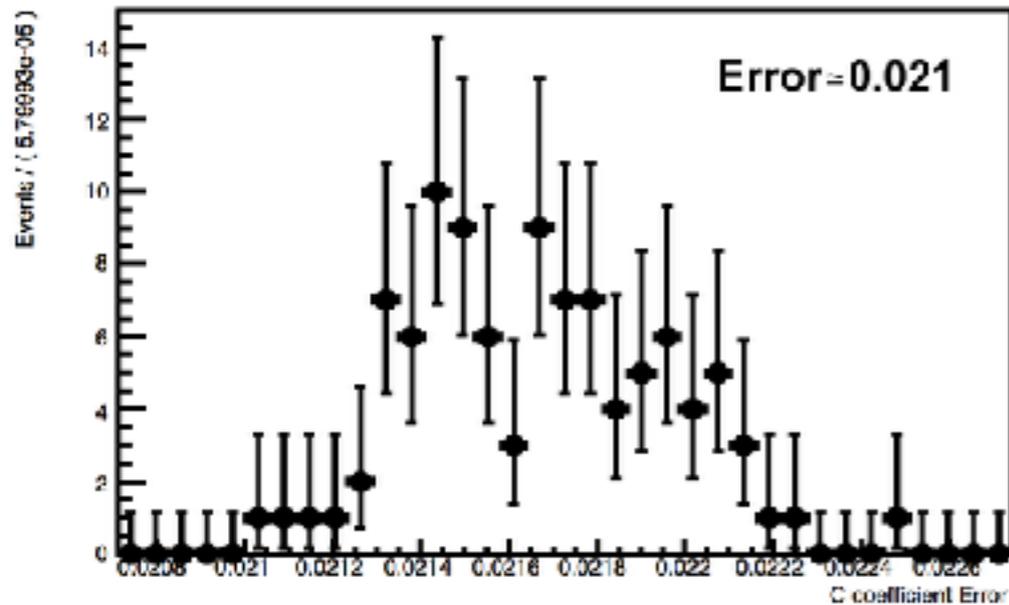
$\omega$  = probabilità di mistag inclusiva per il  $B^0$  ed il  $\bar{B}^0$

$\mu$  = differenza dell'efficienza di tagging tra il  $B^0$  ed il  $\bar{B}^0$

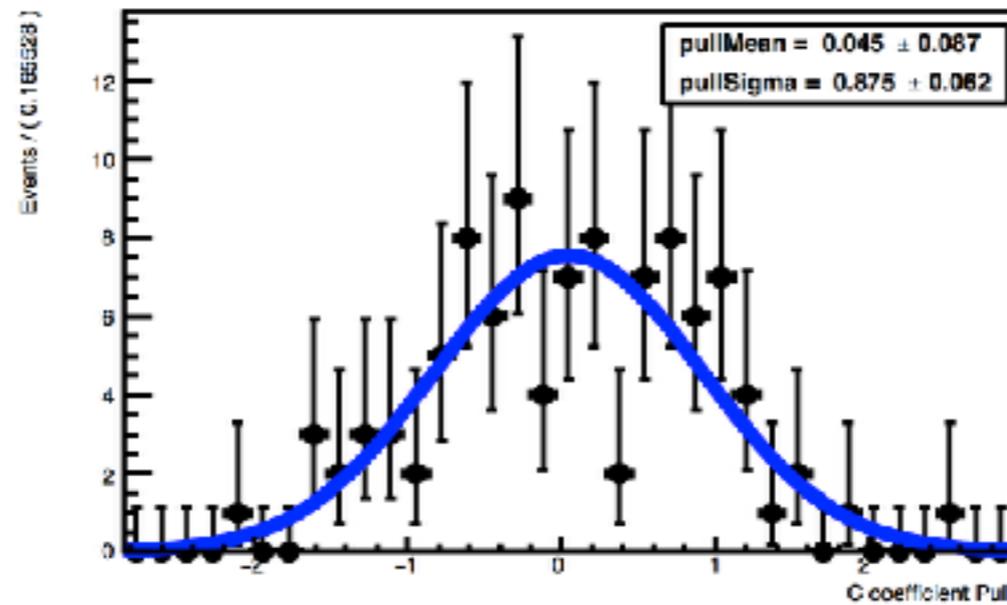
**Correzioni fini della pdf di segnale finale**

# Risultati toy MC (I)

A RooPlot of "C coefficient Error"

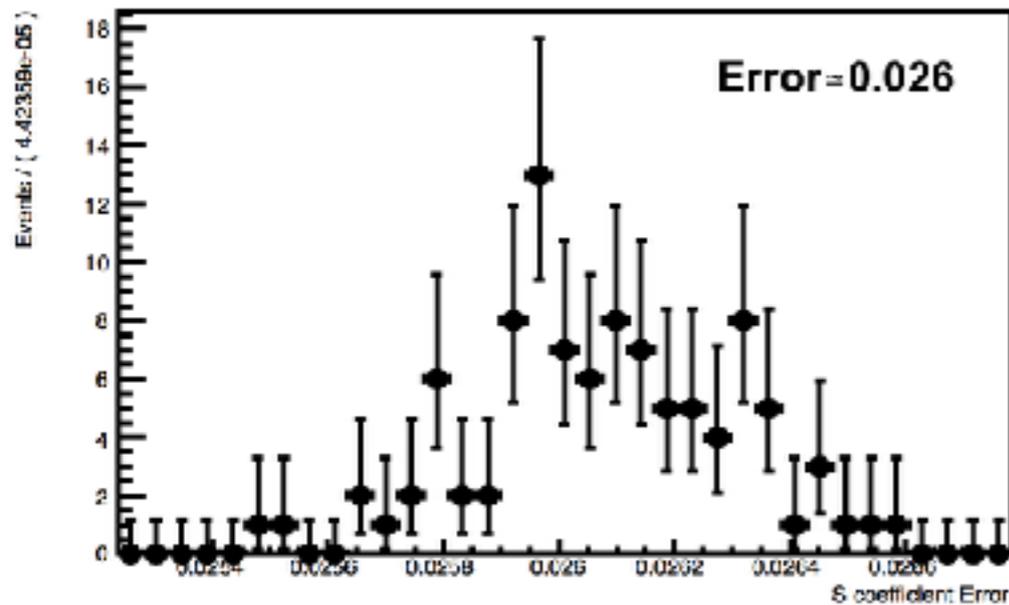


A RooPlot of "C coefficient Pull"

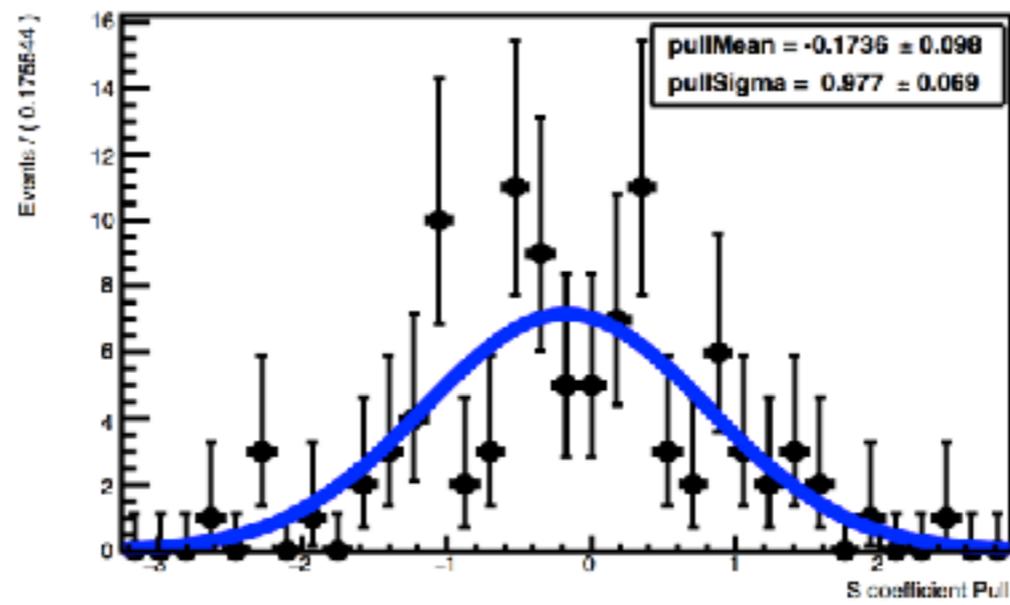


Risultati incertezze:  
 $S \approx 0.026$   
 $C \approx 0.021$

A RooPlot of "S coefficient Error"



A RooPlot of "S coefficient Pull"

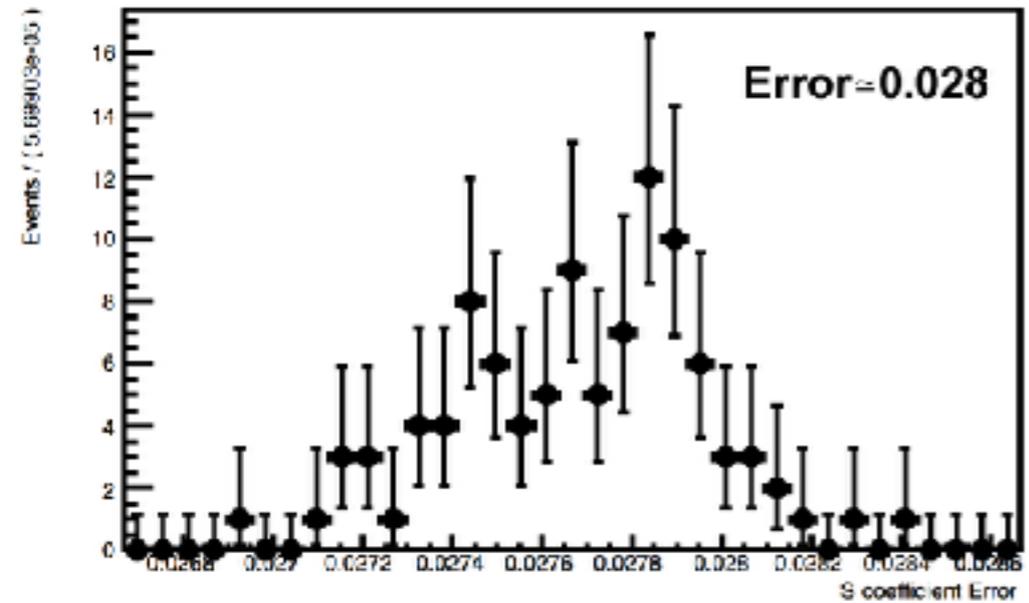


Distribuzioni delle  
**Pull senza bias:**  
Pull=residui/Errore

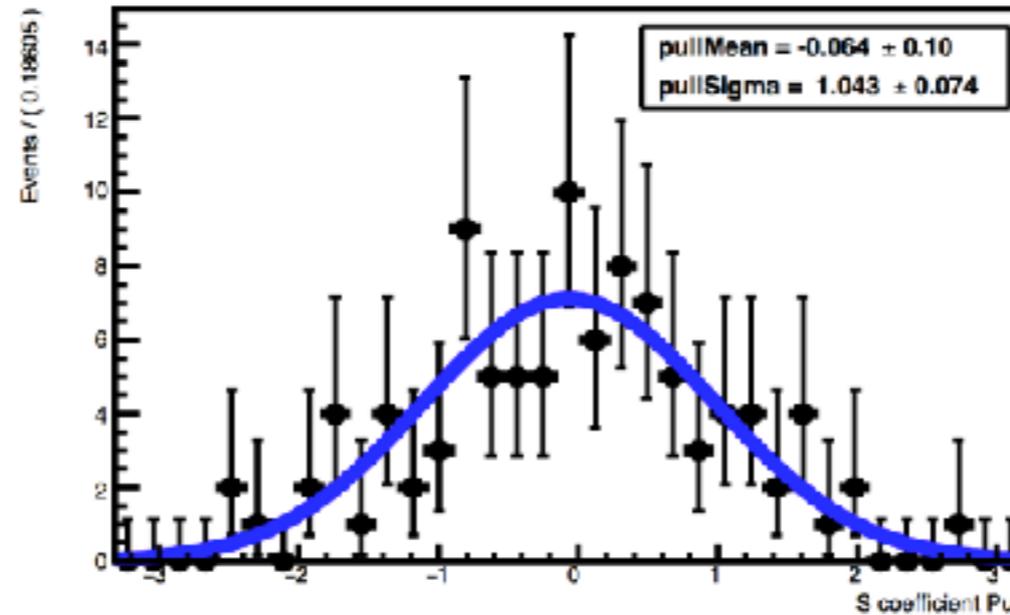
Parametri generati:  
 $S=0.1$   
 $C=0$

# Risultati toy MC (I)

A RooPlot of "S coefficient Error"

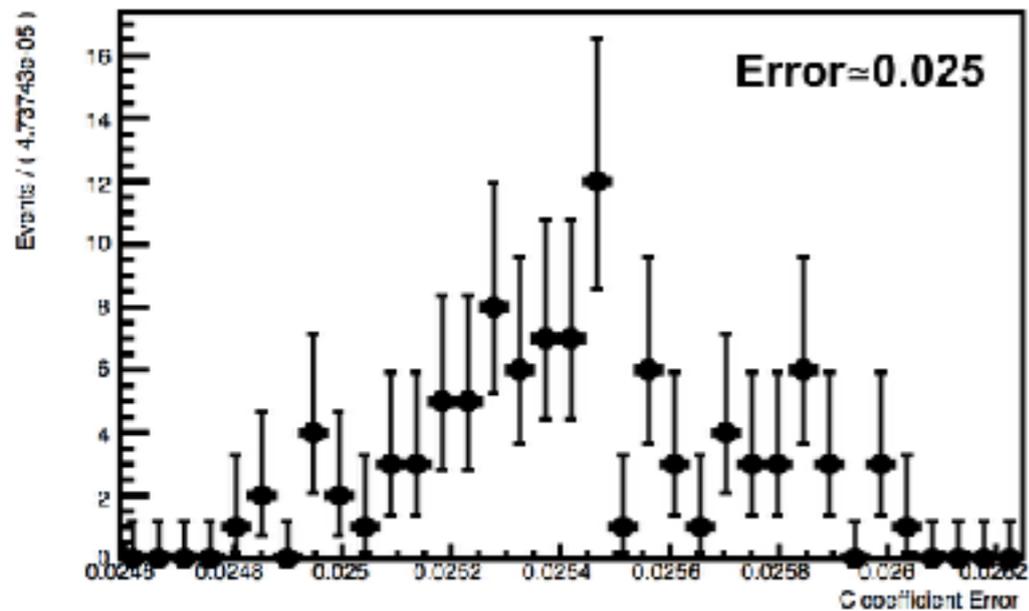


A RooPlot of "S coefficient Pull"

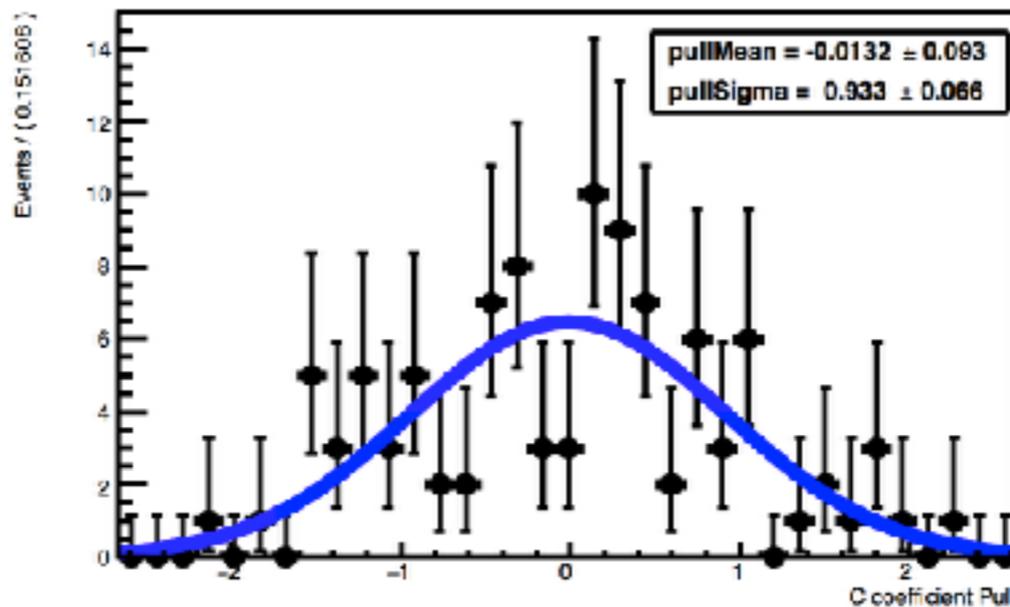


Risultati incertezze:  
 $S \approx 0.028$   
 $C \approx 0.025$

A RooPlot of "C coefficient Error"



A RooPlot of "C coefficient Pull"



Distribuzioni delle  
**Pull senza bias:**  
Pull=residui/Errore

Parametri generati:  
 $S = -0.3$   
 $C = -0.3$

**Grazie  
dell'attenzione!**